



EFFECTOS DEL CAMBIO DE USO DE SUELO Y CAMBIO CLIMÁTICO EN LA DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN EL VALLE DEL CHOTA, ECUADOR

EFFECTS OF CHANGE IN LAND USE AND CLIMATE CHANGE ON THE
POTENTIAL DISTRIBUTION OF SUGARCANE AT VALLE DEL CHOTA, ECUADOR

Paúl Arias-Muñoz^{*1}, Evelin Lizeth Chamorro-Benavides², Sandy Anabel
Patiño-Yar², Gabriel Jácome-Aguirre¹ y Oscar Rosales³

¹Laboratorio de Geociencias y Medio Ambiente (GEOMA), Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Universidad Técnica del Norte (UTN), 100105 Ibarra, Ecuador. [<https://ror.org/03f0t8b71>]

²Carrera de Recursos Naturales Renovables, Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Universidad Técnica del Norte (UTN), 100105 Ibarra, Ecuador. [<https://ror.org/03f0t8b71>]

³Laboratorio de Geomática, Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Universidad Técnica del Norte (UTN), 100105 Ibarra, Ecuador. [<https://ror.org/03f0t8b71>]

*Autor para correspondencia: dparias@utn.edu.ec

Manuscrito recibido el 14 de diciembre de 2022. Aceptado, tras revisión el 17 de septiembre de 2024.

Resumen

La caña de azúcar es un cultivo de importancia socioeconómica, el cual no está exento de perturbaciones internas y externas. La presente investigación se desarrolló en el Valle del Chota, que es uno de los sectores donde tradicionalmente se cultiva la caña de azúcar en Ecuador. El objetivo es determinar los efectos del cambio futuro de cobertura de suelo en su desarrollo hasta el año 2031 y los efectos del cambio climático en su distribución para el periodo 2025-2035 en los escenarios RCP 4,5 y RCP 8.5. Para ello, se proyectó el uso de suelo a los años 2022 y 2031 utilizando como información base las coberturas de uso de suelo de los años 1999 y 2011. Para la proyección futura bajo escenarios de cambio climático se utilizó la zonificación agroecológica del cultivo y los cambios que ocurrirán en la temperatura y precipitación en los escenarios climáticos. Los resultados pronostican que, por efecto del cambio de uso de suelo, el cultivo de caña de azúcar disminuirá su superficie en alrededor del 14,65% desde el año 2022 hasta el 2031. En contraste, bajo los escenarios climáticos RCP 4,5 y RCP 8,5, para el periodo 2025-2035 las superficies óptimas para la producción de caña de azúcar aumentarán en igual proporción, reflejando un aumento de la disponibilidad hídrica.

Palabras clave: Caña de azúcar, Cambio de uso de suelo, Cambio climático, RCP, Chota.

Abstract

Sugarcane is a socio-economically important crop, which is not exempt from internal and external disturbances. This research was carried out at the Chota Valley, one of the sectors where sugarcane is traditionally grown in Ecuador. The aim is to determine the effects of future land cover change on its development until 2031 and the effects of climate change on its distribution for the period 2025-2035 in the scenarios RCP 4.5 and RCP 8.5. For this purpose, land use was projected for 2022 and 2031, using land use coverages for 1999-2011 as the base information. Future projections under climate change scenarios were carried out using the agro ecological zoning of crops and changes in temperature and precipitation climate scenarios. The results forecast that due to land use change, sugarcane cultivation will decrease its area by about 14.65% from 2022 to 2031. However, the research findings under the RCP 4.5 and RCP 8.5 climate scenarios for the 2025-2035 period indicate a significant increase in the optimal areas for sugarcane production in equal proportion, mirroring the rise in water availability.

Keywords: Sugarcane, Land use change, climate change, RCP, Chota.

Forma sugerida de citar: Arias-Muñoz, P., Chamorro-Benavides, E.L., Patiño-Yar, S.A., Jácome-Aguirre, G. y Rosales, O. (2025). Efectos del cambio de uso de suelo y cambio climático en la distribución potencial de la caña de azúcar en el Valle del Chota, Ecuador. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*. [Acceso Temprano] <https://doi.org/10.17163/lgr.n42.2025.06>.

IDs Orcid:

Paúl Arias-Muñoz: <https://orcid.org/0000-0002-1263-2748>

Evelin Lizeth Chamorro-Benavides: <https://orcid.org/0000-0002-2085-5933>

Sandy Anabel Patiño-Yar: <https://orcid.org/0000-0001-9245-0444>

Gabriel Jácome-Aguirre: <https://orcid.org/0000-0001-8305-6226>

Oscar Rosales: <https://orcid.org/0000-0001-7131-6203>

1 Introducción

La caña de azúcar (*Sacharum officinarum*) es una planta perenne de la familia Poaceae perteneciente al género *Saccharum*, utilizada para la producción de azúcar. La caña de azúcar transformó la actividad empresarial industrial, al pasar de ser un cultivo que provee alimento a uno que suministra insumos para las industrias sucroquímica y energética (Gómez-Merino et al., 2015). La importancia económica de este cultivo radica en tres características principales: a) tiene una alta capacidad de producción; b) utiliza de manera eficaz los recursos e insumos productivos; y c) puede ser transformado localmente en productos de mayor valor, como sacarosa, melaza, etanol y energía (Gómez-Merino et al., 2015). Actualmente es uno de los cultivos más importantes debido a que su producción contribuye a la alimentación de más de la mitad de la población mundial (Moraes et al., 2015; Somard et al., 2018), la cual ha incrementado su producción a nivel mundial, al pasar de 448 millones de toneladas cultivadas en 8.9 millones de hectáreas en el año 1961 a 2000 millones de toneladas cultivadas en 27 millones de hectáreas en el año 2020 (El Chami et al., 2020).

El origen de la caña de azúcar se encuentra en las zonas tropicales de clima templado cálido del sudeste de Asia y Nueva Guinea, y se produce principalmente en regiones tropicales y subtropicales a nivel mundial (Somard et al., 2021). En Ecuador, la caña de azúcar fue introducida a las zonas tropicales y subtropicales del país con la conquista española y actualmente sobrepasa las 82 000 ha (Mendoza et al., 2005). El Valle del Chota, ubicado entre las provincias del Carchi e Imbabura en Ecuador, es uno de los sectores subtropicales que cuenta con características edáficas adecuadas para la producción de este cultivo (Echeverría and Uribe, 1981). La caña de azúcar llegó al Valle del Chota con los primeros hacendados españoles en el año 1550, sin embargo, no es hasta el año 1570 cuando el cultivo de caña empieza a reemplazar a los principales cultivos de la época que eran coca y algodón (Cornel Feijoo, 1991). La producción de caña de azúcar se ha convertido en una de las principales fuentes de ingresos de la población, la cual representa el segundo asentamiento afrodescendiente en Ecuador. Esta actividad agrícola no ha estado exenta de perturbaciones internas y externas, como el reemplazo

por otros cultivos (Espín Díaz, 1999) o los probables efectos del cambio climático.

En todo el mundo, la agricultura es el sector económico que más sufre las fluctuaciones climáticas, por lo que es necesario implementar estrategias efectivas para su adaptación y mitigación (Zhao and Li, 2015). El cambio climático surge de las alteraciones en el equilibrio energético de la Tierra, las cuales son provocadas tanto por factores y procesos naturales como por intervenciones humanas (Intergovernmental Panel On Climate Change (IPCC), 2023). Es así que este fenómeno representa nuevos retos para la productividad agrícola, debido a que a largo plazo modificará las zonas climáticas y agroecológicas, especialmente en regiones como América Latina (López Feldman and Hernández Cortés, 2016). La Organización Internacional del Azúcar (2013) señala que para el año 2050 el cambio climático sería favorable para el aumento de la superficie idónea para el cultivo de caña de azúcar en un 160%. Los cambios combinados de las condiciones climáticas y atmosféricas, como el aumento de la temperatura, radiación solar y concentración de CO₂ en la atmósfera, incrementarían el rendimiento de la caña de azúcar (Guerra and Hernández, 2012).

