



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN HUMANAS Y
TECNOLOGÍAS
CARRERA DE CIENCIAS SOCIALES**

**Espacios de riesgos causados por los cambios en los usos y coberturas del suelo en la
parroquia Tixán, cantón Alausí, provincia de Chimborazo**

Trabajo de titulación para optar al título de Licenciado en Ciencias Sociales

Autor:

Steeven David Flores Torres

Tutora:

Mgs. Estefanía Nataly Quiroz Carrión

Riobamba, Ecuador. 2022

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La responsabilidad de contenido, criterios y conclusiones de la presente investigación, previo a la obtención del título de Licenciado en Ciencias Sociales, con el tema **“ESPACIOS DE RIESGOS CAUSADOS POR LOS CAMBIOS EN LOS USOS Y COBERTURAS DEL SUELO EN LA PARROQUIA TIXÁN, CANTÓN ALAUSÍ, PROVINCIA DE CHIMBORAZO”**, corresponde exclusivamente al Sr. Steeven David Flores Torres, con cédula de identidad No. 0604317339, por ser el autor del mismo y quien además fue dirigida por la Mgs. Estefanía Nataly Quiroz Carrión y el patrimonio intelectual de la Universidad Nacional de Chimborazo.

Riobamba, 22 de febrero de 2022



Steeven David Flores Torres

C.I.: 0604317339

CERTIFICADO DE TUTORÍA

Certifico que el presente Proyecto de Investigación previo a la obtención del Título de Licenciado en Ciencias Sociales, con el tema **“Espacios de riesgos causados por los cambios en los usos y coberturas del suelo en la parroquia Tixán, cantón Alausí, provincia de Chimborazo”**, ha sido elaborado por **Steeven David Flores Torres**, el mismo que ha sido revisado y analizado en el 100% de su contenido de acuerdo al cronograma de trabajo establecido, bajo el asesoramiento de mi persona en calidad de tutora, por lo que considero que se encuentra apto para su presentación y defensa respectiva.

Es todo cuanto puedo informar en honor a la verdad.

Riobamba, 22 de febrero de 2022



Mgs. Estefanía Quiroz
TUTORA

APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título: **“ESPACIOS DE RIESGOS CAUSADOS POR LOS CAMBIOS EN LOS USOS Y COBERTURAS DEL SUELO EN LA PARROQUIA TIXÁN, CANTÓN ALAUSÍ, PROVINCIA DE CHIMBORAZO”**, presentado por el Señor Steeven David Flores Torres y dirigido por la Mgs. Estefanía Nataly Quiroz Carrión.

Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final escrito del proyecto de investigación con fines de graduación, en la cual se ha constatado el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en la biblioteca de la Facultad de Ciencias de la Educación, Humanas y Tecnologías, de la Universidad Nacional de Chimborazo.

Para constancia de lo expuesto firman:

Mgs. Lenin Garcés Viteri
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL
DIRECTOR DE CARRERA



FIRMA

Mgs. Rómulo Ramos
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



FIRMA

Mgs. Carmen León
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



FIRMA

Mgs. Estefanía Quiroz Carrión
TUTORA



FIRMA

CERTIFICADO DE PORCENTAJE DE PLAGIO

Que, **FLORES TORRES STEEVEN DAVID** con CC: **0604317339**, estudiante de la Carrera de **CIENCIAS SOCIALES, FACULTAD DE CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN HUMANAS Y TECNOLOGÍAS**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado **“ESPACIOS DE RIESGOS CAUSADOS POR LOS CAMBIOS EN LOS USOS Y COBERTURAS DEL SUELO EN LA PARROQUIA TIXÁN, CANTÓN ALAUSÍ, PROVINCIA DE CHIMBORAZO”**, que corresponde al dominio científico **DESARROLLO SOCIOECONÓMICO Y EDUCATIVO PARA EL FORTALECIMIENTO DE LA INSTITUCIONALIDAD DEMOCRÁTICA Y CIUDADANA** y alineado a la línea de investigación **CIENCIAS SOCIALES Y DEL COMPORTAMIENTO**, cumple con el 8%, reportado en el sistema Anti plagio URKUND, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 22 de febrero de 2022



Mgs. Estefanía Quiroz
TUTORA

DEDICATORIA

A mis amados padres, Señora María Torres Tene y Señor Fernando Flores Mayorga, por la fe que siempre han tenido en mí, por todas las cosas y el amor que me han brindado sin esperar nada a cambio, por todo el apoyo que ellos han significado para mí, por toda la educación que me han sabido inculcar, por brindar su sacrificio y esfuerzo diario por el bienestar de sus hijos, por ser personas de bien, sabias, valientes y luchadoras, y por ser los mejores padres que Dios me pudo regalar.

A mi querida hermana María Elena Flores Torres, por estar presente en los momentos que más necesitaba, por ser mi apoyo emocional, por ser mi motivación y por ser la persona que más admiro.

A ellos, con todo mi cariño les dedico el presente proyecto de tesis.

Steeven

AGRADECIMIENTO

Expreso mi profundo agradecimiento a Dios por todas las bendiciones que han sido nuevas cada mañana de mi vida, y por amarme incondicionalmente.

A mis padres, hermana y familia por el cariño, la fuerza y el apoyo incondicional que me han brindado.

A la Universidad Nacional de Chimborazo y docentes, especialmente a mi tutora, por su apoyo.

A ustedes ¡gracias!

Steeven

ÍNDICE GENERAL

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR

APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

CERTIFICADO DE TUTORÍA

CERTIFICADO DE PORCENTAJE DE PLAGIO

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

CAPÍTULO I	15
1.1. INTRODUCCIÓN	15
1.2. Planteamiento del Problema	16
1.3. Antecedentes.....	18
1.4. Justificación	21
1.5. Objetivos.....	22
1.5.1. Objetivo General	22
1.5.2. Objetivos Específicos	22
CAPÍTULO II.....	23
2. MARCO TEÓRICO.....	23
2.1. Uso del Suelo.....	23
2.2. Cambio del Uso de Suelo	23
2.3. Modelos y Estudios de Cambio de Uso de Suelo	24
2.3.1. Sistemas de Información Geográfica (SIG)	26
2.4. Riesgos en el Cambio del Uso de Suelo	28
CAPÍTULO III	30
3. METODOLOGÍA	30
3.1. Tipo y Diseño De Investigación	30
3.2. Unidad de Análisis.....	31
3.3. Técnicas de Recolección de Datos	32
3.4. Técnicas de Análisis e Interpretación de la Información.....	32
CAPÍTULO IV	38
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	38
4.1. Resultados.....	38
4.1.1. Cambio de Uso y Cobertura de Suelo	38
4.1.1.1. Período 1990 – 2000	38
4.1.1.2. Período 2008 – 2014	41
4.1.1.3. Período 2016 – 2018	44
4.1.1.4. Síntesis de la Evaluación de Cambio	47
4.1.2. Efectos Causados por el Cambio en el Uso y Cobertura de Suelo.....	48
4.1.3. Descripción Analítica de los Espacios de Riesgo.....	50
4.1.4. Caracterización de los Espacios de Riesgo	52
4.2. Discusión	53

CONCLUSIONES.....	57
RECOMENDACIONES	58
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
ANEXOS	64
Anexo 1. Mapa de Uso y Cobertura de Suelo de Tixán 1990.....	64
Anexo 2. Mapa de Uso y Cobertura de Suelo de Tixán 2000.....	65
Anexo 3. Mapa de Uso y Cobertura de Suelo de Tixán 2008.....	66
Anexo 4. Mapa de Uso y Cobertura de Suelo de Tixán 2014.....	67
Anexo 5. Mapa de Uso y Cobertura de Suelo de Tixán 2016.....	68
Anexo 6. Mapa de Uso y Cobertura de Suelo de Tixán 2018.....	69

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación de categorías para el uso de suelo y cobertura vegetal.....	33
Tabla 2 Estructura de la matriz de tabulación cruzada.....	35
Tabla 3 Cambio en superficie y porcentaje del uso y cobertura de suelo entre 1990 y 2000	38
Tabla 4 Matriz de tabulación cruzada de los mapas de 1990 y 2000	39
Tabla 5 Cambio en superficie y porcentaje del uso y cobertura de suelo entre 2008 y 2014	42
Tabla 6 Matriz de tabulación cruzada de los mapas de 2008 y 2014	43
Tabla 7 Cambio en superficie y porcentaje del uso y cobertura de suelo entre 2016 y 2018	45
Tabla 8 Matriz de tabulación cruzada de los mapas de 2016 y 2018	46
Tabla 9 Pérdidas y ganancias de los diferentes usos de suelo en los tres periodos	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Localización del área de estudio	31
Figura 2 Diagrama de flujo del análisis de la información.....	32
Figura 3 Uso y cobertura de suelo de Tixán a) 1990, b) 2000	38
Figura 4 Cambio de uso y cobertura de suelo entre los años 1990 y 2000	39
Figura 5 Mapa de cambios entre los años 1990 y 2000.....	41
Figura 6 Uso y cobertura de suelo de Tixán a) 2008, b) 2014	41
Figura 7 Cambio de uso y cobertura de suelo entre los años 2008 y 2014	42
Figura 8 Mapa de cambios entre los años 2008 y 2014.....	44
Figura 9 Uso y cobertura de suelo de Tixán de los años a) 2016 y b) 2018.....	44
Figura 10 Cambio de uso y cobertura de suelo entre los años 2016 y 2018	45
Figura 11 Mapa de cambios entre los años 2016 y 2018.....	47
Figura 12 Análisis de causas y efectos del cambio de uso y cobertura de suelo.....	49
Figura 13 Mapa de susceptibilidad a deslizamientos o movimientos en masa	51

RESUMEN

El presente estudio analizó el cambio de uso y cobertura de suelo de la parroquia Tixán del cantón Alausí, provincia de Chimborazo, en tres periodos: 1990-2000; 2008-2014; y 2016-2018; con la finalidad de establecer los espacios de riesgo de la parroquia. Se utilizó la información de libre acceso del sistema tecnológico “Mapa Interactivo Ambiental” del Ministerio del Ambiente del Ecuador; el software ArcGIS 10.5; y, una hoja de cálculo en Excel. La metodología se estructuró en cuatro partes integrales: delimitación de los mapas de uso y cobertura de suelo para los distintos años; superposición de mapas con escala de 1:125.000 y determinación de los cambios durante el periodo de análisis a través de una tabulación cruzada; análisis de causas y efectos, descripción de espacios de riesgo; y, la caracterización de los espacios de riesgo. Los resultados indicaron que los principales cambios efectuados en los tres periodos de Tixán, se deben a sistemas de producción, como el cambio de Mosaico agropecuario a Plantación forestal, por la actividad maderera; de Páramo a Mosaico agropecuario y a Pastizal, debido a la necesidad de sembrar en suelos fértiles para la producción de alimento para el ganado, provocando la extensión de la frontera agrícola; la desaparición del cuerpo de agua natural existente en la parroquia hasta el año 2014, debido al uso de suelo descontrolado para cultivos y pastizales; entre otros cambios que acarrearán repercusiones graves sobre los servicios ecosistémicos que provee el mismo suelo, el Páramo, y bosques nativos, espacios caracterizados como de riesgo.

Palabras clave: Cambio de uso de suelo, Sistemas de Información Geográfica, cartografía y análisis espacial, tabulación cruzada, superposición de mapas.

ABSTRACT

The present study analyzed the change of land use and cover of the Tixán parish of the Alausí cantón, province of Chimborazo, in three periods: 1990-2000; 2008-2014; and 2016-2018; to establish the risk spaces of the parish. Free access information from the "Interactive Environmental Map" technological system of the Ministry of the Environment of Ecuador was used; ArcGIS 10.5 software and an Excel spreadsheet. The methodology was structured in four integral parts: delimitation of the land use and cover maps for the different years; overlay of maps with a scale of 1:125,000 and determination of the changes during the analysis period through a cross-tabulation; analysis of causes and effects, description of risk areas; and the characterization of risk spaces. The results indicated that the main changes made in the three periods of Tixán are due to production systems, such as the change from agricultural mosaic to forest plantation, logging activity; from Pastureland to Agricultural Mosaic and Pastureland, due to the need to plant in fertile soils for the production of food for livestock, causing the extension of the agricultural frontier; the disappearance of the body of natural water existing in the parish until 2014, due to the uncontrolled use of land for crops and pastures; among other changes that have serious repercussions on the ecosystem services provided by the soil itself, the Pastureland, and native forests, spaces characterized as at risk.

Keywords: Land use change, Geographic Information Systems, cartography, spatial analysis, cross-tabulation, map overlay.

KERLY
YESENIA
CABEZAS
LLERENA



Firmado digitalmente por KERLY
YESENIA CABEZAS LLERENA
Número de reconocimiento:
DNE-C-EC-0-BANCO ECUATORIAL
DEL COMERCIO, del INSTITUTO DE
CERTIFICACION DE
SIGNATURAS ELECTRONICAS,
IDUJTO,
c=EC|e=kerlyll@000005131.
ll@ll.com
Fecha: 2021.04.29 13:43:03
95367

Reviewed by:

Mgs. Kerly Cabezas

ENGLISH PORFESSOR

C.C 0604042382

CAPÍTULO I

1.1. INTRODUCCIÓN

La principal causa a nivel mundial del cambio en el uso y cobertura del suelo es el crecimiento poblacional, el cual según el último siglo, ha sido acelerado. Según las Naciones Unidas (2014), la cuarta parte del crecimiento mundial se produce en los países menos adelantados, y “de mantenerse la trayectoria actual, la población mundial alcanzará 8.100 millones en 2025 y 9.600 millones en 2050” (p.2).

El cambio de uso del suelo a causa del crecimiento demográfico se debe a su relación directamente proporcional con el desarrollo urbano y la expansión de edificaciones invadiendo o utilizando para ello tierras agrícolas o a su vez, tierras que brindan otro servicio. En otras palabras, el suelo que se encontraba ocupado por paisajes naturales, o dedicado a otras actividades, sufrió una transformación radical en su cobertura y uso.

