



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES

“ANÁLISIS DEL CAMBIO DE COBERTURA Y PROYECCIÓN FUTURA
DEL CULTIVO CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum*) EN EL
VALLE DEL CHOTA”

TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERAS EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

AUTORAS:

CHAMORRO BENAVIDES EVELIN LIZETH
PATIÑO YAR SANDY ANABEL

DIRECTOR:

ING. PAÚL ARIAS, MSc.

IBARRA, 2022



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES
UNIVERSIDAD ACREDITADA RESOLUCIÓN Nro. 001-073-CEAACES-2013-13

Ibarra-Ecuador

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES**

**CERTIFICACIÓN TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Ibarra, 31 de octubre del 2022

Para los fines consiguientes, una vez revisado el documento en formato digital el trabajo de titulación: "ANÁLISIS DEL CAMBIO DE COBERTURA Y PROYECCIÓN FUTURA DEL CULTIVO CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum*) EN EL VALLE DEL CHOTA", de autoría de las señoritas Chamorro Benavides Evelin Lizeth y Patiño Yar Sandy Anabel estudiantes de la Carrera de INGENIERÍA RECURSOS NATURALES RENOVABLES el tribunal tutor CERTIFICAMOS que las autoras han procedido a incorporar en su trabajo de titulación las observaciones y sugerencia realizadas por este tribunal.

Atentamente,

TRIBUNAL TUTOR

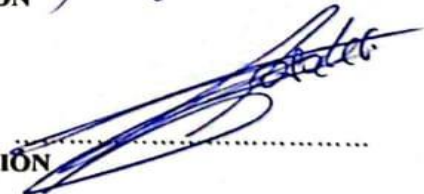
Ing. Paúl Arias MSc
DIRECTOR TRABAJO TITULACIÓN

FIRMA


Ing. Mónica León MSc
MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TITULACIÓN



Ing. Oscar Rosales MSc.
MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TRITULACIÓN



Misión Institucional:
Contribuir al desarrollo educativo, científico, tecnológico, socioeconómico y cultural de la región norte del país. Formar profesionales críticos, humanistas y éticos comprometidos con el cambio social.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

UNIVERSIDAD ACREDITADA RESOLUCIÓN NRO. 001-073-CEAACES-2013-13
Ibarra-Ecuador

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

1. Identificación de la Obra

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hacemos la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual ponemos a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO		
CÉDULA DE IDENTIDAD	040196329-3	
APELLIDOS Y NOMBRES	Benavides Chamorro Evelin Lizeth	
DIRECCIÓN:	Ibarra – Imbabura	
EMAIL:	elchamorro@utn.edu.ec	
TELÉFONO FIJO:	TELÉFONO MÓVIL:	0986703395

DATOS DE CONTACTO		
CÉDULA DE IDENTIDAD	100425858-6	
APELLIDOS Y NOMBRES	Patiño Yar Sandy Anabel	
DIRECCIÓN:	Ibarra – Ecuador	
EMAIL:	sapatinoy@utn.edu.ec	
TELÉFONO FIJO:	TELÉFONO MÓVIL:	0985644515

MISIÓN INSTITUCIONAL: Contribuir al desarrollo educativo, científico, tecnológico, socioeconómico y cultural de la región norte del país. Formar profesionales críticos, humanistas y éticos comprometidos con el cambio social.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

UNIVERSIDAD ACREDITADA RESOLUCIÓN NRO. 001-073-CEAACES-2013-13
Ibarra-Ecuador

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	ANÁLISIS DEL CAMBIO DE COBERTURA Y PROYECCIÓN FUTURA DEL CULTIVO DE CAÑA AZÚCAR (<i>Saccharum officinarum</i>) EN EL VALLE DEL CHOTA
AUTORAS:	Chamorro Benavides Evelin Lizeth Patiño Yar Sandy Anabel
FECHA:	08 de noviembre del 2022
PROGRAMA:	PREGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniería en Recursos Naturales Renovables
DIRECTOR:	Ing. Paúl Arias MSc

MISIÓN INSTITUCIONAL: Contribuir al desarrollo educativo, científico, tecnológico, socioeconómico y cultural de la región norte del país. Formar profesionales críticos, humanistas y éticos comprometidos con el cambio social.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

UNIVERSIDAD ACREDITADA RESOLUCIÓN NRO. 001-073-CEAACES-2013-13
Ibarra-Ecuador

2. Constancias

Las autoras manifiestan que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y son titulares de los derechos patrimoniales, por lo que asumimos la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldremos en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, al día 08 del mes de noviembre de 2022

Las autoras

.....
Chamorro Benavides Evelin Lizeth
C.I. 040196329-3

.....
Patiño Yar Sandy Anabel
C.I. 100425858-6

.....
MISIÓN INSTITUCIONAL: Contribuir al desarrollo educativo, científico, tecnológico, socioeconómico y cultural de la región norte del país. Formar profesionales críticos, humanistas y éticos comprometidos con el cambio social.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por permitirnos cumplir con un objetivo más en nuestra vida, por darnos el valor y fortaleza de nunca rendirnos y seguir adelante

A nuestros padres y familiares quienes han sido parte del proceso y han aportado en nuestro aprendizaje, pues nos han enseñado a levantarnos de todas las caídas y para que el día de hoy se plasme este sueño

A nuestra casona universitaria, Universidad Técnica del Norte por formar profesionales éticos, críticos y humanistas. También a los docentes de la carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables quienes nos impartieron conocimientos durante nuestro trayecto en la carrera, valoramos todo su esfuerzo y gracias infinitas por su aporte

A nuestro director de tesis ingeniero Paúl Arias quien nos dio la confianza para desarrollar el trabajo de investigación, también a nuestros asesores ingeniero Óscar Rosales e ingeniera Mónica León que con sus observaciones se logró realizar excelente trabajo, de manera especial agradecemos a la ingeniera Fernanda Herrera por la buena disposición que siempre nos brindó

No ha sido fácil el camino que hemos recorrido, gracias por sus aportes y apoyo constante este triunfo también es de ustedes.

Evelin y Sandy

DEDICATORIA

Este logro se lo dedico a la persona más importante en mi vida y a quien amo infinitamente, mi madre Carmen Benavides. Conozca que todo su amor, esfuerzo, consejos y enseñanzas han sido fructíferos y me han guiado hasta convertirme en una profesional, no olvidando primero ser un buen ser humano.

A cada uno de mis familiares y amigos que me han brindado su amor sincero y han permanecido a mi lado en toda circunstancia. Sepan que sus palabras y acciones nobles las llevo en el alma, en verdad que me siento dichosa de tenerlos en mi vida.

Finalmente, esta ganancia se la dedico a mi Ser, porque cada decisión, cada lucha, cada lágrima, cada sonrisa... me han conducido hasta aquí.

Evelin Chamorro

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico de manera especial a mis padres Wilmar y Marisol que con su amor criaron buenos hijos con valores para poder desenvolvernos en el camino de la vida, por el apoyo incondicional y la guía que me han ofrecido a lo largo de mi vida quienes con su esmero, sacrificio y amor me han llevado por el camino del bien.

A mis hermanos Bryan, Melanie y Oliver que son mi inspiración y fortaleza para seguir siempre adelante. Cada momento ha sido importante contar con su apoyo y sobre todo con su amor.

A mi abuelita Lucrecia por siempre estar presente con sus buenos consejos y apoyo incondicional

A mi tía Silvia por todo el apoyo brindado y demás familiares que fueron parte de mi formación profesional

De igual forma a todas las personas que me han brindado su amistad y ayuda en mi vida universitaria

¡Por ustedes y para ustedes!

Sandy Patiño

ÍNDICE DE CONTENIDO

Contenido	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Revisión de antecedentes o estado de arte; Error! Marcador no definido.	
1.2. Problema de investigación y justificación	3
1.3. Objetivos.....	5
1.3.1. Objetivo general.....	5
1.3.2. Objetivos específicos	5
1.4. Preguntas directrices	5
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
2.1 Marco teórico referencial.....	6
2.1.2. Zonificación agroecología del cultivo de caña	6
2.1.3. Condiciones agroecológicas del cultivo de caña de azúcar	6
2.1.4. Cambio de cobertura vegetal y uso de suelo.....	7
2.1.5. Herramientas SIG y teledetección para el análisis del cambio de uso de suelo.....	8
2.1.6. Evaluación de exactitud de clasificación índice Kappa ponderado de Cohen.....	9
2.1.7. Proyecciones a futuro del cambio de uso de suelo	10
2.1.7.1. Proyecciones a futuro del suelo bajo escenarios de cambio climático	10
2.2. Marco legal	12
3. METODOLOGÍA	14
3.1. Descripción del área de estudio	14
3.2. Métodos	17
3.2.1. Establecimiento de los cambios históricos de la cobertura del cultivo de caña de azúcar (<i>Saccharum officinarum</i>) en el Valle del Chota.....	17
3.2.2. Determinación de la situación actual y expansión futura del cultivo de caña de azúcar (<i>Saccharum officinarum</i>).....	19

3.2.3. Análisis de los cambios en las categorías de uso del suelo con el fin de proponer estrategias de uso y preservación del cultivo de caña	27
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
4.1. Cambios históricos de la cobertura del cultivo de caña de azúcar (<i>Saccharum officinarum</i>) en el Valle del Chota	30
4.2. Situación actual y proyección futura del cultivo caña de azúcar (<i>Saccharum officinarum</i>) para el año 2031.....	33
4.2.1. Zonificación del cultivo de caña de azúcar bajo escenarios de cambio climático para el año 2031	36
4.3. Análisis de los cambios en las categorías de uso del suelo con el fin de proponer estrategias de uso y preservación del cultivo de caña	39
4.3.1. Prácticas agrícolas para el manejo sostenible del cultivo de caña de azúcar	41
4.3.2. Manejo y conservación del suelo.....	44
4.3.3. Gestión ambiental y utilización sustentable del cultivo de caña	48
4.3.4. Educación ambiental.....	51
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	53
5.1. Conclusiones:.....	53
5.2. Recomendaciones:	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Condiciones agroecológicas del cultivo de caña	7
Tabla 2. Categorías de coberturas y usos de suelo	18
Tabla 3. Valoración del índice Kappa.....	19
Tabla 4. Características de los rásters usados en el software Terrset	20
Tabla 5. Sub – modelo Disturbios.....	22
Tabla 6. Interpretación resultados de la prueba Cramer’s V.....	23
Tabla 7. Análisis de la prueba Cramer’s V	23
Tabla 8. Materiales, Equipos y Softwares.....	29
Tabla 9. Variación del cambio de cobertura y uso del suelo para el periodo 1991-2011.....	30
Tabla 10. Variación del cambio de cobertura y uso del suelo para el periodo 2022-2031.....	33
Tabla 11. Áreas óptimas para el cultivo de caña en el Valle del Chota	36
Tabla 12. Prácticas agrícolas para el manejo sostenible del cultivo de caña de azúcar	43
Tabla 13. Manejo y conservación del suelo	47
Tabla 14. Gestión ambiental y utilización sostenible del cultivo de caña	50
Tabla 15. Educación ambiental	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Marco legal	13
Figura 2. Ubicación del Valle del Chota.....	14
Figura 3. Mapa de tipos de suelos del Valle del Chota	15
Figura 4. Especies del Valle del Chota	17
Figura 5. Variables estáticas y dinámicas	21
Figura 6. Píxeles utilizados en la interpolación	25
Figura 7. Interpolación de la precipitación y temperatura	26
Figura 8. Marco Presión – Estado - Respuesta con base en OCDE (1993)	27
Figura 9. Componentes de los indicadores de presión	28
Figura 10. Componentes de los indicadores de estado	28
Figura 11. Componentes de los indicadores de respuesta	28
Figura 12. Variación temporal y espacial de las coberturas del uso de suelo en el Valle del Chota 1991, 1999 y 2011.....	32
Figura 13. Modelo de cambio de cobertura y uso del suelo del periodo 2022- 2031	35
Figura 14. Zonificación del cultivo de caña bajo escenarios climáticos	37
Figura 15. Mapa de cambios de uso del suelo para el periodo 1991 – 2011 del cultivo de caña de azúcar	39
Figura 16. Marco ordenador Presión - Estado - Respuesta de la investigación ...	40

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES

ANÁLISIS DEL CAMBIO DE COBERTURA Y PROYECCIÓN FUTURA DEL
CULTIVO DE CAÑA AZÚCAR (*Saccharum officinarum*) EN EL VALLE DEL
CHOTA

Chamorro Benavides Evelin Lizeth

Patiño Yar Sandy Anabel

RESUMEN

El Valle del Chota ubicado entre las provincias Imbabura y Carchi es uno de los sitios de producción del cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en el Ecuador. Dada su importancia económica y alimentaria se ha procurado mejorar la calidad y rendimiento del cultivo lo que podría implicar la expansión del mismo. Sin embargo, la agricultura intensiva es responsable del cambio de cobertura y del uso del suelo conllevando problemas económicos, sociales y ambientales. Por ello se consideró conocer la variación de las superficies ocupadas por el cultivo de caña a partir de 1991-2011. Utilizando el software ArcGIS 5.0 se analizaron ortofotos e imágenes históricas, y a partir de la clasificación se identificó una pérdida mínima del cultivo de caña (0.049%) representando un cambio neto de -0.008% durante los 20 años. Además, se realizaron zonificaciones para el año 2031 en base al cambio climático para percibir si habría efectos negativos en cuanto a la productividad del cultivo, se usaron datos como las Rutas de Concentración Representativas (RCP 8.5 y RCP 4.5) y se ejecutó el software Terrset 1.0. Los resultados indicaron que para el escenario RCP 8.5 el cual representa una temperatura media de 17°C, una máxima de 23°C y una precipitación de 1550 mm existirá un 97.37% del área total como zona óptima para la proliferación del cultivo de caña. Mientras que para el escenario 4.5 con una temperatura media de 16°C, una máxima de 22°C y una precipitación de 1400 mm se obtendrá un 77.16% como zona óptima, de tal manera que las alteraciones en las condiciones climáticas futuras serán favorables para el rendimiento del cultivo de caña de azúcar.

Palabras clave: Cultivo de caña, cambio de cobertura, agricultura intensiva, rutas de concentración representativas, cambio climático.

ABSTRACT

Chota Valley located between the provinces of Imbabura and Carchi is one of the major sites of cultivation and production of sugarcane (*Saccharum officinarum*) in Ecuador. Due to its economic and food supply importance, efforts have been made to improve the quality and yield of the crop, which could imply its expansion. However, intense agriculture is responsible for changing land cover and land use, leading to economic, social, and environmental problems. For this reason, it is necessary to know the variation of the surfaces occupied by sugar cane cultivation from 1991-2011. Using the ArcGis 5.0 software, orthophotos and historical images were analyzed, and from the classification, a minimum loss of the cane crop (0.049%) was identified, representing a net change of -0.008% during the 20 years. In addition, predictions were made for the year 2031 based on climate change to predict if there would be negative effects on crop productivity. Data such as Representative Concentration Pathway (RCP 8.5 and RCP 4.5) were used and the Terrset 1.0. software was run. The results showed that for the RCP 8.5 scenario, which represents an average temperature of 17°C, a maximum of 23°C and precipitation levels of 1550mm, 97.37% of the total area will be consider as an optimal zone for the proliferation of sugarcane cultivation. While for the 4.5 scenario, with an average temperature of 16°C, a maximum of 22°C and a precipitation of 1400mm, 77.16% will be the optimal zone, in such a way that changes in future climatic conditions will be favorable for the yield of the sugarcane crop.

Key words: Sugarcane cultivation, Changing land cover, intensive agriculture, sugarcane yield, Representative Concentration Pathway, climate change.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1.Revisión de antecedentes o estado de arte

La caña de azúcar es uno de los cultivos más antiguos del mundo y su historia se remonta a los años 100 y 800 a.C., en estos tiempos se menciona al cultivo de caña incluso en los relatos de textos mitológicos (Ávila, 2011; Pérez et al, 2016). La caña es una gramínea originaria de Nueva Guinea; se cultivó por primera vez en el Sureste Asiático y tuvo su extensión a países como Borneo, Sumatra e India (Zambrano, 2021).

A través de la historia fue trasladada al continente americano por Cristóbal Colón en 1493 y fue plantada por primera vez en la Isla Española, lo que hoy es República Dominicana y Haití, en el año 1500. Brasil fue el primer país sudamericano en el que se cultivó la caña de azúcar, luego en Colombia en 1510 y después en Ecuador entre los años 1526-1533 siendo distribuida en las zonas tropicales y subtropicales del país (Paucar & Robalino, 2009; Ávila, 2011). En el siglo X los usos de la planta eran principalmente medicinales y alimenticios (Saltos, 2015).

A mediados del siglo XVI para muchos países, la caña de azúcar se convirtió en una actividad empresarial (Merino et al, 2017), por ser un cultivo multipropósito muy importante en la provisión de alimentos e insumos para la industria sucroquímica y bioenergética. El valor económico de este cultivo se basa en tres atributos: 1) es una especie altamente productiva; 2) es muy eficiente en el uso de insumos y recursos productivos; y 3) puede ser procesada de manera local y generar productos con valor agregado, tales como la sacarosa, melaza, etanol y energía (Gómez et al., 2015).

En el Valle del Chota el cual se encuentra entre las provincias Imbabura y Carchi el cultivo de caña de azúcar llegó con los primeros hacendados españoles en el año 1550, al principio no tuvieron mucho éxito con el cultivo de caña ya que, en las tierras pertenecientes a los caciques de Chota y Mira se producía coca y algodón, no es hasta el año 1570 cuando el cultivo de caña empieza a reemplazar tan solo

unas pocas hectáreas de estos cultivos (Zambrano, 2006; Pozo, 2012; Lincango, 2013).

Para el siglo XVII, El Valle del Chota fue poblado por la comunidad negra, a través de la historia se narra que fueron traídos por jesuitas y mercedarios y llevados a haciendas coloniales que concentraban gran cantidad de esclavos para trabajar en minas, pero sobre todo en la transición de las plantaciones de algodón a plantaciones de caña de azúcar (De la Cruz, 2013). El sistema de hacienda a lo largo del tiempo en el Valle del Chota, explica el apareamiento de una organización campesina, que a pesar de la abolición de la esclavitud en 1850 este sistema no transformó las condiciones de vida de los pobladores afrodescendientes. Por lo que continuaron viviendo situaciones de vida extremadamente precarias, con trabajo diario de 10 a 11 horas (Ñacato & Pabón, 2014) especialmente en la labranza de algodón, el cual después sería reemplazado definitivamente por cultivos de caña de azúcar debido a su baja demanda (Ponce, 2017).

Puesto que, el Valle del Chota conforma la hoya de Ibarra o también conocida como la hoya del Chota, la cual se extiende desde el nudo del Boliche, al norte, hasta el nudo de Mojanda-Cajas, al sur. Se puede encontrar una variación de climas que permiten cultivar una gran diversidad de plantas propias de climas secos, subtropicales e incluso tropicales difíciles de cultivar en la Sierra Ecuatoriana (Pino, 2014). En el año 2009, en todo el mundo se plantaron 21.032.610 ha de caña de azúcar, donde Brasil se posicionó como el mayor productor con un valor del 40,88%; seguido de la India con 20,9%; China con 7,75% y Pakistán con 4,89% (Dancé & Sáenz, 2017).

En Ecuador las zonas de mayor incidencia de caña de azúcar se encuentran en las provincias: Guayas, Cañar, Loja, Imbabura, Los Ríos y Pastaza. El 92% del total del cultivo de caña de azúcar plantado se encuentra en estas seis provincias, aunque, se lo cultiva aproximadamente en todo el Ecuador (Paucar y Robalino, 2009). Del total de la caña producida en el país el 62% está destinada a la fabricación de azúcar y etanol mientras que el 38 % a la producción de panela y aguardiente de forma artesanal (Cartay et al, 2018). En el año 2017 se cosecharon 1'110.603 hectáreas con una producción de 9'030.074 toneladas en total (FAO,2017). En el año 2018

según datos del INEC (2019), el cultivo azucarero alcanzó una superficie de 1'464.589 ha en todo el sector ecuatoriano.

1.2. Problema de investigación y justificación

La producción de caña de azúcar es la quinta actividad agroindustrial más importante del Ecuador después del cacao, plátano, palma africana y arroz, por su demanda de productos como: el azúcar (cruda, refinada y blanca), melaza, etanol, panela y alcohol (CINCAE, 2009; INEC, 2020). Este cultivo representa una importancia económica en el país, ya que genera fuentes de empleo e ingresos al PIB agrícola nacional del 12%. El potencial de tierras aptas para la producción de caña de azúcar en Ecuador es 675 932 ha (MAGAP, 2018). A nivel nacional el cultivo de caña de azúcar genera ingresos a las familias que se dedican a la producción de panela, también este cultivo permite una amplia diversidad productiva ya que ofrece condiciones favorables para el mercado tanto local como nacional de los productos alternativos que se obtiene mediante la producción, cosecha, postcosecha y comercialización (FACES, 2006).

La CINCAE (2004) en uno de sus estudios menciona que, debido a la importancia económica y alimentaria del cultivo de azúcar se busca de manera eficiente mejorar la calidad y variedad de la caña con especies adaptables a las zonas de siembra para un mejor rendimiento. Sin embargo, la agroindustria azucarera enfrenta problemas relacionados a la competitividad y sostenibilidad a causa de prácticas agrícolas inadecuadas como el monocultivo, el cual es responsable principalmente del agotamiento y degradación de los suelos (CITA).

Los estudios también demuestran que estas acciones como el monocultivo son las principales responsables del cambio de cobertura y del cambio de uso del suelo. A nivel mundial, el cambio de uso de suelo es señalado como una de las causas fundamentales de la fragmentación de los ecosistemas, cambio del paisaje y del deterioro ambiental (Jumbo, 2019). Además, que la expansión del cultivo azucarero y de su agro industrialización representa consecuencias como: aumento de aguas residuales, residuos sólidos, y- alteraciones atmosféricas, salinización y erosión del suelo (Dancé & Sáenz, 2017).

Por ese motivo, y al ser la caña un posible factor agrícola que incentiva este cambio, se desarrolló este estudio con el fin de conocer la variación de las superficies ocupadas por el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) a partir del periodo 1991-2031 en el Valle del Chota y en base a los resultados realizar un breve análisis de los posibles efectos sobre el ambiente y la sociedad. De esta manera plantear estrategias de manejo sustentable del cultivo de caña y la conservación del recurso suelo.

