

ANÁLISIS DE TRANSICIONES SISTEMÁTICAS DE LA COBERTURA Y USO DE LA TIERRA EN MORONA SANTIAGO, DURANTE EL PERIODO 2000-2018

**Analysis of systematic transitions of land cover and land use in
Morona Santiago, during the period 2000-2018**

*Análise das transições sistemáticas de ocupação e uso do solo em
Morona Santiago, durante o período 2000-2018*

• Karol Arellano-Pérez¹ • Santiago Bonilla-Bedoya²

Fecha de recepción: 19 de abril de 2025

Fecha de aceptación: 16 de junio de 2025

Doi: 10.33210/ca.v14i1.505

Cienciamérica (2025) | Vol. 14 N°. 1 | pp. 68-91

ISSN 1390-9592 ISSN-L 1390-681X

¹Área de Ambiente y Sustentabilidad. Universidad Andina Simón Bolívar. Quito-Ecuador. Correo: kdarellanoperez@gmail.com

² Centro de Investigación para el Territorio y Hábitat Sostenible (CITEHS). Universidad Indoamérica. Quito-Ecuador. Correo: santiagobonillab@hotmail.es

*K. Arellano-Pérez, and S. Bonilla-Bedoya, "Análisis de transiciones sistemáticas de la cobertura y uso de la tierra en Morona Santiago, durante el periodo 2000-2018", *CienciAmérica*, vol. 14, no. 1, pp. 68– 91, Jun. 2025, DOI: 10.33210/ca.v14i1.505.

RESUMEN

INTRODUCCIÓN. El análisis de transiciones sistemáticas mediante métricas específicas permite identificar patrones de cambio causales y aleatorios entre las categorías de cobertura y uso de la tierra en un área de estudio. **OBJETIVO.** Analizar los cambios e identificar las transiciones sistemáticas más prevalentes en la cobertura y uso de la tierra de la provincia de Morona Santiago durante el periodo 2000-2018. **MÉTODO.** Se utilizó el método de análisis de matriz de tabulación cruzada que, mediante el cálculo de métricas como ganancias, pérdidas, intercambios, cambios netos y cambios totales, permitió identificar transiciones sistemáticas en dos periodos 1) 2000-2008 y 2) 2008-2018. **RESULTADOS.** Las transiciones sistemáticas predominantes para ambos periodos de análisis, corresponden a la pérdida de "Bosque" para ser reemplazado por "Tierra Agropecuaria", y a la ganancia de "Tierra agropecuaria" para sustituir a "Bosque". **DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.** Estas transiciones no responden a procesos de intercambio aleatorio, sino a una relación de causalidad, evidenciada por un patrón clásico de deforestación en forma de espina de pescado, caracterizado por la reducción de bosque y el incremento de tierras agropecuarias, un fenómeno común y ampliamente documentado en la Amazonía ecuatoriana.

PALABRAS CLAVE

Cambio de cobertura y uso de la tierra, tabulación cruzada, tasas de transición, transiciones sistemáticas.



ABSTRACT

INTRODUCTION. The analysis of systematic transitions using specific metrics allows the identification of causal and random patterns of change between land cover and land use categories in a study area. **OBJECTIVE.** To analyze changes and identify the most prevalent systematic transitions in land cover and land use in the province of Morona Santiago during the period 2000-2018. **METHOD.** This paper employs cross-tabulation matrix analysis that, by calculating metrics such as gains, losses, exchanges, net changes and total changes, allows the identification of systematic transitions in two periods: 1) 2000-2008 and 2) 2008-2018. **RESULTS.** The predominant systematic transitions for both periods of analysis correspond to the loss of "Forest" to be replaced by "Agricultural Land", and the gain of "Agricultural Land" to replace "Forest". **DISCUSSION AND CONCLUSIONS.** These transitions are driven not by random exchanges but by a clear causal relationship, as shown by the classic "fishbone" pattern of deforestation, a well-documented phenomenon in the Ecuadorian Amazon, marked by shrinking forest cover and expanding agricultural land.

KEYWORDS

Land cover and land use change, cross-tabulation, transition rates, systematic transitions.



RESUMO

INTRODUÇÃO. A análise de transições sistemáticas utilizando métricas específicas permite a identificação de padrões causais e aleatórios de mudança entre categorias de ocupação e uso do solo numa área de estudo. **OBJECTIVO.** Analisar as mudanças e identificar as transições sistemáticas mais prevalentes na cobertura e uso do solo na província de Morona Santiago durante o período 2000-2018. **MÉTODO.** Foi utilizado um método de análise de matriz de tabulação cruzada que, através do cálculo de métricas como ganhos, perdas, trocas, mudanças líquidas e mudanças totais, nos permitiu identificar transições sistemáticas em dois períodos 1) 2000-2008 e 2) 2008-2018. **RESULTADOS.** As transições sistemáticas predominantes para ambos os períodos de análise correspondem à perda de "Floresta" para ser substituída por "Terras Agrícolas", e ao ganho de "Terras Agrícolas" para substituir "Floresta". **DISCUSSÃO E CONCLUSÕES.** Estas transições não respondem a processos de troca aleatórios, mas antes a uma relação causal, evidenciada por um padrão clássico de desflorestação em espinha de peixe, caracterizado pela redução da floresta e pelo aumento das terras agrícolas, um fenómeno comum e amplamente documentado na Amazónia equatoriana.

PALAVRAS-CHAVE

Mudança na cobertura e uso da terra, tabulação cruzada, taxas de transição, transições sistemáticas.



INTRODUCCIÓN

El cambio climático hace referencia a la rápida alteración del clima global debido al aumento de gases de efecto invernadero (GEI) originados por actividades humanas [1]. El sexto informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) respecto a mitigación, indica que, entre 2010 y 2019, la agricultura, silvicultura, otros usos del suelo y los sistemas alimentarios representaron entre el 13 % y 21 % de las emisiones antropogénicas globales de GEI, siendo el cambio en el uso de la tierra el principal factor que impulsa los flujos netos de emisiones de CO₂ de este sector [2].

Desde la década de 1970, la actividad humana en la Amazonía se vio caracterizada por una rápida expansión de prácticas agrícolas y extractivas [3]. Esto generó cambios significativos en la cobertura y uso de la tierra, principalmente se presentaron procesos de deforestación y degradación forestal, con diferencias marcadas según las condiciones económicas, ambientales, sociales y políticas de cada país de la región amazónica [4].

En la Amazonía ecuatoriana, este modelo extractivista la consolidó como una región estratégica a nivel geopolítico, cuyo rol proveedor de materias primas para el mercado nacional como internacional, aumentó áreas para la extracción de petróleo, minerales y recursos forestales, sin lograr una diversificación económica hasta la actualidad [5], [6]. Este rol asignado y contrario al de su vocación natural ecológica, ha contribuido directa e indirectamente en el aumento de los niveles de deforestación y demás impactos negativos asociados [7]. Aunque los gobiernos de turno han argumentado que este modelo impulsa la economía y el desarrollo social a escala nacional, la región sigue siendo una de las más empobrecidas del país [8].

Entre 1990 y 2000, en el norte de la Amazonía ecuatoriana, la expansión de áreas agropecuarias y la apertura de vías de acceso a pozos petroleros desencadenaron una considerable degradación forestal [6]. En contraste, en el sur, las áreas agropecuarias

aumentaron en menor intensidad, concentrándose cerca de la red vial transamazónica [9]. Entre 2000 y 2008, en el norte la contaminación y degradación de suelos por actividad petrolera redujo áreas agropecuarias, obligando a productores a migrar hacia tierras más fértiles, lo que expandió la frontera agrícola [10]. Mientras, en el sur, la actividad agrícola orientada a la producción pecuaria se expandió con limitada asistencia técnica, resultando una alta concentración de pastos cultivados [6].

En la actualidad, Morona Santiago es habitada por pueblos indígenas Shuar y Achuar, y colonos no indígenas dedicados generalmente a actividades de agricultura y ganadería [11]. Desde la década de 1950, la provincia experimentó cambios significativos en la cobertura y uso de la tierra debido a políticas de reforma agraria que incentivaron la colonización [12]. Este proceso impulsó la construcción de carreteras, lo que resultó en un rápido desbroce de tierras [13]. En la década de 1970, el acceso a créditos para la ganadería aceleró la deforestación, dejando intactos solo los bosques más alejados de las vías principales, en el oriente de la provincia [14]. A finales de los años 80, la colonización se estabilizó a falta de la construcción de nuevas carreteras [13]. Actualmente, actividades como la expansión no planificada de ganadería bovina, la apertura de nuevas vías, la tala ilegal, los monocultivos y las industrias extractivas, continúan transformando la cobertura y uso de la tierra de la provincia [15], [16], [17], [18].

El monitoreo de cobertura y uso de la tierra proporciona información clave para líderes políticos, comunidades indígenas y organizaciones civiles, en apoyo a la toma de decisiones, formulación de políticas e implementación de estrategias, para contrarrestar la pérdida de cobertura forestal, biodiversidad y reducir las emisiones de GEI [19], [20]. En Ecuador, el Ministerio de Agua, Ambiente y Transición Ecológica (MAATE) genera información geográfica de cobertura y uso de la tierra del territorio continental mediante el análisis de imágenes satelitales, y a partir del cruce de estas capas, se pueden calcular distintas métricas de interés para estudios específicos [21].

Los métodos estadísticos comúnmente utilizados para interpretar cambios de cobertura y uso de la tierra, no suelen considerar de manera adecuada la persistencia de patrones, lo que limita su capacidad para identificar las señales más significativas de cambio [22]. En este contexto, el método propuesto por [23] introduce métricas que resaltan las diferencias entre los cambios esperados y observados, permitiendo identificar patrones que corresponden a transiciones sistemáticas y descartando aquellas influenciadas por aleatoriedad. Esto facilita la vinculación de dichos patrones con procesos subyacentes como actividades humanas o fenómenos naturales.