Sin duda alguna, la expansión física junto al cambio de uso del suelo debe incluir estudios que determinen la viabilidad de la actividad que se pretende ejecutar en dicho suelo, y brindar un seguimiento al proyecto con el fin de producir el menor impacto posible. Sin embargo, los cambios de uso del suelo se han realizado de manera incontrolada o sin previa planificación, obteniendo como resultados: varias repercusiones ambientales; condiciones deficientes de habitabilidad; y, el incremento en la exposición a ciertos riesgos como inundaciones, deslizamientos de suelo, sequías, entre otros que afectan la calidad de vida de sus habitantes.

Al respecto, Romero, Molina, Moscoso, Sarricolea, & Smith (2007), mencionan que el cambio de uso de suelo, de uno con alta capacidad agrícola o cubierto por remanentes de bosque naturales a edificaciones han perturbado “severamente los flujos naturales de energía” (p.3).

Por otro lado, y de acuerdo con Romero (2004), leído en una publicación de Romero et al., (2007) destaca que dicha perturbación repercute “en la pérdida de servicios ambientales (...), una creciente contaminación de las aguas, aire y suelos, una degradación de los recursos naturales y una mayor vulnerabilidad frente a las inundaciones y desastres naturales” (p.3).

Por lo tanto, el cambio en el uso y cobertura del suelo no puede desacoplarse de procesos naturales, sino por lo contrario, se debe concebir como una dinámica funcional e integral entre procesos naturales y sociales. Este fenómeno o paradigma no se diferencia a escala mundial, continental, nacional, provincial o cantonal, pues se entiende más bien que esta dinámica está interrelacionada y es dependiente a los cambios efectuados en determinados espacios, de allí que, a largo plazo, las consecuencias de dichos cambios se hagan evidentes a nivel nacional y consecuentemente mundial.

Por consiguiente, el presente trabajo analizó y determinó los espacios de riesgos generados por el cambio en el uso y cobertura del suelo en la parroquia Tixán, cantón Alausí, provincia de Chimborazo, de manera integral entre el proceso socio ambiental, pues se comprendieron las causas y consecuencias. En este trabajo se analizaron, identificaron y cuantificaron las pérdidas, ganancias y cambios totales entre diferentes categorías o coberturas de uso del suelo para tres periodos diferentes: 1990-2000; 2008-2014; y, 2016-2018.

1.2. Planteamiento del Problema

De acuerdo con la Real Academia Española, RAE (2020) define al suelo como el “conjunto de materias orgánicas e inorgánicas de la superficie terrestre, capaz de sostener vida vegetal”. De igual manera, el portal de definiciones de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO (2021), indica que el suelo es “el medio natural para el crecimiento de las plantas (...) es el producto final de la influencia del tiempo y combinado con el clima, topografía, organismos (flora, fauna y ser humano), de materiales parentales (rocas y minerales originarios)”.

Por otro lado, según la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad de México (CONABIO) (2016), Silva y Correa (2009), el Observatorio Nacional de Biodiversidad de Argentina (OBIO) (2016), y Montanarella (2015), leídos en una publicación de Burbano (2016), indican que:

El suelo es un recurso natural finito y no renovable que presta diversos servicios ecosistémicos o ambientales, entre ellos y a manera de ejemplo, el relacionado con su participación en los ciclos biogeoquímicos de elementos clave para la vida como carbono, nitrógeno, fósforo, etc., (...) No obstante, lo más conocido, es que el suelo

es el asiento natural para la producción de alimentos y materias primas de los cuales depende la sociedad mundial. (p.118)

Por lo tanto, se considera que el suelo juega un rol muy importante en el desarrollo de la sociedad, pues soporta y mantiene todas las actividades económicas y sociales, tal y como lo afirma la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO (2015), pues en la Carta Mundial de los Suelos, indica que “los suelos saludables son un requisito previo básico para satisfacer las diversas necesidades de alimentos, biomasa (energía), fibra, forraje y otros productos, y para garantizar la prestación de los servicios ecosistémicos esenciales en todas las regiones del mundo” (p.1).

Sin embargo, a pesar de ser un recurso natural indispensable para la vida, fundamental para el mantenimiento de la biodiversidad y la seguridad alimentaria, el suelo no ha recibido la consideración o atención necesaria, sino por lo contrario, “el número de hectáreas de suelo por habitante ha venido disminuyendo desde los años 1950” (Sociedad Española de la Ciencia del Suelo, 2017, p. 13). Esto debido a que la población ejerce una presión cada vez mayor sobre los suelos, como lo afirma el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (2015) al indicar que “los suelos están siendo objeto de crecientes presiones de uso, determinadas por el incremento de la población mundial y la demanda sostenida de alimentos” (p.1). Es decir, es indisputable que el acelerado crecimiento poblacional junto a la creciente demanda de suplir las necesidades, conllevan a que las actividades antropogénicas se traduzcan como la causa principal de las transformaciones dramáticas que ha sufrido el suelo o, en otras palabras, principal causa del cambio de uso de suelo, el cual se refiere a la transformación de la cubierta vegetal original de un determinado suelo para darle otro uso o uno nuevo.

Según Cotler et al., (2007), entre las principales actividades humanas que inducen la degradación de suelos se encuentran: los sistemas de producción agropecuarios que provocan la intensificación de cultivos en zonas agrícolas estimulan el sobrepastoreo, y provocan la expansión de la frontera agrícola favoreciendo la deforestación; y, las construcciones que cubren, impermeabilizan y anulan las funciones del suelo.

Al respecto, Merlotto, Piccolo, & Bértola (2012) indican que:

La urbanización es un proceso territorial y socioeconómico que induce una transformación radical de la cobertura y del uso del suelo, el cual (...) estaba

dedicado a actividades agropecuarias. Constituye el proceso que mayores cambios produce en el medio ambiente y en el funcionamiento de los ecosistemas y, por lo tanto, está íntimamente ligado al incremento de los problemas ambientales y de los riesgos a fenómenos naturales. (p.160)

Por lo tanto, se entiende que la degradación del suelo es una amenaza muy seria para la humanidad, misma que se encuentra en un crecimiento exponencial. Motivo por el cual, es crucial comprender la influencia e interacción de los diversos factores existentes en el cambio de uso de suelo y cobertura, y con ello definir causas, efectos, espacios afectados y posibles riesgos del cambio de uso de suelo.

En tal virtud, para el desarrollo del presente estudio, se planteó la siguiente interrogante: Las determinaciones elementales analizadas en el presente estudio en cuanto a los espacios de riesgo provocados por el cambio en los usos y coberturas del suelo en la parroquia Tixán, ¿proporcionan nuevas configuraciones para el futuro aprovechamiento del uso y cobertura del suelo?

1.3. Antecedentes

De acuerdo con el Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) parroquial de Tixán (2019), la parroquia está localizada en el nororiente del cantón Alausí, al extremo sur de la provincia de Chimborazo. Desde el monumento a la Luna (salida sur de Riobamba) hasta el centro parroquial de Tixán existen 75 km de recorrido. Posee una superficie aproximada de 180,83 km² que representan el 10,58 % del cantón Alausí. Al estar ubicada en la región sierra o interandina del Ecuador, está atravesada por la cordillera occidental de los Andes que recorre de norte a sur; su altitud va desde los 2642 msnm en la comunidad San Vicente de Silveres hasta los 3885 msnm en la comunidad Curquina.

En cuanto a los límites de la parroquia Tixán, al norte limita con las jurisdicciones de las parroquias Cebadas y Palmira del cantón Guamote; al sur con la jurisdicción de la parroquia de Guasuntos del cantón Alausí; al este con la jurisdicción de la parroquia de Achupallas del cantón Alausí; y al oeste con las jurisdicciones parroquiales de Sibambe y La Matriz del cantón Alausí. (GAD de la parroquia Tixán, Gobierno parroquial rural de Tixán, 2019)

Con respecto a la historia de la parroquia de Tixán, según el GAD parroquial rural de Tixán (2019), se afirma que, dicha parroquia fue un asentamiento indígena que existía desde antes de que los españoles iniciaran la conquista, mismo que al establecerse la colonia fue puesto bajo la jurisdicción de la Tenencia política y levantado a unos 5 kilómetros al sur de su asentamiento actual. Posteriormente, los sobrevivientes de dicho desastre, conducidos por el sacerdote Francisco Rodríguez Hernández, se trasladaron a la llanura de Pancarbamba y levantaron la nueva población, en el sitio que ocupa actualmente.

Durante la colonia y los primeros años de la República fue acrecentando su actividad comercial y sobre todo la minería, por lo que en 1874 el presidente García Moreno entregó a ella las afamadas minas de azufre, con el propósito de que su explotación sirva para el desarrollo social de la población, destinando los ingresos provenientes de ellas para la construcción de obras de infraestructura básica, como escuelas, parques, edificios públicos, etc. (GAD de la parroquia Tixán, Gobierno parroquial rural de Tixán, 2019)

En torno a los trabajos y estudios de investigación efectuados en la parroquia Tixán, de acuerdo con los cambios de uso y cobertura de suelo, no se ha efectuado ninguno al respecto, o a su vez, no han sido publicados. Por otro lado, existen diversos estudios sobre la parroquia, pero con temas ajenos al que compete en el presente estudio.

Sin embargo, a pesar de no contar con estudios similares ejecutados en la parroquia Tixán que sirvan como referentes o antecedentes para el presente estudio, existe una diversidad de estudios sobre los cambios de uso y cobertura de suelo de distintas partes del mundo. A este respecto, se han desarrollado varios estudios en el país de México, entre los cuales destaca el tema central de la investigación: los cambios de uso y cobertura del suelo.

De acuerdo con el estudio de Camacho et al., (2017) los cambios de cobertura y uso de suelo en Progreso Hidalgo, Estado de México, se debe principalmente a la implementación de la agricultura tecnificada controlada, principalmente en invernaderos, lo que ha influido directamente en la pérdida de la superficie agrícola. Su estudio implicó la implementación de mapas de cobertura y uso del suelo a través de los cuales se analizó, describió, evaluó y predijo, en términos cuantitativos, la dinámica del cambio del uso del suelo.

Otro estudio con base en los cambios de uso y cobertura del suelo orientado a impactos ambientales es el estudio desarrollado en México por Osuna et al., (2015), quienes a través de la utilización de imágenes satelitales, determinaron la pérdida de coberturas naturales, bosques y selvas, mismos que fueron sustituidos por el uso de la agricultura y uso urbano, lo cual ha tenido como consecuencias la pérdida de fertilidad y erosión del suelo.

De igual manera, otro estudio realizado en México en cuanto a la relación de los cambios de cobertura y uso del suelo y las implicaciones socioeconómicas, López et al., (2015), mencionan que los principales procesos de cambio originados por la actividad humana son el cambio del uso del suelo, entre estos: “de bosque a pastizales, el de pastizal a agricultura de riego o a agricultura de temporal, donde se tiene una ganancia de zona agrícola, y el cambio de agricultura de riego y temporal al de asentamientos humanos” lo que indica un crecimiento en la economía y la zona urbana (p.143).

De modo similar, el estudio realizado por Sepúlveda, Saavedra, & Esse (2019) aseveran que el cambio del uso de suelo puede ser concebido como una herramienta para la sustentabilidad productiva de un territorio, tal es el caso de la región de La Araucanía, Chile, área donde los suelos de uso agrícola han sido transformados a uso forestal, respondiendo principalmente “a factores socioeconómicos externos (aumento de la rentabilidad de la actividad forestal, migración campo ciudad y abandono de suelos de uso agropecuario)” (p.20).

Resumiendo lo planteado, los factores explicativos que inducen el cambio de cobertura y uso del suelo son diversos. Algunos autores como Meyer y Turner (1992), Walter y Steffen (1997), Geist y Lambin (2001) leídos en una publicación de Pineda, Bosque, Gómez, & Plata (2009) “consideran que la modificación de la cobertura y uso del suelo se debe a la interacción de factores económicos, políticos y ecológicos” (p.34).

Sin embargo, esta interacción no se ha relacionado de manera integral, y se presume que es debido a la falta de estudios que permitan explicar las causas o efectos de los cambios de cobertura y uso del suelo, la carencia de interpretaciones de dichos cambios y su interacción, pues según Nagendra et al., 2004, leídos en una publicación de Pineda et al. (2009), afirman que “la escasa conexión entre los estudios explícitos del uso del suelo y los aspectos socioeconómicos provoca serias dificultades para integrar realmente aspectos biofísicos y humanos” (p.34).

De acuerdo con lo anterior, se deduce que aún son escasas las investigaciones orientadas a explicar las causas de los cambios de la cobertura y uso del suelo, los efectos integrados y la transición de estos. Sin embargo, se consideran esfuerzos necesarios y referentes para investigaciones futuras.

1.4. Justificación

La degradación del suelo es una amenaza muy seria para la humanidad, la cual, al encontrarse en un crecimiento exponencial, resulta crucial ejecutar estudios que permitan comprender la influencia e interacción de los diversos factores existentes en el cambio de uso de suelo y cobertura. De ahí que, Mas y Flamenco (2011), leídos en una publicación de Camacho, Camacho, Balderas, & Sánchez (2017) indiquen que “los estudios de cambio de uso de suelo y vegetación son el referente para conocer las trayectorias de los distintos procesos de cambio que existen en determinado territorio” (p.56).

Por tal motivo, es necesario contar con estudios o investigaciones sólidas que contribuyan al desafío de preservar e incrementar la calidad del suelo. Actualmente, dichos estudios se desarrollan conforme a “metodologías y procedimientos estadísticos innovadores, que se complementan con técnicas de trabajo de campo, así como el uso y aplicación de herramientas de los denominados sistemas de información geográfica y de cartografía automatizada” (Turner y Meyer 1994, leídos en una publicación de López, Balderas, Chávez, Juan, & Gutiérrez, 2015, p.40).