Por lo tanto, el presente estudio contribuye con el Objetivo 12 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (Producción y consumo responsables) el cual plantea garantizar modalidades de consumo y producción sostenible. Los ODS buscan poner fin a la pobreza, proteger al planeta y garantizar que todas las personas dispongan de paz y prosperidad para el año 2030 (Organización de las Naciones Unidas, 2020). A la vez se enmarca dentro objetivo once establecido en el Plan de Creación de Oportunidades, el cual pone en manifiesto conservar, restaurar, proteger y hacer un uso sostenible de los recursos naturales (Secretaría Nacional de Planificación, 2021). También, la investigación aportará con información cartográfica y estadística sobre la superficie usada para el cultivo de caña de azúcar, su expansión y sus posibles cambios a futuro en el Valle del Chota.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Evaluar la variación espacio temporal del cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en el Valle del Chota para plantear estrategias de uso y conservación.

1.3.2. Objetivos específicos

- Establecer los cambios históricos de la cobertura del cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en el Valle del Chota.
- Determinar la expansión futura del cultivo caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) bajo escenarios climáticos.
- Plantear estrategias de uso y conservación para el cultivo de caña de azúcar.

1.4.Preguntas directrices

¿Qué cambios históricos se han generado en las superficies del cultivo de caña de azúcar en el Valle del Chota?

¿Qué efectos tendrá el cambio climático en el cultivo de caña de azúcar en el Valle del Chota?

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Marco teórico referencial

En este apartado se hace referencia a los recursos bibliográficos obtenidos de diversas fuentes confiables: revistas, libros, artículos científicos y más investigaciones relacionadas con el cambio de usos de suelo y el cultivo de caña de azúcar además de las otras variables del estudio que facilitaron la interpretación de los resultados obtenidos.

2.1.2. Zonificación agroecología del cultivo de caña

La zonificación agroecológica (ZAE) se refiere a la división de la superficie terrestre en unidades más pequeñas que tienen características similares con respecto a la idoneidad, la productividad y el impacto ambiental, es una herramienta multifuncional que contribuye científicamente en la gestión de proyectos de desarrollo de tierras a escala predial, local y regional (FAO, 1997; CENICAÑA, 2011). Para el cultivo de caña de azúcar se define como una zona concerniente homogénea en relación con la respuesta del cultivo en producción, caracterizada por factores físicos, químicos, biológicos y edáficos de largo plazo generalmente estables (CENICAÑA, 2001).

En el sector azucarero la competitividad depende de la innovación tecnológica y el costo de producción, entonces al conocer las zonas óptimas para el cultivo de caña la rentabilidad se maximiza (Córdova et al, 2003). Esta es una herramienta de planeación que se utiliza para la toma de decisiones con respecto al manejo del cultivo, inversión en infraestructura (riego, drenaje y adopción) y adaptación de tecnologías de manejo agronómico para generar condiciones adecuadas para los cultivos (CENICAÑA, 2011).

2.1.3. Condiciones agroecológicas del cultivo de caña de azúcar

La zonificación agroecológica permite la distribución de las plantas en un área determinada conforme a las exigencias del cultivo (Suárez, 2014). El cultivo de caña de azúcar en el continente se desarrolla específicamente en zonas cálidas en

donde el clima le es favorable para su producción. Esta tiene un período aproximado de un año y medio desde que es plantada hasta ser cosechada. En Ecuador se encuentra en los valles calientes de la región interandina y en algunos sectores del litoral además de encontrarse en estribaciones orientales y occidentales de los Andes.

Tabla 1. Condiciones agroecológicas del cultivo de caña

Temperatura media anual	15 a 25 °C
Requerimiento hídrico anual	1200 a 1550 milímetros
pH	5.5 y 7.5
Tipo de suelo recomendable	Francos, franco-arcilloso o arcillosos profundos

Fuente: (Suquilanda, 2004; Osorio, 2007; CINCAE, 2009).

2.1.4. Cambio de cobertura vegetal y uso de suelo

El cambio de uso de suelo (CUS) hace referencia a la sustitución de ciertos usos de la tierra por otros, primordialmente dados por actividades humanas (Rojas, 2018). Las dinámicas de cambio de uso de suelo son complejas ya que pueden producir transformaciones en la estructura y funcionalidad del medio ambiente. Por lo tanto, con el tiempo pueden llegar a afectar la sostenibilidad de generaciones futuras (Pinos, 2016). Estos cambios son los factores fundamentales que determinan la permanencia, disminución y extinción de los ecosistemas (Camacho et al., 2015).

Actividades como la ganadería, agricultura y el crecimiento urbano han sido las principales causantes de las presiones sobre los territorios desplazados (Pinos, 2016). A causa del cambio de cobertura y uso de suelo se han generado altos índices de deforestación y degradación. La FAO (2008), define a este cambio como una capacidad disminuida del ecosistema para proporcionar bienes y servicios para sus beneficiarios.

La cobertura vegetal es parte del uso del suelo, las coberturas son indicadores de la condición y estado de los ecosistemas, incidiendo directamente a su biodiversidad y en las expresiones espaciales de los paisajes naturales y culturales de un territorio. Las variaciones perceptibles de la vegetación y los usos antrópicos en un intervalo de tiempo y en una porción de terreno, se efectúan mediante el análisis del cambio

de cobertura y uso de suelo (ACCUS) siendo una herramienta útil de valoración para el ordenamiento territorial (Mendoza et al., 2007).

2.1.5. Herramientas SIG y teledetección para el análisis del cambio de uso de suelo

Los Sistemas de Información Geográfica actualmente son un conjunto de herramientas muy útiles que ayudan a comprender con mayor facilidad los fenómenos naturales, cambio de uso de suelo, cambio de cobertura vegetal entre otros, cuya información obtenida permite realizar propuestas para prevenir y disminuir los impactos actuales y futuros (Vijith et al., 2018). El software es importante en el manejo de la información, pero lo es más en la comprensión del funcionamiento del subsistema natural para el manejo eficiente de la información cartográfica. El usuario del SIG colecta, comprueba, analiza e integra innumerables tipos de operaciones, conjuntadas en subsistemas según las aplicaciones (Sosa & Martínez, 2009).

La Teledetección se define como un concepto de geo información, la cual permite realizar la combinación de diferentes tecnologías y de esa manera obtener información sobre condiciones previas y posteriores sobre algunos fenómenos naturales de gran importancia para comprender los distintos problemas que se presentan a lo largo del tiempo en la Tierra (Cuasquer & Sangurima, 2012).

Lambin & Turner (2001) mencionan que el cambio de cobertura vegetal se debe a factores naturales por variaciones climáticas y actividades antrópicas provenientes de la interacción de factores socioeconómicos, institucionales y ambientales. Esta es la cubierta que se encuentra en la superficie de la Tierra y presenta constantes modificaciones. Actualmente la pérdida de cobertura vegetal es uno de los principales temas de prioridad ambiental a nivel global ya que representa la alteración de la dinámica de los ecosistemas, acidificación, aumento de desertificación y ciclos hidrológicos (FAO, 2010).

Guillén et al. (2019) en su estudio llevaron a cabo el monitoreo de la producción de caña panelera utilizando técnicas de Teledetección y Sistemas de Información Geográficas (SIG), las que les permitieron cuantificar e identificar las superficies y

producción del cultivo de caña en diferentes áreas, la información que se obtuvo en este estudio fue integrada a un SIG para su interpretación, análisis, visualización y procesamiento.

- **Clasificación supervisada**

La clasificación supervisada es una técnica de clasificación de imágenes que se basa en agrupar píxeles que presenten similitud, para realizar este tipo de clasificación es necesario utilizar datos de entrenamiento las cuales son variables predictoras tomadas para cada unidad de muestreo. Existen diferentes algoritmos que interfieren en esta clasificación, estos varían en la forma en que identifican y describen las áreas de entrenamiento en el espacio espectral. Algunos pueden emplear clases definidas que se sobrepone entre sí, otros generan límites entre cada clase, los más utilizados son: Máxima verosimilitud, mínima distancia, paralelepípedos, Randon Forest (Orellana, 2018). Altamirano et al. (2020) en su estudio de clasificación de coberturas con los métodos supervisados y no supervisados aplicados a cultivos de caña de azúcar hacen uso de la clasificación supervisada con el método de distancia mínima, el cual utiliza valores espectrales medios de las distintas áreas de entrenamiento o clases. En esta investigación se establecieron 3 clases de entrenamiento las cuales fueron: caña de azúcar, suelo natural y otra vegetación, permitiendo crear la firma espectral en la ortoimagen.

Los modelos de clasificación de imágenes satelitales, ortofotos requieren métodos de valoración para calcular el nivel de exactitud que estos presentan, el más utilizado es el Índice Kappa el cual mide el porcentaje de exactitud entre los campos clasificados y las áreas de entrenamiento o clases tomadas (Altamirano et al, 2018).

2.1.6. Evaluación de exactitud de clasificación índice Kappa ponderado de Cohen

Es un método diseñado por Cohen el cual proporciona una evaluación global de la exactitud de la clasificación realizada. Abraira (2001) menciona que, el estadístico Kappa ponderado es una extensión de Kappa y se lo denota con el símbolo $K(w)$. Con este índice es posible evaluar un sistema de medición el cual contenga más de dos categorías. Si existen desacuerdos más acusados que otros, se sugiere ponderar

las diferentes discrepancias usando la matriz de pesos que varía según el criterio del investigador en función de lo que se esté analizando. Por lo que, a la diagonal de acuerdos se le asigna el máximo peso, que es uno y el resto de pesos deben ser inferiores, pero siempre positivos o iguales a cero.

Así se establecen dos pautas, el primero señala que el índice depende de la prevalencia del carácter observado: mientras más cerca este de 0 o de 1, menor es el índice K para igual proporción de acuerdos observados. En segundo lugar, depende de la simetría de los totales marginales: en igualdad de acuerdos observados, cuanto menor sea la diferencia entre las prevalencias observadas por cada observador, menor es el índice K (Abraira, 1997).

2.1.7. Proyecciones a futuro del cambio de uso de suelo

Las proyecciones a futuro de cambio de uso de suelo consisten en obtener la transición de una o más categorías de la cobertura y uso de suelo por otra, valorando y jerarquizando los posibles factores que causan ese cambio. Las proyecciones enfatizan la urgencia de actuar hoy a fin de cambiar el curso del desarrollo futuro, dado que los sistemas naturales pueden sufrir daños irreversibles (OCDE, 2012). De la misma manera al realizar una proyección a largo plazo de los cultivos de caña de azúcar se podrá obtener conocimiento científico de base para una intervención planificada. Las dinámicas de cambio del uso de suelo son complejas y ocasionan transformaciones inesperadas en la estructura y funcionalidad del ambiente; y, en consecuencia, ponen en riesgo la sostenibilidad de generaciones futuras (Camacho et al., 2017).

2.1.7.1. Zonificación a futuro del suelo bajo escenarios de cambio climático

La zonificación agroecológica es una herramienta práctica que define zonas a través de la combinación de características similares de clima, suelo y potencial biofísico para la producción agrícola. Esta combinación se traduce en zonas con limitaciones y potencialidades, lo que permite ser una referencia para recomendaciones que permitan mejorar la situación existente, incrementando la producción o la superficie del cultivo, o limitar la degradación de los recursos naturales (Suárez et al., 2019).

“El cambio climático es el resultado de desequilibrios en el balance energético de la Tierra, que son causados por procesos y agentes naturales y antropogénicos (Armenta, 2016). La influencia humana en el clima ha sido la causa dominante (con una probabilidad superior al 95%) de más de la mitad del aumento observado en la temperatura superficial media global en el periodo 1951-2010. Lo que ha originado el calentamiento de los océanos, la fusión de hielo y nieve, la elevación del nivel del mar y cambios en algunos extremos climáticos en la segunda mitad del siglo XX” (Centro Nacional de Educación Ambiental, 2013).

La construcción de escenarios está íntimamente enlazado al estudio del cambio climático y pérdida de biodiversidad o modelamiento territorial. En los últimos años, este tipo de investigaciones han tomado relevancia no solo en el campo medio ambiental, sino como parte de la metodología en proyectos (Trucíos, 2013). En el Ordenamiento Territorial, la prospectiva constituye una fase intermedia entre el diagnóstico y la propuesta y se refiere a la predicción del futuro, mediante dos vías: la proyección de la tendencia y la construcción de escenarios o imágenes futuras a (Gómez, 2013).

- **Escenarios de caminos representativos de concentración (RCP)**

Las proyecciones de los cambios en el sistema climático desarrollados para el AR5 (siglas en inglés del Quinto Informe de Evaluación del IPCC), simulan cambios basados en un nuevo conjunto de escenarios de forzamientos antropógenos: Rutas de Concentración Representativas (RCP) las cuales proveen un rango de emisión y concentraciones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y señalan condiciones climáticas posibles para el futuro (Díaz, 2012). Es importante mencionar que la precisión de los modelos climáticos crece cada año, así como la precisión de los insumos y la resolución espacial. Sin embargo, los escenarios climáticos del IPCC siempre conllevan una inevitable incertidumbre, así como también las proyecciones del crecimiento de la población, de la economía, las tecnologías, tipo de energía y en las futuras políticas de cambio climático a nivel global, cuyos factores son utilizados para calcular las futuras emisiones de CO₂ en las que se basan los distintos escenarios climáticos (Armenta et al, 2016).

Estos escenarios climáticos permiten realizar estudios como: evaluar la relación entre las emisiones y los escenarios socioeconómicos, evaluar los efectos de las emisiones al medio ambiente y estudios localizados de Impactos, Adaptación y Vulnerabilidades (IAV) (Albiña, 2020). Dentro del último grupo se puede citar al estudio realizado por Enríquez (2021) en el Ecuador, sobre Agricultura climáticamente inteligente para la conservación del recurso biológico *Solanum tuberosum* en los sistemas agroalimentarios alto andinos basados en papa, donde se usó los escenarios climáticos con rangos de emisión de 2.6 y 2.8 para los periodos 2011-2040 y 2041-2070 con el fin de analizar el impacto potencial del cambio climático sobre el cultivo.

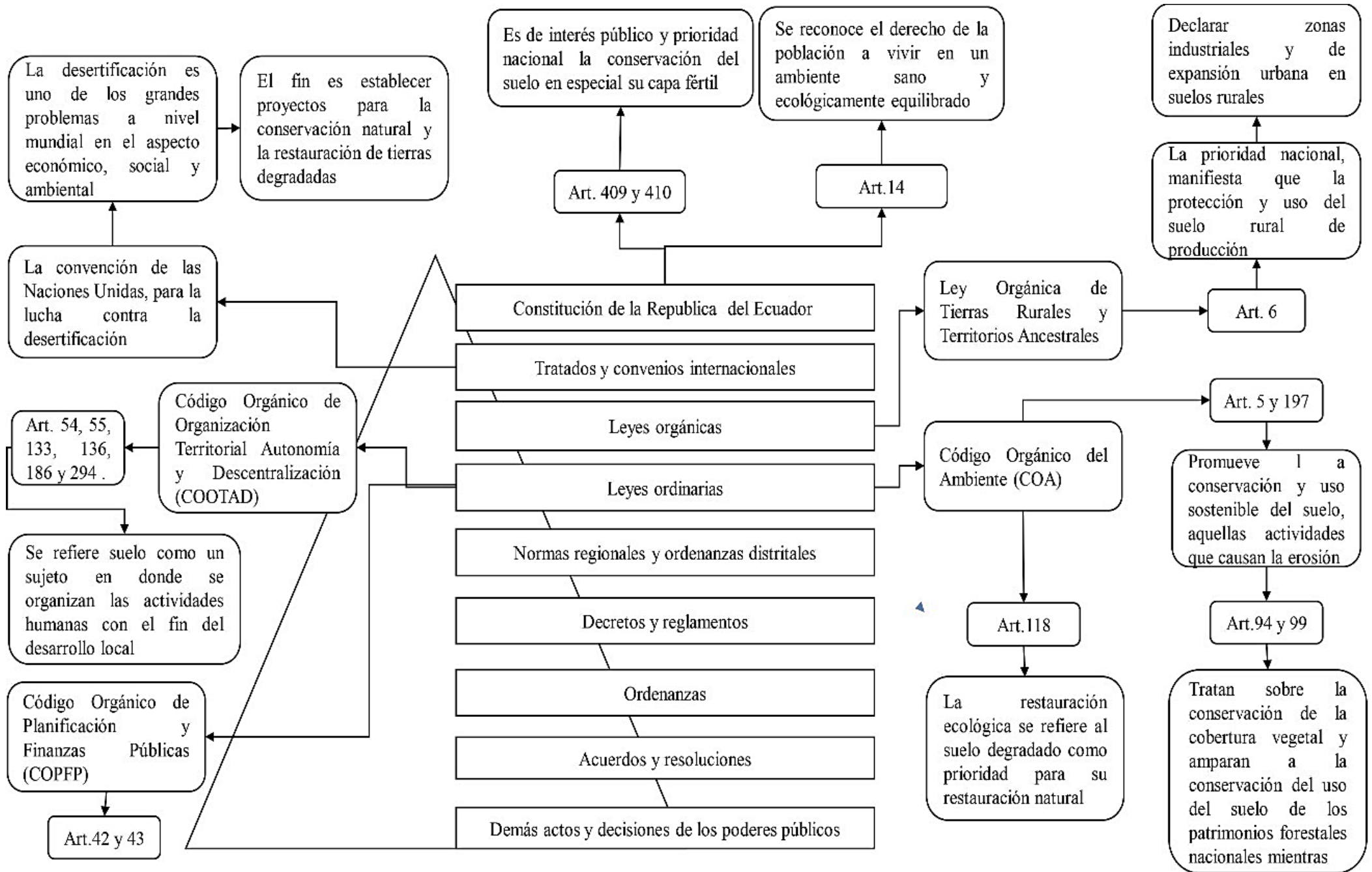
2.2. Marco legal

El Ecuador consta de una amplia normativa que regula el funcionamiento del Estado. De acuerdo con lo establecido en el Art. 424 de la Constitución de la República aprobada en el año 2008, el orden jerárquico de aplicación de las normas es el siguiente: Constitución; tratados y convenios internacionales; leyes orgánicas; leyes ordinarias; normas regionales y ordenanzas distritales; decretos y reglamentos; ordenanzas; acuerdos y resoluciones; y demás actos y decisiones de los poderes públicos.

Por lo tanto, el sustento legal de la presente investigación referente a el Análisis del cambio de cobertura y proyección futura del cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en el Valle del Chota se establece mediante el análisis de los distintos componentes de la Pirámide de Kelsen acorde al contexto nacional que se presenta en la Figura 1.

La presente investigación se enmarca dentro del Objetivo 11 establecido en el Plan de Creación de Oportunidades, el cual pone en manifiesto conservar, restaurar, proteger y hacer un uso sostenible de los recursos naturales (Secretaría Nacional de Planificación, 2021).

Figura 1. Marco legal



CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

En la presente sección se detallan los diferentes métodos, materiales y equipos utilizados para cumplir los objetivos y preguntas directrices planteadas en la investigación.

3.1. Descripción del área de estudio

El área de estudio corresponde al Valle seco del río Chota, al Norte del Ecuador entre las provincias de Imbabura y Carchi (De la Cruz, 2013), presenta una superficie de 9.247 ha. Está ubicado en las coordenadas: norte (820840; 10094859), sur (816673; 10016674), este (856440; 10042312) y oeste (797702; 10056124). En lo que respecta a la distribución poblacional está conformado por las poblaciones de Piquiucho, Chalguayaco, Juncal, Pusir Grande y Pusir Chiquito, Carpuela, Tumbatú, Ambuquí, San Vicente de Pusir, Chota y Mascarilla como se muestra en la Figura 2.

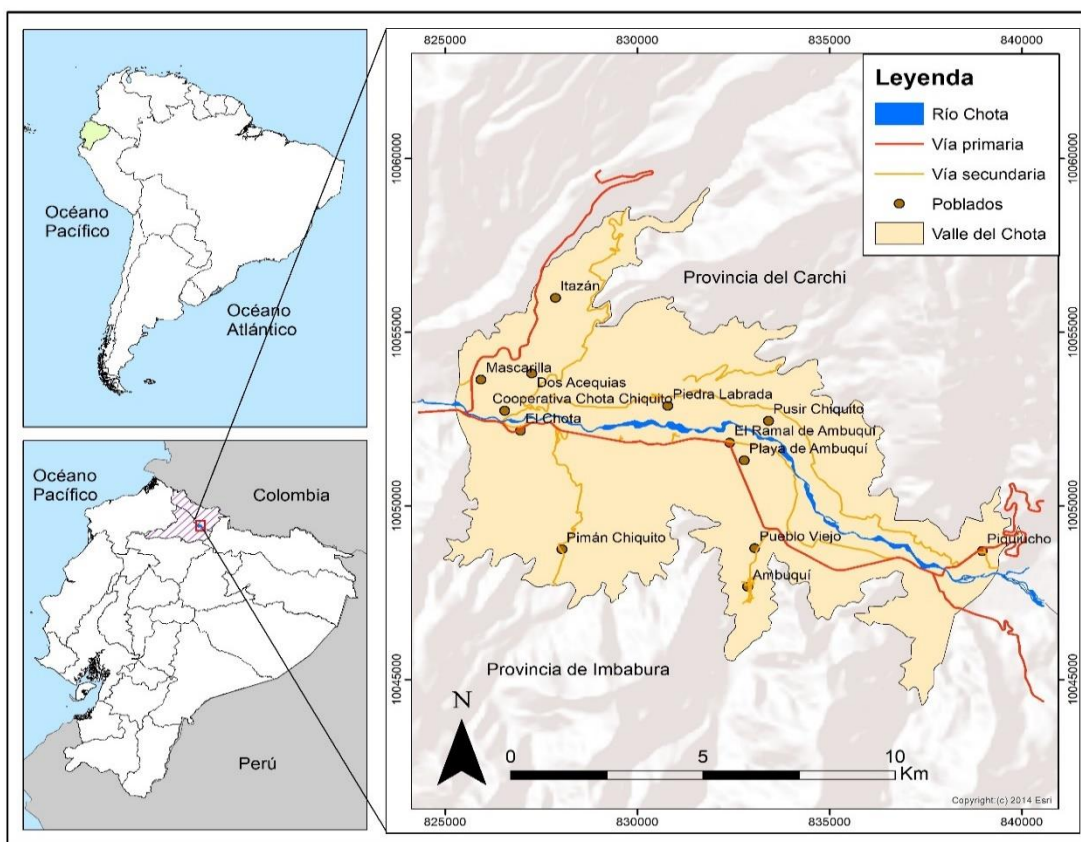


Figura 2. Ubicación del Valle del Chota

El clima se caracteriza por una temperatura media anual promedio de 23°C y una precipitación media anual promedio de 600 mm (Ponce, 2017). Además, la elevación altitudinal varía entre 1500 a 1700 msnm. Como consecuencia posee dos tipos de clima: Árido megatérmico y Semiárido megatérmico, de acuerdo a la clasificación de Pourrut (1995). La edafología y geología del área de estudio se distingue por presentar suelos de los órdenes Entisoles, Inceptisoles y Molisoles (Figura 3). Además de afloramientos de roca compuestos por basaltos, granitos, andesitas y riolitas, junto a áreas erosionadas (Ponce, 2017).