Por lo tanto, el presente estudio busca analizar los cambios en la cobertura y uso de la tierra de la provincia de Morona Santiago durante el periodo 2000-2018, utilizando el método estadístico de [23], con la finalidad

de identificar las transiciones sistemáticas más prevalentes, y vincularlas con sus causas subyacentes.

MÉTODO

Área de estudio

La provincia de Morona Santiago se sitúa en la zona centro-sur de la Región Amazónica Ecuatoriana (RAE). Según los límites oficiales establecidos por el Comité Nacional de Límites Internos (CONALI), su superficie es de aproximadamente 24.000 km², lo que equivale al 9% del territorio nacional, siendo la segunda provincia más extensa del país después de Pastaza [11].

Como se muestra en la Figura 1, Morona Santiago limita con seis provincias: al norte con Tungurahua y Pastaza, al sur con Zamora Chinchipe y Azuay, al oeste con Cañar y Chimborazo, y al este con Pastaza y Tungurahua.

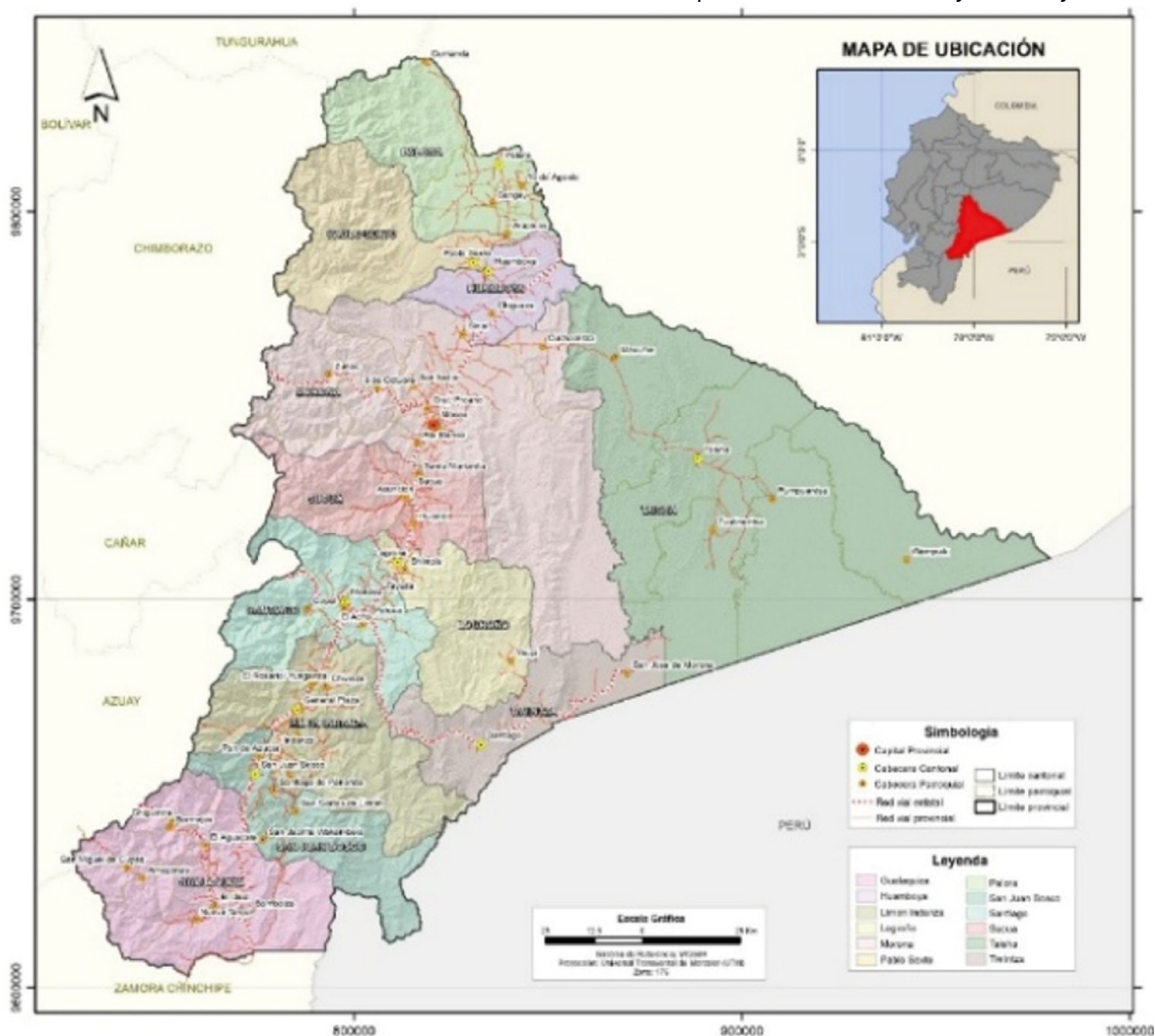


Figura 1. Organización territorial de Morona Santiago. Elaboración propia a partir de información cartográfica oficial a escala nacional.

borazo y al este con Perú. Está compuesta por 12 cantones y 58 parroquias, su capital provincial es Macas, ubicada en el cantón Morona, en el centro-norte de la provincia [24].

En cuanto a las características fisiográficas de la provincia, la altitud varía entre los 200-5000 msnm, con las zonas más altas en la cordillera andina (oeste) y las más bajas en la llanura Amazónica (este). Las temperaturas oscilan entre los 6°C y 28°C, y la humedad relativa supera el 80%. La precipitación es constante, entre 750 y 6000 mm anuales, sin una estación seca marcada [25]. Los ecosistemas de alta biodiversidad representan el 33% del territorio, están protegidos dentro del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) y los Bosques y Vegetación Protectora (BVP), abarcando un 17% y 16% del territorio, respectivamente.

Recopilación y tratamiento de información oficial de cobertura y uso de la tierra

A nivel nacional, el MAATE genera información geográfica de cobertura y uso de la tierra en el territorio continental a escala 1:100.000. Para ello, analiza imágenes satelitales de mediana resolución (Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+ y Landsat 8 OLI), y las complementa con el uso de ortofotos y mosaicos para completar vacíos de información. Este procedimiento, permite establecer una clasificación precisa que identifica la cobertura y uso de la tierra para una fecha de interés [21].

Las clases de cobertura y uso de la tierra que genera el MAATE, presentan dos niveles de leyenda (Ver Tabla 1), el primer nivel hace referencia a las 6 clases establecidas por el IPCC a nivel mundial; y el segundo nivel corresponde a las 16 subclases definidas en talleres realizados por entidades responsables de generar esta información: MAATE, Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) y el Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE) adscrito actualmente al Instituto Geográfico Militar (IGM) [26].

Para este estudio se establecen dos periodos de análisis: a) 2000-2008 (8 años) y b) 2008-2018 (10 años). Estos fueron seleccionados debido a la disponibilidad de datos oficiales sobre cobertura y uso de la tierra

a nivel provincial, y considerando que en estudios afines [23], [27], [28], [29], también existe una similitud en el intervalo temporal de los periodos para análisis de transiciones sistemáticas.

Desde el Geoportal oficial del MAATE, se descargan las capas de información geográfica (.shp) de cobertura y uso de la tierra a escala nacional para los años de análisis: 2000, 2008 y 2018. Estas capas con sistema de referencia WGS84 y proyección UTM 17S, se transforman en formato ráster (.tiff) con un tamaño de pixel de 30 metros, correspondiente a la escala 1:100 000, con la cual se genera originalmente esta información. Luego en función de la capa geográfica de límites oficiales del CONALI, se extrae la información de cobertura y uso de la tierra para la provincia de Morona Santiago.

Para la cuantificación de cambios se utilizará el primer nivel de leyenda de cobertura y uso de la tierra generada por el MAATE, basado en las 6 clases establecidas por el IPCC (MAE 2017b). Finalmente, el cruce de capas cobertura y uso de la tierra entre dos fechas de interés (T1 y T2), permitirá identificar la cantidad de cambios entre las 6 categorías de cobertura y uso de la tierra en la provincia de Morona Santiago.

Identificación de transiciones sistemáticas

Dado el amplio número de transiciones que pueden presentarse en los análisis de cambio en la cobertura y uso de la tierra, varios estudios [27], [28], [29] sugieren emplear el método de análisis de matriz de tabulación cruzada, propuesto por [23]. Esta metodología facilita una interpretación más precisa en la detección de cambios, al identificar patrones de transiciones sistemáticas entre las distintas categorías evaluadas en los periodos de análisis.

Para la construcción de la matriz de tabulación cruzada o de transición, es necesario emplear un proceso de superposición cartográfica, que implica el cruce de capas cobertura y uso de la tierra entre dos fechas de interés (T1 y T2), para determinar la cantidad de cambios entre sus categorías. A partir de los resultados obtenidos, se procede a armar

la matriz de la Tabla 2, en la que las filas representan las categorías del tiempo 1 (T1), las columnas las categorías del tiempo 2 (T2); y cada celda constituye la cantidad y magnitud de cambio de una categoría a otra, en términos de porcentaje del territorio de estudio.