Herramientas que según Veldkamp y Lambin (2001), Xiang y Clarke (2003) leídos en una publicación de Camacho et al., (2017) “permiten identificar y representar espacialmente las superficies más propensas a cambiar, permitiendo comprender los procesos de cambio y la dinámica que experimentan las diversas cubiertas y usos del suelo de un territorio determinado” (p.136).

En consecuencia, en el presente estudio se realizó un análisis de los cambios acontecidos en las coberturas y usos del suelo en una dimensión temporal y espacial de la parroquia Tixán, cantón Alausí, provincia de Chimborazo, utilizando para ello herramientas de los denominados sistemas de información geográfica y de cartografía, con el fin de establecer determinaciones elementales en cuanto a los espacios de riesgo provocados por el cambio en los usos y coberturas del suelo de la parroquia, con ello proporcionar nuevas

configuraciones para el futuro aprovechamiento del uso y cobertura del suelo y contribuir de alguna manera en la sostenibilidad del recurso, en la agricultura y desarrollo sostenibles y en la toma de eficientes decisiones de políticas públicas de uso del suelo que permitan controlar y mantener en condiciones adecuadas los actuales usos de suelo que brindan servicios ecosistémicos como bosques, cuerpos de agua y otras de vegetación natural, que fomenten adecuadas prácticas de manejo de los suelos, y que permitan planificar el crecimiento urbano de una manera más sostenible.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Caracterizar los espacios de riesgo causados por los cambios en el uso y cobertura de suelo en la parroquia Tixán, cantón Alausí, provincia de Chimborazo.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Determinar el cambio de uso y cobertura de suelo de la parroquia Tixán entre los años 1990 y 2018.
- Establecer los efectos del impacto provocado por el cambio en el uso y cobertura de suelo de la parroquia Tixán.
- Describir analíticamente los espacios de riesgo generados por el cambio en el uso y cobertura de suelo de la parroquia Tixán.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Uso del Suelo

Según Blacutt, M. (2000) el uso del suelo es la “relación directa con la actividad humana y el acto de producir, estamos hablando del uso del suelo. Así, el uso del suelo es más un asunto perteneciente a la tecnología” (p.178). Al mismo tiempo, Nature (1944), citado en Velázquez, Gerardo, & Siebe (2014), indica que el “uso del suelo es resultado de la actividad del hombre sobre la cubierta del suelo, es decir, se trata de patrones primordialmente culturales” (p.1).

De igual manera, Meyer y Turner II (1994) leídos en una publicación de Velázquez, Gerardo, & Siebe (2014) el uso del suelo “en ciencias sociales (geografía humana, antropología, economía agrícola) el uso de la “tierra” (término más utilizado en español, referido a land, terreno, y no a soil, suelo) es entendido como un conjunto de acciones humanas que denotan manejo (p.1).

Por último, Velázquez, Gerardo, & Siebe (2014) concluyen en su estudio que, con base en la génesis del concepto del uso del suelo, este puede ser definido como:

La expresión cultural de las prácticas de apropiación del territorio. Su estudio, por lo tanto, es mejor comprendido dentro del ámbito de la geografía humana y de las ciencias agrícolas; su escala de análisis es a nivel de grupos de parcelas que conforman patrones que derivan de las acciones consensuadas de actores sociales; dado que son sitio-momento-dependientes no existe un modelo universalmente válido. (p.3)

2.2. Cambio del Uso de Suelo

Según Rockström et al., (2009) leídos en una publicación de Velázquez, Gerardo, & Siebe (2014) afirman que el concepto del “cambio de uso del suelo”, traducción literal de “land use change”, se refiere a:

La dinámica de las prácticas de apropiación del territorio. Los conceptos de mayor utilización en el ámbito de las ciencias naturales tales como manejo de ecosistemas, pérdida o disminución de hábitat, dinámica del paisaje, deforestación y degradación

forestal y cambio global, están íntimamente asociados a este concepto raíz, pero con una fuerte disociación del elemento central: el actor social. (p.3)

De acuerdo con Lambin et al., (citado en Pineda, 2011) el enfoque bajo el cual debe abordarse el cambio de uso de suelo, debe basarse en:

1) Enlazar el comportamiento de las personas y sociedad en su interacción con el uso de suelo; 2) Comprender el tipo de relaciones que establece la sociedad con su ambiente; y, 3) Un criterio multitemporal para incorporar los eventos pasados y presentes, en el contexto de la interacción de la sociedad con el ambiente. (p.11)

Por lo tanto, el cambio de uso de suelo se puede definir como lo establece el Gobierno de México (2015) el cual indica que es “la remoción total o parcial de la vegetación de los terrenos forestales para destinarlos a actividades no forestales”.

2.3. Modelos y Estudios de Cambio de Uso de Suelo

Según Bocco, Mendoza, & Masera (2001), los estudios sobre los procesos de cambio en la cobertura y uso del suelo:

Se encuentran en el centro de la investigación ambiental actual. La mayor parte de los cambios ocurridos en los ecosistemas terrestres se deben a: a) conversión de la cobertura del terreno, b) degradación del terreno, y; c) intensificación en el uso del terreno. (p.19)

Además, estos autores indican que una forma de evaluación de los cambios en el uso del suelo:

Es a partir de la medición de los cambios en la cobertura vegetal y no vegetal del mismo. Tradicionalmente, la medición de cambios de cobertura vegetal y uso del suelo se realiza sobre documentos generados mediante percepción remota (usualmente, fotografías aéreas e imágenes de satélite) o cartografía temática de cobertura. (p.19)

Por otro lado, Green et al., 1994, leídos en una publicación de Lu, Brondízio, Moran, & Mausel (2004) indican que:

El objetivo de la detección de cambios es comparar la representación espacial de dos puntos en el tiempo controlando todas las variaciones causadas por diferencias en las

variables que no son de interés y medir los cambios causados por diferencias en las variables de interés. (p.2370)

Por tal motivo:

La selección de un método o algoritmo adecuado para un proyecto de investigación determinado es importante, pero no fácil. Por conveniencia, los métodos de detección de cambios se agrupan en siete categorías: (1) álgebra, (2) transformación, (3) clasificación, (4) modelos avanzados, (5) enfoques del sistema de información geográfica (SIG), (6) análisis visual, y (7) otros enfoques. (Lu et al., 2004, p.2370)

1. **Álgebra:** esta categoría incluye diferenciación de imágenes, regresión de imágenes, diferenciación de Índices de Vegetación, análisis de cambio de vector. Estos algoritmos tienen una característica común: seleccionan umbrales para determinar áreas cambiadas. En esta categoría dos aspectos son fundamentales de considerar para los resultados: la selección de las bandas adecuadas de la imagen o bien el índice de vegetación, así como la selección de umbrales adecuados para identificar las áreas que han cambiado. (Lu et al., 2004, p.2370)
2. **Transformación:** esta categoría incluye Análisis de Componentes principales (PCA), Tasseledcap (KT), Gramm–Schmidt (GS) y Ji- cuadrada. Una de las ventajas de este método es que reduce la redundancia entre los valores de las bandas y enfatiza en diferentes aspectos de la imagen (brillo y humedad). Sin embargo, no pueden proporcionar matrices de cambio detalladas y requieren selección de umbrales para identificar áreas cambiadas. Otra desventaja es la dificultad para interpretar y etiquetar la información del cambio en las imágenes. (Lu et al., 2004, p.2382)
3. **Clasificación:** esta categoría incluye los métodos de comparación pos-clasificación, análisis espectral-temporal combinado, el algoritmo de maximización de expectativa (EM), métodos de detección no supervisados y detección de cambios híbridos. Estos métodos están basados en la clasificación de imágenes (métodos supervisados y no supervisados), donde la calidad y cantidad de datos son cruciales para una buena detección de cambios. (Lu et al., 2004, p.2384)

4. **Modelos avanzados:** esta categoría incluye los métodos de Li- Strahler, modelos de reflectancia, modelos de mezclas espectrales y modelos de valoración de parámetros biofísicos. En estos modelos, los valores de reflectancia de las imágenes son convertidos en parámetros biofísicos, los parámetros transformados más intuitivos para interpretar y extraer firmas espectrales. (Lu et al., 2004, p.2385)
5. **Sistemas de Información Geográfica (SIG):** esta categoría incluye la integración del uso de software orientados a los SIG y métodos de percepción remota, su ventaja es la de incorporar datos de diferentes fuentes como pueden ser cartas de uso de suelo y vegetación, cartas temáticas, fotografías aéreas etc. Sin embargo, los datos de diferentes fuentes en ocasiones tienen distintas precisiones lo cual afecta el resultado final. (Lu et al., 2004, p.2386)
6. **Análisis visual:** esta categoría incluye la interpretación visual de imágenes multitemporales, digitalización en pantalla de las áreas de cambio, la textura, la forma, el tamaño de las imágenes, entre otros que son elementos claves para la identificación de los cambios. (Lu et al., 2004, p.2387)
7. **Otros enfoques:** existen algunos métodos que no se pueden atribuir a una de las categorías anteriormente mencionadas y que todavía no se han utilizado con frecuencia en la práctica. Entre ellas se encuentran las medidas de dependencia espacial, sistema de visión basado en el conocimiento, curvas de cambio, entre otros. (Lu et al., 2004, p.2387)

2.3.1. Sistemas de Información Geográfica (SIG)

De acuerdo con Sosa & Martínez (2009), plantean que los sistemas de información geográfica (SIG), son:

Un conjunto de herramientas que permiten el procesamiento de información de datos de tipo espacial usados para tomar decisiones acerca de cierto espacio o área específica de la Tierra o también para visualizar de forma general un espacio de acuerdo con el contenido de base de datos digital. (p.28)

Por su parte, David Rhind (1988), leído en una publicación de Sosa & Martínez (2009) define a los SIG como un: “sistema de computación para comprobar, integrar y analizar información relacionada con la superficie de la Tierra” (p.28).

Por tanto, se entiende que los SIG conjugan la interacción de subsistemas con lo cual permite un óptimo manejo de datos recolectados y una adecuada evaluación de dichos datos procesados y desplegados en tablas y gráficos con el fin de comprender el “funcionamiento del subsistema natural para el manejo eficiente de la información y de los mapas asociados” (p.28).

Actualmente, los SIG son utilizados en diferentes campos de estudio o disciplinas académicas, entre ellos: las ciencias ambientales en el ámbito de los recursos naturales, estados de conservación y estudios de impacto; ciencias políticas en cuanto a la planificación y gestión territorial; geología; hidrología; economía por su relación en el crecimiento económico, demográfico y usos de suelo; ciencias sociales; entre otros.

En cuanto a la aplicación de los SIG en las ciencias sociales, esta “abarca diversos campos de estudio desde la arqueología, hasta la sociología, pasando por temas tan concretos como la economía y la criminología” (Radicelli, Pomboza, Villacrés, & Boderó, 2019, p.98).

Radicelli et al., (2019) manifiestan que la aplicación de los SIG en las ciencias sociales “ha tenido un crecimiento importante, debido a la gran diversificación de estudios en esta área, los cuales utilizan la información geográfica como apoyo para el desarrollo de sus ciencias” (p.99).

Como es el caso de la planificación territorial, la cual correlaciona el aspecto físico con el social de una determinada población, utilizando cartografía “para determinar elementos antropológicos y su interrelación con el hábitat de los pueblos considerando incluso su flora y fauna como recursos que pueden ser vigilados y administrados de mejor manera” (Radicelli et al., 2019, p.98).

Así pues, queda claro el gran aporte de los SIG en el desarrollo de diferentes conocimientos, especialmente aquellos que permiten mejorar la toma de decisiones orientadas al cuidado del ambiente, servicios ecosistémicos y biodiversidad, y con ello

efectuar una adecuada planificación territorial y a su vez potenciar el desarrollo sostenible de la sociedad.

2.4. Riesgos en el Cambio del Uso de Suelo

“Los cambios en el uso de suelo y la cubierta vegetal, derivados de la expansión y extensión de actividades antrópicas, generan impactos negativos en la biodiversidad y la provisión de servicios ecosistémicos” (Sahagún & Reyes, 2018, p.6).

De las actividades antrópicas, Sahagún & Reyes (2018) en su estudio sobre los impactos por cambio de uso de suelo, indican que:

La conservación de ecosistemas prioritarios de selvas y bosques, se ven amenazadas por factores de cambio directos, como la expansión de las distintas formas de agricultura y de infraestructura; e indirectos (factores demográficos o políticos), como la apertura de nuevos caminos que promueven la explotación forestal, lo que puede comprometer su capacidad de resiliencia. (p.17)

En la misma línea de pensamiento, Giaino, S. (1996) en su estudio ejecutado por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) indica que las áreas de preservación ecológica y las contiguas a cuerpos de agua, han sido las más invadidas y disminuidas en su extensión por parte de constructores y asentamientos informales que han generado 3 tipos de riesgos:

Riesgos por erosión, ocasionados por asentamientos informales que se localizaron en una colina con suelo erosionable; **Riesgo por inundación**, en grupos de viviendas ubicadas informalmente en los márgenes de los ecosistemas hídricos de la ciudad, y: **Riesgo por contaminación atmosférica**, generada en los asentamientos humanos que han invadido terrenos contiguos a las zonas de uso industrial. (p.11)

En cuanto a los riesgos por erosión e inundación, el Centro Nacional de Prevención de Desastres del Gobierno de México (2020) afirma que uno de los factores que intervienen en el desarrollo de las inundaciones, es el cambio en el uso de suelo sin una adecuada planificación, “generalmente para la agricultura, ganadería y en el aprovechamiento de los recursos forestales”.

Sin duda alguna, el cambio de uso de suelo debe ser controlado y planificado, con el fin de brindar una adecuada gestión a los recursos naturales, protegiendo áreas de interés, asegurar y garantizar un desarrollo sostenible en la sociedad, y con ello, contribuir en el régimen de desarrollo del país.