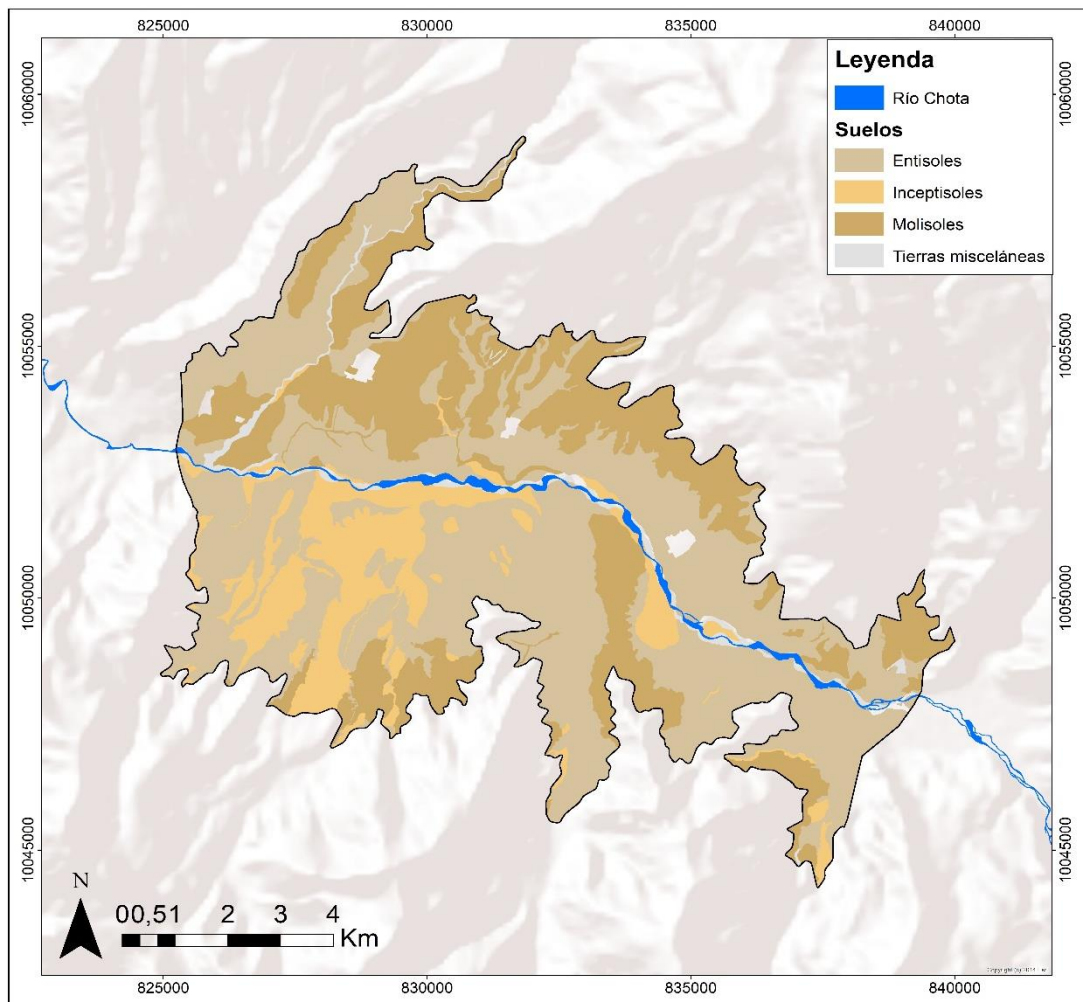






Figura 3. Órdenes de suelos del Valle del Chota

Otra característica, es que según la clasificación de Zonas de Vida y Formaciones Vegetales de Holdridge (1967), el área de estudio posee dos zonas de vida: estepa espinosa Pre Montano (eePM) y estepa espinosa Montano Bajo, ecosistemas que se

encuentra dentro de la categoría de valles (Ministerio del Ambiente, 2012). Este tipo de ecosistemas permite el desarrollo de especies nativas y endémicas propias de los Valles interandinos como: Molle (*Schinus molle*), Cholán (*Tecoma stans*), Guarango (*Mimosa quitensis*), Nogal (*Juglans neotropica*), Jacaranda (*Jacaranda mimosifolia*), Chamana (*Dodonaea viscosa*) Malva (*Malva sylvestris*), Mosquero (*Croton elegans*), Gordura (*Melinis minutiflora*), Alcaparra flor (*Cassia tomentosa*), Higuera (*Ricinus communis*), Chilca (*Baccharis latifolia*), Cactus (*Opuntia pubescens*; *Opuntia ficus-carica*) en la Figura 4 se presentan especies representativas del Valle del Chota (Donoso, 2012).

Figura 4. Especies del Valle del Chota:

a) Cactus (<i>Opuntia pubescens</i>)	b) Mosquero (<i>Croton elegans</i>)
	
c) Espino (<i>Vachellia macracantha</i>)	d) Higuera (<i>Ricinus communis</i>)
	
e) Guarango (<i>Mimosa quitensis</i>)	f) Cholán (<i>Tecoma stans</i>)



3.2. Métodos

Para efectuar el cumplimiento de los objetivos planteados en el estudio, se utilizó diferentes métodos establecidos y respaldados por investigadores de diversos autores.

3.2.1. Establecimiento de los cambios históricos de la cobertura del cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en el Valle del Chota

Se clasificaron las coberturas y uso de suelo para los años 1991, 1999 y 2011 mediante el uso de Teledetección y herramientas SIG. Para ello se usaron fotografías aéreas obtenidas mediante comunicación personal con el Instituto Geográfico Militar (2022). Las fotografías obtenidas fueron de 1991 que pertenecen al Proyecto Carta Nacional Ñ-IV_1991, en una escala 1:6000, se encuentran a una escala de grises y fueron escaneadas a 14 micrones, bajo una distancia focal de 152.91 mm. Las fotografías aéreas históricas de 1999, por su parte, pertenecen al Proyecto Carta Nacional N-II_1999 y presentan las mismas características que las fotografías del año 1991.

Se utilizaron ortofotos que cubren los cantones Mira, Bolívar e Ibarra a una escala 1:5000, las cuales fueron desarrolladas por el Instituto Geográfico Militar en el año 2011 pertenecientes al proyecto SIGTIERRAS. Las ortofotos son un mosaico continuo de fotografías aéreas de elevada calidad y precisión (Instituto Geográfico

Militar, 2022). En consecuencia, la escala utilizada es mejor que la escala que proveen las imágenes satelitales convencionales.

Hernández (2012) & Neira (2015) mencionan en sus estudios que es necesario realizar un pretratamiento y tratamiento de las fotografías aéreas. En el desarrollo del pretratamiento se proyectaron las fotografías al sistema de coordenadas DATUM WGS84 ZONA 17S con puntos de control que se asignaron con la ayuda de las vías, en donde fueron usadas las cartas topográficas de Pimampiro, Ibarra, Mira y Bolívar en el software ArcGIS 10.5 de licencia temporal. Se efectuó la clasificación supervisada mediante la creación de áreas de entrenamiento para siete coberturas predominantes previamente identificadas en el campo que se presentan en la Tabla 2. Existieron coberturas que presentaban similitud de pixeles como: los bancos de arena, suelo erosionado y en proceso los cuales se encuentran en una sola categoría que fue área sin vegetación.

Tabla 2. Categorías de coberturas y usos de suelo

Número	Descripción
1	Vegetación xerofítica
2	Área sin vegetación
3	Cuerpos de agua
4	Cultivo de caña
5	Otros cultivos
6	Zona semiárida
7	Poblados

Posteriormente se realizó la validación del mapa de cobertura y uso de suelo del año 2011, para lo cual se calculó la muestra con un nivel de significancia del 90%, obteniendo un tamaño muestral de 68 puntos para el área total de 92.47 km², los cuales fueron distribuidos en las diferentes categorías para proceder a su validación mediante la matriz de contingencia e Índice Kappa, contribuyendo a cuantificar el grado de concordancia entre las clases y la ubicaciones correctas de los puntos de muestra tomados en campo, según Landis y Koch (1977) los rangos de los valores del coeficiente Kappa comprenden seis clases que se detallan en la Tabla 3, las

cuales van de 0 a 1 estos valores entre más se aproximen a uno la concordancia será mayor.

Tabla 3. Valoración del índice Kappa

Coefficiente Kappa	Fuerza de concordancia
0.00	Pobre (<i>Poor</i>)
0.01 – 0.20	Leve (<i>Slight</i>)
0.21 – 0.40	Aceptable (<i>Fair</i>)
0.41 – 0.60	Moderada (<i>Moderate</i>)
0.61 – 0.80	Considerable (<i>Substantial</i>)
0.81 – 1.00	Casi perfecta (<i>Almost perfect</i>)

Fuente: Landis y Koch (1977).

Por último, para conocer los cambios de cobertura y uso de suelo se efectuó el cálculo de las áreas de las diferentes categorías para cada año, también se elaboró los mapas temáticos a una escala 1:5000 para representar de manera gráfica los cambios identificados.

3.2.2. Determinación de la situación actual y expansión futura del cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*)

Para la determinación del cambio de cobertura y uso de suelo en el Valle del Chota se utilizó el Software ArcGIS 10.5 y el Software Terrset 1.0 ambos con licencia temporal para realizar la proyección al año actual 2022 y proyección futura al año 2031. El Software Terrset fue desarrollado por Clark Labs, es una constelación integrada de aplicaciones para el seguimiento y el modelado de los sistemas terrestres, y ofrece innovadoras herramientas para abordar los principales desafíos del crecimiento global: cambio climático, cambios en el uso del suelo y variaciones en los ecosistemas (UNIGIS, 2015). Terrset permite hacer predicciones de cobertura del suelo considerando la contigüidad espacial (autómatas celulares), la probabilidad de presencia de las coberturas (EMC y/o Regresión Logística) y la probabilidad de transición de las coberturas de un estado a otro en diferentes épocas (cadenas de Markov) (Barba, 2018).

En la proyección de cambio de cobertura y uso de suelo, fue necesario realizar la homologación de las características de los rásters que se exponen en la Tabla 4.

Ortega y Arias, (2022) mencionan en su estudio que es oportuno que los rasters que se utilizan para la proyección de cambio de uso de suelo en el Software Terrset deben presentar las mismas similitudes. En el presente estudio para la proyección se utilizaron los rásters: mapas de cobertura y uso de suelo de 1999 y 2011, pendientes, modelo de elevación DEM, distancia euclidiana de la zona urbana, vías y distancia euclidiana de las vías.

Tabla 4. Características de los rásters usados en el software Terrset

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

Para llevar a cabo el modelo de simulación fue necesario clasificar los ráster en variables estáticas: a) modelo de elevación DEM y, b) pendientes que son aquellas que no pueden presentar cambios y en variables dinámicas: c) distancia euclidiana de los poblados, d) distancia euclidiana de vías y e) vías, en las que sí pueden presentar cambios que se observan en la Figura 5.

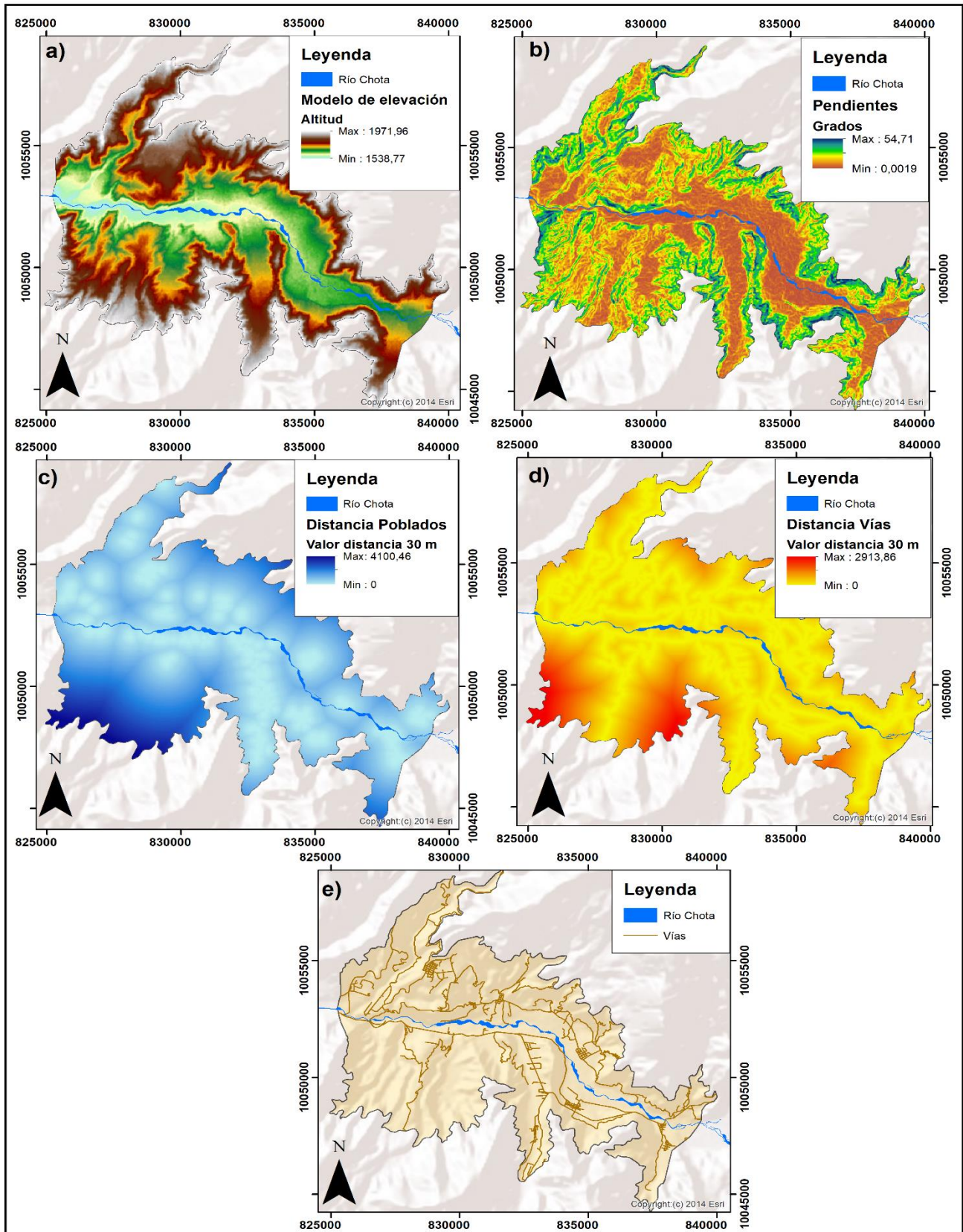


Figura 5. Variables estáticas y dinámicas: a) modelo de elevación DEM y b) pendientes, c) distancia euclidiana de los poblados, d) distancia euclidiana de vías y e) vías

Para el establecimiento del cambio de cobertura y uso de suelo para el año 2022 y 2031, se utilizó la base de simulación Land Change Model (LMC) del software Terrset 1.0. Land Change Modeler es una aplicación que compone su constelación e integra tanto el análisis de los datos como: la elaboración de modelos de potencial de transición y la predicción y/u obtención de escenarios (Camacho et al., 2010). Se incorporan potentes componentes para el análisis del cambio en el terreno mediante gráficas, tendencias y mapas de cambios con pérdidas y ganancias de terreno. También, incluye herramientas especiales para la evaluación de estrategias de mitigación del cambio climático REDD (reducción de emisiones por deforestación y degradación forestal) (Sitjar, 2015).

En este modelo se desarrolló el submodelo de Disturbios en base a la construcción de tendencias más predominantes de cambio entre las diferentes categorías de cobertura y uso de suelo: vegetación xerofítica a cultivo de caña, zona árida a cultivo de caña, cultivo de caña a área sin vegetación, cultivo de caña a otros cultivos (Tabla 5). Se procedió a un análisis de los cambios de la cobertura y uso de suelo, en el que se observó las alteraciones del área de estudio. Además, con apoyo del software se realizó un análisis de los cambios de cobertura y uso de suelo, estableciendo las ganancias y pérdidas en las coberturas presentes en los años 1999 y 2011.

Tabla 5. Submodelo Disturbios

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

Después de establecer el submodelo, se realizó la prueba Cramer's V tanto a las variables estáticas como dinámicas que se establecieron previamente, la cual sirve para medir la forma en la que están asociados dos categorías, esta prueba permitió calcular la fuerza de relación entre variables de acuerdo con su efecto. Aguilar (2017) en su estudio presenta la interpretación de los resultados que se pueden obtener en la prueba Cramer's V que se detallan en la Tabla 6.

Tabla 6. Interpretación resultados de la prueba Cramer's V

Tamaño de efecto	Interpretación
≤ 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.

Fuente: Valencia et al (2017).

En base a esta interpretación de la prueba Cramer's V se obtuvieron variables con una fuerza de concordancia moderada y fuerte como se observan en la Tabla 7, efectuándose así el modelo de transición para el año 2031.

Tabla 7. Análisis de la prueba Cramer's V

Variabes	Test Cramer's V
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

Finalmente, para conocer el cambio de cobertura y uso del suelo para el año 2022 y 2031, se desempeñó el análisis de CA-Markov del Software Terrset 1.0. Este modelo esta implementado en el software IDRISI, el cual se basa en las cadenas de Markov propuestas por el matemático ruso Andrei Markov en 1907. El modelo de CA-Markov es una herramienta de análisis de procesos donde la sucesión de variables aleatorias evoluciona en función a otra variable. Este grupo de variables que presentan efectos aleatorios reciben el nombre de proceso estocástico (FAEDIS, 2015). Las tablas que se obtienen en el análisis de Markov son arreglos

simétricos que contienen por un eje los tipos de vegetación y usos del suelo de un año base y, en el otro eje, las mismas categorías en el segundo tiempo (Granados et al., 2001).

Para la validación del modelo se hizo la proyección al año 2011 (Anexo 8) con los datos de los años 1991 y 1999 y comprobó con el índice Kappa la clasificación realizada del mismo año.

3.2.2.1. Zonificación futura del cultivo de caña de azúcar bajo escenarios de cambio climático

Se realizó la zonificación del cultivo de caña para lo cual se obtuvo los datos de proyecciones climáticas del Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE), esta información presenta una simulación de probables condiciones de la temperatura y precipitación en el país para el futuro, en la información proporcionada se encuentran datos históricos desde el año 1981 hasta el 2015, mientras que las proyecciones se encuentran desde el año 2011 hasta el 2070 bajo dos escenarios climáticos denominados Sendas Representativas de Concentración (RCP 4.5 y RCP 8.5), el RCP 4.5 muestra una probabilidad de que la temperatura sea superior en al menos 2°C, y el 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 pixeles con puntos centrales, los pixeles utilizados fueron; F18C51, F18C52, F19C51 y F19C52, cada pixel cubre un área de 10000 ha que se muestran en la Figura 6. Estos pixeles fueron utilizados para la zonificación del cultivo de caña para el año 2031 con los dos escenarios climáticos, para la zonificación del cultivo para el año 2011 se utilizó solo los datos de temperatura proporcionados por el MAATE mientras que los datos de precipitación fueron utilizados los del INAMHI de seis estaciones meteorológicas que fueron: Atuntaqui, Ambuquí, Pablo Arenas, Ibarra, Mira-Fao y FF-Carchi. La zonificación consistió en definir zonas aptas para el cultivo de caña para el año 2011 y el año 2031 con los escenarios climáticos en donde se empleó la temperatura media anual y precipitación anual, ya que 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 (Hernández, 2001).

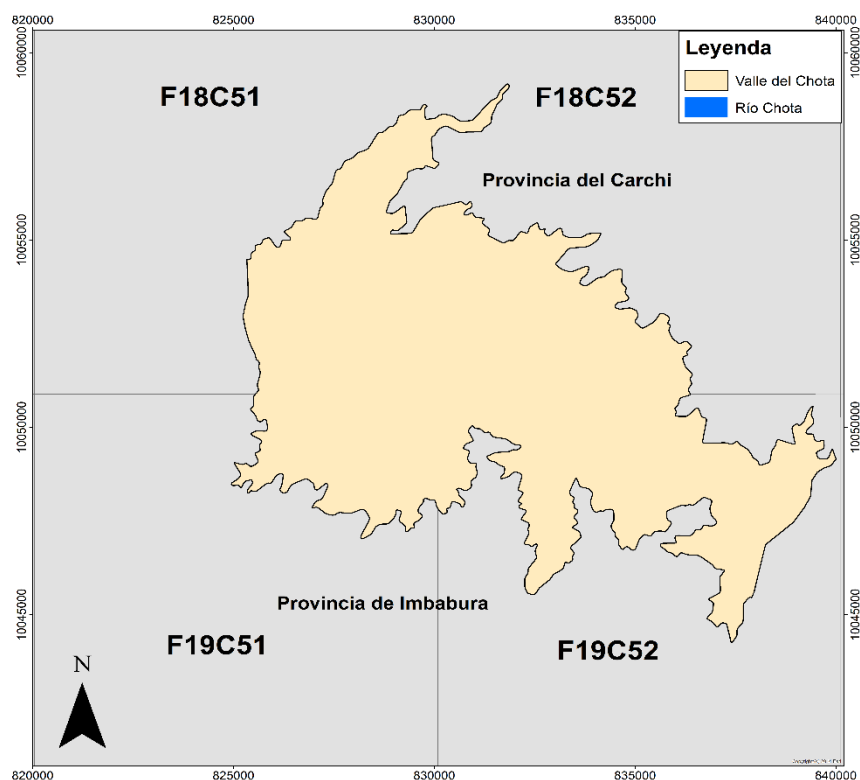


Figura 6. Píxeles utilizados en la interpolación

Para este proceso se realizó la interpolación de las temperaturas y precipitación anuales para los años 2011 y 2031 con respecto a los dos escenarios climáticos que se muestran en la Figura 7, esto sirve para integrar los datos de temperatura y precipitación registrados en los píxeles en el área de estudio, a continuación se reclasificó estos datos acordes a las condiciones agroecológicas óptimas del cultivo de caña que se presentaron en la Tabla 1, para finalmente ejecutar la zonificación con la intersección de los archivos shapefiles de temperatura y precipitación mostrando las zonas óptimas en donde se podría cultivar la caña de azúcar.