Sin embargo, a nivel global no hay consenso sobre los posibles efectos locales del cambio climático en la producción de caña de azúcar. Marin et al. (2013) y Todd et al. (2015) señalan que en Brasil y en Luisiana (Estados Unidos) respectivamente, el cambio climático mejorará el rendimiento en la producción de caña de azúcar debido a que en Brasil se mejora la eficiencia del uso del agua, y en Luisiana se reduce la incidencia de las heladas. Sin embargo, Singh and El Maayar (1998) determinaron que en el Caribe, la caña de azúcar puede disminuir en un 20-40% bajo un escenario de cambio climático de doble concentración de CO₂, y Knox et al. (2010) determinaron mediante el uso de modelos climáticos que en Suazilandia, el rendimiento de la caña de azúcar disminuirá en el futuro.

Estos datos confirman que los agricultores deberán adaptarse a las nuevas condiciones del cultivo de caña de azúcar bajo los probables efectos del cambio climático, sean estos positivos o negativos. En Ecuador, de acuerdo con las proyecciones de rutas de concentración representativas (RCP, por sus siglas en inglés), la temperatura nacional po-

dría incrementar en 2 °C, con excepción de la región Amazónica e Insular (Ministerio de Ambiente de Ecuador, 2019). Este cambio en la temperatura propiciará la reducción de la capacidad adaptativa de las ciudades ecuatorianas al cambio climático (Arias-Muñoz et al., 2022), y sin duda alterará los rendimientos de cultivos, como la caña de azúcar. Aunque los rendimientos futuros de la caña de azúcar no solo pueden verse afectados por los impactos del cambio climático, también son afectados por las dinámicas propias del cambio de uso de suelo. Es así como el objetivo del presente estudio fue determinar la superficie actual de caña de azúcar, año 2022, y proyectar su superficie al año 2031 bajo un escenario normal con tendencia al cambio de uso de suelo y bajo dos escenarios de cambio climático (RCP 4,5 y RCP 8,5). De este modo, se evaluaron los cambios de uso de suelo mediante la aplicación de matriz de transición y se proyectó el uso de suelo, que incluyó la cobertura de caña de azúcar mediante el uso de cadenas de Markov.

Mientras que la proyección futura, bajo escenarios de cambio climático, se realizó con base en la zonificación agroecológica del cultivo y los impactos que tendrán los requisitos agroecológicos, temperatura y precipitación en escenarios de cambio climático. Por lo tanto, el reto consistió en identificar áreas óptimas agroecológicas, determinando los posibles escenarios de cambio y necesidades que puedan surgir en una región, para especificar estrategias de adaptación que permitan reducir el impacto del cambio climático en pro de un desarrollo sostenible (Oviedo and León, 2010).

2 Materiales y Métodos

2.1 Área de estudio

El área de estudio de la presente investigación corresponde al valle seco del río Chota, localizado al norte del Ecuador entre las provincias Imbabura y Carchi, entre los meridianos 78° 15' y 77° 55' de longitud Oeste, y paralelos 0° 30' y 0° 7' de latitud Norte (Espín Díaz, 1999). Esta área presenta una superficie de 9247 ha y se caracteriza por ser un valle encajonado dentro de la hoya del Chota (Figura 1), situado entre las dos estribaciones de la cordillera de los Andes (Winckell et al., 1997). También se caracteriza por presentar un relieve de llanura y penillanura, considerando que el principal cauce

que lo atraviesa es el río Chota. El valle del Chota presenta una formación vegetal de matorral seco montano bajo (Sierra, 1999) y está ubicado entre los 1500 a 1800 m.s.n.m (Espín Díaz, 1999). De acuerdo con la clasificación climática de Pourrut (1983), el clima del valle se considera megatérmico árido a semiárido con una temperatura media anual promedio de 17,2 a 19,5°C y una precipitación media anual que varía entre 559 y 945 mm. La vegetación característica de la zona está compuesta principalmente por algarrobo (*Acacia macracantha* y *Mimosa pudica*), huarango (*Mimosa quitensis*), ovo (*Spondias mombin*), fréjol (*Phaseolus vulgaris*), fréjol guandul (*Cajanus cajan*) y caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) (Mena, 2001).

La población del valle del Chota es mayoritariamente afrodescendiente. La población afro que se asentó en el valle tuvo como origen la importación de mano de obra-esclava por los jesuitas para las haciendas de caña de azúcar (Carrascal Jijón, 2016), lo que permitió que en el valle del Chota se formara una comunidad afrodescendiente con identidad cultural e histórica. De hecho, se considera el segundo asentamiento en el Ecuador que concentra más población afrodescendiente, solo después de la provincia de Esmeraldas (Ortiz Villalva, 2011). El valle está conformado por los siguientes centros poblados, Piquiucho, Chalguayaco, Juncal, Pusir Grande, Pusir Chiquito, Carpuela, Tumbatú, Ambuquí, San Vicente de Pusir, Chota y Mascarilla. En estas comunidades se estima que alrededor del 64,4% de la población se encuentra en situación de pobreza y hasta el 2001 el 15% de la población era considerada analfabeta (Ortiz Villalva, 2011; Peralta et al., 2001).

Las principales actividades económicas son: agricultura (86%), manufactura (10%) y comercio (4%) (Peralta et al., 2001). No obstante, la agricultura en la región ha sufrido considerablemente debido a la fragmentación excesiva de la tierra, la insuficiencia de agua para el riego, la limitada tecnología agrícola y la introducción de nuevos mercados (Ortiz Villalva, 2011). Esto ha obligado a la migración de la población hacia zonas urbanas, constante rotación de cultivos e incluso la incursión en nuevas actividades económicas (Espín Díaz, 1999). Por otro lado, en 1964 se creó el Ingenio Azucarero del Norte (IANCEM), con el fin de aprovechar las condiciones idóneas para el cultivo de caña de azúcar y de mejorar las condiciones económicas de los campesinos

del sector (Espín Díaz, 1999). Sin embargo, el valle fue por poco tiempo abastecedor de caña de azúcar para el ingenio, porque el campesino local observó que otros cultivos como el fréjol (*Phaseolus vulgaris*), pimiento (*Capsicum annum*) o tomate (*Lycopersicon esculentum*) eran más rentables para el comercio de los mercados locales de las ciudades cercanas: Pimampiro, Ibarra y Tulcán (Espín Díaz, 1999).

2.2 Determinación de la situación actual (año 2022) y expansión futura del cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) al año 2031

Se determinó la distribución actual para el año 2022, y futura para el año 2031 de la caña de azúcar, con base en una proyección del uso de suelo del valle del Chota, cuyos años de referencia fueron 1999 y 2011 empleando los softwares, ArcGIS 10.8.2 y TerrSET 1.0. Para la proyección de cambio de cobertura y uso de suelo (CUS) se consideraron las siguientes variables predictoras: pendiente del te-

rreno, modelo de elevación DEM, distancia euclidiana de la zona urbana, vías y distancia euclidiana de las vías (Figura 2a-e).

Las variables según sus características fueron clasificadas en estáticas y dinámicas. Se definieron como estáticas a las siguientes variables: a) modelo de elevación DEM y, b) pendientes que son aquellas que no pueden presentar cambios; mientras que las dinámicas fueron, c) distancia euclidiana de los poblados, d) distancia euclidiana de vías, y e) vías.

Además, para la proyección del CUS, tal como lo recomiendan Ortega Chuquín and Arias Muñoz (2022), se estandarizaron las características espaciales de las variables predictoras: pendientes, altitud, distancia a vías y distancia a zonas urbanas, junto a los archivos espaciales de los años de referencia de cobertura y uso de suelo (años 1999 y 2011). Para ello se realizó una homologación de la resolución espacial y radiométrica en los archivos geoespaciales (Tabla 1).

