



Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible 2024

Investigación

Implicaciones de cambios de cobertura del suelo para el caso de infraestructura, pastos, cultivos y cobertura forestal en cantones multi-productores y zonas expuestas a inundaciones: 1986-2023

Investigadores:

Vladimir González Gamboa

Rudy Muñoz Jiménez

José Andrés Umaña Ortiz

Cornelia Miller Granados

San José | 2024



631.4
I-148i

Implicaciones de cambios de cobertura del suelo para el caso de infraestructura, pastos, cultivos y cobertura forestal en cantones multi-productores y zonas expuestas a inundaciones: 1986-2023 / Vladimir González Gamboa...[et al.] -- Datos electrónicos. -- San José, C.R. : CONARE - PEN, 2024.
1 recurso en línea (73 páginas ; ilustraciones) : archivos de texto PDF, 6.300 KB

ISBN 978-9930-636-36-7
Investigación para el Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible 2024

1. SUELOS. 2. PASTOS. 3. CULTIVOS DE COBERTURA. 4. CONTROL DE INUNDACIONES I. González Gamboa, Vladimir. II. Muñoz Jiménez, Rudy. III. Umaña Ortiz, José Andrés. IV. Miller Granados, Cornelia. V. Título.



Contenido

Descargo de responsabilidad	4
Resumen	4
Introducción.....	5
Metodología y fuentes de información	8
Descarga, depuración y categorización del mosaico.....	9
Recortes a áreas de interés y determinación de cambios en la cobertura.....	12
Análisis de resultados.....	13
Limitaciones	13
Validación de la metodología	14
Resultados.....	16
Cambios de uso del suelo 1986-2023	16
Implicaciones del cambio de cobertura en zonas identificadas como relevantes	18
Implicaciones del cambio de cobertura del suelo en zonas multi-productoras.....	18
Cambio de otros tipos de cobertura a cultivos.....	24
Cambio de otros tipos de cobertura a cobertura forestal	29
Cambio de otros tipos de cobertura a infraestructura	34
Implicaciones del cambio de cobertura del suelo en zonas con exposición a inundaciones .	38
Cambio de otros tipos de cobertura a infraestructura	44
Cambio de otros tipos de cobertura a cultivos.....	49
Cambio de otros tipos de cobertura a cobertura forestal	53
Dinámica dentro de zonas de ALTA exposición a inundaciones.....	57
Cambios netos de cobertura del suelo por cantón	61
En cantones multi-productores	61
En cantones expuestos a inundaciones.....	63
Conclusiones.....	66
Referencias bibliográficas.....	68

Descargo de responsabilidad

Esta investigación se realizó para el *Informe Estado de la Nación 2024*. El contenido es responsabilidad exclusiva de los autores, y las cifras pueden no coincidir con las consignadas en el capítulo respectivo, debido a revisiones posteriores. En caso de encontrarse diferencia entre ambas fuentes, prevalecen las publicadas en el Informe.

Resumen

Desde 2014, Costa Rica ha mantenido una cobertura forestal estable, aunque ha experimentado una disminución en la cobertura de pastos y un aumento en la cobertura de cultivos. La infraestructura también ha mostrado un crecimiento constante, aunque en menor escala comparado con otros tipos de cobertura del suelo. En los cantones multi-productores, ha habido un aumento constante tanto en la cobertura forestal como en la de cultivos, principalmente a expensas de la pérdida de pastos. Entre 1986 y 2014, las áreas de cultivos y pastos aumentaron significativamente; sin embargo, desde 2014 hasta 2023, la superficie de pastos disminuyó, mientras que la de cultivos siguió creciendo. La dinámica de cambios en la cobertura del suelo en estos cantones evidencia un equilibrio entre conservación y producción agrícola.

La infraestructura ha crecido especialmente cerca de los centros urbanos, desplazando cultivos y cobertura forestal hacia áreas más alejadas. El cantón de San Carlos destaca por su notable ganancia en infraestructura y áreas agropecuarias, así como por la recuperación de la cobertura forestal en otras zonas. San Carlos, junto con Upala y Los Chiles, es uno de los cantones con mayor pérdida de cobertura forestal entre 1986 y 2023, indicando que las actividades agrícolas y de construcción se realizan a expensas de la cobertura forestal.

En San Carlos, muchos cambios ocurren en zonas no aptas para construir o sembrar debido a la exposición a inundaciones, donde la cobertura forestal podría prevenir inundaciones. En estas áreas, ha habido una pérdida significativa de cobertura forestal y un aumento en la cobertura de cultivos, con un incremento constante en infraestructura y una estabilidad en los pastos. Estos cambios sugieren una reducción en los beneficios de la cobertura forestal para mitigar inundaciones, dejando el suelo más expuesto, especialmente si los cultivos son de baja cobertura.

En áreas propensas a inundaciones, el cantón de Sarapiquí muestra una dinámica significativa de cambios en la cobertura del suelo, con aumentos netos en cobertura forestal, cultivos, pastos e infraestructura. Se recomienda una gestión integral del territorio en estas zonas, combinando el manejo de cuerpos de agua y el uso del suelo en las partes altas con la planificación del uso del suelo, medidas de ingeniería y preparación para inundaciones en las partes bajas. La aplicación de medidas de ingeniería debe acompañarse de la recuperación de la cobertura forestal en zonas vulnerables.

Palabras clave

Cambios de cobertura del suelo, exposición a inundaciones, cantones multi-productores, gestión del territorio

Introducción

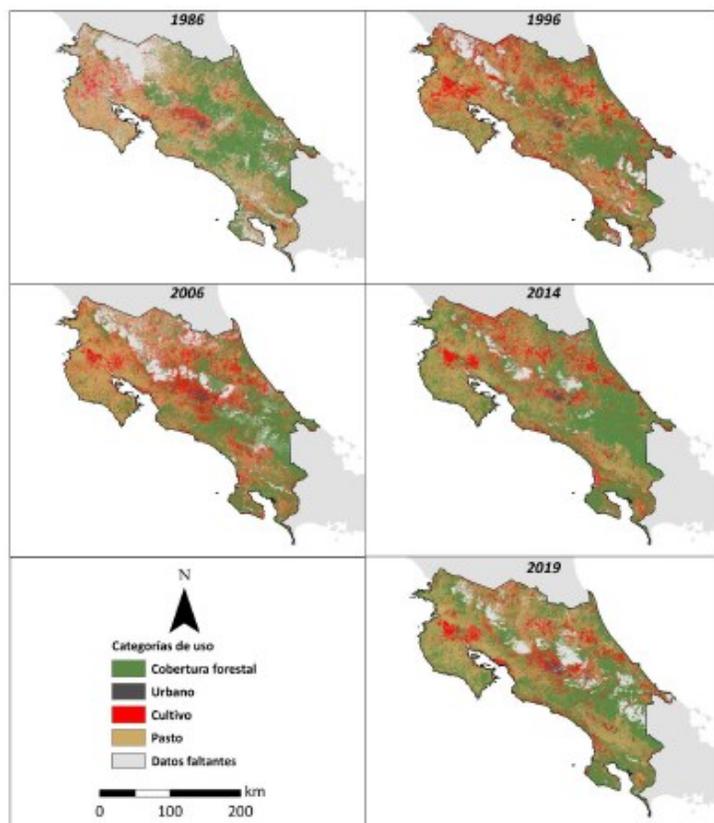
Desde 1950, Costa Rica ha experimentado un proceso dinámico de continuo cambio en su cobertura del suelo, específicamente en tres tipos de cobertura: pastos, cultivos y cobertura forestal. El cambio más común en los años 1950 fue el de cobertura forestal a cultivos y pastos (De Camino et al., 2000). Esto se debió a una presión económica predominante para alimentar un modelo agro-exportador que favoreció la expansión de la agricultura y la ganadería. Sin embargo, no fue hasta los años 1980s que el país empezó a reducir las tasas de conversión del suelo, lo que incluyó una disminución en la deforestación (De Camino et al., 2000).

Entre la década de los 80 y la primera década de los 2000, la dinámica de cambio continuó con una recuperación neta de la cobertura forestal en el país (Sierra et al., 2016). Es importante recalcar que la ganancia de cobertura forestal ha sido un foco de discusión, ya que las diferentes metodologías para definir cobertura forestal pueden dar lugar a variaciones en los valores estimados (Jones, 2002; Kleinn et al., 2002). Por otro lado, a principios de los años 2000 ya existía evidencia de una posible estabilización en la recuperación de la cobertura forestal (Jones, 2002; PEN, 2002). También se ha evidenciado un aumento en la expansión de cultivos, especialmente monocultivos, desde 1984, ya sea con cambios de cobertura forestal a cultivos o con cambios de pastos a cultivos (Jones, 2000; González-Gamboa et al., 2023a; González-Gamboa et al., 2021a; León y Arroyo, 2017; León y Arroyo, 2019; Sierra et al., 2016).

Como base y antecedentes del presente estudio, tenemos una serie de investigaciones desarrolladas en conjunto por el PEN y el laboratorio PRIAS desde 2017. En 2020, se inició un proceso de clasificación de cobertura del suelo histórico utilizando como base imágenes satelitales, con el objetivo de evaluar los cambios experimentados en los últimos 35 años. Como resultado de este proceso, se obtuvo la cobertura del suelo a nivel nacional para los años 1986, 1996, 2006, 2014 y 2019, con un nivel de exactitud muy aceptable. Esta información puede ser consultada en la investigación de base "Descripción de cambios de uso del suelo en Costa Rica: 1986 - 2019" (González-Gamboa et al., 2021a). El siguiente mapa detalla las cinco categorizaciones resultantes.

Mapa 1

Clasificación del uso de suelo en Costa Rica. 1986 – 2019

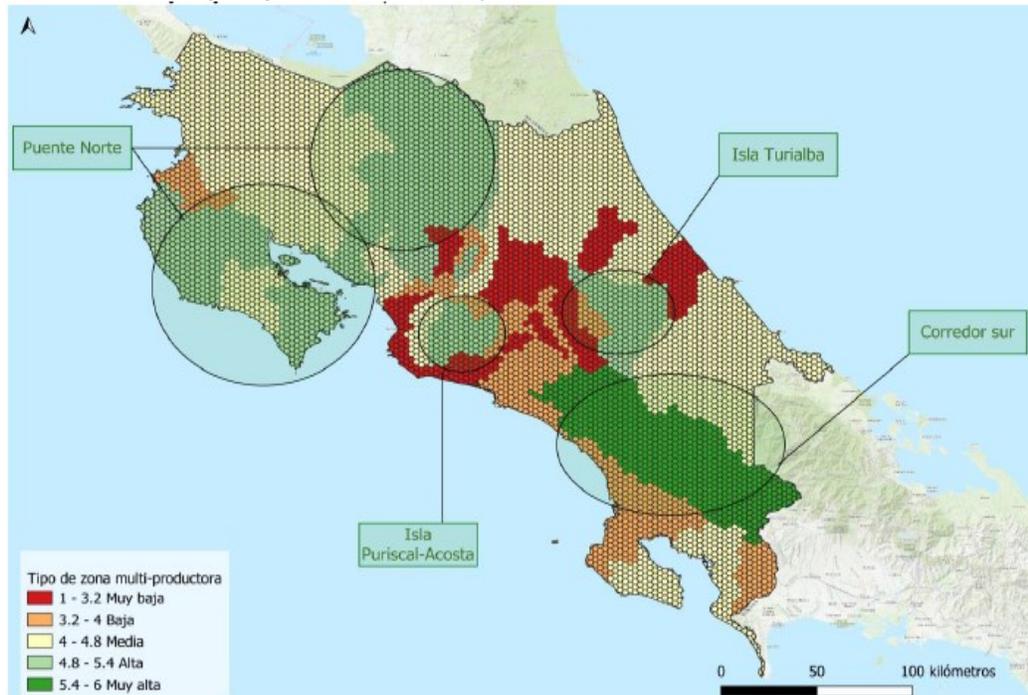


Fuente: González-Gamboa et al., 2021a.

Por otro lado, en 2023 se realizó una investigación a partir de datos de censos agropecuarios realizados en el país durante el período 1905-2014, con el objetivo de identificar los cantones que conforman zonas calientes de producción y zonas multi-productoras. Los resultados específicos del índice creado se encuentran en la investigación de base "Puntos calientes agroproductivos y zonas multi-productoras en Costa Rica: distribución cantonal 1905-2014" (González-Gamboa et al., 2023a), mientras que el siguiente mapa muestra la ubicación de las dos categorías más altas del índice. Más detalles se proporcionarán en el apartado metodológico. El mapa 2 muestra las zonas que se identificaron como altamente y muy altamente multi-productoras, las cuales corresponden a cantones clave para la producción agropecuaria del país.

Mapa 2

Zonas altamente y muy altamente multi-productoras consolidadas. 2014



Fuente: González-Gamboa et al., 2023a.

Por último, durante 2023 también se desarrolló el estudio "Diseño del índice de exposición a la amenaza natural de inundaciones: el caso de exposición de edificaciones" (González-Gamboa et al., 2023b), el cual construyó un índice para priorizar las zonas de mayor exposición a inundaciones dentro de las áreas con potencial para estos eventos, como se observa en la siguiente imagen. El estudio concluyó que, en efecto, existen edificaciones que se han construido en zonas con mayor exposición a inundaciones en comparación con otras ubicadas en áreas potencialmente inundables, lo que permitiría priorizar la atención en los lugares más expuestos en caso de posibles inundaciones.

Mapa 3

Distribución espacial de las áreas de exposición a inundaciones. 2017



Fuente: González-Gamboa et.al., 2023b.

La presente investigación utiliza como insumos los archivos espaciales resultantes de las tres investigaciones anteriores, en específico las clasificaciones de cobertura del suelo de 1986 y 2014, la distribución del índice de producción agropecuaria y la distribución del índice de exposición a inundaciones para analizar los resultados. Finalmente, la relevancia y el aporte de este trabajo consisten en identificar los cambios de cobertura del suelo que se dan dentro de las zonas de interés y determinar cómo estos cambios podrían ejercer algún impacto en la producción agropecuaria, en la infraestructura ubicada en estos territorios, así como en las implicaciones ambientales que subyacen.

Metodología y fuentes de información

Este apartado describe como fue obtenida, procesada y actualizada la información, así como las limitantes que el estudio posee.

Pregunta de investigación:

¿Cuáles son las implicaciones sociales, productivas, y ambientales del cambio de cobertura del suelo para pastos, infraestructura, cultivos y cobertura forestal en cantones multi-productores y áreas con exposición a inundaciones?

Objetivo general:

Determinar las implicaciones del cambio de cobertura del suelo para el caso de pastos, infraestructura, cultivos y cobertura forestal en cantones multi-productores y áreas con exposición a inundaciones para los períodos 1986-2014 y 2014-2023.

Objetivos específicos:

- Actualizar la cobertura del suelo al 2023 usando la metodología de González-Gamboa et al., (2021a).
- Identificar los principales cambios de cobertura del suelo del país entre 1986 y 2023.
- Cuantificar los cambios de cobertura del suelo entre 1986 y 2023 en cantones multi-productores.
- Identificar los tipos de cambio de cobertura del suelo en cantones que se localizan en áreas con mayor exposición a inundaciones.

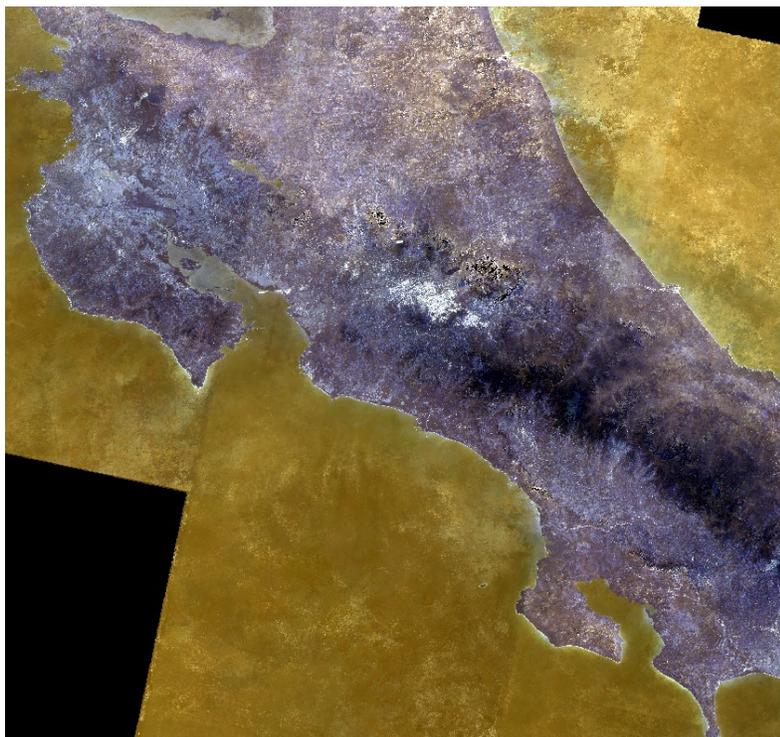
Descarga, depuración y categorización del mosaico

El primer objetivo de este estudio es actualizar al 2023 la información de cobertura disponible en la investigación de base “Descripción de cambios de uso del suelo en Costa Rica: 1986 - 2019”. Si bien el título de la investigación antes mencionada utiliza el término “Uso de suelo”, es importante comenzar aclarando que la presente investigación se refiere a cobertura de suelo, concepto que está relacionado a la cobertura visible (generalmente a partir de imágenes satelitales) sobre la superficie terrestre, que no necesariamente coincide con el uso final del suelo, referente a la actividad socioeconómica final; por ejemplo, la categoría infraestructura (cobertura de suelo) versus uso residencial o industrial (uso de suelo).

Para desarrollar el primer objetivo, se descargó un mosaico¹ de imágenes Landsat 8, con un tamaño de pixel de 30 metros. En el mapa 4 se aprecia la cobertura espacial de este archivo ráster.

¹ Un mosaico se compone de varias imágenes satelitales de áreas adyacentes, fusionadas en un solo archivo.

Mapa 4
Mosaico del año 2023



Fuente: NASA, 2023.

Este mosaico fue la base para aplicar una clasificación supervisada y así actualizar las categorías mostradas en el mapa 1. Este método de categorización clasifica todos los píxeles de un archivo ráster (en este caso un mosaico proveniente de imágenes satelitales) en categorías preestablecidas, con base en la firma espectral promedio de píxeles muestreados de manera manual. Para esto se utilizaron las herramientas “Create signatures” y “Maximun likelihood classification (MLE)” (ambas del software ArcGis 10.8) (ESRI, 2019). En este caso MLE es una de las técnicas identificadas y valoradas entre otras como relevante para la clasificación de insumos de detección remota de cobertura del suelo, de acuerdo con Navin y Agilandeewari (2020).

En el caso de la primera se obtuvo la firma espectral de los píxeles correspondientes a los puntos de muestreo, mientras que con la segunda se definió, para todos los píxeles del mosaico, una categoría de uso basado en el resultado de la herramienta anterior.

El resultado inicial de la clasificación supervisada fue combinado con varios archivos espaciales de acceso libre, que han sido verificados en campo, a fin de depurar zonas donde las categorías no identificaron el uso real. A continuación, se enlistan dichos archivos espaciales:

- Cultivos de piña identificados en el proyecto MOCUPP (descargado del nodo CeNAT en el SNIT). (Prias-CeNAT, 2019).
- Cultivos de palma identificados en el proyecto MOCUPP (descargado del nodo CeNAT en el SNIT). (Prias-CeNAT, 2019).

- Cultivos de pastos identificados en el proyecto MOCUPP (descargado del nodo CeNAT en el SNIT) (Prias-CeNAT, 2019).
- Cultivos de café identificados por el ICAFE (descargado del nodo ICAFE en el SNIT). (ICAFE, 2023).
- Cultivos del proyecto ESA WorldCover (descargado de la página oficial de ESA). (ESA, 2022).

Este proceso de depuración dio como resultado una clasificación de cobertura del suelo fiable que cubre la totalidad del territorio de Costa Rica, lo cual fue posible por el casi nulo porcentaje de nubosidad presente en el mosaico. En este sentido, el siguiente cuadro muestra el porcentaje de datos faltantes en cada uno de los años analizados.

Cuadro 1

Porcentaje de datos faltantes según año de análisis

Año	1986	2014	2023
Datos faltantes	16%	10,7%	0%

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se detalla el alcance de las 4 grandes categorías utilizadas tanto en las investigaciones realizadas previamente como en el presente estudio:

Cobertura forestal: Comprende las áreas naturales o seminaturales, constituidas principalmente por elementos arbóreos o arbustivos identificables a una escala de 1:10000, utilizando un pixel de 30 metros. Con una superficie mínima de 0,5 ha cubierta por un dosel abierto o cerrado mayor o igual al 70% del área. Esta categoría incluye: bosque en todas sus sucesiones, manglar, páramo y plantación forestal. Se incorporan, además, yolillales y bambusales debido a que, por la escala y resolución utilizadas, estas coberturas se asemejan a elementos arbóreos o arbustivos.

Dado que algunas plantaciones maduras de palma aceitera se pueden asemejar al dosel de bosques naturales, existe una probabilidad de que ciertas áreas de este cultivo hayan caído en esta categoría. Para corregir este posible error, se utilizó la capa de palma proyecto MOCUPP, descrita anteriormente.

Pasto: Áreas cubiertas por pastos naturales o establecidos, dedicadas al pastoreo y/o corta de forraje. La cobertura de copa de árboles, arbustos o palmas no conforma un dosel y es inferior al 70% del área de pastos de los segmentos analizados. Se incluyen todos aquellos espacios e infraestructura inherentes al paisaje productivo que no puedan ser discriminados a una escala de 1:10000, utilizando un pixel de 30 metros, por ejemplo: cercas vivas, caminos internos, entre otros.

Cultivo: Se incluyen cultivos anuales y perennes dosel abierto sea inferior al 70%. Dada la escala espacial del estudio, en algunos casos la forma del cultivo y la disposición con la que se ubican las plantas podrían influir en su clasificación. Por ejemplo, los estados tempranos de cultivos anuales podrían no ser tomados en cuenta por la desnudez del suelo. Esta categoría incluye las áreas de cultivo que han sido identificadas y verificadas en campo, y que se encuentran hospedadas en el SNIT.

Infraestructura: Se tomo como base áreas urbanas consolidadas. Estas zonas urbanas se entienden por edificaciones y los espacios adyacentes a la infraestructura edificada, que cubren más del 80% del terreno (Rosales, 2015).

Los colores seleccionados para representar cada tipo de uso del suelo fueron seleccionados siguiendo las pautas de Rosales (2015) sobre la generación de mapas de uso y cobertura de la tierra en Costa Rica. Para cobertura forestal se usó el verde, para cultivos el rojo, para pastos un dorado oscuro, y para uso urbano el negro. Además, es preciso definir que este estudio está enfocado en identificación y cambios de cobertura del suelo, según la definición de Lagro (2005), que se refiere a los elementos que cubren la superficie, y que dan apoyo a las actividades humanas. Por ejemplo, edificaciones, cobertura vegetal etc. Por otro lado, el presente estudio no se enfoca directamente en el uso del suelo, este concepto que se refiere más bien a la intensidad de las actividades humanas, y el uso de la cobertura del suelo (Lagro, 2005), ya aclarado anteriormente.

Recortes a áreas de interés y determinación de cambios en la cobertura

Tal como se indicó en la sección de introducción, a partir de investigaciones anteriores, se determinaron dos áreas de interés en donde se prioriza el análisis de cambio en la cobertura de suelo.

La primera área de interés proviene de la investigación de base “Puntos calientes agroproductivos y zonas multi-productoras en Costa Rica: distribución cantonal 1905-2014” (González-Gamboa et.al., 2023a), donde se utilizó una herramienta de análisis multicriterio espacial a nivel de cantón. En este caso se usó la producción de seis productos agropecuarios de importancia económica como criterios, café, arroz, frijoles, caña de azúcar, ganadería vacuna y ganadería porcina. Para esto se dividió la producción cantonal en quintiles. De esta forma los cantones que tenían quintiles más altos en varios productos a la vez se denominaron cantones multi-productores. Para realizar este trabajo se usó la información de los censos agropecuarios publicados por el INEC entre 1905 y 2014. Los cantones ubicados en las dos categorías más altas del índice creado fueron: Abangares, Acosta, Alajuela, Buenos Aires, Cañas, Coto Brus, Grecia, Los Chiles, Monteverde, Nicoya, Pérez Zeledón, Puntarenas, Puriscal, Río Cuarto, San Carlos, Santa Cruz, Turrialba y Upala.

Por otro lado, la segunda zona de interés fue definida en la investigación “Diseño del índice de exposición a la amenaza natural de inundaciones: el caso de exposición de edificaciones” (González-Gamboa et.al., 2023b). En ella se creó un índice de exposición directa a inundaciones dentro de las áreas de mayor exposición a estos eventos según la CNE. Para la creación de dicho índice se dieron pesos entre 1 y 5 a variables como la cercanía a ríos y la pendiente del terreno. Como resultado se obtuvieron 3 categorías de exposición, cuya distribución espacial abarca 76 cantones, siendo cantones como Sarapiquí, San Carlos, Pococí, Liberia, Parrita y Osa los que presentan mayor cantidad de zonas inundables.

Una vez que se obtuvo la clasificación del año 2023 depurada, se procedió a hacer los recortes de la cobertura del suelo para las zonas de interés, utilizando la herramienta “Clip” del software ArcGis 10.8. Esta etapa dio como resultado 6 archivos ráster, a saber:

Cuadro 2

Archivos ráster generados

Zonas con potencial a inundación	Cantones multi - productores
Cobertura del suelo 1986	Cobertura del suelo 1986
Cobertura del suelo 2014	Cobertura del suelo 2014
Cobertura del suelo 2023	Cobertura del suelo 2023

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, con el objetivo de determinar los cambios de cobertura ocurridos en los períodos 1986 – 2014 y 2014 – 2023, se utilizó la herramienta “Raster calculator” del software ArcGis 10.8. Cada categoría de cobertura del suelo tiene un valor numérico asociado, de manera tal que con el resultado de una operación simple entre dos archivos ráster (el correspondiente al año de inicio y al año final) es posible determinar, para cada píxel de una clasificación, el valor de la cobertura del suelo inicial y el final. Una vez que los archivos ráster finales (que contienen los cambios de cobertura interanuales) estuvieron definidos, fueron convertidos en formato vector, para facilitar el análisis numérico y su cartografía.

Análisis de resultados

Para analizar los resultados obtenidos, se realizó un estudio general del cambio de cobertura dentro de las áreas de interés fijadas en los objetivos. Estas áreas de interés son los cantones multi-productores de acuerdo con la definición de González-Gamboa et al. (2023a), que a modo de resumen son áreas que producen simultáneamente en los quintiles más altos diferentes productos agropecuarios de interés económico, por ejemplo, como arroz y ganado. Mientras que el área potencialmente inundable se basa en datos de la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE) (CNE, 2023) que determinan zonas potencialmente inundables para el país, y para la que González-Gamboa et al. (2023b) generó una clasificación para identificar áreas de mayor y menor exposición a inundaciones. Basado en los resultados se seleccionaron cantones sobresalientes, como Sarapiquí para las áreas con potencial a inundación y San Carlos para los cantones multi – productores.

Limitaciones

En primera instancia, esta investigación es la continuación de la investigación de base “Descripción de cambios de uso del suelo en Costa Rica: 1986 - 2019”, por lo que es importante aclarar que procesos de transición de cambios en la cobertura que se hayan dado en años no contemplados por el análisis de imágenes no han sido captados por el análisis planteado. Cada período y sus respectivas coberturas son una foto específica de un determinado momento.

Por otro lado, lo largo del estudio se analizan cuatro grandes categorías que facilitan en gran medida las comparaciones espacio – temporales, pero es importante tener en cuenta que dentro de cada una de ellas existe una gran heterogeneidad y variabilidad que dependen de múltiples factores, especialmente en zonas de transición. Por lo que el presente estudio tiene como objetivo describir tendencias de cambio generales de las cuatro macro-categorías usadas, y no un análisis de subcategorías de cada tipo de cobertura. Para estudiar subcategorías es preciso

tener imágenes de más alta resolución espacial que las usadas, tal y como lo indica Chuvieco (1992).