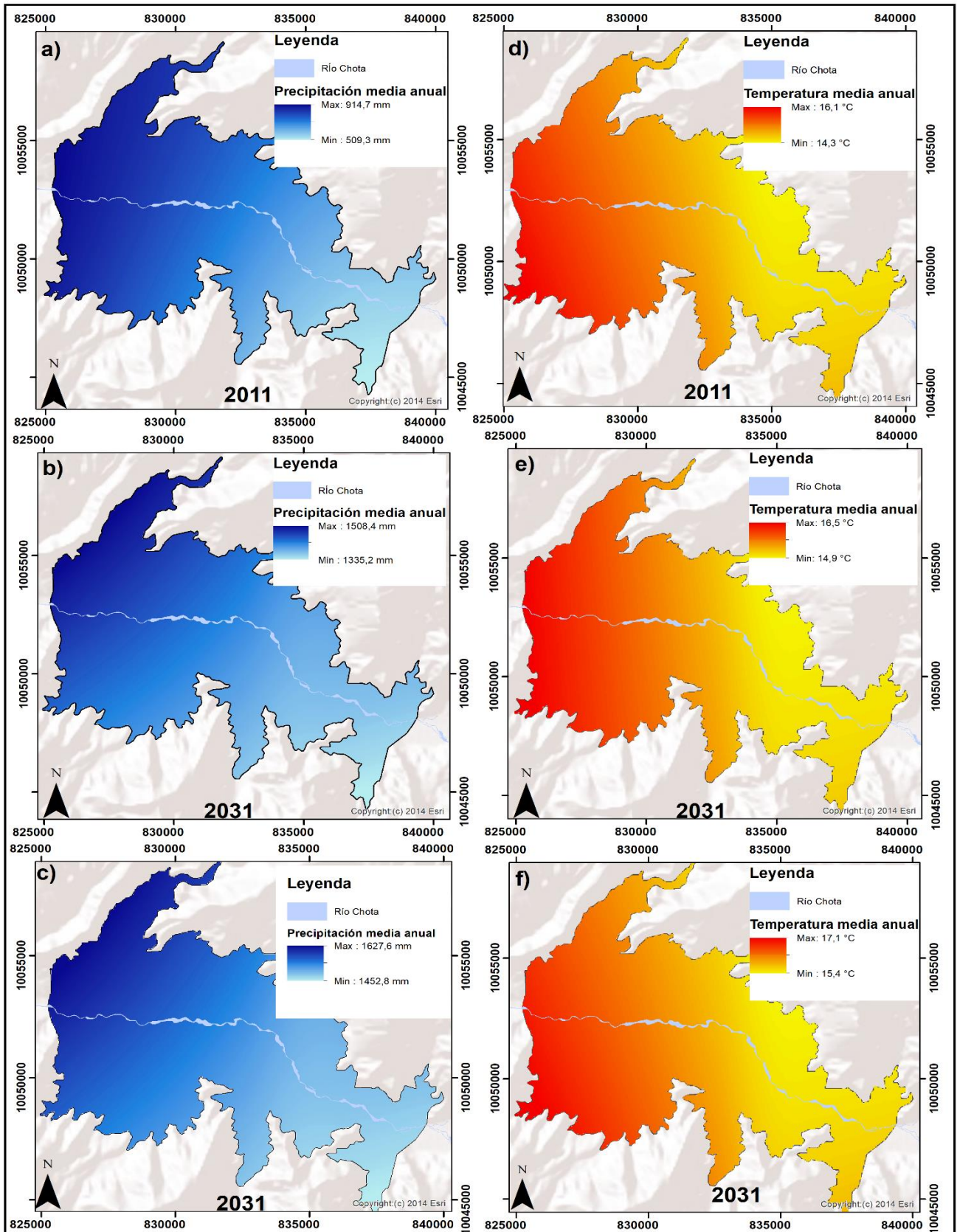
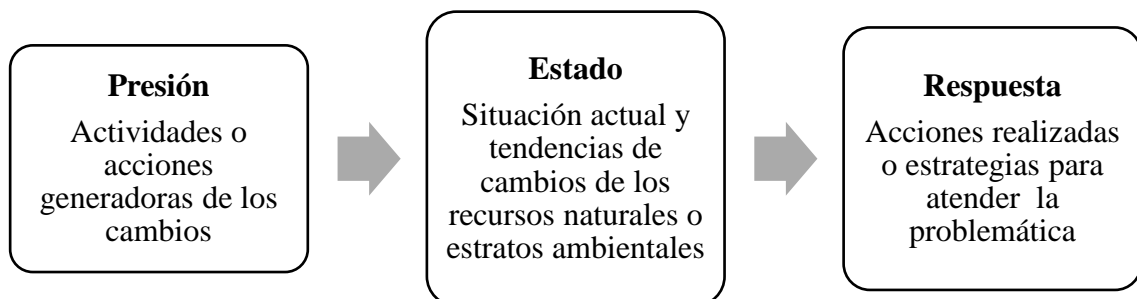


Figura 7. Interpolación de la precipitación y temperatura: Precipitación: a) año 2011, b) año 2031 escenario RCP 4.5, c) año 2031 escenario RCP 8.5 y d) año 2011, e) año 2031 escenario RCP 4.5, f) escenario RCP 8.5

3.2.3. Análisis de los cambios de cobertura y uso del suelo con el fin de proponer estrategias de uso y conservación

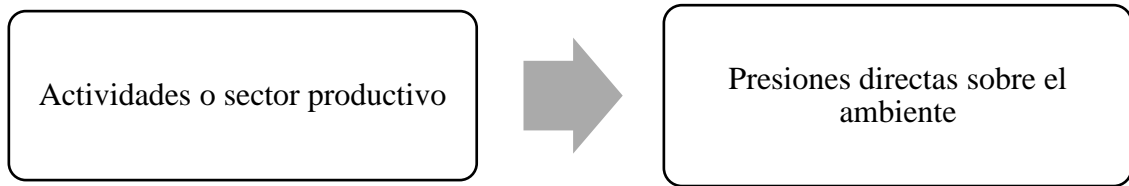
Para el desarrollo de las estrategias de uso y conservación, se elaboró un mapa de disturbios para el periodo 1991-2011, el cual se lo realizó mediante la intersección del año inicial y el año final seleccionando los principales cambios que se presentaron en el cultivo de caña de azúcar. Se utilizó los indicadores de desarrollo sostenible en el marco ordenador Presión – Estado - Respuesta (Figura 8). Este marco se basa en la lógica de la casualidad en donde las actividades humanas ejercen presión sobre el ambiente y cambian la calidad y cantidad de los diferentes recursos (estado) y de la misma manera la sociedad responde a los cambios mediante estrategias ambientales, políticas ambientales, sectoriales y económicas a lo cual se denomina la respuesta a la presión ejercida (OCDE, 1993). Es importante mencionar que este indicador de desarrollo sostenible resulta un esquema lógico en la relación entre presiones, estado y acciones sugiriendo una relación lineal entre las actividades realizadas por los humanos y el ambiente (Reyén, 2001).

Figura 8. Marco Presión-Estado-Respuesta con base en OCDE (1993)



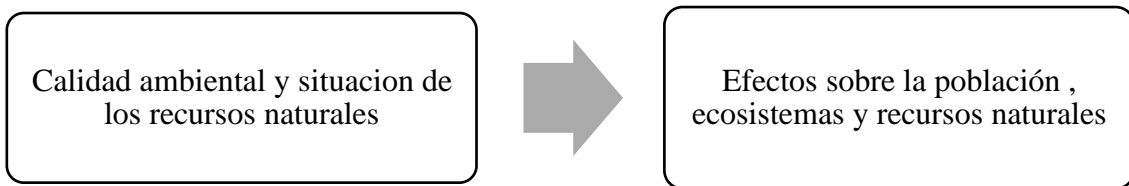
Los indicadores de presión describen las diferentes presiones que ejercen las distintas actividades humanas sobre el ambiente y los recursos naturales (Figura 9), estos indicadores se clasifican en dos grupos: el primero se considera aquellas presiones que son directas sobre el medio ambiente mientras que, la segunda toma en cuenta las actividades humanas en sí mismas, lo que quiere decir que, son las condiciones de actividades productivas o de otro tipo que cusan conflictos (OCDE, 1993;Reyén, 2001;SEMARNAT,2005;Pandía,2016;Vásquez y García,2018).

Figura 9. Componentes de los indicadores de presión



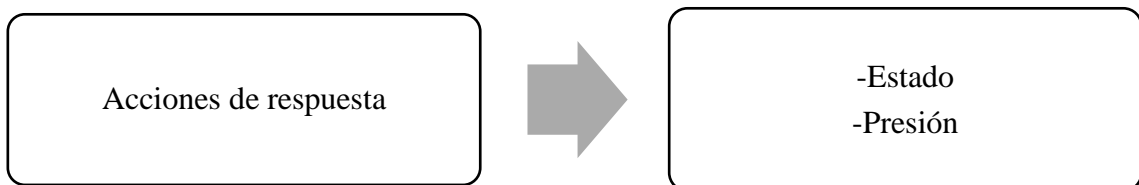
Los indicadores de estado se refieren a la calidad del ambiente además de la cantidad y estado de los recursos naturales (Figura 10), estos indicadores deben estar diseñados para brindar información sobre la situación del ambiente y sus cambios a través del tiempo aquí se consideran los efectos a la salud de la población y a los ecosistemas causados por el daño en el ambiente (OCDE, 1993; Reyén, 2001; SEMARNAT, 2005; Vásquez y García, 2018).

Figura 10. Componentes de los indicadores de estado



Los indicadores de respuesta se muestran los esfuerzos que realiza las instituciones o la sociedad en general enfocados en la reducción, mitigación, mejora de la degradación ambiental y disminución de los recursos, las acciones van dirigidas a los agentes de presión y variables de estado (Figura 11), estos indicadores son más diversos y específicos que los anteriores ya que describen situaciones muy especiales (OCDE, 1993; SEMARNAT, 2005; Vásquez y García, 2018).

Figura 11. Componentes de los indicadores de respuesta



3.2.4. Materiales y equipos

En la siguiente tabla se observan los materiales, equipos y software que se utilizaran para la investigación.

Tabla 8. Materiales, Equipos y Softwares

Tipo	Descripción
Materiales	Libreta de campo Fotografías aéreas históricas de los años 1991 y 1999 Ortofotos del año 2011 Cartas topográficas de Pimampiro, Ibarra, Mira y Bolívar
Equipos	Computadoras portátiles LENOVO Cámara fotográfica Navegador GPS Teléfono móvil
Software	ArcMap 10.5 TerrSet 1.0
Otros	Transporte

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En base a la metodología aplicada se obtuvo el análisis multitemporal del cambio de cobertura y uso de suelo en el Valle del Chota para los años 1991, 1999 y 2011 y su respectiva ponderación. Posteriormente, se presentan los resultados:

4.1. Cambios históricos de la cobertura del cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en el Valle del Chota

Se identificaron las siguientes categorías para el periodo 1991-2011 las cuales corresponden a cultivo de caña (caña plantada, caña cultivada), vegetación xerofítica, cuerpos de agua, área sin vegetación (bancos de arena, suelo erosionado y en proceso de erosión), otros cultivos (mango, fréjol, aguacate, pimiento y pepinillo), zona semiárida y poblados.

La clasificación de la cobertura y uso del suelo para el periodo 1991-2011 fue validada y se obtuvo una precisión del 86.7% con un índice Kappa de 0.84 (Anexo 2). Estos valores de acuerdo a Landis y Koch (1977) representan una clasificación casi perfecta la cual concuerda con la realidad. La transición del cambio de uso de suelo en el período 1991-2011 determinó que en el cultivo caña de azúcar existió una reducción mínima (Tabla 9), al pasar de 597.56 ha a 530.52 ha con un cambio neto de -0.008% en estos 20 años. Al contrario, la categoría otros cultivos: mango (*Mangifera indica*), pepinillo (*Cucumis sativus*), pimiento (*Capsicum annum*) y fréjol (*Phaseolus vulgaris*) aumentaron sus cifras tres veces más que el resultado registrado en 1991, con un valor de 0.037%. Poblados incrementó de 136.76 ha a 227.60 ha con un cambio neto de 0.011%.

Tabla 9. Variación del cambio de cobertura y uso del suelo para el periodo 1991-2011

Coberturas	Ganancia	Pérdida	Cambio Total	Swap	CNA
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Cultivo de caña	0.041	0.049	0.089	0.097	-0.008
Vegetación xerofítica	0.009	0.027	0.036	0.054	-0.018
Cuerpos de agua	0.001	0.000	0.001	0.000	0.001
Otros cultivos	0.057	0.020	0.077	0.040	0.037
Zona semiárida	0.075	0.126	0.201	0.253	-0.051
Área sin vegetación	0.029	0.000	0.029	0.001	0.028
Poblados	0.016	0.006	0.022	0.011	0.011

Es posible corroborar la disminución (0.008%) del cultivo de caña de azúcar para el año 2011 con la investigación realizada por el CINCAE (2011) donde se menciona que hubo una disminución de la superficie del cultivo de caña de azúcar en un 37% en todo el Ecuador en el mismo año. Adicionalmente, Nicolalde (2014) en su estudio señaló que a partir del año 2009 existió una disminución de 9.3% en cuanto a la producción de caña de azúcar, para el 2010 descendió un 1.5% y 2.6% con respecto al 2011, al igual que un estudio realizado por Rodríguez y Vela (2016) en Palmira-Colombia en donde menciona que desde el año 1999 el cultivo de caña disminuye en un 4.2 % hasta el año 2011 con un total de 1925 hectáreas menos en el transcurso de 11 años.

Se presentaron estas variaciones puesto que las exportaciones en Ecuador disminuyeron desde del año 2008 con la quiebra del banco Lehman Brothers de los Estados Unidos. Este suceso originó una de las mayores crisis económicas mundiales de la historia, la cual provocó grandes limitaciones económicas en varios aspectos, entre ellos la agricultura. Situándose la de los países en desarrollo quien enfrentó mayores problemas.

Así es que, Aguilera (2015) describe que principalmente países dependientes de sus exportaciones atravesaron por un retroceso en términos de intercambio, donde los precios cayeron sobre todo en los mercados de materias primas. Consecuentemente, Albornoz (2013) menciona que entre los años 2008 y 2010 Ecuador fue la segunda economía que menos creció en América del Sur después de la crisis, este suceso dejó inestable a la producción agrícola del país, presentando bajas y pérdidas en sus exportaciones (Figura 12).

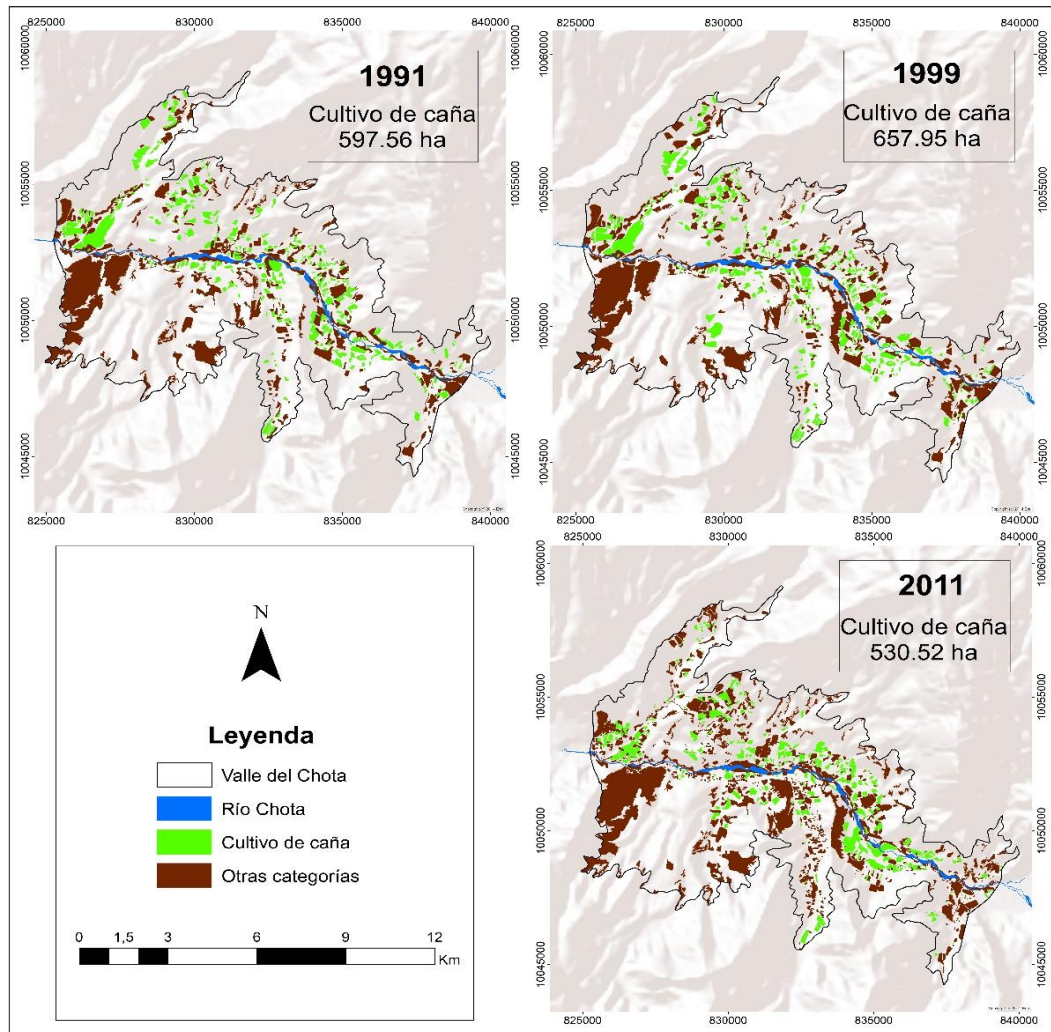


Figura 12. Variación temporal y espacial de las coberturas del uso de suelo en el Valle del Chota 1991, 1999 y 2011

Los cultivos por el que fue remplazada la caña de azúcar principalmente en el área de estudio fue: mango (*Mangifera indica*), pepinillo (*Cucumis sativus*), pimienta (*Capsicum annum*) y fréjol (*Phaseolus vulgaris*), a diferencia de la investigación realizada por Arcia y Abregú (2019), en áreas cañeras en la provincia de Tucumán-Argentina para el periodo 1998 al 2012 que presenta condiciones similares al Valle del Chota la caña de azúcar fue remplazada por soja por la alta demanda de fosforo asimilable que este cultivo presenta.

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

A partir de los datos simulados para el periodo 2022-2031, se observó que la caña de azúcar decrecerá de 481.52 ha a 410.99 ha con un valor neto de -0.020%. Debido a que será reemplazada por otros cultivos como: el mango, fréjol y pimienta, consecuencia de esto, la categoría otros cultivos aumentará sus superficies de 639.38 ha a 681.36 ha (0.022%), ya que ocupará espacios que correspondían a la caña de azúcar y vegetación xerofítica, además, al ser las provincias de Imbabura y Carchi predominantes para cultivar fréjol y pimienta es más probable la expansión de este tipo de cultivos. También hay que recalcar que la zona cuenta con excelentes condiciones climáticas y edáficas para la producción de frutas tropicales como el mango. Finalmente, la categoría poblados aumentará de 245.80 ha a 271.52 ha con un 0.009% correspondiente al cambio neto, dicha cobertura ocupará principalmente las superficies de la zona semiárida (Tabla 10).

La clasificación de la cobertura y uso del suelo para este periodo fue validada y se obtuvo una precisión del 90%, con 68 puntos para el muestreo los cuales fueron distribuidos en las siete categorías dando un índice Kappa de 0.87 (Anexo 5). Dichos valores de acuerdo a Landis y Koch (1977) el modelo representa una clasificación casi perfecta la cual concuerda con la realidad.

Tabla 10. Variación del cambio de cobertura y uso del suelo para el periodo 2022-2031

Coberturas	Ganancia (%)	Pérdida (%)	Cambio Total (%)	Swap (%)	CNA (%)
Cultivo de caña	0.010	0.010	0.000	0.020	-0.020
Vegetación xerofítica	0.000	0.000	0.000	0.001	-0.001
Cuerpos de agua	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Otros cultivos	0.035	0.004	0.030	0.009	0.022
Zona semiárida	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Área sin vegetación	0.013	0.008	0.021	0.015	0.006
Poblados	0.009	0.000	0.009	0.000	0.009

Actualmente, en el Valle del Chota se cuenta con 481.52 ha de cultivos de caña de azúcar equivalente al 5.21% de la cobertura total. En todo el sector la caña es cultivada por agricultores locales. Una vez que la planta está lista, es cosechada por

personal del Ingenio Azucarero del Norte. Mediante las salidas al campo se evidenció notoriamente el cambio de hectáreas de caña de azúcar las cuales han sido reemplazadas principalmente por mango y fréjol (Anexo 18), así la categoría otros cultivos está ocupando 639.38 ha correspondientes al 6.91% del área.

Simultáneamente, la disminución del cultivo de caña de azúcar durante los 20 años a partir del 2011 fue principalmente por la sustitución de otros cultivos. Según agricultores de la zona este cambio se da sobre todo por la duración del ciclo de producción de la caña de azúcar con respecto a otros cultivos. El tiempo de brote de la caña y cosecha dependerán del clima y la variedad de la planta. En el Valle del Chota el ciclo de producción de la caña es de 18 meses. Aunque el cultivo puede ser rentable, un año y medio de espera para la cosecha resulta desventajoso para un agricultor y aún más si se depende únicamente de este cultivo, por tal motivo se prefiere cambiarlo por otros 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. Por lo que pueden tardar apenas de dos y tres meses en ser cosechados como es el caso del fréjol y el pimiento respectivamente (Figura 13).

Por este motivo es que para el año 2031 se prevé un aumento de otros cultivos y poblados; pero una disminución del cultivo de caña y vegetación xerofítica, así también lo señala Ayala (2020) en la proyección realizada para al año 2043 donde se reconoce una tendencia de cambio en la zona urbana y los cultivos presentando un aumento, a comparación del bosque nativo que disminuye su superficie. Además, la FAO (2020) provee que para el año 2030 en los países en desarrollo como el Ecuador los cultivos que tiene tendencia aumentar su frontera agrícola son: arroz, maní, maíz, trigo, soja, semillas de algodón y leguminosas por su periodo de cultivo y derivados que se obtienen.