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

El presente estudio se llevó a cabo en la parroquia Tixán, cantón Alausí, provincia de Chimborazo, y utilizó el método observacional, exploratorio y descriptivo. La información fue recabada del sistema tecnológico “Mapa Interactivo Ambiental”, y se generaron mapas en el software ArcGIS 10.5 de los años 1990, 2000, 2008, 2014, 2016 y 2018.

A partir de los mapas de uso de suelo y vegetación se pudo identificar, representar, describir, cuantificar, localizar, analizar, evaluar, explicar y establecer los procesos de cambio del uso y cobertura de suelo de la parroquia Tixán, y conocer su dinámica. A continuación, se detalla la metodología utilizada en el presente estudio:

3.1. Tipo y Diseño De Investigación

El diseño de investigación se basó en un **enfoque mixto** (cuantitativo y cualitativo), puesto que, a través de datos estadísticos obtenidos en el tratamiento de datos, se realizó un análisis cualitativo explicando con ello las posibles causas para un determinado tiempo, por lo tanto, el diseño de la investigación también corresponde al **tipo transversal**. Además, dicho enfoque permitió establecer patrones de comportamiento en los datos analizados, descubrir o afinar preguntas de investigación y probar hipótesis en el proceso de interpretación.

En cuanto al nivel de investigación, se utilizó el **exploratorio** y **descriptivo**, pues en el análisis de los datos se buscaron relaciones causales y con base en la teoría recabada sobre el área de estudio en cuanto a los espacios de riesgos provocados por los cambios de usos y coberturas del suelo en la parroquia Tixán, se describió su situación para los diferentes periodos analizados.

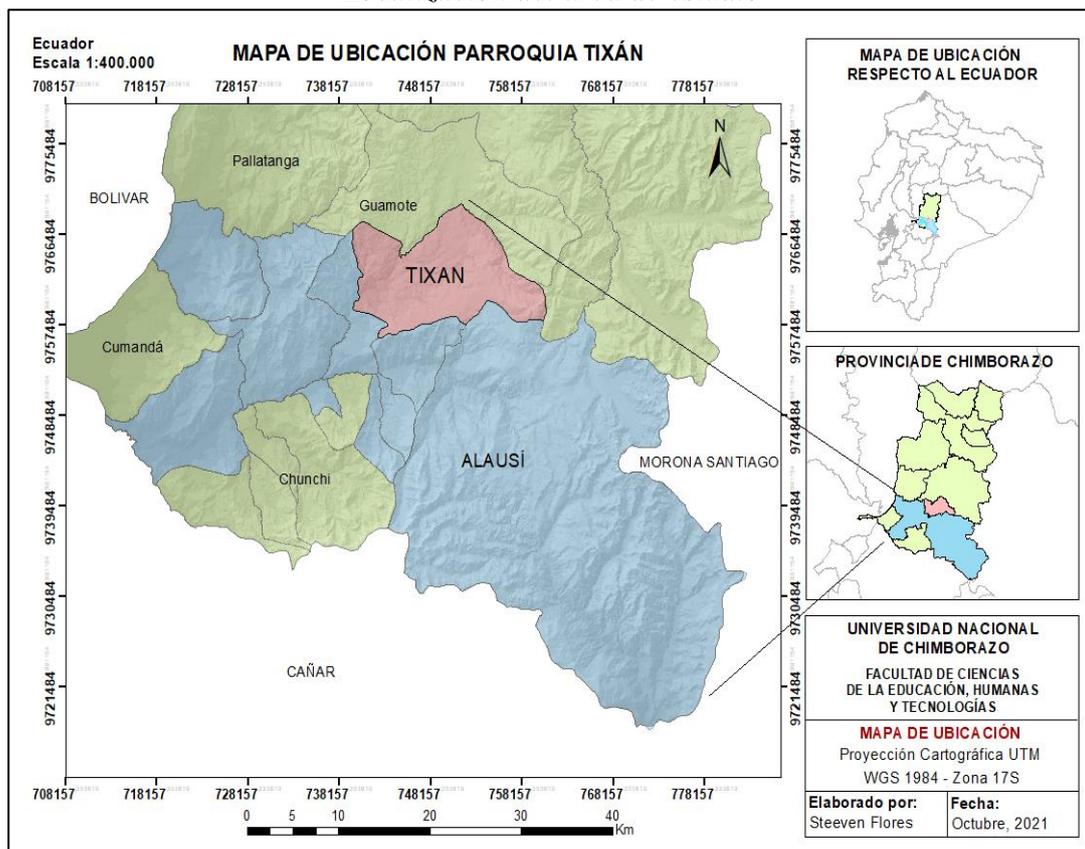
Según la manipulación de la variable independiente, se realizó de manera **no experimental** ya que no existió la manipulación o control de la variable independiente. De acuerdo con el tipo de estudio, se realizó un **estudio documental**, puesto que para la investigación se utilizó información primaria, la obtenida del análisis de la información, y

secundaria en lo referente al análisis de artículos científicos, revistas o tesis relacionadas al campo de estudio.

3.2. Unidad de Análisis

El presente estudio se llevó a cabo en la parroquia Tixán, perteneciente al cantón Alausí de la provincia de Chimborazo (ver Figura 1), tiene una superficie aproximada de 180,83 km² que representan el 10,58 % del cantón Alausí, por otro lado, al estar ubicada en la región sierra o interandina del Ecuador, está atravesada por la cordillera occidental de los Andes que recorre de norte a sur; su altitud va desde los 2642 hasta los 3885 msnm, lo que origina dos tipos de climas el ecuatorial de alta montaña y el ecuatorial mesotérmico seco, con una temperatura anual de 12 °C, teniendo variaciones entre 1 °C a 18 °C en un mismo día, y precipitaciones anuales de 750 mm para la zona ecuatorial mesotérmica seca y para la zona ecuatorial de alta montaña de 750 mm a 2.000 mm. (GAD de la parroquia Tixán, Gobierno parroquial rural de Tixán, 2019)

Figura 1
Localización del área de estudio



ELABORADO POR: Steeven Flores

En este sentido, la unidad de análisis corresponde a los espacios de riesgo generados por el cambio de uso y cobertura de suelo de la parroquia Tixán del cantón Alausí, provincia de Chimborazo. Por tal motivo, no existe en el presente estudio una población de estudio, subconjunto o muestra.

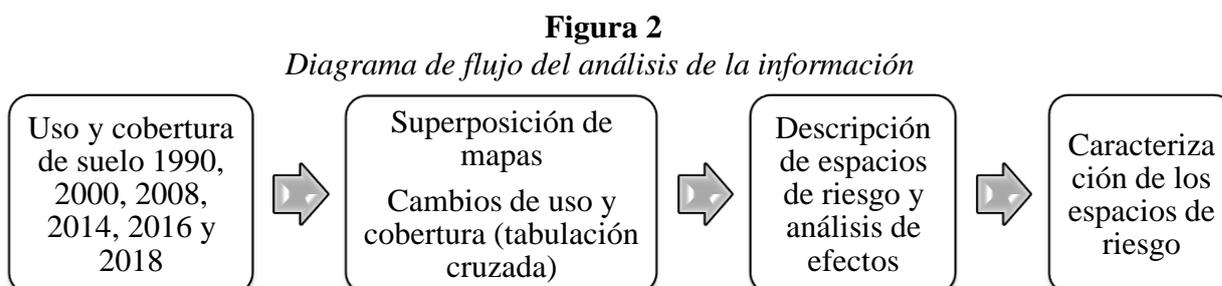
3.3. Técnicas de Recolección de Datos

La recolección de los datos está íntimamente relacionada al nivel de investigación, pues se utilizó el exploratorio para determinar los datos adecuados y su tratamiento, a través de un análisis bibliográfico.

3.4. Técnicas de Análisis e Interpretación de la Información

Para el desarrollo del presente estudio se utilizaron shapes del área de estudio de diferentes años: 1990, 2000, 2008, 2014, 2016 y 2018; con el fin de comparar la evolución del uso y cobertura de suelo, para lo cual, se utilizó el Software ArcGIS 10.5 y el programa Excel para el tratamiento de los diferentes datos numéricos.

El análisis de la información del área de estudio, en cuanto al cambio de uso y cobertura de suelo de la parroquia Tixán entre los años 1990 y 2018, contempló el uso de: la información de libre acceso del sistema tecnológico “Mapa Interactivo Ambiental”, herramienta web del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica del Ecuador (MAATE), de donde se descargó la información y catálogo de metadatos de los años 1990, 2000, 2008, 2014, 2016 y 2018; el software ArcGIS 10.5; y, una hoja de cálculo en Excel para la edición y tratamiento de los resultados. El tratamiento de la información se efectuó a través de los procesos indicados en el siguiente flujograma:



ELABORADO POR: Steeven Flores

Para la delimitación de los mapas de uso y cobertura de suelo de la parroquia Tixán para los años 1990, 2000, 2008, 2014, 2016 y 2018, se utilizó el software ArcGIS 10.5 y Shapes obtenidos del MAATE de la cobertura y uso de la tierra del Ecuador Continental para dichos años. Cabe destacar que, para llegar al resultado final del cambio de uso y cobertura de suelo de la parroquia Tixán, se utilizó la matriz de tabulación cruzada, misma que admite datos de dos tiempos, motivo por el cual, la superposición fue realizada con 3 pares de mapas, es decir, se realizó el análisis en tres periodos: 1990-2000; 2008-2014; y, 2016-2018. Dicho proceso se desarrolló en ArcGIS 10.5 y se utilizó el programa Excel de acuerdo con el siguiente procedimiento:

1. Se identificaron las categorías para cada análisis, es decir, 1990-2000; 2008-2014; y, 2016-2018, mismas que se pueden visualizar en las leyendas expuestas en las Figuras 3, 6 y 9.

La identificación de las categorías se basó en el segundo nivel de la leyenda de los shapes, el cual corresponde a 16 clases que fueron acordadas a través de varios talleres por las entidades encargadas de la generación de información de cobertura de la tierra: Ministerio del Ambiente (MAE), Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP) y el Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE); información que se expone en la siguiente tabla:

Tabla 1

Clasificación de categorías para el uso de suelo y cobertura vegetal

Nivel I	Nivel II	Definición Operativa
Bosque	Bosque Nativo	Ecosistema arbóreo, primario o secundario, regenerado por sucesión natural; se caracteriza por la presencia de árboles de diferentes especies nativas, edades y portes variados, con uno o más estratos.
	Plantación Forestal	Masa arbórea establecida antrópicamente con una o más especies forestales.
Vegetación Arbustiva y Herbácea	Vegetación Arbustiva	Áreas con un componente substancial de especies leñosas nativas no arbóreas. Incluye áreas degradadas en transición a una cobertura densa del dosel.
	Páramo	Vegetación tropical altoandino, caracterizada por especies dominantes no arbóreas que incluyen fragmentos de bosque nativo propios de la zona.
	Vegetación Herbácea	Áreas constituidas por especies herbáceas nativas con un crecimiento espontáneo, que no reciben

Nivel I	Nivel II	Definición Operativa
		cuidados especiales, utilizados con fines de pastoreo esporádico, vida silvestre o protección.
Tierra Agropecuaria	Cultivo Anual	Comprende aquellas tierras dedicadas a cultivos agrícolas, cuyo ciclo vegetativo es estacional, pudiendo ser cosechados una o más veces al año.
	Cultivo Semipermanente	Comprenden aquellas tierras dedicadas a cultivos agrícolas cuyo ciclo vegetativo dura entre uno y tres años.
	Cultivo Permanente	Comprenden aquellas tierras dedicadas a cultivos agrícolas cuyo ciclo vegetativo es mayor a tres años, y ofrece durante este periodo varias cosechas.
Tierra Agropecuaria	Pastizal	Vegetaciones herbáceas dominadas por especies de gramíneas y leguminosas introducidas, utilizadas con fines pecuarios que, para su establecimiento y conservación, requieren de labores de cultivo y manejo.
	Mosaico Agropecuario (Asociación)	Son agrupaciones de especies cultivadas que se encuentran mezcladas entre sí y que no pueden ser individualizados; y excepcionalmente pueden estar asociadas con vegetación natural.
Cuerpo de Agua	Natural	Superficie y volumen asociado de agua estática o en movimiento.
	Artificial	Superficie y volumen asociado de agua estática o en movimiento asociadas con las actividades antrópicas y el manejo del recurso hídrico.
Zona Antrópica	Área Poblada	Áreas principalmente ocupadas por viviendas y edificios destinados a colectividades o servicios públicos.
	Infraestructura	Obra civil de transporte, comunicación, agroindustrial y social.
Otras Tierras	Área sin cobertura vegetal	Áreas generalmente desprovistas de vegetación que, por sus limitaciones edáficas, climáticas, topográficas o antrópicas, no son aprovechadas para uso agropecuario o forestal, sin embargo, pueden tener otros usos.
	Glaciar	Nieve y hielo localizados en las cumbres de las elevaciones andinas.
Sin Información		Corresponde a áreas que no han podido ser mapeadas.

FUENTE: Mapa Interactivo Ambiental del MAATE

ELABORADO POR: Steeven Flores

Ahora bien, es preciso indicar que la identificación de las categorías para el cambio de uso y cobertura de suelo de la parroquia Tixán para los diferentes años se basó en el Nivel II de la leyenda de los shapes (ver tabla 1), sin embargo, pese a que las clasificaciones de

“Vegetación Arbustiva” y “Vegetación Herbácea” son dos categorías diferentes, ambas se consideraron como una sola categoría debido a su corta extensión superficial; en cuanto a la categoría “Natural”, según el Nivel I, esta se refiere a Cuerpo de Agua, por tal motivo, esta categoría fue especificada como Cuerpo de agua natural.

