





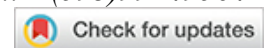
Análisis multitemporal de deforestación y cambio de la cobertura del suelo, en el cantón La Joya de los Sachas, período 1990-2018.

Multitemporal analysis of deforestation and land cover change in the canton La Joya de los Sachas, period 1990-2018.

Fernando Paredes-Arcos ¹, Leider Tinoco-Jaramillo ^{1*}, Carlos Congo-Yépez ¹,
Yadira Vargas-Tierras ¹

¹ Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias – Estación Experimental Central de la Amazonia /La Joya de los Sachas/Orellana/Ecuador; fernando.paredes@iniap.gob.ec .
carlos.congo@iniap.gob.ec .
yadira.vargas@iniap.gob.ec .

* Correspondencia: leider.tinoco@iniap.gob.ec; Tel.: +(593)991495642



RESUMEN

La Joya de los Sachas, es uno de los principales cantones productores de petróleo y productos agrícolas; sin embargo, el incremento de la frontera agrícola ha ocasionado cambios importantes en la cobertura y uso del suelo. Ante esta situación, el estudio tuvo la finalidad de conocer las causas y efectos que ha ocasionado el cambio de cobertura para obtener las tasas anuales e índices de cambio de cobertura. El análisis se realizó mediante el geoprocesamiento de información geográfica disponible en el portal del Ministerio de Ambiente Agua y Transición Ecológica (MAATE) y el Instituto Geográfico Militar (IGM), se utilizó el método de tablas de tabulación cruzada y sobreposición de capas para determinar el contraste de las coberturas entre las fechas establecidas. Los resultados muestran un incremento acumulado de 17.626,5 ha de tierra agrícola y 16.767,6 ha de pasto en los últimos 28 años; las actividades agropecuarias se han convertido en la principal causa de deforestación. Durante el período 1990-2018 se perdieron 36.413 ha de bosques, con una tasa anual de deforestación de 1.300 ha*año⁻¹. Este comportamiento permitió estimar si la tendencia persiste, en 30 años aproximadamente La Joya de los Sachas perderá completamente el bosque. Además, las políticas públicas, dolarización, apertura de caminos y cambios en la actividad agrícola causaron impactos en las coberturas y usos de suelo durante los tres periodos evaluados (1990-2000, 2000-2008 y 2008-2018).

Palabras Clave: Suelo, Uso de suelo, cobertura, tierra agrícola, pastizal, bosque, mapas.

ABSTRACT

La Joya de los Sachas is one of the leading oil and agricultural product-producing cantons; however, the increase of the agricultural frontier has caused significant changes in land cover and land use. Because of this situation, the study aimed to determine the causes and effects of land cover change to obtain annual rates and indices of land cover change. The analysis was carried out through the geoprocessing of geographic information available in the portal of the Ministry of Environment, Water and Ecological Transition (MAATE) and the Military Geographic Institute (IGM), using the method of cross-tabulation tables and overlapping layers to determine the contrast of coverages between the established dates. The results show a cumulative increase of 17,626.5 ha of agricultural land and 16,767.6 ha of pasture in the last 28 years; agricultural activities have become the leading cause of deforestation. During 1990-2018, 36,413 ha of forest were lost, with

an annual rate of deforestation of 1,300 ha*year⁻¹. This behavior allowed us to estimate that if the trend persists, in approximately 30 years, La Joya de los Sachas will ultimately lose its forest. In addition, public policies, land development, road opening and changes in agricultural activity caused impacts on land cover and land use during the three periods evaluated (1990-2000, 2000-2008 and 2008-2018).

Keywords: Soil, Land use, cover, agriculture land, pastureland, forest, maps.

INTRODUCCIÓN

El ser humano ha demostrado que puede adaptarse al entorno que lo rodea, superando todas las dificultades que le impidan subsistir^{1,2}. Hace 10.000 años, los seres humanos se agruparon y permanecieron juntos por largos períodos de tiempo en el mismo sitio, con la finalidad de cultivar la tierra y domesticar animales^{3,4}. Este comportamiento condujo al establecimiento de la agricultura como un pilar fundamental para satisfacer las crecientes necesidades alimentarias de una población en constante crecimiento^{5,6}.

En los años 1940 y 1970, la agricultura tuvo un punto de inflexión con la “Revolución Verde”⁷, debido, al inicio del mejoramiento genético y la agricultura industrial (agricultura intensiva), donde se desarrollaron cultivos con mayor producción; también, se implementó la práctica de monocultivos (cultivos con una especie)^{8,9}. Sin embargo, estas prácticas tuvieron graves consecuencias, como la pérdida de los recursos naturales, biodiversidad terrestre, acuática y especies forestales¹⁰.

En Ecuador las especies que tomaron relevancia como monocultivos fueron Cacao (*Theobroma cacao*) en los años 1920 y 1930 y Banano (*Musa paradisiaca*) en el año 1950, consolidando al país como el mayor exportador de estas frutas¹¹. Actualmente, en Ecuador el 50 % de la actividad agrícola se concentra en zonas rurales¹². Durante el año 2020, se encontraban cultivadas en el país 5,2 millones de hectáreas, de las cuales, 1,5 millones se usan para cultivos permanentes de caña de azúcar, cacao, palma africana y banano, mientras que el resto de la superficie se dedica a cultivos de ciclo corto y flores¹³.

Durante el año 1969, en Ecuador, se inició la explotación de pozos petroleros en la región amazónica. Como resultado de esta actividad, las compañías petroleras construyeron vías de comunicación para conectar la sierra central con la Amazonía. Aprovechando la accesibilidad proporcionada por estas nuevas vías, los primeros colonos llegaron al área conocida como La Joya de los Sachas, donde algunos se dedicaron a trabajar en compañías y el resto establecieron plantaciones de café, por los excelentes ingresos económicos. Sin embargo, desde 1998 al 2002 aproximadamente se da la denominada “Crisis cafetalera”¹⁴ los precios se desplomaron y la mayoría de los habitantes se dedicaron a trabajar en las compañías petroleras y una mínima cantidad continuó en la agricultura, pero en otros rubros. En los últimos 4 años los habitantes del sector se han dedicado a cultivar cacao (34,5%), maíz (17%), palma africana (12,9%), plátano (10,4%), malanga (7,1%), frutales (3,2%), arroz (3,1%), palmito (1,7%) y caña de azúcar (0,4%)¹⁴.