Donde:

P_{ij} : porcentaje del territorio total que experimenta una transición de la categoría i (tiempo 1) a la categoría j (tiempo 2); cuando $i \neq j$

P_{i+} : porcentaje del territorio total en la categoría i en el tiempo 1 ($\sum P_{ij}$ en fila i)

P_{+j} : porcentaje del territorio total en la categoría j en el tiempo 2 ($\sum P_{ij}$ en columna j)

Tabla 1. Clases de cobertura y uso de la tierra

Nivel I	Nivel II	Descripción
Bosque	Bosque nativo	Ecosistema arbóreo, primario o secundario, regenerado por sucesión natural; se caracteriza por la presencia de árboles de diferentes especies nativas, edades y portes variados, con uno o más estratos.
	Plantación forestal	Masa arbórea establecida antrópicamente con una o más especies forestales.
Vegetación arbustiva y herbácea	Vegetación arbustiva	Áreas con un componente substancial de especies leñosas nativas no arbóreas. Incluye áreas degradadas en transición a una cobertura densa del dosel.
	Páramo	Vegetación tropical altoandino caracterizada por especies dominantes no arbóreas que incluyen fragmentos de bosque nativo propios de la zona.
	Vegetación herbácea	Áreas constituidas por especies herbáceas nativas con un crecimiento espontáneo, que no reciben cuidados especiales, utilizados con fines de pastoreo esporádico, vida silvestre o protección.
Tierra agropecuaria	Cultivo anual	Áreas constituidas por especies herbáceas nativas con un crecimiento espontáneo, que no reciben cuidados especiales, utilizados con fines de pastoreo esporádico, vida silvestre o protección.
	Cultivo semipermanente	Comprenden aquellas tierras dedicadas a cultivos agrícolas cuyo ciclo vegetativo dura entre uno y tres años.
	Cultivo permanente	Comprenden aquellas tierras dedicadas a cultivos agrícolas cuyo ciclo vegetativo es mayor a tres años, y ofrece durante este periodo varias cosechas.
	Pastizal	Vegetaciones herbáceas dominadas por especies de gramíneas y leguminosas introducidas, utilizadas con fines pecuarios, que para su establecimiento y conservación, requieren de labores de cultivo y manejo.
	Mosaico agropecuario	Son agrupaciones de especies cultivadas que se encuentran mezcladas entre sí y que no pueden ser individualizados; y excepcionalmente pueden estar asociadas con vegetación natural.
Cuerpo de agua	Natural	Superficie y volumen asociado de agua estática o en movimiento.
	Artificial	Superficie y volumen asociado de agua estática o en movimiento asociadas con las actividades antrópicas y el manejo del recurso hídrico.
Zona antrópica	Área poblada	Áreas principalmente ocupadas por viviendas y edificios destinados a colectividades o servicios públicos.
	Infraestructura	Obra civil de transporte, comunicación, agroindustrial y social.
Otras tierras	Área sin cobertura vegetal	Áreas generalmente desprovistas de vegetación, que por sus limitaciones edáficas, climáticas, topográficas o antrópicas, no son aprovechadas para uso agropecuario o forestal, sin embargo pueden tener otros usos.
	Glaciar	Nieve y hielo localizados en las cumbres de las elevaciones andinas.

Fuente: Elaboración propia.

En función de la información obtenida en la matriz de tabulación cruzada, se emplean ecuaciones establecidas en y citadas en otros estudios [30], [31], para el cálculo de persistencia, ganancias, pérdidas; y el cálculo de intercambios, cambio neto y cambio total de cada categoría de cobertura y uso de tierra, en un periodo de tiempo determinado de interés (T1-T2).

- **Persistencia:** indica el porcentaje de territorio que, para una categoría específica, permanece sin cambios entre dos momentos de tiempo (T1 y T2). Es necesaria para calcular ganancias y pérdidas. En la matriz de tabulación cruzada, la persistencia para una categoría $i=j$, se representa en la celda de su diagonal, donde P_{ij} .
- **Ganancias:** indica el porcentaje de territorio que registra una ganancia bruta de la categoría j entre el tiempo 1 y 2. En la matriz de tabulación cruzada se representa:

$$G_j = P_{+j} - P_{i=j} \quad (1)$$

- **Pérdidas:** indica el porcentaje de territorio que registra una pérdida bruta de la categoría i entre el tiempo 1 y 2. En la matriz de tabulación cruzada se representa:

$$L_i = P_{i+} - P_{i=j} \quad (2)$$

- **Intercambio:** indica el proceso simultáneo de pérdidas y ganancias dentro de una misma categoría en el territorio. Para que suceda un intercambio, cada píxel perdido debe ser compensado con otro ganado, formando así un par de píxeles de intercambio. Este valor se puede expresar como dos veces el valor mínimo de las ganancias y las pérdidas:

$$L_i = P_{i+j} - P_{i=j} \quad (3)$$

- **Cambio neto:** indica la diferencia entre las ganancias y pérdidas de una categoría de interés (ec. 4a). Generalmente, se expresa en su valor absoluto (ec. 4b).

$$D_j = G_j - L_i; i=j \quad (4a)$$

$$|D_j| = |G_j - L_i|; i=j \quad (4b)$$

Aunque un cambio neto en la cantidad o porcentaje de una categoría refleja un cambio definitivo de la misma en territorio, su ausencia no implica que no haya intercambios. Esto se debe a que el cambio neto no capta el componente de intercambio del cambio, lo que puede llevar a subestimar el cambio total del territorio.

- **Cambio total:** se define como la suma del cambio neto e intercambio, o de manera

Tabla 2. Matriz general de tabulación cruzada para comparar dos coberturas de diferente fecha

	Tiempo 2					Total tiempo 1	Pérdida L_1
	Categoría j=1	Categoría j=2	Categoría j=3		Categoría j		
Tiempo 1							
Categoría i=1	$P_{11(i,j)}$	P_{12}	P_{13}	...	P_{1j}	P_{1+}	$P_{1+}-P_{11}$
Categoría i=2	P_{21}	P_{22}	P_{23}	...	P_{2j}	P_{2+}	$P_{2+}-P_{22}$
Categoría i=3	P_{31}	P_{32}	P_{33}	...	P_{3j}	P_{3+}	$P_{3+}-P_{33}$
	:	:	:	:	:		
Categoría i	P_{i1}	P_{i2}	P_{i3}	...	$P_{i=j}$	P_{i+}	$P_{i+}-P_{i=j}$
Total tiempo 2	P_{+1}	P_{+2}	P_{+3}		P_{+j}		
Ganancia G_j	$P_{+1}-P_{11}$	$P_{+2}-P_{22}$	$P_{+3}-P_{33}$		$P_{+j}-P_{i=j}$		

Fuente y elaboración: Adaptada a partir de [23].

equivalente, como la suma de las pérdidas y ganancias.

$$C_j = |D_j| + S_j \quad (5)$$

$$C_j = G_j + L_i; i = j \quad (6)$$

El análisis de persistencia, ganancias y pérdidas proporciona una visión general sobre los cambios en la cobertura y uso de la tierra. No obstante, para identificar transiciones sistemáticas entre categorías, es necesario estudiar la dinámica de las celdas fuera de la diagonal en la matriz de transición.

- **Transiciones sistemáticas:** para la identificación de transiciones sistemáticas en la matriz de tabulación cruzada, es necesario interpretar las transiciones en función del tamaño de las categorías. Así, bajo el supuesto de que, tanto las ganancias como las pérdidas por categoría se mantienen constantes, el porcentaje esperado de transición si las ganancia o pérdida en cada cambio fueran procesos aleatorios, se calcula mediante las ecuaciones (7) y (8) respectivamente.

$$G_{ij} = (P_{+j} - P_{jj}) \left(\frac{P_{i+}}{\sum_{i=1}^N i \neq j P_{i+}} \right) \quad (7)$$

$$L_{ij} = (P_{i+} - P_{ii}) \left(\frac{P_{+j}}{\sum_{i=1}^N i \neq j P_{+j}} \right) \quad (8)$$

Por lo tanto, la diferencia entre el porcentaje observado de la transición y el porcentaje esperado de transición en caso de que la ganancia o pérdida fuera un proceso aleatorio, nos indica lo siguiente:

$$DG_{ij} = P_{ij} - G_{ij} \quad (9)$$

$$DL_{ij} = P_{ij} - L_{ij} \quad (10)$$

Si la ganancia fuera un proceso aleatorio, la diferencia (ec. 9) indicaría lo siguiente:

- **Positiva:** La categoría *i* experimentó una pérdida mayor con respecto a la categoría *j* de lo que se esperaría en cualquier proceso aleatorio de ganancia en esa categoría *j*

- **Negativa:** La categoría *i* experimentó una pérdida menor con respecto a la categoría *j* de lo que se esperaría en cualquier proceso aleatorio de ganancia en esa categoría *j*

Si la pérdida fuera un proceso aleatorio, la diferencia (ec.10) indicaría lo siguiente:

- **Positiva:** La categoría *j* experimentó una ganancia mayor con respecto a la categoría *i* de lo que se esperaría en cualquier proceso aleatorio de pérdida en esa categoría *i*
- **Negativa:** La categoría *j* experimentó una ganancia menor con respecto a la categoría *i* de lo que se esperaría en cualquier proceso aleatorio de pérdida en esa categoría *i*

Finalmente, la proporción entre la diferencia (transición observada – transición esperada) y la magnitud del valor de transición observado, tanto para un proceso aleatorio de ganancia como de pérdida, se determina mediante las ecuaciones (11) y (12) respectivamente:

$$PG_{ij} = \frac{P_{ij} - G_{ij}}{G_{ij}} = \frac{DG_{ij}}{G_{ij}} \quad (11)$$

$$PL_{ij} = \frac{P_{ij} - L_{ij}}{L_{ij}} = \frac{DL_{ij}}{L_{ij}} \quad (12)$$

Estas proporciones son análogas a las proporciones que forman la base de las pruebas chi-cuadrado, y sirven para el análisis de transiciones sistemáticas.