Por otro lado, dentro de la identificación de las categorías para el uso y cobertura de suelo de los años 2016 y 2018, tanto en el Nivel I como el Nivel II, se considera a la Tierra agropecuaria como una sola categoría sin clasificación, la cual se define como el área bajo cultivo agrícola y pastos plantados, o que se encuentran dentro de una rotación entre estos. Finalmente, las categorías que no se encontraron en la parroquia Tixán fueron: Cultivo Semipermanente, Cultivo Permanente, Artificial, Área Poblada, Infraestructura, Glaciar y Sin Información.

2. Se utilizó la herramienta Dissolve para fusionar los polígonos de similares coberturas y usos en cada uno de los mapas generados.
3. Las categorías para determinar el cambio de cobertura y uso de suelo entre, 1990-2000; 2008-2014; y, 2016-2018, fueron analizadas en una hoja de cálculo de Excel, utilizando una matriz de transición propuesta por Pontius et ál. (2004), leído en una publicación de Silva & Rubio (2014), quienes indican además que dicha matriz es también denominada como “matriz de tabulación cruzada, que es resultado de cruzar dos mapas de diferente fecha” (p.140).

A modo de ejemplo, la matriz de transición o de tabulación cruzada, tuvo la estructura expuesta en la siguiente tabla:

Tabla 2
Estructura de la matriz de tabulación cruzada

		Tiempo 1				Total T0	
		Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase n		
		j₁	j₂	j₃	j_n		
Tiempo 0	Clase 1	i₁	j ₁ i ₁	j ₂ i ₁	j ₃ i ₁	j _n i ₁	i ₁₊
	Clase 2	i₂	j ₁ i ₂	j ₂ i ₂	j ₃ i ₂	j _n i ₂	i ₂₊
	Clase 3	i₃	j ₁ i ₃	j ₂ i ₃	j ₃ i ₃	j _n i ₃	i ₃₊
	Clase n	i_n	j ₁ i _n	j ₂ i _n	j ₃ i _n	j _n i _n	i _{n+}
Total T1			+j ₁	+j ₂	+j ₃	+j _n	$\sum i_+ \sum +j$

Nota. Los datos ubicados en las celdas de color indican el porcentaje de uso de cobertura y suelo que no experimentó cambio (persistencia).

ELABORADO POR: Steeven Flores

Por lo tanto, con base en las categorías anteriormente analizadas, se designaron valores numéricos para cada clase y para cada posible cambio en los años 1990-2000; 2008-2014; y, 2016-2018; además de una descripción para todos los posibles cambios.

4. Se agregaron los valores numéricos designados a cada clase (códigos) a los nuevos shapes generados anteriormente en el paso 2.
5. Una vez asignados los diferentes códigos en las categorías de cada una de las tablas de atributos pertenecientes a los diferentes mapas de uso y cobertura de suelo en los distintos años, se transformó cada shape a un modelo de datos espacial (ráster) con la finalidad de trabajar con datos numéricos y generar el álgebra de mapas, para lo cual se utilizó la herramienta Polygon to Raster.

En cuanto al tamaño de la celda (cell size), esta fue calculada con base en la relación directa que existe entre ella y la escala, utilizando para ello, la siguiente fórmula:

$$\text{Tamaño de celda} = \text{Escala} \frac{0.0254}{96}$$

De donde se obtuvo que, para la escala de 125.000, el tamaño de celda corresponde a 33.07 metros.

6. Se calculó el álgebra de mapas para cada par de mapas sumando ambos ráster, utilizando para ello la herramienta Raster Calculator.
7. Una vez obtenido el cambio de uso y cobertura, este fue transformado a modelo vectorial (polygon) con la finalidad de obtener datos numéricos, para lo cual se utilizó la herramienta Raster to Polygon.
8. Se utilizó la herramienta Dissolve para fusionar los polígonos de similares coberturas y usos en cada uno de los polígonos generados.
9. Se procedió a designar la descripción realizada en el paso 3, para el correspondiente código generado, se calculó el área, la proporción y se determinó si hubo un cambio de cobertura y uso de suelo o si este se mantuvo.
10. Finalmente, se utilizó nuevamente la herramienta Dissolve con el fin de obtener un nuevo mapa con información específica en cuanto a la existencia de cambios de uso y cobertura de suelo con su respectivo porcentaje.

En cuanto a la tabulación cruzada del tiempo 0 y del tiempo 1, como se visualiza en la tabla 2, permitió obtener una matriz de transición, la cual según Silva & Rubio (2014), se entiende de la siguiente manera:

Las filas representan las categorías del mapa en el tiempo 0 (t0) y las columnas las categorías del mapa en el tiempo 1 (t1). La diagonal principal muestra la cantidad total del paisaje estable entre una y otra fecha, mientras que fuera de la diagonal se encuentran las transiciones de ambos tiempos para cada categoría. (p.140)

Después de indicar las categorías del tiempo 0 y 1, se colocaron los totales ocupados por cada categoría en los tiempos respectivos. Seguidamente, con la información obtenida de la superposición de mapas y colocada en la matriz, se calcularon las ganancias, las pérdidas, el cambio neto y total y el intercambio, con base en lo siguiente:

Ganancias (G): resulta de la diferencia entre la columna del total del tiempo 1 y la persistencia, es decir, el uso de suelo que se ha mantenido en el tiempo; **Pérdidas (P):** se obtiene a través de la diferencia entre la fila total del año 0 y la persistencia; **Cambio neto (CN):** se utiliza la función ABS, es decir, el valor absoluto de un número, y se resta entre las columnas de pérdidas y ganancias; **Cambio total (CT):** corresponde a la suma de cada uno de los valores de la columna de pérdidas y de la fila de las ganancias; e, **Intercambio (I):** es la diferencia entre el cambio total (CT) y el cambio neto (CN).

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

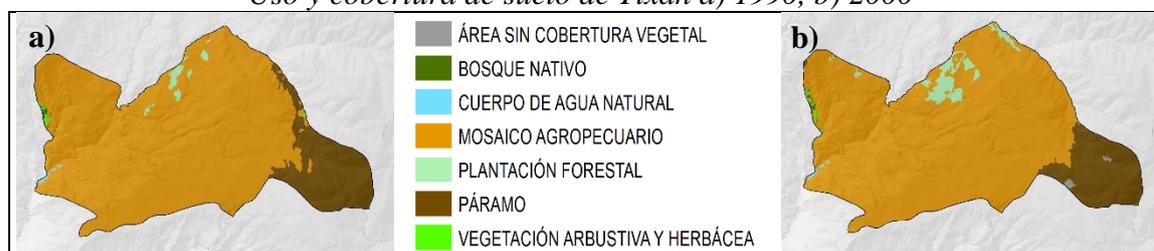
4.1. Resultados

4.1.1. Cambio de Uso y Cobertura de Suelo

4.1.1.1. Período 1990 – 2000

Las categorías para el cambio de uso y cobertura de suelo de los años 1990-2000, resultó en siete categorías (Figura 3): Área sin cobertura vegetal (As); Bosque nativo (Bn); Cuerpo de agua natural (Cn); Mosaico agropecuario (Ma); Plantación forestal (Pf); Páramo (Pa); y, Vegetación arbustiva y herbácea (Vah).

Figura 3
Uso y cobertura de suelo de Tixán a) 1990, b) 2000



Nota: Los mapas se encuentran en Anexos.

ELABORADO POR: Steeven Flores

Mapas de donde se obtuvieron las áreas de las diferentes categorías, lo cual permitió el análisis de la evolución en cuanto a la superficie desde el año 1990 al 2000, como se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 3
Cambio en superficie y porcentaje del uso y cobertura de suelo entre 1990 y 2000

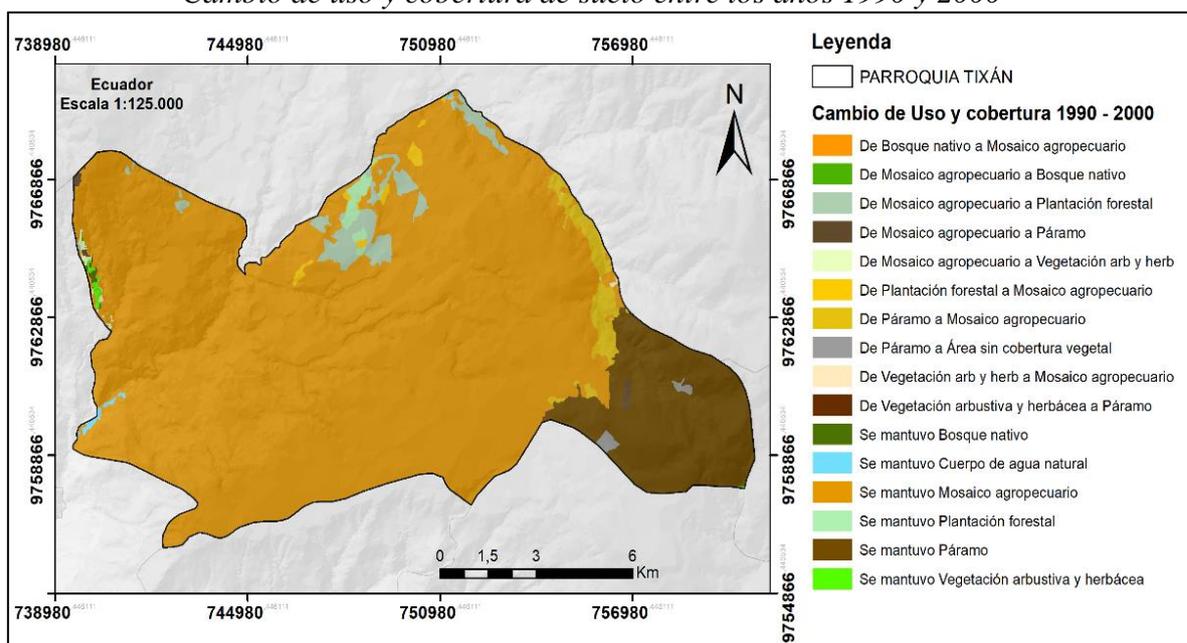
No.	Categorías	Cód	Superficie				Variación superficial %
			1990		2000		
			km ²	%	km ²	%	
1	Área sin cobertura vegetal	As	0	0,00	0,39	0,24	0,24
2	Bosque nativo	Bn	0,23	0,14	0,12	0,07	-0,07
3	Cuerpo de agua natural	Cn	0,22	0,14	0,22	0,14	0,00
4	Páramo	Pa	22,73	13,69	19,59	11,78	-1,91
5	Plantación forestal	Pf	1,48	0,89	4,89	2,93	2,04
6	Mosaico agropecuario	Ma	141,24	84,97	140,59	84,61	-0,36
7	Vegetación arb y herb	Vah	0,29	0,18	0,39	0,23	0,05
			166,19	100,00	166,19	100,00	

ELABORADO POR: Steeven Flores

Análisis donde se evidencia que las clases que presentaron mayores cambios fueron: Plantación forestal (Pf) con una ganancia de superficie del 2,04%; el Páramo (Pa) con una pérdida de superficie del 1,91%; y, como nuevo uso y cobertura de suelo en el año 2000 el Área sin cobertura vegetal (As) con una ganancia de superficie del 0,24%.

En cuanto a la dinámica territorial, a través de la superposición de mapas y tabulación cruzada, se obtuvo lo siguiente:

Figura 4
Cambio de uso y cobertura de suelo entre los años 1990 y 2000



ELABORADO POR: Steeven Flores

Superposición de mapas que permitió la obtención de datos para el detalle del intercambio producido entre usos y coberturas de suelo, como se expone en la siguiente tabla:

Tabla 4
Matriz de tabulación cruzada de los mapas de 1990 y 2000

		2000							Total 1990	P (%)
		As	Bn	Cn	Pa	Pf	Ma	Vah		
1990	As								0,00	0,00
	Bn		0,06					0,08	0,14	0,08
	Cn			0,14					0,14	0,00
	Pa	0,24			11,58			1,87	13,69	2,11
	Pf					0,49	0,40		0,89	0,40
	Ma		0,01		0,20	2,44	82,22	0,10	84,97	2,75
	Vah				0,002		0,05	0,12	0,18	0,05

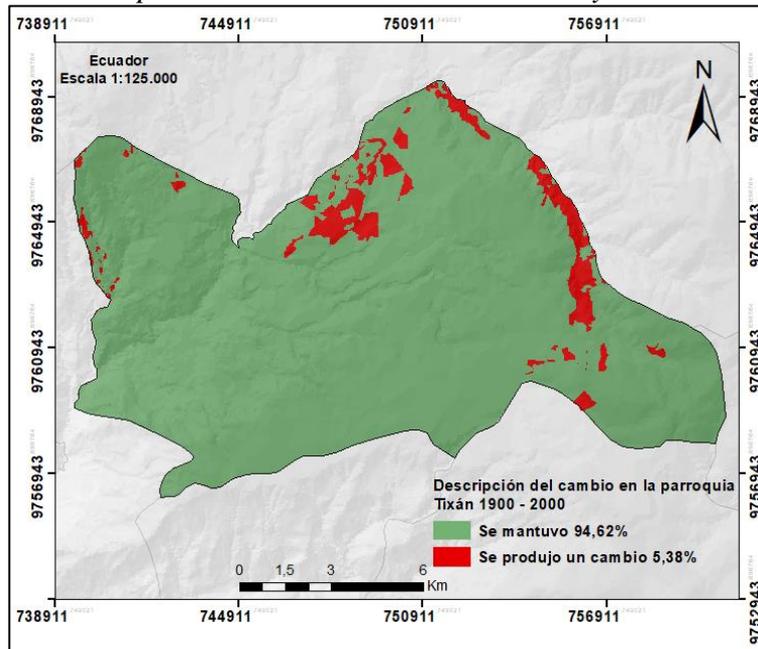
Total 2000	0,24	0,07	0,14	11,78	2,93	84,61	0,23	100,00	5.38
G (%)	0,24	0,01	0,00	0,20	2,44	2,39	0,10	5.38	
	As	Bn	Cn	Pa	Pf	Ma	Vah		
CN (%)	0,24	0,07	0,00	1,91	2,04	0,36	0,05	2,28	
CT (%)	0,24	0,09	0,00	2,31	2,83	5,14	0,16	5,38	
I (%)	0,00	0,02	0,00	0,40	0,79	4,78	0,11	3,10	

ELABORADO POR: Steeven Flores

De donde se obtuvo que, las categorías o clases que presentaron mayores cambios en el año 1990 fueron: Mosaico agropecuario (Ma) con el 2,75% el cual se transformó en Plantación forestal (Pf) en un 2,44% y en Vegetación arbustiva y herbácea con el 0,10%, manteniendo una persistencia del 82,22%; Páramo (Pa) con una pérdida del 2,11%, el cual se transformó en Mosaico agropecuario (Ma) con el 1,87% y en Área sin cobertura vegetal (As) con 0,24%, manteniendo una persistencia del 11,58%. De igual manera, las ganancias para el año 2000 se evidencian en: Plantación forestal (Pf) con el 2,44%, categoría que ganó dicha proporción sobre Mosaico agropecuario (Ma); y, en Mosaico agropecuario (Ma) con el 2,39%, el cual ganó territorio sobre el Páramo (Pa) con el 1,87%, en Plantación forestal (Pf) con el 0,40%, sobre el Bosque nativo (Bn) con el 0,08%, y sobre Vegetación arbustiva y herbácea (Vah) con el 0,05%.