Las actividades que se desarrollaron desde el primer asentamiento de los colonos han desencadenado una serie de cambios en la cobertura y uso del suelo (CCUS), estos cambios se pueden estudiar y evidenciar con la ayuda de sensores remotos^{16,17} que permiten conocer cuáles son las causas y efectos de los CCUS en áreas determinadas, por ejemplo: deforestación, erosión, perturbación, desertificación, pérdida de biodiversidad, entre otros^{18,19}. La deforestación se define como la eliminación del componente arbóreo provocado principalmente por actividad antrópica²⁰. Existen varios estudios que se han enfocado en identificar, describir, analizar e interpretar la dinámica del CCUS a nivel del mundo^{11,18,19,21-27} y a nivel nacional²⁸⁻³²; sin embargo, no se encontró estudios realizados a nivel de Cantón, que permitan visualizar los cambios ocurridos en los últimos años¹⁵.

Por esta razón, el presente estudio pretende determinar la deforestación y los cambios de cobertura y uso de suelo en los períodos 1990-2000, 2000-2008 y 2008-2018 en el Cantón La Joya de los Sachas, mediante la metodología, matriz de tabulación cruzada^{19,33}; que permite evidenciar la dinámica de las coberturas, identificar las tasas de variación de cambios entre períodos y conocer si los CCUS se han mantenido inactivos y cuáles han sido los más activos.

MATERIALES Y METODOS

Lugar de Estudio

El estudio se desarrolló en el cantón La Joya de los Sachas, que posee una superficie de 1.200 Km², ubicado al norte de la Región Amazónica Ecuatoriana (RAE) (Figura 1); limita al Norte y Este con la provincia de Sucumbios, al Oeste y Sur con el cantón Francisco de Orellana. Cuenta con una población de 67.000 habitantes¹⁵.



Figura 1. Ubicación geográfica del cantón La Joya de los Sachas³⁴.

Análisis de la dinámica del CCUS

Con la cartografía base del IGM³⁴ se extrajo el archivo en formato shapefile (.shp) del cantón La Joya de los Sachas, con la finalidad de realizar recortes de los años (1990, 2000, 2008 y 2018). Posteriormente para definir la interacción de las coberturas se realizó una sobreposición cartográfica y una tabulación cruzada, empleando dos fechas (fecha 1 y fecha 2). Para este estudio se consideró 3 períodos: período 1 (1990-2000), período 2 (2000-2008), período 3 (2008-2018)^{19,37}.

Cartografía Base

El área en estudio se delimitó con la cartografía base del geo portal del Instituto Geográfico Militar (IGM)³⁴ utilizando un Sistema de Información Geográfica (SIG). Para los CCUS se utilizó la información del geo portal del Sistema Único de Información Ambiental (SUIA)^{31,35}. Los datos del SUIA fueron generados a partir de imágenes landsat 8 con resolución de píxel de 30 x 30 m, corrección atmosférica, clasificación supervisada

y post procesamiento de acuerdo con la metodología propuesta por el MAATE, donde se establecen las categorías de las coberturas (Tabla 1)³⁶.

Nivel I	División para estudio	Nivel II
Bosque	Bosque (BO)	Bosque Nativo
		Plantación Forestal
Tierra agropecuaria	Tierra agrícola (TA)	Cultivo anual
		Cultivo semipermanente
		Cultivo Permanente
		Mosaico Agropecuario
	Pastizal (PA)	Pastizal
Vegetación arbustiva y herbácea	Vegetación arbustiva y herbácea (VA)	Vegetación arbustiva
		Vegetación herbácea
		Páramo
Cuerpo de agua	Cuerpo de agua (CA)	Natural
		Artificial
Zonas antrópicas	Zonas antrópicas (ZA)	Área poblada
		Infraestructura
Otras Tierras	Otras tierras (OT)	Área sin cobertura
		Glaciar

Fuente: Ministerio de Ambiente ³⁵.

Tabla 1. Capas de cobertura disponibles en el geo portal del Ministerio de Ambiente

Matriz de tabulación cruzada

A partir de la matriz de tabulación cruzada se estimó la tasa de cambio por año (S), el cambio total (Ct), el cambio neto (Cn), la ganancia (Gj), la pérdida (Li) y la estimación del intercambio (Int) entre coberturas. Al final de la matriz de tabulación cruzada se creó una columna donde se muestra la suma de las superficies de todas las categorías en la fecha 1 (Pi+) y en la parte inferior se crea una fila donde se encuentra la suma total para las categorías de la fecha 2 (P+j) (adaptada de^{18,37}).

Fecha1	Fecha2				Σ fecha 1(Pi+)	(S)	Pérdida (Li)	Cambio total (Ct)	Cambio neto (Cn)	Intercambio (Int)
	Cat 1(j)	Cat 2	Cat 3	Catj						
Cat 1(i)	Pij	P12	P13	P1j	P1+		P1+-P11	L + G	Ct-Int	2*min(L,G)
Cat 2	P21	P22	P23	P2j	P2+	P2+-P22				
Cat 3	P31	P32	P33	P3j	P3+	P3+-P33				
Cati	Pi1	Pi2	Pi3	Pij	Pi+					
Σ fecha 2 (P+j)	P+1	P+2	P+3	P+j						
Ganancia (Gj)	P+1-P11	P+2-P22	P+3-P33							

Nota: Categoría (Cat), Pij (Casilla donde el área se mantiene), fecha 1 (Fecha inicial), fecha 2 (Fecha final).

Tabla 2. Matriz de tabulación cruzada para estimar el cambio de cobertura por año.

Para conocer si la tasa de cambio anual (S)³⁹ es negativa o positiva se aplicó la ecuación 1. Si es positiva significa que la cobertura tuvo un crecimiento en área para ese período y si es negativa indica que se produce una pérdida de área en ese período.

$$s (\%) = \left(\left(\frac{S_2}{S_1} \right)^{\frac{1}{t_2-t_1}} - 1 \right) * 100 \quad (1)$$

Donde; S1 y S2: superficies de CCUS en la fecha inicial y final; t1 y t2: fecha inicial y final del análisis.