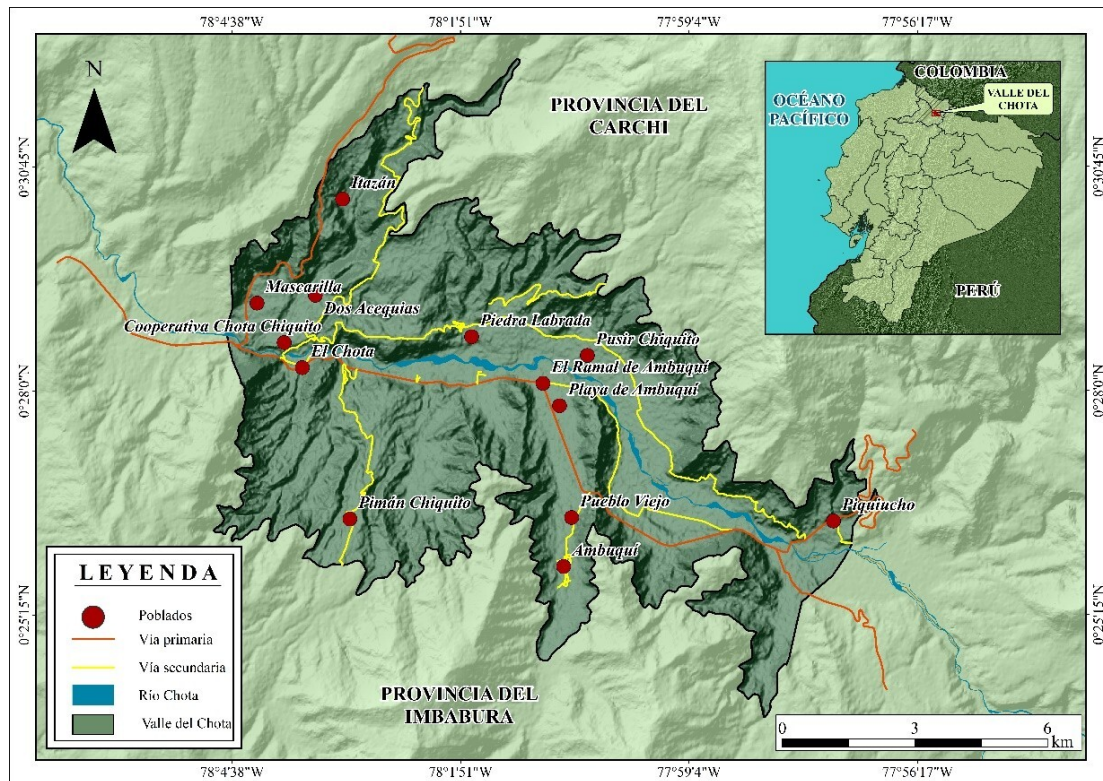


Figura 1. Ubicación del Valle del Chota.

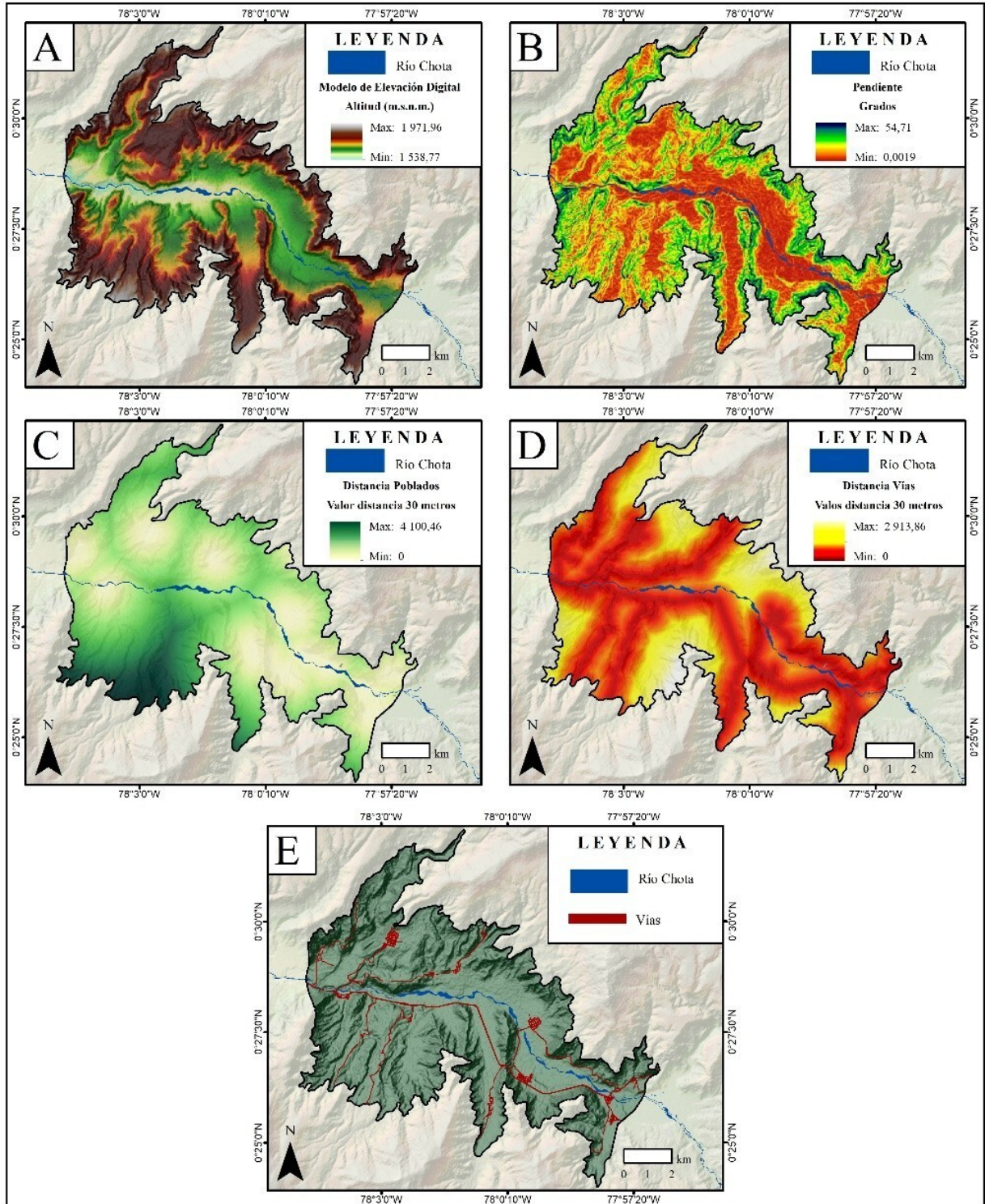


Figura 2. Variables estáticas y dinámicas: a) modelo de elevación DEM y, b) pendientes, c) distancia euclidiana de los poblados, d) distancia euclidiana de vías y, e) vías.

Tabla 1. Características de los archivos geoespaciales

Información del ráster	Características
Columnas y filas	502 - 497
Número de bandas	1
Tamaño de píxel	30 m × 30 m
Formato	TIFF
Tipo de píxel	Unsigned integer
Resolución radiométrica del píxel	4 bits

Para el establecimiento del CUS para el año 2022 y 2031, se utilizó la herramienta *Land Change Modeler* (LCM) del software TerrSET 1.0, así se elaboraron los modelos potenciales de transición, predicción y los escenarios de cambio de uso de suelo. En el presente estudio se desarrolló el submodelo denominado “Disturbios” con base en la construcción de tendencias más predominantes de cambio entre las diferentes categorías de cobertura y uso de suelo (Tabla 2).

Tabla 2. Submodelo Disturbios

Transición		Sub-Modelo
De:	Cambio:	
Cultivo de caña	Otros cultivos	Disturbios
Vegetación xerofítica	Caña	
Cultivo de caña	Área sin vegetación	
Otros cultivos	Caña	

Una vez establecido el submodelo, se aplicó la prueba V de Cramer a las variables estáticas y dinámicas que se crearon previamente. Esta prueba sirve para medir la forma en la que están asociadas dos categorías y permitió calcular la relación entre las variables de acuerdo con su efecto (Tabla 3).

Tabla 3. Interpretación de los resultados de la prueba V de Cramer

Tamaño de efecto	Interpretación
$\leq 0,2$	El resultado es débil. Aunque el resultado es estadísticamente significativo, los campos sólo están débilmente asociados.
$0,2 < ES \leq 0,6$	El resultado es moderado. Los campos están asociados moderadamente.
$> 0,6$	El resultado es fuerte. Los campos están fuertemente asociados.