Determinando con ello que, las diferentes categorías de uso y cobertura de suelo de la parroquia Tixán del año 1990 al 2000 (Tabla 4), se mantuvieron persistentes en el tiempo con un 94,62%; mientras que el 5,38% experimentó un cambio, donde el 2,28% corresponde a un cambio neto y el 3,10% fue un intercambio entre las diferentes categorías. El detalle del cambio en el uso y cobertura de suelo de la parroquia Tixán del año 1990 al 2000, se evidencia en la siguiente figura:

Figura 5
Mapa de cambios entre los años 1990 y 2000



ELABORADO POR: Steeven Flores

4.1.1.2. Período 2008 – 2014

Las categorías para el cambio de uso y cobertura de suelo de los años 2008-2016, resultó en nueve categorías (Figura 6): Área sin cobertura vegetal (As); Bosque nativo (Bn); Cultivo anual; Cuerpo de agua natural (Cn); Mosaico agropecuario (Ma); Pastizal (Pz); Plantación forestal (Pf); Páramo (Pa); y, Vegetación arbustiva y herbácea (Vah).

Figura 6
Uso y cobertura de suelo de Tixán a) 2008, b) 2014



Nota: Los mapas de uso y cobertura de suelo de la parroquia Tixán para los años 2008 y 2014, se encuentran en Anexos.

ELABORADO POR: Steeven Flores

Mapas de donde se obtuvieron las áreas de las diferentes categorías, lo cual permitió el análisis de la evolución en cuanto a la superficie desde el año 2008 al 2014, como se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 5
Cambio en superficie y porcentaje del uso y cobertura de suelo entre 2008 y 2014

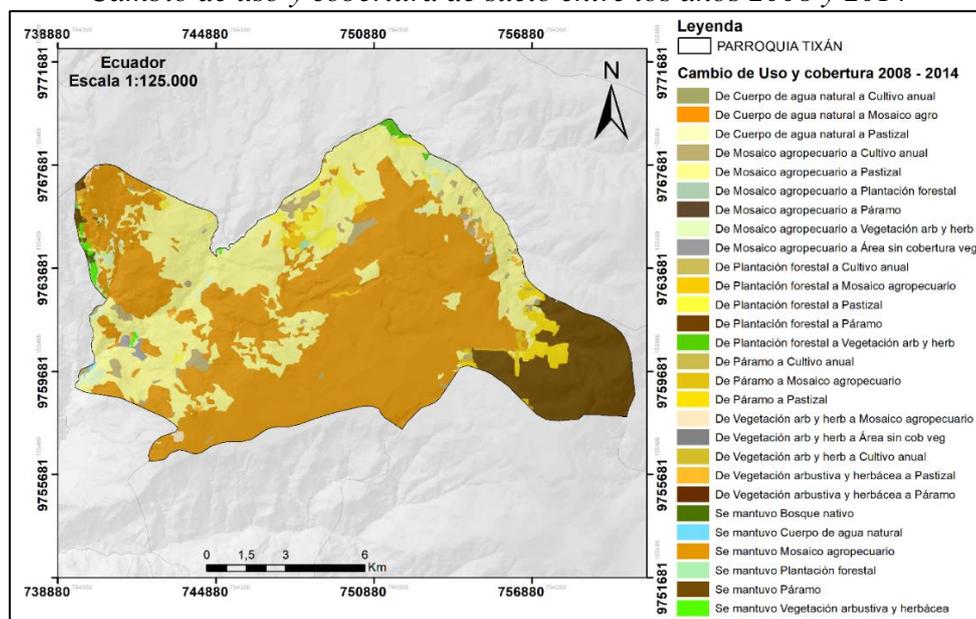
No.	Categorías	Cód	Superficie				Variación superficial %
			2008		2014		
			km ²	%	km ²	%	
1	Área sin cobertura vegetal	As	0	0,00	0,39	0,23	0,23
2	Bosque nativo	Bn	0,11	0,07	0,11	0,07	0,00
3	Cuerpo de agua natural	Cn	0,22	0,13	0,06	0,03	-0,10
4	Cultivo anual	Ca	0	0,00	3,55	2,13	2,13
5	Páramo	Pa	19,42	11,69	16,21	9,78	-1,91
6	Pastizal	Pz	0	0	53,66	32,31	32,31
7	Plantación forestal	Pf	5,48	3,30	0,17	0,10	-3,20
8	Mosaico agropecuario	Ma	139,00	83,65	88,29	53,12	-30,53
9	Vegetación arb y herb	Vah	1,95	1,16	3,75	2,23	1,07
			166,19	100,00	166,19	100,00	

ELABORADO POR: Steeven Flores

Análisis donde se evidencia que las clases que presentaron mayores cambios en su superficie fueron: con pérdidas, Ma con 30,48% y Pf con 3,20%; y, con ganancias o nuevos usos de suelo, Pz con 32,42%, Ca con el 2,05%, y As con un 0,24%.

En cuanto a la dinámica territorial, a través de la superposición de mapas y tabulación cruzada, se obtuvo lo siguiente:

Figura 7
Cambio de uso y cobertura de suelo entre los años 2008 y 2014



ELABORADO POR: Steeven Flores

Superposición de mapas que permitió la obtención de datos para el detalle del intercambio producido entre usos y coberturas de suelo, como se expone en la siguiente tabla:

Tabla 6
Matriz de tabulación cruzada de los mapas de 2008 y 2014

		2014									Total 2008	P (%)
		As	Bn	Cn	Ca	Pa	Pz	Pf	Ma	Vah		
2008	As										0,00	0,00
	Bn		0,07								0,07	0,00
	Cn			0,03	0,02		0,06		0,01		0,13	0,10
	Ca										0,00	0,00
	Pa				0,06	9,70	1,56		0,38		11,69	1,99
	Pz										0,00	0,00
	Pf				0,15	0,03	2,20	0,09	0,59	0,24	3,30	3,21
	Ma	0,23			1,90	0,01	28,04	0,01	51,80	1,66	83,65	31,85
	Vah	0,004			0,01	0,03	0,45		0,34	0,33	1,16	0,83
	Total 2014	0,23	0,07	0,03	2,13	9,78	32,31	0,10	53,12	2,23	100,00	37,98
	G (%)	0,23	0,00	0,00	2,13	0,08	32,31	0,01	1,32	1,90	37,98	
	As	Bn	Cn	Ca	Pa	Pz	Pf	Ma	Vah			
CN (%)	0,23	0,00	0,10	2,13	1,91	32,31	3,20	30,53	1,07	35,75		
CT (%)	0,23	0,00	0,10	2,13	2,07	32,31	3,22	33,17	2,73	37,98		
I (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,00	0,02	2,63	1,66	2,24		

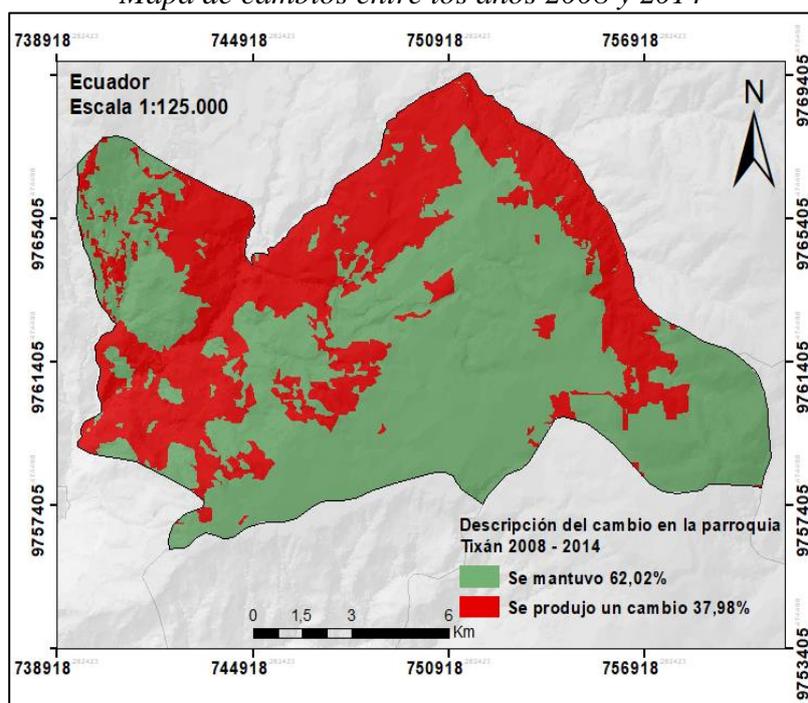
ELABORADO POR: Steeven Flores

De donde se evidencia que, la clase que presentó mayor cambio en el año 2008 fue Ma con el 31,68% el cual se transformó en Pz con el 28,04%, en Ca con el 1,90%, en Vah con el 1,66%, y en As con el 0,23%, manteniendo una persistencia del 51,80%. De igual manera, la ganancia para el año 2014 es más notoria en Pz con el 32,31% la cual fue sobre: Ma con el 28,04%, Pf con el 2,20%, Pa con el 1,56%, Vah con el 0,45% y sobre Cn con el 0,06%.

Determinando con ello que, las diferentes categorías de uso y cobertura de suelo de la parroquia Tixán del año 2008 al 2014 (Tabla 6), se mantuvieron persistentes en el tiempo con un 62,02%; mientras que el 37,98% experimentó un cambio, donde el 35,75% corresponde a un cambio neto y el 2,24% fue un intercambio entre las diferentes categorías. El detalle del cambio en el uso y cobertura de suelo de la parroquia Tixán del año 2008 al 2014, se evidencia en la siguiente figura:

Figura 8

Mapa de cambios entre los años 2008 y 2014



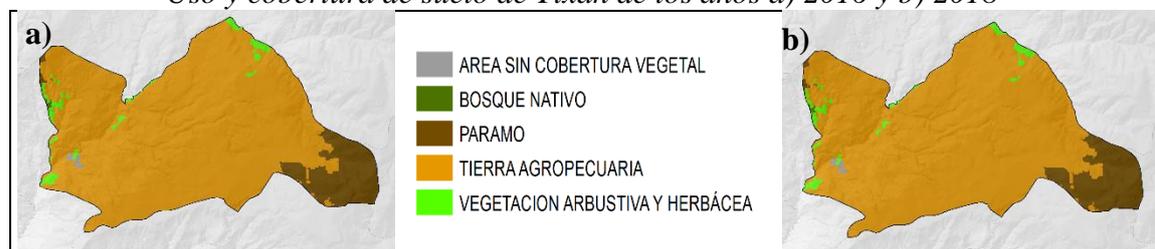
ELABORADO POR: Steven Flores

4.1.1.3. Período 2016 – 2018

Las categorías para el cambio de uso y cobertura de suelo del tercer y último período (2016-2018), resultó en cinco categorías (Figura 9): Área sin cobertura vegetal (As); Bosque nativo (Bn); Páramo (Pa); Tierra agropecuaria (Ta); y, Vegetación arbustiva y herbácea (Vah).

Figura 9

Uso y cobertura de suelo de Tixán de los años a) 2016 y b) 2018



Nota: Los mapas de uso y cobertura de suelo de la parroquia Tixán para los años 2016 y 2018, se encuentran en Anexos.