RESULTADOS

Análisis de cambio de cobertura y uso de la tierra en Morona Santiago entre 2000-2018

La Figura 2 muestra la distribución espacial de la cobertura y uso de la tierra nivel I (6 categorías) en la provincia de Morona Santiago, para los tres años de interés de estudio.

La Tabla 3 y Figura 3 muestran una estimación de las áreas y porcentajes que abarcan

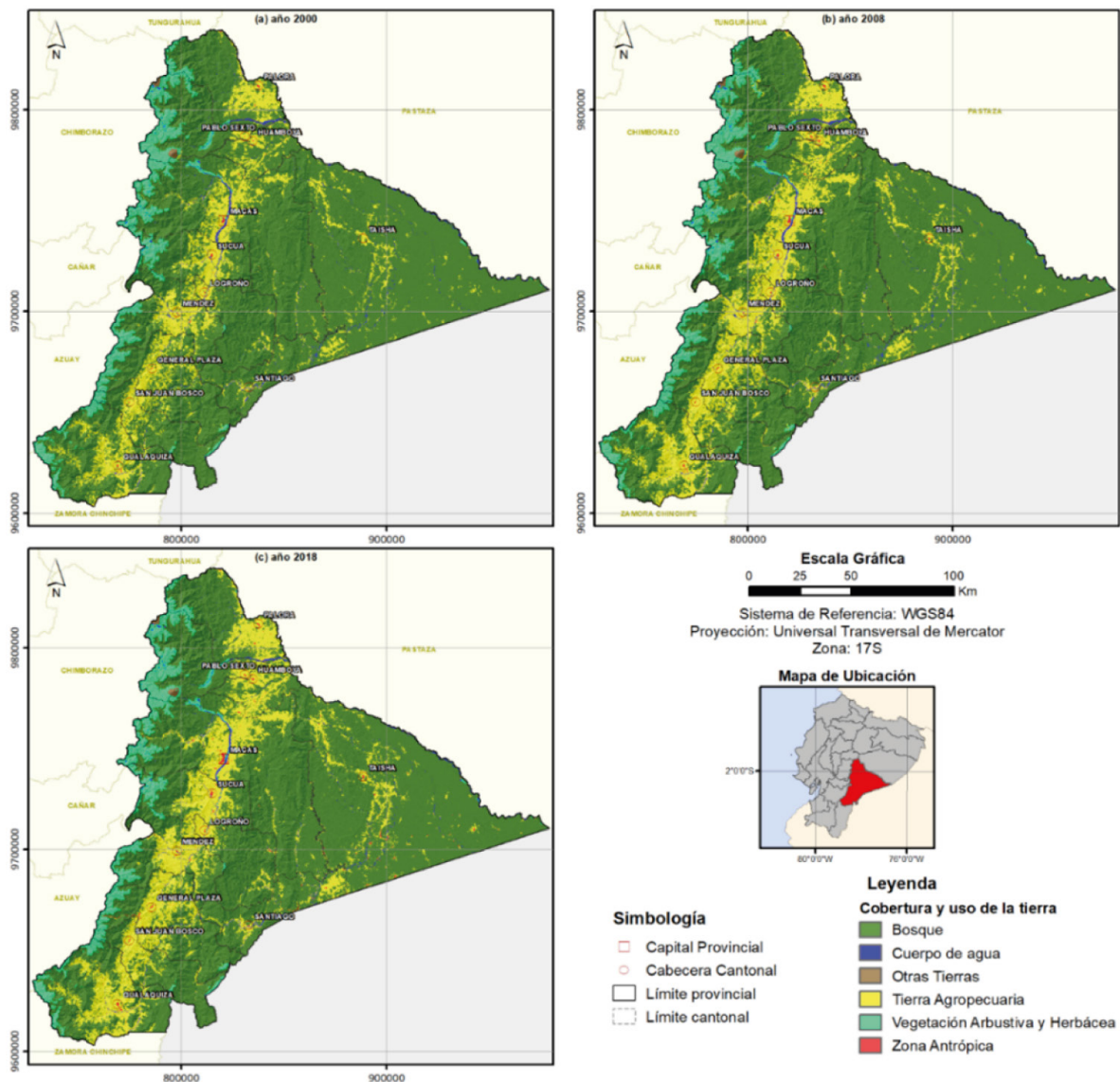


Figura 2. Cobertura y uso de la tierra en Morona Santiago años (a) 2000, (b) 2008 y (c) 2018. Elaboración propia a partir de la información oficial de cobertura y uso de la tierra a escala nacional.

cada una de las 6 categorías principales (nivel I) en el territorio de Morona Santiago, representando un panorama general de su dinámica de cambio.

Al analizar los valores presentados, se aprecia que las categorías "Bosque", "Tierra Agropecuaria" y "Vegetación Arbustiva y Herbácea" son las de mayor extensión en la zona de estudio, cubriendo aproximadamente el 98% del territorio. En contraste, las categorías restantes, "Cuerpo de Agua", "Otras Tierras" y "Zona Antrópica", representan menos del 2%. Esta dinámica se mantiene de forma similar en las tres fechas de estudio 2000, 2008 y 2018.

Por otra parte, para el periodo 2000-2008, la

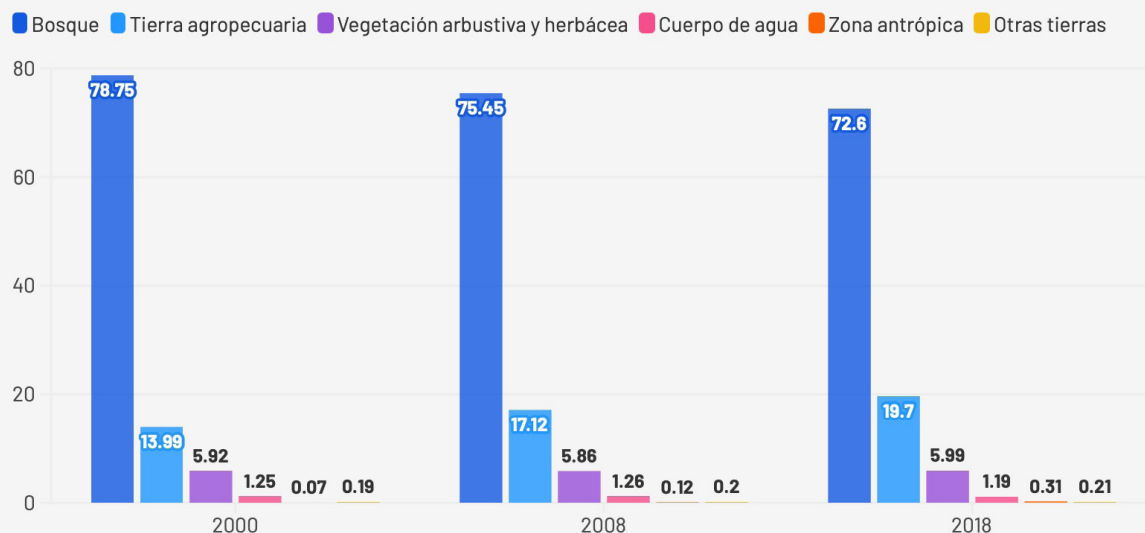
categoría "Bosque" percibió una pérdida neta de 74 960.91 ha, que disminuyó a 68 314.32 ha en el periodo 2008-2018, pasando de cubrir un 78.57% a un 72.60% del territorio total de la provincia entre 2000-2018. En contraste, "Tierra Agropecuaria", experimentó un incremento de 79 954.07 ha para el primer periodo y 62 114.76 ha en el segundo periodo, pasando de cubrir un 13.93% a un 19.59% del total de territorio en Morona Santiago. Como se observa en la Figura 2 y Figura 3, tanto la reducción de "Bosque", como el incremento de "Tierra Agropecuaria", se concentra principalmente en las proximidades de la red vial provincial.

Para el caso de las categorías restantes "Vegetación Arbustiva y Herbácea", "Cuerpo de

Tabla 3. Cobertura y uso de la tierra en Morona Santiago en los años 2000, 2008 y 2018

Cobertura y uso de la tierra	Año 2000		Año 2008		Año 2018	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Bosque	1 886 017.41	78.57	1 811 05.65	75.45	1 742 742.18	72.60
Cuerpo de agua	30 048.75	1.25	30 141.63	1.26	28 587.78	1.19
Otras tierras	4 612.05	0.19	4 714.65	0.20	4 928.58	0.21
Tierra agropecuaria	335 928.78	13.99	410 882.85	17.12	472 997.61	19.70
Vegetación arbustiva y herbácea	142 153.83	5.92	140 648.67	5.86	143 838.18	5.99
Zona antrópica	1 677.69	0.07	2 994.21	0.12	7 344.18	0.31
Total	2 400 438.51	100.00	2 400 438.51	100.00	2 400 438.51	100.00

Fuente: Elaboración propia a partir de la información oficial de cobertura y uso de la tierra a escala nacional.

Figura 3. Porcentaje de territorio provincial por cobertura y uso de la tierra en 2000, 2008 y 2018

Fuente: Elaboración propia a partir de la información oficial de cobertura y uso de la tierra a escala nacional.

Agua", "Otras Tierras" y "Zona Antrópica", en ambos periodos, registraron pérdidas e incrementos que no superaron el 1% en términos de porcentaje de territorio. De todas estas categorías, "Zona Antrópica" experimentó el mayor incremento, pasando de abarcar 1 677.69 ha en el año 2000 a 7 344.18 ha en el año 2018, cuadruplicando su tamaño, lo cual se evidencia con el crecimiento de las principales cabeceras cantonales y parroquiales de la provincia.