Validación de la metodología

Con el fin de determinar la fidelidad de la clasificación realizada, se utilizó la metodología propuesta por Chuvieco (2010), la cual ha sido validada y utilizada por distintos proyectos a nivel nacional e internacional. Según este autor, para verificar una clasificación, se puede utilizar una muestra representativa, que se determina por medio de la siguiente ecuación:

$$n = \frac{(z^2 * pq)}{L^2}$$

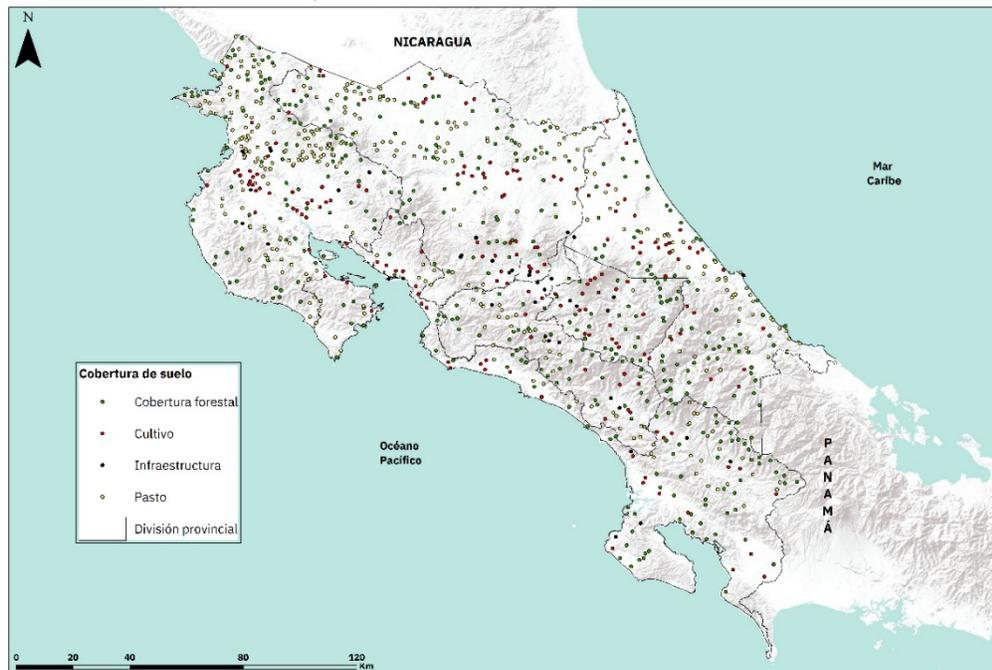
Donde:

- n: Tamaño de la muestra
- z: Valor de probabilidad, en este caso se trabaja con 95
- p: Porcentaje del área de la categoría
- q: 1-p*100
- L: error permitido, en este caso se trabaja con 5

El resultado de esta fórmula indica cuantos puntos aleatorios deben ser usados en cada categoría, estos puntos se crean mediante la herramienta Create Random Points del software ArcGis 10.8. En cada uno de estos puntos se verifica la cobertura de suelo presente en el mosaico y se coteja con la cobertura de suelo determinada por la clasificación supervisada. Para la clasificación realizada en el presente estudio, se crearon 941 puntos aleatorios, mostrados en el siguiente mapa.

Mapa 5

Puntos aleatorios creados para la valoración manual



Fuente: Elaboración propia.

Posterior a la verificación manual, se procede a calcular el coeficiente de Kappa de Fleiss, que refleja la concordancia inter observador. Este coeficiente puede tomar valores entre -1 y 1, mientras más cercano a 1, mayor es el grado de concordancia inter-observador, por el contrario, mientras más se acerque a -1, mayor es el grado de discordancia. Para el caso en estudio, el valor del coeficiente Kappa de Fleiss fue 0.954, dando como resultado una exactitud total de 94 y un error global de 6 en el año 2023, el cuadro abajo muestra los datos de exactitud y error globales para los otros años de estudio. Valores por encima del 90% son considerados por Chuvieco (2010) como una alta fidelidad a la cobertura de suelo real.

Cuadro 3

Validación de la clasificación supervisada: exactitud y error global

Año	1986	2014	2023
Exactitud global	93%	97%	94%
Error global	7%	3%	6%

Fuente: Elaboración propia con datos de González et al., 2021a y NASA, 2023.

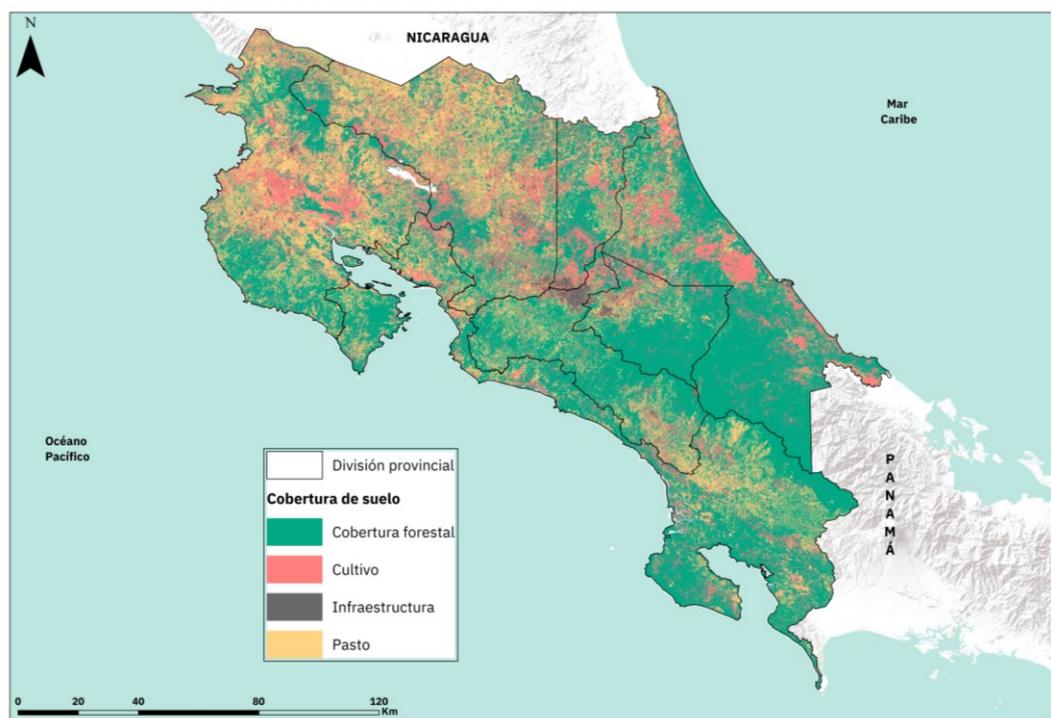
Resultados

Cambios de uso del suelo 1986-2023

Dándole seguimiento al trabajo de González-Gamboa et al. (2021a), se procedió a actualizar los porcentajes de cobertura del suelo agregando el año 2023, tal y como se detalla en la metodología. Los resultados de esta actualización se presentan a continuación. En el mapa 6 muestra la distribución espacial de la clasificación supervisada depurada. En esta categorización, la cobertura forestal representa el 53% del territorio nacional, seguido del pasto y cultivo, que representan un 23% y 21%, respectivamente. La infraestructura corresponde al 3% de la extensión nacional.

Mapa 6

Clasificación de uso de suelo. 2023



Fuente: Elaboración propia con datos de NASA, 2023.

Viendo este resultado a la luz de los años anteriores usados por González et al. (2021a), 1986, 1996, 2006, 2014 y 2019, es posible identificar la tendencia del cambio que han tenido los usos aquí identificados. Tanto la cuadro 4 como en el gráfico 1 muestra la evolución de cada uso entre 1986 y 2023.

Cuadro 4

Datos porcentuales de cobertura de suelo. 1986 – 2023

Categoría	Año					
	1986	1996	2006	2014	2019	2023
Cobertura forestal	50,70	38,90	44,70	55,30	50,90	53,36
Pasto	34,70	37,50	31,90	28,50	33,20	23,03
Cutivo	12,80	18,50	21,10	14,40	13,20	20,58
Infraestructura	1,80	5,10	2,30	1,80	2,70	3,03
Total	100	100	100	100	100	100

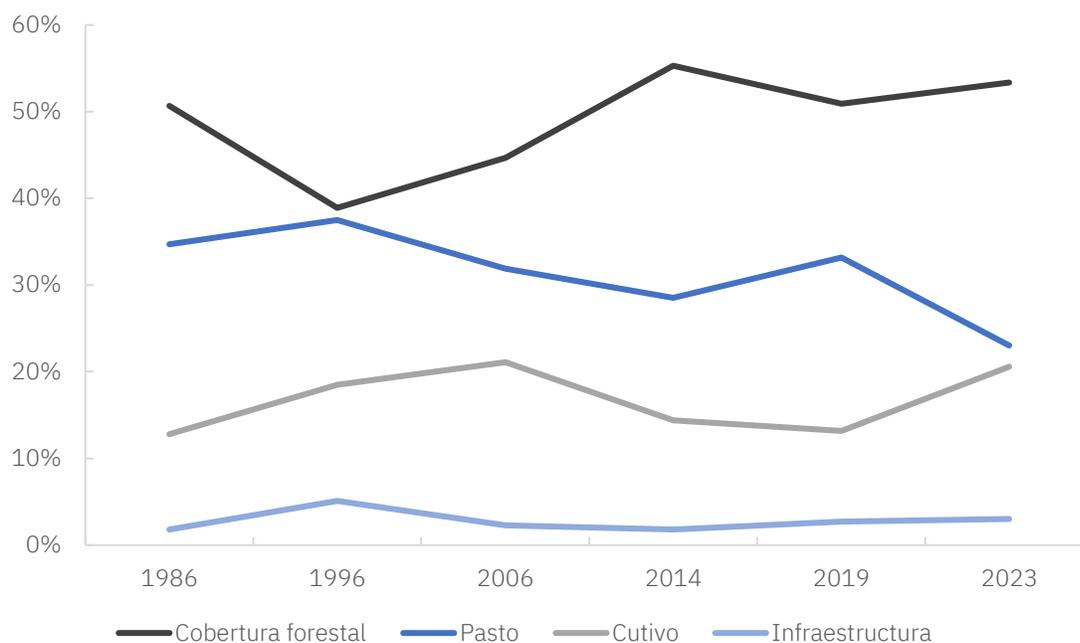
Fuente: Elaboración propia con datos de NASA, 2023.

A nivel país se identifican varias tendencias, primero, la cobertura forestal evidencia una tendencia a aumentar desde 1996. Entre 1986 y 2023 la cobertura forestal incrementó en 2,25%. Inicialmente, entre 1986 y 1996 la cobertura forestal disminuyó en 23,27%. Sin embargo, entre 1996 y 2023 esta aumentó en 37,17%. En el último periodo de 2019 al 2023 esta cobertura aumentó en 4,83%. Estos datos evidencian una recuperación importante del país, como ya Sierra et al. (2016) también lo habían documentado.

Por otro lado, la categoría de pasto ha sufrido una constante disminución del entre 1986 a 2023, esta cobertura decreció en 33,63%. El caso de la categoría cultivo ha tenido tres diferentes movimientos, primero tuvo un incremento de 64,84% entre 1986 y 2006. Esta etapa fue sucedida por una fase de reducción del 37,44%. Por último, y más recientemente entre 2019 y el 2023 se ha identificado un aumento del 55,90%. Los factores que pueden haber incidido en estos son muy diversos, algunos han impulsado la producción agropecuaria como otros que la han reducido, tal y como González-Gamboa et al. (2023a) lo detallan. Por último, el caso de la infraestructura ha tenido un comportamiento variable a lo largo del tiempo, con una tendencia evidente a crecer, por ejemplo, si comparamos 1986 con 2023 se tiene un incremento del 68,33%.

Gráfico 1

Evolución temporal del uso de suelo. 1986 – 2023



Fuente: Elaboración propia con datos de, González et al., 2021a y NASA, 2023.

A modo de resumen tres aspectos sobresalen:

- Desde 1986, la cobertura forestal se ha mantenido como la más extensa del país. Si bien tuvo un decrecimiento hasta 1996, después de este año se ha mantenido en constante crecimiento.
- Las categorías pasto y cultivo han tenido comportamientos opuestos, hasta abarcar un porcentaje muy similar en el 2023.

Implicaciones del cambio de cobertura en zonas identificadas como relevantes

A continuación, se describirán los cambios en la cobertura del suelo para las dos zonas de interés en los años 1986, 2014 y 2023. Dado los trabajos realizados por González-Gamboa et al. (2023a) sobre zonas multi-productoras agropecuarias y de González-Gamboa et al. (2023b) en zonas de exposición a inundaciones, se decidió dividir el periodo de estudio entre dos periodos, de 1986 a 2014 y de 2014 a 2023. De esta forma se describe la evolución y posibles implicaciones del cambio de cobertura en las zonas mencionadas.

Implicaciones del cambio de cobertura del suelo en zonas multi-productoras

Siguiendo el mapa 7, en el año 1986, se observa una predominancia de la cobertura forestal, siendo la más extensa a nivel nacional, especialmente en cantones multi-productores. Esto indica que gran parte de estas áreas mantenían ecosistemas naturales relativamente intactos. Las áreas de pasto y cultivo presentes en este año reflejan una menor distribución en comparación con la cobertura forestal. Los pastos están distribuidos de manera uniforme, y las zonas de cultivos son relativamente dispersas y mínimas. Con respecto a la infraestructura, se

encuentra de manera mínima, sugiriendo un desarrollo urbano y de infraestructura aún incipiente, concentrado en áreas específicas.

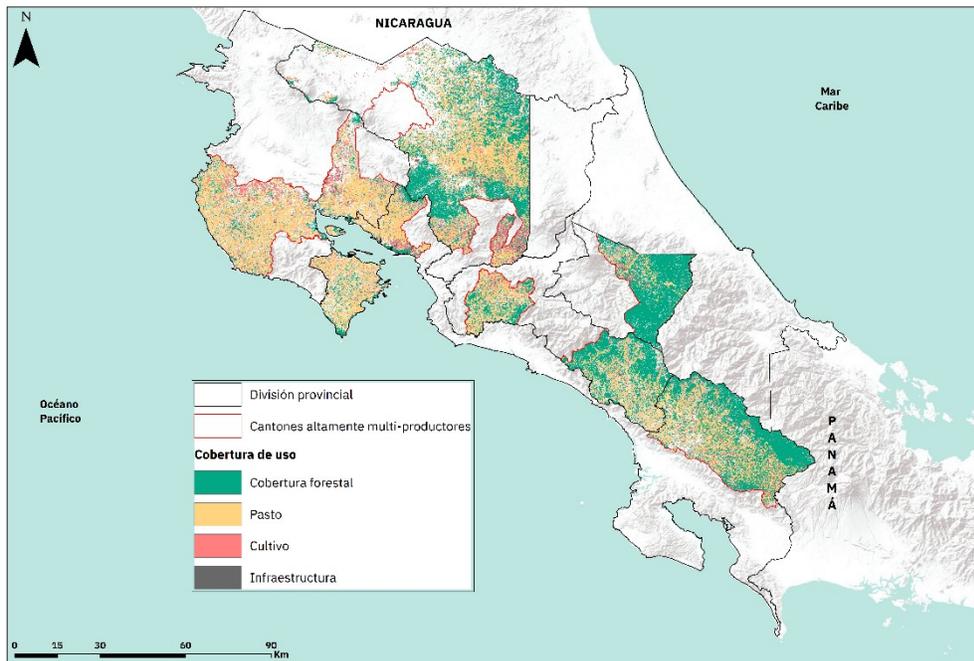
Para el año 2014, se observan cambios relacionados con la cobertura forestal, con un ligero, aunque significativo crecimiento, y a su vez, un aumento notable en las áreas de cultivo y pasto, en los cantones multi-productores. Los pastos han ocupado zonas que antes eran coberturas forestales, así como los cultivos a cobertura forestal. Este cambio refleja una transición considerable de terrenos con cobertura forestal a pastos y cultivos en estos cantones. La expansión de la infraestructura también es evidente, especialmente alrededor de centros urbanos y vías de comunicación. Adicionalmente, estos cambios sugieren un incremento en la actividad agrícola, y un posible desarrollo económico, sobre los cantones multi-productores.

En 2023, la cobertura forestal mantiene la tendencia de aumento, continuando un ritmo ligero entre los años 2014 y 2023. Las áreas de cultivo y pasto siguen aumentando, consolidando el cambio hacia la expansión de la producción agrícola y ganadera en estos cantones multi-productores. La infraestructura mantiene una tendencia de incremento continuo en estos cantones. Estos cambios indican una extensión de las coberturas del suelo para actividades económicas productivas y un desarrollo urbano en curso.

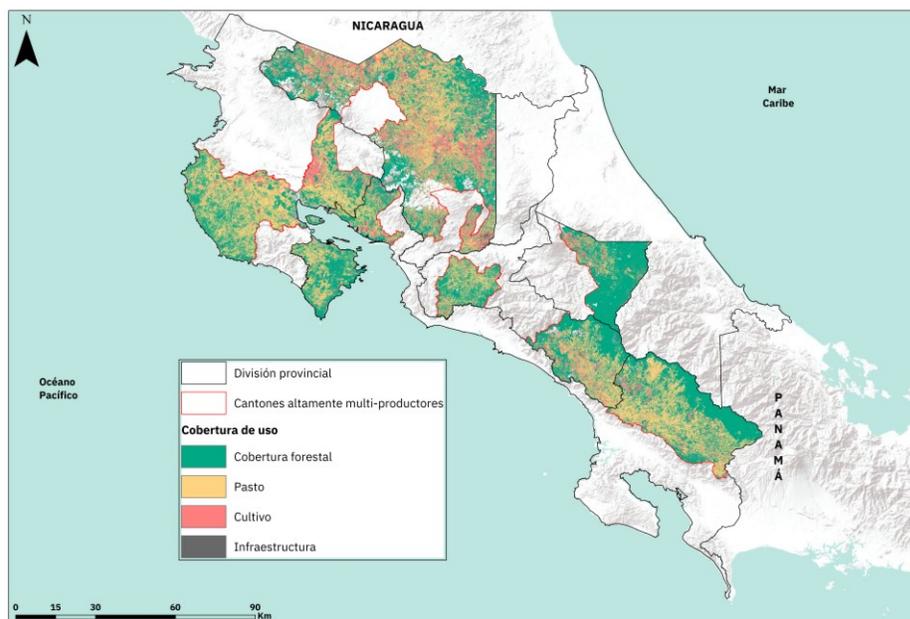
Mapa 7

Tipo de cobertura del suelo para zonas multi-productoras. 1986, 2014 y 2023

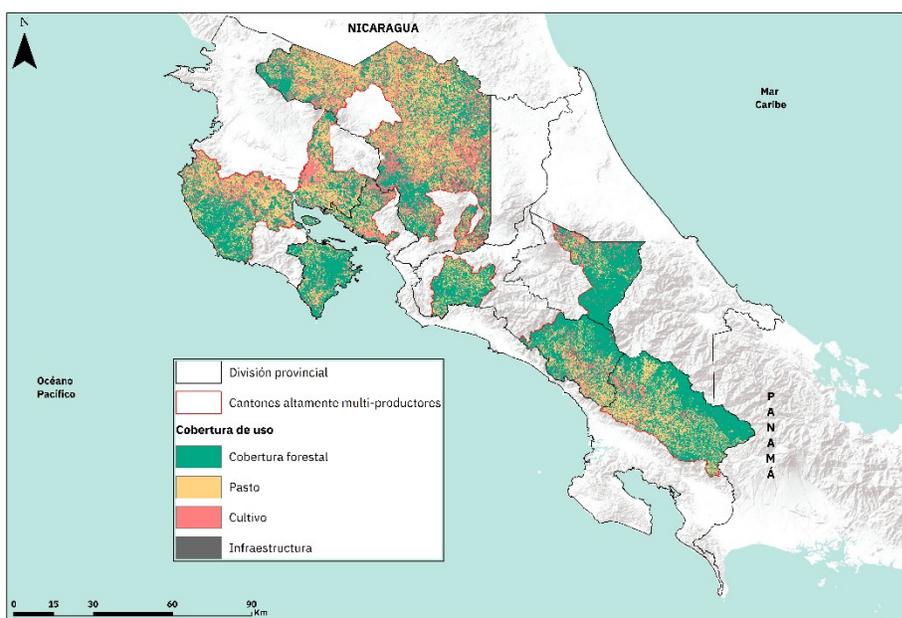
1986



2014



2023



Fuente: Elaboración propia con datos de González-Gamboa et al., 2023a y de la NASA ,2023.

Por destacar tenemos a la Península de Nicoya, esta muestra claramente un aumento de la cobertura forestal entre los años de estudio, para el periodo de 1986, se observa como en la Península de Nicoya existe una gran extensión de cobertura de pastos a comparación de la cobertura forestal u otras coberturas, esto posiblemente a las actividades de ese entonces, y políticas del momento.

Según el SINAC (2022), desde 1990 se inició un debate sobre el uso de la tierra y las oportunidades que surgirían con una adecuada planificación territorial, implementando políticas y estrategias de desarrollo mediante modelos de producción alternativos. Las cuales se pueden observar claramente en el mapa 7, para el año 2014 aumenta la cobertura forestal dentro de la misma, y la disminución de la cobertura de pastos. Así mismo para el año 2023, se refuerza aún más el incremento de la cobertura forestal. Esto, gracias a acciones que establecieron una base sólida caracterizada por una alta tasa de recuperación forestal, amplias áreas de restauración natural, integración al sistema de pago por servicios ambientales, reforestación, promoción de la ganadería en zonas de menor pendiente, formación de organizaciones locales ambientales y adquisición de tierras para conservación (SINAC, 2022).

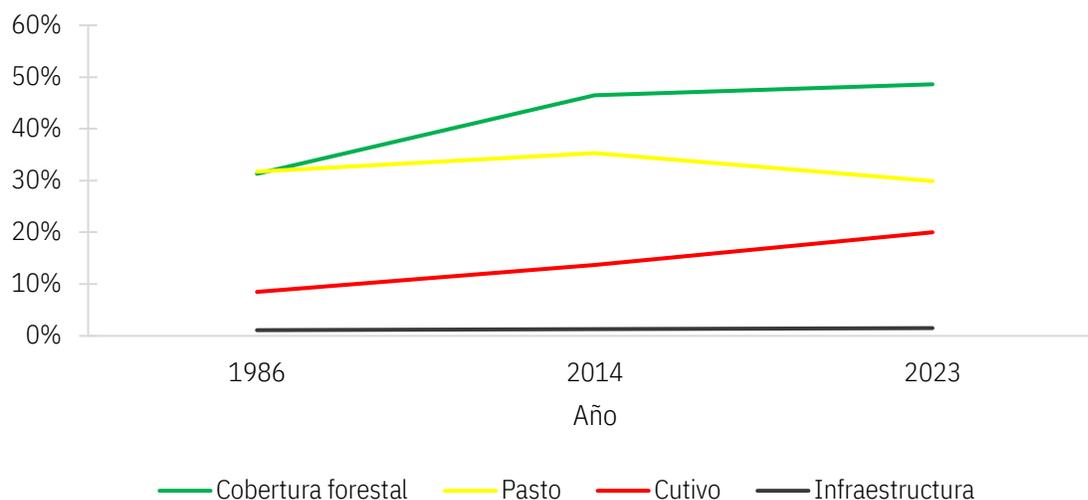
Así mismo sucede en algunos cantones de la provincia de Guanacaste, como en los cantones multi-productores de Santa Cruz y Nicoya, para el año 1986, se observa una gran extensión de la cobertura de pastos, sin embargo, para los próximos años se observa la transición de estos hacia otras coberturas, mayoritariamente a cobertura forestal. Donde se incrementa particularmente entre los años 2014 y 2023, esto se debe principalmente a la transición de actividades primarias a actividades terciarias (INEC, 2015), necesitando de otros recursos para las mismas.

Además, en 1986, debido a la disminución de las actividades ganaderas, el gobierno implementó la Ley Forestal N° 7032. Esta legislación transformó el sector forestal mediante planes forestales nacionales para gestión y reforestación, prohibición de tala en tierras, prohibición de quemas de bosques, y consolidación de áreas protegidas (MINAE, 2002). Así mismo, para el año 1996, la Ley Forestal N° 7575 estableció el marco legal e institucional para el pago de servicios ambientales, un concepto innovador crucial para la conservación de bosques en propiedades privadas (Castro y Arias, 1998), estas leyes influyeron fuertemente en estos cantones multi-productores, así como a nivel nacional.

Como se muestra en el mapa 7 y se confirma en el gráfico 2, la cobertura del suelo en los cantones multi-productores ha experimentado cambios significativos en varias categorías entre los años 1986, 2014 y 2023. En cuanto a los cambios porcentuales, la cobertura forestal aumentó un 48,56% de 1986 a 2014, y entre 2014 y 2023, incrementó un 4,51%, manteniendo una tendencia de crecimiento estable. La superficie dedicada a pastos aumentó un 11,35% de 1986 a 2014, pero luego disminuyó un 15,29% en 2023. La cobertura de cultivos aumentó un 61,18% entre 1986 y 2014, y continuó con esta tendencia al alza en 2023, con un incremento del 45,99%, lo que demuestra la creciente importancia de los cultivos en los cantones multi-productores. Por último, la infraestructura mostró un incremento mínimo, permaneciendo casi constante desde 1986 hasta 2014, con un ligero aumento en 2023

Gráfico 2

Evolución temporal de la cobertura del suelo en cantones multi-productores. 1986 – 2023



Fuente: Elaboración propia con datos de González-Gamboa et al., 2023a y de la NASA, 2023.

Entre 1986 y 2014, los cantones multiproductores experimentaron diversos cambios en la cobertura del suelo, reflejando dinámicas complejas en prioridades y políticas, como se observa en el mapa 8. Durante este período, hubo una notable conversión de cultivos a pastos, abarcando 67.700 hectáreas, lo que indica una transición considerable hacia las actividades relacionadas a la ganadería o una disminución en las actividades agrícolas. Por otro lado, la conversión de pastos a cultivos fue de solo 7.000 hectáreas, resultando en una ganancia neta de 60.000 hectáreas para los pastos.

A pesar de estas conversiones, 375.200 hectáreas de pastos mantuvieron su cobertura original, denotando una continuidad en las actividades ganaderas. Sin embargo, la pérdida de 92.500 hectáreas de cobertura forestal en favor de los pastos resalta una significativa disminución en las áreas boscosas durante este periodo. Por otro lado, la estabilidad en la producción agrícola se refleja en el mantenimiento de 34.300 hectáreas de cultivos. A pesar de esta estabilidad, la expansión del sector agrícola se evidencia con la conversión de 43.800 hectáreas de cobertura forestal a cultivos. Además, el cambio de 99.500 hectáreas de pasto a cultivos sugiere una expansión agrícola, posiblemente en respuesta a una mayor demanda de productos agrícolas en ciertas zonas de los cantones multi-productores.

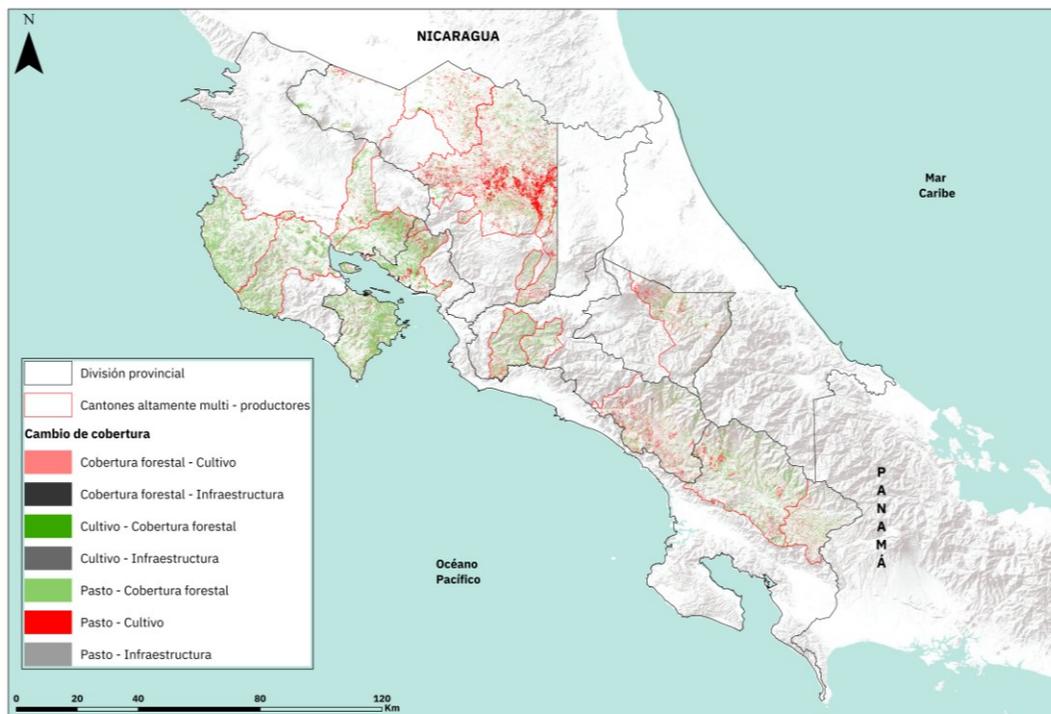
En cuanto a la cobertura forestal, hubo una significativa conversión de otras coberturas hacia esta categoría. Se registró una transición de 74.100 hectáreas de cultivos a cobertura forestal y de 194.200 hectáreas de pastos a cobertura forestal. Asimismo, 4.500 hectáreas de infraestructura fueron convertidas en cobertura forestal. Además, 493.000 hectáreas de cobertura forestal mantuvieron su estado original.

A nivel nacional, y dentro de los cantones multi-productores, se muestra como la cobertura forestal ha tenido una dinámica particular al alza, según el MINAE y REDD+, el país experimentó un incremento en la cobertura forestal desde 1997 hasta 2013, con una disminución paulatina

en las áreas deforestadas y un aumento neto en el área regenerada hacia el final del período, reflejando una tendencia de crecimiento sostenido (2015).