En la ecuación 2, la ganancia (Gj) se calculó con la diferencia entre el área total de la categoría j en la fecha 2 ($\sum(P+j)$) y el área que no tiene cambios en esa fecha (Pjj). Mientras que la ecuación 3, se utilizó para conocer la ganancia en porcentaje (Gj%) que se obtiene a partir de la división de (Gj) para el área total de todas las categorías en la fecha 2 ($\sum(P+j)$).

$$G_j = (\sum(P + j) - (P_{jj})) \quad (2)$$

$$G_j\% = \left(\frac{G_j}{\sum(P+j)} \right) * 100 \quad (3)$$

Para determinar la pérdida (Li) se aplicó la ecuación 4 y 5, es la diferencia entre el área total de una categoría y la fecha 1 ($\sum P_i+$) y la persistencia, (Pjj). Mientras que la pérdida en porcentaje (Li%) es la relación de la pérdida (Li) con la suma total de la pérdida ($\sum P_i+$) y la para la fecha 2.

$$L_i = (\sum P_i +) - (P_{jj}) \quad (4)$$

$$L_i\% = \left(\frac{L_i}{\sum(P_i+)} \right) * 100 \quad (5)$$

Para calcular el intercambio entre categorías (Int) se utilizó la fórmula 6 y 7, y se realizó dos veces el cálculo del valor mínimo de las ganancias y las pérdidas de área en cada cobertura. Esta información ayuda a identificar el proceso de pérdida de una determinada cobertura en un lugar y la ganancia simultánea de otra cobertura.

$$Int \ 2 \ MIN ((\sum P_i+) - (P_{jj}), (\sum P_j) - (P_{jj})) \quad (6)$$

$$Int\% = 2 \times MIN (L_i\%, G_j\%) \quad (7)$$

Para calcular el cambio total (CT) a nivel de categoría (Ct) se suma el cambio neto (Cn) y el intercambio (Int), o bien, se realiza la suma de las ganancias (Gj) y las pérdidas (Li).

$$C_t = C_n + Int \ \text{ó} \ C_t = \sum G_l + \sum L_i \quad (8)$$

$$C_t\% = C_n\% + Int\% \ \text{ó} \ C_t\% = \sum G_l\% + \sum L_i\% \quad (9)$$

Serie de tiempo de coberturas

La serie de tiempo permitió describir los cambios que ha tenido las coberturas para los años evaluados. Para que las coberturas puedan ser comparables los datos fueron normalizados con (Log10); sin embargo, para visualizar los valores reales de las superficies para los CCUS se observó las etiquetas por año⁴⁰.

RESULTADOS

Mapas de Cobertura y Usos de Suelo

En la Figura 2. se puede observar que en La Joya de los Sachas en los años 1990, 2000, 2008 y 2018 se produjo un aumento en la superficie de tierra agrícola (TA), pastizales (PA) zonas antrópicas (ZA) y otras tierras (OT). Además, se puede observar los cuerpos de agua (CA), vegetación arbustiva (VA) y bosque (BO).