Identificación de transiciones sistemáticas

Previo a la identificación de transiciones sistemáticas, se construyó una matriz de transición con tasas brutas, en la que se sintetiza los cambios entre categorías de cobertura y uso de la tierra expresadas en número de celdas; cada celda (30x30m) a su vez equivale espacialmente a 0,09 ha. Estos cálculos se realizaron para cada periodo de interés evaluado (Tabla 4 y Tabla 5):

A partir de las tasas brutas obtenidas, se aplicó la metodología de [23]. Para cada periodo de análisis, se generaron las matrices

Tabla 4. Matriz de transición con tasas brutas – número de celdas por transición (2000-2008)

	T2=2008						Total T1=2000
	Bosque	Cuerpo de agua	Otras tierras	Tierra agropecuaria	Vegetación arbustiva y herbácea	Zona antrópica	
T1=2000							
Bosque	19'757 337	1 116	2 229	1 192 579	563	1 925	20'955 749
Cuerpo de agua	0	333 755	91	14	0	15	333 875
Otras tierras	1 203	0	41 334	1373	7 183	152	51 245
Tierra agropecuaria	356 254	19	2 406	3'360 371	998	12 494	3'732 542
Vegetación arbustiva y herbácea	8 056	17	6 325	11 028	1'554 019	42	1'579 487
Zona antrópica	0	0	0	0	0	18 641	18 641
Total T2=2008	20'122 850	334 907	52 385	4'565 365	1'562 763	33 269	26'671 539

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5. Matriz de transición con tasas brutas – número de celdas por transición (2008-2018)

	T2=2008						Total T1=2000
	Bosque	Cuerpo de agua	Otras tierras	Tierra agropecuaria	Vegetación arbustiva y herbácea	Zona antrópica	
T1=2000							
Bosque	19'051 983	8 040	6 998	1'042 482	4 100	9 247	20'122 850
Cuerpo de agua	3 306	271 994	5 945	44 308	8 491	863	334 907
Otras tierras	812	3 789	38 482	3 379	5 731	192	52 385
Tierra agropecuaria	307 487	31 334	2 653	4'163 839	22'340	37 712	4'565 365
Vegetación arbustiva y herbácea	214	2 485	684	1 521	1'557 540	319	1'562 763
Zona antrópica	0	0	0		0	33 269	33 269
Total T2=2018	19'363 802	317 642	54 762	5 255 529	1 598 202	81 602	26'671 539

Fuente: Elaboración propia.

de tabulación cruzada que cuantifican cambios en la cobertura y uso de la tierra, expresados como porcentaje del área total de la provincia, como se muestra a continuación (Tabla 6 y Tabla 7).

Un análisis preliminar derivado de las matrices de tabulación cruzada se enfoca en evaluar los valores de persistencia (diagonal), los cuales indican que durante los periodos 2000-2008 y 2008-2018, el 93,98% y

Tabla 6. Tabulación cruzada – cobertura y uso de la tierra en Morona Santiago, 2000-2008

	T2=2008						Total T1=2000	Pérdidas
	Bosque	Cuerpo de agua	Otras tierras	Tierra agropecuaria	Vegetación arbustiva y herbácea	Zona antrópica		
T1=2000								
Bosque	74.0765	0.0042	0.0084	04.4714	0.0021	0.0072	78.57	4.49
Cuerpo de agua	00.00	1.2514	0.0003	00.0001	0.0000	0.0001	1.25	0.0004
Otras tierras	00.0045	0.00	0.1550	00.0051	0.0269	0.0006	0.19	0.04
Tierra agropecuaria	01.3357	0.0001	0.0090	12.5991	0.0037	0.0468	13.99	1.40
Vegetación arbustiva y herbácea	00.0302	0.0001	0.0237	00.0413	5.8265	0.0002	5.92	0.10
Zona antrópica	00.00	0.00	0.00	00.00	0.00	0.0699	0.07	0.00
Total T2=2008	75.45	1.26	0.20	17.12	5.86	0.12	100.00	
Ganancia	01.37	0.004	0.04	04.52	0.03	0.05		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7. Tabulación cruzada – cobertura y uso de la tierra en Morona Santiago, 2000-2008

	T2=2008						Total T1=2000	Pérdidas
	Bosque	Cuerpo de agua	Otras tierras	Tierra agropecuaria	Vegetación arbustiva y herbácea	Zona antrópica		
T1=2000								
Bosque	71.4319	0.0301	0.0262	03.9086	0.0154	0.0347	75.45	4.02
Cuerpo de agua	00.0124	1.0198	0.0223	00.1661	0.0318	0.0032	1.26	0.24
Otras tierras	00.0030	0.0142	0.1443	00.0127	0.0215	0.0007	0.20	0.05
Tierra agropecuaria	01.1529	0.1175	0.0099	15.6115	0.0838	0.1414	17.12	1.51
Vegetación arbustiva y herbácea	00.0008	0.0093	0.0026	00.0057	5.8397	0.0012	5.86	0.02
Zona antrópica	00.00	0.00	0.00	00.00	0.00	0.1247	0.12	0.00
Total T2=2008	72.60	1.19	0.21	19.70	5.99	0.31	100.00	
Ganancia	01.17	0.171	0.06	04.09	0.15	0.18		

Fuente: Elaboración propia.

el 94,17% del territorio en Morona Santiago mantuvo estabilidad entre sus categorías, respectivamente. La categoría "Bosque" presentó la mayor persistencia, con un 74,08%

en el primer periodo y un 71,43%, en el segundo periodo.

Para identificar patrones sistemáticos y dominantes en los cambios de cobertura y uso

Tabla 8. Cambios expresados en porcentaje de cobertura y uso de la tierra en Morona Santiago, periodos 2000-2008 y 2008-2018

Periodo	Categoría	Ganancia	Pérdida	Cambio total	Intercambio	Valor absoluto del cambio neto
2000-2008	Bosque	1,37*	0,49	5,86	2,74	3,12
	Cuerpo de agua	0,004	0,0004	0,005	0,001	0,004
	Otras tierras	0,04	0,04	0,08	0,07	0,004
	Tierra agropecuaria	4,52	1,40	5,91	2,79	3,12
	Vegetación arbustiva y herbácea	0,03	0,10	0,13	0,07	0,06
	Zona antrópica	0,05	0,00	0,05	0,00	0,05
2008-2018	Bosque	1,17*	4,02	5,18	2,34	2,85
	Cuerpo de agua	0,17	0,24	0,41	0,34	0,065
	Otras tierras	0,06	0,05	0,11	0,10	0,009
	Tierra agropecuaria	4,09	1,51	5,60	3,01	2,59
	Vegetación arbustiva y herbácea	0,15	0,02	0,17	0,04	0,13
	Zona antrópica	0,18	0,00	0,18	0,00	0,18

Fuente: Elaboración propia.

de la tierra, se calculan y resumen las ganancias, pérdidas, intercambios, cambios netos y cambios totales para cada categoría, durante los periodos 2000-2008 y 2008-2018, como se presenta en la Tabla 8.

Se aprecia que la categoría "Bosque" registró las pérdidas brutas más significativas en términos de porcentaje de territorio provincial, que alcanzaron el 4,49 % y el 4,02 % durante los periodos 2000-2008 y 2008-2018, respectivamente. En contraste, la categoría "Tierra Agropecuaria" presentó las mayores ganancias en términos porcentuales del territorio, con un aumento del 4,52 % entre 2000-2008 y del 4,09 % entre 2008-2018.

Por otra parte, las ganancias y pérdidas de las demás categorías: "Vegetación Arbustiva y Herbácea", "Cuerpo de Agua", "Otras Tierras" y "Zona Antrópica" (esta última con únicamente ganancias) registraron valores menores al 1 % del territorio provincial. Estos resultados sugieren un intercambio marcado entre las ganancias y pérdidas de las categorías "Bosque" y "Tierra Agropecuaria".

Esta tendencia también se refleja también al analizar el cambio total (suma de ganancias y pérdidas), donde la categoría "Tierra Agropecuaria" presentó los valores más altos, con un 5,91% entre 2000-2008 y 5,60% entre 2008-2018, en términos de porcentaje del territorio provincial. Estos valores son apenas superiores a los alcanzados por la categoría "Bosque", que presentó un cambio total de 5,86 % y 5,18 % en ambos periodos. En contraste, las demás categorías, mostraron cambios netos inferiores al 1 %, lo que respalda nuevamente que las categorías "Bosque" y "Tierra Agropecuaria" presentaron los mayores cambios totales en su cobertura en ambos periodos analizados.

Las transiciones sistemáticas más relevantes entre categorías durante ambos periodos se resumen en la Tabla 9 y Tabla 10.