La creciente expansión de áreas urbanas y de los cultivos puede presentar inconvenientes ambientales a futuro y ligados a estos, problemas sociales y económicos. En concreto, si las actividades agrícolas se intensifican ponen en riesgo a la cobertura vegetal propia del Valle del Chota y consecuentemente al

suelo. La disminución de la cobertura es el primer paso del proceso de deterioro del suelo y sin un manejo y control adecuado puede ocurrir una desertificación total o parcial en el lugar (Stocking & Murnaghan, 2003).

En un estudio sobre el impacto de la pérdida de vegetación llevado a cabo por Muñoz et al., (2009) manifiesta que, si el suelo pierde su cobertura vegetal se desencadena una serie de cambios negativos en la fertilidad y productividad natural, el reemplazo de la vegetación por cultivos perturba el equilibrio natural y su superficie queda expuesta a agentes erosivos. En el caso de las tierras secas el abandono agrícola y las malas prácticas de manejo provocan fuertes procesos de erosión y baja fertilidad por largos periodos de cultivo, lo que impide la colonización vegetal o que este avance con mucha lentitud.

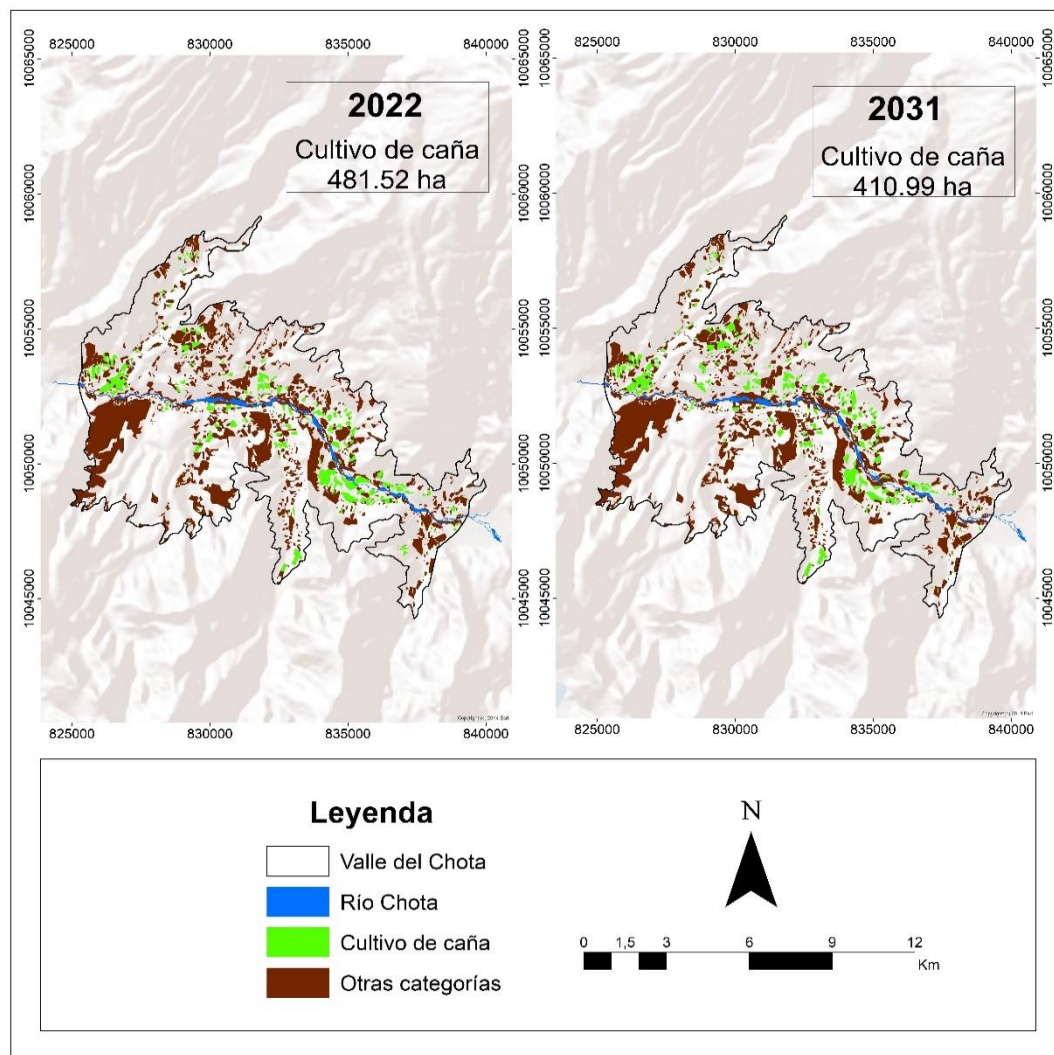


Figura 13. Modelo de cambio de cobertura y uso del suelo del periodo 2022- 2031.

4.2.1. Zonificación del cultivo de caña de azúcar bajo escenarios de cambio climático para el año 2031

Para el año 2031, al existir un cambio en las variables climáticas de precipitación y temperatura, el Valle del Chota tendrá superficies óptimas para el cultivo de caña de azúcar sobre todo bajo el escenario RCP 8.5 el cual representa una temperatura media de 17°C, la máxima de 23°C y una precipitación de 1550 mm, lo que conlleva a 9004.14 ha, constituyendo el 97.37% del área total del Valle del Chota (Tabla 11). En lo que respecta al escenario RCP 4.5 la temperatura media es de 16 °C, máxima de 22 °C y una precipitación de 1400 mm siendo 7135.43 ha (77.16%) favorables para el cultivo. Por el contrario, en el año 2011 bajo ninguna condición de cambio climático a una temperatura media de 15 °C, máxima de 22 °C y una precipitación de 600 mm se contó con 0 ha de superficie apta para el cultivo de caña de azúcar, como se visualiza en la Figura 14.

Tabla 11. Áreas óptimas para el cultivo de caña en el Valle del Chota

Año	Escenario	Zona óptima		Zona poco óptima	
		Ha	%	Ha	%
2011	Normal	0	0	9246.73	100
2031	RCP 4.5	7135.43	77.16	2111.30	22.83
2031	RCP 8.5	9004.14	97.37	242.59	2.62

El cambio climático y los efectos que puede ocasionar sobre la agricultura por lo general suelen ser negativos, sin embargo, para el cultivo de caña de azúcar el aumento de la temperatura y la precipitación resultarán beneficiosos para su producción. De manera similar, La Organización Internacional del Azúcar (2013) en su estudio para el año 2050 señala que el cambio climático sería favorable para el aumento de la superficie idónea para el cultivo de caña de azúcar en un 160%. Adicionalmente, Guerra & Hernández (2014) en su investigación mencionan que ciertos efectos de las condiciones climáticas y atmosféricas combinadas pueden aumentar el rendimiento de la caña de azúcar, como: temperaturas más altas, mayor radiación solar y mayor concentración de CO₂ en la atmosfera.

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 1335.2 mm y 1508.4 mm para el primer escenario y entre 1452.8 mm y 1627.6 mm. Aguilar-Rivera et al., (2015) determinaron que el cultivo de caña requiere como mínimo 1.364,23 mm de agua sea esta como precipitación o riego. Por lo que, con el cambio climático hasta el año 2031 se cumplirán las necesidades hídricas del cultivo. En algunas zonas de Brasil también determinaron que el cambio climático mejorará la producción de caña de azúcar porque se incrementará la dotación hídrica de la caña de azúcar.

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, los tifones y las heladas. Por lo que no se deben descartar que un aumento de fenómenos meteorológicos en el valle del Chota ocasione un aumento de 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. A la vez pueden existir otros limitantes que condicionen los efectos del cambio climático en el valle, como la disminución de la materia orgánica en el suelo producto del cultivo continuo. Porque según Aguilar-Rivera et al., (2015) esto último agrava la susceptibilidad de los suelos a la influencia climática y ambiental.

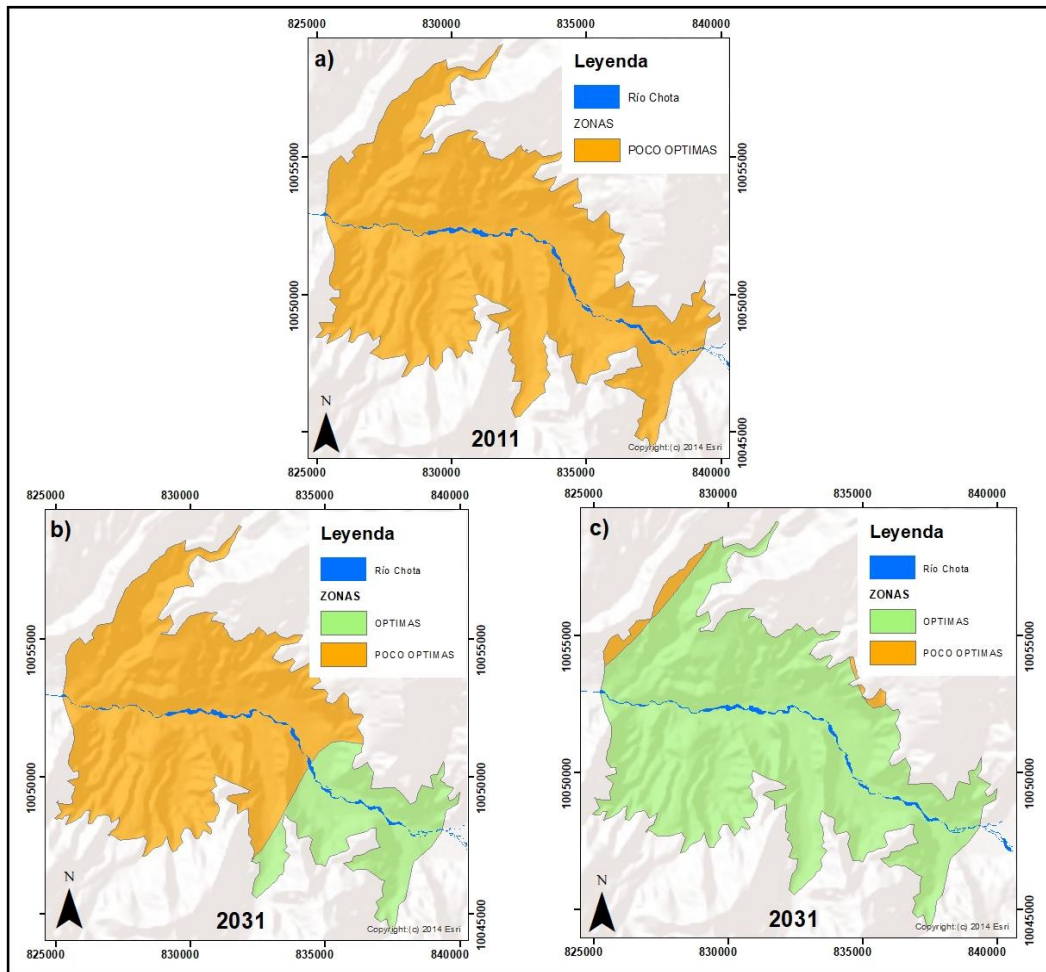


Figura 14. Zonificación del cultivo de caña bajo escenarios climáticos: a) Zonificación año 2011, b) Zonificación año 2031 escenario RCP 4.5, c) Zonificación año 2031 escenario RCP 8.5

4.3. Análisis de los cambios de cobertura y uso del suelo con el fin de proponer estrategias de uso y conservación

Se estima que la tercera parte de la superficie terrestre está dedicada a la agricultura, dado que la población mundial está en constante crecimiento, para el año 2050 podría llegar a los 9000 millones de personas. Este aumento ejerce cada vez mayor presión sobre los suelos los cuales deberán producir suficientes alimentos inocuos y nutritivos. Aunque en las últimas cinco décadas los avances de la tecnología agrícola han respondido a los retos de la seguridad alimenticia, se da que en muchos países a causa de la producción intensiva y el manejo inadecuado de los suelos se los ha empobrecido, lo que ha conllevado a comprometer las demandas futuras (Burbano, 2016).

El suelo es un recurso natural finito no renovable que presta diversos servicios ecosistémicos. Este es el asiento natural para la producción de alimentos y materias primas de los cuales depende la sociedad mundial (CONABIO, 2016; Silva & Correa, 2009; OBIO, 2016; Montanarella, 2015). El suelo influye sobre las actividades sociales y económicas de los grupos humanos que se asientan, estos mismos grupos ejercen presiones sobre el suelo lo que puede generar afectaciones o deterioro inmediatas o a largo plazo (Gardi et al., 2014).

El cultivo de caña de azúcar es un potencial para la alimentación y economía de un país, sin embargo, al ser un monocultivo ocupa grandes extensiones de tierra lo que puede repercutir en el agotamiento y degradación del suelo. Este cultivo enfrenta grandes retos a nivel mundial por un manejo convencional y malas prácticas agrícolas que han ocasionado daño ambiental. Por eso la importancia de la búsqueda de nuevas estrategias de conservación y producción que permitan la reducción del impacto ambiental que genera el cultivo de caña, además de asegurar la mantención de este cultivo en el tiempo por la importancia económica, social y productiva que tiene (Fernández y Rivera, 2021).

A continuación, en la Figura 15, se presenta el mapa de los principales cambios que se generaron en el cultivo de caña de azúcar en el periodo 1991-2011.

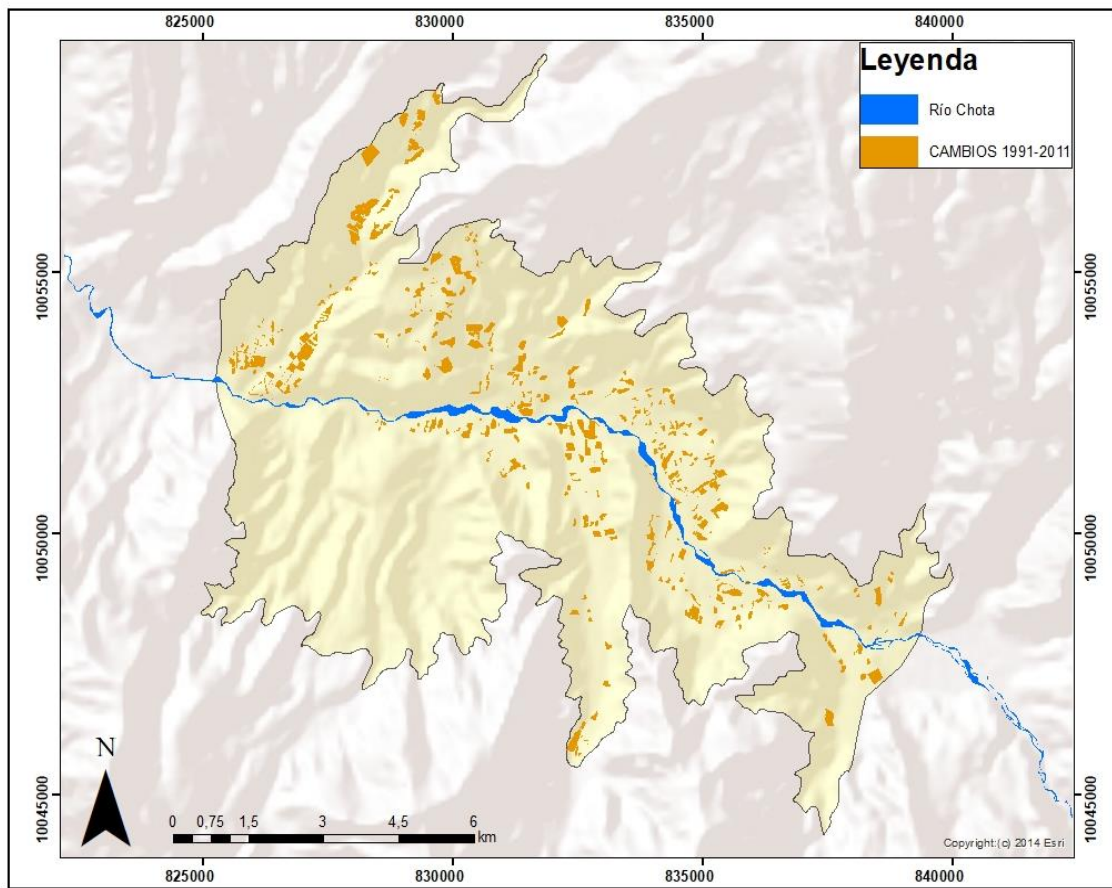


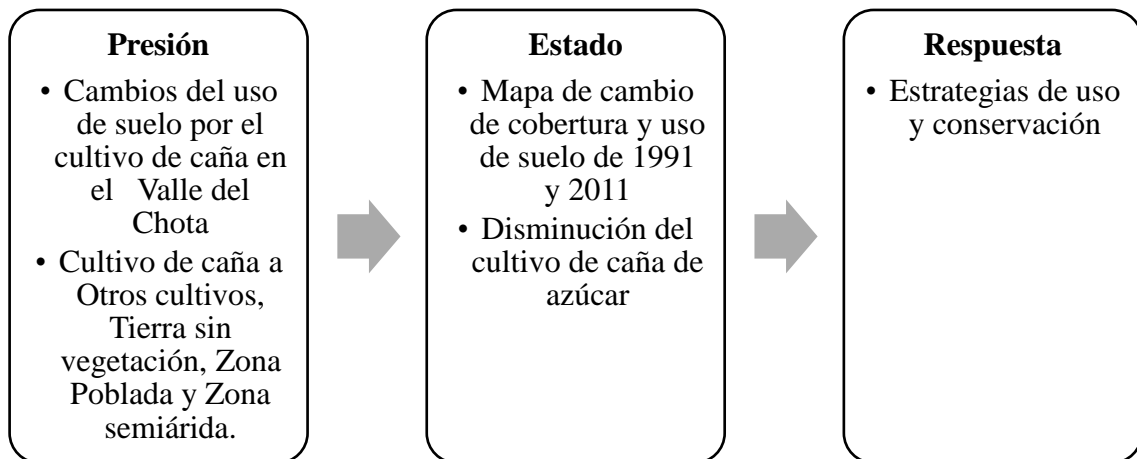
Figura 15. Cambios de uso del suelo para el periodo 1991 – 2011 del cultivo de caña de azúcar

En base a los resultados obtenidos en el trabajo de investigación sobre el cultivo de caña de azúcar se notó una considerable reducción del mismo. Por lo tanto, al ser considerado un cultivo de suma importancia tanto para la alimentación como para la industria a nivel mundial, como lo estima la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO).

La industria azucarera en el Ecuador genera más de 30.000 empleos directos y 80.000 indirectos, esto según el BCE y el Centro de Investigación de la Caña del Ecuador- CINCAE. Por lo que se considera importante la conservación del cultivo en el tiempo con medidas amigables para el ambiente.

En base al mapa de cambios de uso de suelo y los resultados obtenidos en la investigación se presentó estrategias de producción, uso y conservación del cultivo de caña de azúcar para el Valle del Chota, además, se presentó el marco ordenador Presión-Estado-Respuesta que se muestra en la Figura 16.

Figura 16. Marco ordenador Presión - Estado - Respuesta de la investigación



En base a la información obtenida se desarrollaron cuatro estrategias que garanticen solucionar la problemática en el Valle del Chota con respecto a la disminución del cultivo de caña de azúcar que se detallan a continuación.

4.3.1. Manejo sostenible del cultivo de caña de azúcar

Las prácticas agrícolas sostenibles permiten reducir el impacto que genera la agricultura sobre el medio ambiente y los recursos naturales, además de aumentar su capacidad de adaptación al cambio climático. Para garantizar y fomentar sistemas de agroalimentación se requiere de modelos sustentables e integrales que garanticen la resiliencia, la productividad y la rentabilidad de los cultivos, se conoce que la caña de azúcar es un cultivo que genera contaminación principalmente en su cosecha que afecta tanto al suelo, aire y a las poblaciones que se encuentren cercanas al lugar del cultivo por lo que urge aplicar prácticas agrícolas sostenibles para su manejo (Piñeiro et al, 2020).

La cosecha en verde es una práctica agrícola sostenible que se puede aplicar en el cultivo de caña del Valle del Chota, esta se realiza sin quema del cultivo mediante cosechadoras combinadas integrales de última generación. Bajo costo de mano de

obra y cosecha, aumenta los rendimientos productivos aprox. 40 ton/ha (Benítez, 2016).

Justificación

La aplicación de prácticas agrícolas poco amigables con el ambiente y la tendencia mundial que está encaminada a crear nuevos sistemas de producción sostenible, obligan a la búsqueda de alternativas que contribuyan a la sostenibilidad del cultivo de caña de azúcar, esto permite la creación de sistemas productivos económicamente rentables, socialmente justos y ambientalmente respetuosos.

Benítez, (2016) menciona que la cosecha en verde es una alternativa que podría mejorar la rentabilidad del cultivo ya que aumenta la productividad de cosecha y reduce costos de producción al eliminar labores que son poco amigables con el ambiente como es la quema, la cual es utilizada tradicionalmente para la cosecha de la caña de azúcar por los agricultores del Valle del Chota. Esta práctica ayudaría a reducir las afectaciones a las poblaciones cercanas de los cultivos al evitar la quema, se evitaría la contaminación y con ello los gases y ceniza que se produce por la quema de la caña, además hablando ambientalmente, es una tecnología limpia que favorece a mejorar la sostenibilidad del cultivo, evita emisión de gases, ayuda a la proliferación de la microfauna que favorece al suelo.

Objetivos

- Establecer métodos de cosecha

Tabla 12. Manejo sostenible del cultivo de caña de azúcar

Objetivos específicos	Actividades	Alcance	Responsables
Establecer métodos de cosecha	<ul style="list-style-type: none"> -Utilizar técnicas de investigación (entrevistas, observación directa) para la recopilación de información sobre los diferentes métodos de cosecha que se utilizan en el área de estudio - Implementar nuevas prácticas de cosecha sostenibles para el sector *Cosecha en verde -Tecnología limpia -Favorece condiciones para la proliferación de la micro fauna -Evita emisiones de gases de EI (NH₄y N₂O) -Mejoramiento genético. La caña cosechada en verde conserva sus características y se deteriora más lento. -Nuevas tecnologías. No afecta a la salud de los obreros ni a las poblaciones cercanas al no emitir gases tóxicos ni cenizas por la quema de la caña. -Conservación del suelo, gasta menos nutrientes. -Seguimiento y monitoreo de la cosecha en verde 	<p>Al establecer esta estrategia se facilitará la rentabilidad de cultivo de caña, beneficiará al suelo y se evitará la contaminación del medio ambiente y efectos nocivos a la salud de los agricultores y pobladores del Valle del Chota</p>	<p>Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, Ministerio de Educación, GADs provinciales de Imbabura y Carchi, cantonales y parroquiales</p>

4.3.2. Manejo y conservación del suelo

El suelo es un cuerpo natural con variaciones determinadas por las condiciones de cada lugar, este constituye un sistema abierto que producen una serie de transformaciones y cumplen importantes funciones de las cuales se derivan servicios ambientales indispensables para el sostenimiento del ecosistema y de la vida humana, sin embargo, por los diferentes procesos que la sociedad lleva a cabo en ellos aumentan su degradación. El cultivo de caña y la agricultura tradicional que se aplica disminuye considerablemente la riqueza del suelo (Sotelo et al, 2007; Gelasio et al, 2012).