De acuerdo con esta interpretación de la prueba V de Cramer, se obtuvieron variables con una fuerza de concordancia moderada y fuerte, como se observa en la Tabla 4, efectuándose el modelo de transición para el año 2022 y 2031. Finalmente, para conocer el cambio de cobertura y uso del suelo para el año 2022 y 2031, se realizó el análisis de CA-Markov del Software Terrset 1.0. Este modelo se basa en las cadenas de Markov propuestas por el matemático ruso Andrei Markov en 1907 (López Granados et al., 2001).

Tabla 4. Análisis de la prueba V de Cramer

Variables	Prueba V de Cramer
Pendientes	0,546
Modelo de elevación	0,573
Distancia euclidiana de poblados	0,457
Vías	0,321
Distancia euclidiana vías	0,441
Cultivo de caña a área sin vegetación	0,393
Cultivo de caña a otros cultivos	0,645
Vegetación xerofítica a cultivo de caña	0,498

2.3 Zonificación futura del cultivo de caña de azúcar bajo escenarios de cambio climático al año 2031

En primer lugar, se identificaron los requerimientos agroecológicos del cultivo que fueron empleados para zonificar las áreas óptimas para el desarrollo de la caña de azúcar (Tabla 5). Los requerimientos agroecológicos permiten definir zonas idóneas para cultivos con base a combinaciones de suelo, fisiografía y clima (FAO, 1978), además, contribuyen a zonificar su distribución e identificar los posibles impactos de los cambios climáticos en la viabilidad de la agricultura a futuro. Los cultivos necesitan condiciones óptimas para su desarrollo y estas pueden ser físicas, químicas, topográficas y climáticas, como la temperatura y precipitación que son requerimientos que pueden limitar el crecimiento y desarrollo del cultivo (Ruiz Corral et al., 2013).

Tabla 5. Condiciones agroecológicas del cultivo de caña azúcar

Temperatura media anual	15 a 33 °C
Precipitación media anual	1200 a 1500 mm/año
pH	5,5 a 8
Tipo de suelo recomendable	Francos, franco-arcilloso o franco areno-arcillosos

Fuente: Duarte Álvarez and González Villalba (2019)

Después, los requerimientos agroecológicos de temperatura y precipitación fueron reemplazados por los valores estimados en los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5. Los datos de proyecciones climáticas fueron obtenidos del Informe de Proyecciones Climáticas de Ecuador desarrollado por el Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica (Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE), 2020). Esta información presenta una simulación a futuro, desarrollada mediante un *downscaling dinámico* con una temporalidad 1985-2070. Se simulan las probables condiciones de la temperatura y precipitación bajo dos escenarios climáticos denominados sendas representativas de concentración (RCP 4,5 y RCP 8,5). El escenario RCP 4,5 muestra una probabilidad de que la temperatura sea superior en al menos 2 °C, y el escenario RCP 8,5 presenta un incremento en la temperatura superior a 3 °C (Armenta et al., 2016).

El MAATE proporcionó información de temperatura y precipitación diaria en celdas o píxeles con puntos centrales, y los píxeles utilizados fueron F17C50, F17C51, F17C52, F17C53, F18C50, F18C51, F18C52, F18C53, F19C50, F19C51, F19C52, F19C53; cada píxel cubre un área de 10000 ha. Además, se determinó si existe alguna discrepancia entre los datos *in situ* y los datos comparativos mediante la aplicación del sesgo perceptual (BIAS) y el error medio cuadrático (RMSE) entre los datos pasados disponibles y los datos simulados para cada escenario climático en el periodo 2011-2015 (ecuación 1 y ecuación 2).

$$BIAS = \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{N} \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{N}} \quad (2)$$

Donde P son los datos pronosticados y O son los datos observados, respectivamente, y N es la cantidad de datos totales.

El BIAS indica la tendencia media que tienen los datos simulados a ser mayor o menor que los datos observados (Gupta et al., 1999). Este estadístico presenta un valor óptimo cuando es igual a cero, lo cual indicaría que la simulación es precisa (Moriassi et al., 2007). El RMSE proporciona una medida del valor medio de los errores del pronóstico, lo que equivale a representar la desviación estándar de los errores del modelo (Righetti et al., 2019). La capacidad predictiva del modelo será mejor cuanto menor sea el valor del RMSE, ya que esto indicaría que las predicciones están más cerca de los valores reales (Arias-Muñoz et al., 2023).

Los resultados obtenidos en el BIAS y el RMSE se analizaron con el fin de verificar la necesidad de corregir los datos climáticos simulados por el Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) (2020). Después con los datos climáticos simulados y validados para el periodo 2025-2035 se establecieron las zonas aptas para el cultivo de caña en los dos escenarios climáticos RCP 4,5 y RCP 8,5. Este proceso incluyó la interpolación de la temperatura anual y precipitación anual para el periodo 2025-2035 con el método *Spline* en el software ArcGIS 10.8.2 (Figura 3). Finalmente, las zonas óptimas simuladas se compararon con las zonas óptimas actuales.

3 Resultados y Discusión

3.1 Situación actual (año 2022) y proyección futura del cultivo caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) para el año 2031

Si bien el cultivo de caña de azúcar en el valle del Chota no puede desarrollarse en el territorio debido a que no alcanza la precipitación mínima requerida para el desarrollo del mismo, que es de 1200 mm, la clasificación supervisada de la cobertura y uso del suelo muestra que la caña de azúcar se cultiva normalmente. Incluso entre los años 1999 y 2011 se evidenció que el cultivo disminuyó su superficie en un 1,4%.