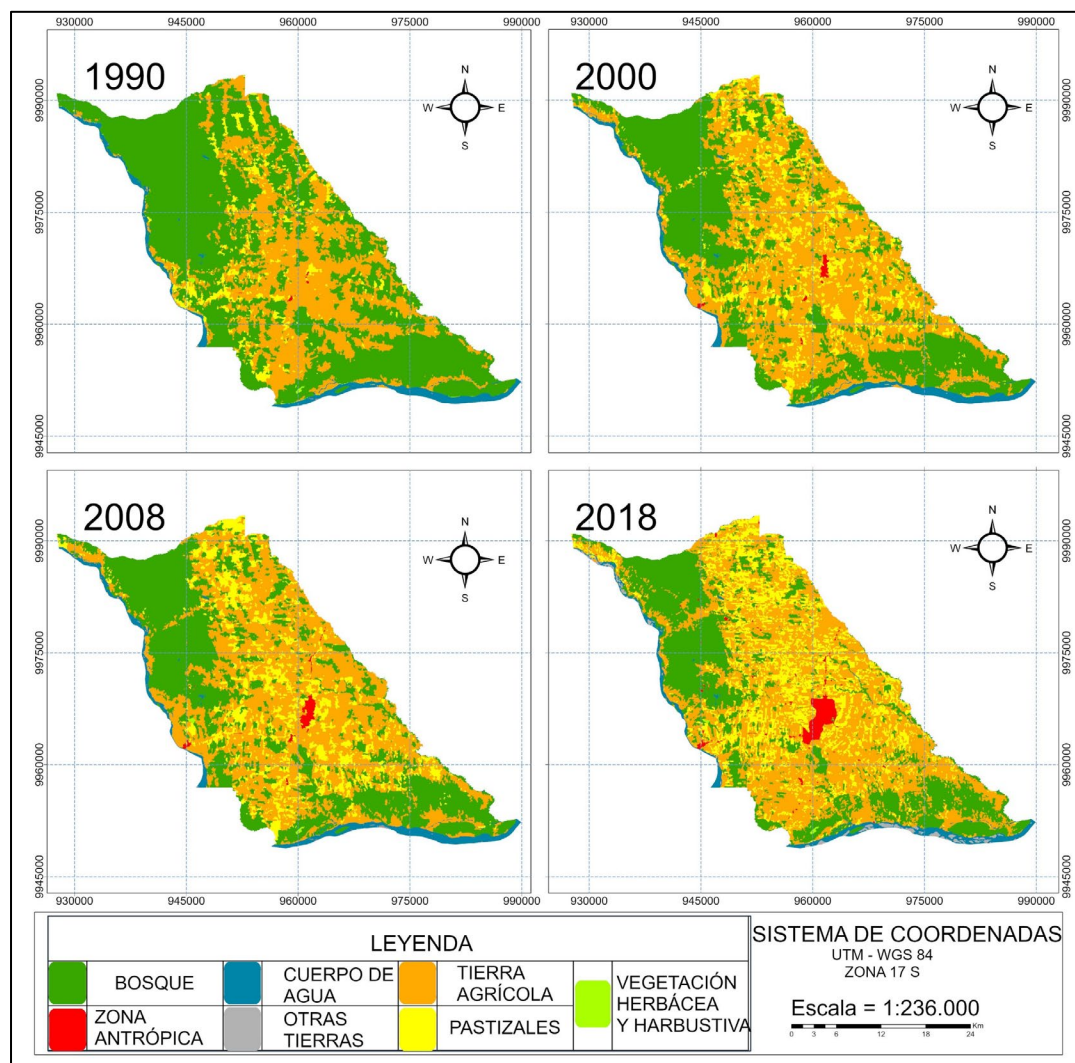


Figura 2. Mapas de cobertura y uso del suelo del Cantón La Joya de los Sachas

Tasas e índices de cambio

Durante el período de estudio de 28 años en La Joya de los Sachas, se observó un crecimiento positivo en la zona antrópica (ZA), con una tasa de cambio del 13% ($70,9 \text{ ha} \cdot \text{año}^{-1}$). Le siguió el grupo de otras tierras (OT), que abarcó el 11,5% ($32,8 \text{ ha} \cdot \text{año}^{-1}$) de crecimiento. Dentro de este grupo, se identificó que las categorías de pastizal (PA) y tierra agrícola (TA) presentaron las tasas de crecimiento más bajas, con un 4,9% ($598,8 \text{ ha} \cdot \text{año}^{-1}$) y 1,4% ($629,5 \text{ ha} \cdot \text{año}^{-1}$) respectivamente. Además, se encontraron pérdidas de cobertura en ciertas categorías, evidenciadas por tasas negativas. La vegetación arbustiva herbácea (VA) experimentó una tasa de cambio de -3,6% ($5,1 \text{ ha} \cdot \text{año}^{-1}$), seguida por el bosque (BO) con una tasa de -2,4% ($1.300,4 \text{ ha} \cdot \text{año}^{-1}$) y los cuerpos de agua (CA) con una tasa de -0,7% ($26,4 \text{ ha} \cdot \text{año}^{-1}$). Por otro lado, la categoría que más superficie perdió desde 1990 hasta 2018 fue el bosque, con una disminución de 36.413,2 ha (Figura 3).

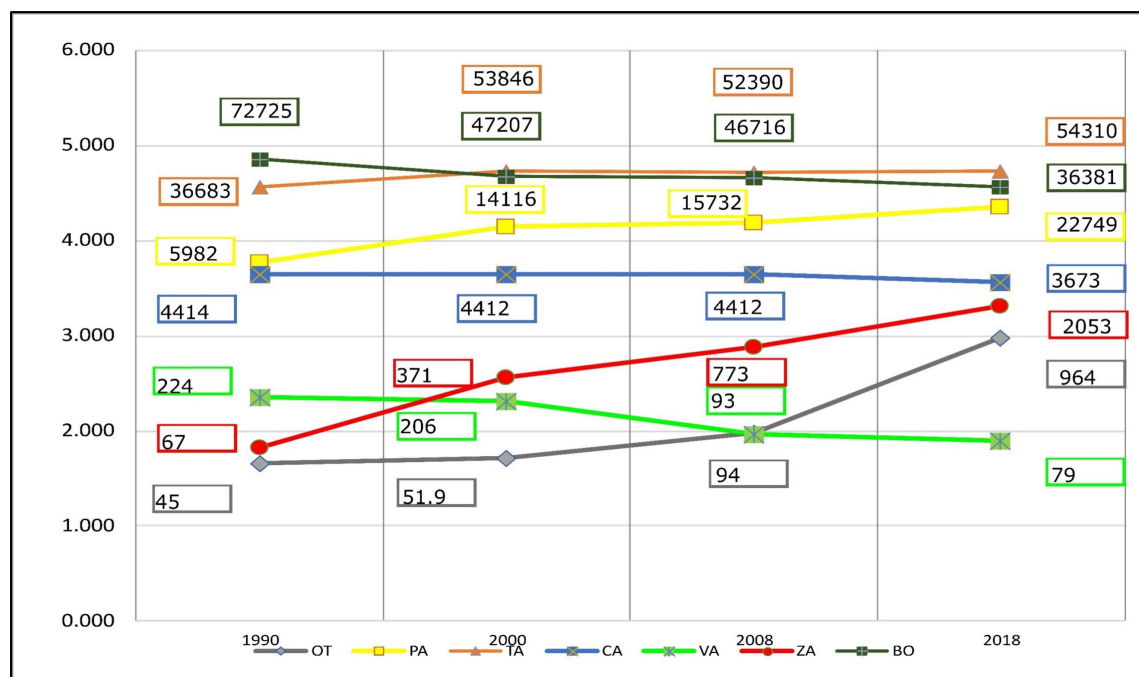


Figura 3. Cambio de las clases de cobertura y uso del suelo (ha) para los años 1990, 2000, 2008 y 2018 en el cantón La Joya de los Sachas.

Durante el primer período de análisis, se observó que la cobertura de bosque (BO) experimentó una pérdida significativa del 37,4% (27.236,8 ha). La mayor parte de esta pérdida se tradujo en la conversión de bosque a tierras agrícolas (TA) con una extensión de 22.632,1 ha, seguido de la transformación en pastizales (PA) con 4.594,1 ha. La cobertura de pastizales (PA) fue la que experimentó cambios más significativos durante este período de evaluación, con un aumento del 139,5%. Por otro lado, la cobertura tierra agrícola (TA) obtuvo la mayor ganancia en área, con un incremento de 26.508,3 ha. En cuanto a la cobertura vegetación arbustiva (VA), se observó un cambio neto del 7,2% y una pérdida del 14,5%. Por otro lado, la cobertura zonas antrópicas (ZA) no experimentaron pérdidas, pero si mostraron ganancias con un incremento de 371,3 ha.

1990	2000 (ha)							Σ 1990 (ha)	Li (ha)	%					
	BO	CA	OT	PA	TA	VA	ZA			S	Li	Gj	Ct	Cn	Int
BO	45558,3	0,0	10,5	4594,2	<u>22632,1*</u>	0,0	0,1	72795,1	27236,8	-4,2	37,4	3,5	40,9	33,9	7,0
CA	0,0	4412,8	0,0	0,0	0,0	0,0	<u>1,7</u>	4414,5	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
OT	0,0	0,0	28,6	0,0	<u>15,2</u>	1,8	0,0	45,6	17,0	1,3	37,3	45,0	82,3	7,7	74,6
PA	189,0	0,0	0,0	1809,0	<u>3832,4</u>	4,9	147,0	5982,2	4173,3	9,0	69,8	87,2	156,9	17,4	139,5
TA	1460,1*	0,0	11,7*	<u>7710,2*</u>	27338,1	8,3*	155,0*	36683,4	9345,3	3,9	25,5	49,2	74,7	23,8	51,0
VA	0,0	0,0	1,1	2,8	<u>28,7</u>	191,5	0,0	224,0	32,5	-0,8	14,5	7,2	21,8	7,3	14,5
ZA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	<u>67,6</u>	67,6	0,0	18,6	0,0	81,8	100,4	100,4	0,0
Σ2000 (ha)	47207,4	4412,8	51,9	14116,1	53846,5	206,4	371,3	120201,4							
Gj (ha)	1649,1	0,0	23,4	12307,2	26508,4	14,9	303,8								

Nota: *ganancias notables para las coberturas del 2008, subrayado pérdidas notables para coberturas de 2000, S: tasa de cambio, Li: pérdidas, Gj: ganancias, Ct: cambios totales, Cn: cambios netos, Int: Intercambio.

