



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

EVALUACIÓN MULTITEMPORAL DE ZONAS AMBIENTALMENTE
SENSIBLES A LA DESERTIZACIÓN EN LA PROVINCIA DEL AZUAY A
PARTIR DE 1990-2020

Trabajo de titulación previo a la obtención
del título de Ingeniero Ambiental

AUTORES: DIEGO XAVIER CÁCERES YUPANGUI
DANIELA BELÉN CARANGUI ZHINDÓN

TUTOR: ING. FREDI LEONIDAS PORTILLA FARFÁN, Ph.D.

Cuenca - Ecuador

2022

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Diego Xavier Cáceres Yupangui con documento de identificación N° 0107530701 y Daniela Belén Carangui Zhindón con documento de identificación N° 0302686589; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 20 de julio del 2022

Atentamente,



Diego Xavier Cáceres Yupangui

0107530701



Daniela Belén Carangui Zhindón

0302686589

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Diego Xavier Cáceres Yupangui con documento de identificación N° 0107530701 y Daniela Belén Carangui Zhindón con documento de identificación N° 0302686589, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Trabajo Experimental: “Evaluación multitemporal de zonas ambientalmente sensibles a la desertización en la provincia del Azuay a partir de 1990-2020”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Ambiental, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 20 de julio del 2022

Atentamente,



Diego Xavier Cáceres Yupangui

0107530701



Daniela Belén Carangui Zhindón

0302686589

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Fredi Leonidas Portilla Farfán con documento de identificación N° 0102824331, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: EVALUACIÓN MULTITEMPORAL DE ZONAS AMBIENTALMENTE SENSIBLES A LA DESERTIZACIÓN EN LA PROVINCIA DEL AZUAY A PARTIR DE 1990-2020, realizado por Diego Xavier Cáceres Yupangui con documento de identificación N° 0107530701 y por Daniela Belén Carangui Zhindón con documento de identificación N° 0302686589, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Trabajo Experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 20 de julio del 2022

Atentamente,



Ing. Fredi Leonidas Portilla Farfán, Ph.D.

0102824331

Contenido

I. INTRODUCCIÓN	9
1.1 Justificación del Problema	10
II. MARCO TEÓRICO	12
Factores involucrados en la degradación	12
Degradación del suelo y cambio climático	12
Impacto de la desertización en turbas y turberas	13
Corrosión por agua	14
Desertización en el mundo	14
Desertización en América Latina	15
Problemas ambientales	15
Problemas socioculturales	16
Problemas económicos	16
Problemas institucionales	16
Desertización en Ecuador	17
Dinámica de la degradación del terreno	20
Proceso de desertización en Ecuador	20
Ocupación del territorio ecuatoriano	21
Cantones del Ecuador más afectados el proceso de la desertización	22
Clima de Ecuador	22
Erosión del suelo	23
Desertización en la Provincia de Azuay	24
Ecosistemas de la Provincia de Azuay	25
Recursos naturales	26
Diagnóstico multitemporal	28
El programa LANDSAT	29
Combinación en falso color	34
Otras combinaciones en falso color	35
Clasificación Digital de Imágenes Satelitales	36
V METODOLOGIA.....	39
Caracterización del área de estudio	39
Variación del suelo	40
Obtención de información espacial	41
Corrección espectral	42
Corrección topográfica	42

Corrección radiométrica	43
Corrección atmosférica	43
Identificación de regiones de interés	45
Generación de ROIS	45
Clasificación de imágenes satelitales	46
Agrupación de polígonos	46
Generación de variables meteorológicas	47
Temperatura Max-Min (°C)	47
Velocidad de viento	47
Precipitación acumulada	47
Humedad	48
Evapotranspiración real (mm)	48
Obtención de mapas con variables meteorológicas	48
Elaboración de puntos	49
Herramienta IDW	49
Herramienta contour	50
Sombras para la visualización	51
Método de validación de resultados	51
III. RESULTADOS	52
Variación del suelo de los años 1990 al 2020	53
Cobertura vegetal y cambio de uso de suelo del año 1990	53
Uso de suelo del año 2000	55
Uso de suelo 2010	56
Análisis de las variables de incidencia en los procesos de desertificación	60
Variación de la temperatura de 1990 al 2020	61
Variación de la precipitación de 1990 al 2020	65
Variación de la evapotranspiración de 1990 al 2020	68
Variación de la velocidad del viento de 1990 al 2020	71
Variación de la humedad del suelo de 1990 al 2020	74
Variación de la escorrentía de 1990 al 2020	78
Análisis de la sensibilidad a los procesos de desertificación	81
IV. ALTERNATIVAS FRENTE A LOS PROCESOS DE DESERTIZACIÓN	89
V. DISCUSIÓN	92
VI. CONCLUSIONES	93
VII. RECOMENDACIONES	96

VIII.	BIBLIOGRAFÍA	97
IX.	ANEXOS	103

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1	Zonas vulnerables a desertización y degradación.....	19
Ilustración 2	Mapa de la Provincia del Azuay	24
Ilustración 3	Combinación de color	31
Ilustración 4	Bandas Landsat	32
Ilustración 5	Color real (Bandas 3, 2,1).....	33
Ilustración 6	Combinación en falso color (Bandas 4, 3,2).....	34
Ilustración 7	Combinación en falso color (Bandas 5, 4, 2).....	35
Ilustración 8	Interpretación de la sensibilidad espacial	37
Ilustración 9	Gráficas de dispersión de áreas	38
Ilustración 10	Área delimitada	39
Ilustración 11	Adquisición de imágenes satelitales	41
Ilustración 12	Herramienta Gap Fill	42
Ilustración 13	Herramienta Radiométrica	43
Ilustración 14	Herramienta Flash Atmosferic	43
Ilustración 15	<i>Imagen satelital corregida</i>	44
Ilustración 16	Combinación espectral.....	45
Ilustración 17	Rois	45
Ilustración 18	Generación de puntos.....	49
Ilustración 19	Herramienta IDW.....	50
Ilustración 20	Generación de curvas de nivel	50
Ilustración 21	Producción de sombras	51
Ilustración 22	Validación en los resultados	52
Ilustración 23	Mapa uso del suelo 1990.....	53
Ilustración 24	Área de las zonas de interés del año 1990	53
Ilustración 25	Uso de suelo 2000.....	55
Ilustración 26	Zonas de interés del año 2000 (Ha)	55
Ilustración 27	Uso del suelo 2010.....	56
Ilustración 28	Área de las zonas de interés del año 2010 (Ha).....	57
Ilustración 29	Cambio de uso de suelo 2020	59
Ilustración 30	Área de las zonas de interés del año 2020 (Ha).....	60
Ilustración 31	Análisis de la temperatura del año 1990	61
Ilustración 32	Análisis de la temperatura del año 2000	62
Ilustración 33	Análisis de la temperatura del año 2010	62
Ilustración 34	Análisis de la temperatura del año 2020	63
Ilustración 35	Análisis de la precipitación del año 1990	65
Ilustración 36	Análisis de la precipitación del año 2000	66
Ilustración 37	Análisis de la precipitación del año 2010	66
Ilustración 38	Análisis de la precipitación del año 2020	67
Ilustración 39	Análisis de la evapotranspiración del año 1990.....	68
Ilustración 40	Análisis de la evapotranspiración del año 2000.....	69
Ilustración 41	Análisis de la evapotranspiración del año 2010.....	69

Ilustración 42	Análisis de la evapotranspiración del año 2020.....	70
Ilustración 43	Velocidad del viento 1990	71
Ilustración 44	Velocidad del viento 2000	72
Ilustración 45	Velocidad del viento del año 2010	73
Ilustración 46	Velocidad del viento 2020	73
Ilustración 47	Análisis de la humedad del año 1990	74
Ilustración 48	Análisis de la humedad del año 2000	75
Ilustración 49	Análisis de la humedad del año 2010	76
Ilustración 50	Análisis de la humedad del año 2020	76
Ilustración 51	Análisis de escorrentía del año 1990	78
Ilustración 52	Análisis de escorrentía del año 2000	78
Ilustración 53	Análisis de escorrentía del año 2010	79
Ilustración 54	Análisis de escorrentía del año 2020	80
Ilustración 55	Sensibilidad de la desertificación correspondiente al año 2020	81
Ilustración 56	Extensión territorial de las zonas sensibles a la desertificación del 2020	82
Ilustración 57	Confusion matrix del año 1990,2000,2010 y 2020.....	83
Ilustración 58	Transition matrix 1990-2000	84
Ilustración 59	Transition matrix 2000-2010	85
Ilustración 60	Transition matrix 2010-2020	85
Ilustración 61	Transition matrix 1990-2020	86
Ilustración 62	Área de cambio de 1990-2000	86
Ilustración 63	Área de cambio de 2000-2010	87
Ilustración 64	Área de cambio de 2010-2020	87
Ilustración 65	Área de cambio de 1990-2020	87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Cobertura vegetal.....	19
Tabla 2	Características técnicas de LANDSAT 8	30
Tabla 3	Otras combinaciones en falso color.....	36
Tabla 4	Datos Generales provincia del Azuay	40
Tabla 5	Información de la evaporación del año 1990 al 2020.....	48
Tabla 6	Plan de acción.....	89

I. INTRODUCCIÓN

Según (Morales et al., 2013), las actividades antropogénicas representan el principal factor para la desertificación de la zona superficial, siendo este un proceso de degradación de los suelos (Partes et al., 2000); Las consecuencias de la desertificación son la pérdida de pastos, infertilidad, degradación estructural de la biomasa y grandes pérdidas de zonas de cultivo. Por este motivo este fenómeno es un problema mundial que pone en riesgo la seguridad alimentaria de las regiones (Morales et al., 2013).

En Ecuador la mitad del territorio tiene problemas de erosión del suelo la misma que tiene su origen tanto en la erosión hídrica como en la erosión glacial. A estos problemas se suma el sobrepastoreo, cobertura vegetal, la deforestación y reducción de los niveles de fertilidad en el suelo (Segarra, 2017). Si la degradación del suelo ocurre en climas donde hay falta de humedad durante gran parte del año esto puede conllevar a la desertización del suelo, en este contexto la cuarta parte del territorio ecuatoriano posee un clima seco y semiárido lo que lo hace susceptible a procesos de desertización del suelo (Ministerio del Ambiente, 2018); (Vargas Cuervo & Gómez, 2003).

Varios estudios evidencian el avance de la desertización en el Ecuador como es el caso de provincia de Imbabura en donde los autores (Cascante-Almeida et al., 2019) determinaron que el 35% del territorio del cantón posee una susceptibilidad media alta a procesos de desertización mientras que el 44% posee una susceptibilidad baja, finalmente solo el 21% del territorio presenta un susceptibilidad nula, evidentemente el alto índice de vulnerabilidad a procesos de degradación se debe a las malas prácticas agrícolas y la deforestación (Merino, 2009);(Valencia, 2010).

Así mismo en el cantón Macara la pérdida de suelos por erosión o procesos de desertificación abarca cerca del 13.6 % de su territorio afectando a parroquias como La Victoria y Larama en sus actividades productivas (Palacios, 2016). Es así que, en la provincia del Azuay según (Portilla et al., 2014) entre los años 1982 y 2008 las zonas no susceptibles a procesos de desertificación presentaron una disminución del 2.28% mientras que las zonas frágiles registraron un aumento del 0.71 % al igual que las zonas con susceptibilidad crítica con un 5.32%.

En el cantón Paute la degradación del suelo incremento en un 5.07 % en el año 2010 según (Pesantez, 2015) además predice que esta tasa incrementará alrededor de un 6.32% en los próximos 15 años atribuyéndolo principalmente al cambio de uso de suelo. Otros cantones como Camilo Ponce Enríquez, Girón, Sigsig, San Fernando y Chordeleg han registrado un mínimo o nulos reportes de erosión del suelo (Pacheco Torres, 2015).

1.1 Justificación del Problema

En base a los preliminares existentes, el presente trabajo aporta elementos de innovación en el análisis de datos meteorológicos y climáticos históricos de la provincia del Azuay a partir de 1990 hasta el 2020 y al mismo tiempo planteará medidas ambientales de mitigación y prevención basadas en nuevas tecnologías ambientales.

El aporte de este trabajo a la academia proporciona un banco de conocimientos sobre la desertización en la provincia del Azuay basada en un estudio histórico de datos climatológicos y la recuperación de información de informantes calificados y la aplicación de encuestas a los pobladores de la provincia del Azuay, dando como resultado o producto una monografía académica y un artículo científico.

Esta investigación permite involucrar a diferentes actores sociales de las comunidades, cantones y parroquias del Azuay para conocer la historicidad del avance o no de la desertización en sus respectivas localidades; al mismo tiempo que esta información servirá para la elaboración de propuestas o planes de mitigación y prevención que serán puestos a consideración de organismo gubernamentales especialmente en el cambio del ambiente.

Esta investigación tiene validez académica y científica por cuanto actualiza el análisis histórico de la desertización en la provincia del Azuay con referencia a trabajos tales como (Portilla et al., 2014) y (Pacheco Torres, 2015).

II. MARCO TEÓRICO

Factores involucrados en la degradación

Son varios los factores que provocan la degradación del suelo, todos interconectados, dificultando el estudio, uno de los más significativos es la erosión hídrica o eólica, proceso que afecta a gran parte del terreno (Zurrita et al., 2015). El cambio climático puede contribuir a procesos corrosivos y aumentar la afección de la estructura bioquímica de la materia orgánica, aumentando así la reducción biosintética, contaminación y salinización. (Cascante-Almeida et al., 2019).

Degradación del suelo y cambio climático

La pérdida de la microbiota del suelo influye de sobremanera en la afección del ambiente a través de la deforestación o la ganadería, incrementando o reduciendo la sensibilidad climática del ecosistema, la misma que depende de la reducción de los recursos, de la cantidad de masa arbórea que existe en una zona determinada, estableciendo un equilibrio hídrico de la corteza terrestre (Avendaño, 2012).

La interacción que existe entre la contaminación ambiental y la erosión es muy compleja. Ya que estos procesos pueden revertirse; por ejemplo, cuando la degradación de la tierra por la pérdida de carbono terrestre almacenado en el suelo y la vegetación contribuye al calentamiento global (Molles & Borrell, 2016). Asimismo, la reducción de la cobertura vegetal por degradación afecta al microclima local, reduciendo tanto la capacidad de campo como la humedad relativa y absoluta de la atmósfera, generando un aumento relativo de los índices de calor que hay en el suelo (Valencia, 2010).

Por consiguiente, la erosión del suelo es una causa del cambio climático, debido a que puede alterar los sistemas ecológicos y los medios de uso, los cuales han sido establecidos desde hace mucho tiempo, provocando escasez de alimentos y de la estabilidad del recurso hídrico (Espinosa Ramírez et al., 2011).

Impacto de la desertización en turbas y turberas

La mayor parte de la población no sabe qué es la turba y más aún sobre sus funciones ambientales. Las turberas son un tipo de humedal caracterizado por una producción progresiva de turba, la cual obtiene directamente el desprendimiento químico de la materia orgánica, que se encuentran en los pigmentos de la vegetación (Withgott & Laposata, 2014).

Las turberas son reconocidas internacionalmente como generadores de CO₂, la misma que tiene una superficie que cubre el 3-6% de la superficie de la Tierra, almacenando el 10% del agua dulce disponible (Palacios, 2016). Esta característica permite que las turberas regulen el flujo hídrico con el fin de capturar la escorrentía y retener el agua de lluvia (Uaderno, 2006).

Las turberas esencialmente reducen los picos de inundación, contribuyen a los sistemas de escorrentía cuando el agua escasea y purifican las aguas superficiales o subterráneas, mejorando así la calidad. proporcionan derrames y protección contra la erosión hídrica, pero la desertización ha creado zanjas y canales de drenaje, aumentando la aireación y descomposición de la turba y liberando grandes cantidades de dióxido de carbono (Avendaño, 2012).

Corrosión por agua

La erosión hídrica es el proceso de separar la materia sólida del suelo o la superficie de la roca, lo que hace que el agua fluya hacia ella. En el mundo, cerca de la cuarta parte de la zona agrícola está afectada por procesos de erosión y degradación de los suelos, lo cual impide un adecuado desarrollo de la producción, especialmente en los países en vías de desarrollo (Mcfarland et al., 2019).

Desertización en el mundo

Los medios internacionales, mediante diferentes eventos enmarcados a problemas ambientales, ha dicho que desde tiempo atrás la desertización representa un gran problema a la estabilidad ecosistémica de las regiones, especialmente en aquellos que tiene como medio principal la exportación de productos a base de la agricultura (Ruiz & Febles, 2004).

La desertización es un problema global que tiene impactos severos en el mundo, y un tercio en la superficie mundial o más de cuatro mil millones de hectáreas. Asimismo, diferentes estratos sociales en aproximadamente 300 regiones, que dependen de la mayor parte de sus necesidades de tierra y, a menudo, de las personas más pobres del mundo, están en peligro (Low & Boettcher, 2020).

El proceso de degradación observado en todo el mundo se da en relación con la 8va parte de la superficie terrestre. Aproximadamente, 350 países tienen suelos afectados por problemas ambientales, sufriendo infertilidad de los suelos. En Sudáfrica, la desertización afecta al 73% de la tierra seca total, o mil millones de hectáreas (Hutchison, 2015).

En América del Sur, especialmente Argentina, este fenómeno tiene un impacto significativo en la región sudeste y en poca magnitud en zonas de relieve alta, debido al sobrepastoreo, la mala agricultura, el mal uso de los recursos hídricos, la extracción incontrolada de lagos y petróleo (Hutchison, 2015);(Vargas Cuervo & Gómez, 2003).

Desertización en América Latina

Heitor Matallo, señalo que muchas regiones están bajo condiciones de aridez, las mismas están bajo el control de diversos problemas de agotamiento del ecosistema. Provoca la degradación del suelo hasta que se vuelve improductivo, poniendo en riesgo al 75% de los países áridos y semiáridos de América Latina, una importante zona norte del caribe es desértica y seca (Morales et al., 2013).

Según **(Por & Martínez, 1992)** existen los siguientes problemas:

Problemas ambientales

En las regiones de América Central y Sudamérica los problemas ambientales representan la tercera parte de la superficie terrestre en condiciones de estructura seca. La academia en base a diversos estudios publicado ha especificado que la aceleración del efecto al cambio climático en base a las intensidades intensificadas y grandes precipitaciones se consideran factores determinantes en los procesos de la desertización (Kloepfer, 2012).

Los países que se encuentran en pro del desarrollo industrial no tienen metodologías adecuadas para la evolución de estas, específicamente para controlar el impacto sobre la degradación de los suelos, y generar una imagen de salida clara y precisa. Además, algunos problemas incluyen: pronóstico del tiempo inadecuado (sistemas de

alerta temprana); deficiencias del agua y análisis económicos, difusión de base de datos, participación de la academia, y ausencia en el personal debidamente capacitado (Vilela et al., 2020).

Problemas socioculturales

No siempre se tienen en cuenta los conocimientos indígenas y locales a la hora de definir políticas generales para combatir la desertización. Es así que, los medios documentales que albergan información clave para el uso del suelo, especialmente en el continente americano, están formados a partir de elementos de acceso y seguridad en la información (Azuela, 2008).

Problemas económicos

Los países en desarrollo en cuestión siguen compitiendo ferozmente el espacio de exportación de productos agrícolas, considerándose como elemento base al rubro financiero de diversos estados gubernamentales, que están apoyados en base a los créditos disponibles. Como resultado, les genera grandes inconvenientes a la hora de invertir recursos suficientes en actividades de desertización (Azqueta et al., 2007).

Problemas institucionales

Según (Withgott & Laposata, 2014) la región de Sudamérica está contenida aproximadamente por 2000000ha, en donde la cuarta parte representa a subsuelos secos, semisecos, secos. Es así, que el doble del total tiene graves problemas de degradación, es decir, alrededor de 378 millones de hectáreas. Esto se complementa con otros ecosistemas que se ven afectados por problemas similares de diversos grados de gravedad. La circunstancia es compleja, en casi todas las regiones del mundo.

Por otro lado, en gran parte de países de América del Sur, los problemas de degradación y desertización afectan a más de la mitad del territorio (Pacheco Torres, 2015); (Mcfarland et al., 2019); (CNUMAD, 1993) ; (Pacheco Torres, 2015); (Meira C., 2013).

El 70% de estas sequías tienen distintas vulnerabilidades y grados de abandono, cerca de 680000 de personas viven aquí, en donde 2400000 están por zonas desérticas las cuales permiten el cubrimiento de un área de aproximadamente 18 millones de km² (Santillo & Coahuila, 2010).

Aproximadamente las tres cuartas partes de los países tropicales áridos, semiáridos y áridos de América Latina han pasado por un proceso de desertización de una forma u otra; el área afectada se estima en 25´.000.000 ha en la zona sur del pacifico, 6.´300.000 ha. La erosión en el suelo representa un elemento importante cuando se desea caracterizar los fenómenos sobre el cambio climático. Es así como, según datos preliminares la erosión afecta al 68% del total en América del Sur, proporción que se eleva al 88% de la tierra en Centroamérica. Se tiene que aproximadamente 10000000ha de cobertura de tierra han sido afectadas por procesos de la tala de árboles y 7000000ha por pastoreo excesivo (Arnau et al., 2001).

Desertización en Ecuador

El problema de la desertización de Ecuador se considera un fenómeno complicado porque afecta a zonas de la producción y directamente a la seguridad alimentaria, siendo de carácter importante en el sector industrial. La tala de árboles, el uso desordenado del suelo, y la aplicación indebida de técnicas agrícolas insostenibles han provocado una

afectación directa a la microbiota del suelo, influyendo a la infertilidad de los suelos y con ello incidiendo en la cobertura vegetal (Withgott & Laposata, 2014).

En el país céntrico del mundo, se producen diversos eventos de la naturaleza así como cerca de 100000ha se están perdiendo, especialmente en flora y fauna, ocasionando muerte de diversas especies acuáticas y terrestres, y la única razón de esto son las malas prácticas de la tierra, prácticas agrícolas inadecuadas y el sobrepastoreo de las zonas montañosas. Este fenómeno no ocurre en la Amazonía del Ecuador y se sabe poco sobre la región de las Galápagos (Morales et al., 2013).

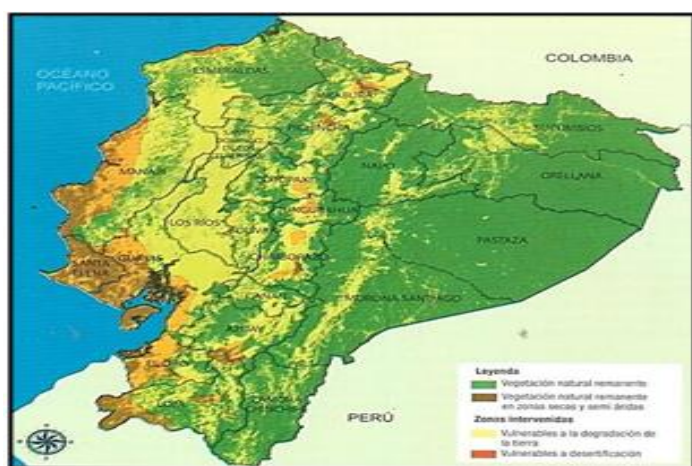
Además, se puede decir que los problemas de la erosión han afectado al ecosistema, problemas fertilidad, deforestación (2,3% anual), áreas agrícolas poco exploradas, poblaciones de alta densidad que amenazan. sequía y desertización para grandes sectores del Ecuador (Ministerio del Ambiente, 2018).

Ecuador ha sido parte de un sinnúmero de proyectos que tienen la finalidad de buscar medios de mejora para los procesos de Desertización desde 1995, y se han realizado varios intentos para identificar áreas donde el abandono y la degradación de la tierra se ven afectados, pero su estudio carece de información y modelos precisos (Azuela, 2008).

Si bien no hay en la actualidad estudios técnicos que permitan establecer medios de afectación de la pérdida de la cobertura vegetal, se especifica que las zonas sensibles de desertización representan alrededor del 4% del territorio del país, es decir, 1.100.000 hectáreas. Además, las áreas más susceptibles a la erosión son aquellas que están sujetas a la pérdida de las zonas arbóreas especialmente nativas. Aquellas provincias perjudicadas por la desertización son de la zona céntrica del país (Meira C., 2013).

Se crearon representaciones graficas que identifican el cambio del suelo en la zona de estudio. Las figuras muestran que, en función a la cobertura vegetal hay varias áreas donde la variación hidráulica puede depender en función de la inclinación del suelo, y del contenido de la materia orgánica, drenaje, etc. El 7% de las áreas tiene alta susceptibilidad, media 45%, pequeña 6% y baja 34% (Guillermo & Guaranda, 2014).

Ilustración 1 Zonas vulnerables a desertización y degradación.



Fuente: (Ruiz & Febles, 2004).

Tabla 1 Cobertura vegetal

Cobertura vegetal y uso del suelo	%	Superficie Hectáreas
Vegetación natural	57,9	14.186.750,00
Zonas deforestadas últimos 20 años	2,6	643.865,05
Paisajes minerales	0,4	94.028,83
Cuerpos de agua	0	2.562,13
Mosaicos de vegetación natural y cultivos	16,2	39.666.177,88
Cultivos permanentes	8,1	1.989.317,76
Cultivos de ciclo corto	7,3	1.793.157,16
Pastos	7,4	1.814.613,12
Zona urbana	0,1	29.797,50
Total	100	24.520.269,42

Fuente: (Santillo & Coahuila, 2010)

Dinámica de la degradación del terreno

En este contexto, vale la pena indicar que entre los años de 1980 y 2010 se perdieron aproximadamente 3,4 ha, esto significa la tercera parte del territorio, cantidad que se añade a la del suelo superficial. De ese valor, la quinta parte del territorio ecuatoriano se encuentra afectado por procesos de erosión de los suelos, y más aún en aquellas zonas con pendientes inclinadas es decir mayor a 15 °C (Nuñez et al., 2019). A la zona sur del Ecuador, estos procesos de destrucción del suelo se han ido en aumento, los cuales han sido afectados principalmente en aquellas zonas donde es más común los desastres naturales como deslizamientos por masas o por inundación (UNDESA & UNITAR, 2020).

Los suelos degradados son casi igual en proporción de masa volumen con los que corresponde a suelos altamente degradados, concentrados principalmente en el oriente, siendo los principales contribuyentes, los mismos que corresponde al 46,1% del total. Agregando a la provincia costera de Esmeraldas, esta participación es casi el 55% del total del país. En las colinas, Tungurahua, Pichincha representan la máxima cantidad de erosión del suelo y retención hídrica (Gorbachov, 2000).

Por otro lado, en gran parte de los territorios de la zona norte y sur del Ecuador, la erosión se encuentra sujeta a una degradación severa. Cañar ocupa el primer lugar con 36%, seguido del 5% del suelo total con alta degradación (Meira C., 2013).

Proceso de desertización en Ecuador

Los inconvenientes que ocasionan la desertización, la aparición de superficies áridas, de forma de reducción del caudal que atraviesas el Oriente del Ecuador no son nuevos. A lo largo de los años, ha habido problemas de sequía, salinización y finalmente

desertización todos los días debido a condiciones inadecuadas de uso de la tierra, malas prácticas agrícolas, tala de bosques originales para combustible o construcción (Ruiz & Febles, 2004).

Los procesos de erosión del suelo son una característica importante en la pérdida del componente superficial de la cobertura terrestre. Este problema afecta aproximadamente al 50% del territorio del país, estando el 15% de estos territorios ubicados en medio del entresuelo de la calle y otro 35% en las montañas de la Serralada Occidental hacia el Océano Pacífico, y los de las sierras del oriente hasta la Amazonia del Ecuador (Santos Saavedra & Costro Romero, 2012).

Las laderas inclinadas están representadas por tener un relieve irregular, influyendo al microclima y el hecho de que se constituye como un suelo destinado a la agricultura, que acelera la erosión por malas prácticas humanas. (Kumar, 2016).

Ocupación del territorio ecuatoriano

El aumento poblacional en términos demográficos en la última década ha ejercido una presión excesiva sobre toda la población en ciertas áreas, especialmente sobre el terreno, hasta que se agotan los recursos para satisfacer sus necesidades. Asimismo, se ha producido un cambio repentino en el uso de la tierra hacia la ganadería, desplazando poblaciones e incorporando áreas de uso agrícola en declive, así como grandes áreas costeras y la propuesta Amazonia para la producción de cultivos de exportación para consumo interno (Villacís & Carrillo, 2012). Los cambios que se han dado, permite el aumento de zonas de agricultura y vegetación nativa sobre un suelo determinado, los mismos que desafortunadamente se abandonan después de su uso, lo que permite el desarrollo de la desertización (MIDUVI, 2015).

Cantones del Ecuador más afectados el proceso de la desertización

Napo, Loja, Morona Santiago y Tungurahua tienen valores superiores al 50%, en lo que respecta al cambio climático, este fenómeno no afecta a la mayor parte del Ecuador durante los períodos analizados (2001-2008 y 2046-2050), esta situación puede cambiar drásticamente en casos posteriores (van der Linden, 2014). Los datos que están sobre los medios artificiales representan un riesgo inminente sobre las zonas de protección, porque influyen en los procesos de la desertización, y al tiempo esto ocasiona que se abandonen (Ministerio del Ambiente, 2004).

La provincia de Tungurahua pertenece al grupo de provincias menos afectadas por el desierto. Dentro de la provincia, hay un área de captación de Ambato de 137.000 ha, lo que representa el 40% de la región provincial (Ministerio del Ambiente, 2004). La falta de un adecuado manejo de los recursos naturales y el déficit hídricos pasaron a oscilar entre 250-500 mm, clase que representa una posible referencia de desertización (Cornejo, 2014).

Clima de Ecuador

La variación de los elementos climáticos, dan lugar a diversos cambios, los mismos que están determinados por variaciones en la precipitación, temperatura, evaporación y velocidad del viento, los cuales son determinantes para caracterizar los fenómenos meteorológicos (López et al., 2012).

La zona costera sur representa menos de 500 mm de precipitación con una variación de precipitación especialmente en las precipitaciones irregulares. Los valores de las radiaciones de calor varían entre 15 y 27,5 °C (INAMHI, 2016).

El clima de montaña ecuatorial corresponde a áreas por encima de las 3.000 altitudes en la región andina, al sur del Ecuador con variaciones mínimas que pueden bajar a menos de 0° C (Santos Saavedra & Costro Romero, 2012).

Las lluvias anuales varían entre 50 y 1850mm representando el 95% de la humedad relativa, pero sin embargo, cabe señalar que la desertización no solo está asociada con la reducción de las precipitaciones, sino también con la pérdida de la productividad del suelo (INAMHI, 2016).

Estudios de cambio climático en Ecuador han indicado diversos medios sintéticos que indican la reducción acelerada de las precipitaciones, esto es un leve aumento del calor, influyendo directamente en la pérdida de la vegetación y aumento en la fertilidad de los suelos que se dedican principalmente a la producción (Pesántez, 2013); (Del et al., 2009).

Erosión del suelo

Varios parámetros afectan la degradación del suelo, los cuales están relacionados con el tipo de proceso de corrosión y la magnitud del fenómeno por dos clases principales de factores: por un lado, los factores directos, es decir, el grado de agresión de los factores, las condiciones. Clima y, por otro lado, las condiciones, es decir, el frágil estado previo del entorno geográfico en disputa (Vilela et al., 2020).

Para el segundo grupo de factores, está claro que cuanto más débil es el suelo, más expuesto a la erosión. Sin entrar en detalles, dado que este tema es otro tema de comunicación, cabe señalar que la extensión de la fragilidad del suelo anterior está en función de los elementos de la naturaleza del sustrato y su nivel de meteorización, el valor

de una pendiente. La naturaleza y densidad de la cubierta vegetal, a la que se suman diversos factores externos, de origen antropológico general, que puede incluir una referencia a los bosques, la gestión inadecuada de la tierra y el pisoteo excesivo del ganado. Pues se entiende de manera clara, que los procesos de desertización influyen no solo al cambio de los microclimas sino a la seguridad alimentaria (FAO, 2008).

Desertización en la Provincia de Azuay

La provincia del Azuay se caracteriza por estar compuesta por diversos cantones tanto rurales como urbanos, pero es en el cantón de Cuenca, es en donde se dan los mayores cambios de estructura, debido que es aquí en donde se encuentra el parque industrial, las diversas empresas del sector que influyen directamente en la contaminación ambiental. Por otro lado, las áreas rurales es en donde se dan las mayores actividades de producción y de protección, pues estas áreas deben ser manejadas de manera técnica, con procesos que determinen el comportamiento del ecosistema en función al desarrollo poblacional (Webster Bernal, 2010).

Ilustración 2 Mapa de la Provincia del Azuay



Fuente: (INAMHI, 2016); (Vargas Cuervo & Gómez, 2003).

La provincia del Azuay, que abarca más de 8.000 kilómetros cuadrados, tiene una variedad de elevaciones y climas y microclimas, desde llanuras y montañas hasta cúmulos occidentales y ascendentes, respectivamente, hasta la etapa helada que la sobrepasa, cubierto por un pastizal fuerte, casi artificial, que protege la fuente de dos embalses que desembocan en los dos océanos más grandes del mundo: el Paute, que desciende al Amazonas y el Jubones, al Océano Pacífico (Prefectura de los Rios, 2013).

Las etapas ecológicas medias se diferencian por elementos del viento y evaporación los cuales direccionan los pequeños valles de arroyos, cañones gigantes, arroyos y manantiales permanentes y estacionales, haciendo de su paisaje un punto de partida para áreas geográficas, etnológicas, estudios etc. prehistórico, sociológico, etc. (Geoecuador, 2008); (Prefectura de los Rios, 2013).

Azuay ofrece una diversidad climática, hace frío en la meseta, andina o paramal; en los valles Cuenca, Sigsig, Girón y Gualaceo es moderado; y en el Valle de Yunguilla y en la zona occidental hay una región tropical subandina (Ministerio del Ambiente, 2004).

Ecosistemas de la Provincia de Azuay

La provincia de Azuay, que incluye turba en el rango de altitud promedio de 3.200m, que tienen diversos ecosistemas como los humedales, los cuales permiten generar un equilibrio térmico de los nichos ecológicos, fortaleciendo la vegetación, y las áreas verdes y cultivables, que son desde la forma y fondo originarias del lugar (MOU, 2010); (González & Sánchez, 2020); (Ministerio del Ambiente, 2004).

El cajal tiene una extensión territorial de 22 km² y constan 28 bosques protegidos, principalmente en el cantón de Cuenca, el cual produce aproximadamente el 60% del agua destinada al consumo humano en Cuenca (Ministro Ambiente, 2018).

Recursos naturales

El suelo de la zona de estudio es ideal para el desarrollo de los cultivos, especialmente de aquellos que se han adaptado a fuertes niveles de temperatura o calor, y también aquellos que se han desarrollado a fuertes precipitaciones, esto no quiere decir bajo ningún criterio que las especies que crecen a bajas precipitaciones no se puedan desarrollar, pues estas especies se adaptan al tipo de suelo ya sea ácido, básico o neutro, siempre y cuando se creen las condiciones ideales para su crecimiento y evolución en función al desarrollo longitudinal de las especies, especialmente sobre la vegetación que por su característica morfométrica cada año se ha ido perdiendo cada vez más, pues es importante encontrar las técnicas adecuadas para un equilibrio del medio ambiente (León, 1992).