Mapa 8

Cambios en el tipo de cobertura del suelo en cantones multi-productores. 1986 – 2014



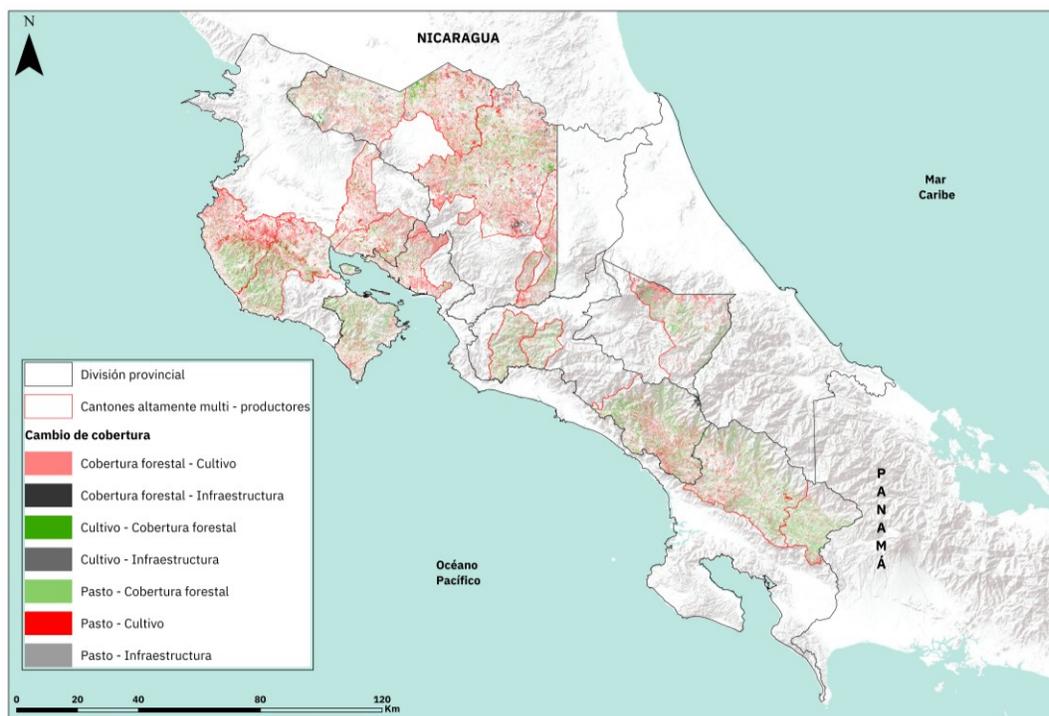
Fuente: Elaboración propia con datos de González-Gamboa et al., 2023a y de la NASA, 2023.

Durante el periodo comprendido entre 2014 y 2023, los cantones multi-productores experimentaron transformaciones significativas en sus coberturas con un notable cambio hacia la forestación, dinámica que se muestra desde el periodo anterior, mapa 9 para más detalles. Se registró una transformación de 65.000 hectáreas previamente destinadas a cultivos en áreas forestales. El cambio más destacado se observó en las áreas de pastos, donde 184.600 hectáreas fueron transformadas en cobertura forestal. Estos cambios reflejan una tendencia generalizada hacia el aumento de la superficie forestal a expensas de áreas anteriormente con coberturas de cultivos y pastos, lo que ha alterado significativamente el paisaje y las distintas coberturas en estos cantones.

Por otro lado, se observaron cambios significativos en la conversión de otros usos de coberturas a cultivos. Se registró una conversión de 137.300 hectáreas de pastizales, estas fueron transformadas a zonas de cultivos, confirmando la expansión de la producción agrícola en detrimento de la cobertura de pastos. El cambio más significativo se produjo en las áreas de cobertura forestal, donde 150.100 hectáreas fueron convertidas en cultivos, lo que subraya una importante reorientación de coberturas forestales hacia la agricultura, sobresaliendo que el cambio de cultivos a cobertura forestal fue menor, que de cobertura forestal a cultivos.

Mapa 9

Cambios en el tipo de cobertura del suelo en cantones multi-productores. 2014 – 2023



Fuente: Elaboración propia con datos de González-Gamboa et al., 2023a y de la NASA, 2023.

Además, entre 2014 y 2023, los cantones multi-productores también experimentaron importantes transformaciones hacia áreas con cobertura de pastos. Se cuantificaron 111.100 hectáreas de tierras previamente destinadas a cultivos que fueron transformadas en pastos, reflejando una significativa reorientación de zonas de cultivo a pastos. Además, 91.500 hectáreas de áreas anteriormente cubiertas por cobertura forestal fueron convertidas en pastos, mostrando una tendencia hacia la utilización de estas tierras posiblemente para fines de pastoreo, o como transición a otro uso futuro como puede ser el urbano. Estos cambios señalan una marcada transición de cambios de coberturas hacia pastizales, alterando considerablemente la distribución de las tierras en los cantones multi-productores, y evidenciando una adaptación de los usos del suelo a diferentes necesidades económicas y productivas de la región durante estos períodos.

Cambio de otros tipos de cobertura a cultivos

En los cantones multi-productores, los cambios en los tipos de coberturas a cultivos refleja la expansión de la actividad agropecuaria para estos cantones. A continuación, se muestra el cuadro 5 con los cantones multi-productores con mayor cantidad de área que han dado paso de otros usos de cobertura a cultivos, entre 1986 y 2014.

En el cuadro 5 se muestra los cambios de otros tipos de cobertura a cultivos entre el periodo de 1986 al 2014, se destaca principalmente la conversión de pastos y cobertura forestal a cultivos. Estos tipos de cambio son los que tienen la mayor superficie convertida dentro de este período.

El cantón de San Carlos lidera el ranking con un total de 46.367,81 hectáreas convertidas, de las cuales 34.941,25 hectáreas corresponden a pasto convertido a cultivo y 11.426,56 hectáreas de cobertura forestal convertidas a cultivo. Esto indica una fuerte expansión agrícola en la región, mostrando un significativo aumento en las áreas de producción agrícola. Pérez Zeledón ocupa el segundo lugar con una conversión total de 15.824,97 hectáreas. Este cantón presenta 9.301,62 hectáreas de pasto a cultivo y 6.523,35 hectáreas de cobertura forestal a cultivo, lo cual refleja también una considerable expansión agrícola. Puntarenas y Buenos Aires también muestran cambios notables, con 7.204,34 hectáreas y 6.960,31 hectáreas de pasto a cultivo, respectivamente. Buenos Aires, además, presenta 4.403,32 hectáreas de cobertura forestal a cultivo.

Cuadro 5

Top 10 cambios de otros tipos de cobertura a cultivos para cantones multi-productores. 1986 y 2014

Cantón	Tipo de cambio	Ha
1.San Carlos	Pasto – Cultivo	34.941,25
2.San Carlos	Cobertura forestal - Cultivo	11.426,56
3.Pérez Zeledón	Pasto - Cultivo	9.301,62
4.Puntarenas	Pasto - Cultivo	7.204,34
5.Buenos Aires	Pasto - Cultivo	6.960,31
6.Pérez Zeledón	Cobertura forestal - Cultivo	6.523,35
7.Río Cuarto	Pasto - Cultivo	5.704,87
8.Los Chiles	Pasto - Cultivo	4.522,26
9.Turrialba	Cobertura forestal - Cultivo	4.460,17
10.Buenos Aires	Cobertura forestal - Cultivo	4.403,32

Fuente: Elaboración propia con datos de González-Gamboa et al., 2023a y de la NASA, 2023.

Otros cantones como Río Cuarto y Los Chiles, aunque con menores conversiones en comparación con San Carlos y Pérez Zeledón, también contribuyeron a esta tendencia de transformar áreas tradicionalmente utilizadas para la ganadería en áreas agrícolas dentro del período de estudio. Río Cuarto presenta 5.704,87 hectáreas de pasto a cultivo y Los Chiles 4.522,26 hectáreas. En Turrialba, se observan 4.460,17 hectáreas de cobertura forestal convertidas a cultivo, lo que también refleja una importante transformación de la cobertura del suelo en este cantón. Estos datos sugieren una tendencia predominante en estos cantones a transformar áreas de pastos y de cobertura forestal en áreas agrícolas, lo que podría reflejar un cambio en las dinámicas económicas locales hacia la rentabilidad de ciertos cultivos.

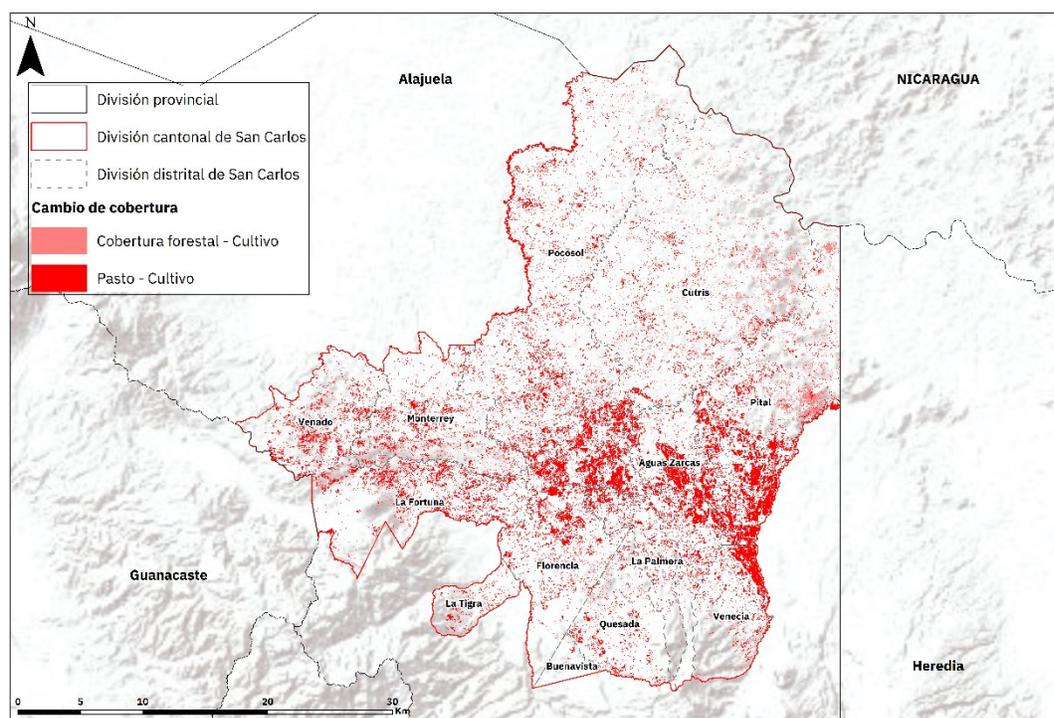
A modo de resumen, entre 1986 y 2014, la conversión de pastos y cobertura forestal a cultivos fue predominante, especialmente en el cantón de San Carlos con 46.367,81 hectáreas convertidas a cultivos, tal y como se observa en el mapa 10, este cantón concentra cambios en el sur-este de su territorio. San Carlos lideró con 46.367,81 ha convertidas, seguido por Pérez Zeledón con 15.824,97 ha. Puntarenas y Buenos Aires también mostraron notables conversiones, con 7.204,34 ha y 6.960,31 ha de pasto a cultivo, respectivamente. Estos cambios son consistentes con las observaciones de González-Gamboa et al (2021a), quien identificó los cantones de Nicoya y Santa Cruz en la provincia de Guanacaste como áreas con cambios significativos en la cobertura de cultivos permanentes, ganando terreno sobre los pastos.

Además, González-Gamboa et al (2021a) destacó un notable aumento en la intensidad en la Zona Norte, Caribe y Valle del General durante un periodo similar al del estudio, lo que indica el inicio de plantaciones de piña y banano en estas áreas. Así mismo, cantones que se encuentran dentro de las regiones de Huetar Norte, Pacífico Sur según el año censal 2014, en estas regiones hubo una concentración del 90% en la producción de piña, debido a características geográficas, geomorfológicas, topográficas, así como el desplazamiento de las actividades ganaderas en relación del año 1984 y 2014 (León y Arroyo, 2017). Río Cuarto y Los Chiles contribuyeron con menores conversiones, pero aún significativas. Turrialba presentó 4.460,17 ha de cobertura forestal convertida a cultivos, en este cantón, durante este periodo, hubo un desplazamiento de las comunidades hacia zonas con coberturas forestales, generando problemáticas como la tala indiscriminada, del suelo, así como otras situaciones, en búsqueda de tierras para usos agrícolas (Aparicio, 1999).

Los cantones encontrados en la Región Huetar Norte, cómo San Carlos y Los Chiles, muestran la importante expansión de áreas sembradas o dedicadas a los cultivos, productos que pueden ser dirigidos a la industrialización o exportación, y con una disminución en la actividad ganadera (Barrientos y Chaves, 2008).

Mapa 10

Cambio de otras coberturas a cultivo en el cantón de San Carlos. 1986-2014



Fuente: Elaboración propia con datos de González-Gamboa et al., 2023a y de la NASA, 2023.

Al observar el periodo de 2014 a 2023, San Carlos mantiene una dinámica similar a la de periodos anteriores, ocupando el primer y segundo puesto de la tabla de ranking de los 10 primeros cantones con más áreas convertidas de otros tipos de coberturas a cultivos. En primer lugar, destaca el cambio de cobertura forestal a cultivos (33.863,86 ha), seguida por la

conversión de pastos a cultivos (24.128,15 ha), un total de 57.992,01 ha. Estos cambios se presentan de manera inversa comparado al anterior periodo, pero siguen siendo los mismos tipos de cobertura involucrados. Nuevos cantones se suman a este top, como es el caso de Upala, lo cual evidencia un aumento en la conversión de otras coberturas a cultivos en la zona norte del país, con 17.112,33 ha de cobertura forestal convertidas a cultivos. También se destacan los cantones de Santa Cruz y Nicoya, en el Pacífico Norte, ambos con significativas conversiones de pastos a cultivos (16.631,16 ha y 12.773,74 ha respectivamente).

Cuadro 6

Top 10 cambios de otros tipos de cobertura a cultivos para cantones altamente productores. 2014 y 2023

Cantón	Tipo de cambio	Ha
1.San Carlos	Cobertura forestal - Cultivo	33.863,86
2.San Carlos	Pasto - Cultivo	24.128,15
3.Upala	Cobertura forestal - Cultivo	17.112,33
4.Santa Cruz	Pasto - Cultivo	16.631,16
5.Nicoya	Pasto - Cultivo	12.773,74
6.Los Chiles	Pasto - Cultivo	12.064,89
7.Puntarenas	Cobertura forestal - Cultivo	11.848,97
8.Turrialba	Cobertura forestal - Cultivo	11.521,92
9.Los Chiles	Cobertura forestal - Cultivo	10.940,69
10.Puntarenas	Pasto - Cultivo	10.805,10

Fuente: Elaboración propia con datos de González-Gamboa et al., 2023a y de la NASA, 2023.

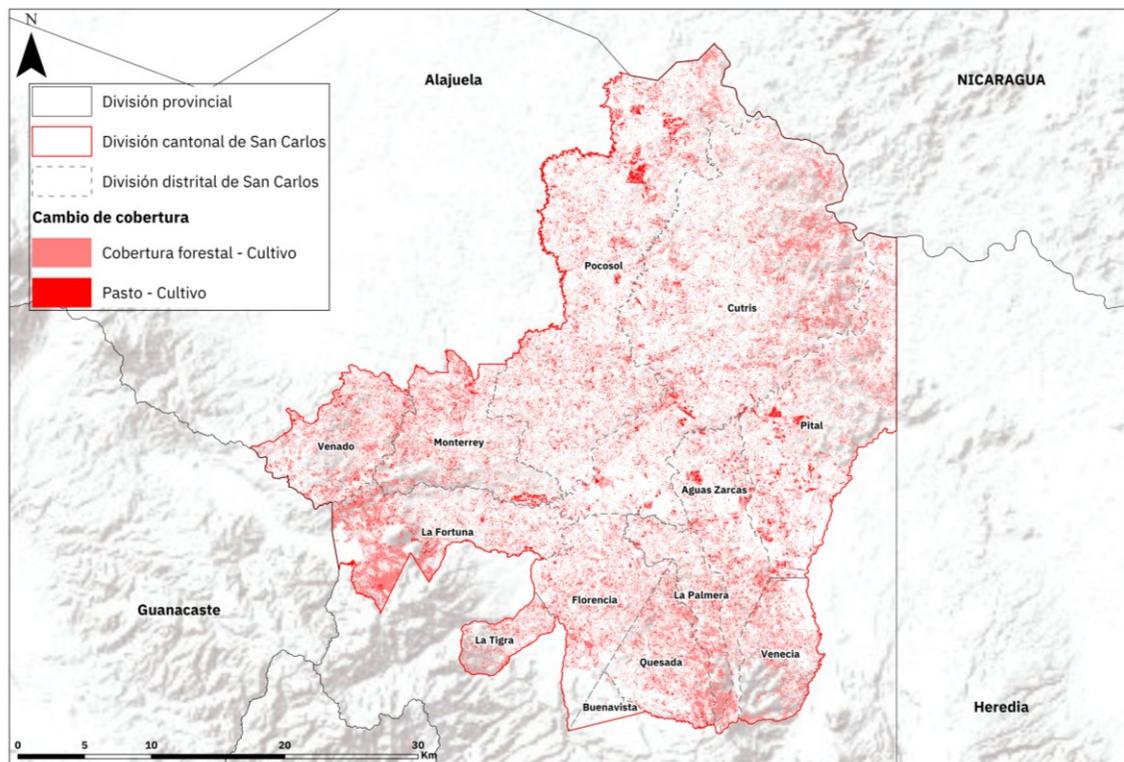
Además, en la zona norte, el cantón de Los Chiles muestra una notable expansión agrícola, con más de 12.000 hectáreas convertidas de pastos a cultivos y 10.940,69 ha de cobertura forestal a cultivos. Estos datos reflejan una considerable expansión agrícola en la zona norte del país, acompañada de una disminución de áreas cubiertas por pastizales y de cobertura forestal, lo cual podría tener importantes implicaciones ecológicas y económicas. El cantón de Puntarenas también aparece en la lista, tanto en la categoría de cobertura forestal a cultivos (11.848,97 ha) como en la de pastos a cultivos (10.805,10 ha). Por su parte, Turrialba presenta 11.521,92 ha de cobertura forestal convertidas a cultivos.

En resumen, entre el periodo 2014 y 2023, San Carlos lideró la conversión de tierras, con 33.863,86 hectáreas de cobertura forestal y 24.128,15 hectáreas de pastos convertidas respectivamente a cultivos, 57.992,01 entre ambos cambios de cobertura, como se muestra en el mapa 11. Adicionalmente, nuevos cantones, como Upala, Santa Cruz y Nicoya, también destacaron, mostrando un aumento en la conversión de otras coberturas a cultivos. En la zona norte, Los Chiles convirtió más de 12.000 hectáreas de pastos y cobertura forestal a cultivos, reflejando una significativa expansión agrícola en la región. Puntarenas y Turrialba también presentaron importantes conversiones de cobertura forestal y pastos a cultivos. Es importante destacar que 5 de 10 cantones presentaron cambios de cobertura forestal a cultivos, según Sierra et al (2016) entre finales de la década de 1980 y finales de la década de 1990, la pérdida neta de bosques fue significativa, especialmente en regiones alejadas de las zonas urbanas. La disminución de la tasa anual de deforestación entre 1997 y 2008 también se concentró en estas áreas, mientras que en las zonas con alta y media accesibilidad la deforestación se mantuvo

estable, así mismo mencionan que el área deforestada dio paso a cultivos, afectando bosques regenerados.

Mapa 11

Cambio de otras coberturas a cultivo en el cantón de San Carlos. 2014-2023



Fuente: Elaboración propia con datos de González-Gamboa et al., 2023a y de la NASA, 2023.

Para un mayor detalle, en los anteriores mapas de esta sección, se muestra la evolución del cantón de San Carlos de la provincia de Alajuela en la significativa transición de otras coberturas a cultivos, tanto en el periodo de 1986 al 2014, como del 2014 al 2023, resultados mostrados anteriormente.

Para 1986-2014, se observa un mayor impacto en la transición de pastos a cultivos en los distritos de Venecia, Pital, Agua Zarcas, La Palmera y la parte sur del distrito Cutris del cantón San Carlos. A nivel general, el cantón multiproductor, también experimentó una significativa conversión de coberturas forestales hacia cultivos. En comparación con los pastos, las coberturas forestales estaban más dispersas a lo largo del cantón, mientras que la conversión de pastos estaba más concentrada en zonas específicas ya mencionadas. Según León y Arroyo (2019), las transiciones de pastos a cultivos fueron unos de los cambios que favoreció el aumento de la producción piñera en la Zona Norte. En el pasado, se puede deducir que los pastos abarcaban grandes extensiones de terreno, debido a las actividades económicas importantes de ese entonces y a sus características climáticas, que favorecían los pastos y a su extensión (Mata, 1960).

Para el periodo 2014 al 2023, los roles se invierten: una mayor cantidad de cobertura forestal se convierte en cultivos, en lugar de pastos hacia cultivos. La conversión de pastos hacia cultivos es menos concentrada que en el periodo anterior, a excepción de algunas zonas específicas. La expansión de coberturas forestales a cultivos se mantiene a un nivel general en todo el cantón, cubriendo áreas que anteriormente no habían experimentado dicha conversión. Estos cambios dentro del cantón pueden sugerir un aumento de complejos agroindustriales, producción agrícola y plantas, suministrando cerca del 50% de la producción nacional a nivel de la región Huetar Norte (Vargas, 2021). Por ejemplo, Vargas et al. (2021) indican que en el periodo 2016-2017 la pérdida de cobertura forestal asociada con la expansión del cultivo de la piña fue de 653,20 ha, con el impacto ambiental que esto pueda tener.

Para el estudio, el nivel de resolución de las imágenes satelitales permitieron captar cultivos de alta dimensión, como lo pueden ser los monocultivos. Según Rodríguez-Echavarría y Prunier (2020), las grandes explotaciones agrícolas son hoy en día la principal fuente de empleo en esta región y también son potencialmente responsables de gran parte de la contaminación. Esto podría deberse al uso excesivo de agroquímicos, que puede generar la contaminación de cuerpos de aguas superficiales y subterráneos con sustancias tóxicas para el ser humano y el medio ambiente, tales como plaguicidas, nitritos, nitratos y exceso de nutrientes. Sin embargo, el eventual impacto de los fertilizantes y plaguicidas puede mitigarse mediante la utilización de sistemas de manejo integrado de plagas, enfermedades y malezas. Estas acciones pueden evitar el uso de plaguicidas que sean muy solubles o tóxicos para la fauna acuática (Castro et al., 2017).

Es importante resaltar que, según el INEC (2017), la Región Huetar Norte se destaca por su alta producción agropecuaria y su desarrollo agroindustrial, contribuyendo significativamente a las exportaciones y a la comercialización de diversos cultivos. En particular, el cantón de San Carlos mostró las mayores variaciones en las extensiones de hectáreas dedicadas a los cultivos entre diferentes censos. González-Gamboa et al. (2021b) confirman que en San Carlos la agroindustria tiene un rol importante en su red económica, además de suministrar alimentos a la demanda que el turismo haga. Por lo que su demanda de productos agropecuarios es relevante para la economía local.

Por otro lado, el aumento en el área de producción agropecuaria puede tener externalidades negativas. En términos generales, tanto la agricultura como la ganadería ejercen presión sobre los recursos del suelo y pueden causar contaminación debido al mal manejo de los residuos producidos en masa. Sin embargo, estos impactos pueden mitigarse con la existencia y adecuada aplicación de planes reguladores (Arce-Villalobos et al., 2020). Según Chaves (2010), la Ley Orgánica del Ambiente incluye la capacidad de uso del suelo y la zonificación según productos y actividades agropecuarias, tomando en cuenta aspectos ecológicos y productivos aspectos que se deben tomar a consideración para procesos de ordenamiento territorial en los cantones multi-productores.

Cambio de otros tipos de cobertura a cobertura forestal

Un punto crucial por destacar en la sección anterior es el aumento en la extensión de cultivos en los cantones multi-productores. Este fenómeno refleja un crecimiento en la tenencia de tierras destinadas a la agricultura durante los periodos comprendidos entre 1986 y 2014, así como

entre 2014 y 2023. Sin embargo, aún persisten cambios significativos de otras formas de cobertura hacia cobertura forestal. Según González-Gamboa et al. (2021a), la conversión de terrenos de pastos a áreas forestales ha sido el principal factor en la recuperación de cobertura forestal entre los años 1986 y 2019, períodos que están dentro de nuestro estudio, como se evidencia en las siguientes tablas.

En cuanto a los cambios de otras formas de cobertura a cobertura forestal en los cantones altamente multi-productores, se evidencia una notable transición de áreas de pastizales durante este período. Destaca especialmente el caso de Puntarenas, que lideró esta tendencia con una conversión de 38.910,51 hectáreas de pastos a cobertura forestal. Le sigue el cantón Santa Cruz en la provincia de Guanacaste, que recuperó un área de 24.043,95 hectáreas. San Carlos y Nicoya ocupan el tercer y cuarto lugar respectivamente, mostrando una dinámica similar de conversión de pastos a cobertura forestal. Además, Buenos Aires se destaca al recuperar 17.621,68 hectáreas de cobertura forestal, con una diferencia de más de 5.000 hectáreas en comparación con otros cantones. A continuación, se encuentran Abangares y Pérez Zeledón, mientras que en los últimos puestos se ubican Puriscal, Cañas y nuevamente Pérez Zeledón, siendo este último el único cantón con una conversión de cultivos a cobertura forestal dentro de este ranking.

Cuadro 7

Top 10 cambios de otros tipos de cobertura a cobertura forestal para cantones altamente productores. 1986 y 2014

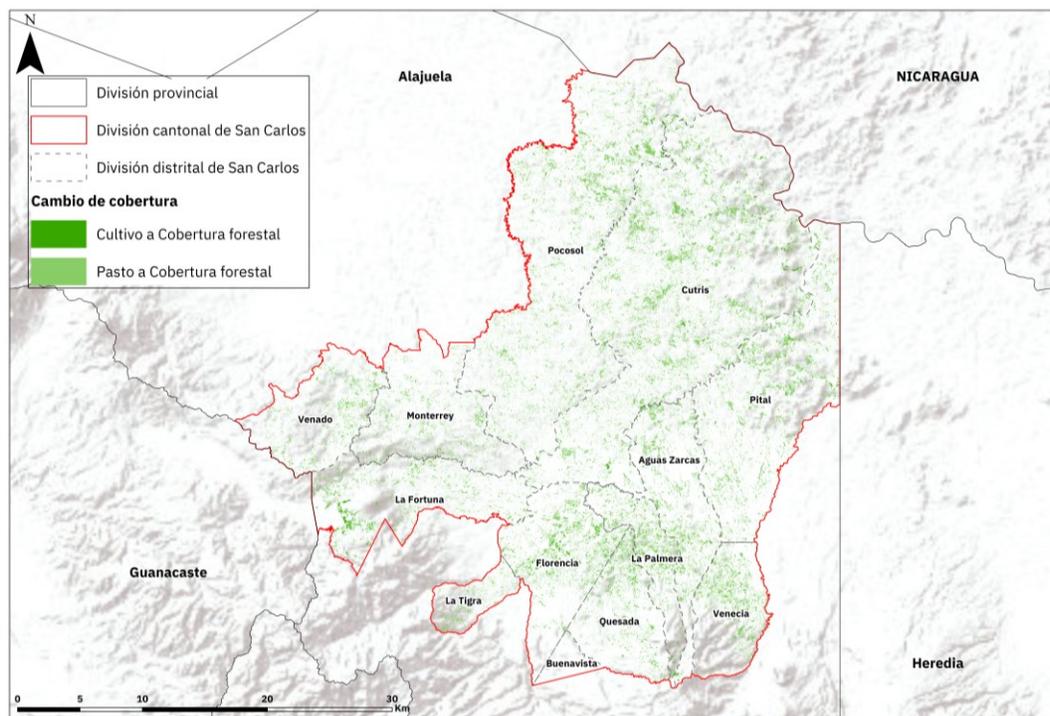
Cantón	Tipo de cambio	Ha
1.Puntarenas	Pasto - Cobertura forestal	38.910,51
2.Santa Cruz	Pasto - Cobertura forestal	24.043,95
3.San Carlos	Pasto - Cobertura forestal	20.133,37
4.Nicoya	Pasto - Cobertura forestal	19.230,13
5.Buenos Aires	Pasto - Cobertura forestal	17.621,68
6.Abangares	Pasto - Cobertura forestal	12.601,39
7.Pérez Zeledón	Pasto - Cobertura forestal	12.003,79
8.Puriscal	Pasto - Cobertura forestal	8.396,18
9.Cañas	Pasto - Cobertura forestal	6.747,89
10.Pérez Zeledón	Cultivo - Cobertura forestal	2.492,61

Fuente: Elaboración propia con datos de González-Gamboa et al., 2023a y de la NASA, 2023.

En resumen, los cambios de otros tipos de cobertura a cobertura forestal en cantones altamente productores entre 1986 y 2014 muestran una significativa conversión de pastos a cobertura forestal. Puntarenas lideró la tendencia de coberturas de pastos a cobertura forestal, seguido por el cantón de Santa Cruz, Guanacaste. Pérez Zeledón es el único cantón en la lista con una conversión significativa de cultivos a cobertura forestal. La tendencia general dentro de los 10 cantones multi-productores muestra la transformación de áreas dedicadas a pastos a cobertura forestal, mayoritariamente. El mapa 12 muestra el caso del Cantón de San Carlos, con especial concentración de cambios en el norte y en el sur del cantón.