Tabla 3. Tasa de cambio anual e índices de cambios del período 1 (1990 – 2000).

En el análisis del período 2, se determinó que la cobertura BO tuvo una pérdida de 5.274 ha y la cobertura CA presentó una ganancia del BO de 0,04 ha. La cobertura OT, obtuvo una ganancia de cobertura del 37,9% y la cobertura TA presentó la ganancia más representativa de 44,7 ha, es decir la cobertura disminuyó porque tuvo un cambio neto del 2% y una tasa de cambio anual de -0,3%. La cobertura PA tuvo un cambio total de cobertura en este período del 121%, pero solo el 4,3% corresponde a un cambio neto de cobertura, porque las ganancias 62,6% y pérdidas 58,3% son similares. La cobertura VA presentó una tasa de cambio anual negativa de -9,5% en cambio, la cobertura ZA presentó una ganancia del 52% (Tabla 4).

2000	2008 (ha)							Σ 2000 (ha)	Li (ha)	S	Li	Gj	Ct	Cn	Int
	BO	CA	OT	PA	TA	VA	ZA			%					
BO	41933,1	0,0	1,5	694,1	<u>4569,9</u>	0,0	8,7	47207,4	5274,3	-0,1	11,2	10,2	21,4	0,9	20,5
CA	0,0	4412,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4412,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
OT	2,6	0,0	44,0	0,0	<u>5,3</u>	0,0	0,0	51,9	7,9	7,7	15,3	53,2	68,5	37,9	30,6
PA	66,0	0,0	0,0	5880,5	<u>7960,8*</u>	0,0	208,8*	14116,1	8235,6	1,4	58,3	62,6	121,0	4,3	116,7
TA	4708,9*	0,0	44,7*	<u>9154,1*</u>	39753,6	0,5*	184,6	53846,5	14092,8	-0,3	26,2	24,1	50,3	2,1	48,2
VA	6,0	0,0	3,8	3,5	<u>100,4</u>	92,8	0,0	206,4	113,6	-9,5	55,1	0,5	55,5	54,6	1,0
ZA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	371,3	371,3	0,0	9,6	0,0	52,0	52,0	52,0	0,0
Σ 2008 (ha)	46716,7	4412,8	94,1	15732,2	52390,0	93,2	773,5	120212,5							
Gj (ha)	4783,6	0,0	50,1	9851,7	12636,	0,5	402,1								

Nota: *ganancias notables para las coberturas del 2008, subrayado pérdidas notables para coberturas de 2000, S: tasa de cambio, Li: pérdidas, Gj: ganancias, Ct: cambios totales, Cn: cambios netos, Int: Intercambio.

Tabla 4. Tasa de cambio anual e índices de cambios del período 2 (2000-2008).

Durante el período 3, las coberturas que sufrieron mayores pérdidas fueron BO con el 27,2 %, la cobertura CA con 23,7% y la cobertura OT con 26,2%. La cobertura PA tuvo el mayor intercambio 114,8%, está tendencia se observó desde el primer período. La mayor pérdida (8.307,3 ha) y ganancia (14.025,2 ha) la obtuvo la cobertura TA, aunque en el segundo periodo esta cobertura presentó una tasa negativa; sin embargo, en este período se observa una tasa positiva de 0,4%, colocándola como la cobertura, con mayor superficie en el cantón con 54.310 ha. La cobertura VA continúa presentando una tasa de cambio anual negativa -1,6%. Finalmente, el análisis de la cobertura ZA, no muestra pérdidas, pero si presenta 62,3% de ganancia de otras coberturas (Tabla 5).

2008	2018 (ha)							Σ 2008 (ha)	Li (ha)	S	Li	Gj	Ct	Cn	Int
	BO	CA	OT	PA	TA	VA	ZA			%					
BO	33987,0	13,9	13,7	2012,1	<u>10623,7*</u>	1,4	65,0	46716,7	12729,7	-2,5	27,2	6,6	33,8	20,7	13,2
CA	6,2	3368,8	895,9*	12,1	<u>129,4</u>	0,0	0,4	4412,8	1044,0	-1,8	23,7	8,3	32,0	15,4	16,6
OT	0,0	<u>43,9</u>	42,8	0,0	7,3	0,0	0,0	94,1	51,2	26,2	54,5	95,6	150,0	41,1	108,9
PA	196,3	23,2	0,0	6700,3	<u>8307,3</u>	0,0	505,0	15732,2	9031,9	3,8	57,4	70,5	128,0	13,1	114,8
TA	2191,7*	224,0*	12,0	<u>14025,2*</u>	35224,7	2,7*	709,6*	52390,0	17165,3	0,4	32,8	35,1	67,9	2,4	65,5
VA	0,6	0,0	0,0	0,0	<u>17,5</u>	75,2	0,0	93,2	18,1	-1,6	19,4	5,1	24,5	14,3	10,2
ZA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	773,5	773,5	0,0	10,3	0,0	62,3	62,3	62,3	0,0
Σ 2018 (ha)	36381,9	3673,9	964,4	22749,8	54310,0	79,2	2053,4	120212,5							
Gj (ha)	2394,9	305,1	921,5	16049,4	19085,2	4,1	1280,0								

Nota: *ganancias notables para las coberturas del 2018, subrayado pérdidas notables para coberturas de 2008, S: tasa de cambio, Li: pérdidas, Gj: ganancias, Ct: cambios totales, Cn: cambios netos, Int: Intercambio.

Tabla 5. Tasa de cambio anual e índices de cambios periodo 3 (2008-2018).