Existen diferentes métodos de manejo y conservación del suelo entre ellos se presenta los cultivos en franjas consisten en alternar cultivos de poca protección con otros de crecimiento denso también los cultivos en contorno o curvas de nivel son prácticas sencillas y de gran eficiencia en el control de la erosión, consiste en la plantación del cultivo siguiendo curvas de nivel controlado cortando la pendiente. Estos deben presentar una pendiente controlada para permitir el riego de la superficie eficiente con el uso racional del agua, evitando que el agua de riego alcance velocidades excesivas lo cual produce la erosión del suelo y los cultivos en terrazas tratan de un terraplén de tierra, un canal o una combinación de lomo y canal construido a través de una ladera más o menos inclinada. Propone la reordenación de las tierras de cultivo o la conversión de las colinas en tierras de cultivo mediante la construcción de plataformas en distintos niveles (Sotelo et al, 2007; Gelasio et al, 2012).

Justificación

La conservación del suelo consiste en medidas que mitiguen el deterioro y mal uso del mismo, con la finalidad de mantener la salud del suelo pues este intercambia nutrientes y agua con las plantas, mientras el suelo este más sano mejor será la cosecha. Esta estrategia conlleva un conjunto de prácticas aplicadas para el mantenimiento sustentable del suelo a través de la agricultura en contorno, franjas y terrazas lo que permite mejorar las condiciones del suelo y favorece el uso

adecuado del mismo, debido a que es un recurso no renovable su conservación y preservación es esencial para la seguridad alimentaria. También se pretende hacer uso de fertilizantes orgánicos como el estiércol, abonos verdes o compost los cuales ayudan a construir nutrientes y promover la fertilidad del suelo facilitando la capacidad del cultivo para absorber agua. Estas medidas no solo implican otros métodos de siembra de los cultivos para proteger el suelo sino también de brindarle los nutrientes que necesita, de forma que garantice una mejor producción.

Objetivos

- Proponer medidas de conservación del suelo
- Establecer medidas para mejorar la calidad del suelo mediante el incremento de la materia orgánica

Tabla 13. Manejo y conservación del suelo

Objetivos específicos	Actividades	Alcance	Responsables
Proponer medidas de conservación del suelo	<p>-Utilizar técnicas de investigación (entrevistas, observación directa) para la recopilación de información sobre las diferentes medidas de conservación del suelo que se utilizan en el área de estudio</p> <p>-Presentar medidas de conservación del suelo acordes a las necesidades del área de estudio</p> <p>*Cultivo en franjas</p> <p>-Aumento de la salud y la fertilidad del suelo</p> <p>-Mejora de la calidad del agua</p> <p>-Retención de la humedad del suelo</p> <p>-Reducción de emisiones de polvo</p> <p>-Aumento de la productividad de los cultivos</p> <p>-Aumento de la infiltración del agua</p> <p>*Cultivo en contorno</p> <p>-Fácil desplazamiento de equipos de transporte</p> <p>- Evita la erosión del suelo</p> <p>-Facilidad para el riego del cultivo</p> <p>-Buen drenaje del agua</p> <p>-Implementación eficiente de riego</p> <p>*Cultivo en terrazas</p> <p>-Contribución a la conservación del agua: ralentiza y reduce las escorrentías y mejora la recogida de agua de lluvia</p> <p>-Evita la erosión del suelo al disminuir la formación de riachuelos</p>	<p>Al implementar esta práctica se apoyará a la restauración y conservación de la estructura y funcionalidad del suelo principalmente en las áreas en donde ha perdido su fertilidad</p>	<p>Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MAGAP), GADs cantonales y parroquiales, agricultores y locales interesados.</p>

Establecer medidas para mejorar la calidad del suelo mediante el incremento de la materia orgánica	<ul style="list-style-type: none"> -Reducción la sedimentación y contaminación del agua -Aumenta la diversidad del ecosistema -Brindar información de los beneficios de la conservación del suelo para los cultivos -Realizar seguimientos de las medidas de conservación aplicadas en el área de estudio para conocer su eficacia -Intercambiar información entre los pobladores que apliquen diferentes prácticas de conservación para optar por la mejor y conocer su experiencia -Seguimiento y monitoreo
	<ul style="list-style-type: none"> -Utilizar alternativas orgánicas para aumentar la calidad del suelo *Manejo de estiércol -Utilización como fertilizante -Producción de abono *Abonos verdes *Compostaje -Mantener el contenido de materia orgánica y no incrementarlo -Seguimiento y monitoreo

4.3.3. Gestión ambiental y utilización sustentable del cultivo de caña

La gestión ambiental es un proceso dirigido a resolver, mitigar y/o prevenir problemas ambientales, cuya finalidad es lograr el desarrollo sostenible. Encontrando respuestas adecuadas a los problemas entre la sociedad y la naturaleza. Se entiende por desarrollo sostenible el que conduzca al crecimiento económico, a la elevación de la calidad de vida y bienestar social, sin agotar la base de recursos naturales en que se sustenta, ni deteriorar el medio ambiente o el derecho de las generaciones futuras (Red de Desarrollo Sostenible de Colombia, 2001).

La importancia del cultivo de caña de azúcar y sus usos radica en que es un producto que forma parte de la canasta básica ecuatoriana, además de ser un ingrediente fundamental de muchos alimentos elaborados y semielaborados. También es fuente de empleo directa e indirectamente (CINCAE, 2004).

Justificación

Con el paso del tiempo el cultivo de caña de azúcar podría presentar bajas de producción, afectando la parte social y económica del país. Esta estrategia consiste en dar a conocer los diferentes usos que puede tener el cultivo de azúcar, ya que principalmente se lo utiliza para la producción de azúcar. Igualmente, se lo puede usar como fuente de materias primas para una extensa gama de derivados como, por ejemplo: funciona como sustituto ecológico del cemento y papel que son elaborados de la pulpa de madera, y sus residuos sirven como fertilizantes o alimentos para animales. Así la finalidad de este método es aprovechar al máximo las diferentes etapas del cultivo de caña; cosecha y postcosecha lo que asegurará mejorías económicas, sociales, ambientales y también se garantizará que el cultivo de caña de azúcar no se pierda en el tiempo, más bien se lo mantenga siempre y cuando se lo utilice de forma sustentable.

Objetivos

- Proporcionar alternativas de uso para el cultivo de caña

Tabla 14. Gestión ambiental y utilización sustentable del cultivo de caña

Objetivos específicos	Actividades	Alcance	Responsables
<p>Fomentar la gestión ambiental sobre el cultivo de caña de azúcar</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Construir un diagnóstico sobre las afectaciones de la disminución del cultivo de caña de azúcar desde los intereses y perspectivas de los cultivadores - Conformación de una coalición social de los principales actores del territorio, para permitir un espacio colectivo de solución de problemas en la plantación, cosecha y generación de producto en una de las principales actividades agrícolas del área como es la caña de azúcar -Participación interinstitucional ambiental que garantice la sustentabilidad en la plantación de la caña de azúcar como también en la utilización de sus productos, que garantice la mejora de la calidad de vida de las personas que se dedican a estas actividades -Aprovechar todo el cultivo de caña de azúcar -Garantizar la calidad de los productos que se generen como alternativa de usos <p>Usos del cultivo de caña:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Materia prima para la fabricación de cemento, abonos -Hojas y bagazo alimento para animales 	<p>Esta estrategia permitirá hacer uso sustentable del cultivo de azúcar, asegurando la rentabilidad del mismo en el futuro. Garantizando la alimentación y economía no solo de familias y agricultores del Valle del Chota sino, de todo el país.</p>	<p>Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MAGAP), GADs provinciales de Imbabura y Carchi, cantonales y parroquiales, comunidad</p>

Proporcionar alternativas de uso para el cultivo de caña	<ul style="list-style-type: none">-Combustión del bagazo para la generación energía eléctrica-Fibra de caña para la fabricación de papel biodegradable-Destilación de la sacarosa para la producción de biocombustible-Utilización en la medicina tradicional-Evaluación de los impactos ambientales de producir la caña de azúcar y de los productos que se generan, fortalecimiento de plan de mitigación y prevención ambiental- Seguimiento y monitoreo
--	--

4.3.4. Educación ambiental

La educación ambiental es la formación progresiva de personas responsables de su entorno, este es un mecanismo eficiente que dispone la sociedad para incorporar la sensibilización sobre temas ambientales, conservación de su entorno y que puedan realizar cambios en sus estilos de vida, conducta y valores. La educación ambiental puede ser impartida en todos los sectores e incluir a niños y adultos en esta formación con un enfoque oportuno y acorde a las necesidades del sector en donde se va a impartir la información utilizando diferentes métodos para un mejor entendimiento. Como estrategia permite contextualizar las problemáticas ambientales como aspectos claves para direccionarse hacia un desarrollo sustentable (Gavilánez y Tipán, 2021).

Justificación

La educación ambiental es muy importante para generar un cambio de actitud y aptitud de la sociedad con todo lo que respecta al medio ambiente como es su conservación, preservación, usos, manejo racional de los recursos naturales entre otros. También es una herramienta de difusión de información de los instrumentos de planificación y políticas ambientales generando espacios de debate y dialogo, aportando una sociedad informada y sobre todo que tengas conocimientos para actuar ante la problemática ambiental, es muy valioso la formación ambiental de esta manera construye una buena relación hombre-naturaleza.

Objetivo

- Capacitar a los agricultores del Valle del Chota sobre las alternativas y usos del cultivo de caña

Tabla 15. Educación ambiental

Objetivos específicos	Actividades	Alcance	Responsables
<p>Implementar capacitaciones de educación ambiental para promover el manejo adecuado del suelo y mejora de la producción del cultivo de caña</p>	<p>-Formación del personal técnico y capacitador para encargarse de las distintas temáticas a tratar sobre el cultivo de caña de azúcar</p> <p>-Adquisición y elaboración de los materiales a emplear en las capacitaciones en los diferentes sectores</p> <p>-Talleres sobre: Prácticas agrícolas para el manejo sostenible del cultivo de caña de azúcar, conservación del suelo, manejo de malezas, alternativas de producción. Con el fin de promover esta información para la solución de problemas</p> <p>- Capacitaciones demostrativa de los diferentes usos que se le puede dar a la caña de azúcar</p> <p>-Realizar visitas en el área para apreciar si la información brindada ha generado cambios</p> <p>-Organizar mesas de diálogo para examinar los resultados y centrar esfuerzos para reforzar los temas que causen dificultades</p>	<p>Capacitar a los agricultores del valle del chota sobre el cultivo de caña de azúcar y difundir la información sobre la caña de azúcar con la finalidad que el cultivo tenga un desarrollo ambiental y económicamente sustentable</p>	<p>Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, Ministerio de Educación, GADs provinciales de Imbabura y Carchi, cantonales y parroquiales, comunidad, academia.</p>

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones:

Entre los años 1991, 1999 y 2011 hubo una variación significativa, donde el cultivo de azúcar presentó un aumento de 1991 a 1999, pasando de 597.56 ha a 657.95 ha. Ya para el año 2011 enfrentó problemas para mantener dichas superficies del cultivo y disminuyó a 530.52 ha, perdiendo un 0.008% en los 20 años. Este suceso fue a causa de la quiebra del banco de los hermanos Lehman en EE.UU., donde países dependientes de sus exportaciones tuvieron pérdidas relevantes. Sin embargo, la categoría otros cultivos (mango, pimiento, pepinillo, fréjol) aumentaron sus superficies, aunque las exportaciones disminuyeron en el país estos productos se seguían cultivando para consumo local. Además, ya para el 2011 existió un crecimiento de la población en el valle.

En la proyección para el año 2031 se observó la transición del cultivo de caña de azúcar, el cual disminuirá parte de su superficie que fue ocupada en el año 2011 en un 0.02% debido a que será reemplazada por otros cultivos como: mango, pimiento, pepinillo, fréjol, entre otros. Según agricultores de caña la alta rentabilidad del cultivo no se compara con el tiempo de cosecha (entre los 16-18 meses) pues prefieren productos de ciclos más cortos y adaptables a la zona.

En la zonificación realizada para el año 2031 con los escenarios climáticos, señala que las variaciones climáticas serán favorables para el cultivo de caña de azúcar ya que el 97.37% del área de estudio será apropiada para el desarrollo de la misma. Especialmente bajo el escenario RCP 8.5 el cual presenta condiciones de temperatura media de 17 °C, máxima de 23 °C y una precipitación de 1550 mm, es decir, que el efecto combinado del aumento de temperatura y precipitaciones estimaría más productividad agraria en ciertos productos.

La investigación presenta los cambios del cultivo de caña de azúcar en el tiempo, principalmente su disminución, las estrategias planteadas garantizan el mantenimiento y el desarrollo sustentable del cultivo de caña de azúcar en el

tiempo, además que cada una de las actividades influyen directamente sobre la conservación del recurso suelo, mayor productividad, mejora de la calidad ambiental y fuentes de empleo.

5.2. Recomendaciones:

Para el desarrollo de estudios multitemporales se recomienda el método de clasificación supervisada por la precisión que este presenta al asignar áreas de entrenamiento, además de utilizar fotografías aéreas como en el presente estudio por la mejor resolución y escala a la que se encuentran, esto ayudará a presentar resultados más confiables. Facilitando impulsar proyectos de conservación de suelos y restauración ecológica en el Valle del Chota, para mejorar la productividad de las tierras y evitar la degradación del ecosistema.

Realizar estudios sobre adaptación de cultivos al cambio climático bajo condiciones climáticas y atmosféricas combinadas, ya que la información es escasa, y ciertos efectos podrían poner en riesgo la rentabilidad de los cultivos, la biodiversidad y el endemismo que alberga el área de estudio.

Socializar a los agricultores del Valle del Chota acerca de las buenas prácticas para la gestión y uso sostenible de los suelos, con el fin de evitar y disminuir las superficies de suelo erosionado.

El cultivo de caña de azúcar al presentar un valor económico, alimentario y social no solo para el Ecuador sino para muchos países en el mundo donde la industria azucarera ha sido fundamental, se debería considerar el manejo sustentable del mismo, y garantizar la seguridad alimentaria y económica de los países.

REFERENCIAS

- Achicanoy, J., Rojas, R., Sánchez, J. (2018). *Análisis y proyección de las coberturas vegetales mediante el uso de sensores remotos y Sistemas de Información Geográfica en la localidad de Suba, Bogotá-Colombia*. (Tesis de posgrado). Universidad Nacional de Colombia.
- Aguirre, Z., Linares, R., y Kvist, L. (2006). *Especies leñosas y formaciones vegetales en los bosques estacionalmente secos de Ecuador y Perú*. *Arnaldoa*, 13(2), 324- 350. Recuperado de <https://www.researchgate.net>
- Aguilar N. (2010). *La caña de azúcar y sus derivados en la huasteca San Luis Potosí México*. *Diálogos Revista Electrónica de Historia*, 11(1),81-110.
- Aguilar, W.(2017). *V DE CRAMER: PATRON DE RELACION ENTRE VARIABLES, DE ACUERDO A LA FRECUENCIA DE DATOS*.
- Aguilera, F. (2015). *El impacto de la crisis financiera y económica internacional en la banca del Ecuador*. Universidad Andina Simón Bolívar.
- Altamirano, H., Rubio, A., López, D. (2020). *Clasificación de coberturas terrestres: métodos supervisados y no supervisados aplicados a cultivos de caña de azúcar*. *Revista Académico-Científica TECTZAPIC*, 6(2).
- Alvarado, G & Espinoza, I. (2018). *Evaluación temporal del uso y cobertura vegetal del suelo en la subcuenca del Río Llavirca y planteamiento de acciones para su manejo y gestión*. (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- Alarcón, P. (2013). *Elaboración de Mapas Temáticos WMS sobre Cobertura Vegetal de la Microcuenca e Índices de Vegetación de la Laguna de Colta vinculados con los servicios WMS del IGM, MAE, MAGAP* (tesis de posgrado). Universidad San Francisco de Quito.
- Arcia, J & Abregú, M. (2019). *Influencia del manejo del suelo, sobre algunas propiedades después de 20 años, en áreas cañeras*. *Revista Ingeniería Agrícola*, 9 (4).

- Armenta, G., Villa, G., Jacome, P (2016). *Proyecciones climáticas de precipitación y temperatura para Ecuador, bajo distintos escenarios de cambio climático.*
- Ávila, I. (2011). *El aguardiente de caña, procesos y tradición en el Valle de Yunguilla.* Monografía para la obtención de título de pregrado. Universidad de Cuenca, Cuenca.
- Ayala, N. & Herrera, G. (2020). *Evaluación del paisaje boscoso en la cuenca media alta del Río Mira, y su proyección de cambio al año 2050.* (Tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Barba, D. (2018). *Análisis prospectivo del proceso de deforestación en el sector La Pampa- Guacamayo, Tambopata- Madre de Dios, periodo 1999 al 2030.* Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios.
- Bazantes, F, y Flores, R.(2017). *Evaluación del estado de conservación de la flora del matorral seco montano en el Valle del Chota.* (Tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Benítez, J. (2016). *Estudio de la cosecha en verde para el manejo sostenible del cultivo de caña de azúcar (Saccharum officinarum L.).* Tesis de posgrado. Universidad de Guayaquil, Guayaquil.
- Bravo, E. (2014). *La biodiversidad en el Ecuador.* Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.
- Carita, G. (24 de mayo del 2018). *Tutorial de Determinación de Firmas Espectrales de Cultivos con QGIS 3 y SCP 6. Gestión sostenible del agua- Gidahatari.* Recuperado de <https://gidahatari.com/ih-es/tutorial-de-determinacin-de-firmas-espectrales-de-cultivos-con-qgis-3-y-scp-6>
- Camacho, J., Juan, J., Pineda, N., Cadena, E., Bravo, L., Sánchez, M. (2015). *Cambios de cobertura/ uso de suelo en una porción de la Zona de Transición Mexicana de Montaña.* Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México.
<http://www.scielo.org.mx/pdf/mb/v21n1/v21n1a8.pdf>

- Camacho, O., Melgarejo, E., Paegelow, M. (2010). *Modelos geomáticos aplicados a la simulación de cambios de usos del suelo*. Evaluación del potencial de cambio.
- Camacho, R., Camacho, J., Balderas, M., & Sánchez, M. (2017). Cambios de cobertura y uso de suelo: estudio de caso en Progreso Hidalgo, Estado de México. *Madera y bosques*, 23(3), 39-60.
- CENGICAÑA. (2017). *Guía de buenas prácticas agrícolas en caña de azúcar*. 10-65. Recuperado de <https://cengicana.org/files/20170425171748989.pdf>
- CENICAÑA. (2001). *Zonificación agroecológica para el cultivo de caña de azúcar en el Valle del Rio Cuaca (tercera aproximación)*. Principios metodológicos y aplicaciones. (29), 30-55. Recuperado de https://www.cenicana.org/pdf_privado/serie_tecnica/st_29/st_29.pdf
- CENICAÑA. (2011). *Zonificación agroecológica para el cultivo de caña de azúcar en el Valle del Rio Cuaca (cuarta aproximación)*. Principios metodológicos y aplicaciones. (38), 100-126. Recuperado de https://www.cenicana.org/pdf_privado/serie_tecnica/st_38/st_38.pdf
- CINCAE. (2004). *Carta informativa. centro de investigación de la caña de azúcar del Ecuador*.
- CINCAE. (2009). *Carta informativa. centro de investigación de la caña de azúcar del Ecuador*. Recuperado de <https://cincae.org/wp-content/uploads/2013/04/A%C3%B1o-11-No.-2.pdf>
- CINCAE. (2011). *Informe anual 2011*. Recuperado de <https://cincae.org/wp-content/uploads/2013/04/Informe-Anual-2011.pdf>
- Código Orgánico Ambiental. (2017). *Código Orgánico Ambiental. Registro Oficial 983 de 12-abr.-2017*. Ecuador.
- Código Orgánico de Organización Territorial Autonomía y Descentralización. (2010). *Código Orgánico de Organización Territorial Autonomía y Descentralización. Registro Oficial 303 de 19-oct-2010*. Ecuador.