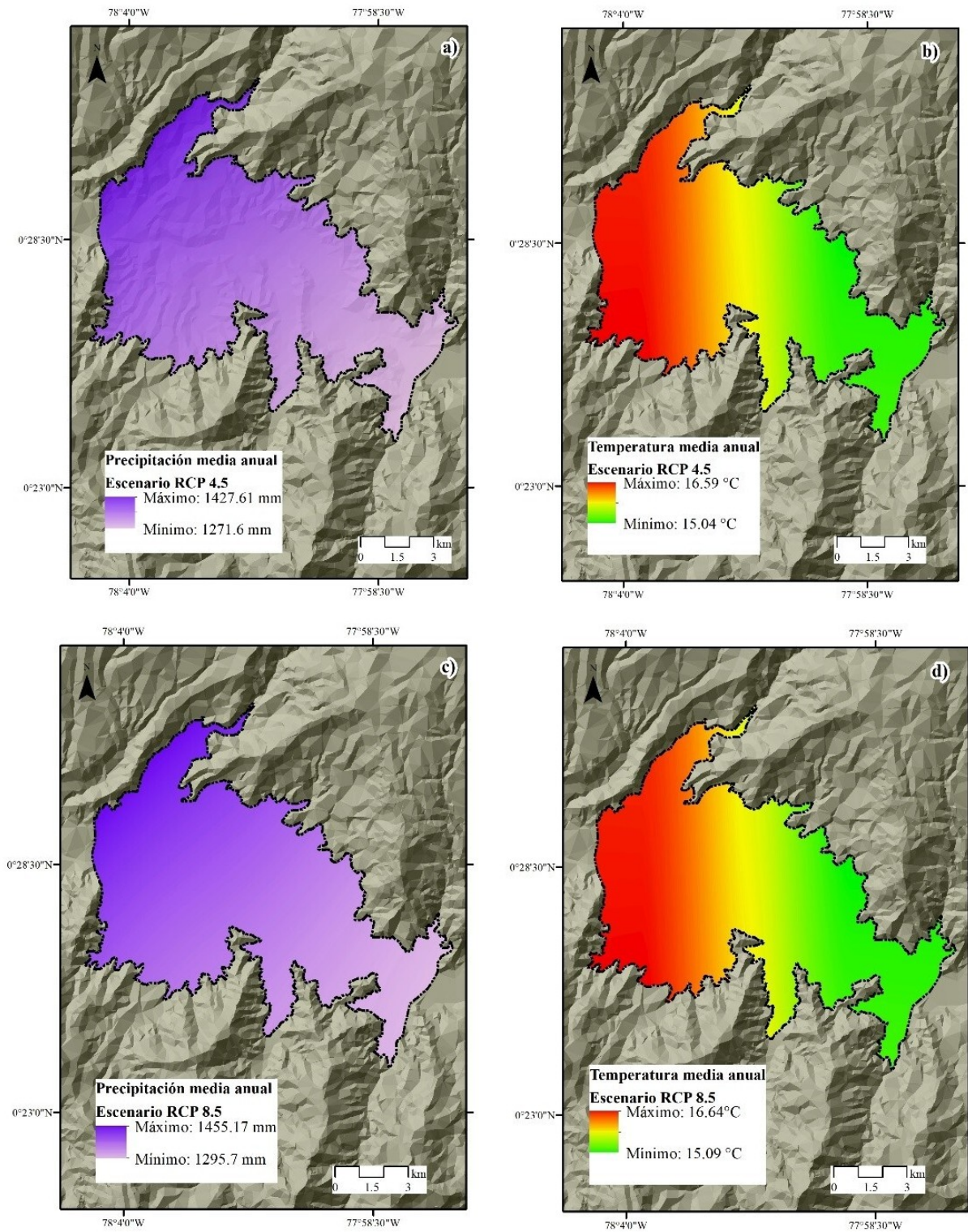


Figura 3. Interpolación de la precipitación y Temperatura a futuro para el periodo 2025-2035. a) Precipitación bajo escenario RCP 4,5, b) Temperatura bajo escenario RCP 4,5, c) Precipitación bajo escenario RCP 4,5, e) Temperatura bajo escenario RCP 8,5.

Para el año 2011 este presentó una superficie de 530,52 ha, representando el 5,7% de la superficie total. De ahí que pese a que no existen las condiciones climáticas para el desarrollo del cultivo, éste se desarrolla de forma permanente en este territorio. De hecho, las necesidades hídricas serían suplidas mediante la aplicación de dos tipos de riego, por goteo, por gravedad y por la adaptabilidad propia de esta especie. Por otra parte, en el año 2022 se observó que 481,52 ha del territorio corresponden a cultivos de caña de azúcar, lo que equivale a 5,21% de la cobertura total, disminuyendo en un 0,49% respecto al año 2011. Actualmente, en el valle del Chota la caña es cultivada por agricultores locales y la cosecha normalmente se vende al Ingenio Azucarero del Norte (IANCEM). Al contrario de la caña de azúcar, otros cultivos y espacios ocupados por los centros poblados son las que más se expandie-

ron, al aumentar su extensión en un 6,91% y 2,66%, respectivamente.

A partir de los datos simulados para el futuro próximo, aún se esperan más cambios; hasta el año 2031, se espera que la caña de azúcar reduzca de 481,52 ha a 410,99 ha respecto al año 2022, lo cual implica una reducción del 14,65%. Esto significa que la caña de azúcar seguirá siendo reemplazada por otros cultivos como el mango, fréjol y pimiento. Como consecuencia, estos y otros cultivos aumentarán sus superficies de 639,38 ha a 681,36 ha (6,57%), llegando a ocupar el 7,37% de la superficie total del valle. También, la superficie de los poblados aumentará alrededor del 10,46% al pasar de 245,80 ha a 271,52 ha, reemplazando principalmente zonas semiáridas del territorio (Figura 4).

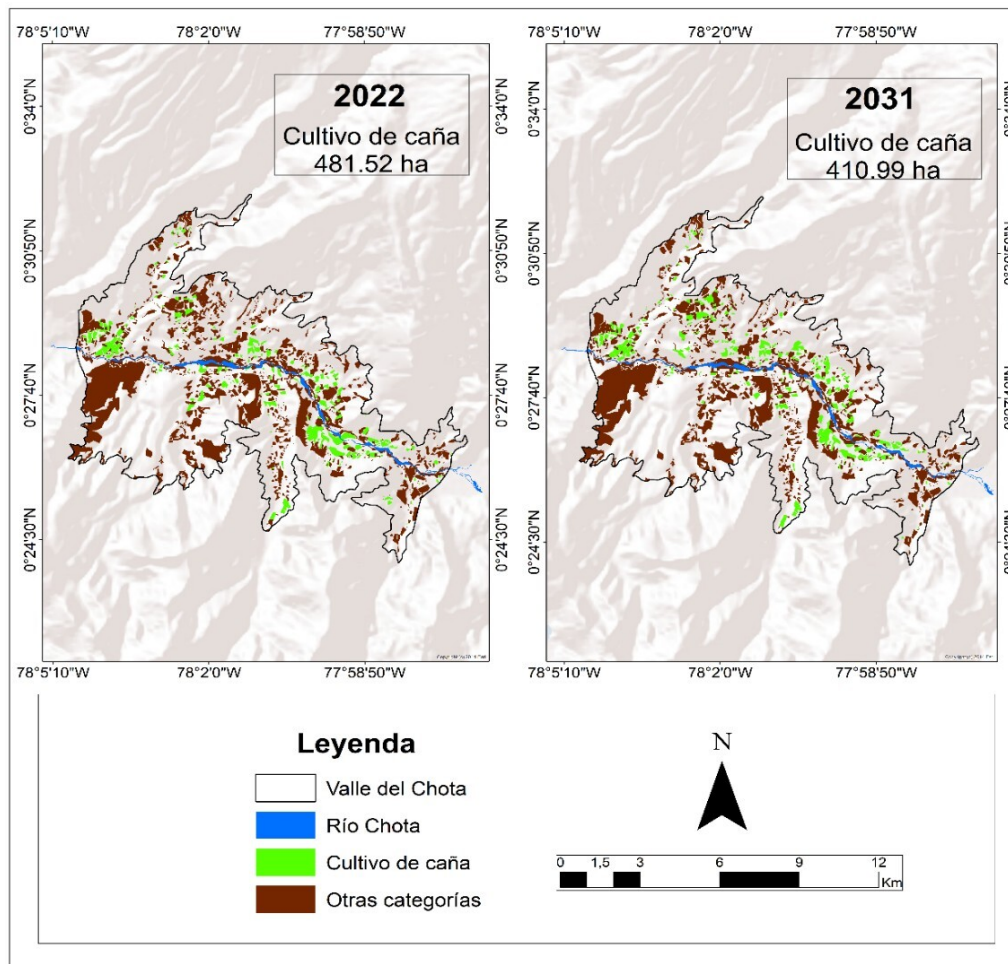


Figura 4. Modelo de cambio de cobertura y uso del suelo del periodo 2022- 2031.

3.2 Zonificación del cultivo de caña de azúcar bajo escenarios de cambio climático para el periodo 2025-2035

En primer lugar, se identificó que no existe la necesidad de corregir los datos climáticos simulados por el Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) (2020), porque en los dos escenarios climáticos (RCP 4,5 y RCP 8,5) los valores obtenidos para el sesgo perceptual (BIAS) son cercanos a cero y los valores del RMSE para la precipitación oscilan máximo hasta 2 mm, y de la temperatura son cercanos a cero (Tabla 6). Estos valores RMSE son relativamente bajos e indicarían que las predicciones están cerca de los valores reales.

Por consiguiente, para el periodo 2025-2035 se pronostican cambios en precipitación y temperatura que afectarán la producción de la caña de azúcar en el valle del Chota por efectos del cambio climático. Tanto para el escenario RCP 8,5 como para el escenario RCP 4,5 las zonas adecuadas para el desarrollo del cultivo de caña de azúcar se incrementarán en igual proporción, ya que las zonas óptimas pasarán de ser nulas en la actualidad a alcanzar un 70,83% en ambos escenarios climáticos (Tabla 7 y Figura 5). Debido a que en estos escenarios la precipitación media anual fluctuará entre los 1261 mm y 1455 mm y la temperatura media anual oscilará entre 15 y 16,65 °C (Figura 3), con lo cual se alcanzarían los requerimientos climáticos para el óptimo desarrollo del cultivo (Tabla 5). En ese sentido, el cambio climático, de acuerdo a los escenarios analizados, ocasionará que existan zonas óptimas para el desarrollo del cultivo, a diferencia de lo que sucede actualmente. Como consecuencia, se podría desarrollar el cultivo sin la necesidad de recurrir al suministro de agua de riego.