Hay yacimientos de mármol y arcilla para minería, los mismos que se concentran principalmente en los sectores textil, neumático y cerámico, más que en la producción de alimentos, artesanías y bebidas alcohólicas. Es determinante decir que el sector hidroeléctrico se concentra en gran medida en los cantones del Azuay, pues el caudal hídrico es de gran importancia y su cantidad varía en función del tiempo de retención del recurso hídrico (Ministro Ambiente, 2018).

Los bosques afectados están formados principalmente por pinos, arbustos y espinas, eucaliptos, plantas como el cilantro. Otros porcentajes producidos son incendios naturales, como rayos (Alvarez-Vera et al., 2018); (Minga, 2017); (Ulloa et al., 2008); (Pacheco Torres, 2015); (Merino, 2009).

Además, posee el valor nacional y regional más alto en un área dedicada a alguna forma de producción agrícola o asentamientos humanos. La superficie de producción nacional representa el 38,7% del total de los continentes y el 51,7% en Azuay, de manera específica los pastos plantados tienen el (6.1%). Hay varios cultivos pequeños, como plantaciones forestales (Santillo & Coahuila, 2010).

También son distintas intervenciones (> 1%) y asentamientos humanos (1%). El Índice Provincial de Capital Natural (INC) se encuentra por debajo del valor nacional en términos de conservación de la biodiversidad (62,7 y 72,8), aunque es más alto que en otras provincias montañosas y en la costa del Ecuador, donde los procesos de degradación son mayores (Geoecuador, 2008); (Leon, 1992).

La dinámica del uso de la tierra en Azuay se puede ver a partir del desarrollo provincial del Ecuador se está experimentando un crecimiento significativo en algunos sectores de la producción agrícola y en algunos productos elaborados con recursos naturales. De 1993 a 2001, el cultivo de flores aumentó significativamente en más del 500%. Los dos sectores que declinaron entre 1993 y 2001 fueron la minería y la extracción, aumentaron casi un 50% y la producción de papel casi un 100% (Pesántez, 2013); (Azqueta et al., 2007).

Sin embargo, según un informe de la Prefectura de Azuay, existen 205 concesiones mineras en la provincia, incluidas 64 en Cuenca, 30 en Gualaceo y 25 en Pauta. A nivel territorial, se encuentra la mayor densidad de concesiones mineras de la provincia en la zona comprendida entre Cuenca, Chordeleg, Gualaceo, Paute, El Pan y Sevilla de Oro. El Banco Central observa que el sector minero y extractivo cayó un 7% entre 1993 y 2001, mientras que el sector de la minería manufacturera (no metálica) creció 130% (Arnau et al., 2001).

Diagnóstico multitemporal

El diagnóstico multitemporal es importante porque permite caracterizar diferentes zonas de interés, en función a diversos parámetros multispectrales, desde el avance de la frontera agrícola hasta las zonas que han sido afectadas por los deslizamientos, derrumbes o inundaciones. Debido a que se pueden interpretar esa información de manera espacial, y generar base de datos para la toma de decisiones (Silva Padilla & Rivera Salas, 2016).

Uno de los elementos determinantes para la evaluación son las imágenes satelitales de Landsat o Sentinel, estas segundas son de gran alcance e importancia especial como la nitidez (GEOPLADES CIA. LTDA., 2009). En si este tipo de imágenes satelitales ayudan a generar diferente tipo de combinación que lo que hacen es influir en el correcto desarrollo de los sistemas geoespaciales, y el aprender a utilizar estos es realmente lo que diferencia un nivel espectral de oro, porque a más de monitorizar los medios de interés, clasifica diferentes zonas de evaluación (Sanabria, 1970).

En la academia, los análisis espaciales se han usado a través de los años para diversos usos tanto en el campo ambiental como en el social, porque los sistemas de información geográfica han permitido generar valores de utilidad para la toma de decisiones, así como la identificación de los cuerpos de agua y la vegetación, porque todos los medios que nos rodea involucra al ecosistema y entender la funcionalidad de ella es lo que realmente marca una diferencia (Bustamante, 2003).

El programa LANDSAT

Las imágenes satelitales del sensor Landsat 7 y 8 son muy usadas dentro del campo ambiental, pero es claro que poseen errores espectrales, como los topográficos, atmosféricos u radiométricos, para lo cual es necesario realizar las debidas correcciones dentro del marco topográfico. Para sus correcciones se utilizan un sinnúmero de programas de utilidad como el ENVI y el Qgis, que tienen la funcionalidad de recuperar la información que se ha perdido en el transcurso de la generación de la información (Ariza Alexander, 2013); (García, 2000). Al recuperar la información lo que permite es tener un panorama claro sobre el monitoreo espacial y distribución de la funcionalidad de las áreas que han sido erosionadas por actividades antrópicas (INEGI, 2016); (Ulloa et al., 2008); (INEGI, 2016).

Cuando se han recuperado los errores espectrales, se pueden manejar de una manera más precisa la información, pues al momento de realizar combinaciones se puede caracterizar diversos medios que puede ser el recurso hídrico, contaminación atmosférica sobre suelo, aire o agua, delimitar las áreas potencialmente afectadas por los desastres naturales así como las zonas que se encuentran en eventual peligro, caracterizando la sensibilidad alta, media o baja, según la característica espectral que se le haya asignado (Arnau et al., 2001); (Cascante-Almeida et al., 2019).

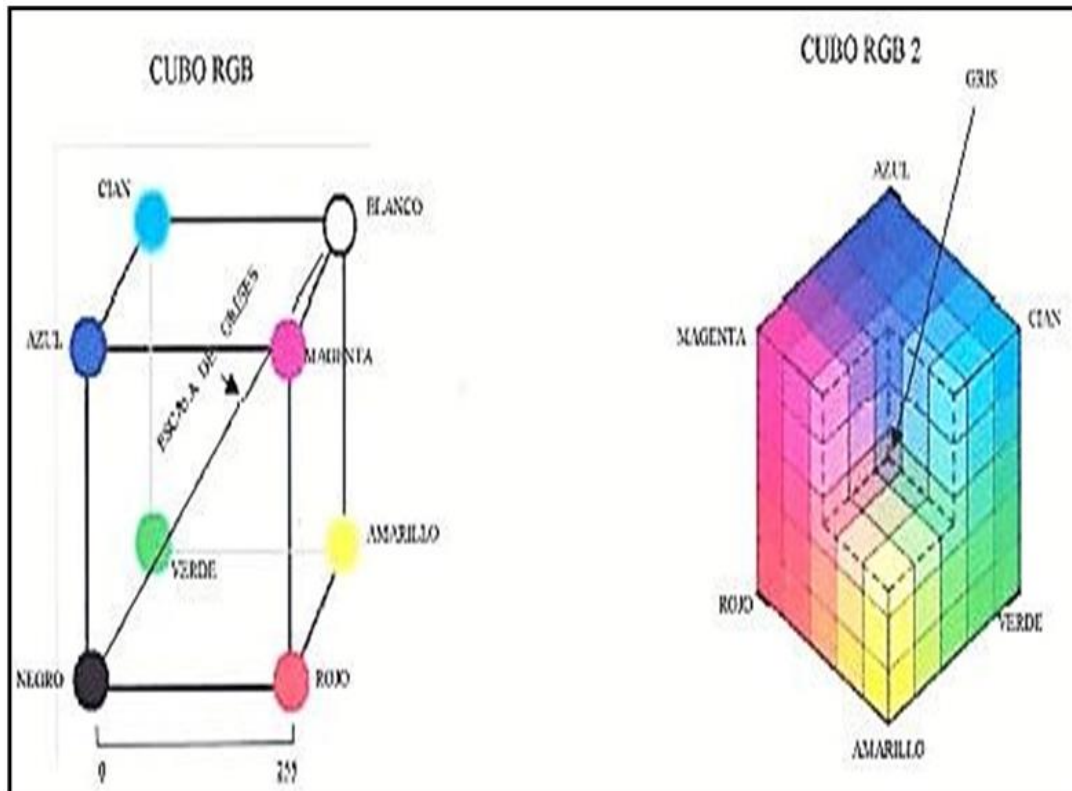
Tabla 2 Características técnicas de LANDSAT 8

Atributo	Descripción
Tipo de Producto	Imagen L1T (Precisión, Terrain Corrected) – ortorrectificada
Formato de Imagen	Archivo GeoTIFF Metadato en formato texto
Espaciamiento de píxel	15 m Pancromático 30 m Multiespectral
Tamaño de Producto	185 x 185 km
Correcciones Geométricas	Proyectadas a un datum y proyección cartográfica, usando un Modelo Digital de Elevación (SRTM) y puntos de control terrestre (GCP)
Datum Horizontal	WGS84
Proyección Cartográfica	UTM (Universal Transversa de Mercator)
Bandas Espectrales	11 bandas: Aerosol costero (Coastal Aerosol) 430 – 450 nm Azul (Blue) 450 – 510 nm Verde (Green) 530 – 590 nm Rojo (Red) 640 – 670 nm Infrarrojo cercano (NIR) 850 – 880 nm SWIR 1 (SWIR 1) 1570 –1650 nm SWIR 2 (SWIR 2) 2110 – 2290 nm Pancromático (Pan) 500 – 680 nm Cirrus (Cirrus) 1360 – 1380 nm Infrarrojo térmico (TIRS) 1 10600 – 11190 nm Infrarrojo térmico (TIRS) 2 11500 – 12510 nm

Fuente:(García, 2000); (Alonso Sarría, 2006)

Este tipo de imágenes satelitales poseen 7 bandas espectrales, las cuales se pueden realizar combinaciones en función a diversas aplicaciones, ya sea para monitorear el agua y generar base de datos sobre eventos históricos que son de interés social o estructural de las naciones. Es así como muchos organismos de control utilizar esa base de datos para generar medios de información a la ciudadanía como es temperatura, precipitación o evaporación. Dicha ciudadanía utiliza esa información ya sea para cultivos como para precaución del tiempo (Bustamante, 2003); (González & Sánchez, 2020) (Alvarez-Vera et al., 2018); (Mieza et al., 2012); (Ariza Alexander, 2013).

Ilustración 3 Combinación de color

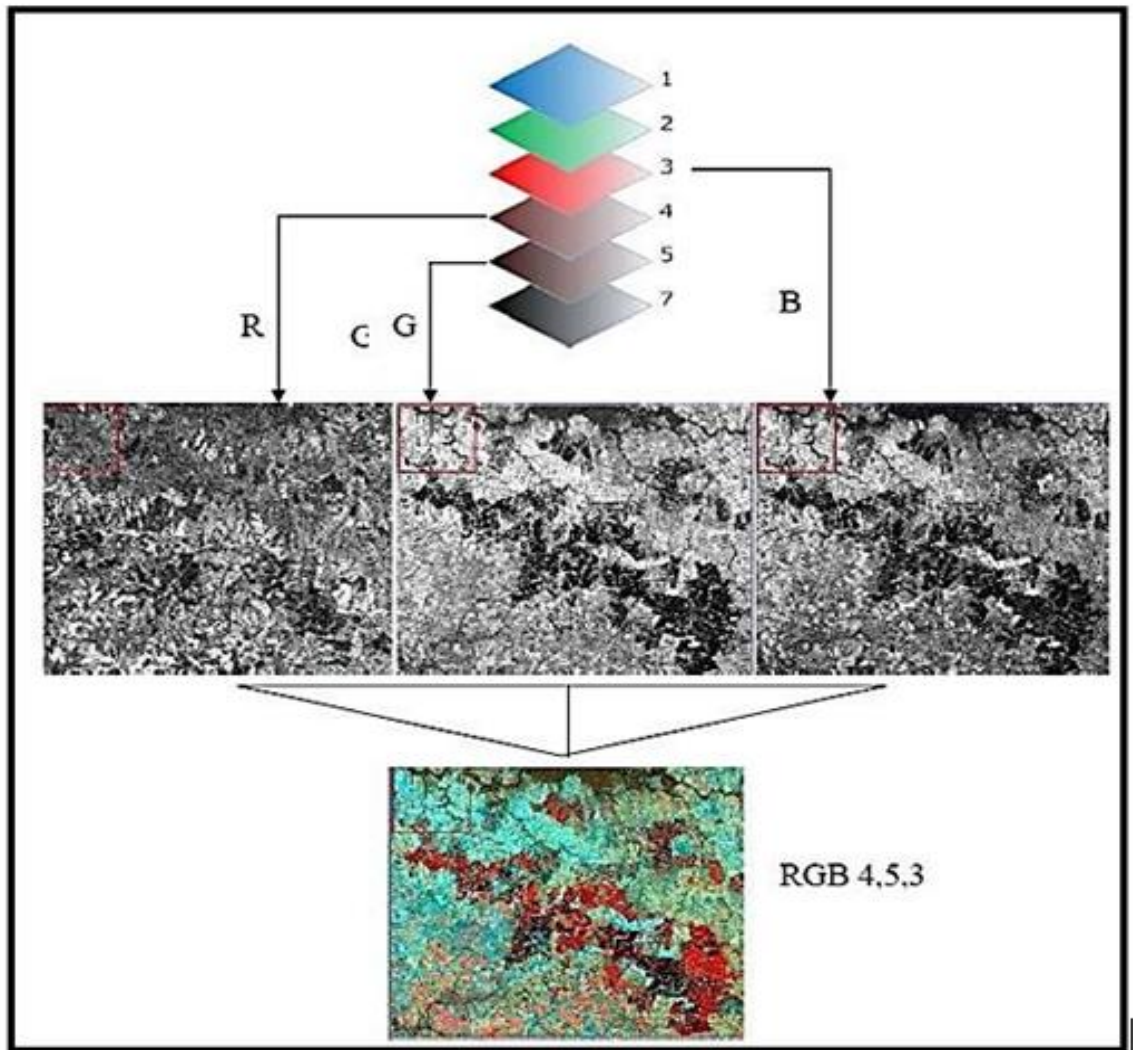


Fuente: (Azqueta et al., 2007); (Rodríguez & Arredondo, 2005).

La combinación de colores es importante porque permite diferenciar las áreas de interés, como son verde las áreas de vegetación, azul las zonas de agua o recurso hídrico, o también llamado las cuencas hidrográficas, celeste las zonas de protección, etc. Es así, como a cada uno se le da diferentes zonas de caracterización e identificación, permitiendo entender de mejor manera la dinámica del ecosistema.

Otro elemento importante es la precisión de esos colores, porque no se le puede asignar colores arbitrariamente, se debe manejar un criterio técnico, para lo cual se utilizan los manuales de teledetección, publicados por la academia, en la que constan diversos artículos científicos, publicados en revistas de gran prestigio como SCOPUS.

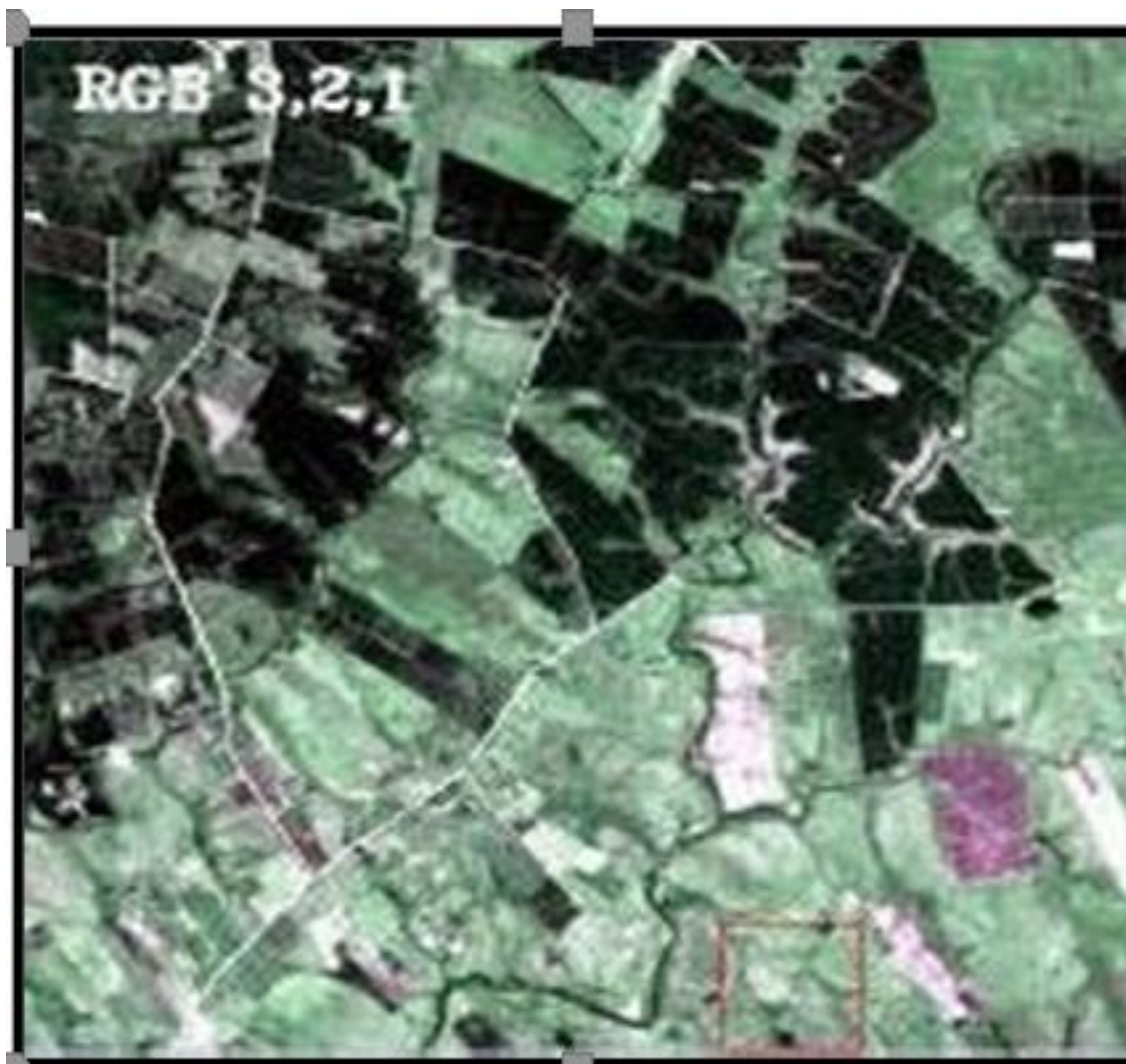
Ilustración 4 Bandas Landsat



Fuente: (Rodríguez & Arredondo, 2005).

Las imágenes satelitales cuando se han realizado las respectivas combinaciones presentan en color real, verdadero o en color falso, lo cual permite identificar de manera más precisa las zonas de interés. Es así que, cuando se habla de color verdadero, se muestran las áreas tal cual se pueden observar en campo, con balances en tres dimensiones lo que ayuda a la visualización de ese estudio en particular, y mejor el entorno para la toma de decisiones (INEGI, 2016).

Ilustración 5 Color real (Bandas 3, 2,1)



Fuente: (Alonso Sarría, 2006)

En cambio, las combinaciones en falso color le asigna coloraciones no acorde a la realidad, pero si permite que se pueda identificar las áreas de interés, lo interesante aquí es que mejora el procesamiento de este tipo de imágenes, y se le puede añadir espectrales geospaciales, que ayudan al monitoreo especialmente del suelo desnudo, que identifica las áreas que se han erosionado por la tala de árboles, y el mecanismo de autocontrol de un sector en específico (García, 2000).

Ilustración 6 Combinación en falso color (Bandas 4, 3,2)



Fuente: (Alonso Sarría, 2006)

Combinación en falso color

Las combinaciones en falso color pueden lograr que las relaciones espaciales se den de mejor manera, pues acoplara variaciones de colores mayores a 500, lo cual ayuda a que no se produzcan confusiones en el proceso de la identificación de las zonas de interés (Silva Padilla & Rivera Salas, 2016).

Ilustración 7 Combinación en falso color (Bandas 5, 4, 2)



Fuente: (INEGI, 2016)

Otras combinaciones en falso color

Se puede utilizar cualquier otra combinación entre bandas, seleccionando tres a tres cada una de las bandas. Las zonas que mejor se caracterizan en falso color son las que están bajo el procesamiento de imágenes satelitales Sentinel 2 A, porque tienen una resolución mayor y no necesitan correcciones atmosféricas por su buen contraste de nitidez en las zonas de interés.

Tabla 3 Otras combinaciones en falso color

Combinación	Tipo de estudio
357	Erosión de suelos
345	Sectores ambientales
347	Sectores ambientales
234	Sectores ambientales
157	Clasificación de cubierta
135	Geología
354	Clasificación de suelos

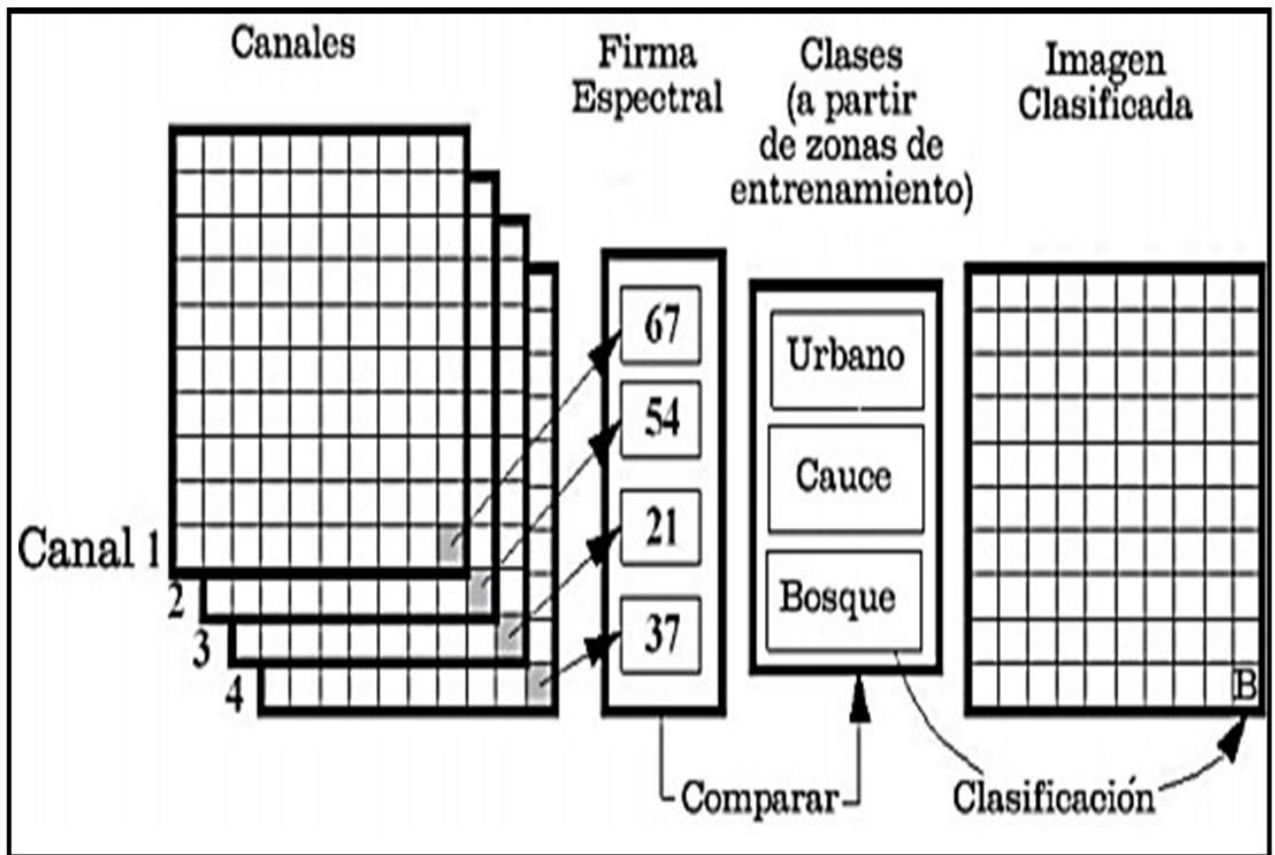
Fuente: (Instituto Geográfico Nacional, 2018)

Clasificación Digital de Imágenes Satelitales

La clasificación de las imágenes satelitales es de gran relevancia, porque las identifica en diversas variantes ya sea zonas agrícolas, forestales, cultivables o de conservación, con el respectivo grado de sensibilidad, lo cual ayuda a interpretar los fenómenos ambientales que se estén dando en la zona de estudio, siempre y cuando esas variables sean cuantificables (Esri, 2021); (Mena Frau et al., 2011).

Existen diferentes tipos de clasificación, entre las que se puede decir es la no supervisada, y supervisada, la diferencia entre una de la otra es que cada una varía según el tiempo de observación, es decir cuando existe monitoreo o la zona de estudio se conoce se llama como supervisada, porque se puede verificar cada zona de interés, y reclasificar aquellos polígonos que se han identificado de manera errónea. Por otro lado, cuando no se conoce el área se dice que es no supervisada, porque funciona a partir de lo que no se conoce, es decir no se puede verificar o corregir los polígonos mal clasificados, este método solo se utiliza con imágenes satelitales de alta resolución como Sentinel 2 A (Paccini Sánchez, 2018).

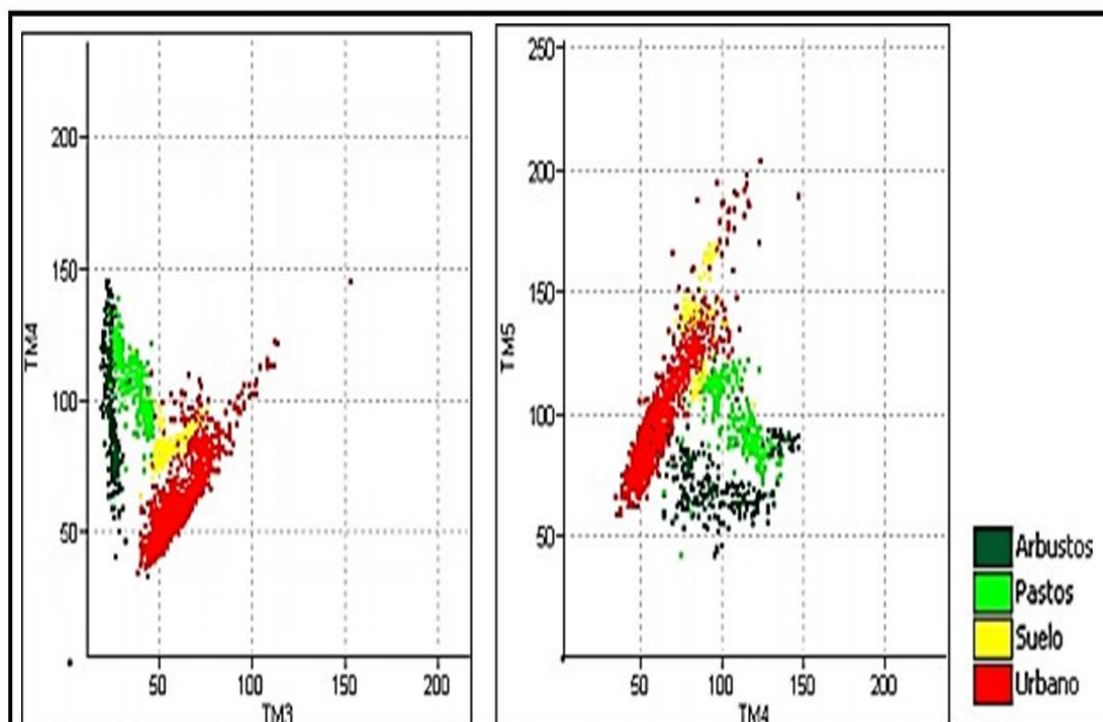
Ilustración 8 Interpretación de la sensibilidad espacial



Fuente: (CNUMAD, 1993)

La clasificación que se realiza a las imágenes satelitales se lo realiza tanto manual como automático, se recomienda que sea de la segunda forma porque reacciona en función a un algoritmo matemático, y al trabajar con datos espaciales, la resolución mejora de manera prudencial, y el análisis estadístico se puede realizar mediante la programación en ARCGIS, lo cual mejora la confianza, y al calcular la eficacia del método, el nivel de errores sería mínimo (INEGI, 2016).

Ilustración 9 Gráficas de dispersión de áreas



Fuente: (Pucha-cofrep et al., 2017)

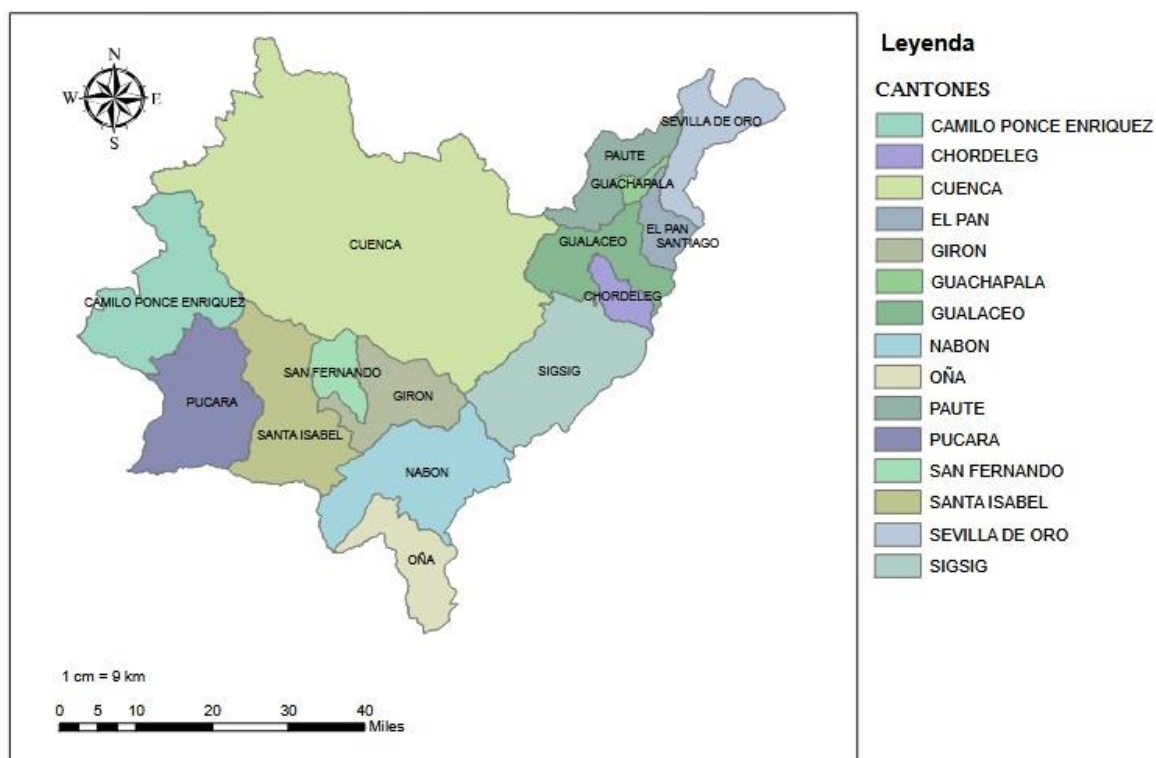
El análisis estadístico que se aplica para este método es en base a la dispersión de los datos, si esos datos se alejan demasiado a la curva de calibración, la metodología que se usó no tendría validez, pero si se aleja, su eficacia sería mayor, dándole valor agregado a la dinámica de los datos.

V METODOLOGIA

Caracterización del área de estudio

Ilustración 10 Área delimitada

CANTONES DE LA PROVINCIA DEL AZUAY



Fuente: Autores

La provincia se encuentra ubicada en el Ecuador, la misma que está conformada por 15 cantones que se encuentran emplazados en una extensión de alrededor de 8.492,76 Km². Además, está delimitada por las zonas verdes y de protección como es el Cajas.

Su población se encuentra distribuida territorialmente de manera inequitativa, ya que el cantón Cuenca alberga alrededor del 71 % de la población total de la provincia (Gobierno, 2017). A continuación, se presenta algunos datos generales.

Tabla 4 Datos Generales provincia del Azuay

Datos generales		
	Latitud	-2,7138
Coordenadas	Longitud	-78,8892
	Altitud	2100 <u>m s. n. m.</u>
Capital		Cuenca
Población		881394 hab.
Superficie		8492.76 <u>km²</u>
Subdivisiones		15 catones
Densidad		107,63 hab/km ²

Fuente:(INAMHI, 2016)

El clima de la provincia está determinado por diversas zonas diferenciadas como: paramos, bosques secos, bosques húmedos, etc. Sus rangos de temperatura promedio varían entre los 13°C y 14°C (Ministerio del Ambiente, 2018).

Mediante el uso de herramientas tecnológicas SIG, se realizará la delimitación de área de estudio para ello se utilizará programas de información geográfica como Google Earth y ArcGIS 10.6 ya que estos programas nos permiten la elaboración de mapas a diversas escalas y proyecciones. Al mismo tiempo se empleará un muestreo aleatorio simple ya que este método nos permite elegir al azar cualquier cantón o parroquia para el muestreo, sin duda una de las ventajas de este método es que cualquier zona tiene las mismas posibilidades de ser elegida (Cornejo, 2014).

Variación del suelo

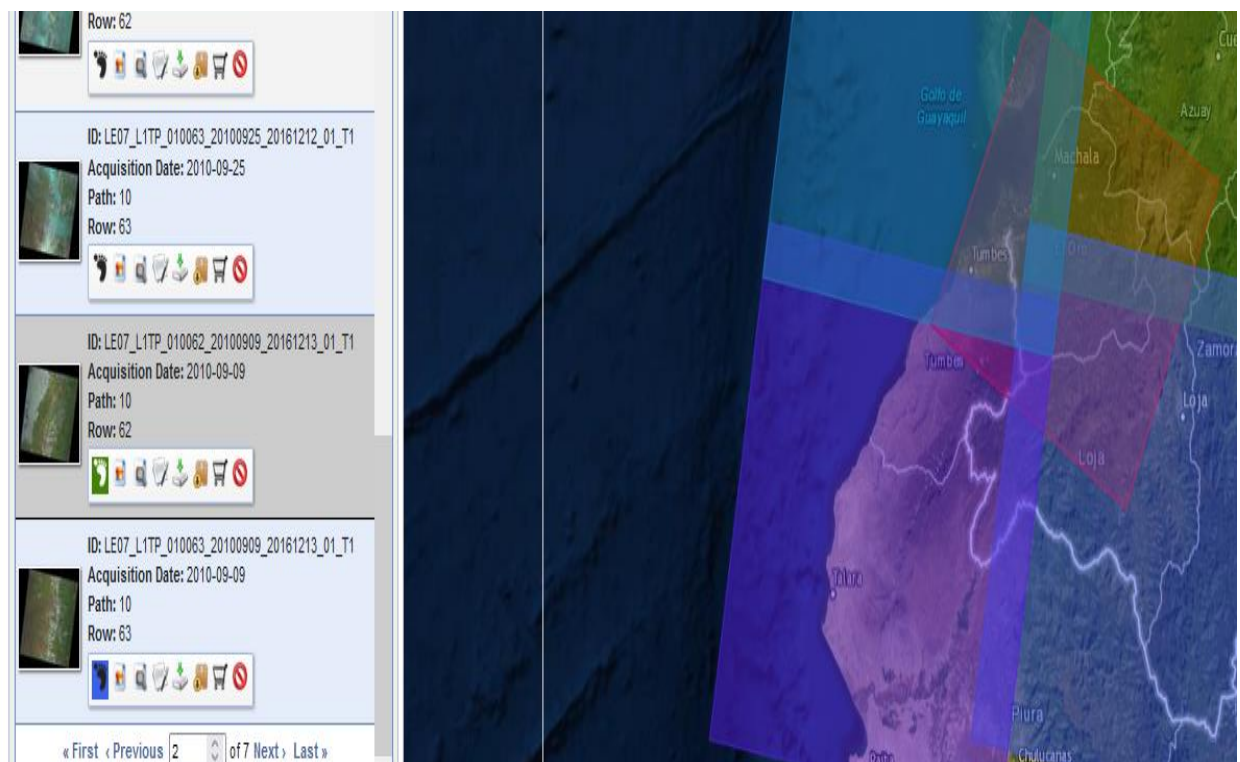
El suelo se consideran importantes dentro del campo medioambiental, ya que permiten identificar la contaminación ambiental, debido a las diferentes actividades

antropicas, las mismas que a lo largo del tiempo han tenido repercusiones sobre el ecosistema, alterando los nichos ecologicos. Es por ello, que un medio usado para identificar dichos rasgos es la teledeteccion, la cual utiliza informacion espacial mediante Landsat 7 (INEGI, 2016).