La primera sección de la Tabla 9 muestra las transiciones sistemáticas calculadas en términos de ganancias para la provincia de Morona Santiago durante el periodo 2000-2008. En ella se observa que las áreas que la cate-

Tabla 9. Transiciones sistemáticas en términos de ganancias y pérdidas, periodo 2000-2008

Transición	Observada – esperada	Diferencia / esperada	Interpretación de la transición sistemática
Ganancias			
Tierra agropecuaria en 2000 y bosque en 2008	0,44	0,49	Cuando bosque gana, reemplaza a tierra agropecuaria
Vegetación arbustiva herbácea en 2000 y bosque en 2008	-0,35	-0,92	Cuando bosque gana, no reemplaza a vegetación arbustiva y herbácea
Bosque en 2000 y tierra agropecuaria en 2008	0,34	0,08	Cuando tierra agropecuaria gana, reemplaza a bosque
Vegetación arbustiva herbácea en 2000 y tierra agropecuaria en 2008	-0,27	-0,86	Cuando tierra agropecuaria gana, no reemplaza a vegetación arbustiva y herbácea
Bosque en 2000 y no-bosque en 2008	0,26	0,06	Cuando las categorías no-bosque ganan, reemplazan a bosque
Tierra agropecuaria en 2000 y no-tierra agropecuaria en 2008	0,48	0,52	Cuando las categorías no-tierra agropecuaria ganan, reemplazan a tierra agropecuaria
Vegetación arbustiva herbácea en 2000 y no-vegetación arbustiva herbácea en 2008	-0,60	-0,86	Cuando las categorías no-vegetación arbustiva herbácea ganan, no reemplazan a vegetación arbustiva herbácea
Pérdidas			
Bosque en 2000 y tierra agropecuaria en 2008	1,34	0,43	Cuando bosque pierde, tierra agropecuaria lo reemplaza
Bosque en 2000 y vegetación arbustiva herbácea en 2008	-1,07	-1,00	Cuando bosque pierde, vegetación arbustiva herbácea no lo reemplaza
No-tierra agropecuaria en 2000 y tierra agropecuaria en 2008	1,36	0,43	Cuando las categorías no-tierra agropecuaria pierden, tierra agropecuaria las reemplaza
No-vegetación arbustiva herbácea en 2000 y vegetación arbustiva herbácea en 2008	-1,14	-0,97	Cuando las categorías no-vegetación arbustiva herbácea pierden, vegetación arbustiva herbácea no las reemplaza

Fuente: Elaboración propia.

goría “Bosque” ganó, no sustituyeron a las áreas de “Vegetación Arbustiva y Herbácea”, sino a las áreas de “Tierra Agropecuaria”, a un ritmo 0,49 % más rápido de lo que se esperaba en caso de que “Bosque” hubiese presentado una ganancia aleatoria.

Asimismo, se evidenció que las áreas que ganó “Tierra Agropecuaria” sustituyeron a las de “Bosque” pero no a las de “Vegetación Arbustiva y Herbácea”. Específicamente, cuando “Tierra Agropecuaria” gana territorio, sustituye a “Bosque”, a un ritmo 0,08 % más rápido del que cabría esperar en un proceso de ganancia aleatoria.

También se identificó que, cuando las categorías ganan territorio, tienden a sustituir principalmente a “Bosque” y “Tierra Agropecuaria” a un ritmo mayor a 0,06 % y 0,52 % respectivamente. En contraste, se resistieron a sustituir la categoría “Vegetación Arbustiva y Herbácea” por encima de lo que se esperaba en un proceso aleatorio. Este análisis sugiere que “Bosque” y “Tierra Agrope-

cuaria” son categorías que tienden a perder territorio, mientras que “Vegetación Arbustiva y Herbácea” a persistir.

Por otro lado, la segunda sección de la Tabla 9, muestra las transiciones sistemáticas calculadas en términos de pérdidas entre 2000-2008. Se destaca que, cuando la categoría “Bosque” pierde territorio, es reemplazado principalmente por “Tierra Agropecuaria” más que por “Vegetación Arbustiva y Herbácea”, a un ritmo 0,43 % más rápido al que cabría esperar en un proceso de pérdida aleatoria.

En consecuencia, cuando las categorías experimentan pérdidas, tienden a ser sustituidas principalmente por “Tierra Agropecuaria”, pero no por áreas de “Vegetación Arbustiva y Herbácea”.

Respecto a las transiciones sistemáticas calculadas en términos de ganancias en el periodo 2008-2018, la primera sección de la Tabla 10 muestra que, cuando la categoría

Tabla 10. Transiciones sistemáticas en términos de ganancias y pérdidas, periodo 2008-2018

Transición	Observada – esperada	Diferencia / esperada	Interpretación de la transición sistemática
Ganancias			
Tierra agropecuaria en 2008 y bosque en 2018	0,34	0,42	Cuando bosque gana, reemplaza a tierra agropecuaria
Vegetación arbustiva herbácea en 2008 y bosque en 2018	-0,28	-0,997	Cuando bosque gana, no reemplaza a vegetación arbustiva herbácea
Bosque en 2008 y tierra agropecuaria en 2018	0,18	0,05	Cuando tierra agropecuaria gana, reemplaza a bosque
Vegetación arbustiva herbácea en 2008 y tierra agropecuaria en 2018	-0,28	-0,98	Cuando tierra agropecuaria gana, no reemplaza a vegetación arbustiva herbácea
Bosque en 2008 y no-bosque en 2018	-0,15	-0,04	Cuando las categorías no-bosque ganan, no reemplazan a bosque
Tierra agropecuaria en 2008 y no-tierra agropecuaria en 2018	0,59	0,65	Cuando las categorías no-tierra agropecuaria ganan, reemplazan a tierra agropecuaria
Vegetación arbustiva herbácea en 2008 y no-vegetación arbustiva herbácea en 2018	-0,57	-0,97	Cuando las categorías no-vegetación arbustiva herbácea ganan, no reemplazan a vegetación arbustiva herbácea
Pérdidas			
Bosque en 2008 y tierra agropecuaria en 2018	1,02	0,35	Cuando bosque pierde, tierra agropecuaria lo reemplaza
Bosque en 2008 y vegetación arbustiva herbácea en 2018	-0,86	-0,98	Cuando bosque pierde, vegetación arbustiva herbácea no lo reemplaza
Tierra agropecuaria en 2008 y zona antrópica en 2018	0,14	23,65	Cuando tierra agropecuaria pierde, zona antrópica la reemplaza
Tierra agropecuaria en 2008 y bosque en 2018	-0,21	-0,15	Cuando tierra agropecuaria pierde, bosque no la reemplaza
No-bosque en 2008 y bosque en 2018	-0,26	-0,16	Cuando las categorías no-bosque pierden, bosque no las reemplaza
No-tierra agropecuaria en 2008 y tierra agropecuaria en 2018	0,79	0,27	Cuando las categorías no-tierra agropecuaria pierden, tierra agropecuaria las reemplaza
No-vegetación arbustiva herbácea en 2008 y vegetación arbustiva herbácea en 2018	-1,004	-0,997	Cuando las categorías no-vegetación arbustiva herbácea pierden, vegetación arbustiva herbácea no las reemplaza

Fuente: Elaboración propia.

“Bosque” gana territorio, no reemplaza a “Vegetación Arbustiva y Herbácea”, sino a “Tierra Agropecuaria”, a un ritmo 0,42 % más rápido que si las zonas de “Bosque” hubiera experimentado una ganancia aleatoria.

En cuanto a la categoría “Tierra Agropecuaria”, esta se muestra resistente a sustituir a “Vegetación Arbustiva y Herbácea”, pero tiende a ganar sistemáticamente “Bosque” a un ritmo 0,05 % más rápido de lo que se cabría esperar en un proceso aleatorio.

En general, cuando las categorías experimentan ganancias, tienden a sustituir principalmente zonas de “Tierra Agropecuaria”, mientras que muestran resistencia a sustituir zonas de “Bosque” y “Vegetación Arbustiva y Herbácea”. Esto sugiere que, las áreas de

“Tierra Agropecuaria” tienden a experimentar pérdidas, mientras que “Bosque” y “Vegetación Arbustiva y Herbácea” tienden a permanecer constantes.

Por otro lado, la segunda sección de la Tabla 10 muestra las transiciones sistemáticas calculadas en términos de pérdidas entre 2008-2018. Se evidencia que, cuando existe pérdida de zonas de “Bosque”, estas son reemplazadas por “Tierra Agropecuaria”; más que por “Vegetación Arbustiva y Herbácea”, a un ritmo 0,35 % más rápido al que se esperaría en un proceso de pérdida aleatoria.

Además, cuando “Tierra Agropecuaria” pierde territorio, es sustituida principalmente por “Zona Antrópica” que por “Bosque”, a un ritmo 23,65 % más rápido que en un proceso

aleatorio. Finalmente, cuando las categorías experimentan pérdidas, tienden a ser reemplazadas por "Tierra Agropecuaria", más que por "Bosque" o "Vegetación Arbustiva y Herbácea", a un ritmo 0,27 % más rápido de lo que se hubiese experimentado en un proceso aleatorio.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Análisis de cambio de cobertura y uso de la tierra en Morona Santiago entre 2000-2018

Se cuantificó los cambios de cobertura y uso de la tierra en Morona Santiago entre 2000-2018. Durante este periodo las categorías "Bosque" y "Tierra Agropecuaria" representaron aproximadamente el 92 % del área de estudio, donde "Bosque" pasó de ocupar 78,57 % a 72,60 % del territorio provincial, mientras que "Tierra Agropecuaria" cambió de 13,99 % a 19,70 %. Como resultado de este análisis, se determinó que la categoría "Bosque" experimentó las mayores pérdidas netas y "Tierra Agropecuaria" las mayores ganancias netas en términos de porcentaje de territorio provincial.

Según [32], una transformación del paisaje caracterizada por la reducción de bosque y el aumento de tierras agropecuarias, es un fenómeno común en la Amazonía ecuatoriana. En la provincia de Morona Santiago, esta dinámica está vinculada históricamente con la expansión de infraestructura vial, impulsada por la colonización de tierras y la extracción de recursos naturales [33], [34].

La apertura de caminos hacia zonas boscosas previamente inaccesibles en Morona Santiago, ha impulsado tanto mecanismos legales como ilegales de aprovechamiento maderero con fines comerciales [16], situándola como una de las provincias más afectadas por la tala ilegal [35]. Esta situación ha favorecido el establecimiento y crecimiento de cultivos y pastizales, lo cual, sumado a la escasa asistencia técnica disponible, ha intensificado la pérdida de cobertura boscosa [36]. Como resultado, se configura un patrón clásico de deforestación en forma de espina de pescado [37].