Al igual que otros cultivos, la caña de azúcar no

solo se ve influenciada por las condiciones climáticas que se presenten durante el año agrícola sino también por el interés que presenten los agricultores en cultivarlos (Silva et al., 2014). La disminución de la superficie de la caña de azúcar desde el año 1999 hasta el año 2022 demuestra que el interés de los campesinos del valle por el cultivo ha decrecido poco a poco. Esto pese a la presencia de un ingenio azucarero IANCEM, empresa ubicada en el sector que permite mantener la demanda del producto, condición que según Moreno Izquierdo et al. (2018) permite obtener rendimientos óptimos del cultivo en zonas con condiciones naturales para su producción. Sin embargo, debido a los precios variables y que el ciclo vegetativo y de producción de la caña es de 18 meses, los agricultores manifestaron mediante entrevista que recurren a otros productos con ciclos de producción menores y que presentan mayor recepción en los mercados locales. Espín Díaz (1999) señala que los agricultores del valle prefieren otros productos que a la caña de azúcar por la mayor facilidad de comercialización. De ahí que la caña es reemplazada por cultivos como: mango (*Mangifera indica*), pepinillo (*Cucumis sativus*), pimiento (*Capsicum annuum*) y fréjol (*Phaseolus vulgaris*). Estos cultivos no solo comprenden ciclos más cortos de producción, sino que responden de manera positiva a las condiciones climáticas y edáficas de la zona. Como consecuencia, la superficie del cultivo de caña no aumentará para el año 2031 y se mantendrá la tendencia de sustitución de otros cultivos. Las causas serían la falta de interés y la necesidad de productos en corto tiempo. En general, los estudios realizados en Ecuador han determinado que en los bosques amazónicos (Heredia-R et al., 2021), en la cuenca del río Chambo en el centro-sur del país (Ross et al., 2017) y en la cuenca del río Guayllabamba (Abad-Auquilla, 2020) aumentarán las superficies de cultivos, no obstante, no se define cuáles cultivos reemplazarán a los otros.

Tabla 6. Valores BIAS y RMSE entre los datos históricos y simulados de las variables climáticas precipitación y temperatura

Variable	Escenario climático	BIAS	RMSE
Precipitación	RCP 4,5	-0,10	2,67
	RCP 8,5	-0,25	2,75
Temperatura media	RCP 4,5	-0,41	0,64
	RCP 8,5	-0,45	0,66

Por otro lado, la influencia climática en la producción del cultivo deja en claro que el impacto de la variabilidad climática en la zona aumentará las zonas óptimas para la producción en el valle del Chota, debido a que tanto en los escenarios RCP 4,5 y RCP 8,5 se incrementa la precipitación, alcanzando valores entre 1271,6 mm y 1427,61 mm para el primer escenario y entre 1295,7 mm y 1455,17 mm. Según Aguilar-Rivera et al. (2015) el cultivo de caña requiere como mínimo 1364,23 mm de agua anuales. De ahí que con el cambio climático entre el periodo 2025-2035 se cumplirán las necesidades hídri-

cas del cultivo. En algunas zonas de Brasil también se encontró que el cambio climático mejorará la producción de caña de azúcar pues se incrementará la dotación hídrica (Marin et al., 2013). Autores como Pereira De Souza et al. (2008) demostraron que en ambientes controlados, la concentración de CO₂ reduce la conductancia estomática del cultivo, lo cual aumenta la fotosíntesis. Estos mecanismos fisiológicos no se pueden demostrar en el presente estudio y tampoco revelan las interacciones del CO₂ con otros factores climáticos en condiciones naturales.

Tabla 7. Áreas óptimas para el cultivo de caña de azúcar en el Valle del Chota bajo escenarios de cambio climático para el periodo 2025-2035

Periodo	Escenario	Zona óptima		Zona poco óptima	
		Ha	%	Ha	%
2025-2035	RCP 4,5	6526,27	70,83	2687,91	29,18
2025-2035	RCP 8,5	6526,27	70,83	2687,91	29,18

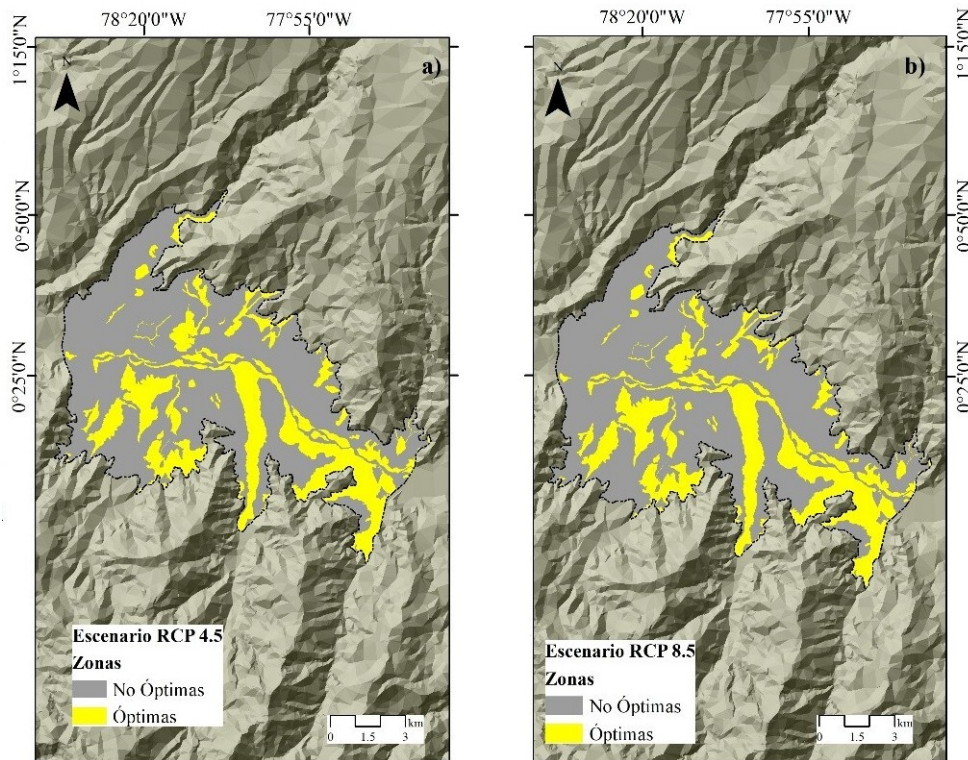


Figura 5. Zonificación del cultivo de caña de azúcar bajo escenarios de cambio climático, a) Periodo 2025-2035 escenario RCP 4,5, b) Periodo 2025-2035 escenario RCP 8,5.

El impacto negativo en el rendimiento del cultivo viene con el aumento de la temperatura. El incremento de temperatura esperado en el valle del Chota a causa del cambio climático se mantendrá entre 15,04 °C y 16,64 °C y no sobrepasará las temperaturas mínimas y máximas del sector que fluctúan entre los 13,2 °C y 26,7 °C. Por lo tanto, no existirá un aumento en el déficit hídrico a diferencia del Caribe, en donde debido al cambio climático existirá un aumento del déficit hídrico y por lo tanto una disminución en el rendimiento del cultivo entre un 20%-40% (Singh and El Maayar, 1998). Asimismo, en el país africano de Suazilandia, el rendimiento de la caña de azúcar también se verá disminuido por efectos del cambio climático en la temperatura, a menos que dentro del modelo futuro se incluya la optimización del agua de riego (Knox et al., 2010). Sin embargo, eventos extremos como las heladas tendrían menos impactos en cultivos como la caña de azúcar, lo cual permitirá que se incrementen los rendimientos de producción (Todd et al., 2015).

Además, debido a la ubicación interandina del valle del Chota, otros efectos del cambio climático tampoco afectarían la producción de la caña de azúcar. Esto a diferencia de Australia, por ejemplo, donde se seguirán incrementando las áreas cultivadas de caña de azúcar en áreas al sur del trópico (Linnenluecke et al., 2020). Sin duda, la producción de la caña de azúcar es vulnerable al cambio climático que ocasiona un aumento en la frecuencia e intensidad de los fenómenos meteorológicos extremos, como la sequía, el calor, las inundaciones y las heladas (Jaiphong et al., 2016; Todd et al., 2015).