Obtención de información espacial

Las imágenes satelitales se descargaron del portal Earth Explorer correspondiente a la provincia del Azuay, con bajo contenido de nubes, con el fin de que la informacion contenida no sea cubierta por la nubosidad de la atmosfera, para lo cual se obtuvo 4 imágenes satelitales por año.

Ilustración 11 Adquisición de imágenes satelitales



Fuente: Autores

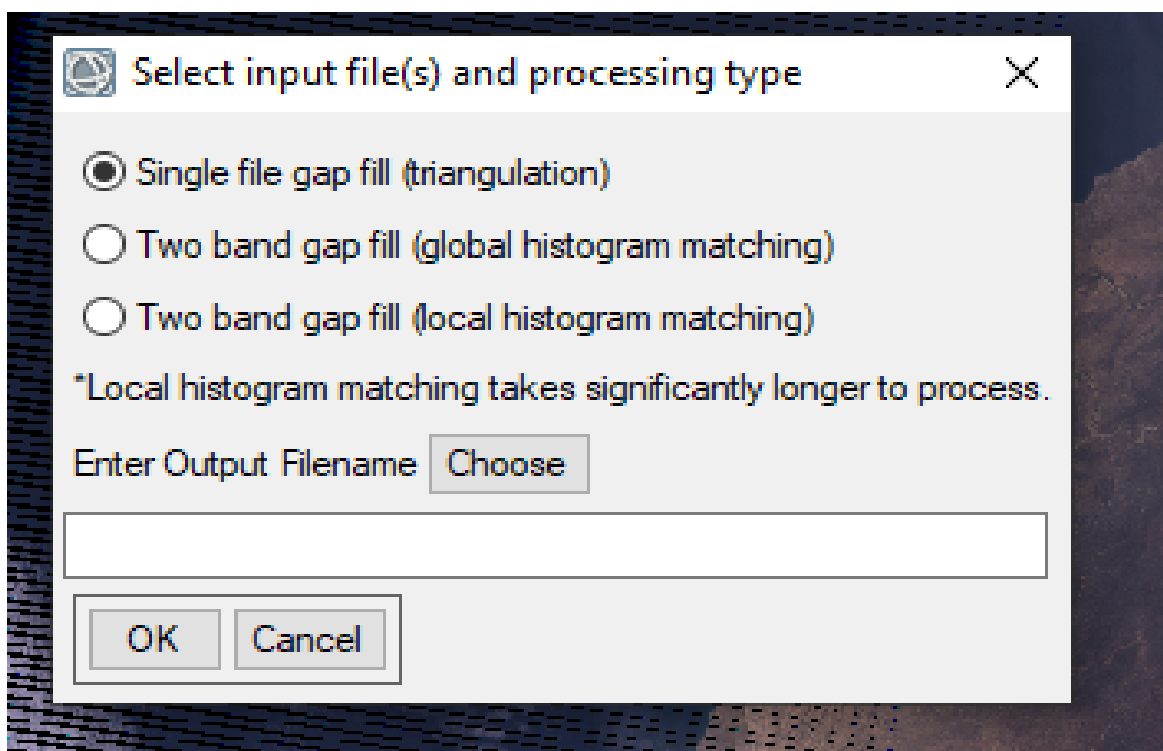
Corrección espectral

Este tipo de análisis se da ya que por naturaleza presenta la información espacial errores espectrales, para lo cual fue necesario corregirlas, es por ello por lo que primero se realizó una corrección topográfica la cual nos permitió recuperar los valores de reflectancia, eliminando el efecto pixelado. Seguidamente, se recupera rangos de reflectancia mediante una corrección radiométrica y finalmente se realizó una corrección atmosférica volviendo los valores de reflectancia a espectrales, eliminando el efecto nuboso de las imágenes satelitales. Con dichas correcciones, se recuperó la información perdida de las imágenes satelitales.

Corrección topográfica

Para la corrección topográfica se utilizó el software Envi Classic 5.3, para lo cual fue factible la herramienta gap fill, debido a que permitió recuperar los valores de reflectancia que se perdieron en la adquisición de la imagen satelital.

Ilustración 12 Herramienta Gap Fill

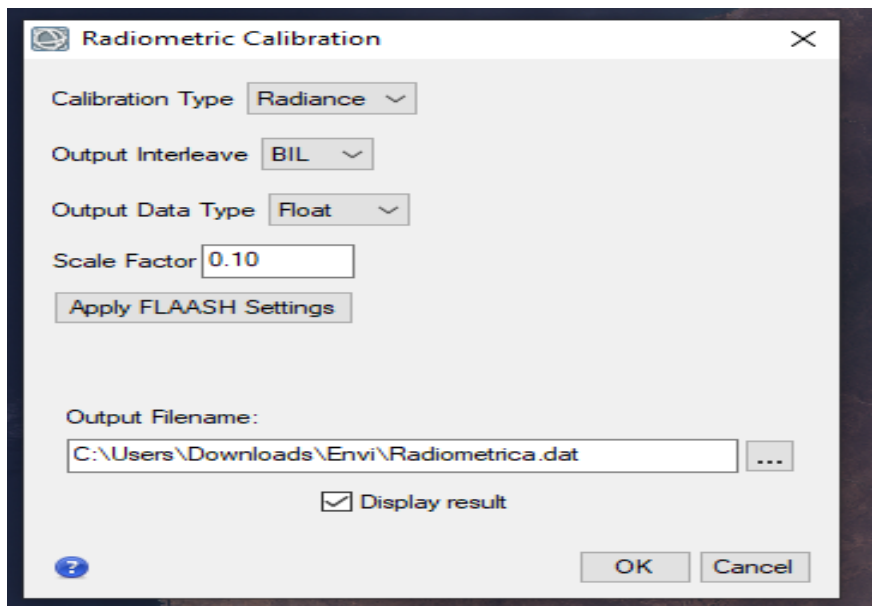


Fuente: Autores

Corrección radiométrica

Una vez que se generó la corrección topográfica se usó la misma para la radiométrica, mediante la herramienta radiométrica, la cual convirtió los valores espectrales en radiancia, recuperando la información de cada espectro satelital.

Ilustración 13 Herramienta Radiométrica

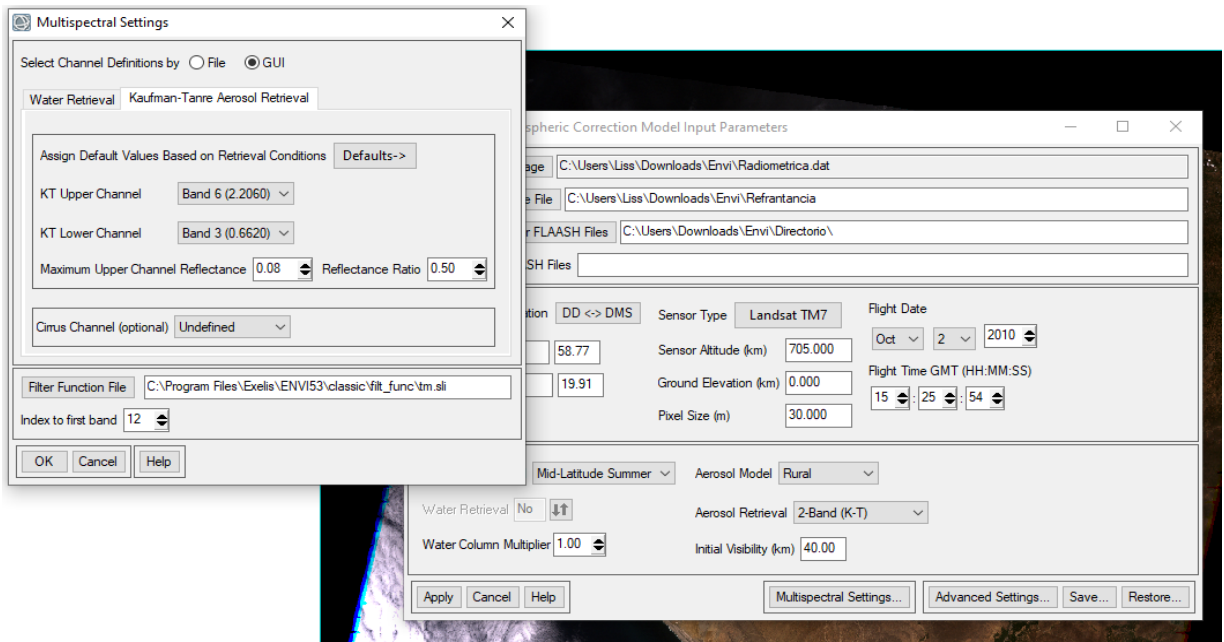


Fuente: Autores

Corrección atmosférica

En base a la corrección radiométrica se corrigieron atmosféricamente, con la ayuda de la herramienta flash atmosferic, la cual elimino el efecto atmosférico sobre la corrección radiométrica, dando mayor visibilidad a la imagen satelital.

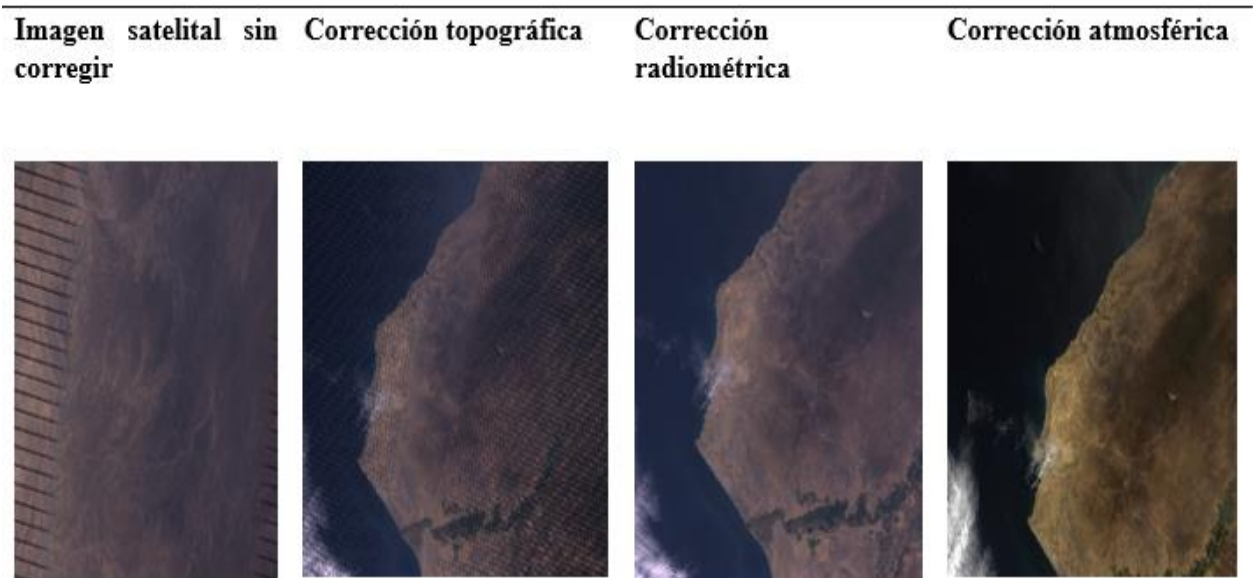
Ilustración 14 Herramienta Flash Atmosferic



Fuente: Autores

Luego de realizar las correcciones enunciadas anteriormente se obtuvo las imágenes satelitales corregidas (Ver ilustración 5)

Ilustración 15 Imagen satelital corregida



Fuente: Autores

Identificación de regiones de interés

Para determinar las zonas de clasificación, fue necesario generar una combinación espectral basado en el estudio presentado en el año del 2014 por el Ministerio de Agricultura, cuya combinación fue de 5-4-3, la cual permitió identificar diferentes áreas de interés.

Ilustración 16 Combinación espectral

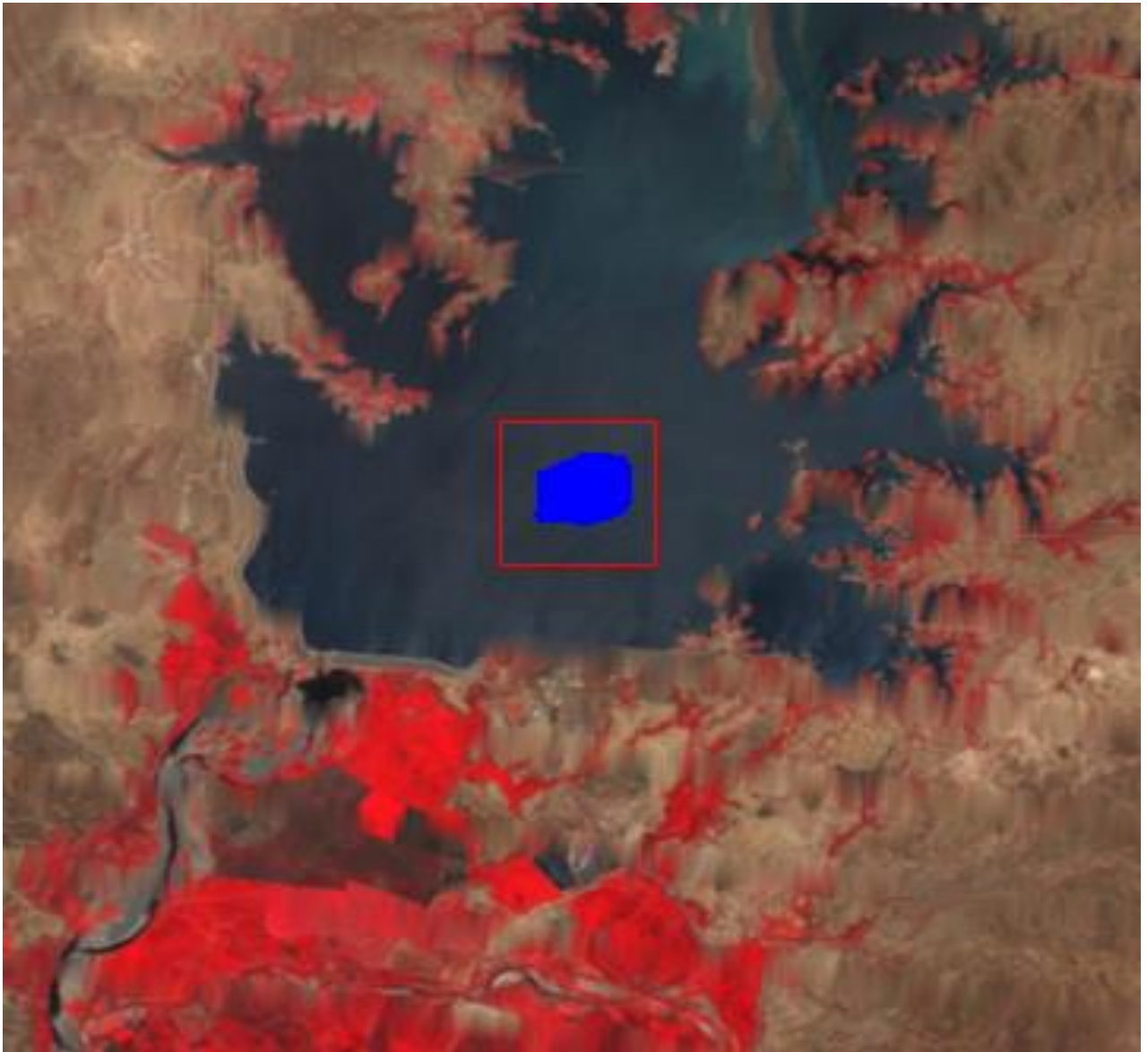


Fuente: Autores

Generación de ROIS

Una vez que se realizaron las combinaciones espectrales se generaron diferentes zonas de identificación, que fueron el agua, zona urbana y una zona sin identificación, esta última caracterizaron aquellos lugares que no tienen ningún rango de clasificación a las 6 anteriores. Además, fue importante usar el multi zoom del software ENVI, para no cometer errores en la generación de ROIS. Consecuentemente, para que la identificación sea adecuada los índices de separabilidad se obtuvieron en el rango de 1,9 a 2.

Ilustración 17 Rois



Fuente: Autores

Clasificación de imágenes satelitales

El índice de separabilidad fue fundamental antes de la clasificación supervisada, ya que aseguro confiabilidad de las regiones de interés, seguidamente se clasifico recortando el área de estudio. Consecuentemente, se vincula con Google Earth Pro, para verificar las zonas de interés. Luego se convirtió en formato tif para llevarlo al ArcGIS.

Agrupación de polígonos

En el software ArcGIS se manejó, manejando la información en formato ráster se lo llevo a formato de polígono, eliminando aquellas áreas menores a 1ha, las cuales no

tienen incidencia en el mapa, seguidamente se unió los polígonos mediante la herramienta disolve por gricode. Seguidamente, se verifico que cada polígono corresponda a la clasificación que se generó, para luego obtener finalmente los datos temáticos de variación del suelo.

Generación de variables meteorológicas

La información climatológica fue fundamental al momento de realizar un análisis multitemporal, ya que permitió darle a este estudio mayor confianza del método empleado. Para ello se utilizará el programa Google Earth Engine Code para asignar una codificación para cada variable de estudio como es el caso del identificador IDAHO_EPSCOR/TERRACLIMATE código que nos ayuda al manejo adecuado de la información.

Temperatura Max-Min (°C)

La temperatura juega un papel relevante para el desarrollo de la vegetación pues su comportamiento es importante para que se dé el desarrollo de sus hojas o la caída de estas, así mismo de esta depende la descomposición de desechos orgánicos además de otros procesos. Este parámetro es esencial al momento de tomar decisiones pues este afecta directamente al clima.

Velocidad de viento

El viento debido a su velocidad puede generar problemas de erosión eólica por lo que evaluar este parámetro es indispensable para determinar sus efectos perjudiciales o benéficos y su relación con la desertización.

Precipitación acumulada

Las precipitaciones son determinantes para los diversos cultivos pues de estas depende la humedad en el suelo en donde las plantas crecen y desarrollan, por esta razón tener un registro de estas nos permitirá tomar acciones y decisiones en

beneficio de la población.

Humedad

El desarrollo de las áreas de cultivo y de vegetación depende en gran medida de este parámetro por lo que evaluar el cambio de este al pasar de años es trascendental para tomar acciones, a nivel de plantaciones y cultivos en lo que respecta al riego. Puesto que la falta de agua en ciertas zonas.

Evapotranspiración real (mm)

El cambio climático y malas prácticas de riego conllevan a tomar en cuenta a este parámetro pues de este dependen los cultivos debido a que puede afectar la capacidad del suelo de absorber agua.

Obtención de mapas con variables meteorológicas

Para la generación de las diferentes variables que tuvieron incidencia directa con los procesos de desertización se utilizó las estaciones meteorológicas del INAMHI, las mismas que cubrieron toda la provincia del Azuay.

Tabla 5 Información de la evaporación del año 1990 al 2020.

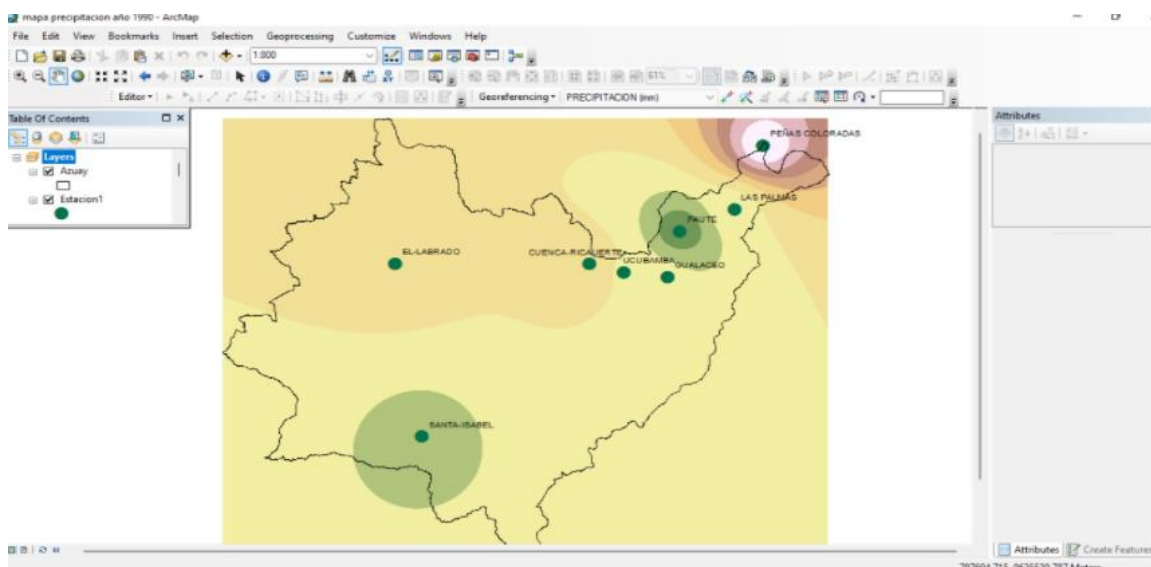
ESTACIONES	LATITUD	LONGITUD	ALTURA
Las Palmas	750358	9688253	2852
Santa Isabel	740368	9637762	1597
Peñas		9708646	2174
Coloradas	771449		
El Labrado	714267	9698113	3416
Ricaurte	726322	9683328	2547
Ucubamba	728722	9681876	2422
Gualaceo	747230	9680723	2232
Paute	748195	9690750	2202

Fuente: (INAMHI, 2016)

Elaboración de puntos

Primero se crean los puntos utilizando estaciones meteorológicas obtenidas por el INAHMI, con datos de latitud y longitud utilizando la herramienta Arc Catalog, luego de crear el Shapefile se establecen las coordenadas en WGS_1984_UTM_Zone_17S, según la proyección que este posea.

Ilustración 18 Generación de puntos

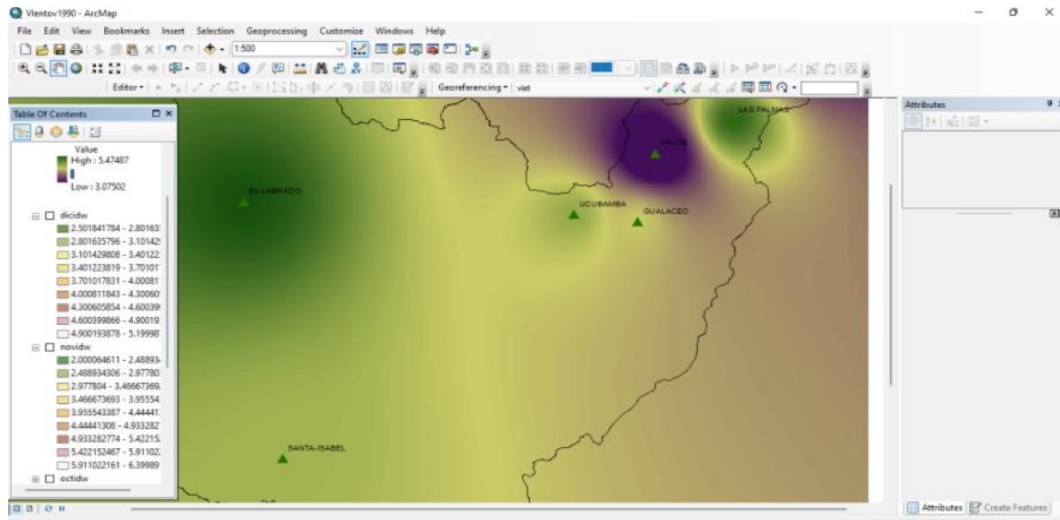


Fuente: Autores

Herramienta IDW

Luego de creados los puntos, en la herramienta ArcToolbox, luego de la herramienta Spatial Analyst, se generan los valores mediante la herramienta IDW, denominada Distancia Inversa Ponderada, la cual considera un método de interpolación que evalúa el cambio de los datos de los puntos, mediante el cálculo valores de muestra. Con respecto al Shapefile, se agrega una capa de provincia para delimitar el área para obtener información, obtener los datos correspondientes para comparar entre variables y años de investigación.

Ilustración 19 Herramienta IDW

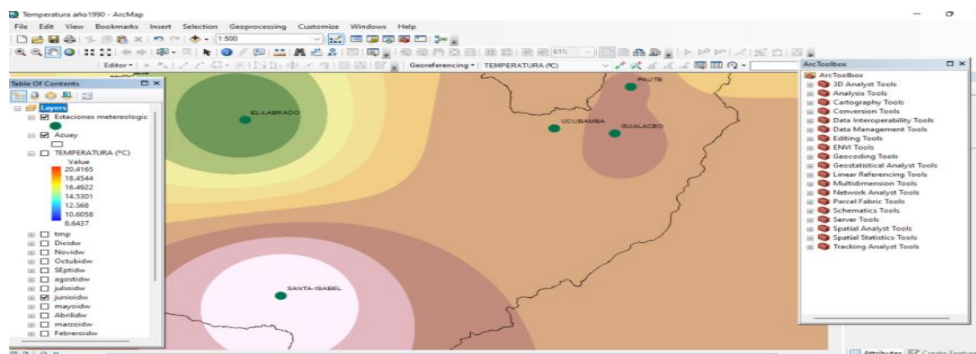


Fuente: Autores

Herramienta contour

Los contornos se crean con la herramienta Superficie, obtenga la opción Contorno, utilizando los datos ráster obtenidos. Esta opción no permite valores negativos, además puedes obtener curvas con cierto grado de suavidad, pero eso no quiere decir que no tenga la precisión adecuada. Tenga en cuenta que las curvas de nivel no se extienden más allá del territorio de interés, es decir, la extensión espacial de la línea de trama.

Ilustración 20 Generación de curvas de nivel

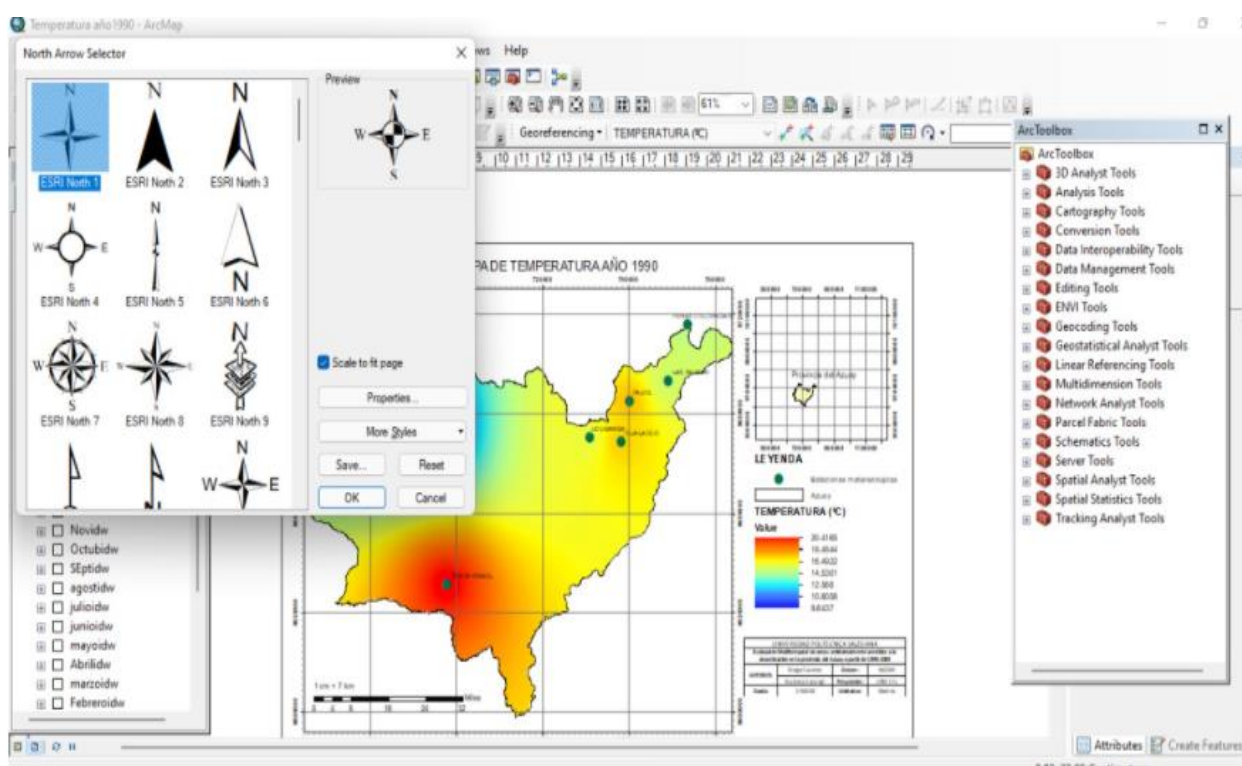


Fuente: Autores

Sombras para la visualización

La aplicación de la herramienta hillshade es adecuada para determinar la altura por lo tanto, en combinación con la línea de elevación prefabricada, lo que la hace atractiva y técnicamente disponible para representar el mapa suavemente, cada efecto, luz, la sombra suele ser tonos de gris en el rango de números enteros de aproximadamente 0 a 255, lo que implica un incremento de cada vez negro a blanco primario.

Ilustración 21 Producción de sombras



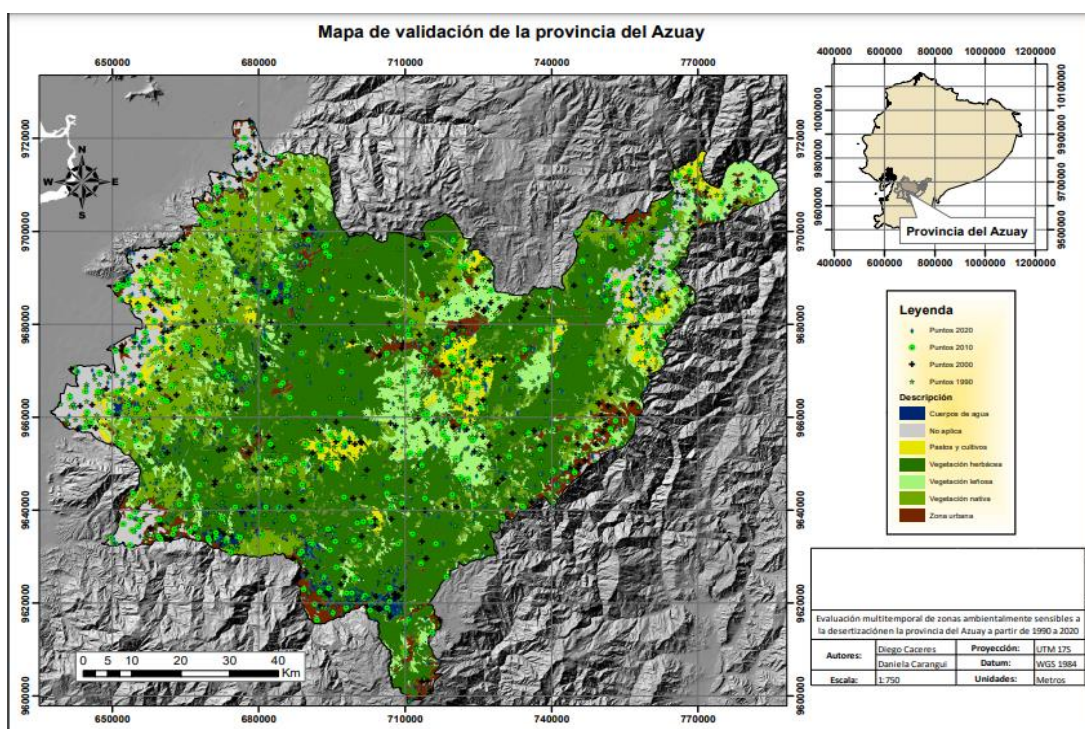
Fuente: Autores

Método de validación de resultados

Para validar los resultados, se basó directamente en el muestreo estratificado, que mediante un sistema de programación de PHYTON en ARCGIS se generó automáticamente 384 puntos a muestrear tanto en la aplicación de las encuestas a realizar como de la verificación de las zonas de clasificación, haciendo uso de una cámara fotográfica como evidencia del deterioro del suelo en la zona de estudio. También el uso

del GPS será necesario para georreferenciar los puntos de muestreo, y evaluar cada una de las clasificaciones obtenidas. Los puntos muestreados se identificaron mediante la matriz de confusión y transición y permitió evaluar la confiabilidad del método empleado.

Ilustración 22 Validación en los resultados



Fuente: Autores

Los puntos que se generaron en el programa informático se validaron en el campo en función a cada clasificación, cuya eficacia del método empleado se evidencian mediante la matriz de confusión y transición, las mismas que se podrán observar en los resultados.

III. RESULTADOS

El cambio climático es real y los efectos ambientales sobre el ecosistema también lo son, debido al aumento de la temperatura y de los patrones climáticos, los cuales se han ocasionado por actividades naturales o antrópicas. Uno de los efectos climáticos son los procesos de la desertización, los mismos que se derivan de condiciones morfológicas.

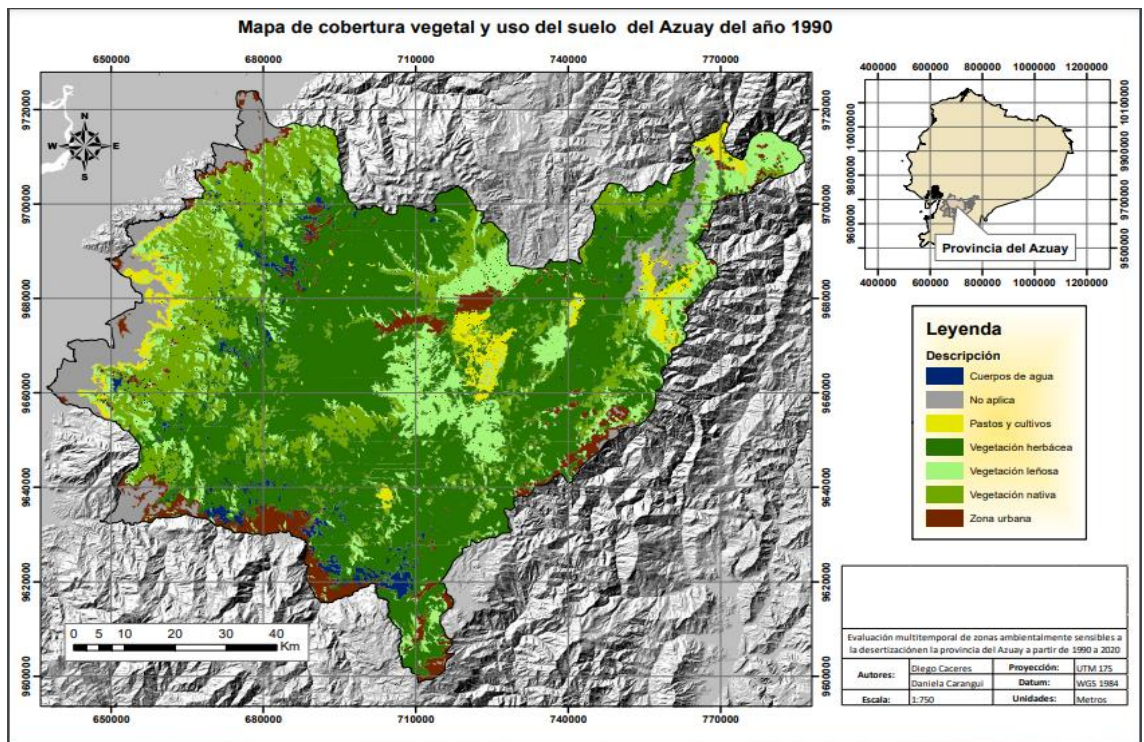
Variación del suelo de los años 1990 al 2020

Los procesos de desertización son causados por factores astronómicos, geomorfológicos y dinámicos, estos dos últimos se producen tanto por los cambios de uso de suelo como por las variaciones climáticas. Es por esta razón, que fue importante realizar el balance profundo desde el año 1990 al 2020.