Mapa 12

Cambio de otros tipos de cobertura a cobertura forestal en el cantón de San Carlos. 1986-2014



Fuente: Elaboración propia con datos de González-Gamboa et al., 2023a y de la NASA, 2023.

Si observamos el cuadro 8, para el periodo 2014 al 2023, notamos que los pastos continúan siendo la categoría con mayor conversión a cobertura forestal, con la excepción de dos cantones dentro del ranking. Destaca el caso del cantón de San Carlos, que lidera la tendencia del ranking con el mayor cambio de otras formas de cobertura a cobertura forestal, convirtiendo 24.413,95 hectáreas de pastos a cobertura forestal. Es importante destacar que San Carlos vuelve a figurar en el ranking en la posición 8, pero esta vez con un cambio notable de cultivos a cobertura forestal, alcanzando las 9.764,47 hectáreas. Buenos Aires y Nicoya también muestran un esfuerzo significativo en la conversión de pastizales a cobertura forestal (23.699,10 ha y 20.461,75 ha respectivamente). A estos se suman Puntarenas y Santa Cruz dentro de los cinco primeros cantones. Pérez Zeledón registra un cambio significativo de pastos a cobertura forestal con 16.468,20 hectáreas, mientras que Coto Brus recupera 11.009,14 hectáreas de cobertura forestal. Como se mencionó, San Carlos y Pérez Zeledón vuelven a aparecer con una transición de cultivos a cobertura forestal, recuperando más de 9.000 hectáreas cada uno, siendo los dos únicos cantones con el cambio de cultivos a cobertura forestal dentro de este top. Finalmente, el cantón de Los Chiles muestra un cambio de 8.147,76 hectáreas de pastos a cobertura forestal.

Cuadro 8

Top 10 cambios de otros tipos de cobertura a cobertura forestal para cantones altamente productores. 2014 y 2023

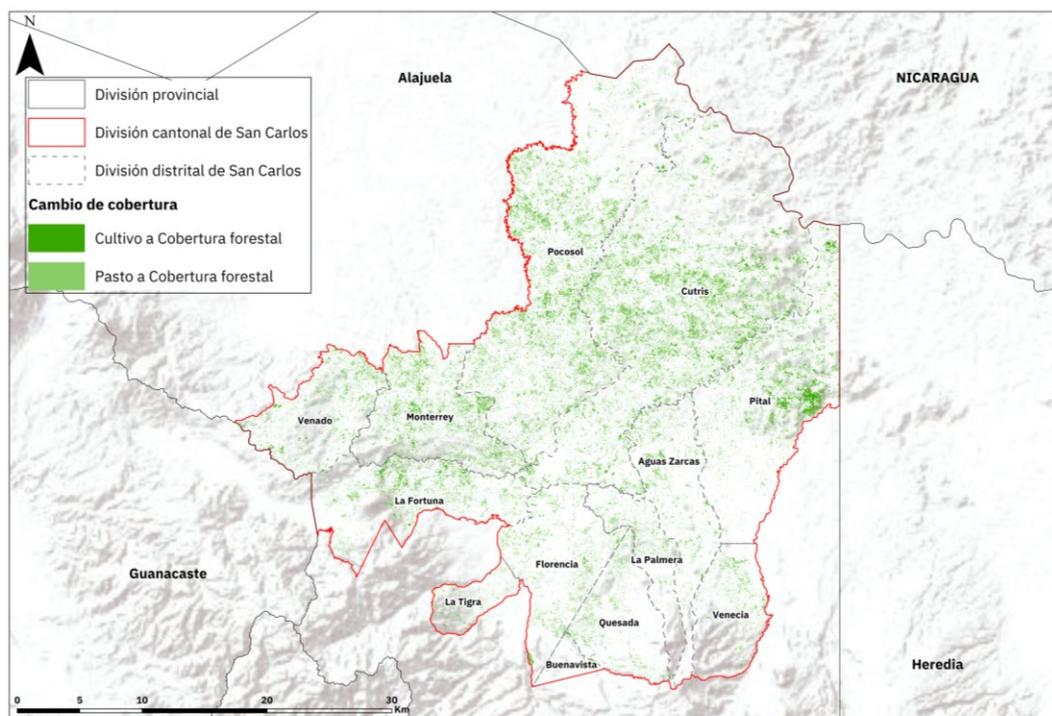
Cantón	Tipo de cambio	Ha
1.San Carlos	Pasto - Cobertura forestal	24.413,95
2.Buenos Aires	Pasto - Cobertura forestal	23.699,10
3.Nicoya	Pasto - Cobertura forestal	20.461,75
4.Puntarenas	Pasto - Cobertura forestal	18.652,54
5.Santa Cruz	Pasto - Cobertura forestal	17.788,14
6.Pérez Zeledón	Pasto - Cobertura forestal	16.468,20
7.Coto Brus	Pasto - Cobertura forestal	11.009,14
8.San Carlos	Cultivo - Cobertura forestal	9.764,47
9.Pérez Zeledón	Cultivo - Cobertura forestal	9.135,57
10.Los Chiles	Pasto - Cobertura forestal	8.147,76

Fuente: Elaboración propia con datos de González-Gamboa et al., 2023a y de la NASA, 2023.

En resumen, San Carlos lidera la conversión de pastos a cobertura forestal (24,413.95 ha) y destaca nuevamente con la conversión de cultivos a cobertura forestal (9,764.47 ha), siendo uno de los dos únicos cantones en el ranking con este cambio. Entre ambos cambios San Carlos suma 34.178,42 hectáreas, que como se puede observar en el mapa 13, estas áreas se localizan en el centro y en el suroeste del cantón. Los cantones de Buenos Aires y Nicoya también muestran esfuerzos significativos en la conversión de pastos a cobertura forestal, 23,699.10 ha y 20,461.75 ha respectivamente. Pérez Zeledón se destaca con 16,468.20 hectáreas de conversión de pastos a cobertura forestal, 9.135,57 ha de cultivos a pastos, sumando entre ambos cambios 25.603,77 hectáreas. Los Chiles en Alajuela muestra un cambio de 8.147,76 hectáreas de pastos.

Mapa 13

Cambio de otras coberturas a cobertura forestal en el cantón de San Carlos. 2014-2023



Fuente: Elaboración propia con datos de González-Gamboa et al., 2023a y de la NASA, 2023.

A modo de conclusión, los resultados demuestran que, entre ambos periodos de estudio el cambio de pastos a cobertura forestal fue la más dominante, tanto en 1986-2014 y 2014-2023, tomando en cuenta las hectáreas involucradas en el top 10, el 98,46% y 88,14% respectivamente se convirtió de pastos a cobertura forestal. Según González-Gamboa et al (2021a) el cambio de cobertura del suelo de pastizales a cobertura forestal ha sido el principal contribuyente a la recuperación de cobertura forestal entre 1986 y 2019. A pesar de esta contribución significativa, es importante resaltar que la evolución del número de hectáreas en este cambio de uso de suelo presenta dos tendencias diferentes a lo largo del tiempo. Comienza con un notable aumento en la cantidad de hectáreas de cobertura forestal derivadas de pastizales entre 1986 y 2014, seguido de un marcado descenso en los últimos cinco años, demostrando la diferencia negativa entre los porcentajes totales. Estas dinámicas, pueden sugerir que, debido a la implementación de Pagos por Servicios Ambientales, dentro de estos cantones los pastos hayan cambiado su cobertura, generando implicaciones en el entorno ganadero, así mismo la creación e implementación de políticas públicas y aprobación de leyes en función del manejo forestal dentro del país (Alfaro, 2020).

Por último, es importante resaltar que entre 1986 y 2014, San Carlos no figuró entre los dos primeros lugares en comparación con el próximo periodo, en cuanto a términos de transición a cobertura forestal, aun así, muestra una conversión de cultivos y pastos a cobertura forestal en todo el cantón, como se detalla en el mapa 15. En el periodo 2014-2023, esta conversión aumentó considerablemente, situando a San Carlos en el ranking en dos ocasiones. Este aumento se debe principalmente a la transición de pastos a cobertura forestal, observada

mayormente en los distritos de Pocosol, Cutris, Pital, Monterrey y Venado, aunque también se muestra en otros distritos.

A pesar de que la conversión de cultivos a cobertura forestal abarca una menor área, su impacto en el cantón es notable. Estas transiciones sugieren que los sistemas de manejo forestal implementados han logrado una gestión efectiva de la cobertura forestal. Este sistema se ha aplicado a todos los aprovechamientos en las coberturas forestales, con varios casos documentados que demuestran su éxito. Un ejemplo destacado es la Comisión de Desarrollo Forestal de San Carlos (CODEFORSA), una ONG sin fines de lucro fundada en 1983, que gestiona aproximadamente 90.000 hectáreas de cobertura forestal ubicadas principalmente en la Región Norte del país (Rodríguez, 2001).

Adicionalmente, el incremento de cobertura forestal a la vez que aumenta el área de cultivos puede indicar aspectos positivos de cambio en el sistema de producción. Ya que fincas agropecuarias con mayor cobertura vegetal juegan un papel importante en la regulación del ciclo del agua, la conservación del suelo, la biodiversidad y el equilibrio del ecosistema (Guamán et.al., 2023). Además, esta ganancia de cobertura vegetal en cantones altamente multi-productores puede ayudar a proporcionar hábitat y recursos para la fauna silvestre. Por otro lado, la misma actividad agrícola puede resultar beneficiada ya que ayuda a reducir la erosión del suelo, contribuye a la captura de carbono y nitrógeno. Eso sin mencionar que la cobertura forestal puede tener un impacto significativo en el clima local y regional (Guamán et.al., 2023). Esto, además de reducir el posible impacto de inundaciones en la producción agropecuaria (FAO-CIFOR, 2005), este último tema se desarrollará con más detalle en los siguientes apartados.

Cambio de otros tipos de cobertura a infraestructura

El cambio de otros tipos de cobertura a infraestructura puede ser significativo en cantones multi-productores, esto puede ser un signo de desarrollo económico para dichos cantones, al contar con mayor infraestructura puede significar un desarrollo de una agricultura más competitiva (Arias, 2005).

Como se observa en la tabla comparativa, entre los dos períodos, San Carlos muestra una dinámica similar a los distintos cambios de cobertura anteriores, en la cual la conversión de pastos a infraestructura sigue siendo significativa. En el período 1986-2014, San Carlos convirtió 2.477,09 hectáreas de pastos a infraestructura, mientras que en el período 2014-2023 esta cifra aumentó a 5.719,98 hectáreas, casi duplicándose. Además, se incrementó notablemente la conversión de cultivos y cobertura forestal a infraestructura, alcanzando 5.366,47 hectáreas y 4.729,77 hectáreas respectivamente en el segundo período.

Cuadro 9

Top 10 cambios de otros tipos de cobertura a infraestructura para cantones altamente productores. 1986-2014 y 2014-2023

1986-2014			2014-2023		
Cantón	Tipo de cambio	Ha	Cantón	Tipo de cambio	Ha
1.San Carlos	Pasto - Infraestructura	2.477,09	1.San Carlos	Pasto - Infraestructura	5.719,98
2.San Carlos	Cobertura forestal - Infraestructura	1.069,36	2.San Carlos	Cultivo - Infraestructura	5.366,47
3.Alajuela	Cultivo - Infraestructura	973,36	3.San Carlos	Cobertura forestal - Infraestructura	4.729,77
4.Pérez Zeledón	Pasto - Infraestructura	864,50	4.Los Chiles	Pasto - Infraestructura	2.677,94
5.Alajuela	Pasto - Infraestructura	839,80	5.Upala	Cultivo - Infraestructura	2.658,66
6.Pérez Zeledón	Cobertura forestal - Infraestructura	770,36	6.Los Chiles	Cultivo - Infraestructura	1.947,94
7.Buenos Aires	Pasto - Infraestructura	628,43	7.Pérez Zeledón	Cobertura forestal - Infraestructura	1.835,93
8.San Carlos	Cultivo - Infraestructura	590,97	8.Upala	Pasto - Infraestructura	1.765,69
9.Puntarenas	Pasto - Infraestructura	578,14	9.Upala	Cobertura forestal - Infraestructura	1.452,49
10.Grecia	Cultivo - Infraestructura	432,12	10.Pérez Zeledón	Pasto - Infraestructura	1.385,04

Fuente: Elaboración propia con datos de González-Gamboa et al., 2023a y de la NASA, 2023.

En el cantón de Alajuela, durante el período 1986-2014, hubo una conversión significativa de cultivos a infraestructura (973,6 hectáreas) y de pastos a infraestructura (839,80 hectáreas). Sin embargo, en el período 2014-2023, Alajuela no aparece en la lista de los principales cambios de cobertura, indicando una reducción relativa en estas conversiones. Pérez Zeledón también presenta cambios notables. En el primer período, la conversión de pastos a infraestructura fue de 864,50 hectáreas, posicionándose en el puesto 4 del ranking, mientras que en el segundo período esta cifra se aumentó a 1.385,04 hectáreas convertidas aun así para este periodo Pérez Zeledón bajo al puesto 10 del ranking. Sin embargo, la conversión de cobertura forestal a infraestructura se mantuvo alta, con 770,36 hectáreas en el primer período y 1.835,93 hectáreas en el segundo. Los cantones de Los Chiles y Upala emergen como nuevos focos de conversión de tierras en el período 2014-2023. En Los Chiles se convirtió 2.677,94 hectáreas de pastos y 1.947,94 hectáreas de cultivos a infraestructura respectivamente, mientras que Upala convirtió 2.658,66 hectáreas de cultivos, 1.765,69 hectáreas de pastos y 1.452,49 hectáreas de cobertura forestal a infraestructura.

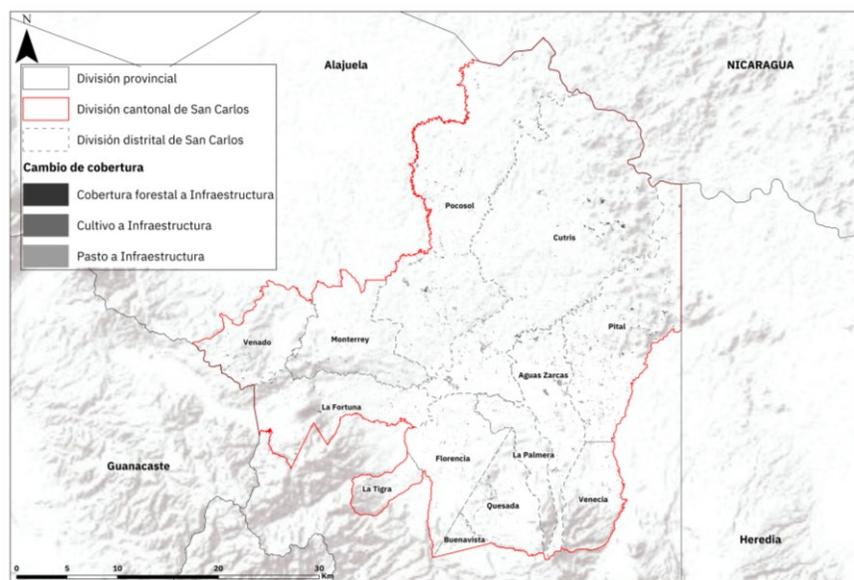
En el cantón de Buenos Aires, en el primer período, había convertido 628,43 hectáreas de pastos a infraestructura, mientras que en el segundo período no figura entre los principales cantones. Adicionalmente, Puntarenas, que había convertido 578,14 hectáreas de pastos a infraestructura en el primer período, tampoco aparece en la lista del segundo período.

En resumen, el análisis comparativo entre los dos períodos muestra una intensificación en la conversión de otros tipos de cobertura hacia infraestructura, especialmente en San Carlos, donde la diversificación de los tipos de coberturas convertidas sugiere una creciente presión sobre diferentes terrenos agrícolas y forestales, además este cantón al ser una ciudad intermedia tiene implicaciones en estos cambios, debido a sus dinámicas de actividades económicas, sociales y culturales (Sánchez, 2021), donde su dinámica económica refleja el crecimiento en la construcción de edificaciones (González-Gamboa et al. 2021b, PEN, 2021). Cabe destacar que en el segundo período (2014-2023) hay un aumento más considerable en el cambio a infraestructura en comparación con el primer período (1986-2014), independientemente del tipo de cambio de cobertura. Esto sugiere un crecimiento más rápido y una mayor inversión en desarrollo de infraestructura durante el segundo período de estudio en comparación con el primero.

En los mapas 14 y 15 se puede observar los cambios de otros tipos de cobertura a infraestructura en el cantón de San Carlos para el periodo 1986-2014 y para el periodo 2014-2023 respectivamente. En el mapa 15 se observa una fuerte concentración del cambio en la parte sureste del cantón justo coincidiendo con la ubicación de Ciudad Quesada, y otro bloque de crecimiento en la sección noroeste del cantón.

Mapa 14

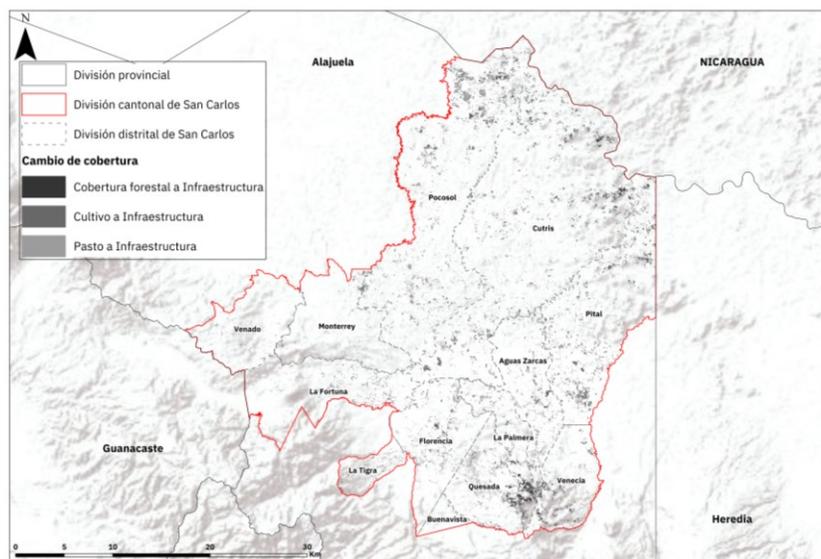
Cambio de otras coberturas a infraestructura en el cantón de San Carlos. 1986-2014



Fuente: Elaboración propia con datos de González-Gamboa et al., 2023a y de la NASA, 2023.

Mapa 15

Cambio de otras coberturas a infraestructura en el cantón de San Carlos. 2014-2023



Fuente: Elaboración propia con datos de González-Gamboa et al., 2023a y de la NASA, 2023.

A modo de conclusión se puede decir que en el cantón de San Carlos se evidencia un cambio significativo de otros tipos de cobertura hacia una mayor infraestructura, siguiendo una tendencia nacional. Datos a nivel nacional indican que aproximadamente el 67% del incremento en áreas urbanas e infraestructura proviene de la conversión de cobertura forestal (Sierra et al., 2016). Este fenómeno explicado por Sierra et al. (2016) se evidencia en San Carlos, donde se aprecia un aumento en infraestructuras a expensas de la cobertura forestal. Asimismo, la conversión de pastos y cobertura forestal contribuye con el 13% y el 20% respectivamente al crecimiento urbano restante a nivel nacional (Sierra et al., 2016), mostrando una tendencia similar dentro del cantón.

Durante el periodo de 1986-2014, se observa en San Carlos un cambio notable de otros tipos de coberturas hacia infraestructura, afectando principalmente a áreas de pastos, cobertura forestal y cultivos. Este proceso se extiende hasta los años 2014-2023, donde se registra un aumento notable en la extensión de infraestructuras a partir de otras coberturas, especialmente en distritos como Venecia, Aguas Zarcas y La Palmera, así como en aquellos cercanos al límite fronterizo como Pocosol y Cutris. La investigación de Sánchez (2021) respalda estas observaciones al señalar que San Carlos es uno de los cantones que concentra el 50% de las construcciones (habitacional, comercial, industrial, entre otras) a nivel nacional, con un enfoque notorio en el crecimiento urbano. Se estima que durante el periodo de 2014-2021, se han desarrollado aproximadamente 23.700 hectáreas anuales de construcciones en San Carlos (Sánchez, 2021). Esto subraya la intensa transformación y urbanización que ha experimentado el cantón en los últimos años, reflejando un cambio significativo en los tipos de cobertura y en la expansión de la infraestructura.

Este incremento de cambio de uso de pastos, cultivos y cobertura forestal hacia edificaciones no es un fenómeno nuevo en la historia del país. Ya que a inicios de 1900 el aumento de la población

en el centro del país provocó crecimiento urbano, y desplazó la producción agropecuaria hacia cantones más en la periferia, y hacia zonas costeras. Este proceso está documentado para el caso del cultivo del café, granos básicos, caña de azúcar, y ganado vacuno (Villalobos, 2017; León y Arroyo, 2011; León y Arroyo, 2012; González et al., 2023a). Por lo que la dinámica observada en San Carlos, especialmente entre 2014-2023 muestra que cultivos y pastos (probablemente asociados originalmente a la actividad ganadera) están cediendo espacio al crecimiento urbano. Por otro lado, la pérdida de cobertura forestal también lo está haciendo. Específicamente en el caso agropecuario, las lecciones del pasado nos sugieren que estas actividades se estarían desplazando hacia zonas hacia la periferia de los lugares de crecimiento en infraestructura, y que podrían estar generando presión en los cambios de pastos y cobertura forestal hacia cultivos, mostrados anteriormente. En estas circunstancias es necesario un ordenamiento territorial para evitar degradación de suelos y la exposición de infraestructura y cultivos a inundaciones.

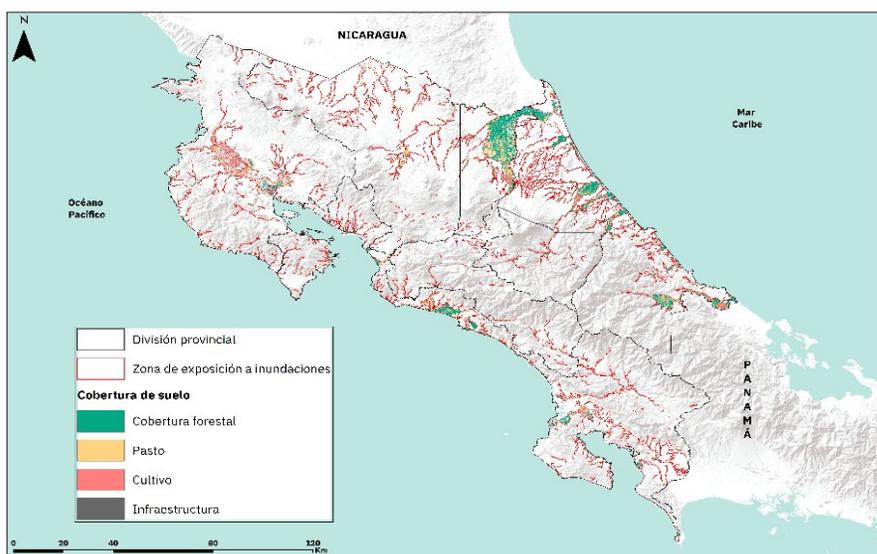
Implicaciones del cambio de cobertura del suelo en zonas con exposición a inundaciones

Identificar el cambio de uso del suelo en zonas identificadas como potencialmente inundables es de suma importancia para identificar prácticas que afecten la sostenibilidad del territorio y la exposición explícita a inundaciones. González-Gamboa et al. (2023b) demostraron que en efecto se ha venido construyendo en forma sostenida desde 1986 y 2017 en zonas de exposición a inundaciones. Los resultados del presente trabajo agregan además que en definitiva si ha habido cambios de cobertura del suelo que pueden estar exponiendo actividades como la agricultura, y la construcción a eventos de inundaciones. El mapa 16 muestra las coberturas del suelo identificadas para el año 1986, 2014 y 2023.

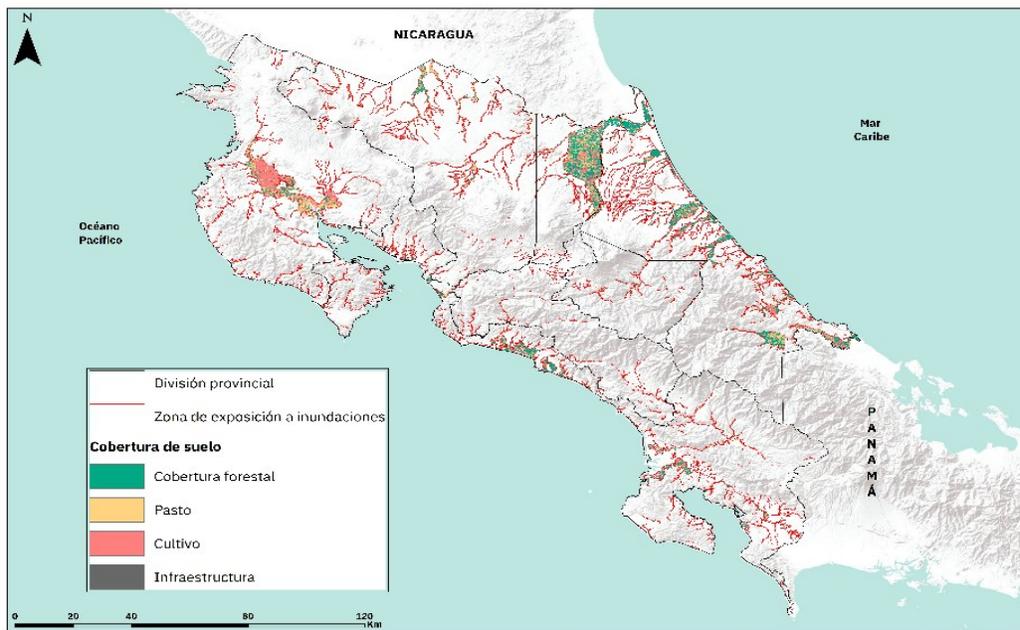
Mapa 16

Cobertura del suelo para zonas de exposición a inundaciones. 1986, 2014 y 2023

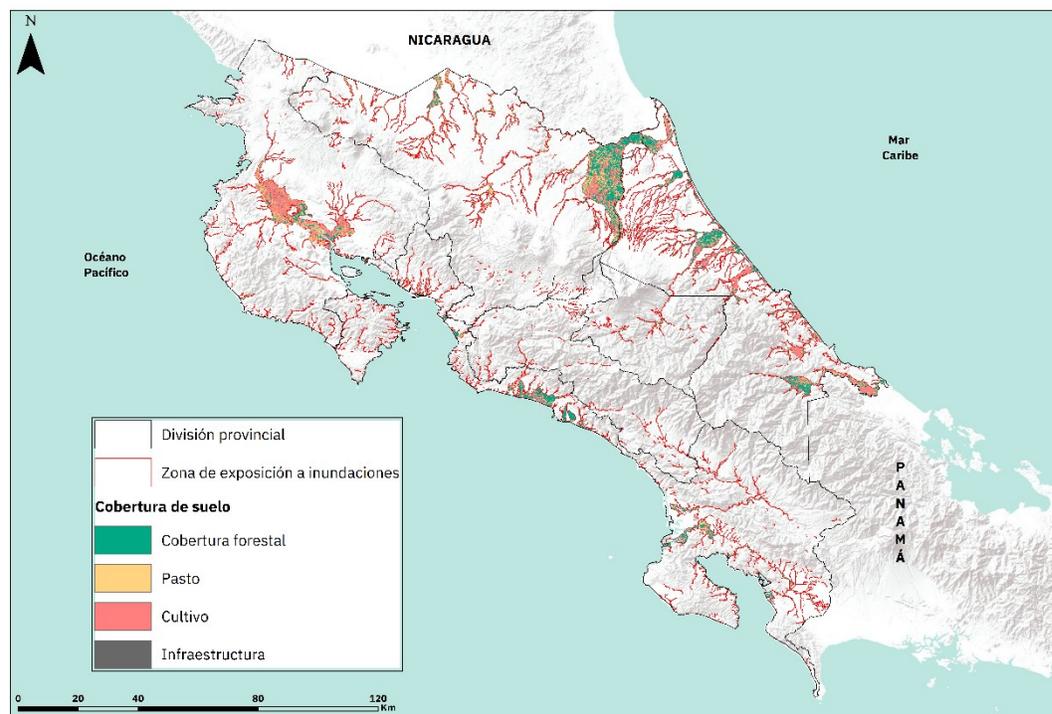
1986



2014



2023



Fuente: Elaboración propia con datos de CNE, 2023 y NASA, 2023.

El gráfico 3 y el cuadro 10 reportan la tendencia de la cobertura del suelo para las zonas identificadas como potencialmente inundables. El primer punto por resaltar es una reducción en el área de cobertura forestal. Entre 2014 y 2023 esta cobertura decreció en 9,07%. Perdiendo parte de lo que había recuperado entre 1986 y 2014 cuando había crecido en 18,37%. En este caso Nawrotzki et al. (2023) indican que la pérdida de cobertura forestal está asociada a un aumento en la vulnerabilidad climática. Quesada-Román (2022) en forma similar advierte que suelos con mayor vegetación son más capaces de absorber agua y reducir la escorrentía, lo que ayuda a prevenir inundaciones. Por ende, este tipo de cambio de cobertura tendría implicaciones socio-económicas y ambientales que se abordarán más adelante.