La deforestación en la Amazonía sur, parti-

cularmente en Morona Santiago, refleja un efecto ampliado de procesos iniciados en el norte desde la década de 1990. Mientras en la Amazonía norte, la expansión agropecuaria y la apertura de vías asociadas a la infraestructura petrolera causaron una fuerte pérdida de cobertura boscosa, en el sur estos cambios fueron más limitados, concentrados cerca de la red vial transamazónica [6]. Sin embargo, a partir del año 2000, la degradación de suelos por actividad petrolera en el norte desplazó a productores hacia nuevas zonas, y de forma simultánea, creció la actividad pecuaria en el sur, favoreciendo la expansión de la frontera agrícola en la región amazónica [38].

Identificación de transiciones sistemáticas

La categoría "Bosque" presentó la mayor persistencia, abarcando un 74,08% de territorio provincial en el primer periodo (2000-2008) y un 71,43%, en el segundo periodo (2008-2018). Sin embargo, estos valores pueden dar lugar a interpretaciones erróneas sobre la dinámica de la cobertura y uso de la tierra. Aunque entre 2000-2018, la categoría "Bosque" muestra una mayor persistencia en comparación con sus otros intercambios, esto no necesariamente sugiere una menor incidencia de deforestación, ya que hay que considerar que, en la mayoría de los territorios, la persistencia dentro de las categorías suele ser el factor dominante [30], [39]. Por lo tanto, identificar transiciones que muestren una relación de causalidad entre las categorías involucradas, puede ser un indicativo de procesos ambientales subyacentes que impulsan cambios en la distribución de cobertura y uso de la tierra de un territorio [40].

Con la metodología de [23] se identificaron las transiciones sistemáticas más prevalentes en la cobertura y uso de la tierra de Morona Santiago. Para el primer periodo 2000-2008, se destaca la pérdida de "Bosque" para ser reemplazado por "Tierra Agropecuaria", así también la ganancia de "Tierra Agropecuaria" por sustituir a "Bosque". En el segundo periodo 2008-2018, estas transiciones se mantienen como sistemáticas, pero también se añade la pérdida de "Tierra Agropecuaria"

para ser sustituida por “Zona Antrópica”. Estas transiciones no se produjeron por un patrón de intercambio aleatorio, sino por una relación de causalidad, siendo un indicativo del proceso de deforestación en la provincia. Otros estudios enfocados en el análisis de cambio de cobertura y uso de la tierra en la Amazonía [28], [41], [42], también encontraron transiciones sistemáticas muy similares.

Según datos oficiales nacionales de deforestación [15], [43], [44], entre 1990-2000 Morona Santiago ocupó el cuarto lugar y entre 2000-2022, aún se sitúa como la segunda y tercera provincia con mayor deforestación bruta a escala nacional. Los incrementos más significativos de deforestación se produjeron en los cantones Huamboya, Palora y Pablo Sexto, principalmente en las zonas cercanas al sistema vial transamazónico, donde la actividad agrícola ha experimentado una progresiva expansión [18], [45].

Aunque la metodología de [23] constituye una herramienta estadística robusta para analizar observacionales no experimentales, con el objetivo de identificar indicios de posibles relaciones causa-efecto en los cambios de cobertura y uso de la tierra, presenta ciertas limitaciones que deben considerarse.

Esta metodología no permite detectar ni explicar directamente los mecanismos del cambio territorial, ya que se limita a revelar patrones y relaciones estadísticas de los cambios entre categorías de cobertura y uso de la tierra [31]. No obstante, representa un punto de partida útil para orientar investigaciones futuras enfocadas en el análisis de transiciones sistemáticas más prevalentes en la zona de estudio, los cuales podrían incluir enfoques cualitativos o modelos más integrales para una comprensión más profunda del proceso de transformación del paisaje en la zona estudio [28], [30].

A pesar de estas limitaciones, la metodología proporciona un nivel de análisis más profundo y detallado que el de los enfoques convencionales de cambio en la cobertura y uso de la tierra, los cuales podrían pasar por alto aspectos relevantes del proceso de cambio territorial [23].

FUENTES DE FINANCIAMIENTO

Investigación no financiada

DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran la no existencia de conflicto de interés

APORTE DEL ARTÍCULO EN LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Este artículo expone el análisis de transiciones sistemáticas de la cobertura y uso de la tierra en la provincia de Morona Santiago, durante el periodo 2000-2018. Por lo cual, constituye un posible punto de partida para futuros proyectos enmarcados dentro de esta línea de investigación en la región amazónica ecuatoriana y regional.

DECLARACIÓN DE CONTRIBUCIÓN DE CADA AUTOR

Todos los autores contribuyeron de igual manera en el desarrollo del presente artículo.

REFERENCIAS

- [1] M. Maslin, “What is climate change?”, en Climate Change. A very short introduction., Fourth., Great Britain: British Library, 2021.
- [2] M. Pathak, R. Slade, P. Shukla, J. Skea, R. Pichs-Madruga, y D. Ürge-Vorsatz, “Climate Change 2022. Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.”, Cambridge University, UK and New York, Technical Summary, 2022. [En línea]. Disponible en: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_TechnicalSummary.pdf
- [3] C. Larrea et al., “Chapter 17 in brief: Globalization, extractivism, and social exclusion: Threats and opportunities to Amazon governance in Brazil”, Panel Science for the Amazon, Amazon Assessment Report, 2021.
- [4] C. Larrea et al., “Chapter 18 in brief: Glo-

- balization, extractivism, and social exclusion: Country-specific manifestations", Panel Science for the Amazon, Amazon Assessment Report, 2021.
- [5] S. Latorre, *Extractivismo al debate: Aportes para los Gobiernos Autónomos Descentralizados*. en *Territorios en Debate*. No 3. Quito: Abya-Yala, 2015.
- [6] C. Baroja, P. Belmont, y M. Peck, "Deforestación y actividad petrolera en la Amazonía Centro-Sur: Escenarios predictivos del uso del suelo", en *¿Está agotado el periodo petrolero en Ecuador? Alternativas hacia una sociedad más sustentable y equitativa: un estudio multicriterio*, La Tierra., Quito, Ecuador: Ediciones La Tierra; Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador; Pachamama Alliance; Terra Mater, 2017, pp. 123-160. [En línea]. Disponible en: <https://www.pachamama.org.ec/wp-content/uploads/2022/08/Libro-Analisis-Multi-Criterial.pdf>
- [7] L. Burgos, "Causas estructurales de la deforestación en la amazonía ecuatoriana", *Ecuador Debate*. Globalización: Realidades y Falacias, no 40, pp. 168-185, 1997.
- [8] C. Larrea et al., "Petróleo, sustentabilidad y desarrollo en la Amazonia Centro-Sur", Universidad Andina Simón Bolívar, Quito, 2012.
- [9] A. Vera y L. Riera, "Desarrollo de alternativas silvopastoriles para rehabilitar pastizales en zona norte de la región amazónica ecuatoriana", Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, El Coca, Manual Técnico, 2004.
- [10] R. Sierra, "Patrones y factores de deforestación en el Ecuador continental, 1990-2010. Y un acercamiento a los próximos 10 años.", *Conservación Internacional Ecuador y Forest Trends*, Quito, Informe técnico, 2013. [En línea]. Disponible en: https://www.forest-trends.org/wp-content/uploads/imported/RSierra_Deforestaci%F3nEcuador1950-2020_180313.pdf
- [11] STCTEA, "Enfoque Socioeconómico de la Provincia de Morona Santiago", Secretaría Técnica de la Circunscripción Territorial Especial Amazónica, Puyo, Boletín Informativo N°8, 2021.
- [12] O. Barsky, "Las políticas agrarias y el intento nacionalista - reformista de las fuerza armadas", en *La reforma agraria ecuatoriana*, Corporación Editora Nacional., Quito: Fraga, 1984. Accedido: 9 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/106182-opac>
- [13] T. Rudel, "When Do Property Rights Matter? Open Access, Informal Social Controls, and Deforestation in the Ecuadorian Amazon", *Human Organization*, vol. 54, no 2, pp. 187-194, 1995, doi: 10.17730/humo.54.2.thk703kl21859469.
- [14] R. Wasserstrom y D. Southgate, "Deforestation, Agrarian Reform and Oil Development in Ecuador, 1964-1994", *Natural Resources*, vol. 4, no 1, Art. no 1, mar. 2013, doi: 10.4236/nr.2013.41004.
- [15] MAE, "Estadísticas de patrimonio natural", Ministerio de Ambiente del Ecuador, Quito, Ecuador, Informe técnico, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://mluis-forestal.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/01/estadisticas-patrimonio-natural-mae.pdf>
- [16] S. Bonilla-Bedoya, A. Estrella-Bastidas, J. R. Molina, y M. Á. Herrera, "Socioecological system and potential deforestation in Western Amazon forest landscapes", *Science of The Total Environment*, vol. 644, pp. 1044-1055, dic. 2018, doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.07.028.
- [17] I. Palacios y K. Arellano, "Modelo predictivo del cambio de cobertura forestal en el Área de Conservación Municipal Quilamo - cantón Morona", *Revista Geoespacial*, vol. 18, no 1, pp. 1-13, 2021, doi: <https://doi.org/10.24133/geoespacial.v18i1.2201>.
- [18] C. O. Camacho, N. E. Jara, y J. L. González, "Análisis multitemporal de la deforestación y cambio de la cobertura del suelo en Morona Santiago", *Polo del Conocimiento: Revista científico - profesional*,