Cobertura vegetal y cambio de uso de suelo del año 1990

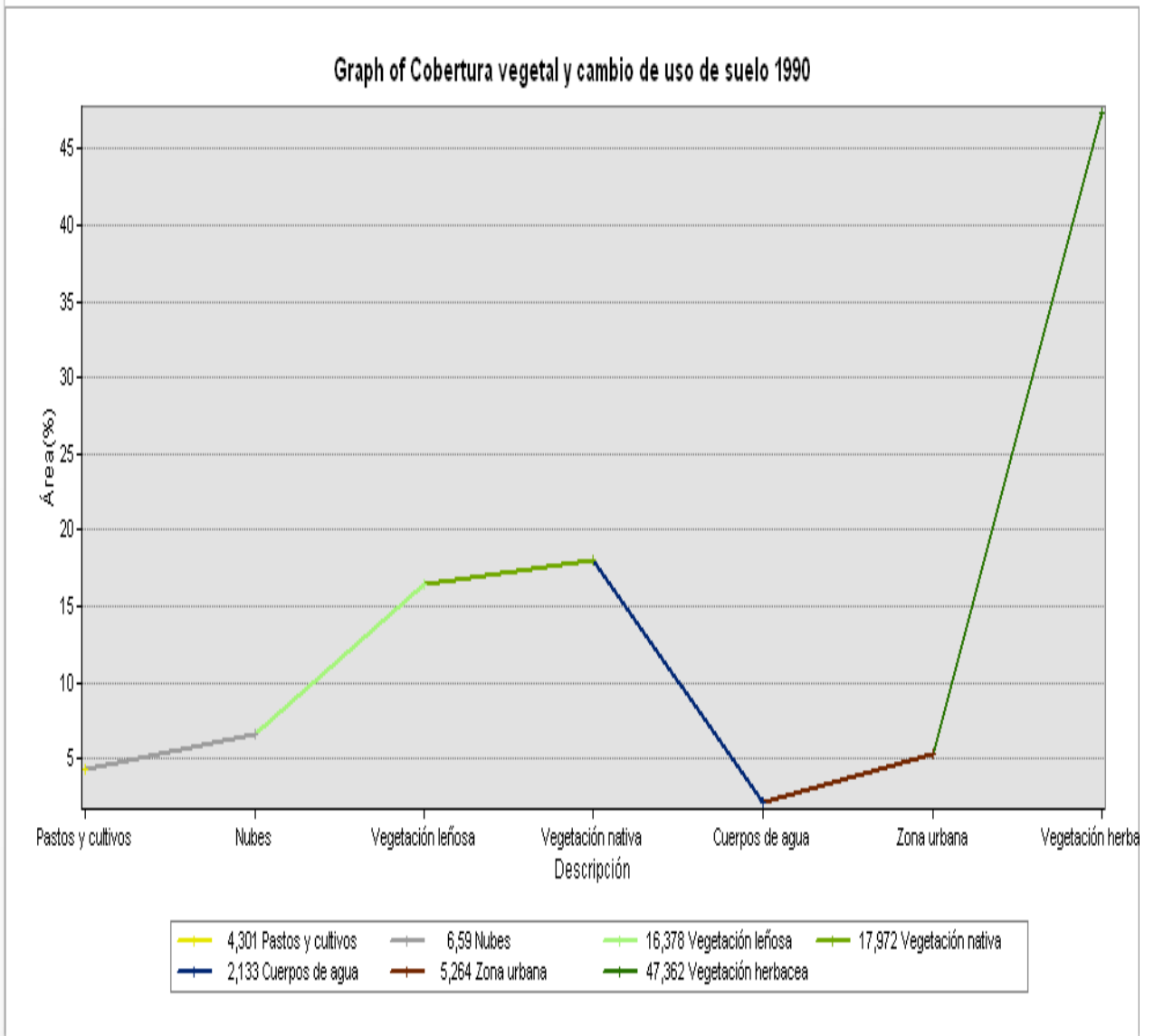
En la determinación del suelo de 1990 al 2020, fue necesario identificar diferentes zonas de interés, para clasificar la sensibilidad de los procesos de desertización.

Ilustración 23 Mapa uso del suelo 1990



Fuente: Autores

Ilustración 24 Área de las zonas de interés del año 1990

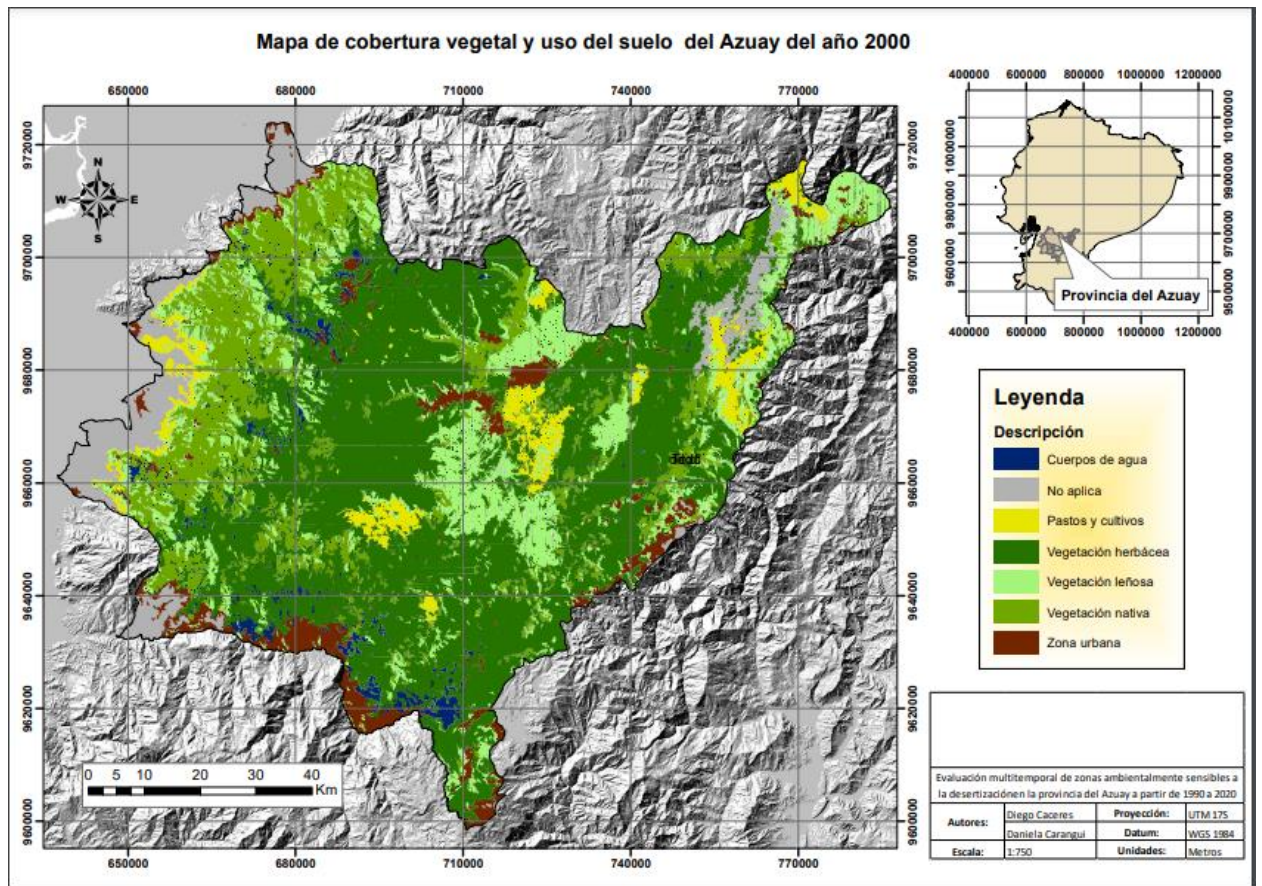


Fuente: Autores

En la ilustración 23 y 24 se observa las coberturas vegetales correspondiente al año 1990, en donde se tuvo que la tuvo mayor proporción fue la vegetación herbácea con el 47,36%, seguido por la vegetación nativa con el 17,97%, la vegetación leñosa que es importante porque ayuda a combatir los procesos de erosión con el 16,37%, la zona urbana con el 5,26%, los pastos y cultivos con el 4,30% y las nubes con el 6,59%.

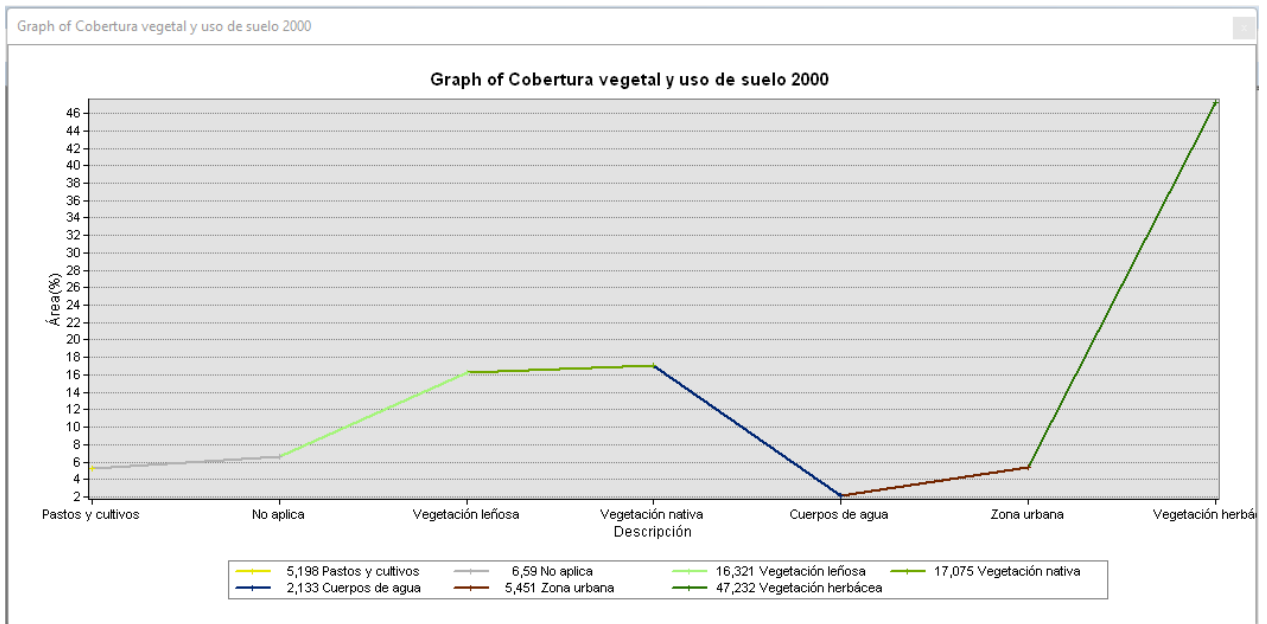
Uso de suelo del año 2000

Ilustración 25 Uso de suelo 2000



Fuente: Autores

Ilustración 26 Zonas de interés del año 2000 (Ha)

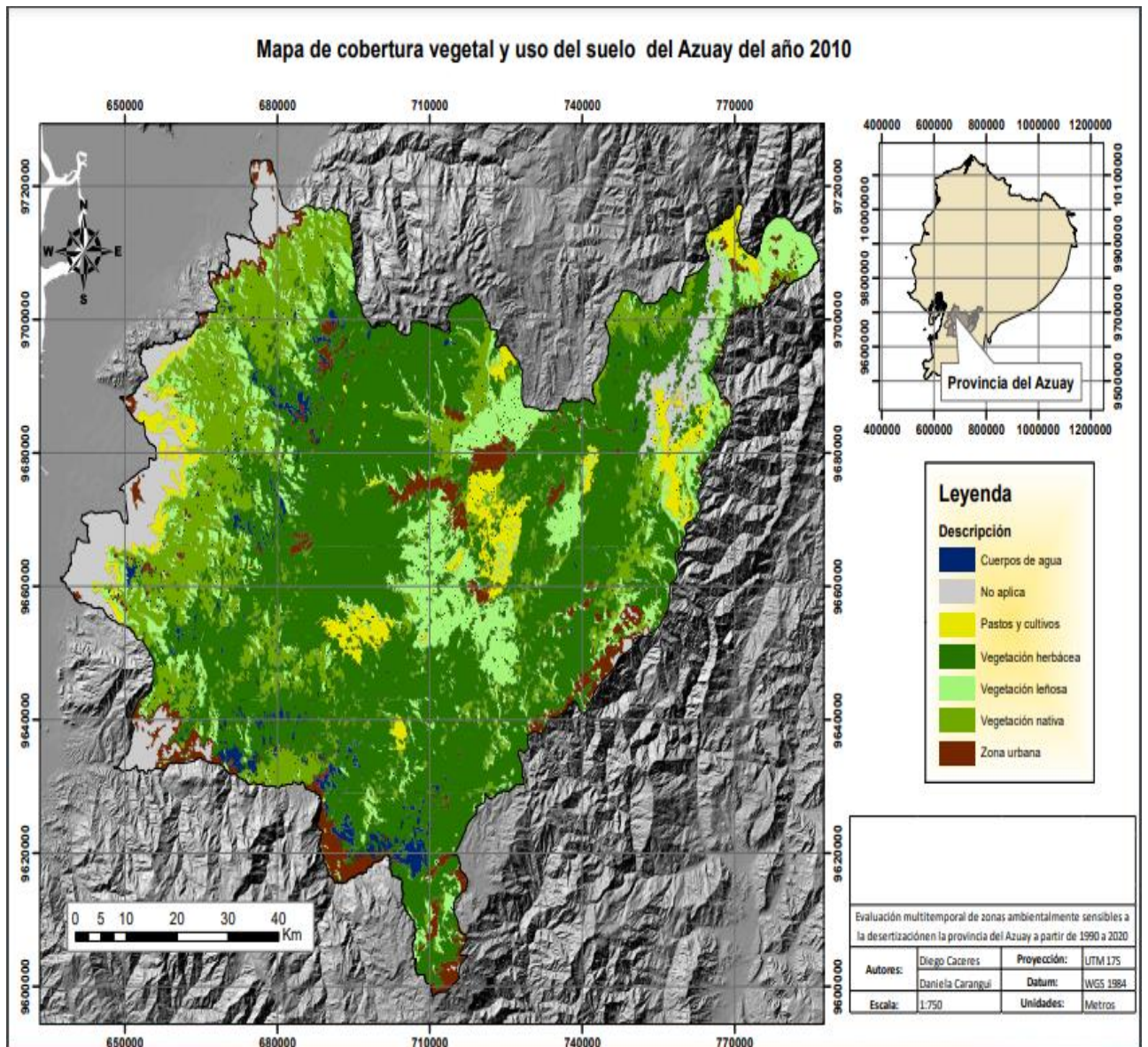


Fuente: Autores

En la ilustración 25 y 26 se ve el cambio del suelo correspondiente al año 2000, en donde la vegetación herbácea tuvo el 47,23%, seguido por la vegetación nativa con el 17,07%, luego la vegetación leñosa que ayuda a combatir los procesos de erosión con el 16,32%, la zona urbana tuvo un crecimiento al 5,45%, los pastos y cultivos con el 5,19 % y las zonas que no aplicaron a ninguna clasificación anterior con el 6,59%.

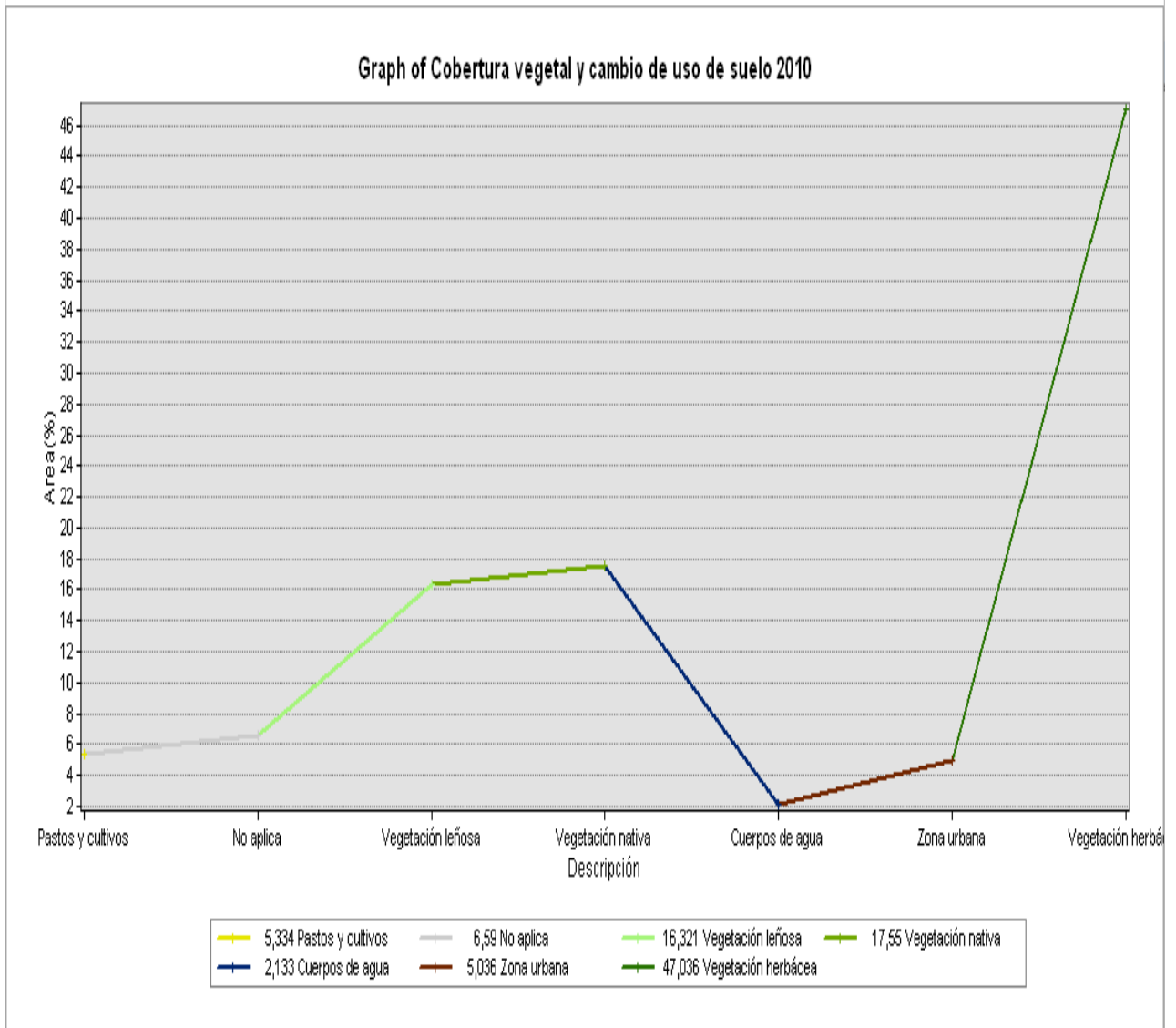
Uso de suelo 2010

Ilustración 27 Uso del suelo 2010



Fuente: Autores

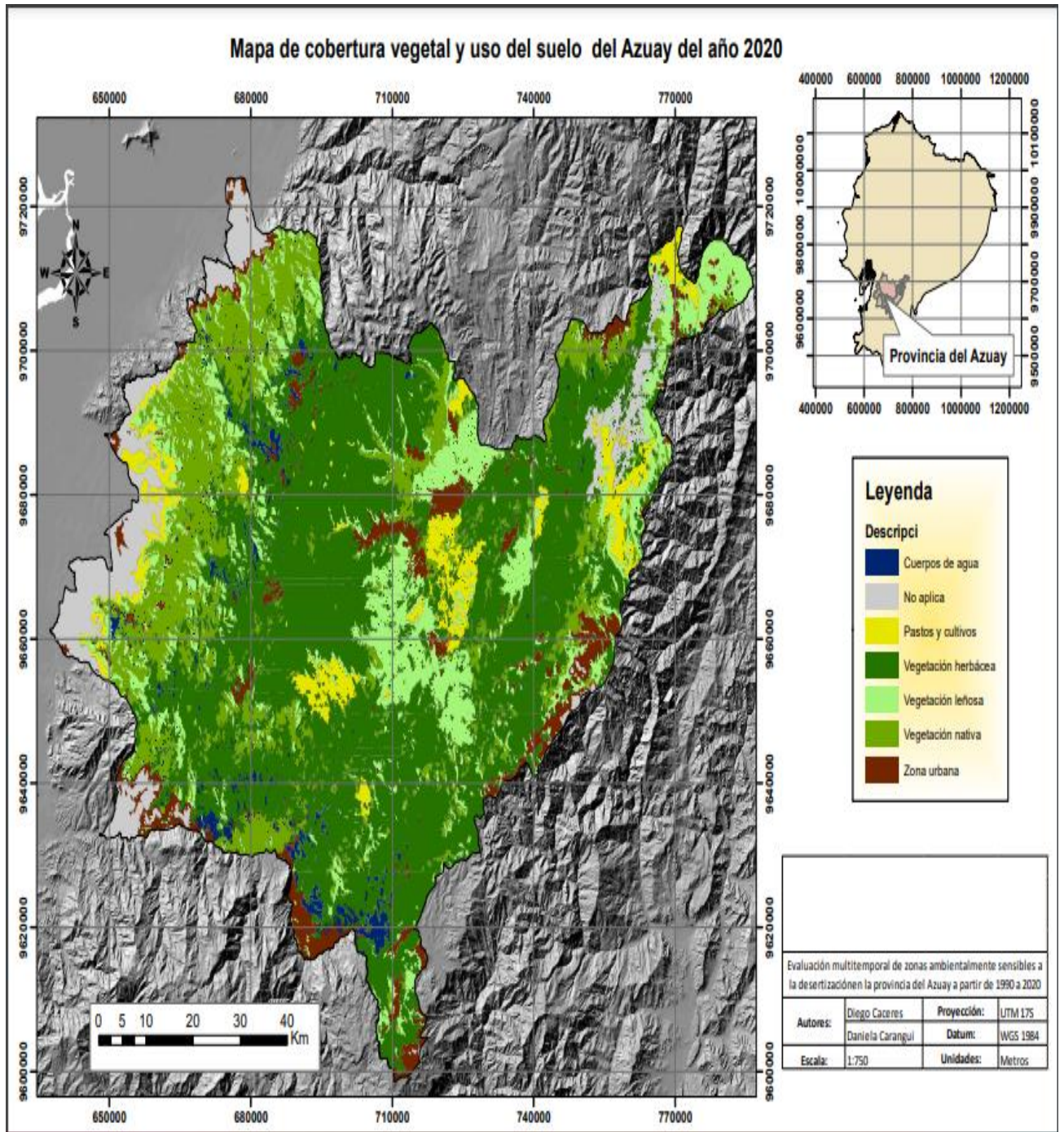
Ilustración 28 Área de las zonas de interés del año 2010 (Ha)



Fuente: Autores

En la ilustración 27 y 28 se visualiza el cambio del suelo correspondiente al año 2000, en donde se tuvo que la mayor proporción fue de la vegetación herbácea con el 47,23%, seguido por la vegetación nativa con el 17,07%, la vegetación leñosa con el 16,32%, la zona urbana tuvo un crecimiento al 5,45%, los pastos y cultivos con el 5,19 % y las zonas que no aplicaron a ninguna clasificación anterior con el 6,59%.

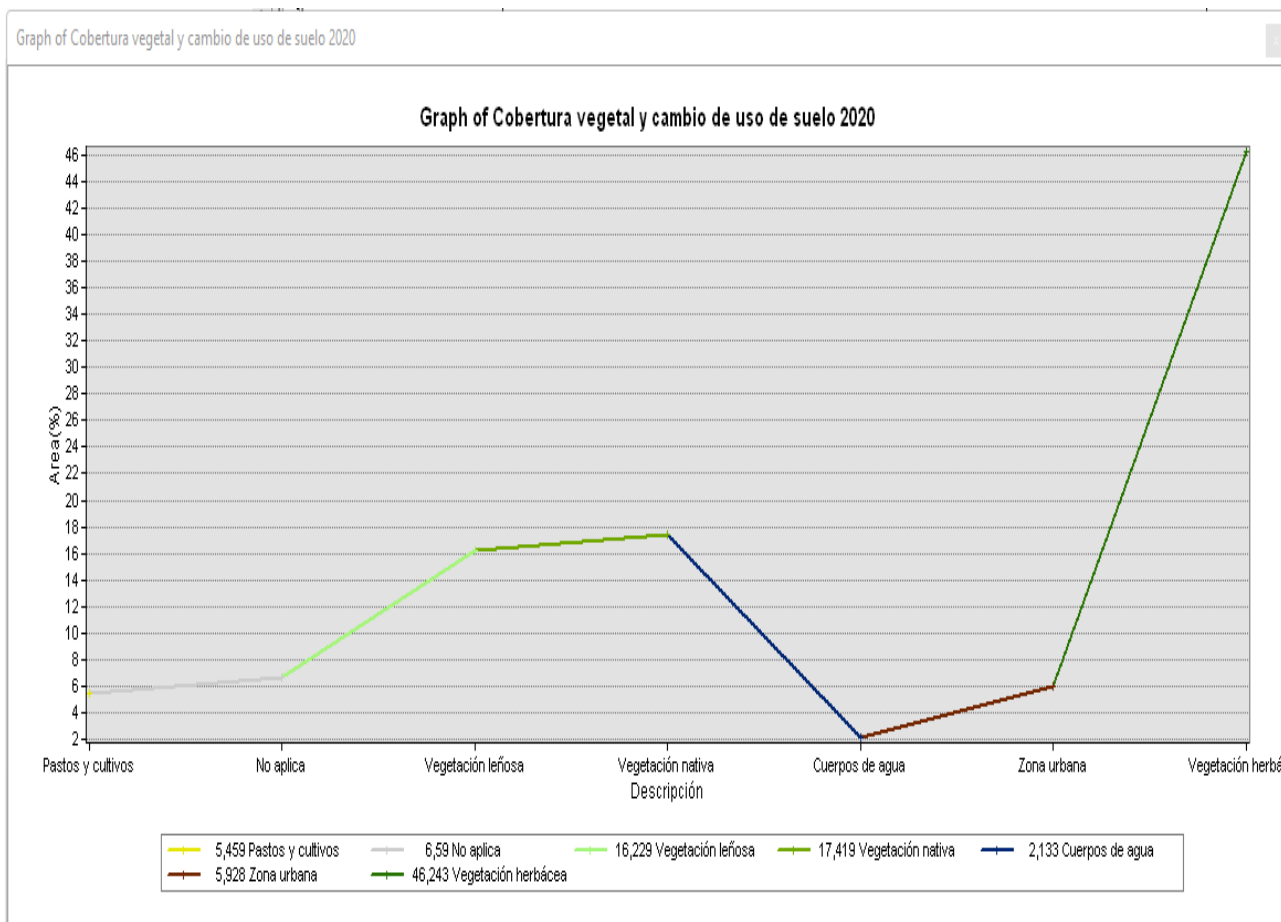
Ilustración 29 Cambio de uso de suelo 2020



Fuente: Autores

Ilustración 30 Área de las zonas de interés del año 2020 (Ha)

Fuente: Autores



En la ilustración 29 y 30, se analizó el suelo del año 2020, obteniéndose que la vegetación herbácea adquirió un área del 46,24%, vegetación leñosa el 16,22%, vegetación nativa el 17,41%, cuerpos de agua el 2,13%, los pastos y cultivos con el 5,49%, la zona urbana con el 5,92% y finalmente la zona que no se incluyó ninguna clasificación con el 6,59%.

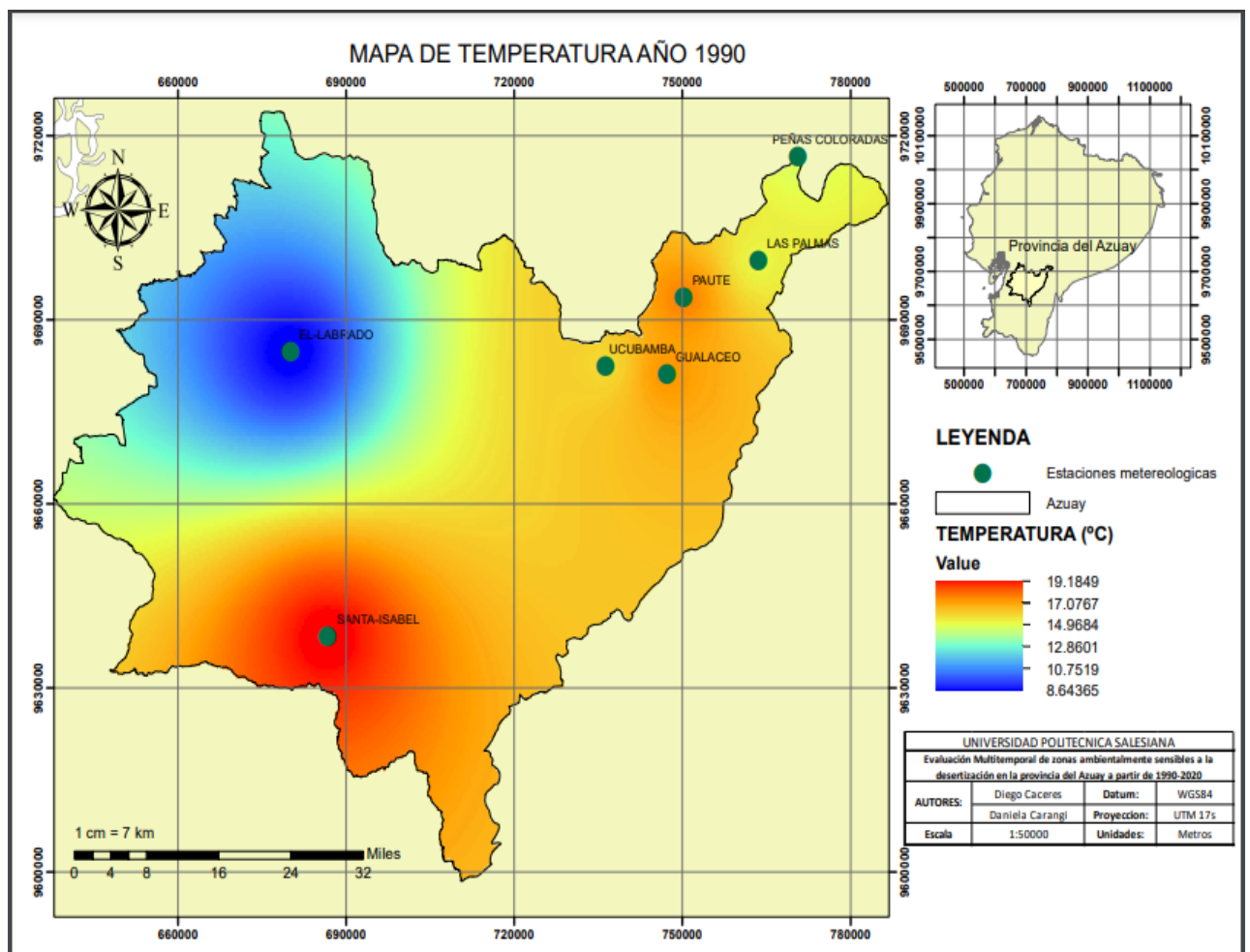
Análisis de las variables de incidencia en los procesos de desertificación

Los procesos de desertización se dan especialmente por la erosión de los suelos, la misma que es causada por múltiples razones de origen natural o antrópico. Una de las causantes más relevantes sobre la erosión de los suelos son los factores y elementos climáticos, entre las que se destacan están las variaciones de precipitación, evaporación, temperatura, velocidad del viento, evapotranspiración, escorrentía, etc.

Por otro lado, las actividades antrópicas o el incremento de las zonas urbanas han influenciado al aumento de áreas desérticas, entre las múltiples causas del proceso desértico están la tala de árboles, pastoreo abusivo, incendios provocados, prácticas agrícolas y construcción de carreteras, las mismas que han ocasionado un incremento en los rangos de erosión sobre la zona de estudio. Es por ello, la importancia de hacer un análisis estructural y bien detallado de las condiciones climáticas de manera multitemporal, esto es desde 1990 al 2020, para evaluar analíticamente como estas han influenciado en los procesos de desertización.