Adicionalmente, los resultados indican que el área porcentual de cultivos ha venido en constante aumento. Entre 1986 y 2014 este tipo de cobertura aumentó 74,37%, y entre 2014 y 2023 esta área aumento 29,39%. En general entre 1986 y 2023 el área de cultivos aumento en 125,62%. En este contexto la producción agropecuaria expuesta en estas zonas podría estar bajo un escenario de pérdidas económicas ante una eventual inundación. Esto puede traer consecuencias negativas a nivel social para las familias y comunidades locales tal y como Mejía et al. (2022) lo resaltan. Ampliando lo encontrado por González-Gamboa et al. (2021b), los resultados evidencian que la infraestructura entre 2014 y 2023 creció 122,22%. Un incremento bastante significativo, y que pone en evidencia la exposición de la infraestructura a pérdidas económicas junto con la vida de las personas que hacen uso de ella.

En el caso de los pastos, está área apenas aumento en 5,31% entre 1986 y 2023, por lo que en términos generales esta cobertura se mantuvo similar, sin embargo, a nivel de cantón si han existido cambios tal y como se detallará más adelante.

Cuadro 10

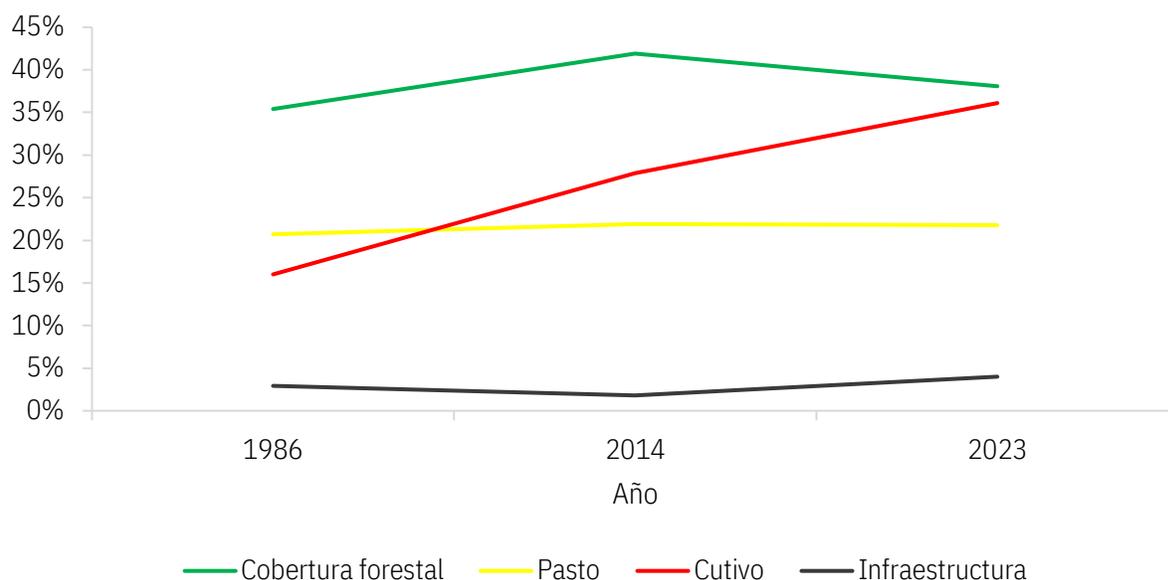
Evolución temporal del uso de suelo en zonas potencialmente inundables. 1986 – 2023

Categoría	Año		
	1986	2014	2023
Cobertura forestal	35,40%	41,90%	38,10%
Pasto	20,70%	21,90%	21,80%
Cutivo	16,00%	27,90%	36,10%
Infraestructura	2,90%	1,80%	4,00%

Fuente: Elaboración propia con datos de CNE, 2023 y NASA, 2023.

Gráfico 3

Evolución temporal de la cobertura del suelo en zonas de exposición a inundaciones. 1986 – 2023



Fuente: Elaboración propia con datos de CNE, 2023 y NASA, 2023.

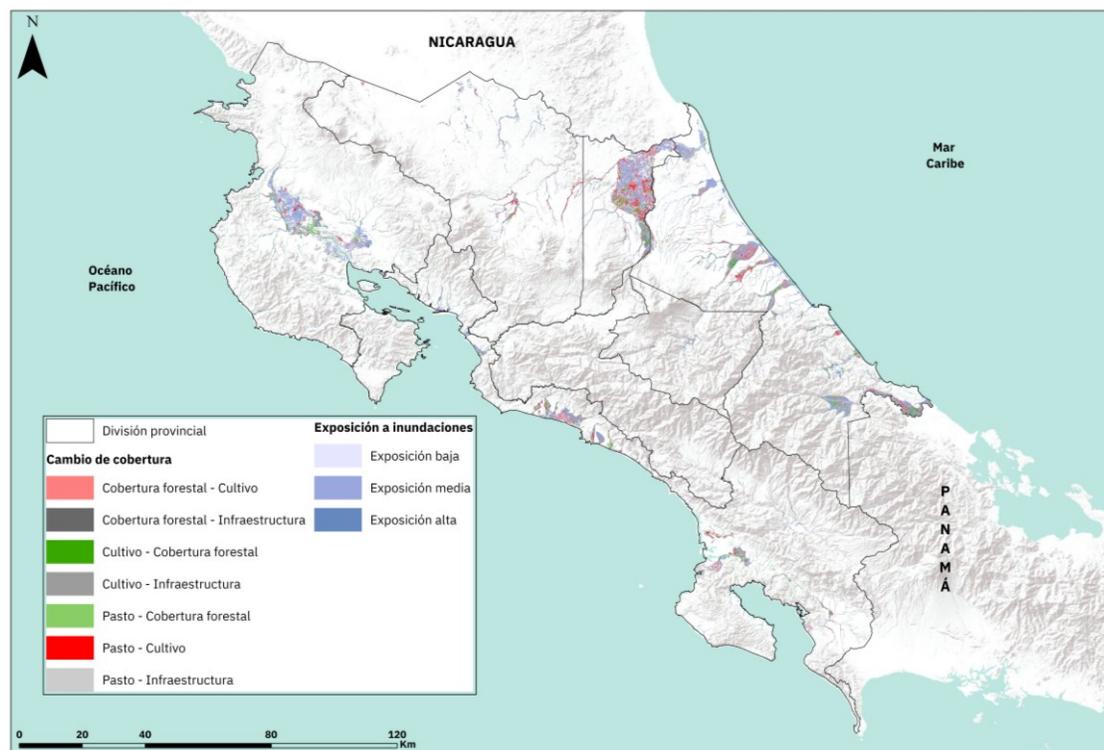
En resumen, las zonas potencialmente inundables han sufrido los siguientes cambios entre 1986 y 2023:

- Pérdida de cobertura forestal entre 2014-2023.
- Fuerte y constante incremento de área de cultivos entre 1986-2023.
- Importante aumento en infraestructura entre 2014-2023.

La información generada permite identificar aquellos tipos de cobertura que dieron paso a cambios. Por ejemplo, el mapa 17 muestra áreas de pasto en que dieron paso a cultivos, y áreas de cobertura forestal que dieron paso a cultivos, entre 1986 y 2014. Mientras que el mapa 18 muestra los mismos tipos de cambio entre 2014 y 2023.

Mapa 17

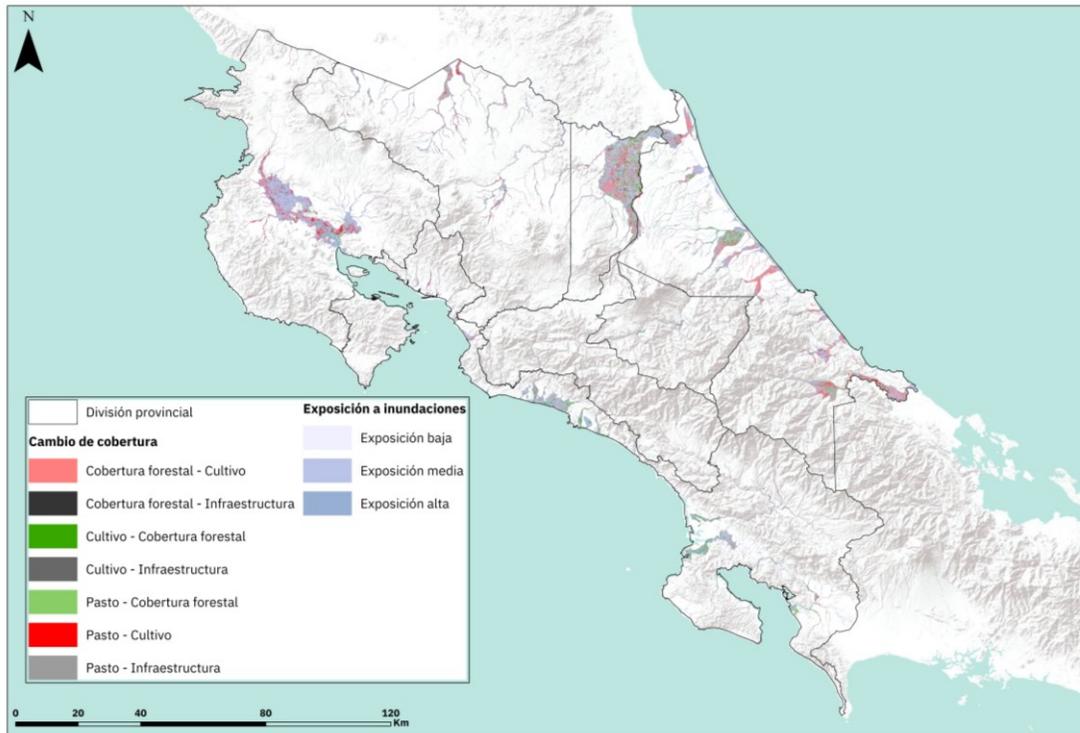
Cambios de cobertura del suelo en zonas con exposición a inundaciones. 1986 – 2014



Fuente: Elaboración propia con datos de CNE, 2023 y NASA, 2023.

Mapa 18

Cambios en la cobertura del suelo en zonas con exposición a inundaciones. 2014 – 2023

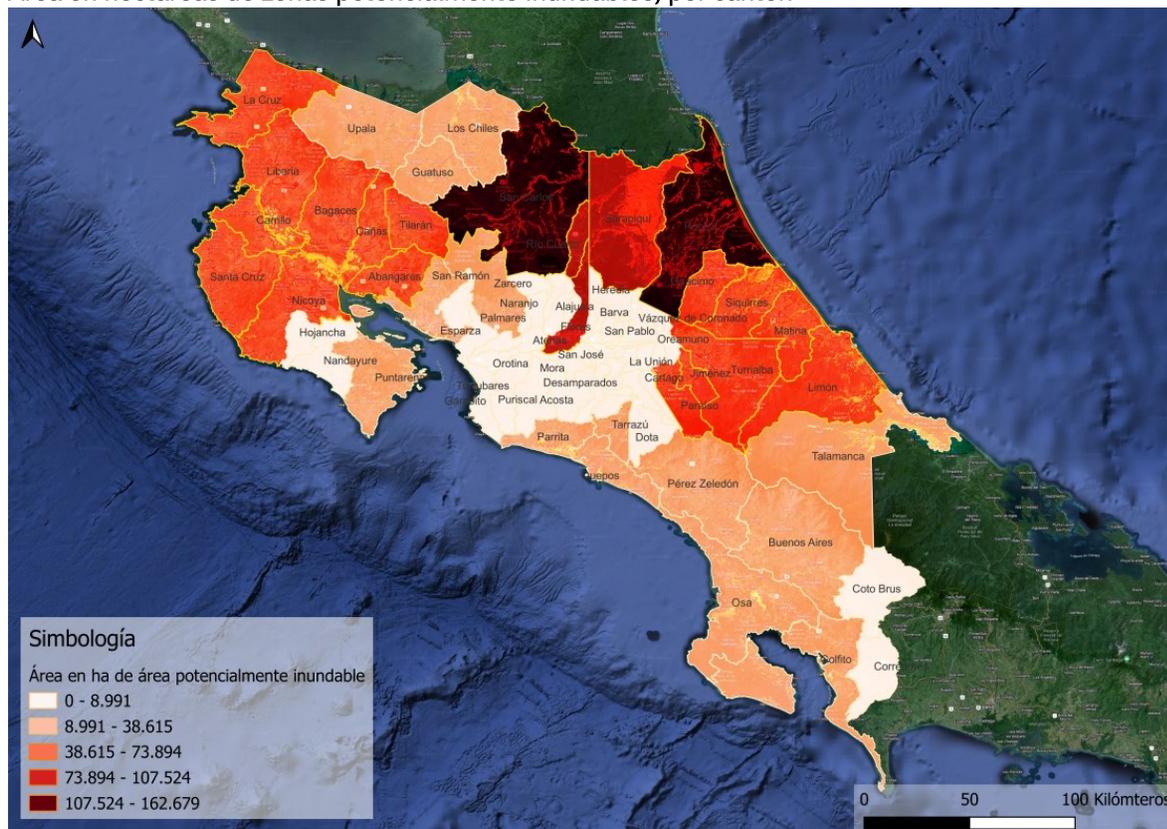


Fuente: Elaboración propia con datos de CNE, 2023 y NASA, 2023.

Para un mejor entendimiento de la dinámica de cambio de cobertura en zonas relevantes para la gestión del territorio vamos a enfocarnos en los cantones que tienen mayor exposición a inundaciones. El mapa 19 muestra los cantones que cuentan con mayor área potencialmente inundable según datos de la CNE. Como es posible observar, los cantones del norte del país San Carlos, Sarapiquí y Pococí son los que tienen mayor área, seguidos por los cantones del Caribe (desde Pococí hasta Limón). Por último, los cantones alrededor del río Tempisque. Dentro de estas áreas potencialmente inundable González-Gamboia et al. (2023b) realizaron una clasificación para priorizar zonas con mayor o menor exposición a inundaciones basándose en cercanía de los cuerpos de agua y de la pendiente del terreno.

Mapa 19

Área en hectáreas de zonas potencialmente inundables, por cantón



Fuente: Elaboración propia con datos de CNE, 2023 y NASA, 2023.

La heterogeneidad espacial de la distribución de áreas potencialmente inundable pone en evidencia que ciertos cantones deben de maximizar sus cuidados para atender eventuales inundaciones. En el presente trabajo se pretende entender la dinámica de cambio de cobertura del suelo dentro de las áreas potencialmente inundables. Entendiendo esta dinámica permitiría a los gestores del territorio local y nacional mejorar las formas en que se pueden construir vulnerabilidades ambientales y planificar posibles medidas de prevención.

Cambio de otros tipos de cobertura a infraestructura

Dentro de áreas expuestas a inundaciones se puede interpretar como cambio negativo aquellos cambios de cobertura forestal, pastos y cultivos a infraestructura, esto debido a la exposición que representaría para la infraestructura y las personas que de ellas hacen uso. A continuación, el cuadro 11 muestra el top 10 de los cantones que han dado paso de otros usos a infraestructura dentro de áreas potencialmente inundables entre 1986 y 2014:

Cuadro 11

Top 10 cambios de otros tipos de cobertura a infraestructura. 1986 y 2014

Cantón	Nivel de exposición a inundaciones	Tipo de cambio	Ha
1.Sarapiquí	Medio	Cobertura forestal - Infraestructura	674,17
2.Sarapiquí	Medio	Pasto - Infraestructura	292,50
3.Carrillo	Medio	Cultivo - Infraestructura	147,81
4.Sarapiquí	Medio	Cultivo - Infraestructura	125,97
5.Liberia	Medio	Cultivo - Infraestructura	114,02
6.Quepos	Medio	Pasto - Infraestructura	113,26
7.Liberia	Medio	Pasto - Infraestructura	104,69
8.Sarapiquí	Bajo	Cobertura forestal - Infraestructura	85,93
9.San Carlos*	Medio	Pasto - Infraestructura	84,29
10.Parrita	Medio	Pasto - Infraestructura	77,72

*Cantón multi-productor.

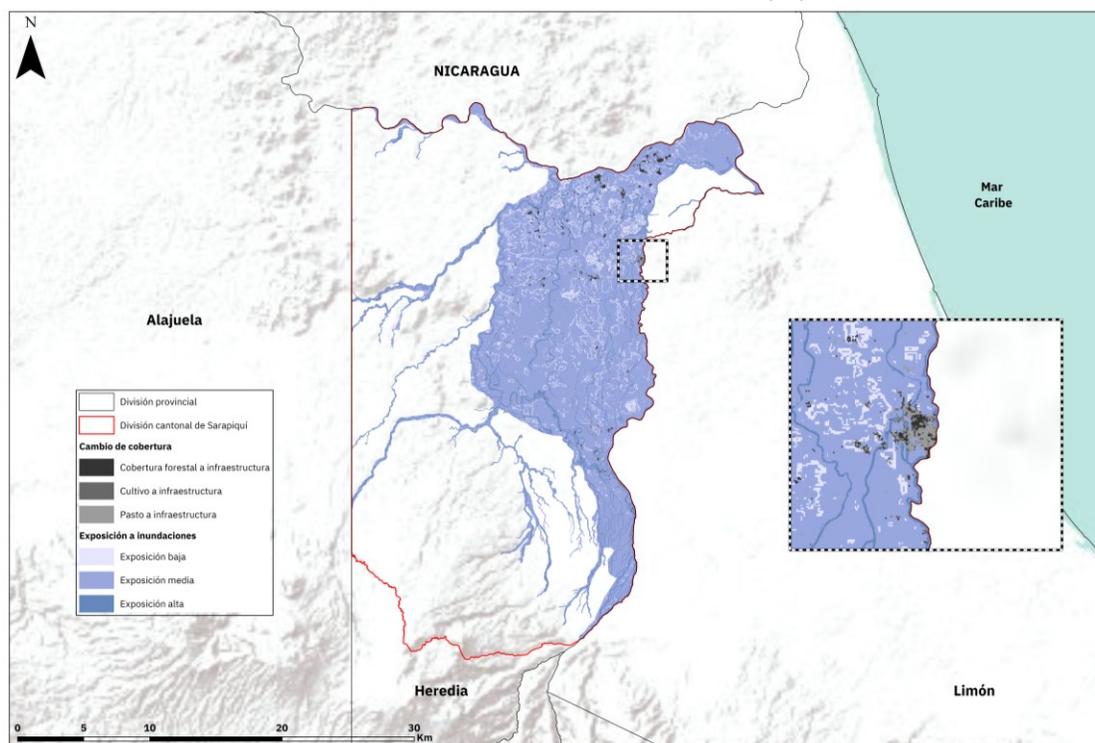
Fuente: Elaboración propia con datos de CNE, 2023 y NASA, 2023.

En la tabla mostrada sobresale el cantón de Sarapiquí que está en los dos primeros lugares, además del cuarto y del octavo, con cambios de cobertura forestal, pastos, cultivos a infraestructura. Solo Sarapiquí, entre 1986 a 2014, dio paso a 1.178,57 hectáreas de infraestructura en zonas potencialmente inundables. Además, el cantón de Liberia tiene dos apariciones en este ranking con cambios de cultivo y de pasto a infraestructura. Los cantones de Carrillo (147,81 ha) y Quepos (113,26 ha), que son reconocidos por su actividad turística, también sobresalen en este ranking. Adicionalmente, San Carlos (84,29 ha) y Liberia (218,71 ha) están en el ranking.

Casi que todos estos cambios se dan en áreas clasificadas por González-Gamboa et al. (2021b) con nivel de exposición media a inundaciones. Sobresalen 5 casos que corresponden al cambio de pastos a infraestructura. Dado que el cantón de Sarapiquí es el más relevante, en el mapa 20 se muestra el caso de este cantón. Como se observa, la mayoría de los cambios a infraestructura entre 1986-2014 se han dado en la parte norte del cantón.

Mapa 20

Cambio de otras coberturas a infraestructura en el cantón de Sarapiquí. 1986-2014



Fuente: Elaboración propia con datos de CNE, 2023 y NASA, 2023.

Si observamos el mismo tipo de cambio entre 2014 y 2023 Sarapiquí mantiene la tendencia con tres de los cuatros cambios con más área, específicamente los cultivos, pastos y cobertura forestal dieron paso a infraestructura. Entre los tres cambios Sarapiquí dio paso a 1.868,08 hectáreas de infraestructura en 2023. Adicionalmente, Liberia y Carrillo de Guanacaste están en el top 5, ambos con cambios de cultivo a infraestructura. En la Zona Norte, además, se evidencia que los cultivos y los pastos están dando un cambio a infraestructura dentro de zonas potencialmente inundables, así lo evidencia la presencia de los cantones de Los Chiles (405,18 ha), San Carlos (186,54) y Upala (169,58 ha) en los últimos cuatro puestos del top 10. Para este periodo son los cultivos los que más han cedido espacio a infraestructura, ya que cinco de los cambios son de este tipo. Estos últimos dos cantones son multi-productores, donde se evidencia que tanto actividad agrícola y ganadera está cediendo paso a infraestructura. Esta dinámica se da dentro de áreas medianamente expuestas a inundaciones, lo que llama la alerta para la planificación del territorio cantonal, ya que es una zona que eventualmente podría enfrentar eventos de inundaciones, pudiendo enfrentar pérdidas nada despreciables.

Cuadro 12

Top 10 cambios de otros tipos de cobertura a infraestructura. 2014 y 2023

Cantón	Nivel de exposición a inundaciones	Tipo de cambio	Ha
1.Sarapiquí	Medio	Cultivo - Infraestructura	836,08
2.Liberia	Medio	Cultivo - Infraestructura	663,18
3.Sarapiquí	Medio	Pasto - Infraestructura	521,63
4.Sarapiquí	Medio	Cobertura forestal - Infraestructura	510,37
5.Carrillo	Medio	Cultivo - Infraestructura	499,23
6.Pococí	Medio	Cobertura forestal - Infraestructura	469,92
7.Los Chiles*	Medio	Pasto - Infraestructura	231,34
8.San Carlos*	Medio	Pasto - Infraestructura	186,54
9.Los Chiles*	Medio	Cultivo - Infraestructura	173,84
10.Upala	Medio	Cultivo - Infraestructura	169,58

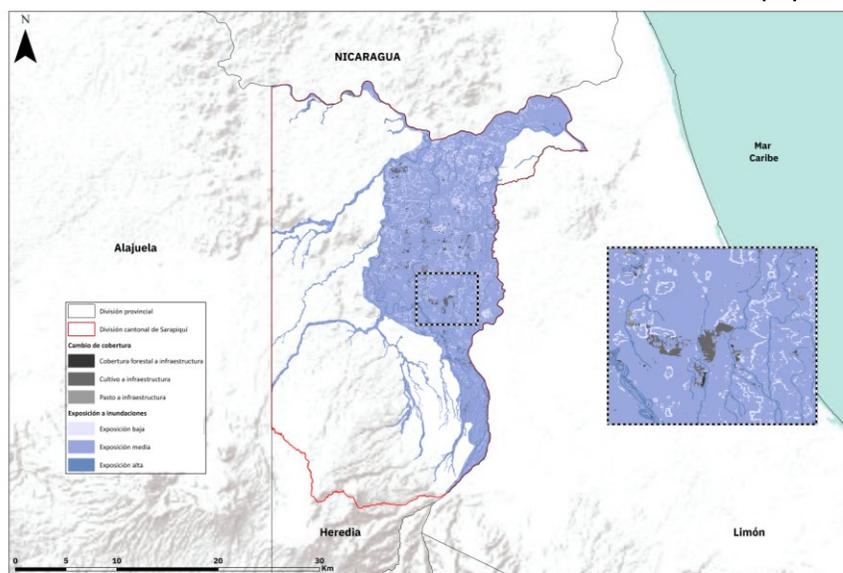
*Cantón multi-productor

Fuente: Elaboración propia con datos de CNE, 2023 y NASA, 2023.

Viendo de nuevo el caso de Sarapiquí, los cambios a infraestructura se dieron en la parte oeste y sur del área expuesta a inundaciones, tal y como se observa en el mapa 21

Mapa 21

Cambio de otras coberturas a infraestructura en el cantón de Sarapiquí. 2014-2023



Fuente: Elaboración propia con datos de CNE, 2023 y NASA, 2023.

A modo de resumen, Sarapiquí es el cantón dentro de áreas potencialmente inundables que sobresale con la mayor área en cambios de cobertura forestal, pastos y cultivos a infraestructura, tanto en el periodo 1986-2014 (con 1.178,57 ha) y 2014-2023 (con 1.868,08 ha). Entre 1986 y 2014, además de Sarapiquí cantones con ya conocida dinámica de ciudades intermedias cambiaron de cultivos y pastos a infraestructura como es el caso de Liberia, y San Carlos. Estos cantones que tienen ciudades intermedias presentan un crecimiento urbano constante y no

planificado (Sánchez, 2017, PEN, 2017). Por lo que el presente estudio complementa además que se está construyendo en zonas de exposición a inundaciones, lo que debe encender las alertas en la planificación urbana de los cantones. También cantones con una conocida dinámica turística costera resaltan en el ranking como lo son Quepos y Carrillo, que pasaron de cambios de cobertura de pastos y cultivos a infraestructura. Adicionalmente, entre 2014 y 2023 además de la dinámica mostrada entre 1986-2014 se incorporan en los cantones con más cambios a infraestructura otros cantones de la Zona Norte, como el caso de Los Chiles y Upala. En términos generales las áreas de cultivo son las que más están dando cabida a cambio a infraestructura.

González-Gamboa et al. (2021b) identificaron que los cantones con ciudades intermedias como San Carlos, Pococí y Liberia tienen una actividad económica importante y funcionan como puentes interconectores entre los cantones cercanos y la dinámica económica del centro del país. En este estudio se determinó que en las actividades económicas de estos cantones sobresalía la de construcción de edificios y venta de materiales de construcción. Por lo que, en efecto la dinámica económica debe estar asociada a la construcción de edificaciones. Por ende, este crecimiento debe de ser mejor planificado para no exponer la infraestructura a pérdidas por inundaciones. Por ejemplo, Brenes (2016) y PEN (2016) documentan que en 2015 la CNE reportó pérdidas por 91 mil millones de colones por reponer principalmente infraestructura vial, puentes y alcantarillado. En este caso Sarapiquí sobresalió como uno de los cantones más afectados. Adicionalmente, González-Gamboa et al. (2023b) habían determinado que reponer la infraestructura solo considerando zonas en alta exposición a inundaciones en Costa Rica costaría alrededor de 334 mil millones de colones. Por lo que nuestra evidencia indica que, con el actual patrón de aumento en la infraestructura construida en cantones con zonas expuestas a inundaciones al 2023, estas pérdidas podrían aumentar en futuros eventos.

El cambio de cobertura de cultivo hacia infraestructura en zonas potencialmente inundables está registrado en Europa como agravante de los impactos negativos en pérdidas económicas con causa antropogénica (Sili et al., 2020). Así también lo confirma Morawnski (2022) quien determina que el no monitorear la construcción de infraestructura cerca de ríos y zonas de alta exposición es de los desafíos que legalmente existen hoy en día. Por lo que las autoridades costarricenses deberían mejorar los mecanismos de planificación y monitoreo para reducir futuras pérdidas.

Pant et al. (2016) evidencian que la exposición a inundaciones de la infraestructura de un país puede tener diversas consecuencias. Por ejemplo, los efectos incluyen afectación en la transmisión de energía, transporte, sistemas de comunicación, y agua. Los autores dan el ejemplo de cómo la ciudad de Thames en el Reino Unido puede mejorar su resiliencia a inundaciones si se toma en cuenta la planificación (Pant et al., 2016). Por otro lado, Karagianis et al. (2019) analizan el impacto negativo de inundaciones en la infraestructura para la Unión Europea. Estos autores estudian el impacto en la economía del país por la pérdida de la actividad económica dentro y fuera de las zonas inundadas. Concluyendo que si se toma en cuenta la interrupción de la actividad económica y su impacto fuera de las zonas inundadas este efecto aumenta entre seis y ocho veces. Esto debido al efecto de interconexión que las económicas locales y regionales tienen. Este factor es de suma importancia de tomarse en cuenta en futuros estudios en Costa Rica, ya que como González-Gamboa et al. (2021b) demostraron, las economías cantonales

están inmersas en un sistema económico donde el impacto negativo en un cantón podría generar un efecto dominó en la red económica nacional.

Porter et al. (2021) midieron el impacto de futuras inundaciones en zonas expuestas a estas para los próximos 30 años en los Estados Unidos de América. Los resultados indican que la infraestructura afectada aumentará en 10% para infraestructura residencial, 3% para carreteras, 7% en lugares de comercio, y 9% en infraestructura social. Por lo que el efecto en las poblaciones no se espera que sea menor (Porter et al., 2021). En términos generales la exposición es alta, así también lo confirma un estudio de Qiang (2019) quien determinó que en ese mismo país entre en 2,7% y el 27% de la infraestructura está expuesta a inundaciones. Para estos autores aquellos lugares con más alta exposición deben de ser centro de atención para los tomadores de decisiones y donde se deben aplicar medidas de prevención y mitigación en forma planificada. Esta última sugerencia debe de resonar también para Costa Rica.

Cambio de otros tipos de cobertura a cultivos

Uno de los cambios más importantes identificados evidencia el crecimiento constante del área de cultivos. Lo que muestra que se está sembrando en áreas potencialmente inundables, dejando así a la producción agropecuaria expuesta a inundaciones, lo que puede aumentar la vulnerabilidad del cantón al cambio climático (Nawrotzki et al., 2023). Para ver los detalles de que tipos de cobertura dieron paso a cultivo el cuadro 13 muestra el top 10 de los cambios de otros usos a cultivo con los respectivos cantones donde ocurrió.