- vol. 7, no 1, pp. 797-807, 2022.
- [19] R. Rajão, "Monitoreo Basado en TICs de Deforestación Vinculada al Cambio Climático: El Caso de INPE en la Amazonia Brasileña", Centro de Informática para el Desarrollo (CDI), Universidad de Manchester, Reino Unido, Informe técnico, 2012. [En línea]. Disponible en: https://www.niccd.org/wp-content/uploads/2017/11/NICCD_Monitoring_Case_Study_Amazon-Deforestation_ESP.pdf
- [20] J. Puig y M. Chacón, "América Latina, el monitoreo forestal y la mitigación del cambio climático", Sostenibilidad. Accedido: 19 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://blogs.iadb.org/sostenibilidad/es/america-latina-el-monitoreo-forestal-y-la-mitigacion-del-cambio-climatico/>
- [21] MAE, "Protocolo Metodológico para la generación de mapas de deforestación del Ecuador Continental", Ministerio de Ambiente del Ecuador, Quito, Informe técnico, 2017. [En línea]. Disponible en: https://redd.unfccc.int/media/06.01.2020_nivel_de_referencia_de_emisiones_forestales_de_ecuador_2001-2014.pdf
- [22] M. Simbangala-Simbangala, B. L. Campos-Cámara, y J. C. Arriaga-Rodríguez, "Transiciones sistemáticas de cobertura de suelo en la Región Costa Maya, Quintana Roo, México, 1993-2010", *Perspec.geogr.*, vol. 20, no 1, pp. 103-132, jun. 2016, doi: 10.19053/01233769.4501.
- [23] R. Pontius, E. Shusas, y M. McEachern, "Detecting important categorical land changes while accounting for persistence", *Agriculture, Ecosystems & Environment*, vol. 101, no 2-3, pp. 251-268, 2004, doi: 10.1016/j.agee.2003.09.008.
- [24] FAO, "Lineamientos para la actualización del Plan de Desarrollo Provincial de Morona Santiago, con la incorporación del enfoque de Ganadería Climáticamente Inteligente", Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Morona Santiago, Informe técnico, 2020.
- [25] FAO, "Análisis de vulnerabilidad local al cambio climático del sector ganadero en las zonas de implementación del proyecto MGCI en la provincia de Morona Santiago", Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Macas, Taller comunitario participativo, 2017.
- [26] MAE, "Análisis de deforestación en el Ecuador Continental 1990-2014", Ministerio de Ambiente del Ecuador, Quito, Informe técnico, 2016. [En línea]. Disponible en: <http://certificacionpuntoverde.ambiente.gob.ec/libraries/EAlfresco.php/?doc=5708eb09-80c7-4c92-aca0-21dfa0ee711b>
- [27] V. H. López-Vázquez y W. Plata-Rocha, "Análisis de los cambios de cobertura de suelo derivados de la expansión urbana de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, 1990-2000", *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, no 68, pp. 85-101, 2009.
- [28] S. Bonilla-Bedoya, J. Martínez, J. Pezopane, y M. Machuca, "Fragmentation patterns and systematic transitions of the forested landscape in the upper Amazon region, Ecuador 1990-2008", *Journal of Forestry Research*, vol. 25, no 2, jun. 2014, doi: 10.1007/s11676-013-0419-9.
- [29] M. Guallas, "Análisis de cambios de usos de suelo multitemporal en el Cantón Cuenca", Tesis de posgrado, Universidad del Azuay, Cuenca, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/4935/1/11374.pdf>
- [30] M. C. Pineda, G. Flores, M. Castro, P. Jiménez, G. Reyes, y E. López, "Cambios importantes en la cobertura de la tierra y análisis de transiciones sistemáticas en un sector del occidente de Honduras", *Ciencias Espaciales*, vol. 8, no 2, Art. no 2, 2015, doi: 10.5377/ce.v8i2.2093.
- [31] A. Moreno y V. García, "Análisis de las transiciones de los cambios de uso y cobertura del suelo mediante técnicas estadísticas y sistemas de información geográfica de los años (2001-2016) en el cantón Chambo, provincia de Chimborazo"

- zo.", Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, 2017. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/4206>
- [32] G. Abata, "Deforestación en la Amazonía ecuatoriana", *Green World Journal*, vol. 01, no 03, 2018, Accedido: 25 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.greenworldjournal.com/copia-de-article-v3-n1-002-2020>
- [33] F. Tandazo-Cabrera, "Efectos de construcción de la carretera Evenezer-Macuma-Taisha sobre la cobertura boscosa del territorio de la Federación Independiente del Pueblo Shuar del Ecuador "FIPSE", Tesis de posgrado, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica, 2009. [En línea]. Disponible en: https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/4901/Efectos_de_construccion.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [34] W. F. Laurance y I. B. Arrea, "Roads to riches or ruin?", *Science*, vol. 358, no 6362, pp. 442-444, oct. 2017, doi: 10.1126/science.aao0312.
- [35] RAISG, "Amazonía bajo presión". 2012. [En línea]. Disponible en: <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/56382.pdf>
- [36] GADPMS, "Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Morona Santiago 2019-2023", Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Morona Santiago, Macas, Instrumento de planificación territorial, 2019. [En línea]. Disponible en: https://moronasantiago.gob.ec/wp-content/uploads/2022/04/TOMO-II_II_IV-_FA-SE-DIAGNO-ESTRAT.pdf
- [37] E. Berenguer et al., "Chapter 19 in brief: Drivers and ecological impacts of deforestation and forest degradation.", Panel Science for the Amazon, Amazon Assessment Report, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.theamazonwewant.org/wp-content/uploads/2021/07/Chapter-19-in-Brief-Drivers-and-ecological-impacts-of-deforestation-and-forest-degradation-Final.pdf>
- [38] STCTEA, "Plan Integral para la Amazonía 2021-2035", Secretaría Técnica de la Circunscripción Territorial Especial Amazónica, Puyo, Instrumento de planificación territorial, 2021.
- [39] V. Tax y J. Recinos, "Escenario de expansión del cultivo de palma africana en el norte de Honduras", Tesis de pregrado, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Honduras, 2013.
- [40] S. Z. Aldwaik y R. G. Pontius, "Intensity analysis to unify measurements of size and stationarity of land changes by interval, category, and transition", *Landscape and Urban Planning*, vol. 106, no 1, pp. 103-114, may 2012, doi: 10.1016/j.landurbplan.2012.02.010.
- [41] S. Bonilla-Bedoya, A. Estrella, F. Santos, y M. Machuca, "Forests and urban green areas as tools to address the challenges of sustainability in Latin American urban socio-ecological systems", *Applied Geography*, vol. 125, p. 16, oct. 2020, doi: 10.1016/j.apgeog.2020.102343.
- [42] N. B. Rojas Briceño, E. B. Castillo, J. L. M. Quintana, S. M. O. Cruz, y R. S. López, "Deforestación en la Amazonía peruana: índices de cambios de cobertura y uso del suelo basado en SIG", *BAGE*, vol. 0, no 81, abr. 2019, doi: 10.21138/bage.2538a.
- [43] MAE, "Deforestación del Ecuador Continental periodo 2014-2016", Ministerio de Ambiente del Ecuador, Quito, Ecuador, Informe técnico, 2017.
- [44] R. Sierra, O. Calva, y A. Guevara, "La Deforestación en el Ecuador, 1990-2018. Factores promotores y tendencias recientes", Ministerio de Ambiente y Agua del Ecuador, Ministerio de Agricultura del Ecuador, en el marco de la implementación del Programa Integral Amazónico de Conservación de Bosques y Producción Sostenible., Quito, Ecuador, Informe técnico, 2021. [En línea]. Disponible en: https://www.proamazonia.org/wp-content/uploads/2021/06/Deforestacio%C-C%81n_Ecuador_com2.pdf

- [45] P. Mogrovejo, "Bosques y cambio climático en Ecuador: el regente forestal como actor clave en la mitigación del cambio climático", Tesis de posgrado, Universidad Andina Simón Bolívar, Quito, Ecuador, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/5862/1/T2432-MCCNA-Mogrovejo-Bosques.pdf>

CAROL ARELLANO

Nota biográfica del autor

<https://orcid.org/0000-0003-1838-3671>

Es estudiante de la Maestría de investigación en Cambio Climático, Sustentabilidad y Desarrollo en la Universidad Andina Simón Bolívar. Obtuvo su título profesional de Ingeniera Geógrafa y del Medio Ambiente en la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE. Su línea de investigación es el desarrollo de modelamientos mediante sistemas de información geográfica, la implementación de infraestructura de datos espaciales, el manejo y gestión de datos espaciales relacionados con el cambio climático y la planificación territorial. Su trayectoria destaca por su participación activa en equipos multidisciplinarios para estudios ambientales y sociales.



SANTIAGO BONILLA

Nota biográfica del autor

<https://orcid.org/0000-0002-2464-4500>

Doctor en Recursos Naturales y Sostenibilidad, Profesor de la Universidad Indoamérica. Sus líneas de investigación incluyen el análisis espacio temporal aplicado a entender la estructura, funcionamiento y dinámica de los sistemas adaptativos complejos; el manejo y uso de la tierra, la ordenación de montes, la geografía de los recursos naturales, geo-estadística y geo-informática. Las líneas de investigación que actualmente desarrolla enfatizan en el análisis espacio-temporal urbano; el manejo de áreas protegidas; la planificación y manejo de infraestructura verde urbana; y la aplicación de la ciencia de datos en el manejo de los recursos naturales con énfasis en el recurso suelo y bosque.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License. To view a copy of this license, visit <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/> or send a letter to Creative Commons, PO Box 1866, Mountain View, CA 94042, USA.