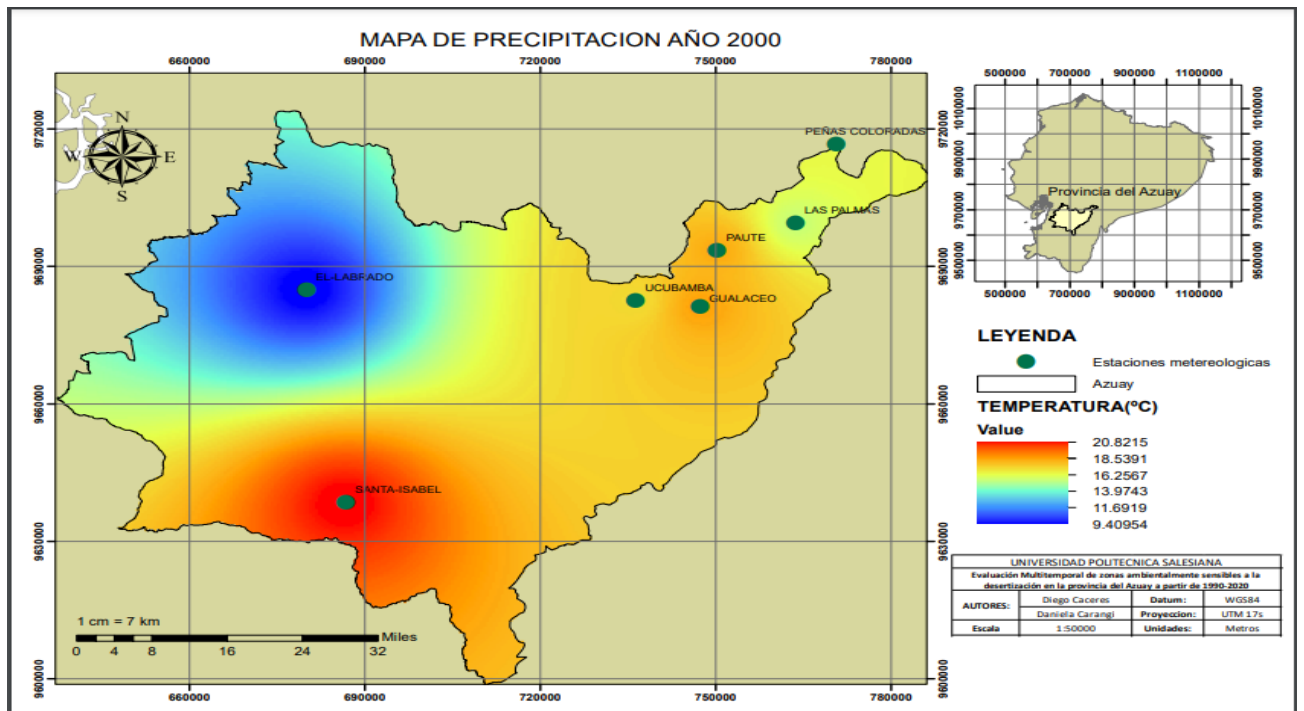
Variación de la temperatura de 1990 al 2020

Ilustración 31 Análisis de la temperatura del año 1990



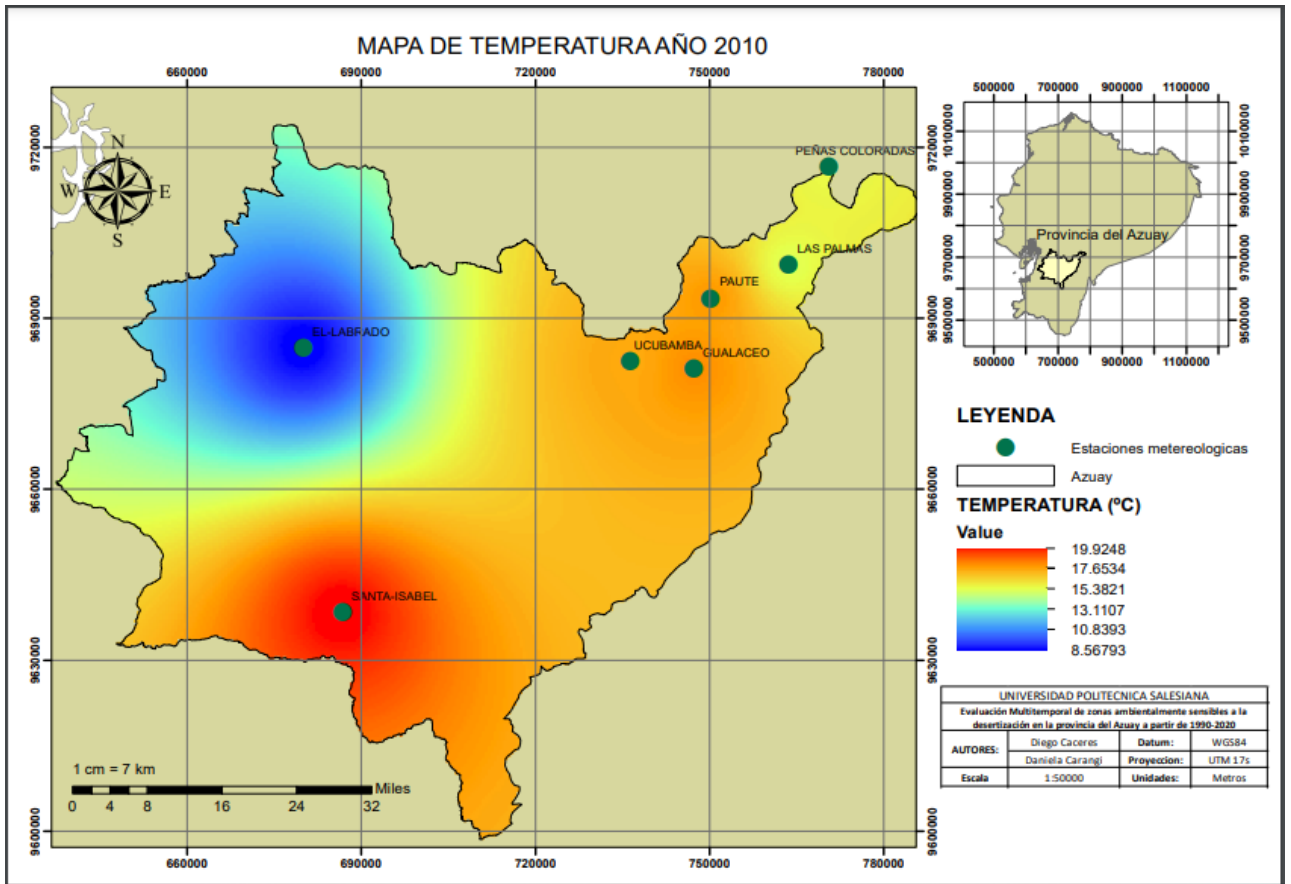
Fuente: Autores

Ilustración 32 Análisis de la temperatura del año 2000



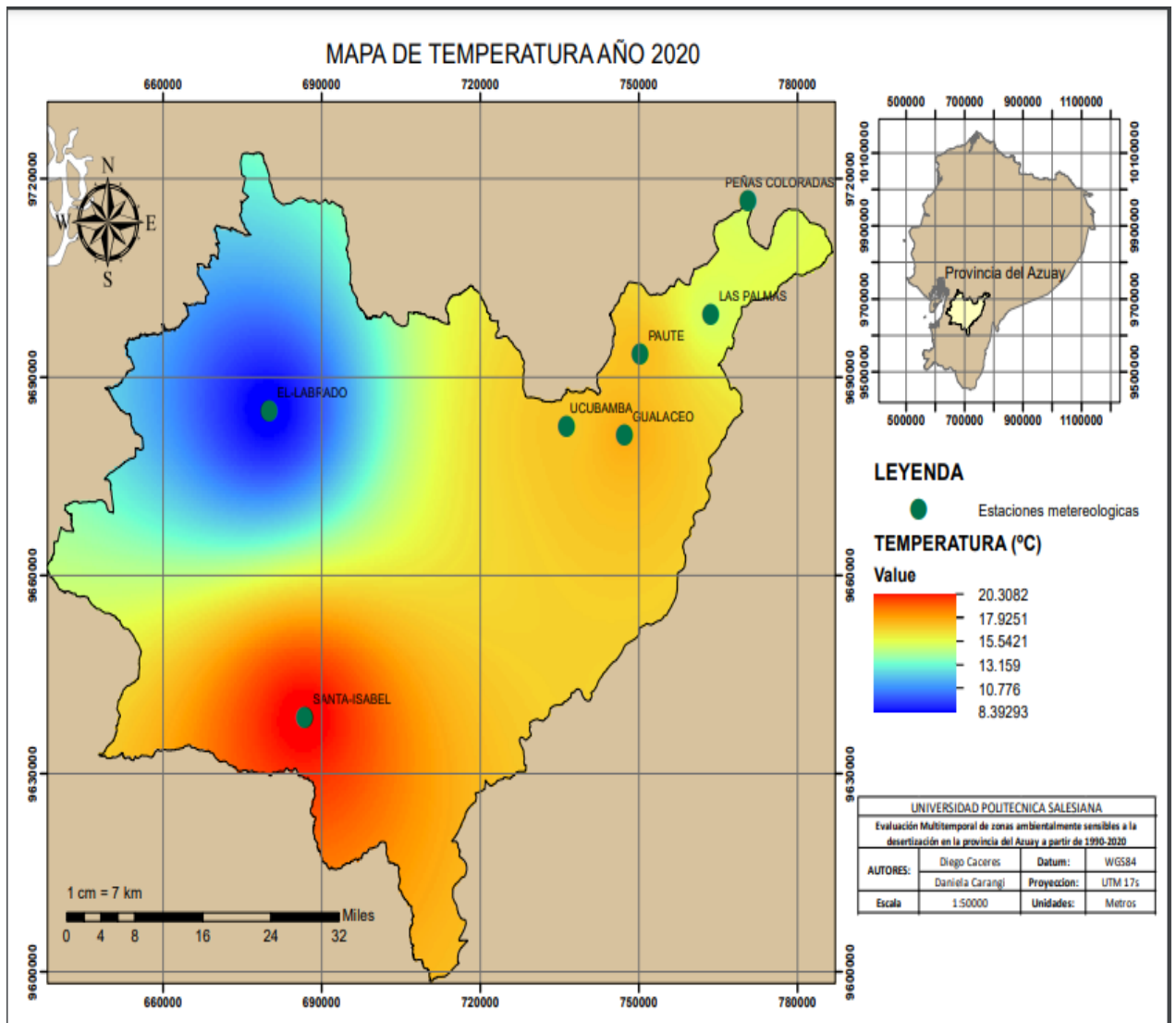
Fuente: Autores

Ilustración 33 Análisis de la temperatura del año 2010



Fuente: Autores

Ilustración 34 Análisis de la temperatura del año 2020



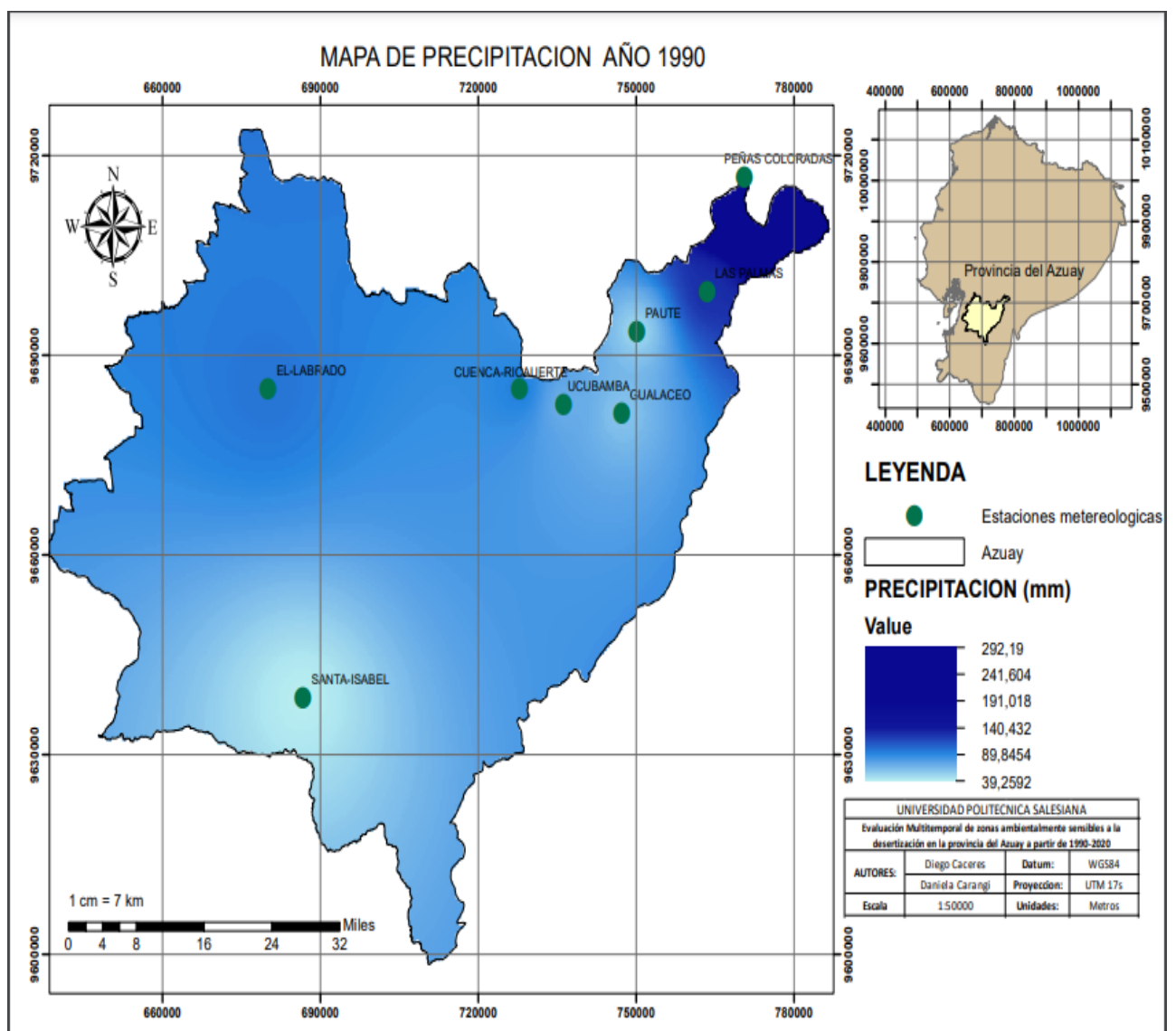
Fuente: Autores

En la ilustración 31, 32, 33 y 34 se visualiza los diferentes rangos de temperatura entre 1990 y 2020, para lo cual en el año de 1990 se tuvo que las temperaturas más críticas se concentraron sobre los cantones de Santa Isabel, San Fernando y Pucara con 19,18°C y las temperaturas mínimas de 8,64°C en los cantones de Cuenca, Gualaceo y Chordeleg. Por otro lado, para el año en mención tuvo temperaturas mínimas fueron de 9,40°C. Seguidamente para el año 2010 y 2020 los rangos de temperaturas se vieron en aumento, llegando a 20,30°C en los cantones de Santa Isabel, Nabón y Girón y las temperaturas mínimas con 8,39°C sobre los cantones de Cuenca, Paute, Gualaceo, Chordeleg y Sigsig.

Variación de la precipitación de 1990 al 2020

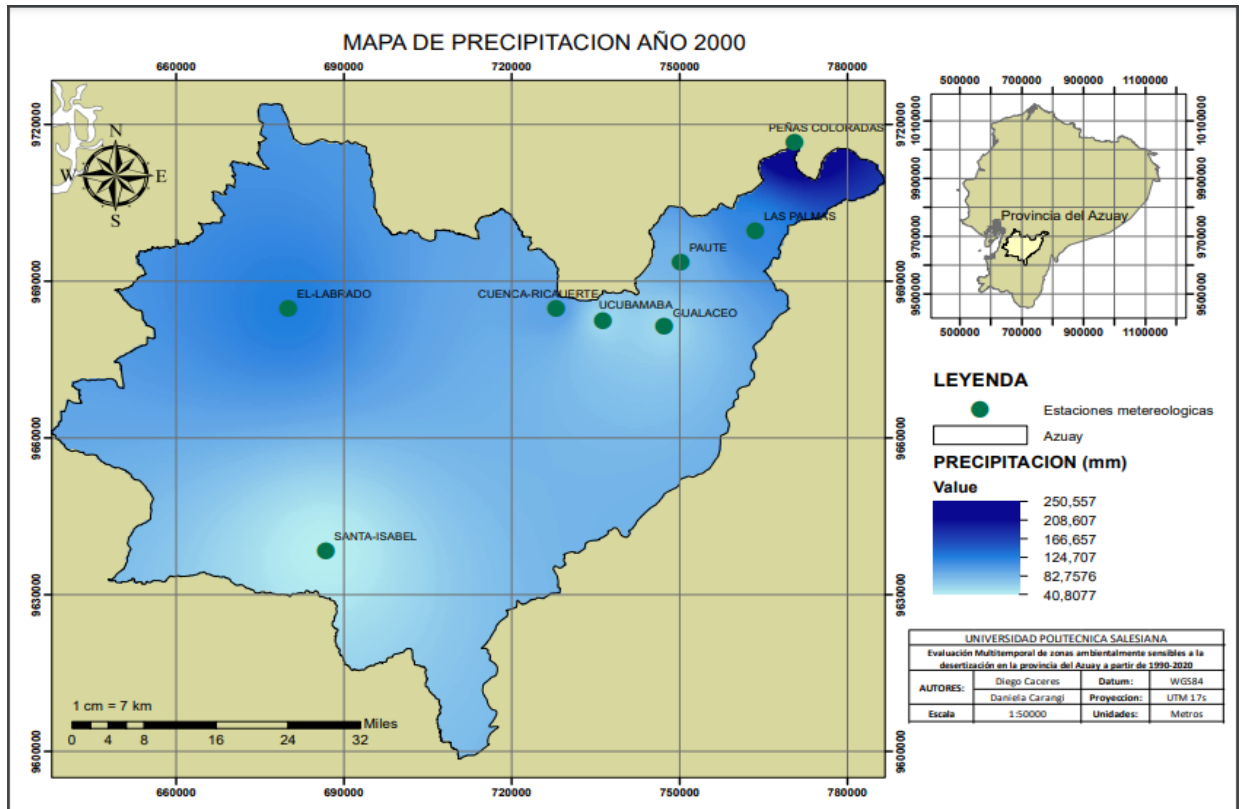
Para analizar la desertización fue importante entender el comportamiento de la precipitación, debido a que existen algunas zonas del Azuay en donde las lluvias han sido escasas, pero cuando se da la época lluviosa, esta cae en forma torrencial, con tal fuerza capaz de erosionar los suelos, que, junto con las altas temperaturas, generan escasa vegetación, ocasionando un aporte mínimo de materia orgánica, dándole con ello una débil protección al suelo. A continuación, se evalúa los diferentes rangos de precipitación.

Ilustración 35 Análisis de la precipitación del año 1990



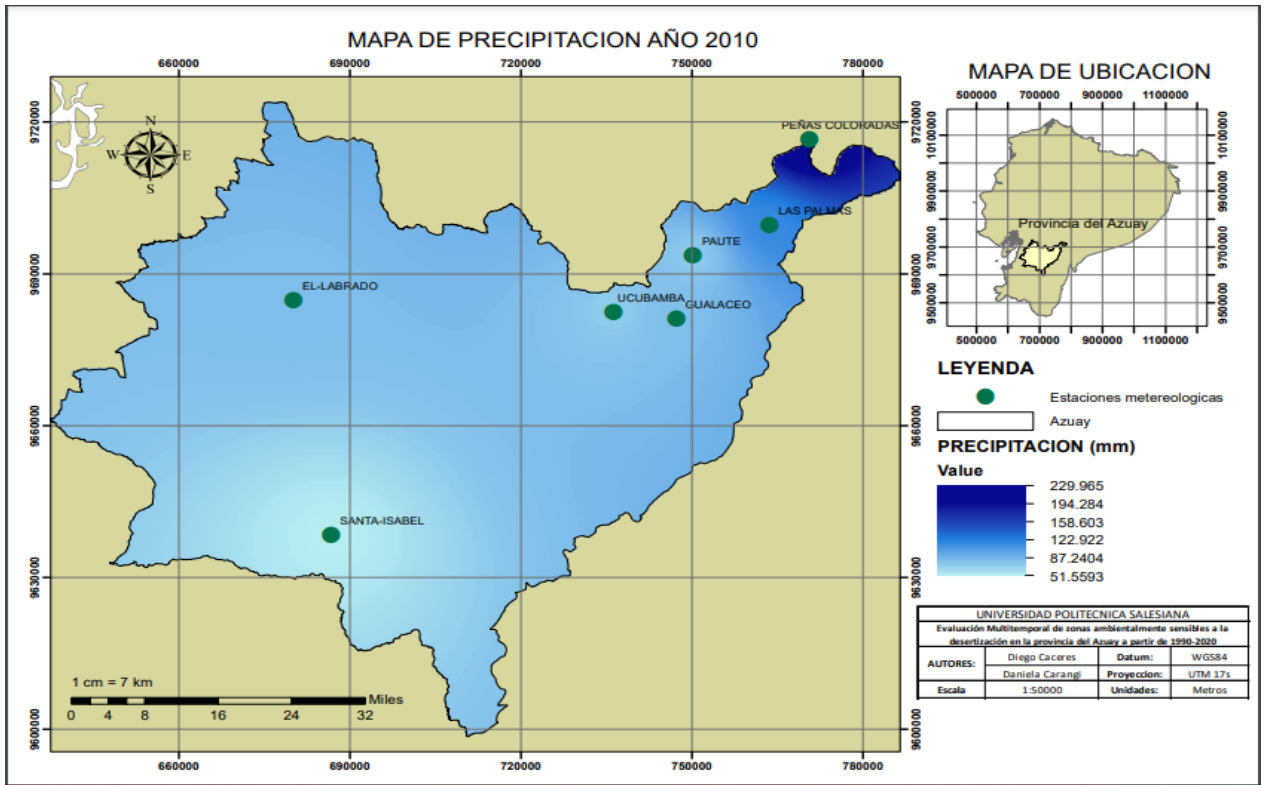
Fuente: Autores

Ilustración 36 Análisis de la precipitación del año 2000



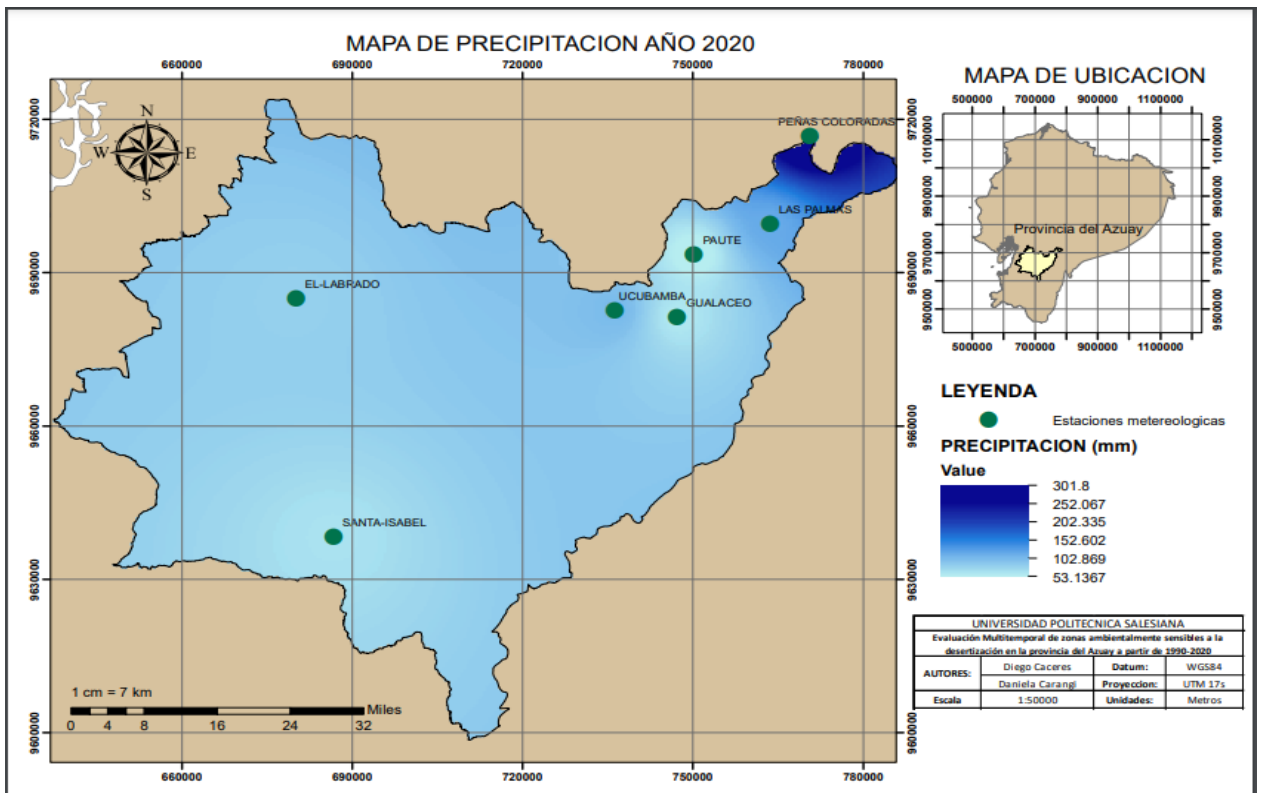
Fuente: Autores

Ilustración 37 Análisis de la precipitación del año 2010



Fuente: Autores

Ilustración 38 Análisis de la precipitación del año 2020



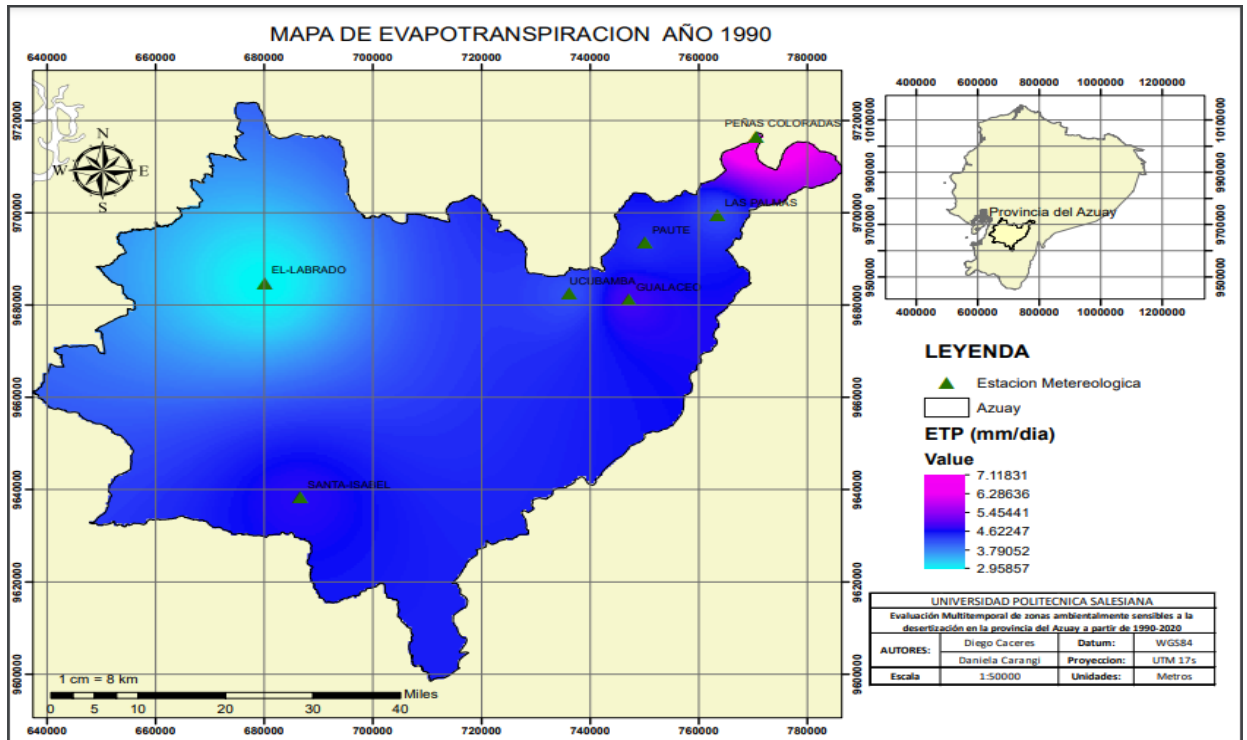
Fuente: Autores

En la ilustración 35, 36, 37, 38 se observa las variaciones de las precipitaciones desde 1990 al 2020, en donde se visualizó que para el año de 1990 las más altas lluvias se dieron en los cantones de Sevilla de Oro, Paute, Guachapala y El Pan con 292,19mm y las lluvias mínimas con 39,25mm en los cantones de Santa Isabel y Gualaceo. Para el año 2000 las precipitaciones máximas llegaron a 250,55mm en los mismos cantones del año 1990 y las lluvias mínimas a 40,80mm especialmente sobre el cantón Cuenca. Por otro lado, para el año 2010 y 2020 las precipitaciones máximas fueron de 301,80mm y las precipitaciones mínimas llegaron a 53,13mm, estas últimas sobre el cantón Santa Isabel, Cuenca y Paute.

Variación de la evapotranspiración de 1990 al 2020

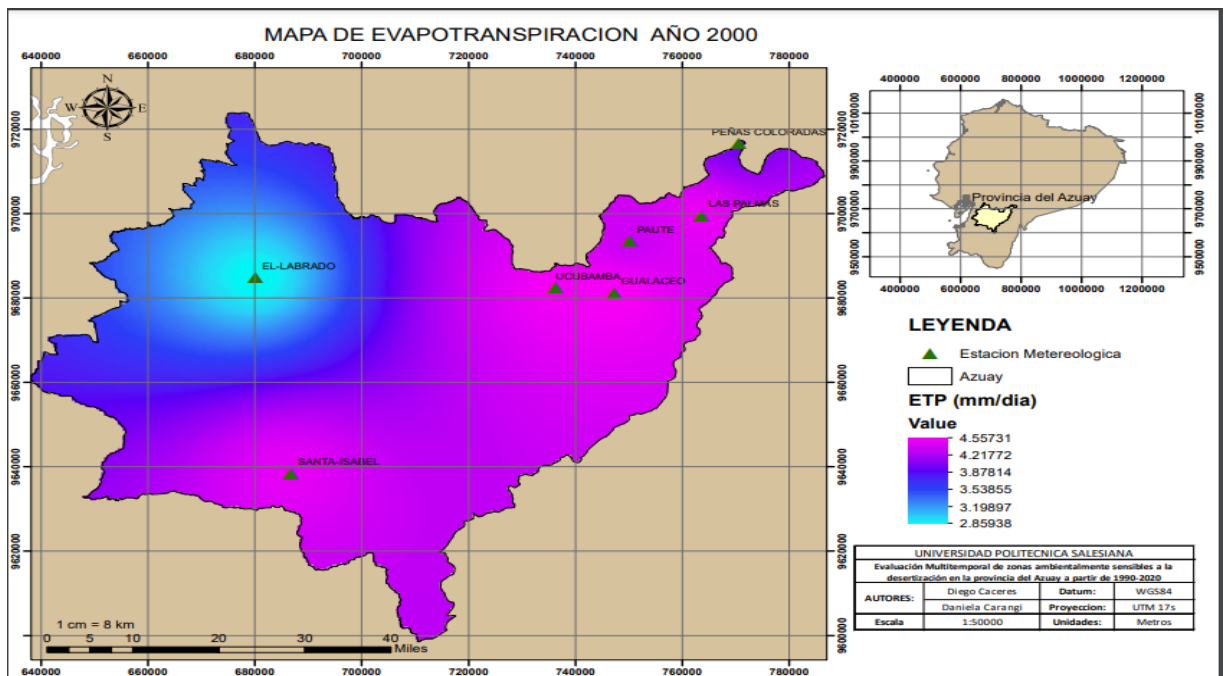
La transpiración está ligada con la evapotranspiración, ya que esta ocurre cuando no se limita el agua de la zona superficial, permitiendo una síntesis específica sobre la humedad del suelo, infiltración y el escurrimiento. Además, las tasas o rangos de evapotranspiración están íntimamente relacionados con los factores climáticos, siendo la temperatura y humedad del suelo los más importantes. Es por ello, que a continuación, se hace un análisis de la evapotranspiración.