Cuadro 13

Top 10 cambios de cobertura de otros tipos a cultivo. 1986 y 2014

Cantón	Nivel de exposición a inundaciones	Tipo de cambio	Ha
1.Sarapiquí	Medio	Cobertura forestal - Cultivo	6.854,72
2.Sarapiquí	Medio	Pasto - Cultivo	5.819,08
3.Siquirres	Medio	Cobertura forestal - Cultivo	2.962,59
4.Siquirres	Medio	Pasto - Cultivo	1.402,43
5.Osa	Medio	Cobertura forestal - Cultivo	1.344,19
6.Pococí	Medio	Cobertura forestal - Cultivo	1.176,53
7.San Carlos*	Medio	Pasto - Cultivo	1.169,01
8.Osa	Medio	Pasto - Cultivo	848,14
9.Limón	Medio	Cobertura forestal - Cultivo	836,00
10.Matina	Medio	Cobertura forestal - Cultivo	820,00

*Cantón multi-productor

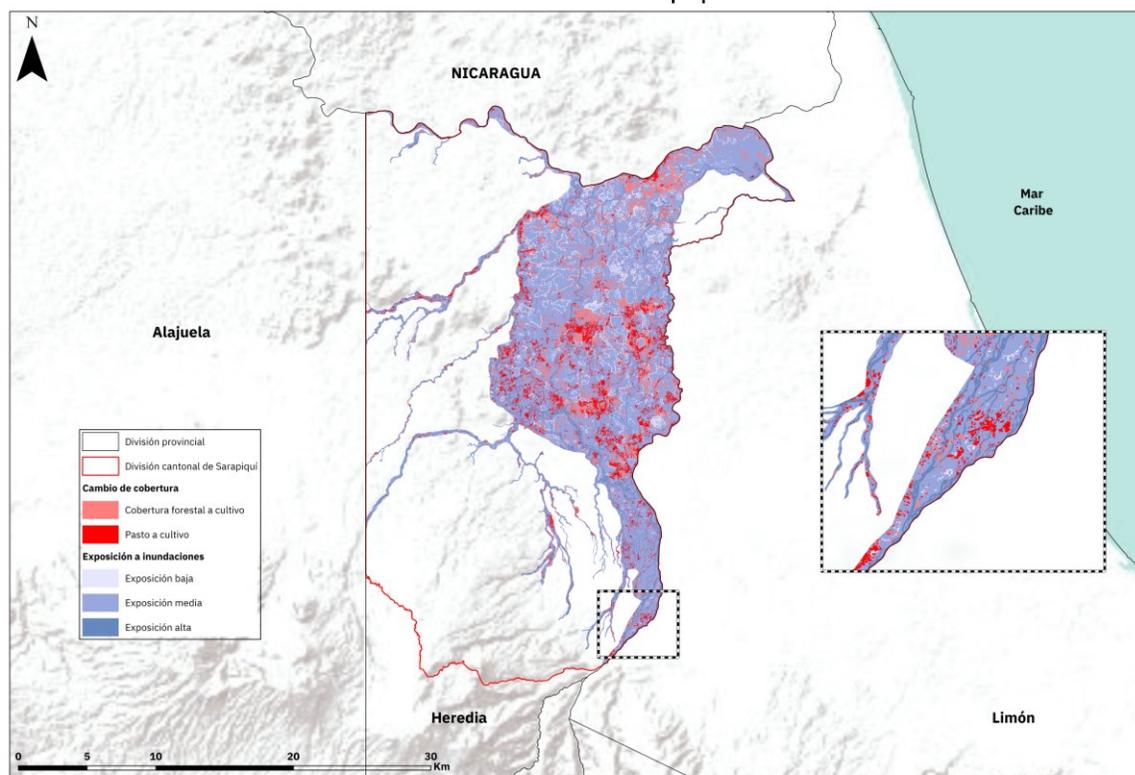
Fuente: Elaboración propia con datos de CNE, 2023 y NASA, 2023.

En el caso de cambio de otras coberturas a cultivo, el cantón de Sarapiquí nuevamente aparece en el primer y segundo lugar en área, con cambios de cobertura forestal y pastos a cultivos, en total 12.673,8 hectáreas entre ambos cambios de cobertura. El cantón de Siquirres aparece en el puesto tercero y cuarto con cambios de cobertura forestal (2.962,59 ha) y pastos (1.402,43 ha) a cultivo. El cantón de Osa es otro cantón que aparece en dos oportunidades en el ranking,

en el quinto puesto y en el octavo, con cambios de cobertura forestal (1.344,19 ha) y pastos (848,14 ha) a cultivo. En términos generales el cambio de cobertura forestal aparece seis veces en el top 10, siendo así el más común en el top 10. Sin embargo, si observamos el ejemplo del cantón de Sarapiquí, como el mapa 22 lo muestra, el cambio de uso de pasto a cultivo es el más diseminado especialmente en la parte del centro y sur este del cantón. También sobresale en el top 10, el caso del cantón de San Carlos donde 1.169,01 hectáreas de pastos dieron paso a cultivos, este cantón es de interés ya que es un cantón multi-productor, que como ya se describió en el apartado anterior, es de suma importancia para la producción agropecuaria del país.

Mapa 22

Cambio de otras coberturas a cultivo en el cantón de Sarapiquí. 1986-2014



Fuente: Elaboración propia con datos de CNE, 2023 y NASA, 2023.

Observando el caso del periodo 2014-2023, Sarapiquí mantiene el primer lugar en la tendencia de cambio de cobertura forestal y pastos a cultivo dentro de zonas potencialmente inundables. En total de 11.447,3 hectáreas cambiaron de otro tipo de cobertura a cultivo en Sarapiquí, lo que lo ubica por encima de los demás cantones en este tipo de cambio. En este caso los cantones de la provincia de Limón son los que mayor cambio de otras coberturas a cultivos han registrado. Sobresalen Pococí con cambio de cobertura forestal (4.053,27 ha), Talamanca con cambios tanto de pastos (1.887,59 ha) como de cobertura forestal (3.626,34 ha), Matina con cambio de cobertura forestal (3.252,22), Siquirres con cambio de cobertura forestal (2.814,18 ha) y Limón también con cambio de cobertura forestal (2.213,29 ha), tal y como se documenta en el cuadro 14. Es importante mencionar que 6 de los 10 casos con mayor cambio a cultivos son de cambio de cobertura forestal.

Nuevamente, si tomamos como ejemplo el caso del cantón de Sarapiquí, es evidente la dominancia del cambio de cobertura forestal a cultivo que este cantón ha confrontado de 2014 a 2023. El mapa 23 detalla la fuerte diseminación de este tipo de cambio de cobertura en la parte sur oeste del cantón. Por lo que parece haber un aumento en la extensión de la frontera agrícola, a merced de la cobertura forestal.

Cuadro 14

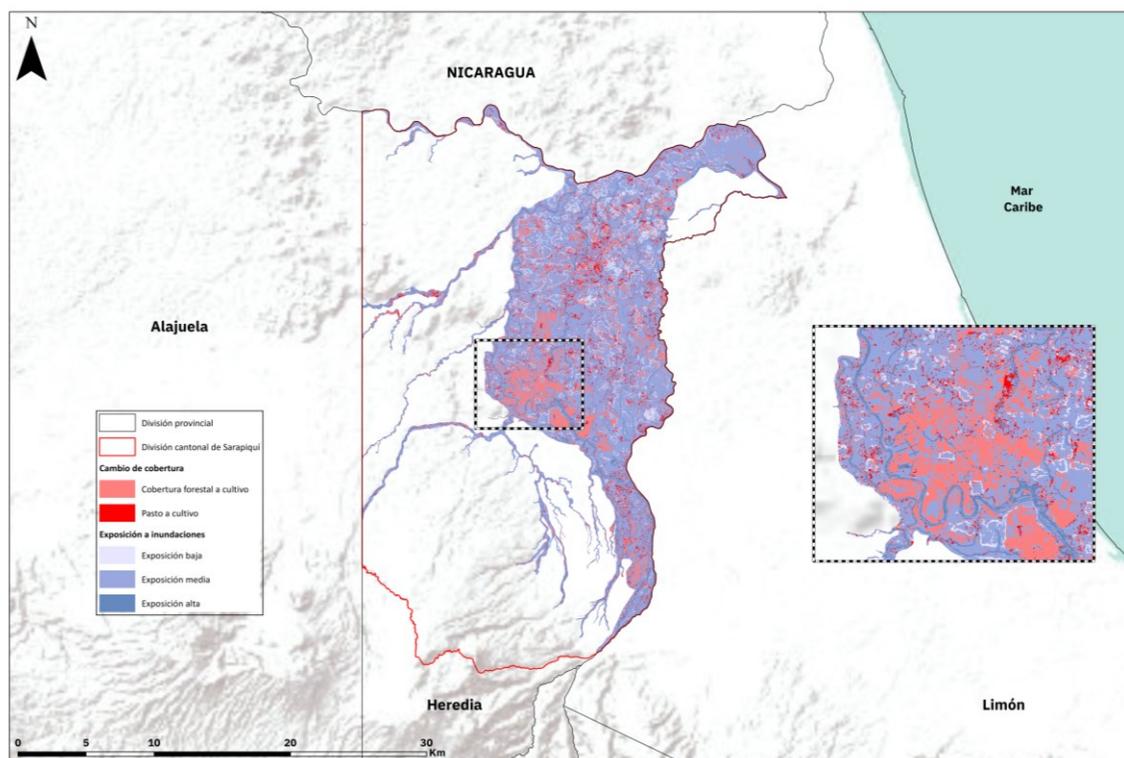
Top 10 cambios de otros tipos de cobertura a cultivo. 2014 y 2023

Cantón	Nivel de exposición a inundaciones	Tipo de cambio	Ha
1.Sarapiquí	Medio	Cobertura forestal - Cultivo	7.993,03
2.Pococí	Medio	Cobertura forestal - Cultivo	4.053,27
3.Talamanca	Medio	Cobertura forestal - Cultivo	3.626,34
4.Sarapiquí	Medio	Pasto - Cultivo	3.454,27
5.Matina	Medio	Cobertura forestal - Cultivo	3.252,22
6.Siquirres	Medio	Cobertura forestal - Cultivo	2.814,18
7.Limón	Medio	Cobertura forestal - Cultivo	2.213,29
8.Talamanca	Medio	Pasto - Cultivo	1.887,59
9.Bagaces	Medio	Pasto - Cultivo	1.822,28
10.Carrillo	Medio	Pasto - Cultivo	1.634,15

Fuente: Elaboración propia con datos de CNE, 2023 y NASA, 2023.

Mapa 23

Cambio de otras coberturas a cultivo en el cantón de Sarapiquí. 2014-2023



Fuente: Elaboración propia con datos de CNE, 2023 y NASA, 2023.

A modo de resumen, Sarapiquí es el cantón que sobresale en cambio de pastos y cobertura forestal a cultivos dentro de zonas potencialmente inundables con 12.673,8 ha entre 1986-2014 y 11.447,3 ha entre 2014-2023. A nivel de región, varios cantones (Siquirres, Matina, Talamanca, Limón y Pococí) de la provincia de Limón sobresalen tanto en el periodo de 1986 a 2014 y de 2014 a 2023. Por lo que especial atención se debe de tener a esta región del país.

Estos resultados vienen a corroborar un aumento en la exposición de cultivos en zonas con exposición media a inundaciones, además principalmente zonas que han perdido cobertura forestal. Las implicaciones pueden ser diversas, primero en términos socioeconómicos se pone en tela de exposición las eventuales pérdidas que familias productoras, y compañías agropecuarias puedan tener al sembrar en zonas expuestas a inundaciones. Esto sin mencionar los posibles impactos en los mercados agropecuarios locales, y regionales. Segundo, las implicaciones ambientales del cambio de cobertura, que, dependiendo del tipo de cultivo, crean suelos descubiertos, y pueden aumentar la escorrentía del agua de lluvia e incrementar los efectos de la inundación (Quesada-Román (2022). Esto es apoyado por Nawrotzki et al. (2023) que indican que la pérdida de cobertura forestal aumenta la vulnerabilidad al cambio climático, este punto se ampliará en el siguiente apartado.

Estos datos son dignos de ser tomados en cuenta ya que diferentes estudios ponen en manifiesto que la exposición a inundaciones de la producción agropecuaria puede tener una serie de repercusiones negativas. Por ejemplo, Mohammadi et al. (2021) registran que zonas con potencial de inundación están altamente expuestas a pérdidas en la producción agrícola en la medida que la pendiente del terreno sea menor. Estos autores documentan el caso de trigo y arroz en Irán. Por otro lado, inundaciones de larga duración han evidenciado impactos negativos en el crecimiento de plantas en sistemas agrícolas de multi-cultivos (Wang et al. 2022). En la misma línea, Sili et al. (2020) concluyen que inundaciones afectan de manera severa los rendimientos en la agricultura, y el manejo de ganado. Debido a esto, en países europeos, existe una transición de la producción hacia zonas de mayor altura. Todos estos cambios ponen en riesgo la oferta de alimentos en los mercados internos, causan inestabilidad de precios, y ponen en riesgo el ingreso económico de los agricultores (Sili et al., 2020).

Por lo tanto, en un contexto de cambio climático y de aumento en la demanda de productos agropecuarios, Kim et al. (2023) proponen hacer una evaluación del impacto de las inundaciones en la agricultura, y de la capacidad de resiliencia de este sector. Solo de esta forma se podrá estimar un efecto en los índices de productividad. Los resultados de Kim et al. (2023) indican que para periodos de retorno de 10 años existe 4% de pérdida de la producción de soya, 3% de pérdida de arroz, 2% de pérdida de trigo y 1% de pérdida de maíz, esto del total de la producción mundial. Esto se resume en una pérdida total de la producción de \$5.5 billones entre 1982 y 2016. Blanc y Noy (2023) mediante el uso de teledetección también determinaron pérdidas promedio en la producción agrícola de hasta 1%, esto para Nueva Zelanda. Sin embargo, estas pérdidas pueden ser más localizadas en ciertas zonas y en ciertos cultivos.

Cambio de otros tipos de cobertura a cobertura forestal

De la misma forma como hay cambios de cobertura que se pueden percibir como negativos, también hay cambios de cobertura que pueden percibir como positivos, y que pueden reducir la vulnerabilidad de un cantón a inundaciones (Nawrotzki et al., 2023). Este es el caso de pasar de otros usos como pastos o cultivos a cobertura forestal. En el cuadro 15 se detalla el top 10 de los cambios de otras coberturas que dieron paso a cobertura forestal.

Cuadro 15

Top 10 cambios de otros tipos de cobertura a cobertura forestal. 1986 y 2014

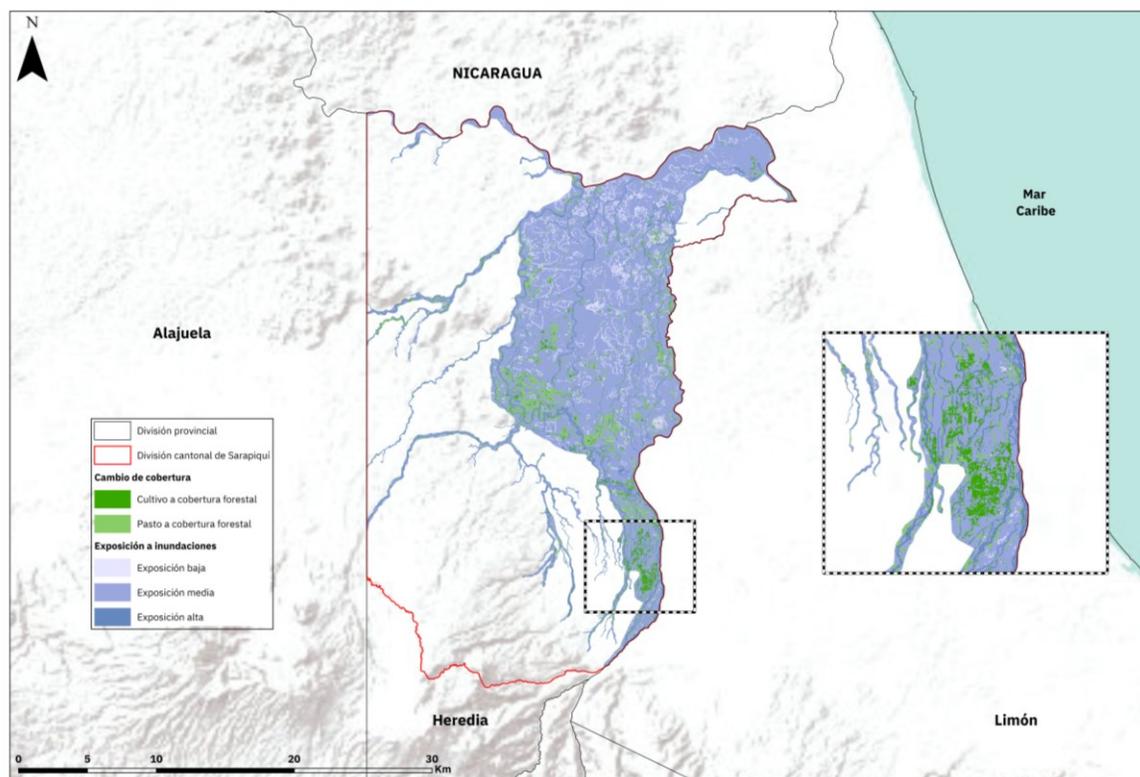
Cantón	Nivel de exposición a inundaciones	Tipo de cambio	Ha
1.Sarapiquí	Medio	Pasto - Cobertura forestal	4.682,72
2.Sarapiquí	Medio	Cultivo - Cobertura forestal	2.100,54
3.Siquirres	Medio	Pasto - Cobertura forestal	1.520,63
4.Talamanca	Medio	Pasto - Cobertura forestal	1.194,12
5.Pococí	Medio	Pasto - Cobertura forestal	1.052,97
6.Talamanca	Medio	Cultivo - Cobertura forestal	1.048,95
7.Osa	Medio	Pasto - Cobertura forestal	1.037,68
8.Siquirres	Medio	Cultivo - Cobertura forestal	1.032,22
9.Osa	Medio	Cultivo - Cobertura forestal	907,96
10.Matina	Medio	Pasto - Cobertura forestal	905,80

Fuente: Elaboración propia con datos de CNE, 2023 y NASA, 2023.

En este tipo de cambio de cobertura hay cuatro cantones que sobresalen con dos cambios. Primero, Sarapiquí es el más sobresaliente ya que está en los dos primeros lugares de área recuperada en cobertura forestal que en 1986 era pasto (4.682,72 ha) y cultivo (2.100,54 ha). Le sigue Siquirres (total de 2552,85 ha) en el tercer y octavo lugar, Talamanca (total de 2.243,07 ha) en el cuarto y sexto lugar, y por último Osa (total de 1.945,64 ha) en el séptimo y noveno lugar. Todos los cantones top 10 muestran un cambio de pastos y cultivo a cobertura forestal. El único cantón que solo aparece una vez con un cambio de cobertura es Matina, que recuperó cobertura forestal de pastos (905,80 ha). Adicionalmente, todos los cambios se dan en zonas de exposición media a inundaciones. González-Gamboa et al. (2021b) encontraron que esta categoría de exposición a inundaciones es la que cubre la mayor área en el país, por lo que tiene sentido que esta sobresalga. Tomando nuevamente el ejemplo de Sarapiquí, para el periodo 1986 a 2014, la mayor parte del cambio se dio en la parte sur del cantón, tal y como se detalla en el mapa 24.

Mapa 24

Cambio de otras coberturas a cobertura forestal en el cantón de Sarapiquí. 1986-20214



Fuente: Elaboración propia con datos de CNE, 2023 y NASA, 2023.

En el periodo comprendido entre 2014 y 2023 Sarapiquí mantuvo los primeros lugares y la tendencia de recuperación de cobertura forestal a partir de pasto y cultivos (8.936,81 hectáreas). Además, Siquirres también tuvo cambios de pastos y cultivos a cobertura forestal (2.666,8 hectáreas). Fuera de esos cantones Osa (1.697,51 ha), Talamanca (1.348,75 ha), Quepos (1.098,36 ha), Pococí (1888,53 ha) y San Carlos (776,58 ha) están entre los cantones en con cambios de cobertura con más área, dando paso a cobertura forestal dentro de zonas potencialmente inundables. Todos los cambios en el top 10 se han dado en zonas de exposición media a inundaciones y en forma similar tanto de pastos como de cultivos a cobertura forestal.

Cuadro 16

Top 10 cambios de otros tipos de cobertura a cobertura forestal. 2014 y 2023

Cantón	Nivel de exposición a inundaciones	Tipo de cambio	Ha
1.Sarapiquí	Medio	Pasto - Cobertura forestal	4.727,82
2.Sarapiquí	Medio	Cultivo - Cobertura forestal	4.208,99
3.Osa	Medio	Cultivo - Cobertura forestal	1.697,51
4.Siquirres	Medio	Cultivo - Cobertura forestal	1.540,53
5.Talamanca	Medio	Pasto - Cobertura forestal	1.348,75
6.Siquirres	Medio	Pasto - Cobertura forestal	1.126,27
7.Quepos	Medio	Cultivo - Cobertura forestal	1.098,36

Cantón	Nivel de exposición a inundaciones	Tipo de cambio	Ha
8.Pococí	Medio	Pasto - Cobertura forestal	947,83
9.Pococí	Medio	Cultivo - Cobertura forestal	940,70
10.San Carlos*	Medio	Pasto - Cobertura forestal	776,58

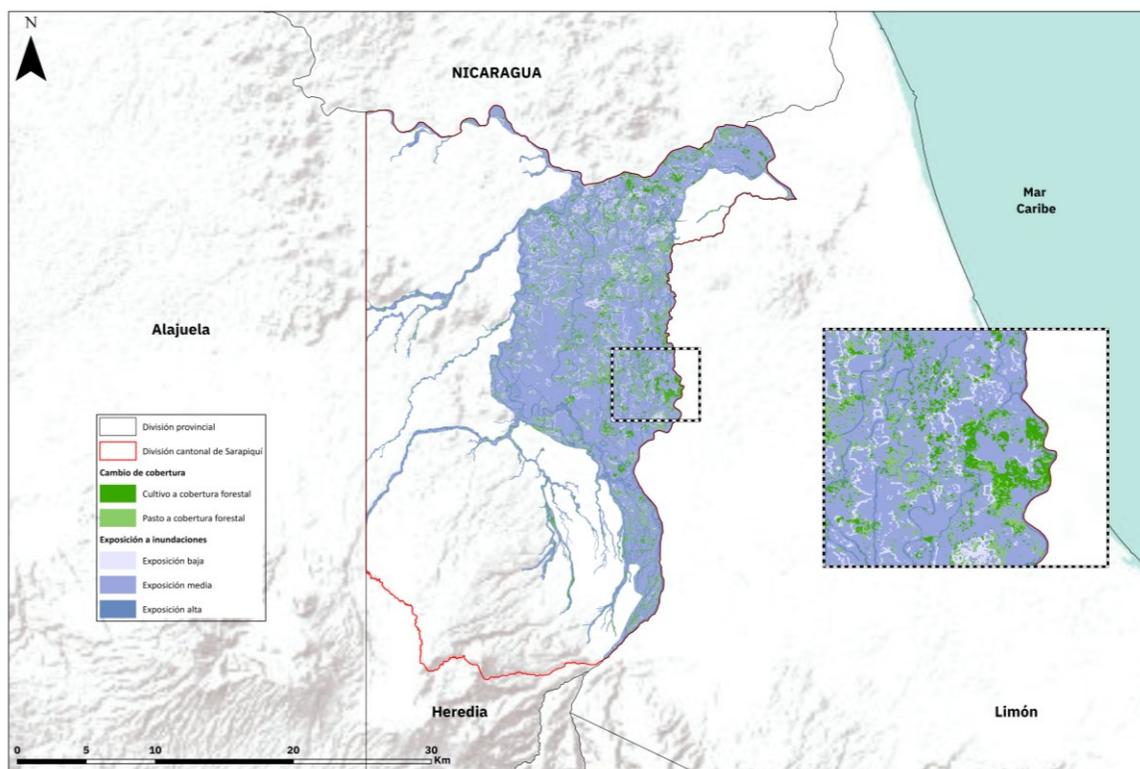
*Cantón multi-productor

Fuente: Elaboración propia con datos de CNE, 2023 y NASA, 2023.

A modo de resumen, Sarapiquí es el cantón con más área recuperada a cobertura forestal de cultivos y de pastos entre 1986 a 2014 (ganó 6.783,26 ha), y de 2014 a 2023 (ganó 8.936.81 ha). Entre 1986-2014 los cantones del Caribe dominan el top 10 de cambios, principalmente de pastos a cobertura forestal, estos cantones son Siquirres, Talamanca, Pococí y Matina. Solamente Osa de la Zona Sur sobresale en la lista. Para el periodo 2014-2023 siguen dominando los cantones del Caribe del país, pero se les unen San Carlos y Quepos. Por lo tanto, se podría decir que cantones de la Provincia de Limón y Sarapiquí son los que más han venido ganando cobertura forestal desde 1986, dentro de áreas de exposición media a inundaciones. El cantón de Osa es el único del sur del país que se ha mantenido ganando cobertura forestal desde 1986 en zonas potencialmente inundables. Más recientemente, Quepos y San Carlos se han posicionado perdiendo cultivos y pastos por cobertura forestal, respectivamente. El mapa 25 muestra el caso de Sarapiquí para el periodo 2014 – 2023, en este periodo este cantón ganó cobertura forestal principalmente a lo largo del este de su territorio.

Mapa 25

Cambio de otras coberturas a cobertura forestal en el cantón de Sarapiquí. 2014-2023



Fuente: Elaboración propia con datos de CNE, 2023 y NASA, 2023.

Para Nawrotzki et al. (2023) las implicaciones de este tipo de cambio de cobertura residen en poder reducir la vulnerabilidad al cambio climático por las ventajas que brinda la cobertura forestal para reducir erosión, mejorar la infiltración de la lluvia, y mantener la biodiversidad. Fonseca et.al. (2010) identificaron zonas en el Caribe de Costa Rica que podrían potencialmente reducir las inundaciones mediante la recuperación natural del bosque. Alrededor de 251.172 ha fueron identificadas, de estas, 42.594 ha y 3.328 ha fueron clasificadas como de prioridad crítica y máxima para el periodo 1986-1996 y 1996-2006 (Fonseca et.al., 2010).

Al respecto, Nisbet (2022) explica que existe una forma natural de manejar las consecuencias de las inundaciones, conocido por su nombre en inglés como “natural flood management (NFM)”. La NFM trata de aumentar el área de cobertura forestal y bosques en zonas estratégicas ya que estos pueden reducir el volumen de agua de escorrentía. Por otro lado, sembrar, construir edificaciones y deforestar puede tener el efecto contrario, y puede aumentar el impacto negativo de las inundaciones (Nisbet, 2022).

De acuerdo con FAO-CIFOR (2005), hasta el 35% del agua de lluvia puede ser interceptada por el dosel arbóreo en bosques tropicales, de esta forma esta puede ser evaporada de vuelta a la atmosfera, evitando así que llegue a saturar los suelos. Adicionalmente, el agua que llega al suelo es usada en parte por los mismos árboles. Es por esta razón que sustituir la cobertura forestal por cultivos o infraestructura causa que el agua de lluvia llegue directo al suelo o a la superficie, y que esto aumente la escorrentía, y los caudales aumenten más rápidamente en lugares con menos cobertura forestal. Adicionalmente, el cambio de cobertura forestal a pastos puede tener un efecto similar (FAO-CIFOR, 2005).

La cobertura forestal también puede reducir la erosión y sedimentación, debido a que las gotas de lluvia caen sobre la superficie cubierta de materia orgánica. Mientras que cambios de cobertura forestal a cultivos que permiten tener el suelo desnudo causan un aumento en la erosión del suelo, aumentan su compactación, causando su pérdida de estructura, y su degradación (FAO-CIFOR, 2005). Así es que sin duda alguna los beneficios de la ganancia de cobertura forestal son diversos.

Sin embargo, en periodos prolongados de lluvias fuertes los suelos de lugares con alta cobertura forestal se saturan, por lo que el agua no se infiltra, y se pierde por escorrentía. Esto también dependerá de la profundidad y estructura del suelo. En caso de eventos fuertes y de larga duración la geomorfología y eventos previos de lluvias se vuelven más relevantes (FAO-CIFOR, 2005). Esto es confirmado por Bathurst et al. (2010), quienes estudiaron el efecto de la cobertura forestal en la reducción de la escorrentía en periodos de altos picos de inundación causados por lluvias extremas, esto para el caso de Costa Rica, Ecuador, Chile y Argentina. Estos autores llegaron a la conclusión de que a medida que el pico aumenta la cobertura forestal se vuelve menos relevante. Sin embargo, la cobertura forestal siempre es de importancia sustancial para mitigar efectos en eventos moderados de lluvias (Bathurst et al., 2010).