- Constitución de la República del Ecuador. (2008). *Constitución del Ecuador. Registro Oficial N° 449, Del 20 de octubre de 2008*. Ecuador.
- Cuamacás, D. y Terán, K. (2012). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia de Ambuquí, cantón Ibarra, 2012-2025* (Tesis de posgrado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito.
- Cuasquer, F. y Sangurima, A. (2019). *Análisis multitemporal de la cobertura vegetal y uso del suelo en la Reserva Ecológica, El Ángel, periodo 1990-2016, Carchi-Ecuador (Tesis de pregrado)*. Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Chávez, M. & Bermúdez, A. (2006). *Regulaciones internacionales sobre la quema de la caña de azúcar. XVI Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Centroamérica (ATACA)*.
- Dancé, J. y Sáenz, D. (2017). *La cosecha de caña de azúcar: impacto económico, social y ambiental*. Dirección de Investigación FCCEF – USMP.
- Delamura, D. (01 de Junio del 2015). *TerrSet 2020 Geospatial Monitoring and Modeling Software*. CLARK LABS. <https://clarklabs.org/terrset/>
- De la Cruz, L. (2013). *Elaboración de un producto comunicacional: Revista rastros, ritos y rostros del pueblo afrochoteño de Piquiucho*, Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito.
- De la Cruz, J., Sánchez, P., Galvis, A., & Carrillo, J. (2011). ÍNDICES ESPECTRALES EN PIMIENTO PARA EL DIAGNÓSTICO NUTRIMENTAL DE NITRÓGENO. *Terra Latinoamericana*, 29(3), 259-265.
- Díaz, G. (2012). EL CAMBIO CLIMÁTICO. *Ciencia y Sociedad*, 37(2), 227-240.
- Elizalde, M. (2015). *Mejoramiento de la rentabilidad con diversificación de subproductos de la caña de azúcar, en Chaguarpamba, Loja*. (Tesis de pregrado). Universidad Técnica de Machala, Machala

- Enríquez, A. (2021). “*agricultura climáticamente inteligente para la conservación del recurso biológico Solanum tuberosum en los sistemas agroalimentarios alto-andinos basados en papa*”. caso: *compapa Tungurahua-Chimborazo*. (Tesis de posgrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Escandón, J. Ordóñez, J. Del Carmen, M. y Ordóñez, M. (2009). *Cambio en la cobertura vegetal y uso del suelo del 2000 al 2009 en Morelos, México*. Revista Mexicana de Ciencias Forestales,9 (46). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i46.135>
- FAO, (2020). *Perspectivas por sectores principales-Producción de cultivos*. Recuperado de <https://www.fao.org/3/y3557s/y3557s08.htm>
- Fernández, P.(2010). *Medidas de concordancia: el índice Kappa*. Unidad de Epidemiología Clínica y Bioestadística. Complejo Hospitalario Universitario de A Coruña (España), Recuperado de <https://www.fisterra.com/mbe/investiga/kappa/kappa.asp>
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2010). *Global Forest Assessment 2010*. Roma, Italia:FAO.
- García, M., Parra P. y Mena V. (2014). *El País de la Biodiversidad Ecuador. Quito, Ecuador: Fundación Botánica de los Andes-Ministerio del Ambiente-Fundación EcoFondo*.
- Gobierno Provincial de Imbabura GPI Subdirección de Gestión Ambiental. (2012). *Diagnóstico del Sistema Ambiental Actual de la Provincia de Imbabura*.
- Gómez, P. (2017). *Análisis y comparación del índice kappa para la identificación de patrones en personas ancianas*. Universidad Técnica Particular de Loja.
- Gómez, D. (2013). *Ordenación del territorio*. 3ra ed. Madrid: Editorial Mundi Prensa.
- Gómez, F. Gómez, J. y Montàvez, J.(2016). *Comparando downscaling dinámico y estadístico en aplicaciones paleo climáticas*. Universidad de Murcia.

- Gómez, F., Trejo, L., Senties, H., Pérez, J., Salazar, J. (2015). La caña de azúcar ofrece más que azúcar. *Oportunidades de la Diversificación*, 166(18), 24-25.
- González, M. & Chiquiguanga, M. (2018). *Los planes de desarrollo y ordenación territorial en Ecuador a nivel cantonal. Estudio de caso de la Zona 6 de planificación*. Universidad de Cuenca.
- Guerra, A. & Hernández, A. (2014). *El cambio climático y el cultivo de la caña de azúcar*. Instituto Privado de Investigación sobre el Cambio Climático. <https://icc.org.gt/es/el-cambio-climatico-y-el-cultivo-de-la-cana-de-azucar/>
- Guillén, C., Mogollón, A., Dávila, M., Árraga, K. (2019). Monitoreo de la producción de caña panelera mediante herramientas de SIG y teledetección, años 2016-2017, Mérida, Venezuela. *Revista Geográfica de América Central*, 2(63), 249-268.
- Granados, M., Bocco, G., Mendoza, M. (2001). *Predicción del cambio de cobertura y uso del suelo*. El caso de la ciudad de Morelia. Instituto de Ecología UNAM: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112001000200005
- INEC. (17 de julio de 2019). *Seis cultivos con mayor producción en Ecuador*. Recuperado de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/2018-seis-cultivos-con-mayor-produccion-en-ecuador/>
- Jumbo, D. (2019). *Análisis multitemporal de la superficie ocupada por el cultivo de caña en el cantón Catamayo provincia de Loja (Tesis pregrado)*. Universidad Nacional de Loja.
- Lambin, E. & Turner, B. (2001). *The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths*. *Global Environmental Change*, 11, 261–269.
- MAE (2019). *Primera contribución determinada a nivel nacional para el Acuerdo de París bajo la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Quito: Ministerio del Ambiente.

- Mendoza, M., Velásquez, A., Larrazábal, A., Toledo, A. (2007). Atlas Físio geográfico de la Cuenca de Tepalcatepec. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Merino, F., Trejo, L., Salazar, J., Pérez, A., Senties, H., Bello, J & Aguilar, N. (2017). LA DIVERSIFICACIÓN DE LA AGROINDUSTRIA AZUCARERA COMO ESTRATEGIA PARA MÉXICO. *Agroproductividad*, 10(11), 7-11.
- Muñoz, D., López, G., Hernández, M., Soler, A., López, J. (2009). *Impacto de la pérdida de la vegetación sobre las propiedades de un suelo aluvial*. UBIPRO Facultad de Estudios Superiores Iztacala. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792009000300008
- Neira, R. (2005). *FOTOGRAFÍA AÉREA*. (Tesis de pregrado). Universidad Austral de Chile, Chile.
- Nicolalde, L. (2014). *Análisis económico de la cadena productiva de la caña de azúcar, bajo un enfoque estructuralista y matriz de análisis de política, periodo 2006-2012*. (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador. <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/6847/7.36.001424.pdf?sequence=4>
- Ñacato, A. & Pabón, J. (2014). *Video reportaje de la influencia del fútbol en Piquiucho- Valle del Chota*. Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7173/1/QT05979.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2022). *Informe de los objetivos de desarrollo sostenible 2020*. Recuperado de https://unstats.un.org/sdgs/report/2020/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2020_Spanish.pdf
- Organización Internacional del Azúcar. (2013). *Cambio climático y cultivos azucareros*.

- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE). *Perspectivas Ambientales de la OCDE hacia 2050*. <http://www.oecd.org/environment/oecd-environmental-outlook-1999155x.htm>
- Ortega, J. & Arias, 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. <https://doi.org/10.32645/13906925.1116>
- Pandia, A. (2016). *Modelo de presión, estado, respuesta (p-e-r), para la clasificación de indicadores ambientales y gestión de la calidad del agua caso: cuenca del río Puyango Tumbes*. Revista del instituto de investigación (RIIGEO), FIGMMG-UNMSM, 19(37), 39-46.
- Paucar, R. & Robalino, A. (2009). *Modelo estratégico para la industrialización de la caña de azúcar en el Ecuador. Escuela Politécnica Nacional*. Recuperado de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/8489/3/CD-2144.pdf>
- Pérez, H. Santana, I. & Rodríguez, I. (2016). *Manejo Sostenible de Tierras en la Producción de Caña de Azúcar*. (Tesis de pregrado). Universidad Técnica de Machala.
- Pino, E. (2014). *San Antonio de Ibarra*. Enciclopedia Ecuatoriana.
- Pinos, N. (2016). *Prospectiva del uso de suelo y cobertura vegetal en el ordenamiento territorial- Caso cantón Cuenca*. Universidad de Cuenca.
- Polanco, C. (2006). *Indicadores ambientales y modelos internacionales para toma de decisiones*. *Gestión y Ambiente*, 9(2). pp. 27-41
- Ponce, C. (2017). *Análisis multitemporal de la cobertura vegetal del Valle Interandino del Chota e identificación de zonas de restauración ecológica*. (Tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte.
- Plan de desarrollo y ordenamiento territorial (PDOT). (2019). *Secretaría Técnica Planifica Ecuador*. <https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/08/Folletos-autoridades-provinciales.pdf>

- Quichimbo, P., Tenorio, G., Borja, P., Cárdenas, I., Crespo, P., Célleri, R. (2012). *Efectos sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos por el cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo: Páramo de Quimsacocha al sur del Ecuador*. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. https://www.researchgate.net/publication/285632863_Efectos_sobre_las_propiedades_fisicas_y_quimicas_de_los_suelos_por_el_cambio_de_la_cobertura_vegetal_y_uso_del_suelo_Paramo_de_Quimsacocha_al_sur_del_Ecuador
- Rivera, A. (2010). *Ficha Técnica del cultivo de Caña de Azúcar*. Universidad Veracruzana. Sagarpa.
- Rojas, A. (2018). *Evaluación de los Efectos del Cambio de Uso de Suelo Sobre las Tasas de Sedimentación en Laguna Grande de San Pedro de la Paz (Chile) Durante los Últimos 30 Años*. Universidad de Concepción Chile. h
- Rodríguez, D & Vela, A. (2016). Estudio multitemporal del cultivo de caña de azúcar en el municipio de Palmira de acuerdo al Plan de Ordenamiento Territorial 1998-2012 (Tesis pregrado). Universidad Santo Tomás
- Reynoso, R., Valdez, J., Escalona, M., De los Santos, H., Pérez, M. (2016). *Cadenas de Markov y autómatas celulares para la modelación de cambio de uso de suelo*. Recuperado de SciELO. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382016000100006
- Rojas, M. (1983). Zonificación agroecológica para el cultivo de caña (*Saccharum officinarum*) en Costa Rica. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (TICA). Recuperado de https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers20-10/03848.pdf
- Sandoya, A. (2020). *Comportamiento de tres cultivares de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* sp) en la granja experimental Santa Inés*. (Tesis de pregrado). Universidad Técnica de Machala, Machala.
- Santamaría, A., & García, A. (2005). Azúcar en América. *Indias*, 9-32

- Santillán, D. (2016). *Análisis multitemporal de usos y coberturas de la tierra en el período 2005-2016 en el Valle de Sico- Paulaya, Honduras*. Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Honduras. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/5747/1/IAD-2016-T040.pdf>
- Saltos, J. (2015). **COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE OCHO VARIETADES DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum* L.) EN RÍO VERDE, PROVINCIA DE SANTA ELENA. (Tesis de pregrado). UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA**
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo – Senplades. (2017). *Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021. Toda una vida*. (Resolución N.º CNP-003-2017). Quito – Ecuador).
- SEMARNAT. (2005). Indicadores básicos del desempeño ambiental de México. Recuperado de https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/indicadores14/conjuntob/00_conjunto/marco_conceptual2.html
- Sitjar, J. (27 de mayo del 2015). *TerrSet. Sistema para el análisis y seguimiento de datos geoespaciales*. Recuperado de: <https://www.unigis.es/terrset-sistema-para-el-analisis-y-seguimiento-de-datos-geoespaciales/>
- Sosa, J., & Martínez, F. (2009). *Los sistemas de información geográfica y su aplicación en enlaces de comunicaciones*. Científica, 13(1), 27-34.
- Stocking, M. & Murnaghan, N. (2003). *Manual para la evaluación de campo de la degradación de la tierra*. Madrid, España. Recuperado de: https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=ADUTrX6Rx0kC&oi=fnd&pg=PA1&ots=oRKlzYiQiA&sig=9_q3Yt7jpzpXjYr5Ur3Uu3r-1Qk&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- Tituaña, K y Guevara, J. (2017). *Estudio Etnobotánico en comunidades del Valle del Chota. Tesis de pregrado*. Universidad Técnica del Norte, Ibarra.

- Trucíos, R., Rivera, G., Delgado, G., Estrada, J., & Cerano, J. (2013). Análisis sobre cambio de uso de suelo en dos escalas de trabajo. *Terra Latinoamericana*, 31(4),339-346
- Valencia, A., Arias, B., & Rodriguez, M. (2014). Intención de uso del e-learning en el programa de Administración Tecnológica desde la perspectiva del modelo de aceptación tecnológica. *Revista Electrónica Educare*, 18(2), 247-264
- Vásquez, R y Garcia, R. (2017). *Indicadores PER y FPEIR para el análisis de la sustentabilidad en el municipio de Cihuatlán, Jalisco, México*. *Revista de Ciencias Sociales y Humanidades*, 27(53), 1-26. <https://doi.org/10.20983/noesis.2018.3.1>
- Vijith, H. Hurmain, A. y Dodge, D. (2018). *Impacts of land use changes and land cover alteration on soil erosion rates and vulnerability of tropical mountain ranges in Borneo*. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*,12, 57–69.
- Vilema, B. (2021). *Análisis de factores antrópicos en los cambios de cobertura del matorral seco montano del Valle Chota, Periodo 1990-2020*. Tesis de pregrado. Universidad Técnica del Norte, Ibarra.
- Zambonino, J. (2013). *Análisis de alternativas para el tratamiento de aguas industriales del ingenio azucarero del norte- IANCEM (tesis de pregrado)*. Universidad Central del Ecuador.
- Zambrano, A. (2021). *CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE AGUARDIENTE DE CAÑA ARTESANAL ELABORADO EN EL CANTÓN CUMANDÁ*. (Tesis de pregrado). UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR

ANEXOS

Truth data / Classifier results	Class 1	Class 2	Class 3	Class 4	Class 5	Class 6	Class 7	Classification overall	Producer Accuracy %
Class 1	7	0	0	0	1	0	0	8	87.5%
Class 2	0	7	0	0	0	0	1	8	87.5%
Class 3	0	0	8	0	0	0	0	8	100%
Class 4	0	2	0	7	3	0	1	13	53.84%
Class 5	0	2	0	0	7	1	2	12	58.33%
Class 6	0	0	0	0	1	7	1	9	77.77%
Class 7	0	0	0	0	0	0	10	10	100%
Truth overall	7	11	8	7	12	8	15	68	
User Accuracy%	100%	63.63%	100%	100%	58.33%	87.5%	66.66%		
Overall accuracy%	77.94%								
Kappa	0.74								

Anexo 1. Resultados del Índice Kappa de la proyección del año 2011

Clase 1= Vegetación xerofítica, Clase 2= Área sin vegetación, Clase 3= Cuerpos de agua, Clase 4= Cultivo de caña, Clase 5= Otros cultivos, Clase 6= Zona semiárida y Clase 7= Poblados.

Truth data / Classifier results	Class 1	Class 2	Class 3	Class 4	Class 5	Class 6	Class 7	Classification overall	Producer Accuracy
Class 1	7	0	0	0	1	0	0	8	87.5%
Class 2	0	8	0	0	0	0	0	8	100%
Class 3	0	0	6	0	2	0	0	8	75%
Class 4	0	0	0	9	2	0	2	13	69.2%
Class 5	0	0	0	0	12	0	0	12	100%
Class 6	0	0	0	1	1	7	0	9	77.7%
Class 7	0	0	0	0	0	0	10	10	100%
Truth overall	7	8	6	10	18	7	12	68	
User Accuracy%	100%	100%	100%	90%	66.6%	100%	83.3%		
Overall accuracy%	86.7%								
Kappa	0.84								

Anexo 2. Resultados del Índice Kappa del año 2011

Clase 1= Vegetación xerofítica, Clase 2= Área sin vegetación, Clase 3= Cuerpos de agua, Clase 4= Cultivo de caña, Clase 5= Otros cultivos, Clase 6= Zona semiárida y Clase 7= Poblados.

Tipo de cobertura	1991		1999		2011	
	Ha	%	Ha	%	Ha	%
Cultivo de caña	597.56	6.5	657.95	7.1	530.52	5.7
Otras categorías	1991		1999		2011	
Vegetación xerofítica	264.94	2.9	209.60	2.3	110.52	1.2
Cuerpos de agua	64.31	0.7	67.15	0.7	72.18	0.8
Área sin vegetación	744.61	8.1	828.53	9.0	985.89	10.7
Otros cultivos	282.98	3.1	388.98	4.2	603.59	6.5
Zona semiárida	7155.57	77.4	6953.94	75.2	6716.43	72.6
Poblados	136.76	1.5	140.57	1.5	227.60	2.5
Área total	9246.73	100	9246.73	100	9246.73	100

Anexo 3. Áreas de los tipos de cobertura ocupadas en el Valle del Chota entre el periodo 1991-2011

Tipo de cobertura	2022		2031	
	Ha	%	Ha	%
Cultivo de caña	481.52	5.21	410.99	4.44
Otras categorías	2022		2031	
Vegetación xerofítica	110.52	1.20	101.27	1.10
Cuerpos de agua	70.36	0.76	70.35	0.76
Área sin vegetación	961.92	10.40	980.35	10.60
Otros cultivos	639.38	6.91	681.36	7.37
Zona semiárida	6730.43	72.79	6730.42	72.79
Poblados	245.80	2.66	271.52	2.94
Área Total	9246.73	100	9246.73	100

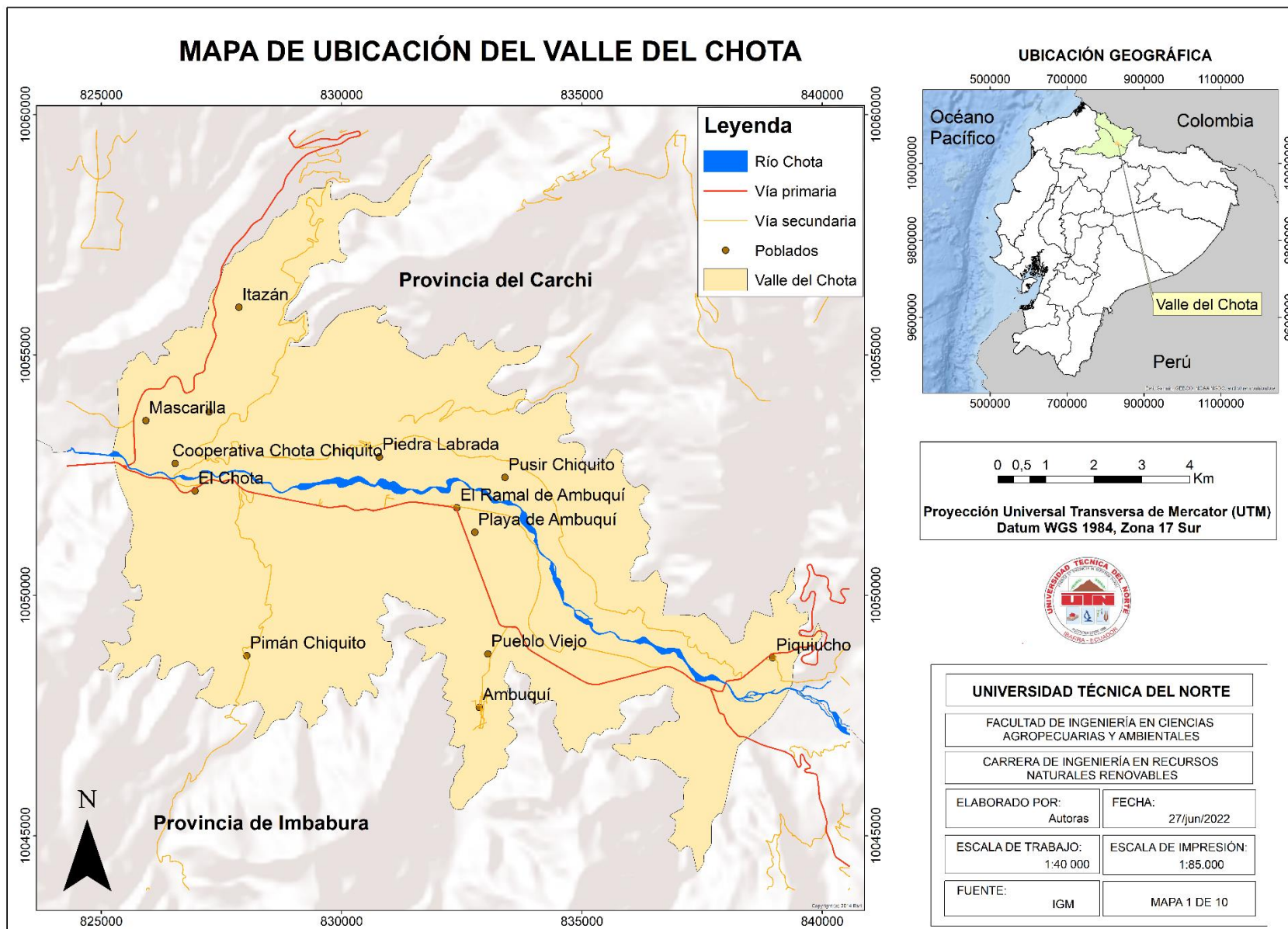
Anexo 4. Cambio de cobertura y uso del suelo simulado del periodo 2022-2031

Truth data / Classifier results	Class 1	Class 2	Class 3	Class 4	Class 5	Class 6	Class 7	Classification overall	Producer Accuracy
Class 1	7	0	0	0	1	0	0	8	87.5%
Class 2	0	8	0	0	0	0	0	8	100%
Class 3	0	0	6	0	2	0	0	8	87.5%
Class 4	0	0	0	9	2	0	2	13	76.9%
Class 5	0	0	0	0	12	0	0	12	100%
Class 6	0	0	0	1	1	7	0	9	77.7%
Class 7	0	0	0	0	0	0	10	10	100%
Truth overall	7	8	7	11	17	7	11	68	
User Accuracy%	100%	100%	100%	90.9%	70.6%	100%	90.9%		
Overall accuracy%	89.8%								
Kappa	0.879								