Ilustración 39 *Análisis de la evapotranspiración del año 1990*



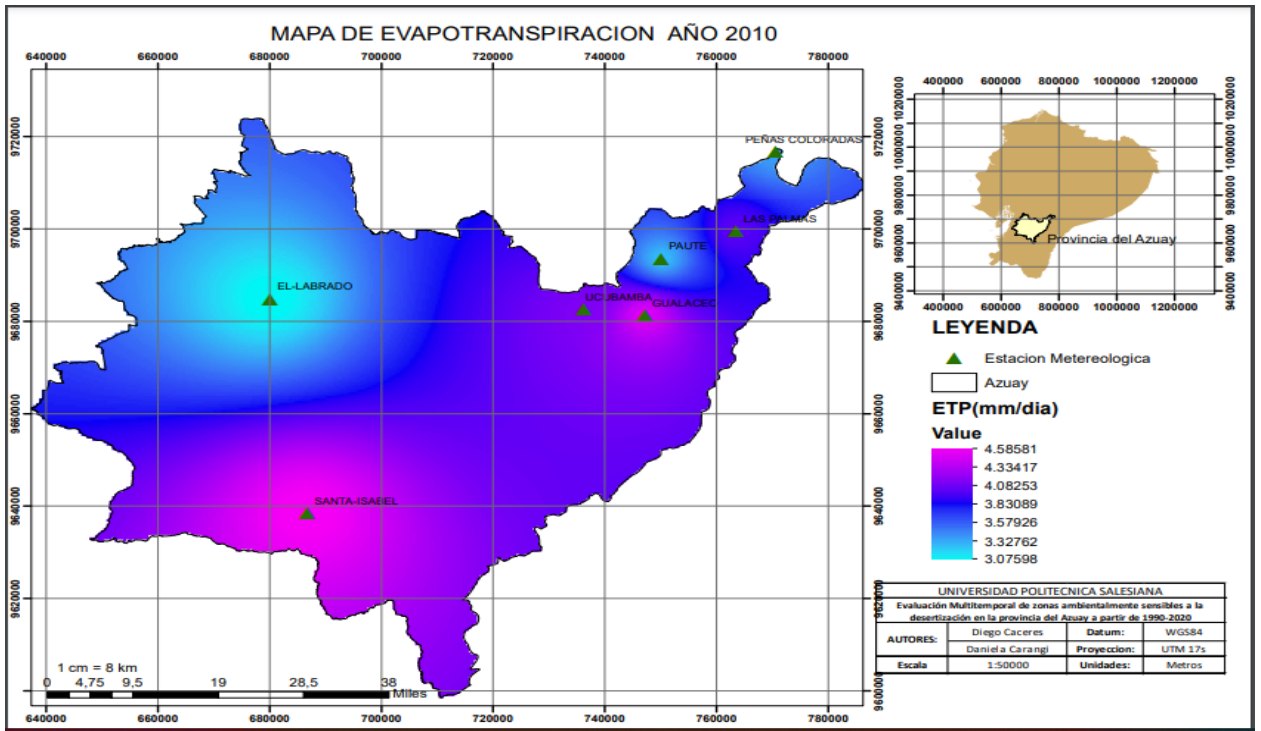
Fuente: Autores

Ilustración 40 Análisis de la evapotranspiración del año 2000



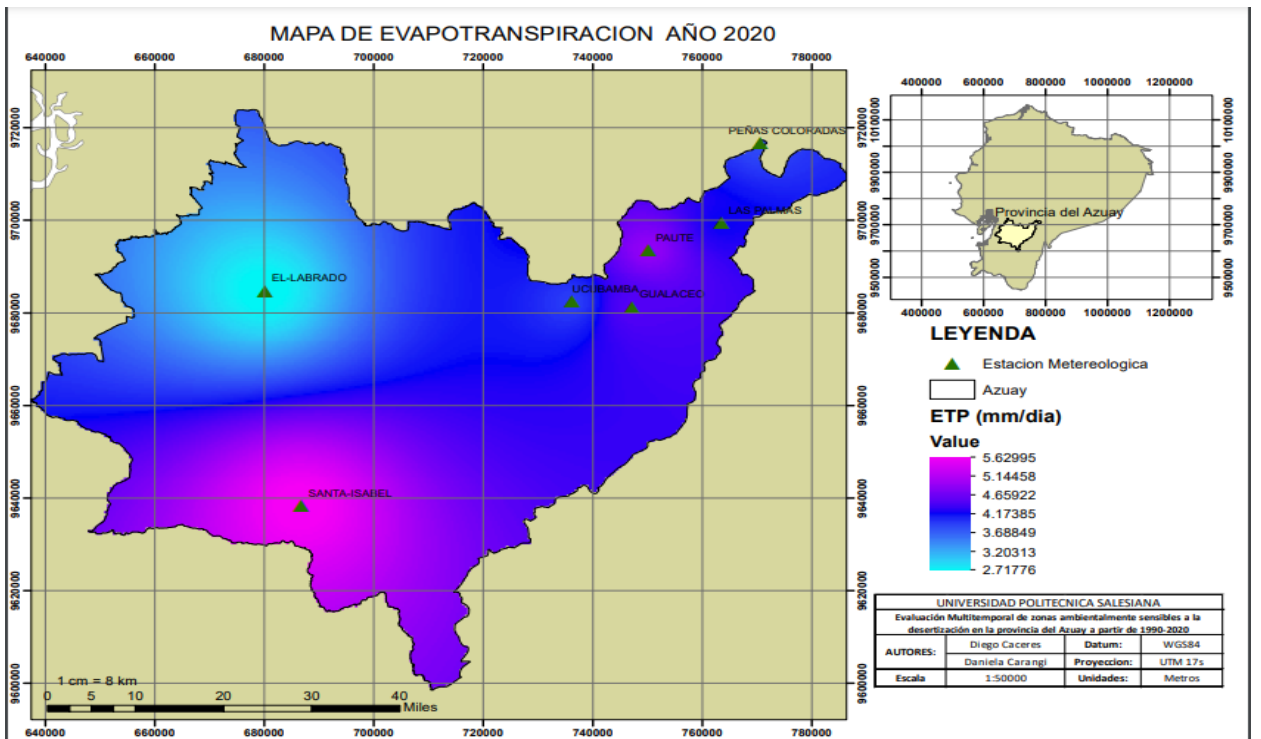
Fuente: Autores

Ilustración 41 Análisis de la evapotranspiración del año 2010



Fuente: Autores

Ilustración 42 Análisis de la evapotranspiración del año 2020



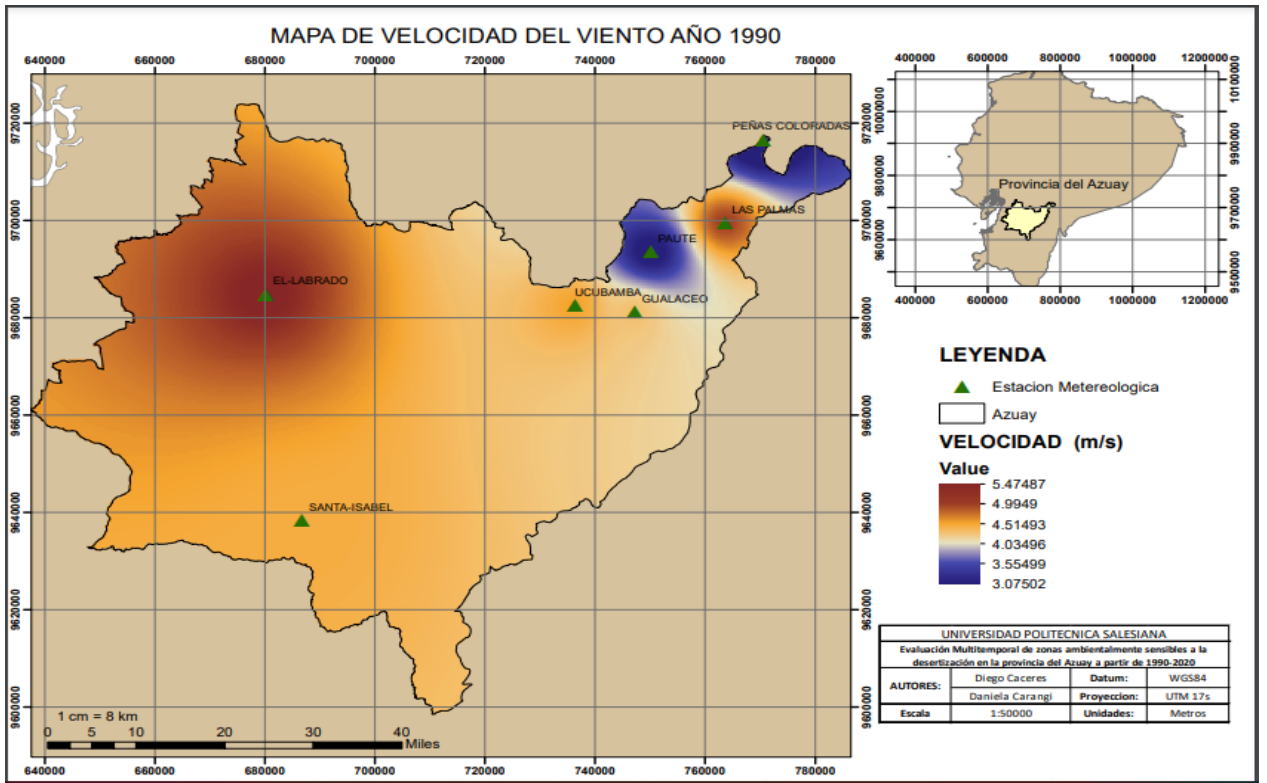
Fuente: Autores

En la ilustración 39, 40, 41 y 42 se observa las variaciones de la evapotranspiración desde 1990 al 2020, en donde se tuvo que para el año 1990 la evapotranspiración más alta fue de 7,11mm/día especialmente en los cantones de Sevilla de Oro y Paute y las mínimas fueron en los cantones de Cuenca y Gualaceo con de 2,95mm/día. Para el año 2000 la evapotranspiración más alta fue de 4,55mm/día en los cantones de Santa Isabel, Chordeleg y Paute y la más baja fue de 2,85mm/día en el cantón de Cuenca. En cambio, el año 2010 y 2020 existió una reducción de la evapotranspiración con respecto al año 1990 ya que bajo a 5,62mm/día especialmente en el cantón de Santa Isabel y las más bajas fueron de 2,71mm/día en los cantones de Cuenca y Paute.

Variación de la velocidad del viento de 1990 al 2020

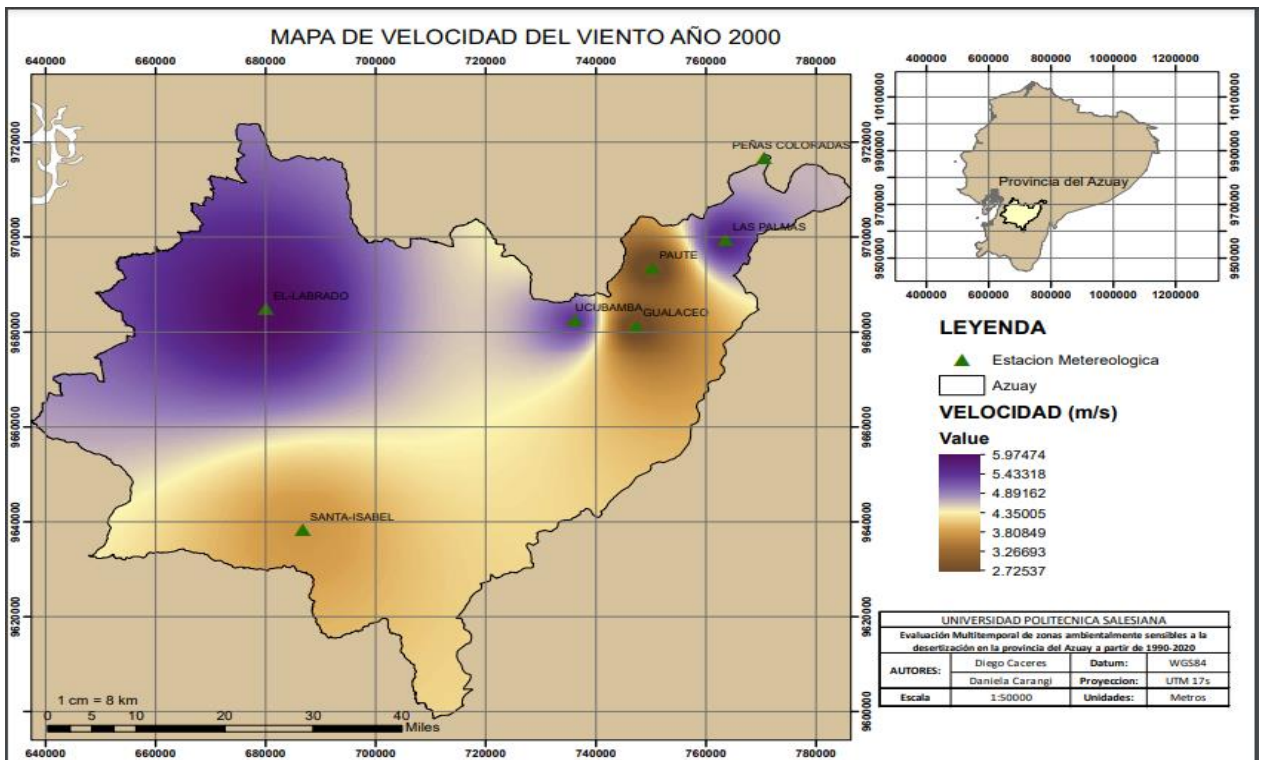
El viento es un factor esencial en los fenómenos atmosféricos, porque este puede aumentar los procesos de desertización, ya que debido a su fuerza es capaz de incrementar los niveles de erosión, transportando y depositando partículas superficiales, ocasionando daño a la vegetación mediante la formación de dunas. Si bien es cierto, el viento es parte del clima, y es más delimitado su alcance, los rangos de viento pueden cambiar bajo las acciones del hombre o actividades agrícolas, al eliminar o incrementar la vegetación, especialmente la de tipo leñosa, ya que es la que proporciona sombra e incrementa el albedo.

Ilustración 43 Velocidad del viento 1990



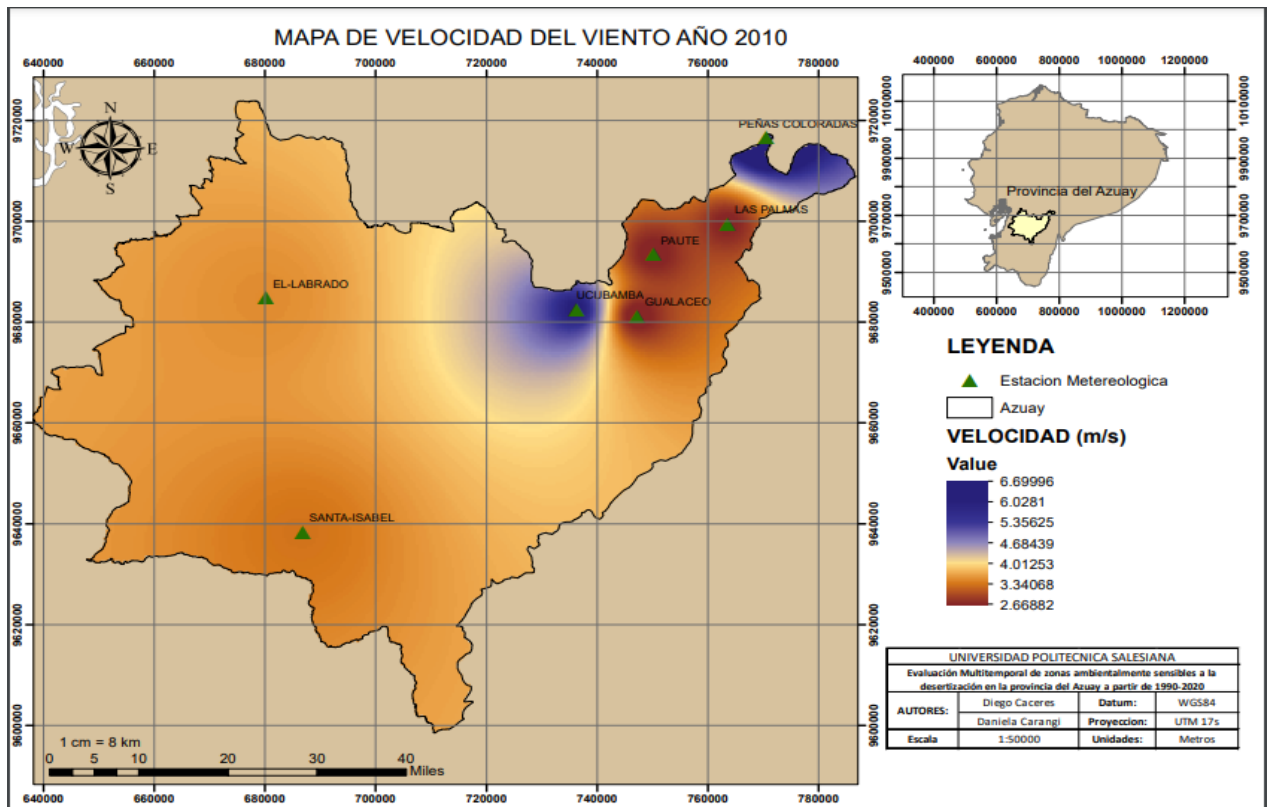
Fuente: Autores

Ilustración 44 Velocidad del viento 2000



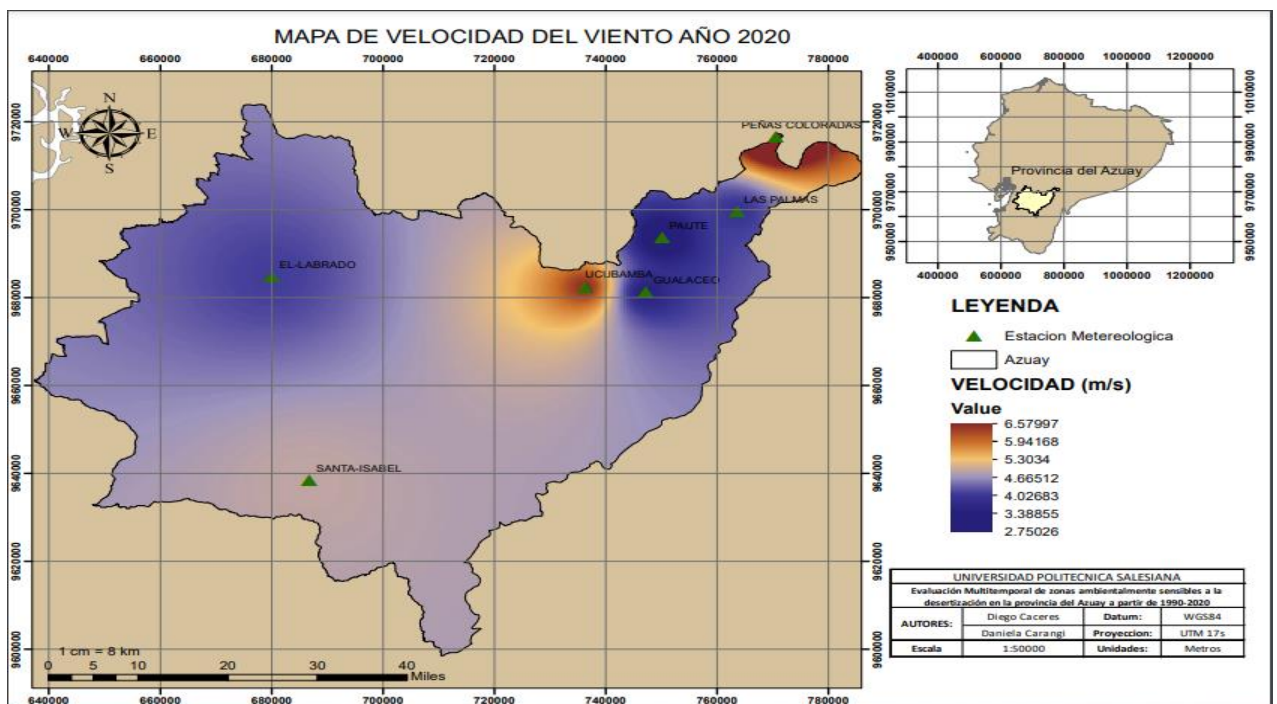
Fuente: Autores

Ilustración 45 Velocidad del viento del año 2010



Fuente: Autores

Ilustración 46 Velocidad del viento 2020



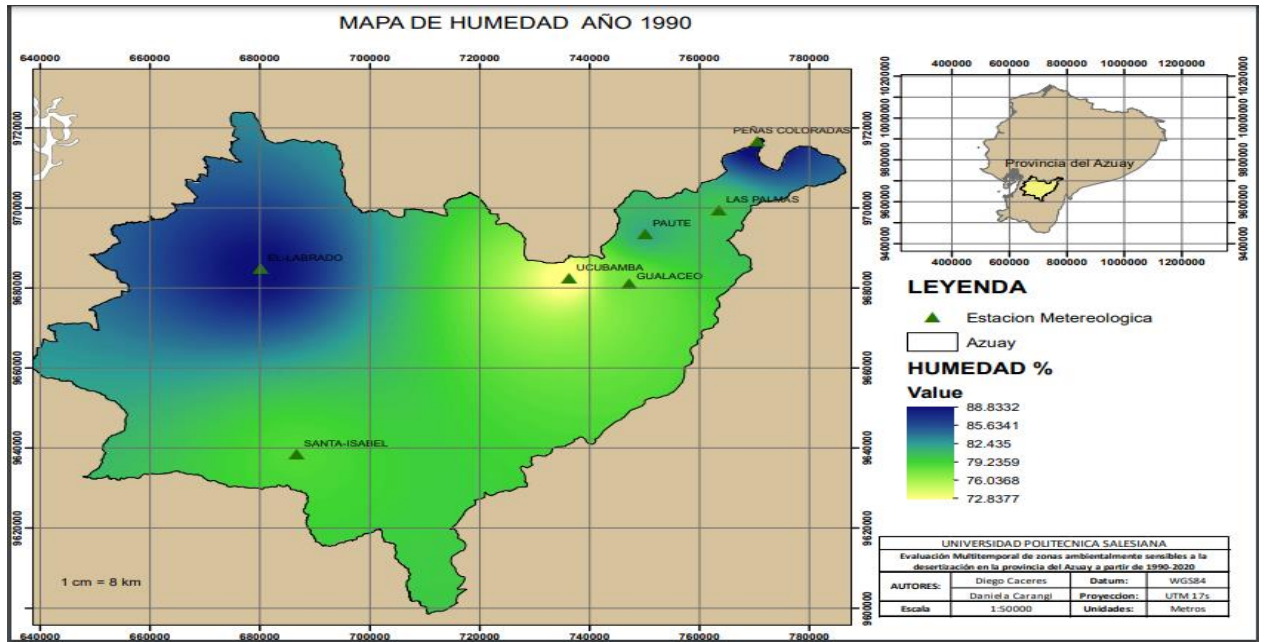
Fuente: Autores

En la figura 43, 44, 45 y 46 se observa que de 1990 al 2020, se tuvo que los rangos más altos para el año 1990 fueron de 5,47m/s en los cantones de Gualaceo y Las Palmas, y los rangos más bajos fueron de 3,07m/s en los cantones de Paute y Sigsig. Para el año 2000 y 2010 y 2020 existieron medias superiores de 6,69m/s sobre los cantones de Nabon, Cuenca y San Fernando y las mínimas llegaron a 2,66m/s.

Variación de la humedad del suelo de 1990 al 2020

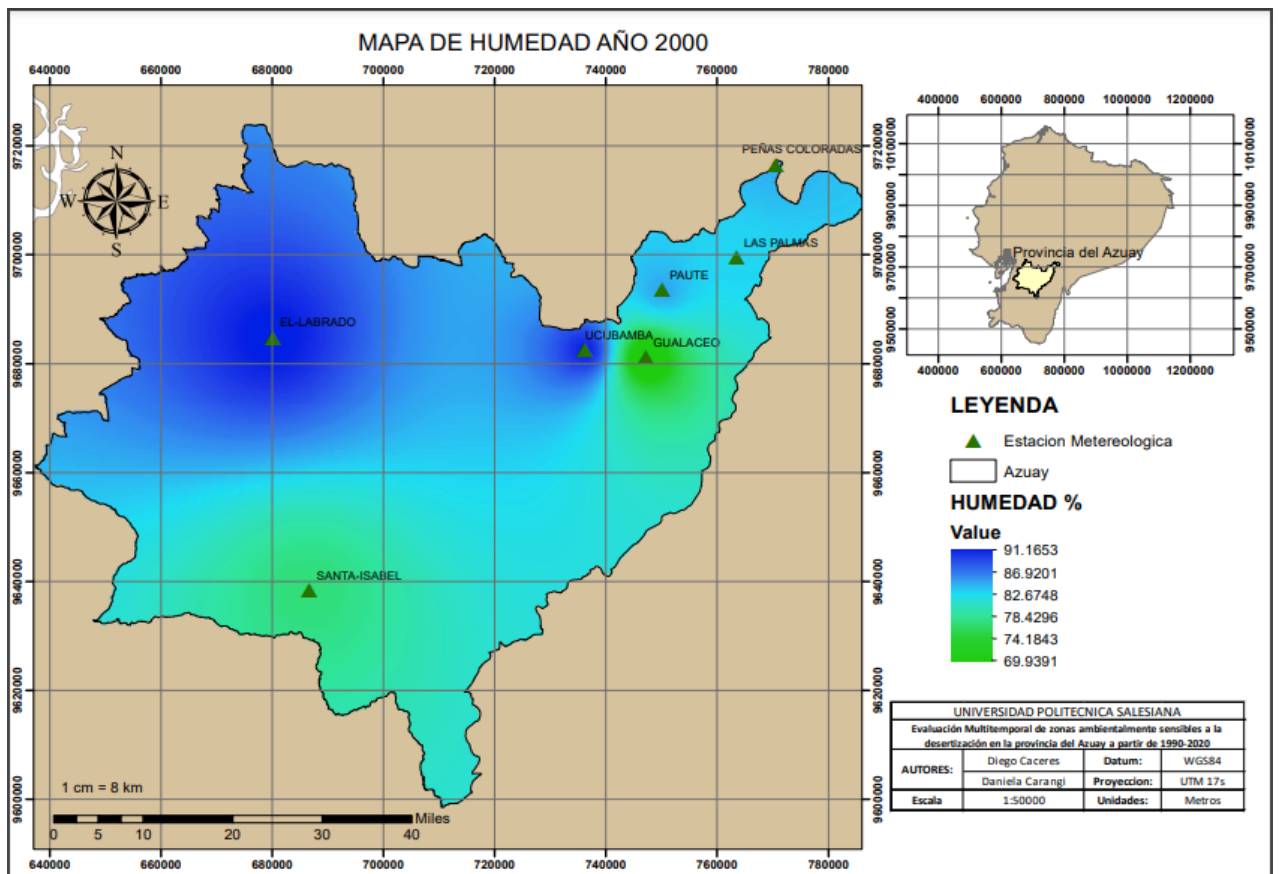
Analizar la humedad del suelo es importante porque permite realizar una medición del agua, la cual está localizada en los poros de gran tamaño del suelo, sin que existe ninguna fuerza intermolecular que le impida moverse libremente, aunque vale aclarar que es la fuerza de gravedad que le permite desplazarse hacia zonas estructurales más profundas, permitiendo el drenaje del suelo y fortaleciendo de esta manera la capa madre, impidiendo con ello que se den los procesos de erosión. Es por ello, la importancia de que exista un adecuado drenaje hídrico sobre zonas morfológicamente erosionadas. A continuación, se hace un estudio de la humedad del suelo y como este ha ido cambiando desde 1990 al 2020.

Ilustración 47 *Análisis de la humedad del año 1990*



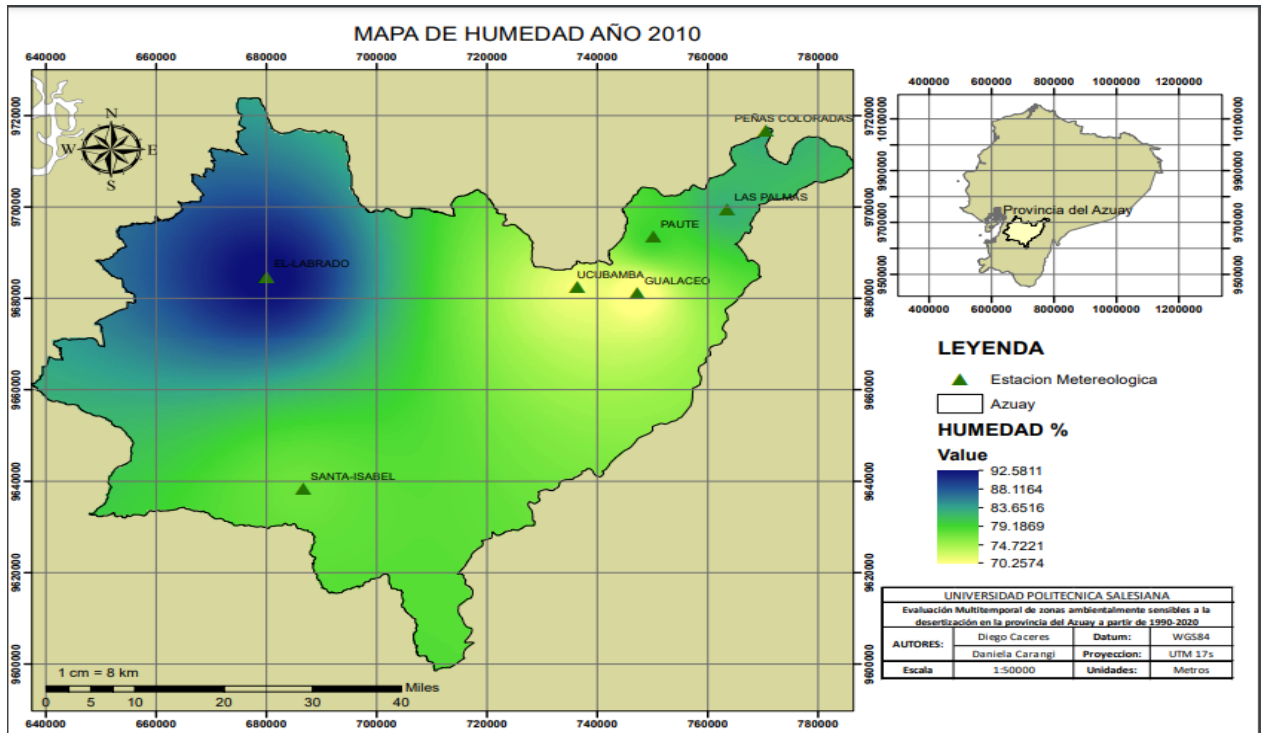
Fuente: Autores

Ilustración 48 Análisis de la humedad del año 2000



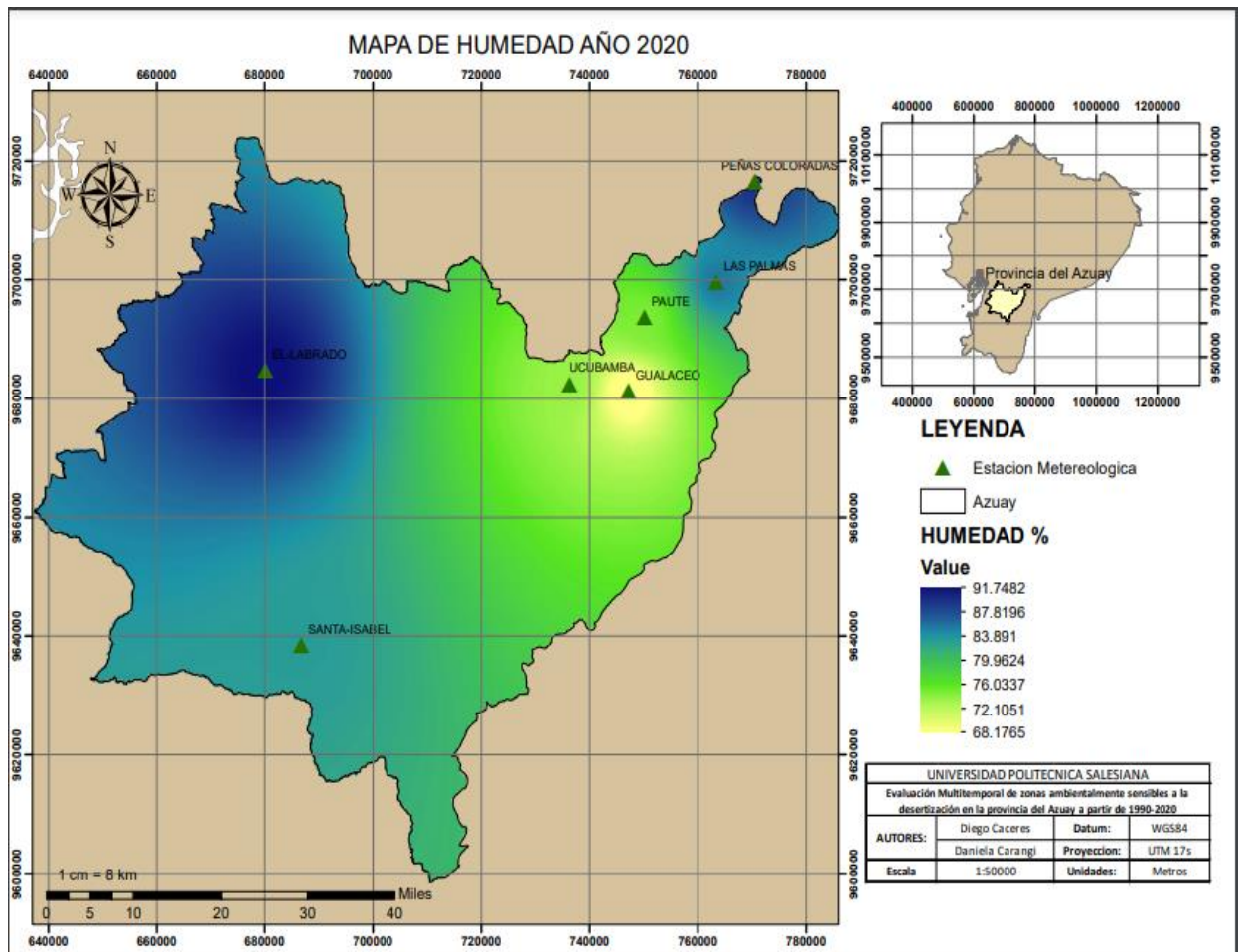
Fuente: Autores

Ilustración 49 Análisis de la humedad del año 2010



Fuente: Autores

Ilustración 50 Análisis de la humedad del año 2020



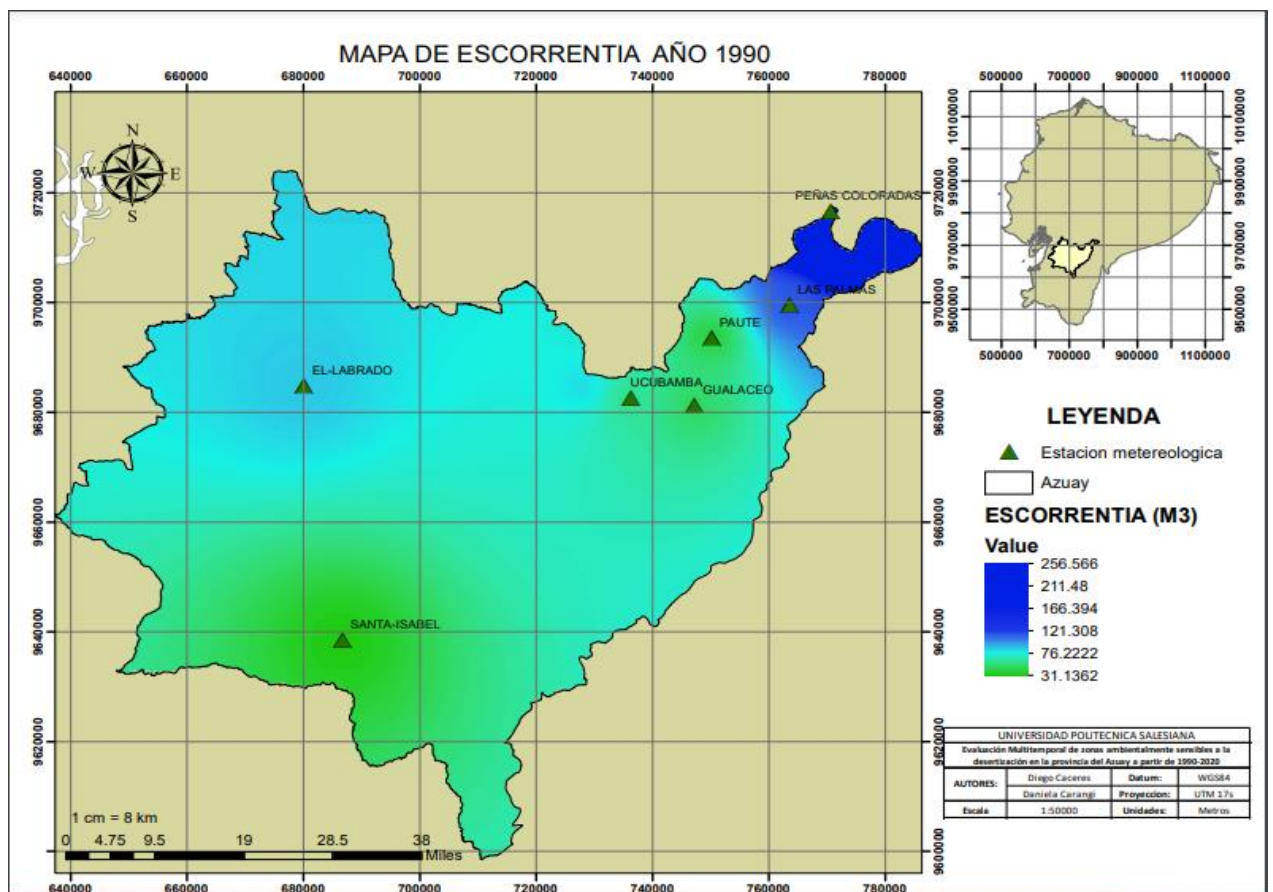
Fuente: Autores

En la ilustración 47, 48, 49 y 50 se observa las variaciones de la humedad del suelo desde 1990 al 2020, en donde se tuvo que para el año 1990 la humedad del suelo con mayor proporción fue del 88% especialmente en los cantones de Sevilla de Oro y Paute y las mínimas fueron de 72,83% en los cantones de Cuenca y Gualaceo. Para el año 2000 los niveles máximos de la humedad del suelo fueron del 91,16% en los cantones de Santa Isabel, Chordeleg y Paute y las más bajas fueron de 69,93% especialmente en el cantón de Cuenca. En cambio, en el año 2010 y 2020 existió una reducción de la humedad del suelo con respecto al año 1990 ya que bajo al 91,74% especialmente en el cantón de Santa Isabel y las más bajas fueron del 68,17% en los cantones de Cuenca y Paute.