ELABORADO POR: Steven Flores

Mapas de donde se obtuvieron las áreas de las diferentes categorías, lo cual permitió el análisis de la evolución en cuanto a la superficie desde el año 2016 al 2018, como se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 7

Cambio en superficie y porcentaje del uso y cobertura de suelo entre 2016 y 2018

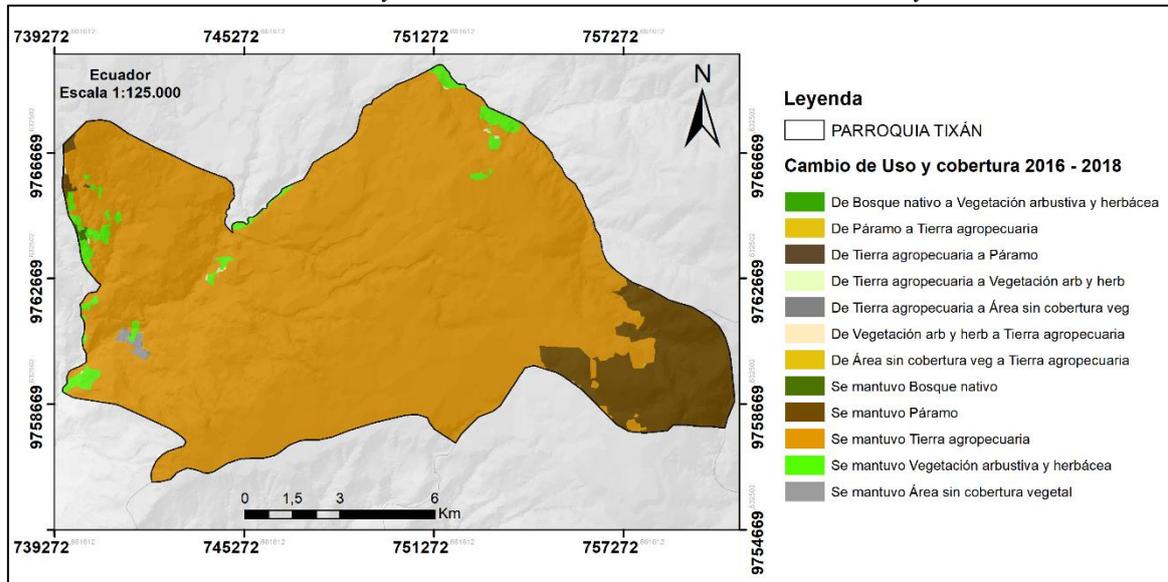
No.	Categorías	Cód	Superficie				Variación superficial %
			2016		2018		
			km ²	%	km ²	%	
1	Área sin cobertura vegetal	As	0,43	0,25	0,44	0,26	0,01
2	Bosque nativo	Bn	0,11	0,07	0,10	0,06	-0,004
3	Páramo	Pa	15,92	9,60	15,92	9,60	0,00
4	Tierra agropecuaria	Ta	146,20	87,97	146,24	88,00	0,03
5	Vegetación arb y herb	Vah	3,54	2,11	3,49	2,08	-0,03
			166,19	100,00	166,19	100,00	

ELABORADO POR: Steeven Flores

Según el análisis del cambio experimentado en el uso y cobertura de suelo en la parroquia Tixán en los años 2016-2018, el cambio no fue significativo, sin embargo, se evidencia un incremento en el As y Ta, con el 0,01 y 0,03%, respectivamente. En cuanto a la dinámica territorial, a través de la superposición de mapas y tabulación cruzada, se obtuvo lo siguiente:

Figura 10

Cambio de uso y cobertura de suelo entre los años 2016 y 2018



ELABORADO POR: Steeven Flores

Superposición de mapas que permitió la obtención de datos para el detalle del intercambio producido entre usos y coberturas de suelo, como se expone en la siguiente tabla:

Tabla 8
Matriz de tabulación cruzada de los mapas de 2016 y 2018

		2018					Total 2016	P (%)
		As	Bn	Pa	Ta	Vah		
2016	As	0,24			0,01		0,25	0,01
	Bn		0,06			0,004	0,07	0,004
	Pa			9,59	0,01		9,60	0,01
	Ta	0,02		0,01	87,93	0,01	87,97	0,04
	Vah				0,05	2,06	2,11	0,05
	Total 2018	0,26	0,06	9,60	88,00	2,08	100,00	0,11
	G (%)	0,02	0,00	0,01	0,07	0,02	0,11	
	CN (%)	0,01	0,004	0,00	0,03	0,03	0,04	
	CT (%)	0,03	0,004	0,01	0,10	0,07	0,11	
	I (%)	0,02	0,00	0,01	0,07	0,03	0,07	

ELABORADO POR: Steeven Flores

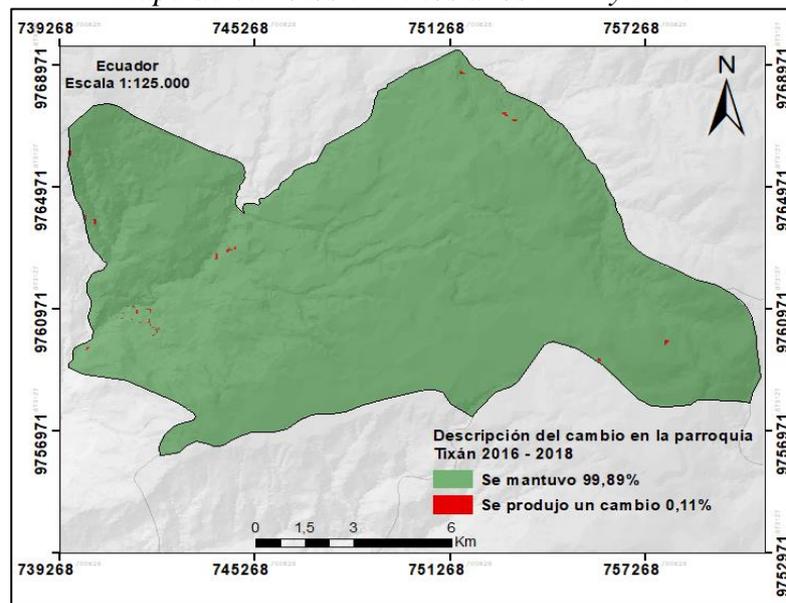
De acuerdo con el análisis del tercer y último periodo de análisis del cambio de uso y cobertura de suelo de la parroquia Tixán, correspondiente a los años 2016-2018 (Tabla 8), se evidenció que, a pesar de que el cambio total de 0,11% no es significativo, existe una tendencia en el incremento del uso de suelo de Ta con el 0,04%, donde el 0,02% se convirtió en As, el 0,01 en Pa y el 0,01% en Vah.

Por otro lado, se observó que se han perdido totalmente las categorías de Cuerpo de agua natural (Cn), Cultivo anual (Ca) y Plantación forestal (Pf), que permanecieron hasta el año 2014. Determinando con ello que, las diferentes categorías de uso y cobertura de suelo de la parroquia Tixán del año 2016 al 2018 (Tabla 8), se mantuvieron persistentes en el tiempo con un 99,89%; mientras que el 0,11% experimentó un cambio, donde el 0,07% fue un intercambio entre las diferentes categorías y el 0,04% corresponde a un cambio neto.

El detalle del cambio en el uso y cobertura de suelo de la parroquia Tixán del año 2016 al 2018, se evidencia en la siguiente figura:

Figura 11

Mapa de cambios entre los años 2016 y 2018



ELABORADO POR: Steeven Flores

4.1.1.4. Síntesis de la Evaluación de Cambio

Finalmente, a modo resumen se expone en la siguiente tabla el total de pérdidas y ganancias para los diferentes usos y coberturas de suelo analizados en los tres periodos:

Tabla 9

Pérdidas y ganancias de los diferentes usos de suelo en los tres periodos

Uso y cobertura de suelo	Periodos analizados						Total P %	Total G %	Var sup (cambio neto) %
	1990 - 2000		2008 - 2014		2016 - 2018				
	P %	G %	P %	G %	P %	G %			
Área sin cobertura veg	0	0,24	0	0,23	0,01	0,02	0,01	0,49	0,48
Bosque nativo	0,08	0,01	0	0	0,004	0	0,08	0,01	-0,07
Cuerpo de agua natural	0	0	0,10	0	0	0	0,10	0,00	-0,10
Cultivo anual	0	0	0	2,13	0	0	0,00	2,13	2,13
Páramo	2,11	0,2	1,99	0,08	0,01	0,01	4,11	0,29	-3,82
Pastizal	0	0	0	32,31	0	0	0,00	32,31	32,31
Plantación forestal	0,4	2,44	3,21	0,01	0	0	3,61	2,45	-1,16
Mosaico agropecuario	2,75	2,39	31,85	1,32	0	0	34,60	3,71	-30,89
Tierra agropecuaria	0	0	0	0	0,04	0,07	0,04	0,07	0,03
Vegetación arb y herb	0,05	0,1	0,83	1,90	0,05	0,02	0,93	2,02	1,09
	5,38	5,38	37,98	37,98	0,11	0,11	43,47	43,47	
			86,95				86,95		

ELABORADO POR: Steeven Flores

Con lo cual, de manera general se determinó que, los usos y coberturas de suelo que experimentaron pérdidas fueron: Mosaico agropecuario (30,89%), uso que pasó a ser pastizal, plantación forestal, cultivo anual, vegetación arbustivo y herbáceo, y área sin cobertura; Páramo (3,82%), que pasó a ser mosaico agropecuario, tierra agropecuaria, pastizal, área sin cobertura vegetal y cultivo anual; Plantación forestal (1,16%), que pasó a ser pastizal, mosaico agropecuario y cultivo anual; Cuerpo de agua natural (0,1%), uso que se convirtió en pastizal, cultivo anual y mosaico agropecuario; y, Bosque nativo (0,07%), el cual pasó a ser mosaico agropecuario y vegetación arbustiva y herbácea.

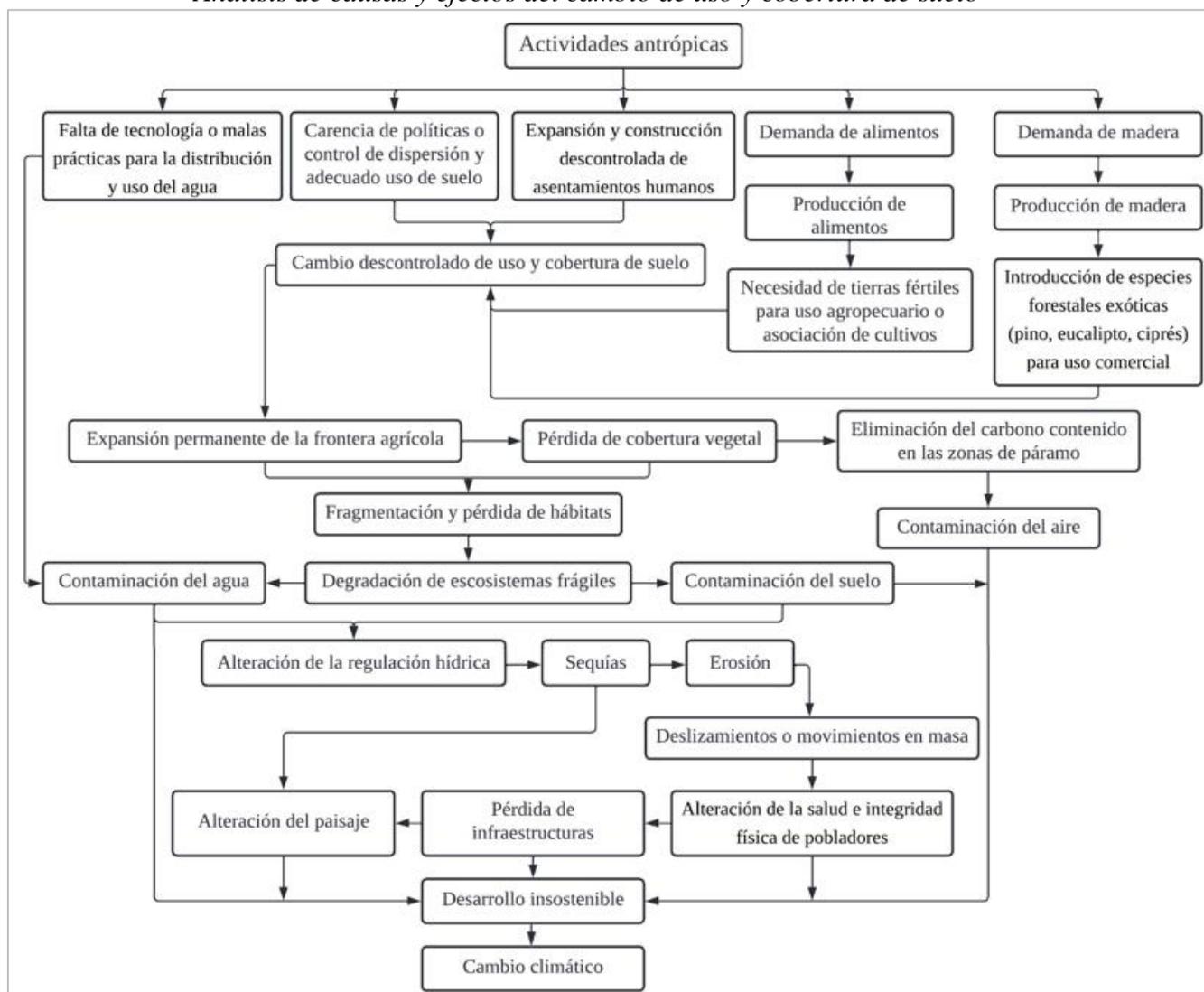
Mientras que los usos y coberturas de suelo que experimentaron ganancias fueron: Pastizal (32,31%), uso que ganó territorio sobre mosaico agropecuario, plantación forestal y vegetación arbustiva y herbácea; Cultivo anual (2,13%), uso que ganó territorio sobre mosaico agropecuario, plantación forestal, páramo y cuerpo de agua; Vegetación arbustiva y herbácea (1,09%), uso y cobertura de suelo que ganó territorio sobre mosaico agropecuario, plantación forestal, bosque nativo y tierra agropecuaria; Tierra agropecuaria (0,03%) que ganó territorio sobre el páramo, área sin cobertura vegetal y vegetación arbustiva y herbácea; y, Área sin cobertura vegetal (0,48%), uso de suelo que ganó territorio sobre sobre páramo, mosaico agropecuario, vegetación arbustiva y herbácea, y sobre tierra agropecuaria.

4.1.2. Efectos Causados por el Cambio en el Uso y Cobertura de Suelo

Los resultados del análisis del cambio de uso y cobertura de suelo de la parroquia Tixán en los diferentes periodos, evidenciaron la existencia de ganancias y pérdidas para diferentes usos y coberturas de suelo.