Por esta razón, otros autores proponen una forma más integral de atender la exposición a inundaciones. De acuerdo con Calder y Aylward (2006) todo programa de intervención en lugares de exposición a inundaciones debe integrar tanto el manejo de los cuerpos de agua, así como el uso del suelo en las partes altas. También es importante integrar la planificación del uso del

suelo, medidas de ingeniería, y medidas de preparación para inundaciones en las partes bajas. Por lo que, el solo uso de medidas de ingeniería como drenajes solo solucionan el problema en un corto plazo, por otro lado, el solo hecho de reforestar en ciertas zonas tampoco es garantía de una solución integral y a largo plazo (Calder y Aylward, 2006).

En Costa Rica, la Ley de Aguas, específicamente la Ley No. 276 del 27 de agosto de 1942, establece el marco legal para la gestión de los recursos hídricos. Además, la gestión del territorio a nivel de cuenca hidrográfica también se ve reforzada por otras legislaciones y políticas, como la Ley Forestal No. 7575 de 1996 y el Plan Nacional de Gestión Integrada de Recursos Hídricos (PNGIRH). Por lo que siguiendo las recomendaciones de Calder y Aylward (2006), el enfoque de gestión a nivel de cuenca hidrográfica se puede percibir como una práctica integral y sostenible para el manejo de los recursos naturales y la planificación del territorio en el caso de exposición a inundaciones, ya que esta puede integrar tanto el manejo de la parte alta como de la parte baja de la cuenca hidrográfica.

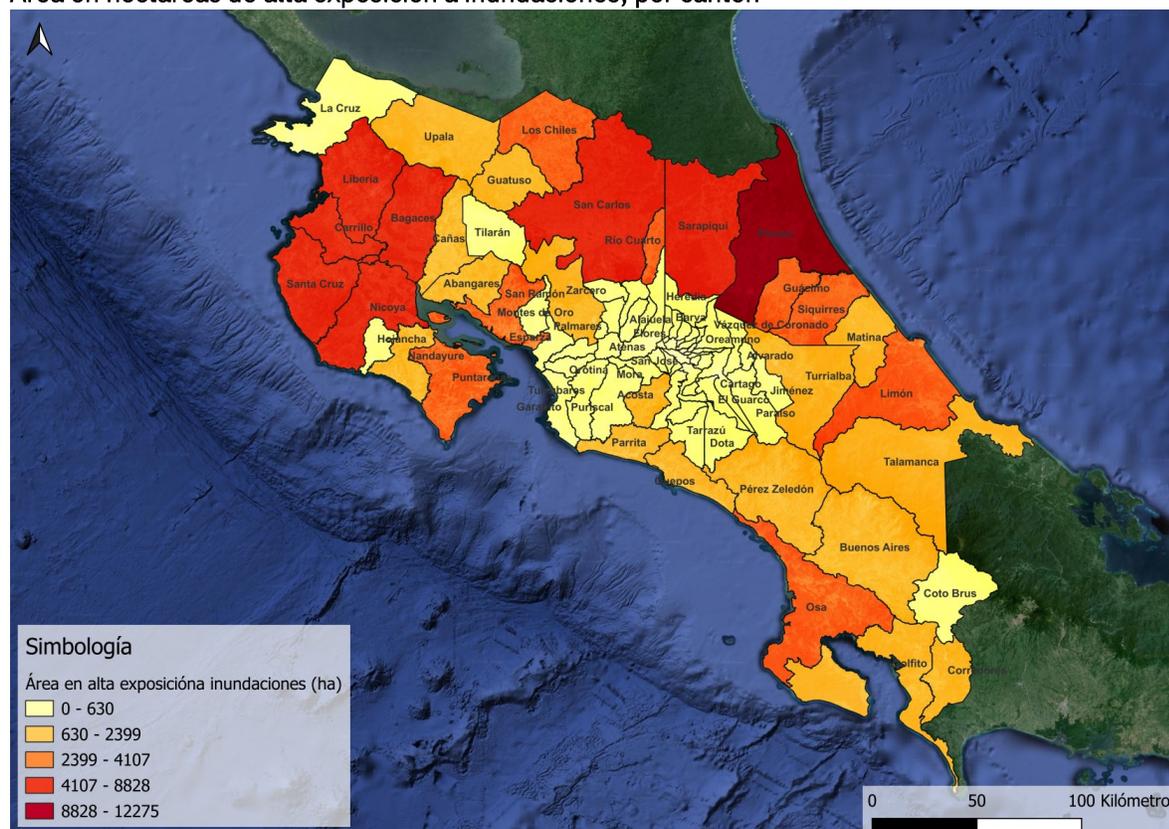
Dinámica dentro de zonas de ALTA exposición a inundaciones

El mapa 26, mostrada abajo, despliega los cantones según el área en hectáreas que tienen en alta exposición a inundaciones, según la clasificación creada por González-Gamboa et al. (2023b). Este resultado define claramente que cantones de la provincia de Guanacaste como Nicoya, Santa Cruz, Carrillo, Bagaces y Liberia tienen una cantidad importante de hectáreas (por encima de 4.107 hectáreas) en alta exposición a inundaciones. Esta zona es de especial importancia por ser la cuenca del río Tempisque, donde recientemente se ha predicho un aumento en la frecuencia de inundaciones, en especial en el escenario entre los años 2035-2065 (Hidalgo et al., 2024).

También sobresalen cantones de la zona norte como San Carlos y Sarapiquí, y en especial el cantón de Pococí. Otros cantones que tienen menos área de alta exposición a inundaciones, pero siempre en cantidades importantes de considerar para la gestión son: Puntarenas, Los Chiles, Río Cuarto, Guácimo, Siquirres, Limón y Osa.

Mapa 26

Área en hectáreas de alta exposición a inundaciones, por cantón



Fuente: Elaboración propia con datos de CNE, 2023 y NASA, 2023.

Las zonas de exposición media cubren el área más grande dentro del área potencialmente inundable, es por esta razón que ha dominado los cambios en términos absolutos mostrados anteriormente. Sin embargo, dado que las zonas de alta exposición a inundaciones son más críticas en términos de los posibles efectos sobre la infraestructura y producción agropecuaria es que se procede a hacer una revisión detallada de los cambios de cobertura del suelo dentro de estas áreas.

En el cuadro 17 se detalla el top 5 cambios de cobertura que se dan dentro de zonas con alta exposición a inundaciones, tanto para el periodo 1986-2014 como para 2014-2023. En el periodo 1986-2014 el cantón de Sarapiquí fue el que tuvo mayor peso en los cambios de cobertura forestal (41,90 ha), pasto (26,07 ha) y cultivo (25,67 ha) a infraestructura. Mientras que en el periodo 2014-2023 fue Liberia el cantón que sobresalió con el cambio de cultivo a infraestructura (90,27 ha). Sin embargo, Sarapiquí tiene dos apariciones en el top 5 con cambios de cultivos (85,65 ha) y cobertura forestal (55,61 ha) a infraestructura. En este último periodo tanto Buenos Aires (64,62 ha, cantón multi-productor) como San Carlos (63,07 ha, cantón multi-productor) dan cabida a infraestructura a partir de cultivos. Entre 1986-2014 tanto cobertura forestal como pastos eran más dominantes en el ranking de cambio a infraestructura, pero para el periodo 2014-2023, cuatro de cinco cambios del top 5 fueron a partir de cultivo.

Cuadro 17

Top 5 cambios de otros tipos de cobertura a infraestructura para áreas con alta exposición a inundaciones. 1986-2023

1986-2014			2014-2023		
Cantón	Tipo de cambio	Ha	Cantón	Tipo de cambio	Ha
1.Sarapiquí	Cobertura forestal - Infraestructura	41,90	1.Liberia	Cultivo Infraestructura	- 90,27
2.Quepos	Pasto - Infraestructura	37,85	2.Sarapiquí	Cultivo Infraestructura	- 85,65
3.Sarapiquí	Pasto - Infraestructura	26,07	3.Buenos Aires*	Cultivo Infraestructura	- 64,62
4.Sarapiquí	Cultivo - Infraestructura	25,67	4.San Carlos*	Cultivo Infraestructura	- 63,07
5.Pococí	Cobertura forestal - Infraestructura	20,62	5.Sarapiquí	Cobertura forestal - Infraestructura	55,61

*Cantón multi-productor

Fuente: Elaboración propia con datos de CNE, 2023 y NASA, 2023.

A modo de resumen se puede decir que, dentro de zonas con alta exposición a inundaciones, Sarapiquí también es el cantón más sobresaliente. La tendencia a este cambio de cobertura en estas zonas pasa de pastos y cobertura forestal a estar dominada por pérdida de cultivo. Además, el ranking muestra que cantones con ciudades intermedias como Liberia, Pococí y San Carlos están construyendo en áreas altamente expuestas a inundaciones. Lo que corrobora resultados del Sánchez (2017) y PEN (2017), que confirman que el crecimiento urbano en estas ciudades se realiza sin una planificación, y reproduciendo patrones de desarrollo como los de la Gran Área Metropolitana. Además, sobresale, que los valores de los cambios más altos se duplican de 1986-2014 a 2014-2023, por lo que la magnitud de los cambios ha venido en franco aumento.

Dentro de áreas de alta exposición a inundaciones, en el periodo 1986-2014, Sarapiquí presento los dos cambios con más área, de cobertura forestal (359,22 ha) y pastos (281,08 ha) a cultivos. Seguido de cambios de cobertura forestal en Siquirres (281,05 ha), pastos en San Carlos (276,16 ha, cantón multi-productor) y cobertura forestal en Osa (210,80 ha). Para el periodo 2014-2023 Pococí toma el primer lugar seguido por Sarapiquí, Matina, Limón y Siquirres. En este caso es notorio que todos los cambios a cultivo que involucran mayor área son a partir de cobertura forestal. Lo que en esencia pone en alta exposición zonas de pérdida de cobertura forestal, con los peligros ambientales ya antes mencionados, esta vez en zonas de mayor exposición a inundaciones. Estas son áreas donde los cultivos estarían más expuestos a pérdidas económicas. Otro factor que sobresale comparando el top 5 de cambios entre 1986-2014 y 2014-202 es que las cifras prácticamente se duplican para el segundo periodo. Por lo que la magnitud del cambio además es el doble entre un periodo a otro, evidenciando una tendencia al aumento.

Cuadro 18

Top 5 cambios de otros tipos de cobertura a cultivos para áreas con alta exposición a inundaciones. 1986-2023

1986-2014			2014-2023		
Cantón	Tipo de cambio	Ha	Cantón	Tipo de cambio	Ha
1.Sarapiquí	Cobertura forestal - Cultivo	359,22	1.Pococí	Cobertura forestal - Cultivo	723,29
2.Sarapiquí	Pasto - Cultivo	281,08	2.Sarapiquí	Cobertura forestal - Cultivo	673,58
3.Siquirres	Cobertura forestal - Cultivo	281,05	3.Matina	Cobertura forestal - Cultivo	645,77
4.San Carlos*	Pasto - Cultivo	276,16	4.Limón	Cobertura forestal - Cultivo	494,56
5.Osa	Cobertura forestal - Cultivo	210,80	5.Siquirres	Cobertura forestal - Cultivo	435,63

*Cantón multi-productor

Fuente: Elaboración propia con datos de CNE, 2023 y NASA, 2023.

Para el caso de los cambios de otros tipos de cobertura a cobertura forestal dentro de áreas de alta exposición a inundaciones, podemos observar que tanto en el periodo 1986-2014 como en 2014-2023 el cantón de Sarapiquí sobresale. En el primer periodo cinco cantones sobresalen además de Sarapiquí: Puntarenas (cantón multi-productor), San Carlos (cantón multi-productor), Carrillo y Pococí. Una dinámica muy diferente pasa en el periodo 2014-2023, ya que Sarapiquí, Pococí dominan los cuatro primeros lugares en área recuperada de cobertura forestal en áreas de alta exposición a inundaciones. Por último, las magnitudes de cambio entre ambos periodos son similares, apenas ligeramente superior en 2014-2023.

Cuadro 19

Top 5 cambios de otros tipos de cobertura a cobertura forestal para áreas con alta exposición a inundaciones. 1986-2023

1986-2014			2014-2023		
Cantón	Tipo de cambio	Ha	Cantón	Tipo de cambio	Ha
1.Sarapiquí	Pasto - Cobertura forestal	332,14	1.Sarapiquí	Pasto - Cobertura forestal	409,72
2.Puntarenas*	Cultivo - Cobertura forestal	327,71	2.Sarapiquí	Cultivo - Cobertura forestal	378,60
3.San Carlos*	Pasto - Cobertura forestal	292,79	3.Pococí	Cultivo - Cobertura forestal	362,14
4.Carrillo	Cultivo - Cobertura forestal	272,24	4.Pococí	Pasto - Cobertura forestal	331,84
5.Pococí	Pasto - Cobertura forestal	244,48	5.San Carlos*	Pasto - Cobertura forestal	329,38

*Cantón multi-productor

Fuente: Elaboración propia con datos de CNE, 2023 y NASA, 2023.

Cambios netos de cobertura del suelo por cantón

En cantones multi-productores

Basándonos en los resultados arriba descritos, procedemos a mostrar los cambios netos por cada tipo de cobertura de suelo, en los cantones multi-productores. Hacemos énfasis en que la cobertura de edificaciones solo presenta ganancias de área.

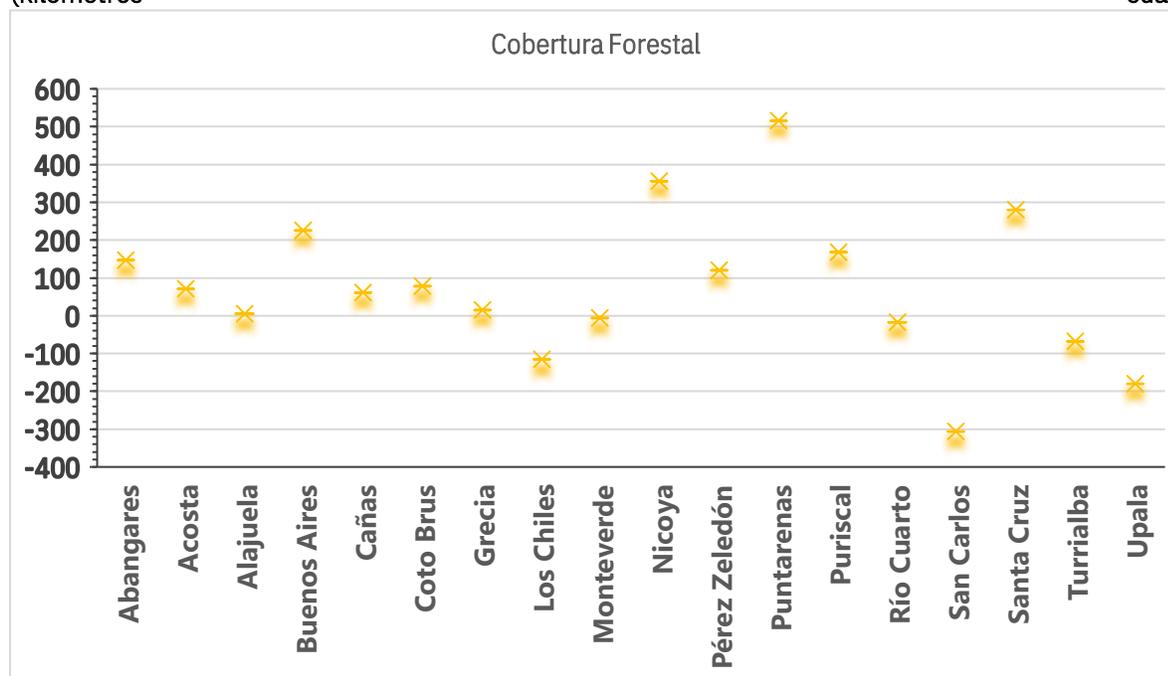
El gráfico 4 muestra los cantones multi-productores que tuvieron ganancias netas y los que tuvieron pérdidas netas de cobertura forestal. El cantón con más ganancias netas fue Puntarenas, seguido por Nicoya y Santa Cruz. Así que esta zona del Pacífico Norte es donde los cantones multi-productores han tenido una ganancia neta más grande de cobertura forestal. Por otro lado, San Carlos, Upala y Los Chiles son los cantones con la pérdida neta más grande de cobertura forestal. Por ende, es la Zona Norte del país donde los cantones multi-productores han tenido una pérdida neta mayor de cobertura forestal.

Gráfico 4

Pérdida y ganancia neta de cobertura forestal en cantones multi-productores

(kilómetros

cuadrados)

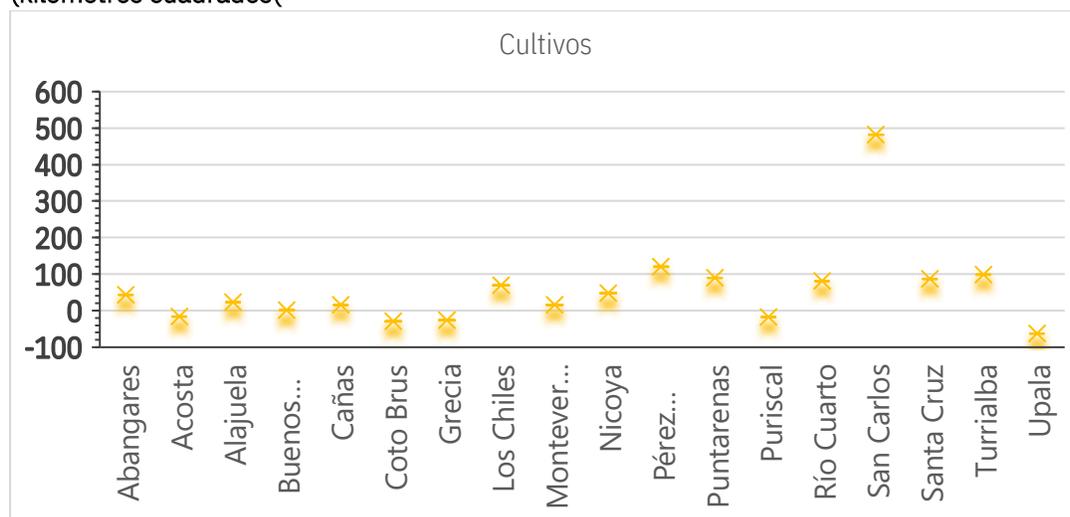


Fuente: Elaboración propia con datos de CNE, 2023 y NASA, 2023.

El gráfico 5 muestra el caso de la cobertura de cultivos. En esta cobertura es San Carlos el cantón que tuvo la mayor ganancia neta, rondando los 500 km². Fuera de este, los demás cantones tienen ganancias netas alrededor de km², con una ligera ventaja de Pérez Zeledón. Por otro lado, en términos de pérdidas netas, sobresale Upala, los demás cantones con pérdida neta es menor a 50 km², como es el caso de Acosta, Coto Brus, y Puriscal.

Gráfico 5

Pérdida y ganancia neta de cobertura de cultivos en cantones multi-productores.
(kilómetros cuadrados)

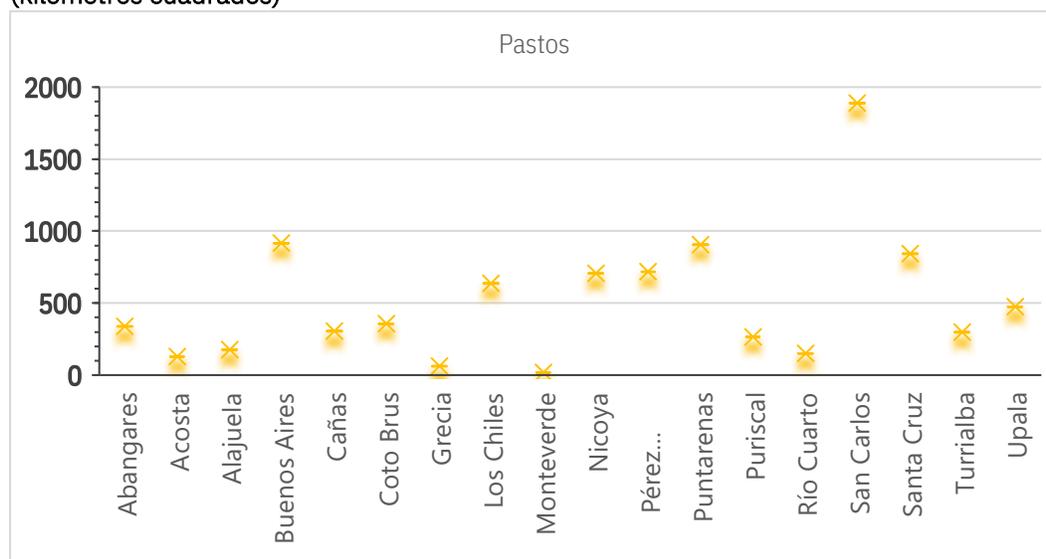


Fuente: Elaboración propia con datos de CNE, 2023 y NASA, 2023.

El gráfico 6 muestra el caso de la cobertura de pastos. En esta cobertura es San Carlos el cantón que tuvo la mayor ganancia neta, por encima de los 1.800 km². En este caso en particular, ningún cantón tuvo pérdida neta. Todos ganaron. Además de San Carlos, sobresalen en ganancia neta apenas por encima de los 800 km² los cantones de Buenos Aires, Puntarenas y Santa Cruz.

Gráfico 6

Pérdida y ganancia neta de cobertura de pastos en cantones multi-productores
(kilómetros cuadrados)



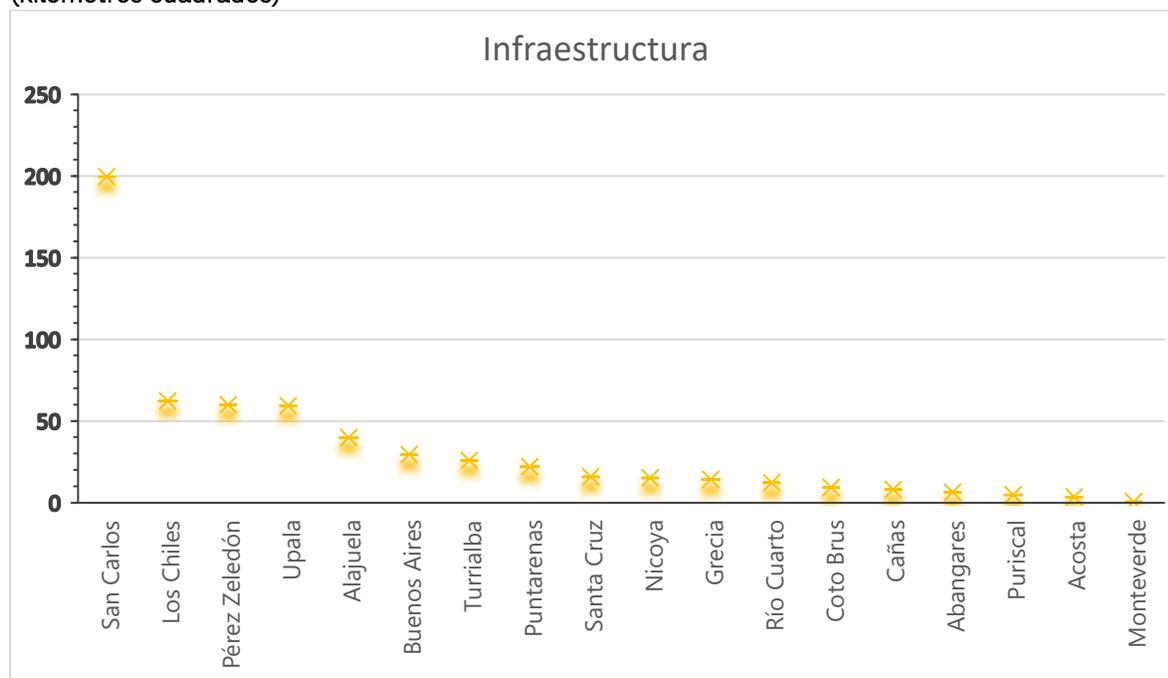
Fuente: Elaboración propia con datos de CNE, 2023 y NASA, 2023.

En el caso de edificaciones San Carlos, por mucho es el cantón multi-productor que mayor ganancia presentó entre 1986-2023, con un área cercana a 200 km². Los siguientes tres

cantones son Pérez Zeledón, Upala y Los Chiles con un área por encima de 50 km², tal y como lo muestra el gráfico 7.

Gráfico 7

Ganancia de cobertura de infraestructura en cantones multi-productores (kilómetros cuadrados)



Fuente: Elaboración propia con datos de CNE, 2023 y NASA, 2023.

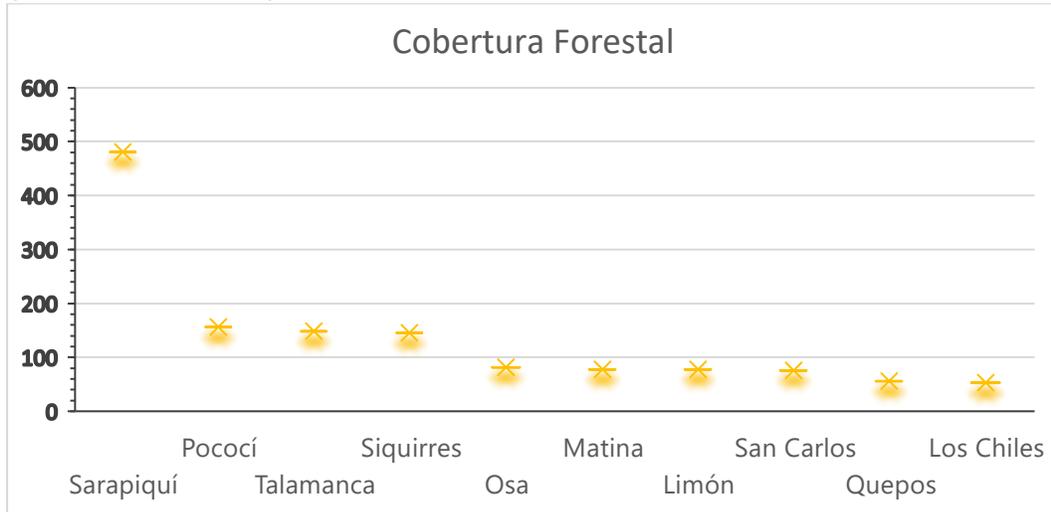
En cantones expuestos a inundaciones

Similar al caso de cantones multi-productores, seguidamente mostramos las pérdidas y ganancias netas en las áreas potencialmente inundables por cantón. Debido a que muchos cantones cuentan con algún área expuesta a inundaciones, solo mostraremos el top 10 de los cantones con mayores valores de ganancias netas en cada tipo de cobertura del suelo.

En el caso de los cambios de cobertura dados dentro de áreas potencialmente inundables, no existen pérdidas netas. Tanto la cobertura forestal, los cultivos, pastos e infraestructura tuvieron ganancias netas. Sin embargo, si es preciso indicar cuales cantones sobresalieron con mayores ganancias netas. En el caso de la cobertura forestal, mostrada en el gráfico 8, el cantón de Sarapiquí es el cantón que entre 1986 y el 2023 tuvo mayores ganancias netas, con valores cerca de 500 km². Este cantón es seguido por Pococí, Talamanca y Siquirres con valores alrededor de 50 km².

Gráfico 8

Ganancia neta de cobertura forestal en cantones con área expuestas a inundaciones (kilómetros cuadrados)

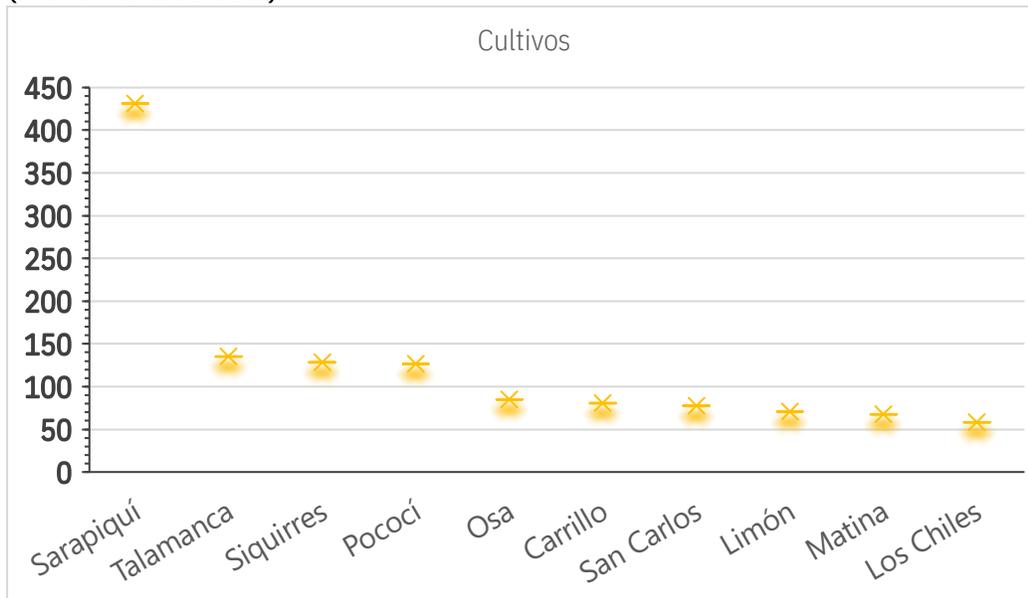


Fuente: Elaboración propia con datos de CNE, 2023 y NASA, 2023.

En el caso de la cobertura de cultivos, Sarapiquí es también el cantón que presentó mayor ganancia neta, con circa de 431 km². Los cantones que le siguen son Talamanca, Siquirres y Pococí con valores alrededor de 130 km² (gráfico 9).