Variación de la escorrentía de 1990 al 2020

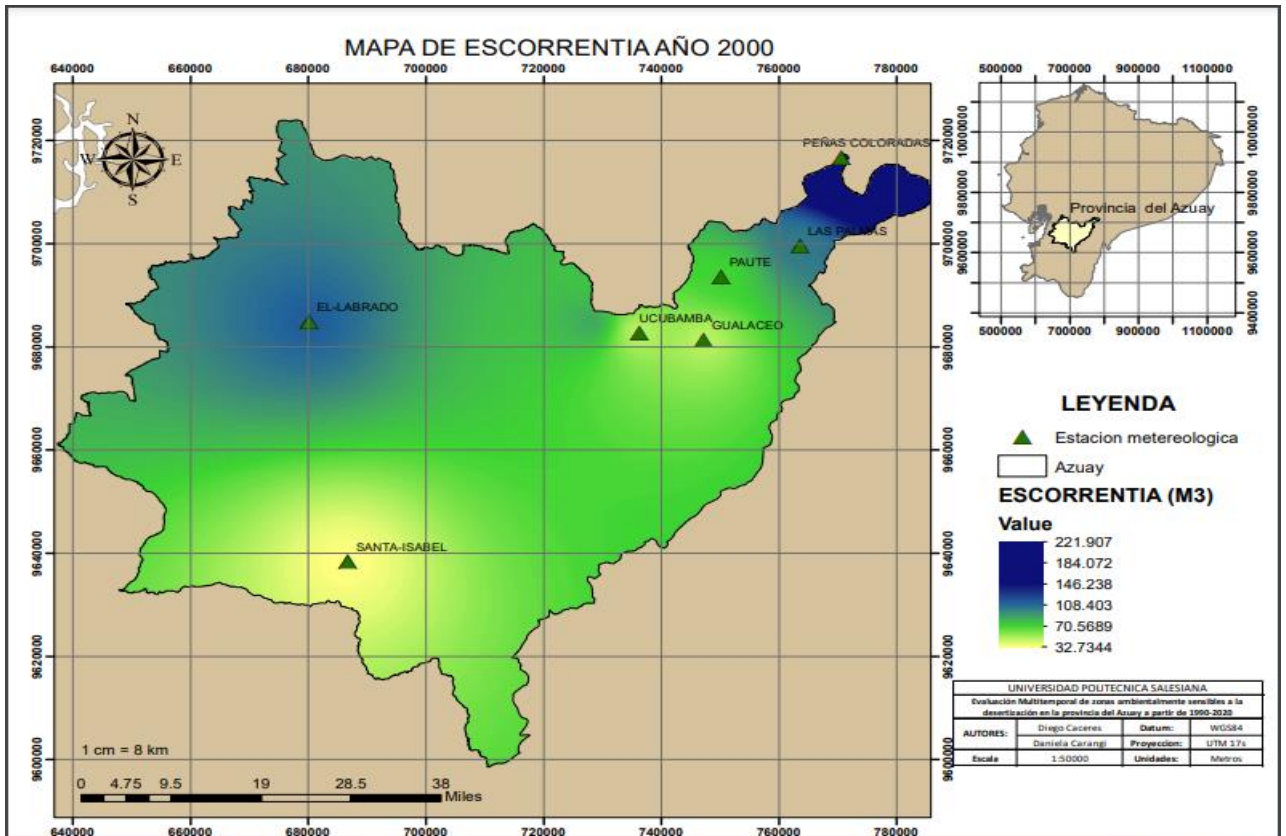
La relación que existe entre la capacidad de precipitación sobre una zona específica y el agua filtrada, se denomina escorrentía, que no es más que un proceso más del ciclo del agua, esencial para que exista un equilibrio ecosistémico. Además, la escorrentía puede ser de tipo superficial, hipodérmica o subterránea, las tres esenciales para la circulación hídrica y el drenaje superficial, especialmente sobre los terrenos físicamente alterados. A partir de ese preámbulo, se muestra a continuación, las variaciones de la escorrentía.

Ilustración 51 Análisis de escorrentía del año 1990



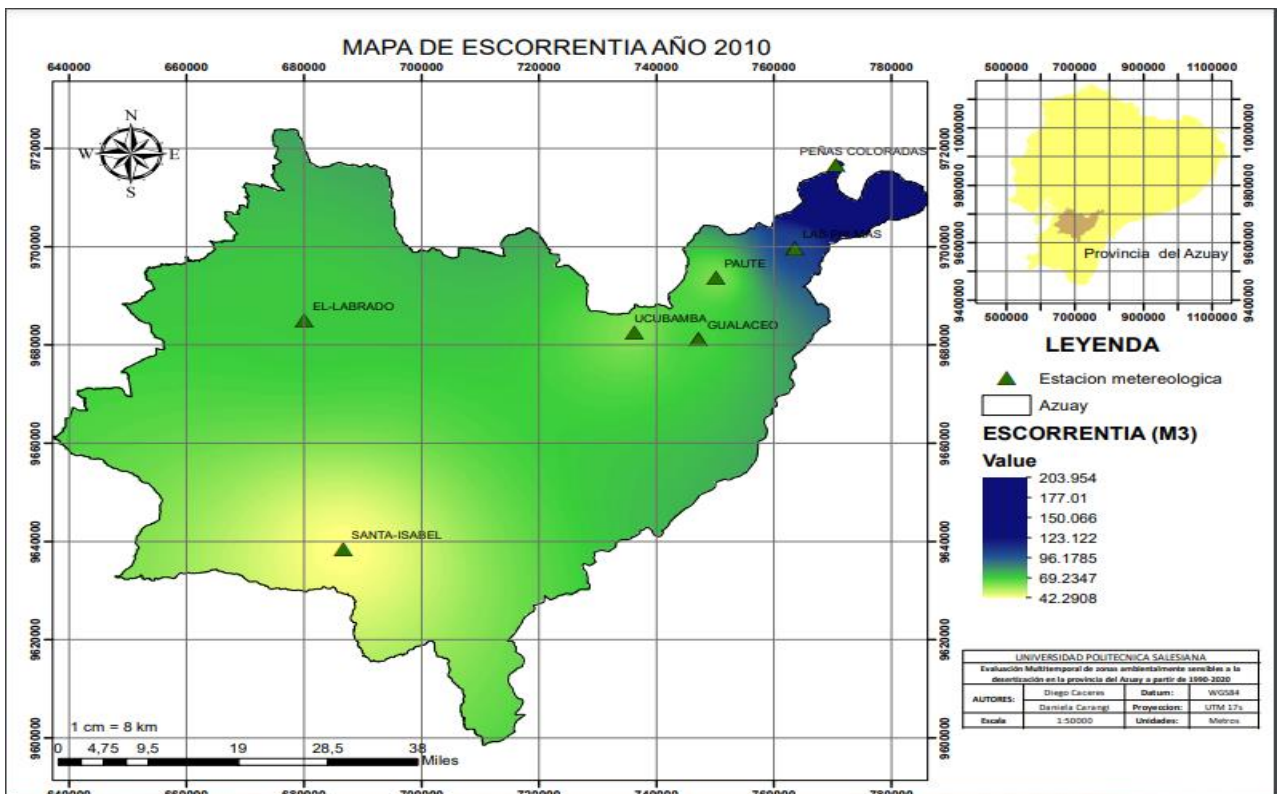
Fuente: Autores

Ilustración 52 Análisis de escorrentía del año 2000



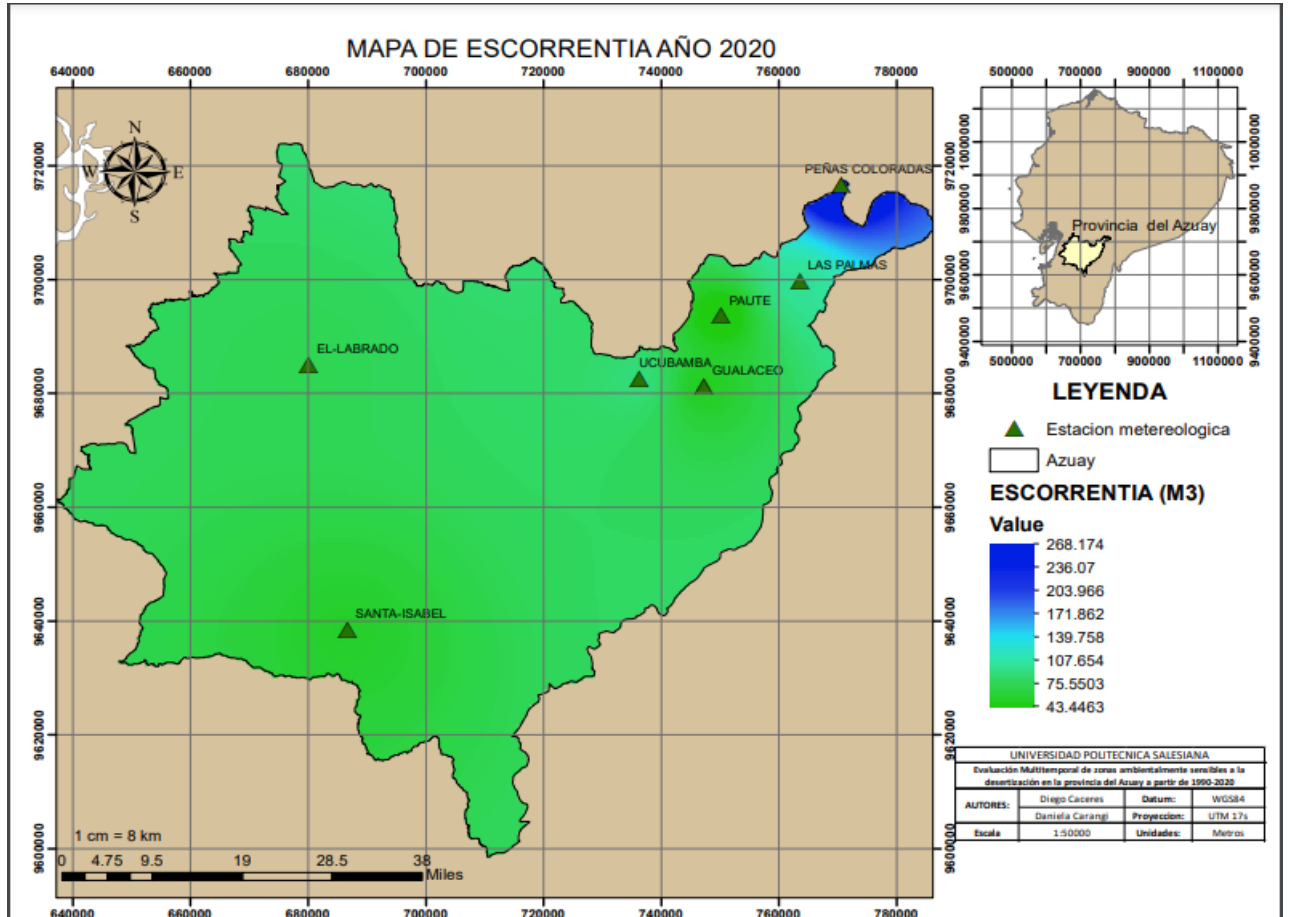
Fuente: Autores

Ilustración 53 Análisis de escorrentía del año 2010



Fuente: Autores

Ilustración 54 Análisis de escorrentía del año 2020



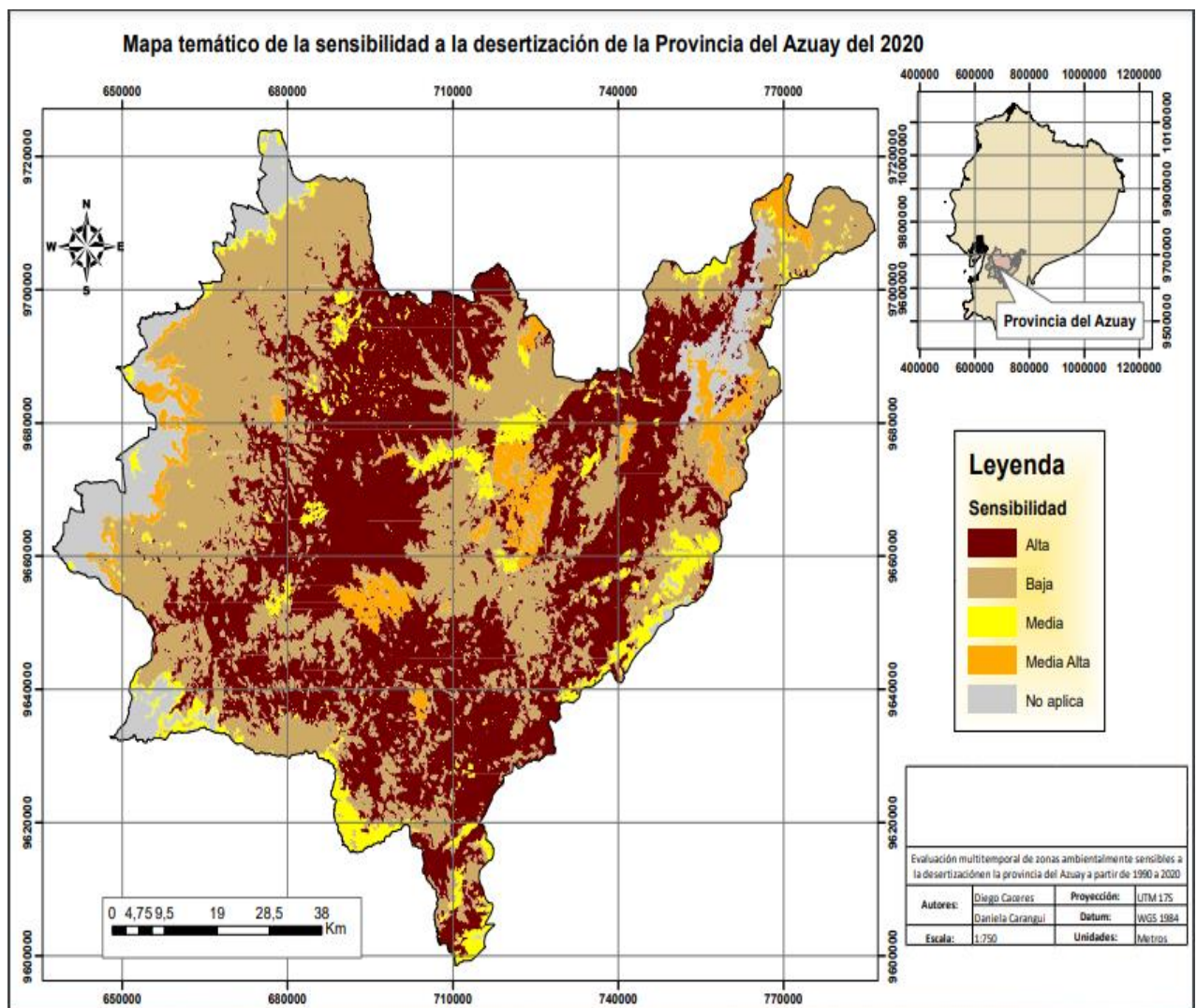
Fuente: Autores

En la ilustración 51, 52, 53 y 54 se observa las variaciones de la escorrentía desde 1990 al 2020, en donde se tuvo que para el año 1990 la escorrentía más alta fue de 256,566mm/día especialmente en los cantones de Sevilla de Oro y Paute y las mínimas fueron de 31,1362mm/día en los cantones de Cuenca y Gualaceo. Para el año 2000 la escorrentía más alta fue de 221,907mm/día en los cantones de Santa Isabel, Chordeleg y Paute y la más baja fue de 31,7344mm/día en el cantón de Cuenca. En cambio, el año 2010 y 2020 existió un aumento de escorrentía con respecto al año 1990 ya que aumento a 268,174mm/día especialmente en el cantón de Santa Isabel y las más bajas fueron de 43,4463mm/día en los cantones de Cuenca y Paute.

Análisis de la sensibilidad a los procesos de desertificación

Estudiar la sensibilidad de los procesos de desertización, significa entender como la erosión y las variaciones climáticas han influenciado sobre este tipo de procesos, los cuales han sido causados por el incremento tanto de la zona urbana como de las actividades antrópicas, influyendo directamente sobre los cambios del suelo y provocando con ello tanto la pérdida de vegetación como la reducción de los cuerpos de agua. A continuación, se muestra el mapa temático de la desertización.

Ilustración 55 Sensibilidad de la desertificación correspondiente al año 2020



Fuente: Autores

Ilustración 56 Extensión territorial de las zonas sensibles a la desertificación del

2020

FID*	Shape*	Sensibilidad	Shape Length	Shape Area	Área(Ha)	Sensibilidad	Área(%)
1	Polygon	1	13338937,009068	3848772784,575427	384877,278458	Alta	46,242883
2	Polygon	2	2289871,52212	454314714,733977	45431,471473	Media Alta	5,458577
3	Polygon	3	3208242,633509	493411149,194893	49341,114919	Media	5,928319
4	Polygon	4	12406386,880961	2977977554,186616	297797,755419	Baja	35,780306
5	Polygon	5	1400641,119686	548475340,043651	54847,534004	No aplica	6,589914

Fuente: Autores

En la ilustración 55 y 56 se observa la sensibilidad a la desertización de la provincia Azuay, en donde se tuvo que la sensibilidad alta tuvo una extensión territorial de 46,24%, en Nabón, Gualaceo, en cambio de la sensibilidad media alta tuvo el 5,45% en los cantones de Chordeleg, Santa Isabel, Pucara y Sigsig, la sensibilidad media tuvo el 5,92% en los cantones de Ponce Enríquez y Oña, la sensibilidad baja tuvo el 5,78% específicamente en los cantones de San Fernando, Guachapala, Paute, Sevilla de Oro y al Sur de Nabón, y la zona que no aplica ningún tipo de sensibilidad tuvo el 6,58%.

Interpretación de la validación de resultados

Toda tesis o trabajo de investigación ya sea en nivel de grado o doctoral tiene que ser verificado para que este tenga validez científica, mediante técnicas estadísticas, como la matriz de confusión y de transición, las mismas que usan tanto el índice de kappa como la validación y verificación en campo, entendiendo que, según expertos en estudios espaciales, dicen que si la confiabilidad de cualquier método estadístico se encuentra entre 0,8 a 1 o del 80% al 100% el método aplicado es confiable. A partir de ahí, se presenta a continuación la validación de resultados, para cada año de temporalidad.

Matriz de confusión del año 1990 al 2020

Ilustración 57 Confusion matrix del año 1990,2000,2010 y 2020

OBJECTID	ClassValue	Pastos y Cultivos	No aplica	Vegetación Leñosa	Vegetación nativa	Cuerpos de agua	Zona urbana	Vegetación Herbacea	Total	U Accuracy	Kappa
-1 C_1		1	0	0	0	0	0	0	1	1	0
-1 C_2		0	6	3	0	0	0	0	9	0,666667	0
-1 C_3		0	0	12	0	0	0	0	12	1	0
-1 C_4		3	0	3	12	0	0	0	18	0,666667	0
-1 C_5		0	0	0	0	2	0	0	2	1	0
-1 C_6		0	0	1	0	0	7	0	8	0,875	0
-1 C_7		3	0	8	0	0	0	39	50	0,78	0
-1 Total		7	6	27	12	2	7	39	100	0	0
-1 P_Accuracy		0,142857	1	0,444444	1	1	1	1	0	0,79	0
-1 Kappa		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,715794

OBJECTID	ClassValue	Pastos y cultivos	No aplica	Vegetación leñosa	Vegetación nativa	Cuerpos de agua	Zona urbana	Vegetación Herbacea	Total	U Accuracy	Kappa
-1 C_1		3	0	0	0	0	0	0	3	1	0
-1 C_2		0	3	0	0	0	0	0	3	1	0
-1 C_3		0	0	22	0	0	0	0	22	1	0
-1 C_4		0	0	0	13	0	0	0	13	1	0
-1 C_5		0	0	0	0	1	1	0	2	0,5	0
-1 C_6		0	0	6	0	0	3	0	9	0,333333	0
-1 C_7		0	0	0	0	0	0	48	48	1	0
-1 Total		3	3	28	13	1	4	48	100	0	0
-1 P_Accuracy		1	1	0,785714	1	1	0,75	1	0	0,93	0
-1 Kappa		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,897885

OBJECTID	ClassValue	Pastos y Cultivos	No aplica	Vegetación Leñosa	Vegetación Nativa	Cuerpos de agua	Zona urbana	Vegetación Herbacea	Total	U Accuracy	Kappa
-1 C_1		5	0	0	0	0	0	0	5	1	0
-1 C_2		1	2	0	0	0	0	0	3	0,666667	0
-1 C_3		1	0	13	0	0	0	0	14	0,928571	0
-1 C_4		3	0	0	15	0	0	0	18	0,833333	0
-1 C_5		0	0	0	0	1	0	0	1	1	0
-1 C_6		0	0	0	0	0	10	0	10	1	0
-1 C_7		5	0	0	0	0	0	44	49	0,897959	0
-1 Total		15	2	13	15	1	10	44	100	0	0
-1 P_Accuracy		0,333333	1	1	1	1	1	1	0	0,9	0
-1 Kappa		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,861304

OBJECTID	ClassValue	Pastos y cultivos	No aplica	Vegetación Leñosa	Vegetación nativa	Cuerpos de agua	Zona urbana	Vegetación Herbacea	Total	U Accuracy	Kappa
-1	C_1	3	0	0	0	0	0	1	4	0,75	0
-1	C_2	0	9	0	0	0	0	0	9	1	0
-1	C_3	0	0	12	0	0	0	0	12	1	0
-1	C_4	0	0	0	25	0	0	0	25	1	0
-1	C_5	0	0	0	0	4	0	0	4	1	0
-1	C_6	0	0	3	0	0	4	0	7	0,571429	0
-1	C_7	0	0	0	0	0	0	39	39	1	0
-1	Total	3	9	15	25	4	4	40	100	0	0
-1	P_Accuracy	1	1	0,8	1	1	1	0,975	0	0,96	0
-1	Kappa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,946652

Fuente: Autores

Este análisis permitió evaluar la confiabilidad del método empleado, en donde se puede observar en la ilustración 57,58,59 y 60 que para el año 1990 la confiabilidad fue del 71%, para el año 2000 la confiabilidad fue del 89%, para el año 2010 la confiabilidad fue del 86% y para el año 2020 fue del 94%, visualizándose que el método empleado fue casi perfecto, debido a que está dentro del rango de excelencia que es del 90% al 100%.

Transition matrix del año 1990 al 2021

Este tipo de evaluación se enfocó en identificar el cambio de uso de suelo, es decir como ha sucedido el cambio del suelo de una década a otra, en el lapso de 30 años y que factores incidieron para que se produzca ese cambio. A continuación, se presenta la matriz de transición.

Ilustración 58 Transition matrix 1990-2000

Table							
Area cambio 1990-2000							
FID *	Shape *	Cambio2	Shape Length	Shape Area	Area(Ha)	Area(%)	
1	Polygon	Cambio	7894391,438753	103374176,023721	63382,397079	7,663399	
2	Polygon	NO CAMBIO	10057413,445526	8219577363,279054	763697,075553	92,336601	

Fuente: Autores

Ilustración 63 Área de cambio de 2000-2010

Table							
Area cambio 2000-2010							
FID *	Shape *	Cambio2	Shape Length	Shape Area	Area(Ha)	Area(%)	
1	Polygon	Cambio	7938801,486872	104843396,680839	102800,436561	12,447653	
2	Polygon	NO CAMBIO	10084503,511742	8218108142,62812	723061,575208	87,552347	

Fuente: Autores

Ilustración 64 Área de cambio de 2010-2020

Table							
Area cambio 2010-2020							
FID *	Shape *	Cambio2	Shape Length	Shape Area	Area(Ha)	Area(%)	
1	Polygon	Cambio	8014144,574628	97939897,458709	175868,710108	21,233642	
2	Polygon	NO CAMBIO	10143317,393353	8225011641,848849	652386,316687	78,766358	

Fuente: Autores

Ilustración 65 Área de cambio de 1990-2020

Table							
Area cambio 1990-2020							
FID *	Shape *	Cambio2	Shape Length	Shape Area	Area(Ha)	Area(%)	
1	Polygon	Cambio	8602790,708888	279476064,281962	335865,301942	40,574364	
2	Polygon	NO CAMBIO	10719255,586257	8043475475,014713	491911,820975	59,425636	

Fuente: Autores

En las ilustraciones que van de la 61 a la 68 se pudo identificar la tasa de cambio del uso de suelo desde 1990 al 2020, en donde se tuvo que para la temporalidad de 1990-2000 la zona de cambio fue de 7,66% y la tasa que no cambio fue del 92,33%, para la temporalidad de 2000-2010 la zona de cambio fue de 12,44% y la tasa que no cambio fue del 87,55%, para la temporalidad 2010-2020 la proporción de cambio fue de 21,23% y la

tasa que no cambio fue del 78,76% y finalmente la tasa de cambio de 1990 al 2020 fue del 40,57% y la zona que no cambio fue del 59,42%

IV. ALTERNATIVAS FRENTE A LOS PROCESOS DE DESERTIZACIÓN

Las alternativas frente a los procesos de desertización deben estar enfocados a lo económico, ambiental, legal, financiero, debido a que cada área de la ciencia es importante para prevenir y, mitigar los problemas ambientales, los mismos que tienen una incidencia directa sobre la sociedad.

A partir de ahí se establecen alternativas con posibilidad de ejecución.

Tabla 6 Plan de acción

AREA DE ACCIÓN /OBJETIVOS		ACTIVIDADES	EJECUTOR		PLAZO DE EJECUCION		
			Cantonal	Provincial	CORNO TO	MEDIA NO	PLAZO RGO
PROGRAMAS DE ACCION							
Generar conciencia sobre la implementación de sistemas integrales de planificación a nivel de la provincia del Azuay para el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales en áreas sensibles por la desertización.	Organizar un taller a nivel cantonal para depreparar el plan		X				X
	Seleccionar al personal técnico adecuado para la lucha contra problemas ambientales.		X				X
	Establecer objetivos internos en función de las herramientas de coordinación y autogestión.		X				X
	Analizar la viabilidad de los proyectos en ejecución mediante un análisis de inversión, identificando el punto de equilibrio de cada proyecto.				X		
Ambiental							
Adquirir los conocimientos técnicos sobre los procesos de desertización y los factores climáticos de incidencia en la provincia de estudio, tanto las causas como consecuencias enfocadas a las variables de	Generar una reunión provincial para establecer una metodología analizada, probada y experimentada para el monitoreo de los procesos de desertización		X				X
	Analizar el estado actual de la provincia del Azuay, mediante estudios sobre la sensibilidad a la desertización.		X				X

actividades antrópicas como naturales					
Realizar un inventario de la sensibilidad a la desertización del año actual, identificando las zonas bajas, medias o altas. Con el fin de elaborar diferentes medidas de recuperación de los suelos afectados ambientalmente.	Realizar un análisis detallado, de la academia sobre los estudios enfocados en la desertización, y el avance sobre ellos, con el fin de generar un apoyo interinstitucional entre la universidad, la investigación y los gobiernos cantonales.		X		X
	Establecer los medios de interlocución que van a permitir la comunicación tanto en radio como televisión, sobre los avances en la identificación de las zonas ambientalmente afectadas por la erosión.		X		X
	Generar un inventario sobre los procesos de desertización y sobre que zonas hay mayor o menor susceptibilidad		X	X	

AREA DE ACCIÓN /OBJETIVOS ESPECÍFICOS	ACTIVIDADES	EJECUTO		PLAZO DE EJECUCION	
		R antonal	C ovincial	Pr COR TO	M EDIANO LAR GO
LEGISLACION					
Tener presente la normativa ambiental vigente, así como el apoyo de los instrumentos internacionales, los mismos que apoyan la lucha contra los eventos ocasionados por la desertización.	Analizar la legislación pertinente a las zonas afectadas por la desertización, y sobre las afectaciones al agua, suelo y aire.		X		
PARTICIPACION					
Generar una participación de los involucrados en la ejecución de los PAND, así como de la institucionalidad de los gad cantonales de la provincia del Azuay	Establecer sistemas de cooperación institucionalidad entre las instituciones del estado y privado. Generar instrucción adecuada a los involucrados de todos los sectores, con el fin de que exista una participación global y planificación de los PARD		X	X	X
Generar apoyo a las entidades gubernamentales especialmente de las zonas rurales, que son las más olvidadas, con el fin de incentivar a que generen	Instruir al personal técnico sobre la desertización y los estudios más recientes en la lucha contra este problema ambiental. Capacitar a la ciudadanía en general sobre la microempresa, y el desarrollo sostenible y sustentable, porque			X	X

conocimiento sobre los procesos de autogestión. para proteger al ambiente no es necesario parar actividades de producción, con responsabilidad se logra cualquier cosa.

FINANCIEROS					
<p>Generar un aprovechamiento de los diferentes programas que lleva a cabo el Ministerio del ambiente, enfocados a controlar, prevenir y mitigar los procesos de desertización, apoyados en los planes estratégicos de recuperación ecosistémica.</p> <p>Promover la gestión individual de la provincia del Azuay, mediante diferentes proyectos que lleva a cabo la ONU</p>	Identificar el financiamiento de los procesos de desertización que existen en el país.	X			X
	Realizar congresos y simposios sobre los estudios de desertización que existen sobre la provincia del Azuay, y las alternativas que están en ejecución.	X			
	Coordinar planes que estén enfocados sobre las diferentes estrategias para un desarrollo sostenible y sustentable		X		
	Generar un programa para incentivar al sector industrial, sobre medidas de protección ambiental		X		X
	Apoyar a las microempresas, mediante información sobre tecnologías limpias y verdes.	X			X

V. DISCUSIÓN

(Delgado Saquicela & Calle Flores, 2017) realizó un estudio enfocado a la erosión de los suelos, de la zona austral del país, el cual dijo enfáticamente que estos fenómenos se dan por elementos climáticos y de pérdida de vegetación, que no es más que el resultado del inadecuado manejo de los recursos de los páramos.

Por otro lado encontramos similitudes de nuestro trabajo con el estudio llevado a cabo por (Segarra, 2017) en donde se llega a la conclusión de que las afecciones que se han dado al ecosistema es por la contaminación de los cuerpos de agua, especialmente de zonas rurales. Además, coincidimos en decir que las actividades de la reforestación se han dado de una manera antitécnica.

(Cascante-Almeida et al., 2019) llevo a cabo un estudio en donde hallamos similitudes tanto en el método empleado como en la valoración de los elementos climáticos, con el fin de identificar los procesos de desertización, en donde coincidimos en que la degradación de la tierra se da específicamente sobre zonas secas, y el factor precipitación juega un papel determinante en este tipo de procesos ambientales. Por otro lado, existe un reporte del (Ministerio del Ambiente, 2004) y (Alonso Sarría, 2006) en donde dicen que los desastres naturales han ocasionado gran peligro a la estabilidad de los terrenos, especialmente a los taludes o laderas inclinadas, las cuales son propensas de deslizamientos de gran magnitud.

Por otro lado (Vargas Cuervo & Gómez, 2003) se enfoca en lo positivo de este tipo de estudios, dejando claro que la identificación de las zonas susceptibles a la desertización son consideran iniciativas puntuales, ya que dicha información es de carácter provincial. Además, el autor nombrado anteriormente coincide con nosotros que

es necesario generar recomendaciones y sugerencias como las posibles grandes medidas para la lucha contra la degradación y sus elementos de intervención.

Finalmente, coincidimos con el estudio de (González & Sánchez, 2020) en donde establece que la seguridad alimentaria debe protegerse, en función a los mecanismos de control y autogestión, que tienen los municipios, mediante la reforestación de zonas ambientalmente afectadas por actividades industriales.

VI. CONCLUSIONES

- Mediante el procesamiento de información satelital del Sensor Landsat 7 y 8, se pudo identificar los cambios de uso de suelo desde 1990 al 2020, de la provincia del Azuay, en donde la información satelital facilitó el análisis de los cambios superficiales, y se logró entender de mejor manera como se produce la pérdida de la vegetación, esto mediante una corrección adecuada de imágenes satelitales, las mismas que permitieron recuperar toda la información perdida por el satélite, mediante correcciones radiométricas o atmosféricas, concluyendo que la calidad de las imágenes satelitales fueron determinantes para el mapeo de toda la provincia del Azuay, de manera eficiente y confiable.
- Como segunda conclusión tenemos que mediante las imágenes satelitales, se consiguió analizar de manera correcta el cambio de uso de suelo que comprenden los años de 1990, 2000, 2010 y 2020, en donde en la década de 1990 al 2010 se definió que las áreas de mayor proporción fueron la de vegetación herbácea, vegetación leñosa y vegetación nativa, en cambio las de menor proporción fueron la zona urbana, los pastos y cultivos, este comportamiento se dio debido a que los procesos agrícolas aún no se daban con crecimiento descontrolado, y los cuerpos de agua mantenían su proporción. Pero desafortunadamente, esta realidad

comienza a cambiar para la década del 2010 y empeora en el 2020, llegando a crecer de manera desmesurada la frontera agrícola y la zona urbana, ocasionando pérdida de la vegetación nativa, específicamente sobre zonas de conservación y protección. Pero los cuerpos de agua especialmente sobre la zona del Cajas mantuvieron su proporción, esto se dio por la acelerada autogestión sobre el cantón Cuenca.

- Como una tercera conclusión, tenemos que los factores climáticos fueron determinantes para comprender de manera adecuada el desarrollo de los procesos de desertización, y sobre que variables intervienen. En ese sentido, concluimos que los elementos climáticos como el viento, evaporación, temperatura, precipitación, escorrentía y humedad del suelo son determinantes para identificar los procesos de desertización. Es así como, mediante un enfoque técnico, definimos que los altos niveles de temperatura, los mínimos niveles de precipitación y evaporación ocasionan grandes sequías, lo cual no solo afecta a la estabilidad alimentaria sino a las zonas de vegetación nativa, que se encuentran sobre áreas de conservación y protección. Por otro lado, la velocidad viento, escorrentía y humedad del suelo, son determinantes para preservar el ecosistema, dándole valor agregado a la capacidad de campo, y fortaleciendo los cultivos y la vegetación de la zona de estudio, que son fundamentales para luchar no solo contra seguridad alimentaria, sino sobre el nicho ecológico.
- Como cuarta conclusión, tenemos que la desertización ocasiona impactos directos sobre el ambiente y la sociedad, entre los cuales se definen la pérdida de vegetación, erosión del suelo, acumulación de aguas residuales, incremento de lixiviados, etc. Es por ello, que es de suma importancia generar medidas de preservación y recuperación sobre suelos ambientalmente afectados por este tipo

de procesos, como el plan de acción, que no es más que una estructuración técnica, compuesta por medidas encaminadas a recuperar el ambiente, fortaleciendo el desarrollo provincial, el mismo que está enfocado directamente en la legislación ecuatoriana y en los instrumentos internacionales, que son fundamentales para un crecimiento en base a la innovación y el respeto comunitario. Porque debemos estar conscientes que es posible un desarrollo industrial en base a la sostenibilidad y sustentabilidad.

- Mediante este estudio se concluye que los procesos de desertización en la provincia del Azuay, causada por la deforestación extensiva, malas prácticas agrícolas, pérdida de la vegetación, reducción de los cuerpos de agua, se dan por los diferentes actividades antrópicas y naturales, las cuales han provocado aumento de la erosión, lo que ha ocasionado la pérdida de los nichos ecológicos, este problema está íntimamente relacionado con los procesos de producción y los factores climáticos que inciden sobre el ambiente.
- Con este trabajo se estableció que mediante la matriz de transición existió un cambio importante del tipo de suelo, que estuvieron sujetos a las variables meteorológicas, pasando una importante zona de protección a zona de producción, lo cual incidió en los procesos de erosión. Además, la zona urbana se incrementó específicamente sobre el cantón de Cuenca, Paute y Gualaceo, perdiendo zonas de producción a zonas urbanas, en donde en el cantón cuenca se establecieron diferentes fábricas, que, mediante la utilización de energías insostenibles para el ambiente, aumentando las zonas de contaminación y los procesos de desertización se vieron en continuo crecimiento en la última década. No solo afecto al ecosistema, sino a la producción, a la economía, a lo político y a las relaciones interpersonales.

- Finalmente, esta investigación llega a la conclusión que la sensibilidad alta tuvo una extensión territorial de 46,24%, la sensibilidad media alta tuvo el 5,45%, la sensibilidad media tuvo el 5,92% y la sensibilidad baja tuvo el 5,78% y la zona que no aplica ningún tipo de sensibilidad tuvo el 6,58%, la sensibilidad alta se originó específicamente por múltiples factores la eutrofización, acidificación, ocasionando la reducción de los cuerpos de agua y afectación directa del ecosistema por el incremento de la zona urbana y agrícola, que no es más causado que por el inicio de la industria desde 1990 al 2020.

VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda poner atención a las zonas sensibles a la desertización, y sobre que cantones existe mayor incidencia, para evaluar las diferentes medidas de contingencia y recuperación de los ecosistemas afectados por este problema ambiental.
- Implementar políticas públicas enfocadas a la prevención de desastres naturales, que estas se rijan en la normativa vigente y en los instrumentos internacionales
- Generar una educación ambiental sobre la reforestación, especialmente sobre zonas erosionadas, ya que son la principal causante del incremento de mortalidad de especies acuáticas y terrestres, que son indispensables para el equilibrio ecosistémico.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Alonso Sarría, F. (2006). Sistemas de Información Geográfica. Universidad de Murcia, departamento de Geografía. *Sistemas de Información Geográfica*, 239. <https://bit.ly/3sPPZII>
- Alvarez-Vera, M., Vázquez, J., Castillo, J., Tucta, F., Quispe, E., & Meza, V. (2018). Potential of the flora of the province of Azuay (Ecuador) as a source of beneficial microorganisms. *Scientia Agropecuaria*, 9(4), 561–568. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.04.12>
- Ambiente, Ministerio del. (2004). *Desertificación Y Mitigación*.
- Ambiente, Ministro. (2018). *Plan de manejo del parque nacional cajas*. 1–93. file:///C:/Users/PERSONAL/Documents/PLAN_DE_MANEJO_DEL_PARQUE_NACIONAL_CAJAS.pdf
- Ariza Alexander. (2013). Descripción y Corrección de Productos Landsat 8 LDCM (Landsat Data Continuity Mission). *Centro de Investigación y Desarrollo En Información Geográfica Del IGAC -CIAF*, 46.
- Arnau, R., Rivera, A., & Frarques, J. M. (2001). La contaminación y el deterioro de los recursos naturales. *Módulo de Sensibilización Ambiental*, 19–33.
- Avendaño, W. (2012). La Educación Ambiental Como Herramienta de Responsabilidad Social. *Revista Luna Azul*, 35(19092474), 94–115.
- Azqueta, D., Alviar, M., Dominguez, L., & Ryan, R. (2007). Introducción a la economía ambiental. In *British Journal of Cancer* (Vol. 25, Issue 3). <http://www.revista.unam.mx/vol.7/num7/art55/int55.htm>
- Azuela. (2008). *Sistema integral de saneamiento ecológico: una alternativa holística para abastecimiento de agua y saneamiento básico de las poblaciones rurales*.
- Bustamante, L. M. (2003). *Análisis multitemporal de los sistemas productivos del suroccidente de la provincia de Loja*.
- Cascante-Almeida, P. G., Andrade-Muñoz, L. B., & Reyes-Pozo, M. D. (2019). Determinación de zonas susceptibles al fenómeno de desertificación en el cantón Ibarra, provincia de Imbabura. *Polo Del Conocimiento*, 4(6), 208. <https://doi.org/10.23857/pc.v4i6.1007>
- CNUMAD. (1993). *Convención Internacional para combatir la desertificación en América Latina*. 60.
- Cornejo, M. del P. (2014). Ecuador avanza en gestión de riesgos 2008 - 2013. *Secretaría de Gestión de Riesgo*, 132. http://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/08/Logros-SGR_finalok.pdf
- Del, G., Valoración, T. Y., Rurales, T., Cuenca, D. E. L. A., & Rio, D. E. L. (2009). *Memoria técnica*. 1–74.
- Delgado Saquicela, J., & Calle Flores, S. (2017). Plan de reforestación con prácticas que mejore la conservación de los recursos naturales en las áreas de las fuentes hídricas del páramo el Mozo. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 110(9),

- 1689–1699. <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/3400/1/08748.pdf>
- Espinosa Ramírez, M., Andrade Limas, E., Rivera Ortiz, P., & Romero Díaz, M. (2011). Degradación de suelos por actividades antrópicas en el norte de Tamaulipas, México. *Papeles de Geografía*, 53, 77–88.
- Esri. (2021). *Introducción a las imágenes _ Learn ArcGIS*.
- FAO. (2008). *La problemática de la utilización del suelo*. <http://edafologia.ugr.es/gestionsuelos/grupoa/tema1.pdf>
- García, V. (2000). *Sistemas de información geográfica*. 2–40.
- Geoecuator. (2008). Estado del suelo. *Geoecuator*, Cap 4 75-90. [http://www.pnuma.org/deat1/pdf/Ecuador pdf/06. Capitulo 4. Estado del suelo.pdf](http://www.pnuma.org/deat1/pdf/Ecuador%20pdf/06.%20Capitulo%204.%20Estado%20del%20suelo.pdf)
- GEOPLADES CIA. LTDA. (2009). Estudio Multitemporal Del Nor-Oriente Del Ecuador. *The Nature Conservancy*, 0(0), 2–30.
- Gobierno, P. del A. (2017). *Plan de Infraestructura Vial Provincial*.
- González, & Sánchez. (2020). Diagnóstico de clima organizacional y propuesta de plan de acción para el gad municipal del cantón camilo ponce enriquez. *Transtornos Alimenticios*, 41. <http://repositorio.uwiener.edu.pe/handle/123456789/2216%0Ahttp://www.scielo.br/pdf/ean/v13n2/v13n2a08.pdf>. 2009 abr-jun; 13(2).
- Gorbachov, M. (2000). La Carta De La Tierra. *Carta De La Tierra*, 1–6. www.cartadelatierra.org
- Guillermo, E., & Guaranda, W. (2014). Medio ambiente. In *XI Informe sobre Derechos Humanos: Medio Ambiente*. <http://repositorio.dpe.gob.ec/bitstream/39000/2029/1/FIO-005-2018.pdf>
- Hutchison. (2015). Dimensions of human behavior. ISPFU
- INAMHI. (2016). *Boletín Climatológico Anual*. 31. http://www.serviciometeorologico.gob.ec/meteorologia/boletines/bol_anu.pdf
- INEGI. (2016). *Satélite LANDSAT*. https://www.inegi.org.mx/temas/imagenes/imgLANDSAT/doc/Aspectos_tecnicos_landsat.pdf
- Instituto Geográfico Nacional. (2018). *3D Analyst y ArcGlobe. Teledetección*. Instituto Geográfico Nacional.
- Kloepfer. (2012). *Derecho penal y protección del medio ambiente*. 316.
- Kumar. (2016). *Environmental studies*.
- Leon. (1992). *Análisis de la producción industrial de la provincia del Azuay*.
- Lopez, C., Gonzales, M., Medina, C., & Spinola, A. (2012). Clima Ecuatorial. *Grado En Geografía y Gestión Del Territorio*, 18. <http://titulaciongeografia-sevilla.es/contenidos/profesores/materiales/archivos/2012-04-16CLIMAEQUATORIAL.pdf>
- Low, S., & Boettcher, M. (2020). Delaying decarbonization: Climate governmentalities

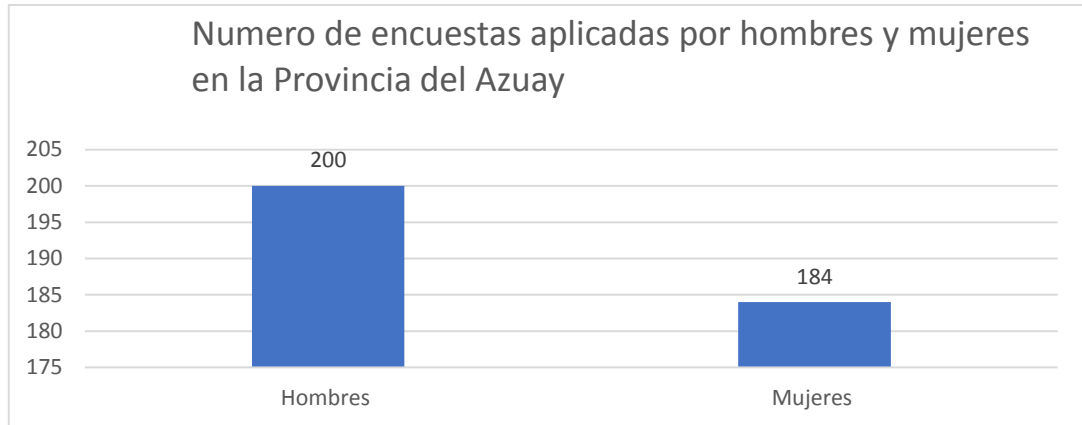
- and sociotechnical strategies from Copenhagen to Paris. *Earth System Governance*, 5, 100073. <https://doi.org/10.1016/j.esg.2020.100073>
- Mcfarland, M. L., Provin, T. L., & Boellstorff, D. E. (2019). Problemas con el agua potable: Corrosión. *AgriLIFE EXTENSION*, 3(1), 1–6. <https://cdn-ext.agnet.tamu.edu/wp-content/uploads/2019/03/E616S-problemas-con-el-aqua-potable-corrosion.pdf>
- Meira C., P. Á. (2013). Problemas ambientales globales y educación ambiental: Una aproximación desde las representaciones sociales del cambio climático¹ / Global environmental issues and environmental education: An approach from the social representations of climate change. *Revista Integra Educativa*, 6(3), 29–64.
- Mena Frau, C., Molina Pino, L., Ormazábal Rojas, Y., & Morales Hernández, Y. (2011). Generalización de modelo digital de elevación condicionada por puntos críticos de terreno. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 17(3), 439–457. <https://doi.org/10.1590/s1982-21702011000300007>
- Merino, C. F. P. (2009). Áreas Susceptibles a Riesgo De Erosión Y Con Mayor Capacidad De Almacenamiento De Agua. *Tesis*, 1–2. http://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/19830/1/Alvaro_Aparicio_Loayza_Ruiz.pdf
- MIDUVI. (2015). Informe Nacional del Ecuador para la Tercera Conferencia de las Naciones Unidas sobre Vivienda y Desarrollo Urbano Sostenible HABITAT III. *Subsecretaría de Hábitat y Asentamientos Humanos*, 110. http://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/05/Informe-Pais-Ecuador-Enero-2016_vf.pdf
- Mieza, M. S., Kovac, F. D., & Martínez, D. E. (2012). Imágenes satelitales y aéreas en aplicaciones sitio específicas. *Avances de La Agricultura Por Ambientes En La Región Semiárida Pampeana*, 90(August 2012), 10–14.
- Minga, D. (2017). *Árboles y arbustos de los ríos de Cuenca Azuay-Ecuador*. April 2016. https://www.researchgate.net/profile/Danilo-Minga/publication/303677294_Arboles_y_arbustos_de_los_rios_de_Cuenca_Azuay-Ecuador/links/5911bb62a6fdcc963e69a3ad/Arboles-y-arbustos-de-los-rios-de-Cuenca-Azuay-Ecuador.pdf
- Ministerio del Ambiente. (2018). Sinergias entre degradación de la Tierra y cambio climático en los paisajes agrarios del Ecuador. *Ministerio Del Ambiente Del Ecuador*, 88, 5–88. <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/57189.pdf>
- Morales, Dascal, & Aranibar. (2013). *Estudio de los costos de la desertización y degradación de las tierras en Piura Perú*.
- MOU. (2010). *APENDICE DE SUSCRIPCIÓN DE ACUERDO UNDER2 MOU CARACTERISTICAS DE LA REGION SURAMERICA ECUADOR - País verde PROVINCIA DE AZUAY*.
- Núñez, M., Benítez, E., Bonnin, J. J., & Paiva, J. (2019). Characterization of the compaction and moisture content of soils in Silvopastoral systems and natural pasture field. In *En X CONGRESO INTERNACIONAL DE SISTEMAS SILVOPASTORILES por una producción sostenible*.

- Paccini Sánchez, J. C. (2018). *Análisis de alternativas técnico - económicas para estabilizar el talud ubicado en el km 3+310 al km 3+490 de la vía Chontayoc – Tinyash, distrito de independencia –Huaraz –Ancash.*
- Pacheco Torres, H. Y. (2015a). *Evaluación de la desertificación en la provincia del Azuay a partir del año 1980.* 172.
- Pacheco Torres, H. Y. (2015b). *Evaluación de la desertificación en la provincia del Azuay a partir del año 1980.* 172.
- Palacios, L. E. (2016). “ *Determinación de Zonas Susceptibles a Erosión Hídrica en los Cantones de Quilanga y Espindola de la Provincia de Loja , Utilizando Sistemas de Información Geográfica*”. 78.
- Partes, C. D. E. L. A. S., Particular, E. N., El, S., Del, E., Sobre, I., Realizados, L. O. S. P., & La, E. N. (2000). *Convención de Lucha contra la Desertificación.* 63853(4), 1–45.
- Pesantez. (2015). *Clasificación y predicción de cambio de cobertura de suelo de la cuenca del río Paute utilizando herramientas geoinformáticas.*
- Pesántez, A. P. N. (2013). Acondicionamiento térmico en espacios interiores de viviendas, usando la energía solar. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Por, I., & Martínez, B. (1992). “*Problemáticas ambientales globales*” *PROGRAMA FORMATIVO.*
- Portilla, F., Noguera, M., & Pacheco, N. (2014). Diagnostico multitemporal de las areas ambientales sensibles a la deforestacion. *Revista de Ciencias de Vida*, 20(1390–3799), 36–44. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=476047265005%0ACómo>
- Prefectura de los Rios. (2013). *Plan de desarrollo y Ordenamiento Territorial.*
- Pucha-cofrep, F., Fries, A., Cánovas-García, F., Oñate-Valdivieso, F., González-Jaramillo, V., & Pucha-Cofrep, D. (2017). Fundamentos de SIG. Aplicaciones con ArcGIS. In *Edilaja Cia. Ltada.* (Issue July).
- Rodriguez, & Arredondo. (2005). *Manual para el manejo y procesamiento de imágenes satelitales obtenidas del sensor remoto modis de la nasa, aplicado en estudios de ingeniería civil.*
- Ruiz, & Febles. (2004). *La desertificación y sequia en el mundo.*
- Sanabria. (1970). Análisis Multitemporal De La Cobertura Vegetal, Zonas De Erosión Y Dirección Del Cauce, En La Cuenca Del Río Cravo Sur, Comprendido Desde El Municipio De Socha En El Departamento De Boyacá Hasta El Municipio De Yopal En El Departamento De Casanare Bryan. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <file:///C:/Users/USUARIO/Documents/ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA COBERTURA VEGETAL, ZONAS DE.pdf>
- Santillo, & Coahuila. (2010). *Comprender el cambio climático.* 10.
- Santos Saavedra, W., & Costro Romero, D. (2012). Estudio De La Pérdida Del Recurso Suelo Mediante El Cálculo De Tasas De Erosión Y Propuesta De Estrategias De Manejo De Suelos, Determinadas Por Las Características Socio-Ambientales De Los Andes Ecuatorianos“. *Ingeniero En Ciencias Geográficas Y Desarrollo Sustentable*

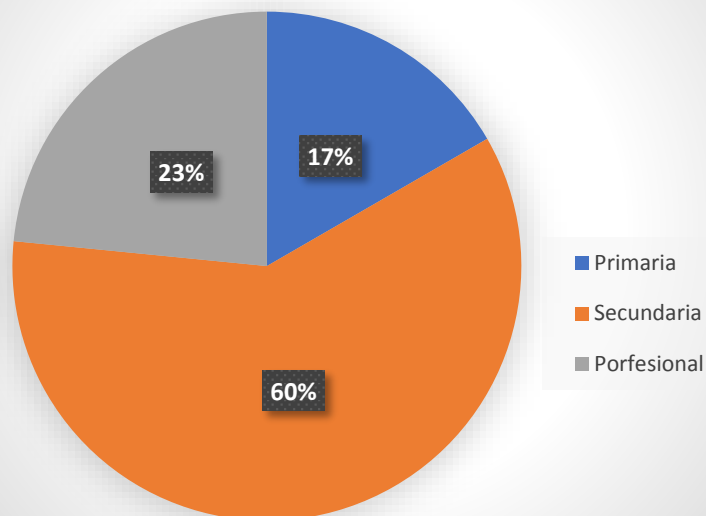
- Con Mención En Ordenamiento Territorial, 136. <https://docplayer.es/86591249-Pontificia-universidad-catolica-del-ecuador-facultad-de-ciencias-humanas-escuela-de-ciencias-geograficas.html>
- Segarra, P. (2017). *Documento de Evaluación Nacional de Degradación de la Tierra mediante la Metodología LADA-WOCAT*. 1–76.
- Silva Padilla, C. F., & Rivera Salas, M. F. (2016). Diagnóstico multitemporal y generación de un plan de acción, adaptación y mitigación para las zonas de desertificación y degradación del Cerro Nitón, Parroquia Chiquicha Cantón Pelileo. *Facultad de Ciencias*, 153. <http://dspace.espoche.edu.ec/handle/123456789/6224>
- Uaderno, C. N. O. (2006). *Bogotá, mayo de 2006. 1*.
- Ulloa, C., Molina, S., Josegen, P., & Minga, D. (2008). P L a N T a S D E L P a R Q U E N a C I O N a L C a J a S. *Guia de 100 Plantas Silvestres Del Paramodel Parque Nacional de Cajas*. <https://www.mobot.org/MOBOT/research/paramo/pdf/GuiaPlantas.pdf>
- UNDESA, & UNITAR. (2020). Participación de actores en la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible. *Sustainable Development Knowledge Platform*. <https://sustainabledevelopment.un.org/StakeholdersGuideEspanol>
- Valencia, R. (2010). Evaluación de la desertificación en el cantón Zapotillo, sus principales causas y efectos. *Universidad Nacional de Loja*, 62. [http://dspace.unl.edu.ec:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/4343/ARELLANO WASHINGTON - JIMENEZ GALO.pdf?sequence=1](http://dspace.unl.edu.ec:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/4343/ARELLANO%20WASHINGTON%20-%20JIMENEZ%20GALO.pdf?sequence=1)
- van der Linden, S. (2014). Towards a new model for communicating climate change Van Der Linden, S 12. *Understanding and Governing Sustainable Tourism Mobility: Psychological and Behavioural Approaches*, 243–275.
- Vargas Cuervo, G., & Gómez, C. E. (2003). La desertificación en Colombia y el cambio global. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 0(12), 121–134. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcg/article/view/10278>
- Vilela, M., Jimenez, A., Francisco, P., & Aravena, R. (2020). *La Carta de la Tierra, Educación y el Objetivo de Desarrollo Sostenible 4.7*.
- Villacís, B., & Carrillo, D. (2012). País atrevido: la nueva cara sociodemográfica del Ecuador. *Analitika*, 52. http://www.inec.gob.ec/publicaciones_libros/Nuevacarademograficadeecuador.pdf
- Webster Bernal, J. F. (2010). Estudio de la dinámica poblacional de *Epipedobates anthonyi* (Noble, 1921) en 3 localidades del sur-occidente del Ecuador. *Trabajo de Graduación Previo a La Obtención Del Título de Biólogo Del Medio Ambiente*, 1–91. <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/53/1/08494.pdf> <http://www.uazuay.edu.ec/posgrados/>
- Withgott, J., & Laposata, M. (2014). *ENVIRONMENT the science behind the stories*.
- Zurrita, A., Badii, M., Guillen, A., Lugo, O., & Aguilar, J. (2015). Factores Causantes de Degradación Ambiental. *Daena: International Journal of Good Conscience*, 10(3), 1–9. [http://www.spentamexico.org/v10-n3/A1.10\(3\)1-9.pdf](http://www.spentamexico.org/v10-n3/A1.10(3)1-9.pdf)

IX. ANEXOS

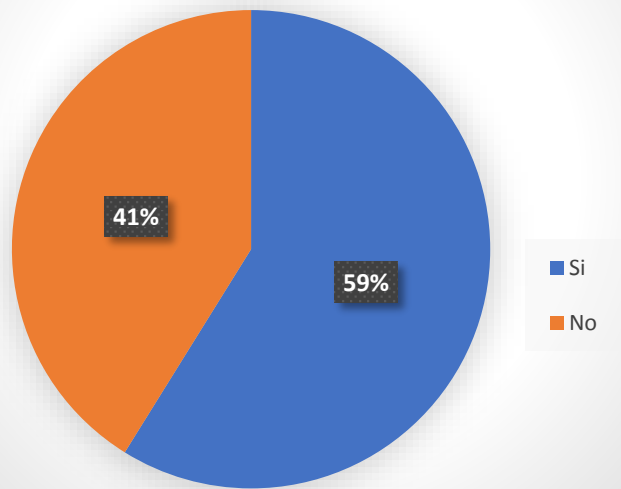
Encuestas para identificar el conocimiento general de las personas en temas ambientales de la provincia de Azuay



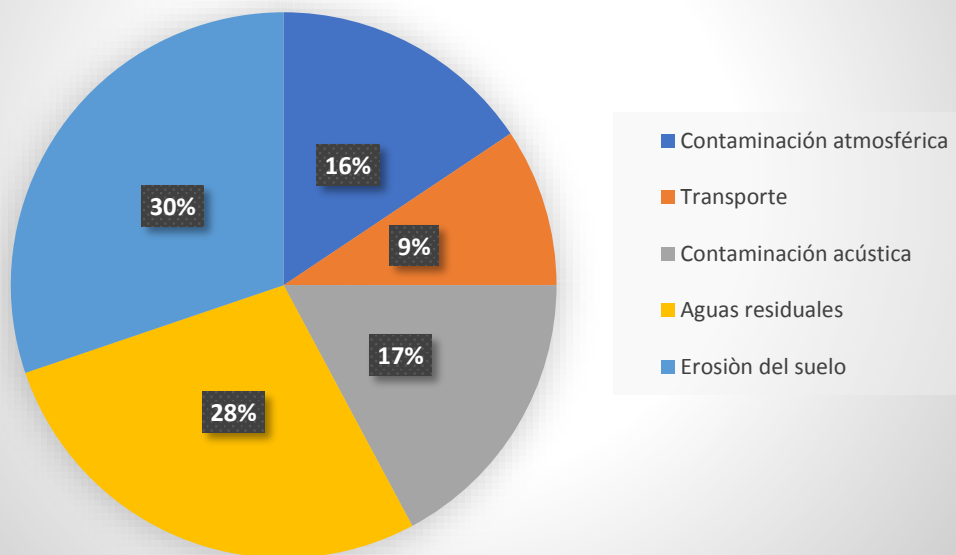
Formación profesional de los encuestados



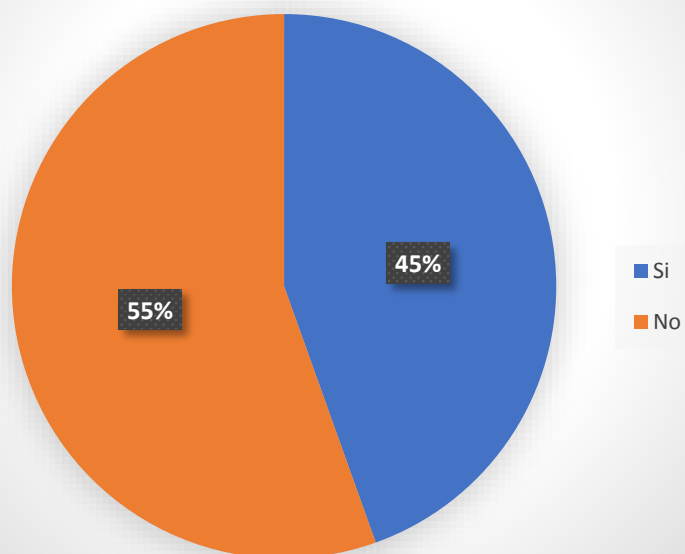
¿ Ha escuchado hablar acerca de la contaminación ambiental?



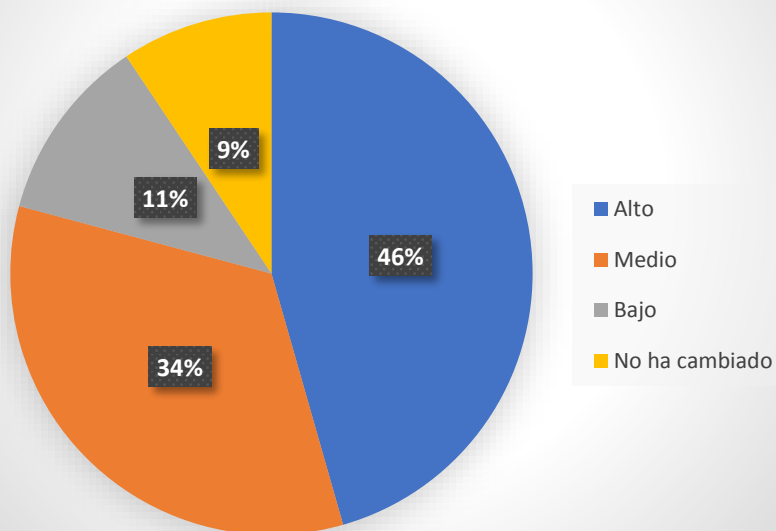
¿Cuál cree usted que es el problema de contaminación ambiental mas preocupante en la Provincia del Azuay?



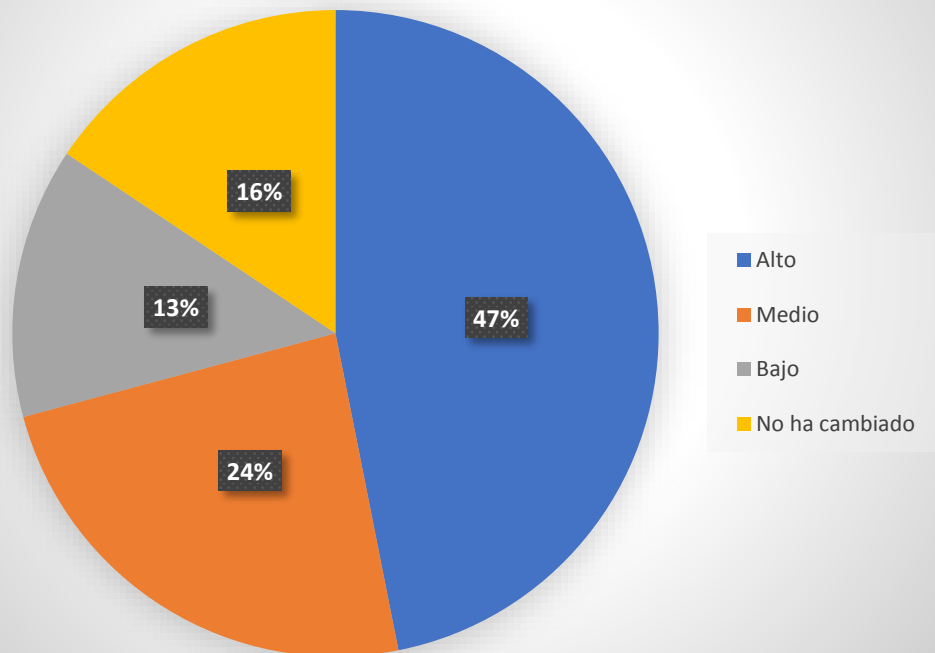
¿ Conoce usted a que se refiere cuando se habla de procesos de desertización?



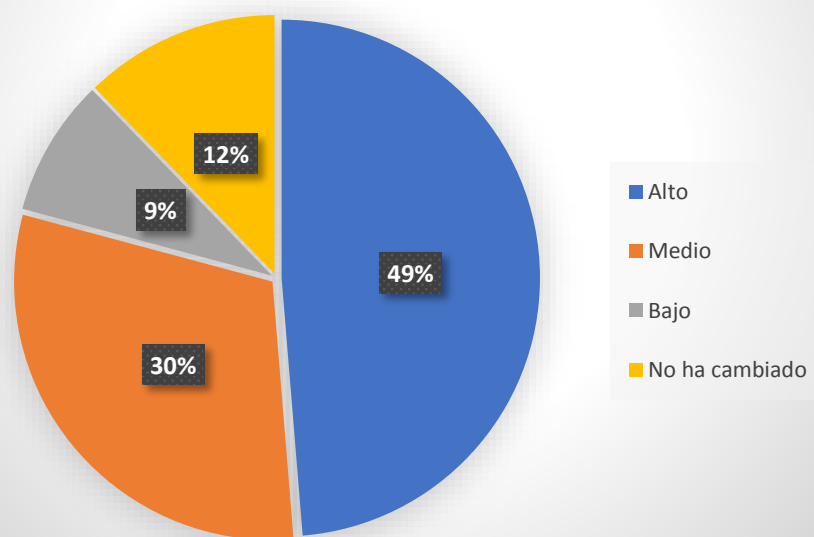
Según su punto de vista ¿ En qué proporción se ha dado el avance de la frontera agrícola?



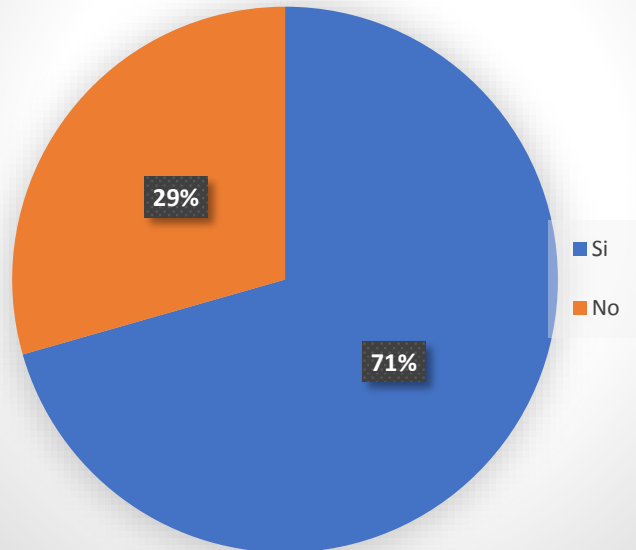
Según su punto de vista ¿ En qué proporción se ha dado la reducción de las fuentes hídricas?



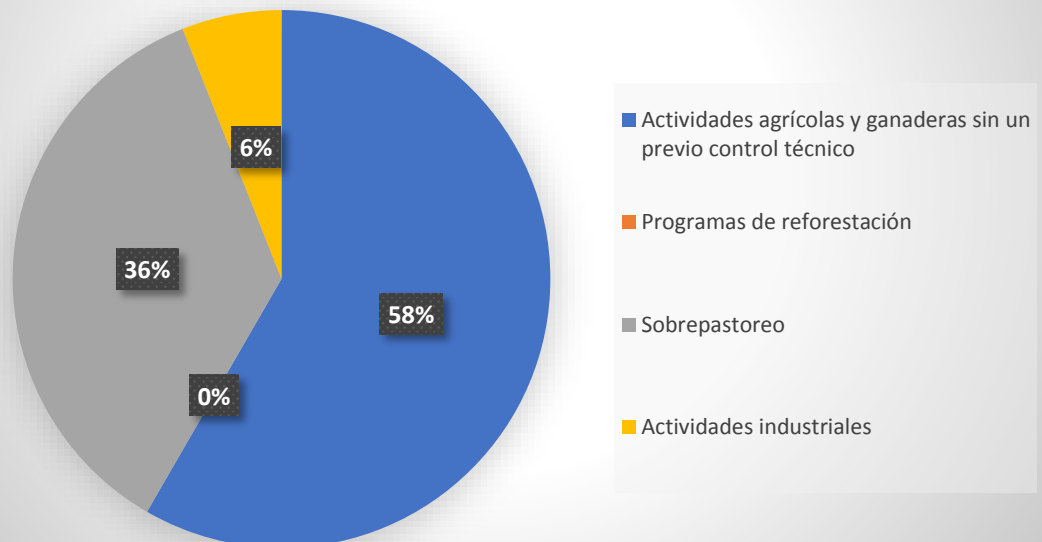
Según su punto de vista ¿ En qué proporción se ha dado la reducción de las áreas de protección y conservación?



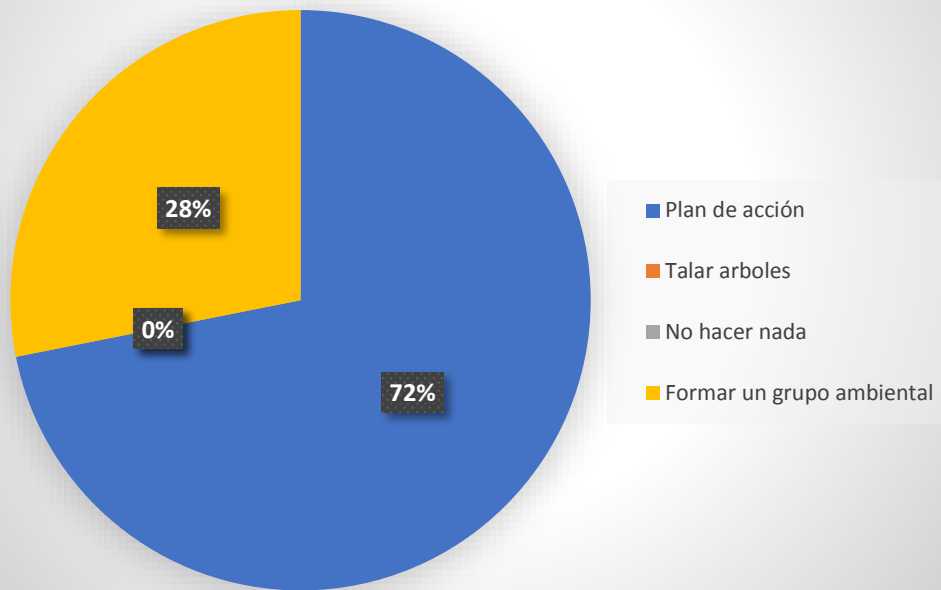
Según su criterio ¿ Cree que el aumento de la erosión ha puesto en peligro la seguridad alimentaria?



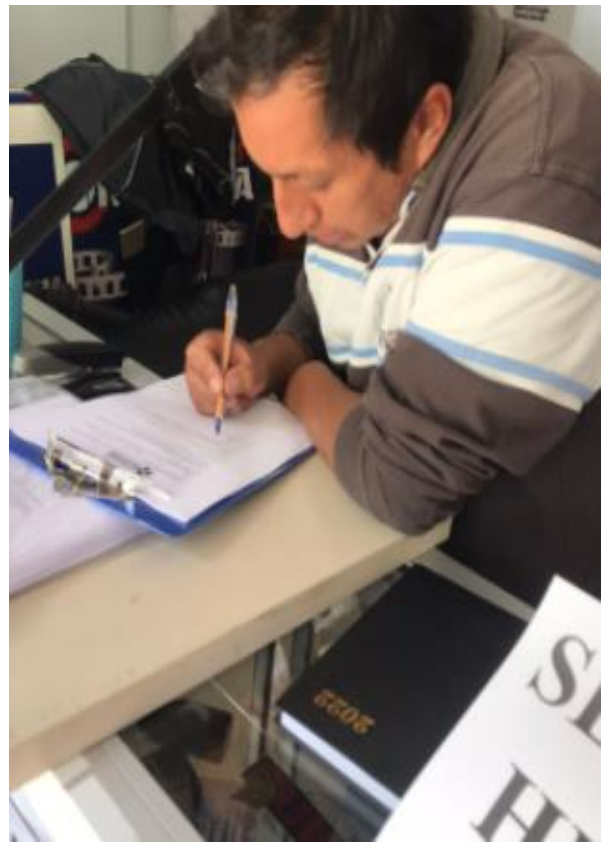
Solo responda si la respuesta anterior fue afirmativa. ¿Cuál cree que es la principal causante de la erosión del suelo?



Según su criterio ¿Cuál cree que es una solución óptima a los procesos de desertización?



Evidencia fotográfica de la toma de encuestas





Evidencia fotográfica de la validación en campo