Por lo que no se debe descartar que un aumento de fenómenos meteorológicos en el valle del Chota ocasione un aumento de los efectos negativos en la producción de caña de azúcar. Principalmente la sequía, considerando el clima cálido del sector, porque con el cambio climático se agravan sus efectos en el crecimiento y desarrollo de la planta con el aumento del estrés por déficit hídrico (Zhao and Li, 2015). A la vez pueden existir otros limitantes que condicionan los efectos del cambio climático en el valle del Chota, como la disminución de la materia orgánica en el suelo producto del continuo cultivo, ya que según Aguilar-Rivera et al. (2015) esto agrava la susceptibilidad de los suelos a la influencia climática y ambiental.

4 Conclusiones

Pese a que el valle del Chota no dispone de condiciones agroclimáticas óptimas para el desarrollo del cultivo de la caña de azúcar, este se viene desarrollando por años. Sin embargo, a partir del año 1999 hasta el año 2022 ha existido una disminución paulatina del cultivo de caña de azúcar. Esta reducción no ha superado más del 2% de pérdida y ha ocasionado que hasta el 2022 el 5,21% de la superficie total del valle esté ocupado por el cultivo. El efecto del cambio de uso de suelo proyectado ocasiona que hasta el año 2031 las superficies de caña de azúcar disminuyan en alrededor del 14,65%, respecto a la superficie estimada en el año 2022. El principal motivo por el que se vería reducido el cultivo es por el reemplazo a otros cultivos de ciclo más cortos. La mayor parte de la caña del valle es producida por los agricultores de la localidad, y aunque existe el Ingenio Azucarero del Norte quien compra su producto, los jornaleros perciben que el tiempo de cosecha es muy largo para su economía, por lo que optan por cosechar otros cultivos cuyo tiempo de cosecha es menor, como es el caso del fréjol y pimiento.

Los efectos del cambio climático en ambos escenarios de concentración RCP 4,5 y RCP 8,5 serán positivos para el cultivo de caña de azúcar, ya que para el periodo futuro 2025-2035 ocasionarán un aumento de las zonas óptimas para el cultivo en igual proporción en alrededor del 70,83% respecto a la situación actual. Esto sucederá porque en ambos escenarios se incrementará la precipitación, sobrepasando los valores hídricos mínimos requeridos por la planta, 1364,23 mm. Por otro lado, el impacto negativo de la temperatura será mínimo, porque no existirá un incremento de las temperatura mínima y máxima en el valle al no sobrepasar los 16 °C y 19 °C.

Finalmente, los resultados identificados en el presente estudio demuestran que para mantener el interés por la producción no es suficiente con tener zonas óptimas para los cultivos. Los posibles efectos benéficos del cambio climático en el valle del Chota no solo aumentarán la disponibilidad hídrica para la caña de azúcar, también podrían propiciar que este cultivo sea reemplazado por otros que despierten mayor interés en los agricultores, sea porque su ciclo de producción es más corto o porque la renta-

bilidad para la época sea mejor.

Contribución de los autores

P.A.M.: Conceptualización, curación de datos, análisis formal, metodología, administración del proyecto, recursos, supervisión, validación, visualización, estructura-borrador original, escritura-revisión y edición. E.L.Ch.B.: Curación de datos, investigación, metodología, escritura-borrador original. S.A.P.Y.: Curación de datos, investigación, metodología, escritura-borrador original. G.J.A.: Validación, visualización, supervisión, escritura-revisión y edición. O.R.: Validación, visualización, supervisión, escritura-revisión y edición.

Referencias

- Abad-Auquilla, A. (2020). El cambio de uso de suelo y la utilidad del paisaje periurbano de la cuenca del río Guayllabamba en Ecuador. *Revista de Ciencias Ambientales*, 54(2). Online: <https://n9.cl/b0rd7>.
- Aguilar-Rivera, N., Algara Siller, M., and Olvera Vargas, L. A. (2015). Gestión del agua como factor limitante de productividad cañera en México. *Revista de Geografía Norte Grande*, 60:135–152. Online: <https://n9.cl/df4wu>.
- Arias-Muñoz, P., Jácome, G., and Vilela, P. (2022). Analysis of vulnerability to climate change in small cities using livelihood approach. a case of study of Cotacachi, Ecuador. *Acta Geographica Universitatis Comenianae*, 66(1):63–79. Online: <https://n9.cl/fohso>.
- Arias-Muñoz, P., Saz, M. A., and Escolano Utrilla, S. (2023). Estimación de la erosión del suelo mediante el modelo RUSLE. caso de estudio: Cuenca media alta del río Mira en los Andes de Ecuador. *Investigaciones Geográficas*, 79:207–230. Online: <https://n9.cl/fohso>.
- Armenta, G., Villa, J., and Jácome, P. (2016). Proyecciones climáticas de precipitación y temperatura para Ecuador, bajo distintos escenarios de cambio climático. Technical report, Ministerio del Ambiente. Online: <https://n9.cl/5gs4o>.
- Carrascal Jijón, S. L. (2016). Creación de un sujeto político en los esclavizados del Valle del Chota-Ibarra a finales del siglo XVIII. Master's thesis, FLACSO sede Ecuador. Online: <https://n9.cl/se0f3y>.
- Coronel Feijoo, R. (1991). El valle sangriento 1580-1700: De los señoríos de la coca y el algodón a la hacienda cañera jesuita. Master's thesis, FLACSO sede Ecuador. Online: <https://n9.cl/g7n1w>.
- Duarte Álvarez, O. and González Villalba, D. (2019). Guía técnica cultivo de caña de azúcar. Technical report, Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción. Online: <https://n9.cl/08lda>.
- Echeverría, J. and Uribe, M. V. (1981). Papel del Valle del Chota-Mira en la economía interandina de los Andes Septentrionales del Ecuador. *Revista del Instituto Otavaleño de Antropología*, 7(9):23–46. Online: <https://n9.cl/g4hpk>.
- El Chami, D., Daccache, A., and El Moujabber, M. (2020). What are the impacts of sugarcane production on ecosystem services and human well-being? A review. *Annals of Agricultural Sciences*, 65(2):188–199. Online: <https://n9.cl/8x4ki7>.
- Espín Díaz, J. (1999). *Estrategias campesinas de sobrevivencia y de reproducción social en la población negra del Valle del Chota, Ecuador*, pages 5–27. CLACSO, Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales. Online: <https://n9.cl/uj6v2p>.
- FAO (1978). Report on the agro-ecological zones project. 1. Methodology and results for Africa. Rome, Italy. Technical report, Food and Agriculture Organization of the United Nations. Online: <https://n9.cl/csyks>.
- Gómez-Merino, F., Trejo-Téllez, L., Sentíes-Herrera, H., Pérez-Sato, J., and Salazar-Ortiz, J. (2015). La caña de azúcar ofrece más que azúcar: Oportunidades de diversificación. *Agroentorno*, 166(18):24–25. Online: <https://n9.cl/0v1yz>.
- Guerra, A. and Hernández, A. (2012). El cambio climático y el cultivo de la caña de azúcar. In *El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala*, pages 479–512. Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC). Online: <https://n9.cl/293fi>.