DISCUSIÓN

La Ley de Reforma Agraria creada en 1964, promovió el incremento de la productividad agropecuaria y la adjudicación de tierras⁴¹ y, por otra parte, el ingreso de las empresas petroleras en el año 90 en la Amazonía Ecuatoriana⁴² provocó una migración masiva de personas de otras regiones del país a esta región, desencadenando cambios profundos en la cobertura y uso de suelo. Una evidencia palpable de estos cambios es el incremento del 160% de la población desde el año 1990 (16.193 habitantes)⁴³ al año 2001 (26.363 habitantes)⁴⁴.

Durante el primer período de evaluación se determinó que las zonas antrópicas que comprende principalmente las vías de transporte e infraestructura muestran una tasa de crecimiento anual del 18,6%, debido al aumento de la población y la necesidad de movilización⁴⁵. La deforestación de la cobertura boscosa fue negativa para este período, presentando la mayor tasa de cambio anual -4,24% que corresponde a una superficie de 22.632 ha y un incremento en la superficie de tierras agrícolas de 53.846,5 ha. Este comportamiento fue corroborado por Mena⁴⁶ y Camacho-López et al.²³ quienes consideran que la cobertura más afectada en este período fue el bosque de la Amazonía ecuatoriana.

Para el periodo 2, se observó tasas de cambio anual menores en todas las coberturas. La cobertura de tierras agrícolas y bosque disminuyó (52.390,0 y 46.716,7 ha, respectivamente) con respecto al período 1 (53.846,48 y 47.207,4 ha, respectivamente). Aunque en este período se produjo esta ligera disminución de las tasas de cambio, la promoción de la ley de Desarrollo Agrario continuó fomentándose en el país⁴⁷, esto se evidenció con el III Censo Nacional Agropecuario del año 2002⁴⁸, donde se demostró que en el año 2000 el 40% de la población ecuatoriana se dedicaba a la agricultura; sin embargo, con el feriado bancario y la dolarización la mayoría de la población empezó a emigrar a otros países. Una de las consecuencias de la migración fue el abandono de los campos⁴⁹. Otro fenómeno importante en este período es el comportamiento de las zonas antrópicas, debido a que presentaron una tasa positiva de cambio anual 9,61%, este comportamiento posiblemente se debió a la alta inversión de la filial de Petroecuador (Petro producción) en el área de explotación petrolera para mejorar la red vial e infraestructura⁴⁵.

Durante el periodo 3, el fenómeno que afectó la agricultura, el Cambio de cobertura y Uso del suelo (CCUS) fue la “Revolución Ciudadana”, que según Freidenberg⁵⁰ “La revolución Ciudadana era un proyecto social y político sin precedentes en la historia sociopolítica del Ecuador”. En este proyecto político se incluye en la constitución del Ecuador la creación de la Ley Orgánica del Régimen de Soberanía Alimentaria en la que incluye el Buen vivir y el derecho a la alimentación de los ecuatorianos. Este derecho plasmado en la constitución en este período promovió el cambio de la matriz productiva lo que se vio reflejado en el aumento de la superficie de las tierras cultivadas (54.310,0 ha) y pastizales (22.749,8 ha). Históricamente el cantón La Joya de los Sachas se ha formado por personas dedicadas al área agropecuaria y esto es visible en el cambio del paisaje de la actualidad¹⁵.

CONCLUSIONES

El ritmo acelerado del proceso de deforestación transformó de manera drástica el paisaje del cantón La Joya de los Sachas, disminuyendo el área de bosque del 60,6% a 30,2 % en un periodo de 28 años, con un ritmo de pérdida de masa boscosa de 1.300,5 ha*año⁻¹, situación que debería ser analizada por las autoridades locales tomadores de decisiones, debido a que si se continúa con esta tendencia en 30 años aproximadamente el cantón no contará con masa boscosa significativa.

Ante la pérdida de bosque, el crecimiento de la frontera agrícola sigue avanzando al mismo ritmo que el proceso de deforestación; en estos 28 años las actividades agrícolas y la ganadería muestran una ganancia acumulada de 17.626,5 ha y 16.767,6 ha respectivamente. En el año 2018 (período 3) el 45,17 % de la

cobertura de uso de suelo se utilizó para la producción agrícola y el 18.97% para la ganadería. Por otra parte, las actividades relacionadas a infraestructura y vialidad tienen 2.053 ha, pero ha venido creciendo desde el primer periodo por el aumento demográfico del cantón y la necesidad de mejorar la red vial por cuestiones logísticas.

El uso de los SIG permitieron determinar, que las políticas públicas tuvieron un impacto directo e indirecto en los CCUS; por esta razón, se debería considerar estos hallazgos como un llamado de atención para utilizar herramientas que permitan tener una visión más holística de las causas y efectos que ocasiona la implementación de políticas públicas sobre la dinámica paisajística y socioeconómica de la localidad, con la finalidad de promover el uso de nuevos modelos de gestión agrícola, como el desarrollo de economías circulares, uso de tecnologías de producción sostenible que ayudarán a minimizar la ampliación de la frontera agrícola logrando así una adecuada planificación y gestión territorial.

Contribuciones de los autores: Conceptualización: FPA y LTJ; metodología: FPA; software: CCY; validación: FPA, YVT y CCY; análisis formal: FPA; investigación: LTJ y FPA; Depuración de datos: CCY; redacción-preparación del borrador original: FPA; revisión y edición, LTJ, CCY y YVT; visualización: YVT; supervisión: LTJ; administración del proyecto: LTJ; adquisición de fondos: FPA. Todos los autores han leído y aceptado la publicación de este manuscrito.

Financiamiento: Este manuscrito no recibió financiamiento externo.

Agradecimientos: Al Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) y al Fondo de Investigación de la Agrobiodiversidad, Semillas y Agricultura Sustentable (FIASA) por el financiamiento y apoyo en la ejecución de este proyecto de investigación.