Gráfico 9

Ganancia neta de cobertura de cultivos en cantones con área expuestas a inundaciones (kilómetros cuadrados)

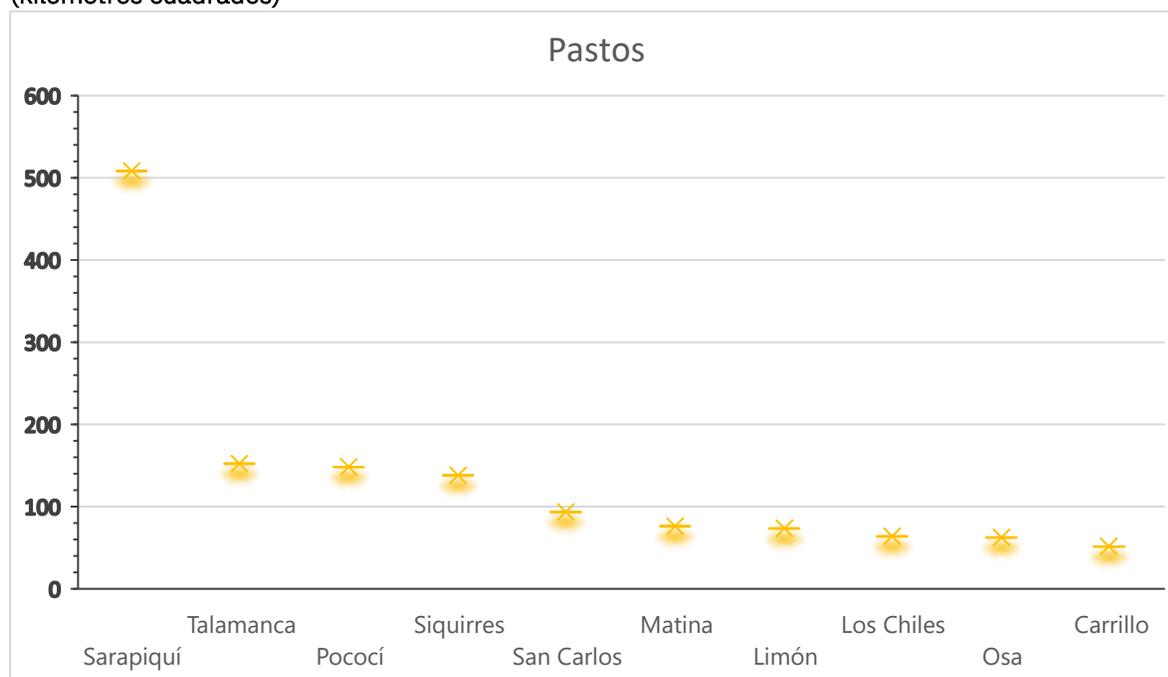


Fuente: Elaboración propia con datos de CNE, 2023 y NASA, 2023.

En el caso de pastos, Sarapiquí también tiene ganancias netas, cercanas a 500 km². Seguido por Talamanca, Pococí y Siquirres, pero estos cantones muy distantes de Sarapiquí, con valores cercanos a 150 km² (gráfico 10).

Gráfico 10

Ganancia neta de cobertura de pastos en cantones con área expuestas a inundaciones (kilómetros cuadrados)



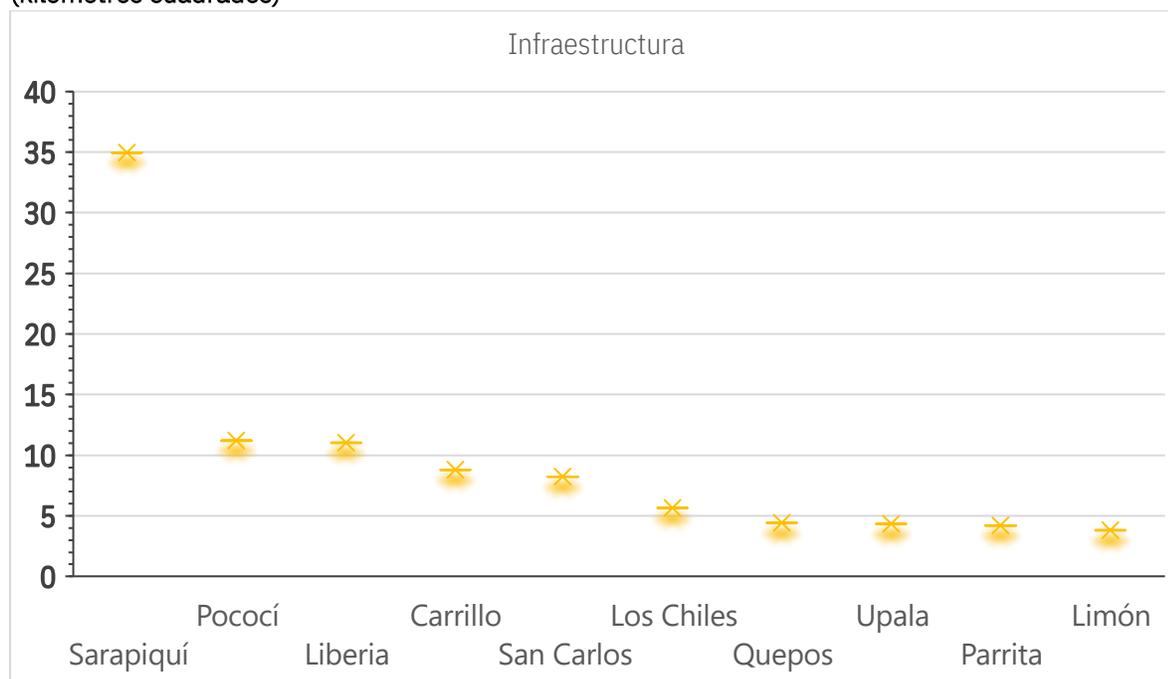
Fuente: Elaboración propia con datos de CNE, 2023 y NASA, 2023.

Finalmente, en las ganancias en infraestructura Sarapiquí sobresale con casi 50 km², seguido de Pococí y Liberia con alrededor de 11 km², y Carrillo y San Carlos con 8 km² (gráfico 11) En este punto se resalta que tanto Pococí, Liberia y San Carlos tienen ciudades intermedias, por lo que la dinámica de expansión de estas ciudades se ve reflejada aquí, tal y como ya se comentó con anterioridad.

Es importante de resaltar además que Sarapiquí sobresale no solo porque es de los cantones con mayor área de exposición a inundaciones, sino también porque es uno donde se da una mayor dinámica de cambios de cobertura del suelo. Por ejemplo, Pococí está dentro de los tres cantones con mayor área de exposición a inundaciones, pero al tener grandes extensiones de su territorio protegido, su dinámica de cambio de cobertura es menor, por ejemplo, El Parque Nacional Tortuguero tiene una extensión terrestre de 31.187 ha, o 311,87 km².

Gráfico 11

Ganancia neta de cobertura de infraestructura en cantones con área expuestas a inundaciones (kilómetros cuadrados)



Fuente: Elaboración propia con datos de CNE, 2023 y NASA, 2023.

Conclusiones

En términos generales el país mantiene una tendencia estable en la cobertura forestal desde 2014. Existe una pérdida de la cobertura de pastos, y una ganancia de la cobertura de cultivos. La infraestructura mantiene una tendencia creciente constante, aunque en dimensiones mucho menores que las otras coberturas del suelo. Este incremento se debe a políticas de conservación y reforestación, como la Ley Forestal N° 7032 de 1986 y la Ley Forestal N° 7575 de 1996, que promovieron la recuperación forestal, la integración de pagos por servicios ambientales, y la reforestación, así mismo se suma el cambio de actividades económicas.

En los cantones multi-productores la cobertura del suelo mantiene un aumento constante en la cobertura forestal, a la vez que también aumenta la cobertura de cultivos. Muchas de estas ganancias se dan por pérdida de pastos. De 1986 a 2014, hubo un notable incremento en las áreas de cultivos y pastos. Sin embargo, entre 2014 y 2023, la superficie de pastos disminuyó, mientras que la de cultivos continuó aumentando. Estos cambios reflejan una adaptación a las demandas económicas y productivas, con una reorientación de tierras hacia actividades agrícolas más extensivas. La transformación de coberturas forestales a cultivos y pastos, y viceversa, evidencia las dinámicas complejas en la gestión del suelo en los cantones multi-productores, influenciadas por la necesidad de equilibrio entre conservación y producción agrícola.

La ganancia de infraestructura aumenta en zonas cercanas a centros urbanos, donde existe un desplazamiento de cultivos y cobertura forestal, cuyas ganancias se dan hacia zonas más alejadas de los centros urbanos. En esta dinámica, por la magnitud de los cambios sobresale el cantón de San Carlos. Esto implica que los cantones ya de alta importancia productiva siguen aumentando el área agropecuaria, a la vez que en otras áreas se recupera cobertura forestal.

Si tomamos en cuenta la dinámica completa de cambios de cobertura, y los valores netos de cada cobertura, resaltan varios aspectos relevantes. Primero, el cantón de San Carlos tiene una pérdida neta de cobertura forestal, una ganancia neta de pastos, una ganancia neta de cultivos, y una ganancia en infraestructura. Siendo este cantón el primer lugar en las magnitudes de ganancia y pérdidas señalados si se compara con otros cantones multi-productores. Ahora si tomamos en cuenta a San Carlos, Upala y Los Chiles, tenemos a los tres cantones con mayor pérdida de cobertura forestal entre 1986 y el 2023. Ubicando a la Zona Norte como la región del país con más pérdida de cobertura forestal, siempre teniendo en cuenta solo cantones multi-productores. Esto nos indica que se está cultivando, y construyendo a expensas de pérdida de cobertura forestal, tal y como se detalló en los apartados anteriores.

Ahora, en San Carlos, muchos de estos cambios se dan en zonas no aptas para construir o para sembrar por estar expuestas a inundaciones, y donde la cobertura forestal cumpliría un rol importante en la prevención de inundaciones, como se aclaró con anterioridad. En términos generales, los cambios dentro de zonas expuestas a inundaciones evidencian una importante pérdida de la cobertura forestal, y una importante ganancia de la cobertura de cultivos. Simultáneamente la infraestructura, aunque en menor magnitud, aumenta en forma constante, esto mientras la cobertura de pastos se mantiene relativamente estable. Los cambios indican un aumento de cobertura de cultivos e infraestructura tanto en zonas de exposición media y alta de inundaciones. Esto indica una reducción en los beneficios que la cobertura forestal genera en reducir los impactos de las inundaciones, mientras por otro lado los suelos podrían estar quedando más expuestos, en el caso de que los cultivos sean de baja cobertura del suelo. En el caso de los cantones expuestos a inundaciones es el cantón de Sarapiquí el que presenta una mayor dinámica de cambios de cobertura del suelo. Este cantón es el que mayores ganancias netas de cobertura forestal, cultivos, pastos e infraestructura tiene.

La dinámica de cambio de cobertura dentro de áreas expuestas a inundaciones sugiere que se debe de gestionar el territorio en una forma integral. Por esta razón, varios autores proponen intervenciones en lugares de exposición a inundaciones que integren tanto el manejo de los cuerpos de agua, así como el uso del suelo en las partes altas. Es importante integrar la planificación del uso del suelo, medidas de ingeniería, y medidas de preparación para inundaciones en las partes bajas. Sin embargo, solamente la aplicación de medidas de ingeniería como drenajes no solucionan el problema de raíz. Esto debe estar acompañado de recuperación de la cobertura forestal en ciertas zonas más vulnerables, y estratégicamente definidas.

Al respecto, en Costa Rica, este tipo de gestión recomendada ya cuenta con un marco legal, donde la Ley de Aguas, específicamente la Ley No. 276 del 27 de agosto de 1942, establece el marco legal para la gestión de los recursos hídricos. Además, la gestión del territorio a nivel de cuenca hidrográfica también se ve reforzada por otras legislaciones y políticas, como la Ley Forestal No. 7575 de 1996 y el Plan Nacional de Gestión Integrada de Recursos Hídricos.

Como complemento, la Ley Orgánica del Ambiente No. 7554, en su artículo VI, puntualiza los principios básicos para el Ordenamiento Territorial, por ejemplo, da las pautas para ubicar de forma óptima, dentro del territorio nacional las actividades productivas, los asentamientos humanos, las zonas de uso público y recreativo, las redes de comunicación y transporte, las áreas silvestres y otras obras vitales de infraestructura, como unidades energéticas y distritos de riego y avenamiento. Sin embargo, es necesario que se hagan esfuerzos más allá de la creación de planes reguladores, esto debido a que la producción agropecuaria y las áreas de exposición a inundaciones pueden tener dinámicas cambiantes en el tiempo. Por ende, la planificación ambiental de la cobertura y uso del suelo puede echar mano a un marco jurídico más amplio relacionado y vigente, que establezca los lineamientos mínimos ordenadores de una política nacional sobre estos temas. Por ejemplo, el país cuenta con: Ley de Planificación Urbana (No. 4240), Ley sobre la Zona Marítimo Terrestre (6043), Ley Orgánica del Ambiente (7554), Ley Forestal (7575), Ley de Biodiversidad (7778), Ley de Uso Manejo y Conservación de Suelo (7779), Ley Nacional de Emergencias y Prevención del Riesgo (8848).

Referencias bibliográficas

- Alfaro, M. 2020. Evolución del sector forestal de Costa Rica entre 1969 y 2020: reflexiones sobre la formación de profesionales forestales. *AMBIENTICO*, 12-17. Obtenido de https://www.ambientico.una.ac.cr/wp-content/uploads/taianacan-items/5/31081/275_12-17.pdf
- Meza, A. 1999. Dinámica de inundaciones del río Colorado e impacto en Turrialba, Costa Rica. <https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/9908/tesis%20mar%C3%ADa%20jos%C3%A9.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Arce-Villalobos, K., Arias-Castro, A., Hernández-Ugalde, K., Mora-Barrantes, J.C. y Sánchez-Gutiérrez, R. 2020. Impacto ambiental de diferentes sectores productivos de Costa Rica. *Tecnología en Marcha* 34(2): 76-87.
- Arias M. 2005. Retos para la agricultura en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 29(2), 157-166. <https://www.redalyc.org/pdf/436/43629213.pdf>
- Barrientos, O., & Chaves, G. 2008. Región Huetar Norte. Oferta exportadora actual y oferta potencial de productos agropecuarios alternativos. Costa Rica: San José. <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/E71-10543.pdf>
- Bathurst, J.; Iroume, A.; Cisneros, F.; Fallas, J.; Iturraspe, R., Novillo, M.; Urciuolo, A.; de Bievre, B.; Guerrero-Borges, V.; Coello, C.; Cisneros, P.; Gayosos, J.; Miranda, M. y Ramírez, M. 2011. Forest impact on floods due to extreme rainfall and snowmelt in four Latin American environments 1: Field data analysis. *Journal of Hydrology*, 400, 1-2: 281-291. doi:10.1016/j.jhydrol.2010.11.044
- Blanc, E. y Noy, I. 2023. Impact of droughts and floods on agricultural productivity in New Zealand as measured from space. *Environmental Research Climate*, 2, 035001.
- Brenes, A. 2016. *Gestión del riesgo y vulnerabilidad en Costa Rica*. Ponencia presentada como investigación base para el INFORME ESTADO DE LA NACIÓN EN DESARROLLO HUMANO SOSTENIBLE 2016 (no. 22), Capítulo Armonía con la naturaleza. San José.

- Calder, I. y Aylward, B. 2006. Forest and Floods: Moving to an Evidence-based Approach to Watershed and Integrated Flood Management. *Water International*, 31(1), March.
- Castro R. y Arias, G. 1998. *Costa Rica: Toward the sustainability of its forest resources*. Technical Report Fondo Nacional de Financiamiento Foresta (FONAFIFO), San José, Costa Rica. 23 p.
- Castro, L., Ramírez, F., Luna S., Araya A., 2017. Manual de buenas prácticas agrícolas y ambientales para el cultivo del arroz en el Refugio Nacional de Vida Silvestre Barra del Colorado, Costa Rica. Área de Conservación Tortuguero (ACTo), Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC), Proyecto para la Promoción del Manejo Participativo en la Conservación de la Biodiversidad (MAPCOBIO), Agencia Internacional del Japón (JICA).
- Chaves, S. 2006. *Los 10 años de la Ley Orgánica del Ambiente: logros y perspectivas*. Ponencia para el Duodécimo informe sobre el Estado de la Nación. https://repositorio.conare.ac.cr/bitstream/handle/20.500.12337/963/452.%20Los%20Diez%20a%C3%B1os%20de%20ley%20organica%20del%20ambiente_XII%20INFORME.pdf?sequence=1
- Chuvieco, E. 1992. *Teledetección, S.I.G y Cambio Global*. V Coloquio de Geografía Cuantitativa. Zaragoza, 21-25 de septiembre.
- Chuvieco, E. 2010. *Teledetección ambiental, la observación de la Tierra desde el espacio*. Editorial Ariel.
- Comisión Nacional de Prevención del Riesgo y Atención de Emergencias. 2023. Capa en formato shape: *Áreas con potencial a Inundación: 1:25.000*. San José. https://www.snitcr.go.cr/Metadatos/full_metadata2?k=Y2FwYW1ldGFkYXRvczo6Y2FwYTo6Q05FOjppbnVuZGFjaW9uZXM=
- De Camino, R.; Segura, O.; Arias L.G. y Pérez, I. 2000. *Costa Rica: Forest Strategy and the Evolution of Land Use*. Evaluation Country Case Study Series. The World Bank. Washington, D.C.
- ESA 2022. World Cover. Cultivos del proyecto ESA (European Spatial Agency).
- ESRI 2011. ArcGIS Desktop: Release 10.5. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.
- FAO-CIFOR 2005. *Forest and floods: Drowning in fiction or thriving on facts?* Forest Perspectives 2. Center for International Forestry Research (CIFOR) and Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Fonseca, W.; Chaves, H.; Alce, F. y Rey, B. 2010. Cambios en la cobertura del suelo y áreas prioritarias para la restauración forestal en el Caribe de Costa Rica. *Recursos Naturales y Ambiente*, 59-60: 99-107.
- González-Gamboa, V.; Muñoz, R.; Vargas, C. y Durán, E. 2021a. *Descripción de cambios de uso del suelo en Costa Rica: 1986 – 2019*. Ponencia presentada como investigación base para el Informe Estado de la Nación 2021.
- González-Gamboa, V.; Vargas-Cullell, J.; Muñoz, R.; Calvo, O.; Rodríguez, B.; Céspedes, A. y Segura, A. 2021b. *Ciudades intermedias en Costa Rica: aproximación al estudio de su*

función de articulación de la economía local. Ponencia presentada como investigación base para el Informe Estado de la Nación 2021.

González-Gamboa, V.; Arroyo, N.; Muñoz, R. y Vargas, C. 2023a. *Puntos calientes agroproductivos y zonas multi-productoras en Costa Rica: distribución cantonal 1905-2014.* Ponencia presentada como investigación base para el Informe Estado de la Nación 2023.

González-Gamboa, V.; Muñoz, R.; Vargas, C. y Kopper-Álvarez, D. 2023b. *Diseño del índice de exposición a la amenaza natural de inundaciones: el caso de exposición de edificaciones.* Ponencia presentada como investigación base para el Informe Estado de la Nación 2023.

Guamán, P.; Basante, C. y Mármol, J.L. 2023. Ventajas de la aplicación de cobertura vegetal en los cultivos agroecológicos. *Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, IV, 6: 6037.

Hidalgo, H.; Alfaro, E. y Quesada-Román, A. 2024. Flood projections for selected Costa Rican main basins using CMIP6 climate models downscaled output in the HBV hydrological model for scenario SSP5-8.5. *Hydrological Research Letters*, 18(1): 35-42.

ICAFE. 2023. Capa en formato *shape*: *Cobertura de café 2017-2018*. <https://www.snitcr.go.cr>

INEC. 2015. Sistema de consultas: Censo de población y vivienda 2000 y 2011. Recuperado de: <http://inec.go.cr>

INEC. 2017. *Una Visión del Sector Agropecuario Basado en el CENAGRO 2014 (C-838-u)* [Recurso electrónico]. San José, C.R.: INEC. 588 p. https://admin.inec.cr/sites/default/files/media/imgsimposio-cenagro-08122017_2.pdf

Jones, J. 2002. Cambios en el uso de la Tierra en Costa Rica: el mapeo y la deforestación. Ponencia preparada para el Noveno Informe Estado de la Nación. San José. PEN.

Kleinn, C., Corrales, L., y Morales, D. 2002. FOREST AREA IN COSTA RICA: A COMPARATIVE STUDY OF TROPICAL FOREST COVER ESTIMATES OVER TIME. *Environmental Monitoring and Assessment*, 73: 17–40.

Karagiannis, G.; Turksezer, Z.; Alfieri, L.; Feyen, L. y Krausmann, E. 2019. *Climate change and critical infrastructure – floods*. JRC Science For Policy Report. European Commission.

Kim, W.; Iizumi, T.; Hosokawa, N.; Tanoue, M. y Hirabayashi, Y. 2023. Flood impacts on global crop production: advances and limitations. *Environmental Research Letters*, 18, 054007.

Lagro, J.A. 2005. Land-Use Classification. *Encyclopedia of Soils in the Environment*.

León, J. y Arroyo, N. 2011. Producción, tecnología y comercialización del arroz en Costa Rica 1950-2005. Instituto de Investigaciones en Ciencias Económicas. Universidad de Costa Rica.

León, J. y Arroyo, N. 2012. Desarrollo histórico del sector agroindustrial de la caña de azúcar en el siglo XX. Aspectos económicos, institucionales y tecnológicos. Instituto de Investigaciones en Ciencias Económicas. Universidad de Costa Rica.

León, J. y Arroyo, N. 2017. Cambios en la estructura productiva del sector rural costarricense con base en el censo agropecuario 2014. Instituto de Investigaciones en Ciencias Económicas. Universidad de Costa Rica.

https://www.kerwa.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/89644/CensoAgropecuario_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- León, J. y Arroyo, N. 2019. Análisis de factores que influenciaron el desarrollo de la región Huetar Norte de Costa Rica. Instituto de Investigaciones en Ciencias Económicas (IICE). Universidad de Costa Rica.
- Mata, J. 1960. Nuevos pastos para tierras tropicales húmedas de Costa Rica. *Suelo Tico*, 12(45), 20-51. <https://www.mag.go.cr/rev-histo/st-12-45-020.pdf>
- Mejía, B., Garmendia, Y., Villalta, K. y Aguilar, J. 2022. Efectos del Cambio Climático en Centroamérica. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático* 8(16): 2018-2029.
- MINAE. 2002. *El éxito forestal de Costa Rica: En cinco casos*. Ministerio del Ambiente y Energía, Oficina Nacional Forestal, PNUD-Programa Global de Bosques. 60 p.
- MINAE y REDD+ 2015. *Estrategia Nacional REDD+ Costa Rica*. Una iniciativa del Programa de Bosques y Desarrollo Rural. <https://www.forestcarbonpartnership.org/sites/fcp/files/2015/October/8-Costa%20Rica%20Borrador%20de%20la%20Estrategia%20Nacional%20REDD+Spanish%20v%2030%20Sept.pdf>
- Mohammadi, M.; Darabi, H.; Mirchooli, F.; Bakhshae, A. y Torabi, A. 2021. Flood risk mapping and crop-water loss modeling using water footprint analysis in agricultural watershed, northern Iran. *Natural Hazards*, 105: 2007-2025.
- Morawski, M. 2022. Flood vulnerability of the critical infrastructure in Poland. *Security and defense Quarterly*, 39(3): 108-122.
- NASA 2023. *Landsat-8 images*. Cortesía de U.S. Geological Survey.
- Navin, M.S. y Agilandeeswari, L. 2020. Comprehensive review on land use/land cover change classification in remote sensing. *Journal of Spectral Imaging* 9, a8.
- Nawrotski, R., Tebeck, M., Harten, S. y Blankenagel, V. 2023. Climate change vulnerability hotspots in Costa Rica: constructing a sub-national index. *Journal of Environmental Studies and Sciences (April)*.
- Nisbet, T. 2022. *Designing and managing forest and woodlands to reduce flood risks*. UK Forestry Standard Practice Guide. Forest Research. UK.
- Pant, R.; Thacker, S.; Hall, J.W.; Alderson, D. y Barr, S. 2019. Critical infrastructure impact assessment due to flood exposure. *Journal of Flood Risk Management*, 11: 22-33.
- PRIAS-CeNAT. 2019. Capa en formato shape: *Paisaje Productivo Pastos*. <https://www.snitcr.go.cr>
- PRIAS-CeNAT. 2019. Capa en formato shape: *MOCUPP Piña*. <https://www.snitcr.go.cr>
- PRIAS-CeNAT. 2019. Capa en formato shape: *MOCUPP Palma*. <https://www.snitcr.go.cr>
- Porter, J.; Shu, E.; Amodeo, M.; Hsieh, H.; Chu., Z. y Freeman, N. 2021. Community Flood Impacts and Infrastructure: Examining National Flood Impacts Using a High Precision Assessment Tool in the United States. *Water*, 13, 3125.

- Programa Estado de la Nación 2002. *Capítulo Armonía con la Naturaleza*. Programa Estado de la Nación, Consejo Nacional de Rectores. San José, Costa Rica.
- Programa Estado de la Nación 2016. *Capítulo Armonía con la Naturaleza*. Programa Estado de la Nación, Consejo Nacional de Rectores. San José, Costa Rica.
- Programa Estado de la Nación 2017. *Capítulo Armonía con la Naturaleza*. Programa Estado de la Nación, Consejo Nacional de Rectores. San José, Costa Rica.
- Programa Estado de la Nación 2021. *Capítulo Armonía con la Naturaleza*. Programa Estado de la Nación, Consejo Nacional de Rectores. San José, Costa Rica.
- Quesada-Román, A. 2022. Flood risk index development at the municipal level in Costa Rica: A methodological framework. *Environmental Science and Policy* 133: 98-106.
- Quiang, Y. 2019. Food exposure of critical infrastructures in the United States. *Journal of Disaster Risk Reduction*, July.
- Rodríguez, J. 2001. El Éxito Forestal en Costa Rica - SIREFOR. In *SNIPPET* (pp. 1-39). San José, Costa Rica: PROFOR-Costa Rica. https://www.sirefor.go.cr/pdfs/tematicas/Reforestacion/MINAET_2002_xitoforestal.pdf
- Rodríguez-Echavarría, T., y Prunier, D. 2020. Extractivismo agrícola, frontera y fuerza de trabajo migrante: La expansión del monocultivo de piña en Costa Rica. *Frontera Norte*, 32. <https://doi.org/10.33679/rfn.v1i1.1983>
- Rosales, A. 2015. *Leyenda CLC-CR para la generación de mapas de uso y cobertura de la tierra de Costa Rica. (Leyenda Corine Land Cover versión Costa Rica V1.0)*. Instituto de Innovación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria. Ministerio de Agricultura y Ganadería: San José, Costa Rica.
- Sánchez, L. 2017. *Tendencias de crecimiento en ciudades intermedias. El caso de San Isidro de El General, Ciudad Quesada y Guápiles*. Investigación preparada para el *Informe Estado de la Nación 2017*
- Sánchez, L. 2021. *Ordenamiento territorial y crecimiento urbano: desafíos e impactos para las ciudades intermedias y la zona marino costera*. Ponencia presentada como investigación base para el INFORME ESTADO DE LA NACIÓN EN DESARROLLO HUMANO SOSTENIBLE 2021 (no. 27, Capítulo 4: Armonía con la naturaleza. San José.
- Sierra, R., Cambroner, A., & Vega, E. 2016. Patrones y factores de cambio de la cobertura forestal natural de Costa Rica, 1987-2013. https://reddcr.go.cr/sites/default/files/centro-de-documentacion/rsierraacambronerovega_patrones_y_factores_cus.pdf
- Sili, N.; Apostu, I-M. Y Faur, F. 2020. Floods and their effects on Agricultural Productivity. *Research Journal of Agricultural Science*, 52(4).
- SINAC. 2022. *Recuperación del bosque en la Zona Protectora del Sur de la Península de Nicoya y el Corredor Biológico Peninsular*. Área de Conservación Tempisque. San José, Costa Rica. 38 p. <https://www.sinac.go.cr/ES/publicaciones/Gestion%20del%20Conocimiento/12%20ACT%20Corredor%20Biol%C3%B3gico%20Peninsular.pdf>

- Vargas, H. 2021. Aumento de la cobertura boscosa en la Zona Norte de Costa Rica: participación de los gobiernos locales en el Programa Huella de Carbono Neutro. Ambientico, Universidad Nacional de Costa Rica. <https://www.ambientico.una.ac.cr/wp-content/uploads/tainacan-items/5/36546/005-Vargas.pdf>
- Vargas, C., Arguedas, C., Hernández, K. y Miller, C. 2021. *Informe: Monitoreo del estado de la piña en Costa Rica para el año 2017, asociado con la pérdida y ganancia entre la cobertura forestal*. San José, Costa Rica: Laboratorio PRIAS, CeNAT, CONARE.
- Villalobos, G. 2017. *Modernización agropecuaria en Costa Rica 1897-1914: los apóstoles del progreso*. Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Wang, X.; Liu, Z. y Chen, H. 2022. Investigating Flood Impact on Crop Production under a Comprehensive and Spatially Explicit Risk Evaluation Framework. *Agriculture*, 12: 484.