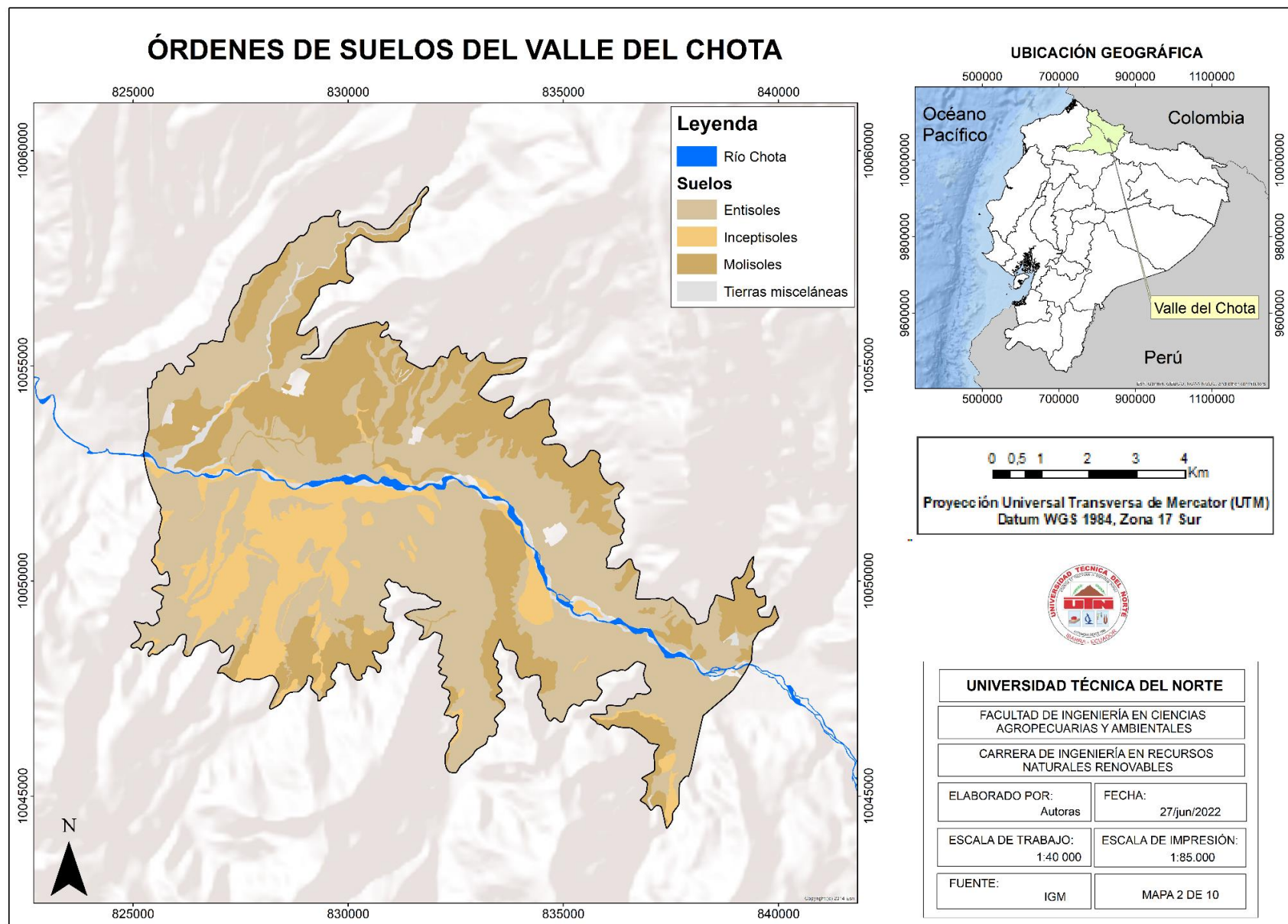
Anexo 5. Resultados del Índice Kappa de la proyección del año actual 2022

Clase 1= Vegetación xerofítica, Clase 2= Área sin vegetación, Clase 3= Cuerpos de agua, Clase 4= Cultivo de caña, Clase 5= Otros cultivos, Clase 6= Zona semiárida y Clase 7= Poblados

Anexo 6. Ubicación del Valle del Chota

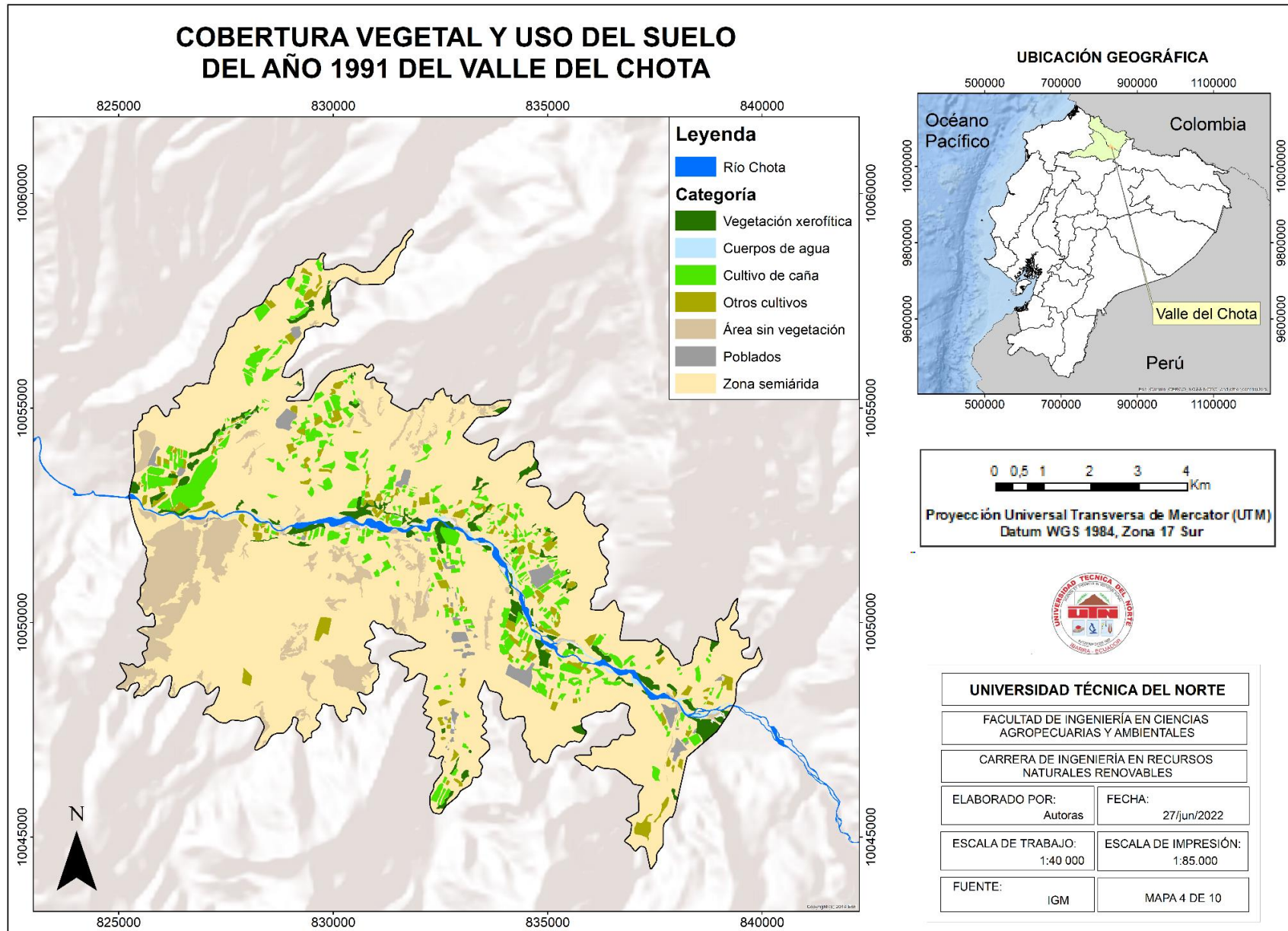


Anexo 7. Órdenes de suelos del Valle del Chota

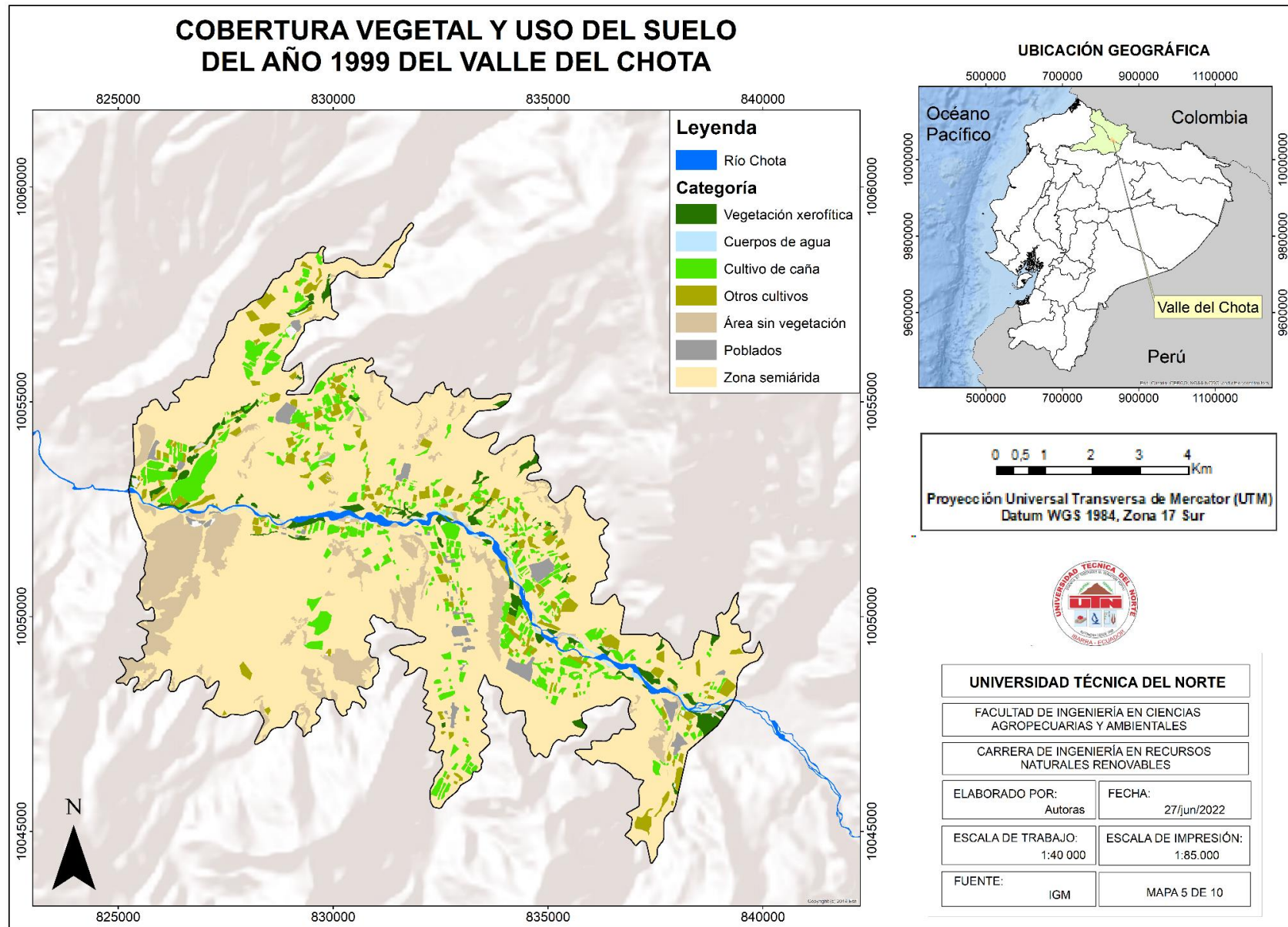


Anexo 8. *Proyección de cobertura y uso de suelo del año 2011 del Valle del Chota*

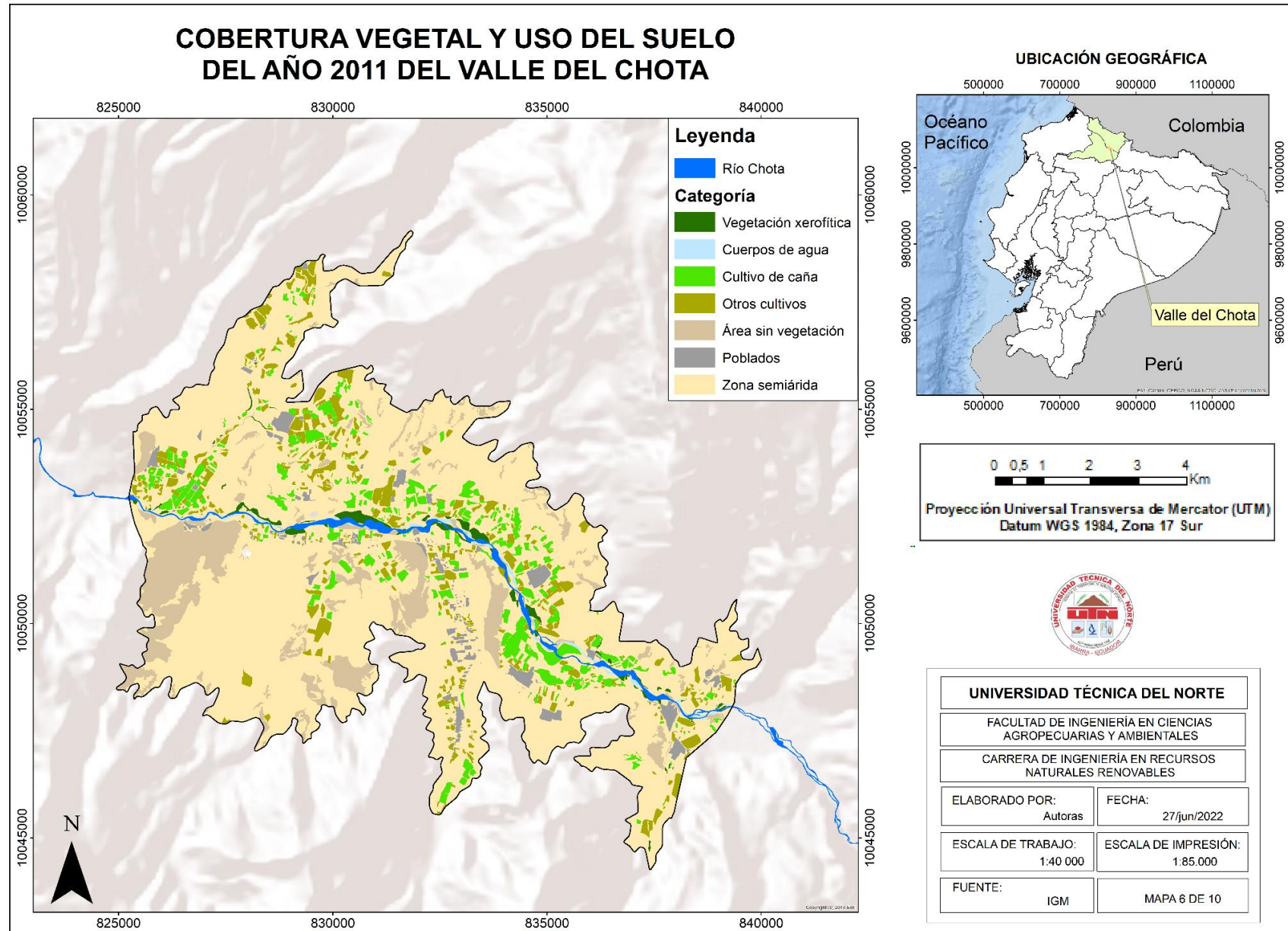
Anexo 9. Cobertura vegetal y uso de suelo del año 1991 del Valle del Chota



Anexo 10. Cobertura vegetal y uso de suelo del año 1999 del Valle del Chota



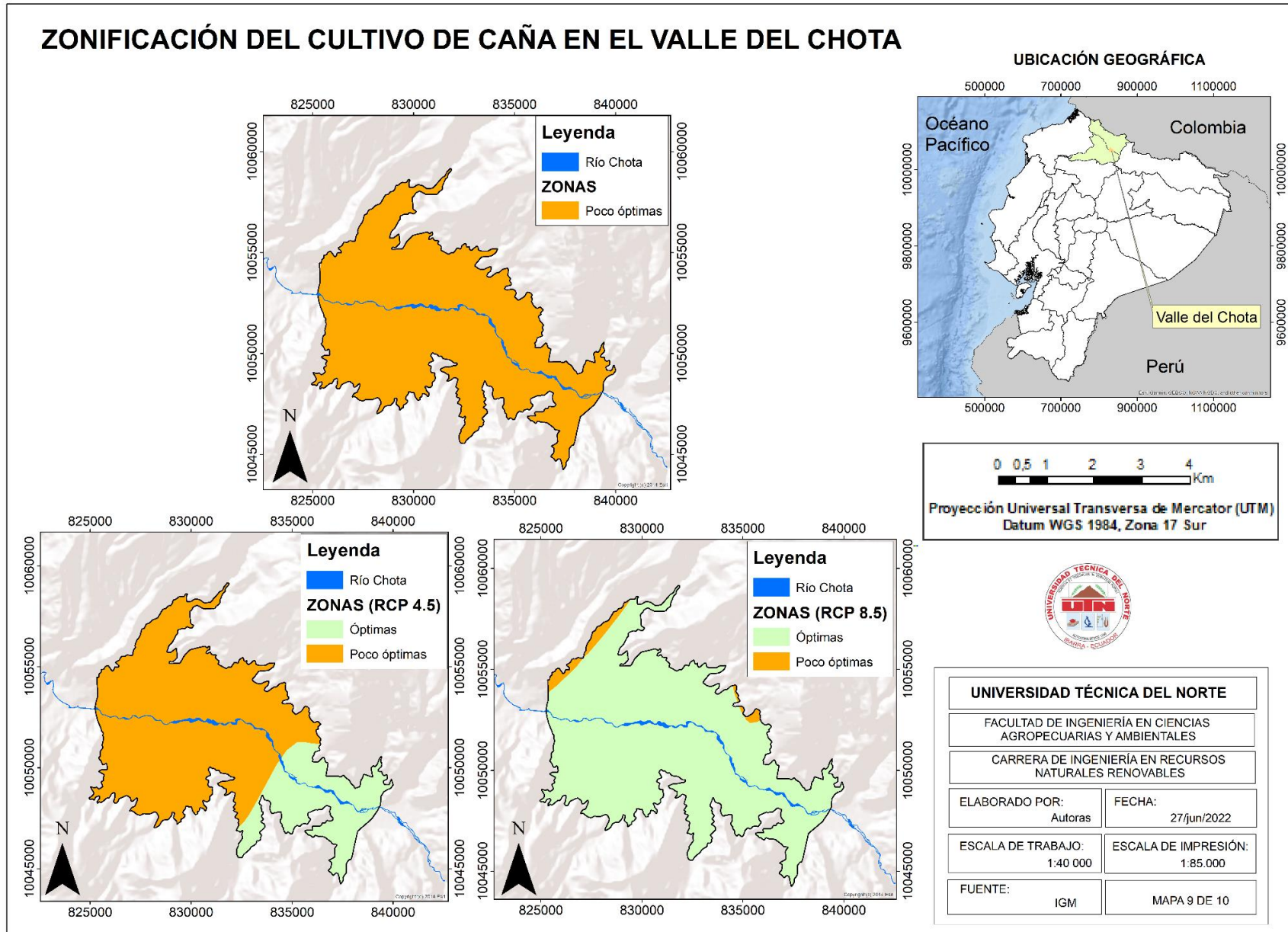
Anexo 11. Cobertura vegetal y uso de suelo del año 2011 del Valle del Chota



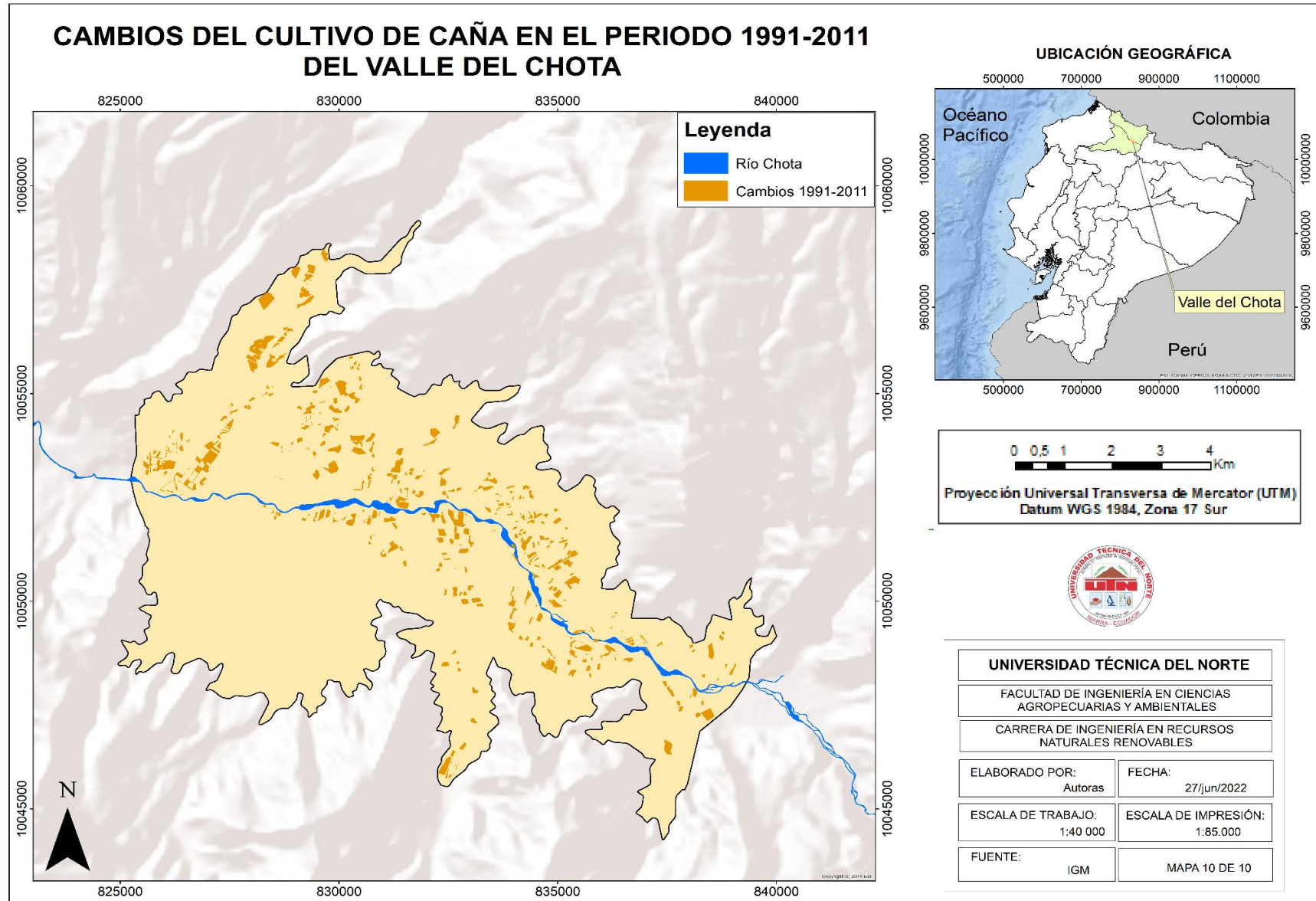
Anexo 12. *Proyección de cobertura y uso de suelo del año 2022 del Valle del Chota*

Anexo 13. *Proyección de cobertura y uso de suelo del año 2031 del Valle del Chota*

Anexo 14. Zonificación de la caña de azúcar en el Valle del Chota



Anexo 15. Cambios en el cultivo de caña en los años 1991-2011 del Valle del Chota



ANEXOS FOTOGRÁFICOS



Anexo 16. *Toma de puntos GPS*



Anexo 17. *Toma de puntos de áreas de entrenamiento*



Anexo 18. *Otros cultivos (frejol) junto al cultivo de caña de azúcar*



Anexo 19. *Usos de la caña de azúcar, producción de panela*



Anexo 20. *Cultivo de caña en hileras*



Anexo 21. *Cambio de cobertura vegetal de cultivo de caña a otros cultivos (pimiento).*