Conflictos e intereses: Los autores declaran no tener conflicto de intereses

REFERENCIAS

1. Little MA, Dyson-Hudson N, Dyson-Hudson R, Ellis JE, Swift DM. Human biology and the development of an ecosystem approach. En: *The ecosystem concept in anthropology*. Routledge; 2019. p. 103–31.
2. Romera CJ. La humanidad en su hábitat: técnicas de adaptación y de hegemonía. *Boletín CF+ S*. 2014;(37):11–8.
3. Merino MM. La Revolución Neolítica: ¿por qué adoptar la agricultura y una forma de vida sedentaria [Internet]. April; 2017 [citado el 26 de junio de 2023]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/327837708_La_Revolucion_Neolitica_por_que_adoptar_la_agricultura_y_una_forma_de_vida_sedentaria
4. Wells JCK, Stock JT. Life History Transitions at the Origins of Agriculture: A Model for Understanding How Niche Construction Impacts Human Growth, Demography and Health. *J Frontiers in Endocrinology*. el 21 de mayo de 2020; 11:1–29.
5. Riechmann J. ¿Somos demasiados? Reflexiones sobre la cuestión demográfica. *Papeles de relaciones eco sociales y cambio global*. 2019;148:13–38.
6. García L. En los albores de la Humanidad: La revolución agrícola y sus consecuencias. Libro de Actas [Internet]. 2019 [citado el 24 de agosto de 2022];86. Disponible en: http://apfa.ugr.es/pages/_documentos/publicaciones/libroactasxxvaniversarioapfa/#!/page=104
7. Martínez-Centeno AL, Sobalvarro KKH. La revolución verde. *R Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*. 2018;4(8):1040–52.
8. Reyes-Palomino SE, Cano Ccoa DM, Reyes-Palomino SE, Cano Ccoa DM. Efectos de la agricultura intensiva y el cambio climático sobre la biodiversidad. *J of High Andean Research* [Internet]. el 21 de febrero de 2022 [citado el 24 de agosto de 2022];24(1):53–64. Disponible en: <https://huajs-apata.unap.edu.pe/index.php/ria/article/view/328>

9. Sial A, Shankar T, Praharaj S, Sahoo U, Maitra S. Intensive Farming: It's Effect on the Environment. *Indian Journal of Natural Sciences* [Internet]. diciembre de 2021 [citado el 24 de agosto de 2022];12(69):37480–7. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/357423421_Intensive_Farming_It's_Effect_on_the_Environment
10. Ramankutty N, Evan AT, Monfreda C, Foley JA. Farming the planet: 1. Geographic distribution of global agricultural lands in the year 2000. *R Global Biogeochem Cycles*. 2008;22(1):1–19.
11. Marcillo JLM. Monoculturas in the Vinces river basin (Ecuador) and their relationship between the supply of water for irrigation. *RIAT: R Interamericana de Medioambiente y Turismo*. 2021;17(2):113–23.
12. Lasso González G. La disputa de territorios en torno al sistema agroalimentario ecuatoriano. Estrategias de poder y resistencia, procesos de territorialización y desterritorialización [Internet] [Doctoral Thesis]. [Barcelona]: Universitat Autònoma de Barcelona; 2019 [citado el 28 de junio de 2023]. Disponible en: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/669517/glg1de1.pdf?sequence=1>
13. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC]. Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua 2021 [Internet]. Unidad de Estadísticas Agropecuarias Quito; 2022 [citado el 29 de agosto de 2022]. p. 1–49. Disponible en: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2020/Presentacion%20ESPAC%202020.pdf
14. Varangis P, Siegel P, Giovannucci, B y Lewin, B. La crisis cafetalera: Efectos y estrategias para hacerle frente. 2002.*BID*.
15. GAD Cantón la Joya de los Sachas. Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2019 - 2023. 2019;10–543.
16. Fountas S, Wulfsohn D, Blackmore BS, Jacobsen HL, Pedersen SM. A model of decision-making and information flows for information-intensive agriculture. *R Agric Syst*. 2006;87(2):192–210.
17. Baeza S, Paruelo J. Land use/land cover change (2000–2014) in the Rio de la Plata grasslands: an analysis based on MODIS NDVI time series. *J Remote sensing*. 2020;12(3):1–22.
18. Sahagún-Sánchez FJ, Reyes-Hernández H, Sahagún-Sánchez FJ, Reyes-Hernández H. Impactos por cambio de uso de suelo en las áreas naturales protegidas de la región central de la Sierra Madre Oriental, México. *CienciaUAT* [Internet]. 2018 [citado el 22 de agosto de 2022];12(2):6–21. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-78582018000100006&lng=es&nrm=iso&tlng=es
19. Gutiérrez MF, Rodríguez-Tapia G, Mas JF. Análisis jerárquico de la intensidad de cambio de cobertura/uso de suelo y deforestación (2000-2008) en la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán, México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*. 2016;2016(90):89–104.
20. García Marín M, La deforestación: una práctica que agota nuestra biodiversidad. *R Producción + Limpia*. 2016; 11(2):161–168
21. Aznar-Sanchez JA, Piquer-Rodriguez M, Velasco-Munoz JF, Manzano-Agugliaro F. Worldwide research trends on sustainable land use in agriculture. *J Land use policy*. 2019;87:1–15.
22. Briceño N, Castillo E, Quintana J, Cruz S, López R. Deforestación en la Amazonía peruana: Índices de cambios de cobertura y uso del suelo basado en SIG. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles* [Internet]. 2019 [citado el 28 de junio de 2023];(81):1–34. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6985821.pdf>
23. Camacho-López CO, Jara-Franco NE, González-Rivadeneira JL. Análisis multitemporal de la deforestación y cambio de la cobertura del suelo en Morona Santiago. *J Polo del Conocimiento*. 2022;7(1):797–807.
24. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO]. Monitoreo de la cobertura de suelo. 2020 [citado el 23 de agosto de 2022]; Disponible en: <https://www.biodiversidad.gob.mx/monitoreo/cobertura-suelo>
25. Gallardo M, Martínez-Vega J. Cambios de usos del suelo en la Comunidad de Madrid: analizando el pasado y simulando el futuro. *Congreso Tecnologías de la información geográfica en el contexto de Cambio Global*. 2012;305–14.
26. Gutiérrez R, Romero E, Cunuhay P, Blanco G, Fonseca C. Análisis comparativo de las propiedades físico-mecánicas de la madera de Fernán Sánchez (*triplaris cumingiana* Fish. Mey.) de Quevedo y Balzar. *R Ciencia y Tecnología*. 2008;1(2):79–85.