- Gupta, H. V., Sorooshian, S., and Yapo, P. O. (1999). Status of automatic calibration for hydrologic models: Comparison with multilevel expert calibration. *Journal of Hydrologic Engineering*, 4(2):135–143. Online:https://n9.cl/xjey0.
- Heredia-R, M., Torres, B., Cabrera-Torres, F., Torres, E., Díaz-Ambrona, C. G. H., and Pappalardo, S. E. (2021). Land Use and Land Cover Changes in the Diversity and Life Zone for Uncontacted Indigenous People: Deforestation Hotspots in the Yasuní Biosphere Reserve, Ecuadorian Amazon. *Forests*, 12(11):1539. Online:https://n9.cl/r3qb1.
- Intergovernmental Panel On Climate Change (IPCC) (2023). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge University Press. Online:https://n9.cl/zqau0.
- Jaiphong, T., Tominaga, J., Watanabe, K., Nakabaru, M., Takaragawa, H., Suwa, R., Ueno, M., and Kawamitsu, Y. (2016). Effects of duration and combination of drought and flood conditions on leaf photosynthesis, growth and sugar content in sugarcane. *Plant Production Science*, 19(3):427–437. Online:https://n9.cl/j714h.
- Knox, J. W., Díaz, J. R., Nixon, D., and Mkhwanazi, M. (2010). A preliminary assessment of climate change impacts on sugarcane in Swaziland. *Agricultural systems*, 103(2):63–72. Online:https://n9.cl/0mtyz.
- Linnenluecke, M. K., Zhou, C., Smith, T., Thompson, N., and Nucifora, N. (2020). The impact of climate change on the Australian sugarcane industry. *Journal of Cleaner Production*, 246(118974). Online:https://n9.cl/ilrxx.
- López Feldman, A. J. and Hernández Cortés, D. (2016). Cambio climático y agricultura: Una revisión de la literatura con énfasis en América Latina. *El trimestre económico*, 83(332):459–496. Online:https://n9.cl/uwfb8.
- López Granados, E. M., Bocco, G., and Mendoza Cantú, M. E. (2001). Predicción del cambio de cobertura y uso del suelo: El caso de la ciudad de Morelia. *Investigaciones geográficas*, 1(45):39–55. Online:https://n9.cl/nj3js.
- Marin, F. R., Jones, J. W., Singels, A., Royce, F., Assad, E. D., Pellegrino, G. Q., and Justino, F. (2013). Climate change impacts on sugarcane attainable yield in southern Brazil. *Climatic Change*, 117:227–239. Online:https://n9.cl/ja2kz.
- Mena, P. (2001). *Montañas y agua en la Mitad del Mundo*, volume 204. Abya Yala. Online:https://n9.cl/jhygv.
- Mendoza, J., Gualle, D., Gómez, P., Ayora, A., Martínez, I., and Cabezas, C. (2005). Progresos en el manejo de plagas en caña de azúcar en Ecuador. Online:https://n9.cl/hzlv8p.
- Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) (2020). Informe de Proyecciones Climáticas Nacionales. Technical report, Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica.
- Ministerio de Ambiente de Ecuador (2019). Primera contribución determinada a nivel nacional para el acuerdo de París bajo la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Technical report, Ministerio de Ambiente de Ecuador. Online:https://n9.cl/eg12n.
- Moraes, M. A. F. D., Oliveira, F. C. R., and Diaz-Chavez, R. A. (2015). Socio-economic impacts of Brazilian sugarcane industry. *Environmental Development*, 16:31–43. Online:https://n9.cl/4wscf.
- Moreno Izquierdo, V. J., Lasso Benitez, L. d. P., Reyes Pozo, M. D., Haro Prado, R., and Cruz, G. (2018). Aptitud agroecológica de tres cultivos estratégicos (maíz, arroz y caña de azúcar) en 14 cantones de la cuenca baja del río Guayas. *Pro Sciences: Revista de Producción, Ciencias e Investigación*, 2(13):15–24. Online:https://n9.cl/pcw3y.
- Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D., and Veith, T. L. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, 50(3):885–900. Online:https://n9.cl/vs6ku.
- Organización Internacional del Azúcar (2013). Cambio climático y cultivos azucareros. Technical report, Organización Internacional del Azúcar. Online:https://n9.cl/z4cl7j.
- Ortega Chuquín, J. U. and Arias Muñoz, D. P. (2022). Análisis de los efectos del cambio de uso de suelo en el paisaje del bosque húmedo: Una visión al año 2022 en la cuenca del río Cayapas-Ecuador. *SATHIRI*, 17(1):288–311. Online:https://n9.cl/6nb6r.

- Ortiz Villalva, V. (2011). Valle del Chota: Fútbol, identidad y mercado. Master's thesis, Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador. Online: <https://n9.cl/ykgux>.
- Oviedo, B. and León, G. (2010). Guía de procedimiento para la generación de escenarios de cambio climático regional y local a partir de los modelos globales. Technical report, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Online: <https://n9.cl/k6rsu>.
- Peralta, E., Barrera, V. H., Unda Galarza, J. R., Guala, M., and Tacán, M. (2001). Estudio de la producción, poscosecha, mercadeo y consumo de fréjol arbustivo en el Valle del Chota, Ecuador. Informe de investigación. Technical report, Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Online: <https://n9.cl/anv5j>.
- Pereira De Souza, A., Gaspar, M., Alves Da Silva, E., Ulian, E. C., Waclawovsky, A. J., Nishiyama Jr, M. Y., Dos Santos, R. V., Teixeira, M. M., Souza, G. M., and Buckeridge, M. S. (2008). Elevated CO₂ increases photosynthesis, biomass and productivity, and modifies gene expression in sugarcane. *Plant, Cell & Environment*, 31(8):1116–1127. Online: <https://n9.cl/krht5>.
- Pourrut, P. (1983). *Los climas del Ecuador: Fundamentos explicativos*. Ministerio de Agricultura y Ganadería de Ecuador. Online: <https://n9.cl/8qbdb0>.
- Righetti, S. A., Hobouchian, M. P., and García Skabar, Y. (2019). Corrección del BIAS del pronóstico de temperatura mínima y máxima del modelo GFS. Nota Técnica SMN 2017-56. Technical report, Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Online: <https://bit.ly/4jGAWUz>.
- Ross, C., Fildes, S., and Millington, A. (2017). Land-use and land-cover change in the Páramo of South-Central Ecuador, 1979–2014. *Land*, 6(3):46. Online: <https://n9.cl/rxhzc>.
- Ruiz Corral, J. A., Medina García, G., González Acuña, I. J., Flores López, H. E., Ramírez Ojeda, G., Ortiz Trejo, C., Byerly Murphy, K. F., and Martínez Parra, R. A. (2013). Requerimientos agroecológicos de cultivos. Technical report, INIFAP. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias-CIRPAC-Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Online: <https://n9.cl/quy25>.
- Sierra, R. (1999). Propuesta preliminar de un sistema de clasificación de vegetación para el Ecuador continental. Technical report, Proyecto Inefan/Gef-Birf y Ecociencia. Online: <https://n9.cl/8pgsm9>.
- Silva, M. d. A., Arantes, M. T., Rhein, A. F. d. L., Gava, G. J. C., and Kolln, O. T. (2014). Potencial produtivo da cana-de-açúcar sob irrigação por gotejamento em função de variedades e ciclos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18(3):241–249. Online: <https://n9.cl/qn94q>.
- Singh, B. and El Maayar, M. (1998). Potential impacts of greenhouse gas climate change scenarios on sugar cane yields in Trinidad. *Environmental Science, Agricultural and Food Sciences Tropical Agriculture*, 75(3). Online: <https://n9.cl/6a47c3>.
- Som-ard, J., Atzberger, C., Izquierdo-Verdiguier, E., Vuolo, F., and Immitzer, M. (2021). Remote Sensing Applications in sugarcane cultivation: A review. *Remote Sensing*, 13(20):4040. Online: <https://n9.cl/ukbmt>.
- Som-ard, J., Hossain, M. D., Ninsawat, S., and Vee-rachitt, V. (2018). Pre-harvest sugarcane yield estimation using UAV-based RGB images and ground observation. *Sugar Tech*, 20(6):645–657. Online: <https://n9.cl/fgfjv>.
- Todd, J., Glaz, B., Burner, D., and Kimbeng, C. (2015). Historical use of cultivars as parents in Florida and Louisiana sugarcane breeding programs. *International Scholarly Research Notices*. 257417. Online: <https://n9.cl/7pydzs>.
- Winckell, A., Marocco, R., Winter, T., Huttel, C., Pourrut, P., Zebrowski, C., and Sourdat, M. (1997). *Los grandes rasgos del relieve en el Ecuador*, pages 3–13. Centro Ecuatoriano de Investigación Geográfica. Online: <https://n9.cl/cable1>.
- Zhao, D. and Li, Y.-R. (2015). Climate change and sugarcane production: Potential impact and mitigation strategies. *International Journal of Agronomy*. Online: <https://n9.cl/druvyz>.