27. Reyes Hernández H, Aguilar Robledo M, Aguirre Rivera JR, Trejo Vázquez I. Cambios en la cubierta vegetal y uso del suelo en el área del proyecto Pujal-Coy, San Luis Potosí, México, 1973-2000. *R Investigaciones geográficas*. 2006;(59):26–42.
28. Ati-Cutiupala GM, Muñoz-Jácome EA, Vistín-Guamantaqui DA, Cushquicullma-Colcha DF. Análisis de las actividades económicas de tres comunidades altoandinas y su relación con el cambio de uso de suelo y cobertura vegetal en la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo. *R Polo del Conocimiento*. 2021;6(8):552–76.
29. Flores-Vaca A. Análisis multitemporal de cambio de uso del suelo y cobertura vegetal e influencia del programa Socio Bosque, en la Parroquia NONO, periodo 1990-2016 [Internet] [Tesis de pregrado]. [Quito]: PUCE; 2018 [citado el 29 de agosto de 2022]. Disponible en: <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/15890>
30. 28. Lasso G. Territorios en disputa: un análisis de la Soberanía alimentaria en el Ecuador. Vol. 40, El futuro de la alimentación y retos de la agricultura para el siglo XXI. Barcelona; 2017. p. 1–365.
31. Ministerio de Ambiente A y transición ecológica [MAATE]. Serie cartográfica de Cobertura y Uso de la Tierra (1990, 2000, 2008, 2014, 2016, 2018) [Internet]. 2020 [citado el 25 de agosto de 2022]. Disponible en: <http://ide.ambiente.gob.ec/mapainteractivo/>
32. Ministerio de Agricultura y Pesca [MAGAP]. Geoportal del Agro - Ecuatoriano. 2023 [citado el 16 de abril de 2023]; Disponible en: <http://geoportal.agricultura.gob.ec/index.php/mapas-interactivos/2-uncategorised/37-mapa-cultivos>
33. Pontius Jr RG, Shusas E, McEachern M. Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *R Agric Ecosyst Environ*. 2004;101(2–3):251–68.
34. Instituto Geográfico Militar. Descargas IGM[Internet]. 2012 [citado el 15 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://www.geoportaligm.gob.ec/downloads/public/login>
35. Ministerio De Ambiente Agua y Transición Ecológica [MAATE]. Mapa Interactivo [Internet]. 2018 [citado el 21 de junio de 2021]. Disponible en: <http://ide.ambiente.gob.ec/mapainteractivo/>
36. Ministerio de Ambiente [MAE] y, Ministerio de Agricultura y Pesca [MAGAP]. Protocolo metodológico para la elaboración del mapa de cobertura y uso de la tierra del ecuador continental 2013 - 2014. Protocolo metodológico para la elaboración del mapa de cobertura y uso de la tierra del ecuador continental 2013 - 2014. 2015;1–49.
37. Bocco G, Mendoza M, Masera O. La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán: Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. *R Investigaciones geográficas*. 2001;(44):18–36.
38. Escobar D, Gutiérrez E, Montalvo F. Actividad del volcán Chaparrastique durante los años 2013 y 2014 Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales [MARN] Abril, 2016. 2016;1–39.
39. Food and Agriculture Organization [FAO]. Forest resources assessment 1990: survey of tropical forest cover and study of change processes. Food & Agriculture Org.; 1996. 1–152 p.
40. James G, Witten D, Hastie T, Tibshirani R. An introduction to statistical learning. Vol. 112. *R Springer*; 2013.
41. Madrid T. La política agraria en Ecuador 1965-2015. Propuestas para el Desarrollo. 2018;(II):47–8.
42. Jarrín Valladares PS, Tapia Carrillo L, Zamora G. La colonia interna vigente: transformación del territorio humano en la región amazónica del Ecuador. *Letras Verdes Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*. el 17 de octubre de 2016;(20):22.
43. Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC]. VI Censo de población y V de vivienda, Resumen Nacional. Quito. 1991 [citado el 26 de junio de 2023]; Disponible en: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Bibliotecas/Libros/Libros_Censos/19.%20V_Censo_de_Pobl_y_IV_de_Viv_1990_Resumen_Nac.pdf
44. Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC] y Fondo de Población de las Naciones Unida [UNFPA]s. Cantón Joya de los Sachas. Quito. 2002 [citado el 26 de junio de 2023]; Disponible en: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Bibliotecas/Fasciculos_Censales/Fasc_Cantoniales/Orellana/Fasciculo_La_Joya_de_los_Sachas.pdf
45. Petroecuador EP. El petróleo ecuador en el Ecuador: la nueva era petrolera. Quito: Alpallana; 2013.
46. Mena CF. Deforestación en el Norte de la Amazonía Ecuatoriana: Del patrón al proceso. *R Polémika*. 2010;2(5):58–65.

47. Peralta S, Aguilar H, Loayza A, Morejón L. Aporte del sector agropecuario a la economía del Ecuador. Análisis crítico de su evolución en el período de dolarización. Años 2000–2016. *R Espacios*. 2018;39(32):7.
48. Servicio de Información y Censo Agropecuario [SICA], Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC], Ministerio de Agricultura [MAG]. III Censo Nacional Agropecuario Ecuador: Resultados Nacionales y Provinciales. Volumen; 2002. p. 1–63.
49. Martín-Mayoral F. Estado y mercado en la historia de Ecuador: Desde los años 50 hasta el gobierno de Rafael Correa. *R Nueva Sociedad*. 2009;221:120.
50. Freidenberg F. Ecuador 2011: revolución ciudadana, estabilidad presidencial y personalismo político. *R de ciencia política* (Santiago). 2012;32(1):129–50.

Received: October 9th 2023/ **Accepted:** January 15th 2024 / **Published:** 15 February 2024

Citation: Paredes-Arcos F, Tinoco-Jaramillo L, Congo-Yépez C, Vargas-Tierras Y. Análisis multitemporal de deforestación y cambio de la cobertura del suelo, en el cantón La Joya de los Sachas, período 1990-2018. *Bionatura journal* 2024; 1 (1) 16. <http://dx.doi.org/10.70099/BJ/2024.01.01.16>

Additional information Correspondence should be addressed to leider.tinoco@iniap.gob.ec

ISSN. 3020-7886

Peer review information. Bionatura thanks anonymous reviewer(s) for their contribution to the peer review of this work using <https://reviewerlocator.webofscience.com/>

All articles published by Bionatura Journal are made freely and permanently accessible online immediately upon publication, without subscription charges or registration barriers.

Publisher's Note: Bionatura stays neutral concerning jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Copyright: © 2024 by the authors. They were submitted for possible open-access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).