Sin embargo, para determinar los espacios de riesgo fue imprescindible analizar las causas y efectos del cambio de uso y cobertura de suelo de una manera integral, para lo cual se utilizó información de los Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Alausí y de la parroquia Tixán. Dicho análisis se expone en la siguiente figura:

Figura 12
Análisis de causas y efectos del cambio de uso y cobertura de suelo



FUENTE: PDOT de la parroquia Tixán 2019-2023, PDOT del cantón Alausí 2017-2021
 ELABORADO POR: Steven Flores

De acuerdo con la información obtenida en el análisis precedente, y de una manera jerárquica, los efectos del cambio de uso y cobertura de suelo de la parroquia Tixán son los siguientes: expansión permanente de la frontera agrícola, pérdida de la cobertura vegetal, fragmentación y pérdida de hábitats que mantienen la estructura del suelo, degradación de ecosistemas frágiles, alteración de la calidad del suelo y agua, eliminación del carbono contenido en las zonas de páramo, alteración de la calidad del aire, alteración de la regulación hídrica, sequías, erosión, deslizamientos o movimientos en masa, alteración de la salud e integridad física de los pobladores, pérdida de infraestructuras, alteración del paisaje, desarrollo insostenible y cambio climático.

4.1.3. Descripción Analítica de los Espacios de Riesgo

De acuerdo con la información obtenida de la dinámica de cambio de uso y cobertura de suelo de la parroquia Tixán en los diferentes periodos, se tuvo que los usos de suelo que presentaron mayores modificaciones espaciales fueron:

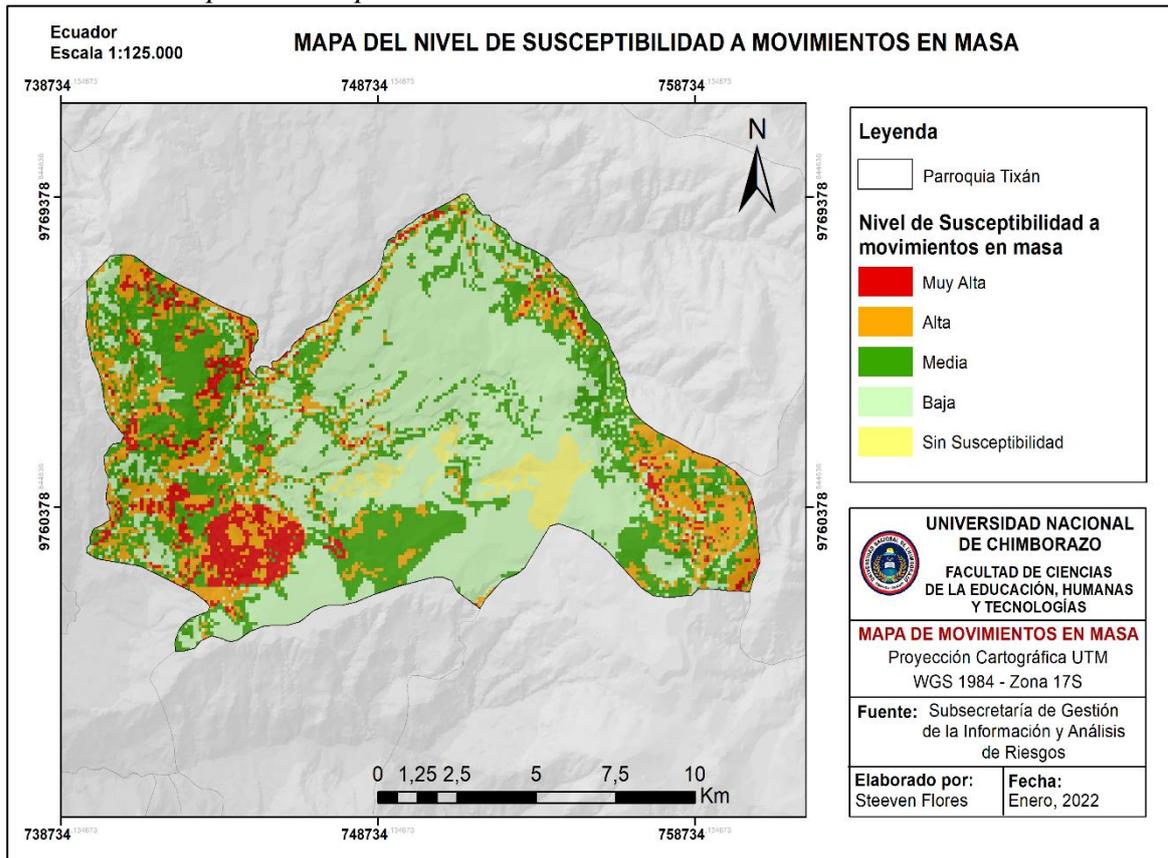
- Mosaico agropecuario: uso de suelo que presentó constantes pérdidas y ganancias en los diferentes periodos, pues existen continuos intercambios de uso de suelo con otros usos, entre ellos, pastizal, plantación forestal, cultivo anual, vegetación arbustivo y herbáceo, y área sin cobertura vegetal; usos de suelo que con el paso del tiempo retornaron a mosaico agropecuario, es decir, existió una dinámica constante de intercambio;
- Páramo: uso de suelo que presentó una marcada tendencia a perder su superficie, ocupada por varios usos de suelo, entre estos, mosaico agropecuario, tierra agropecuaria, pastizal, área sin cobertura vegetal y cultivo anual;
- Bosque nativo: uso de suelo que presentó una marcada tendencia a perder su superficie, convirtiéndose en mosaico agropecuario y vegetación arbustiva y herbácea; y,
- Cuerpo de agua natural: uso de suelo que evidencia los impactos negativos de los cambios de uso de suelo descontrolados, pues este uso de suelo, después de convertirse en pastizal, cultivo anual y mosaico agropecuario, desapareció por completo.

De allí que, relacionando los efectos del cambio de uso y cobertura de suelo y tomando en cuenta el antecedente de la desaparición del Cuerpo de agua natural, se consideró al Páramo, Bosque nativo y Mosaico agropecuario como espacios de riesgo, susceptibles a la erosión, subsecuentes deslizamientos o movimientos en masa, y finalmente la desaparición de los usos de suelo determinados como espacios de riesgo, pues al encontrarse degradados pasaron a ser suelos erosionados. Ahora bien, es preciso definir y delimitar los espacios de riesgo o vulnerables de la parroquia Tixán.

Por consiguiente, con base en los deslizamientos o movimientos en masa, riesgo directamente relacionado con el proceso de erosión; y, con base en la información cartográfica facilitada por la Subsecretaría de Gestión de la Información y Análisis de Riesgos; se elaboró el siguiente mapa de susceptibilidad a deslizamientos o movimientos en masa de la parroquia Tixán:

Figura 13

Mapa de susceptibilidad a deslizamientos o movimientos en masa



ELABORADO POR: Steeven Flores

De esta manera, se determinó que el 45,24% de la superficie total de la parroquia Tixán presenta una susceptibilidad Baja a deslizamientos o movimientos en masa; 28,20% presenta una susceptibilidad Media; 16,50% posee una susceptibilidad Alta; 6,44% presenta una susceptibilidad Muy Alta; y, el 3,61% de la superficie total de la parroquia Tixán no presenta susceptibilidad a deslizamientos o movimientos en masa.

Ahora bien, pese a que la mayoría de la superficie presenta una susceptibilidad Baja, es relevante definir que las superficies que le siguen poseen una susceptibilidad Media, Alta y Muy Alta, mismas que coinciden con los espacios donde se han producido cambios en los usos y cobertura de suelo, principalmente en Mosaico agropecuario, Páramo, Cuerpo natural de agua y Bosque nativo. Concluyendo así que, dichos usos de suelo, a excepción del Cuerpo natural de agua pues dicho uso de suelo desapareció; son espacios de riesgo de erosión con el consecuente riesgo de deslizamientos o movimientos en masa.

4.1.4. Caracterización de los Espacios de Riesgo

De acuerdo con la dinámica del cambio de uso y cobertura de suelo y sus efectos, se consideró que los espacios de riesgo de la parroquia Tixán corresponden al Páramo, Bosque nativo y Mosaico agropecuario, mismos que poseen las siguientes características:

- **Páramo:** de acuerdo con el Sistema de Información Nacional Agropecuario (SINAGAP) y el Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos (CLIRSEN) (2012); en las leyendas de la información cartográfica de la Cobertura y Uso de la Tierra, disponible en el Mapa Interactivo Ambiental del MAATE; definieron al Páramo como “Vegetación tropical altoandino caracterizado por especies dominantes no arbóreas que incluyen fragmentos de bosque nativo propios de la zona”. Por otro lado, Calderón et al., (2013) y Farley et al., (2011) leídos en una publicación de Pinos, Morales, & Durán (2021), argumentan que los páramos poseen una gran biodiversidad y brindan varios servicios ecosistémicos; por ejemplo, la regulación hídrica, captura de carbono, protección del suelo, conservación de la biodiversidad, entre otros. (p.158)
- **Bosque nativo:** de acuerdo con el Ministerio del Ambiente de Ecuador (MAE) (2016); en las leyendas de la información cartográfica de la Cobertura y Uso de la Tierra, disponible en el Mapa Interactivo Ambiental del MAATE; definió al Bosque nativo como un Ecosistema arbóreo, primario o secundario, regenerado por sucesión natural; se caracteriza por la presencia de árboles de diferentes especies nativas, edades y portes variados, con uno o más estratos. Este tipo de ecosistema tiene especial importancia por su fundamental aporte en la provisión de servicios ecosistémicos, entre ellos, la regulación hídrica y abastecimiento de agua; protección de suelos y almacenamiento de dióxido de Carbono (CO₂); producción de oxígeno, mantenimiento de la biodiversidad y recursos genéticos; y, aspectos escénicos y paisajísticos. (MAE & FAO, 2015)
- **Mosaico agropecuario:** uso y cobertura de suelo que según el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP) y el Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE) (2012); en las leyendas de la información cartográfica de la Cobertura y Uso de la Tierra, disponible en el Mapa Interactivo Ambiental del MAATE; corresponde a agrupaciones de especies cultivadas que se encuentran mezcladas entre sí y que no pueden ser individualizadas; y excepcionalmente pueden estar asociadas con vegetación natural.

En otras palabras, el uso de suelo Mosaico agropecuario corresponde a un sistema de uso de suelo mixto donde predominan los cultivos y que, debido a su tamaño y forma, resulta difícil separarlos para un adecuado mapeo.

De allí que, los usos de suelo identificados como espacios de riesgo requieren medidas de control y prevención para el riesgo de erosión y deslizamientos o movimientos en masa, prestando mayor interés en el cuidado y conservación del Páramo y Bosque nativo debido a su relevante provisión de varios servicios ecosistémicos para la parroquia Tixán, consecuentemente para la provincia, nación y para el planeta.

4.2. Discusión

De acuerdo con Stefanov et al., (2001) leídos en una publicación de López & Plata (2009), es relevante conocer “la distribución espacial y temporal de las diferentes coberturas de suelo con el fin de evaluar las condiciones ambientales en las que se presentan los cambios y reconocer sobre qué coberturas de suelo se está ejerciendo la mayor presión”. (p.86)

En tal sentido, el objetivo principal del presente estudio fue realizar una caracterización de los espacios de riesgo causados por los cambios en el uso y cobertura de suelo en la parroquia Tixán, para lo cual se utilizó el software ArcGIS y hojas de cálculo de Excel, herramientas que permitieron el tratamiento de los datos y a través de la generación de la tabulación cruzada, el análisis e interpretación de la información, obteniendo con ello las pérdidas de determinadas categorías, ganancias, intercambios, persistencia, el cambio total, cambio neto y las diferentes transiciones que se han producido a lo largo del tiempo, específicamente entre tres periodos: 1990-2000; 2008-2014; y, 2016-2018.

Ante esta premisa, es preciso aclarar que a pesar de haber obtenido los valores de la variación superficial (%) para cada periodo (Tablas 3, 5 y 7) o cambio neto, lo cual brinda una aproximación a la identificación de los cambios producidos, no es suficiente para obtener la dinámica territorial, pues no detalla el intercambio producido entre usos y coberturas de suelo, ni tampoco el cambio total que se produjo. En otras palabras, se puede determinar cuánta superficie cambió con respecto al año 0 analizado y en qué sentido, pero no se puede establecer si ese uso y cobertura de suelo presentó modificaciones espaciales al interrelacionarse con otros, ni los valores de dicha transición. Por tal motivo, fue

imprescindible realizar la tabulación cruzada y con ello obtener la ganancia, pérdida e intercambio para cada categoría en los diferentes periodos (Tablas 4, 6 y 8).

Ahora bien, con el fin de brindar una mayor comprensión de lo indicado anteriormente, se ilustran varios ejemplos: En el periodo 1990-2000 (Tabla 4) se observa que el cambio total (real) es mayor al cambio neto total ($5,38 > 2,28$), esto debido a que el cambio total es la suma de pérdidas y ganancias, mientras que con el cambio neto no es posible conocer las transiciones espaciales, y su cálculo proviene de la diferencia de superficies entre 1990 y 2000. En el periodo 2008-2014 (Tabla 6) para la categoría de Área sin cobertura vegetal se observa que el cambio total es igual al cambio neto ($0,23 = 0,23$), esto debido a que, al no presentar pérdidas y solo ganancias, esta categoría no tuvo intercambio, por lo cual, los cambios neto y total son iguales.

Ahora bien, en el análisis de cambio de uso y cobertura de suelo del primer periodo 1990-2000 (Tabla 4), se evidenció que la categoría más afectada fue el Páramo, pues este perdió 2,11% de su superficie, convirtiéndose en Mosaico agropecuario con un 1,87%, esto debido a la expansión de la frontera agrícola; el otro 0,24% pasó a ser un Área sin cobertura vegetal, lo cual guarda relación con la expansión anteriormente mencionada, pues se suele quemar el pajonal con el fin de facilitar el manejo del suelo para el cultivo, y con ello adentrarse e intervenir este valioso ecosistema. Otra categoría con un cambio notorio fue el Mosaico agropecuario, pues para el año 2000 tuvo una pérdida de 2,75%, y fue modificada por Plantación forestal con el 2,44%, esto debido al incremento en la demanda de madera.

En el análisis de cambio de uso y cobertura de suelo del segundo periodo 2008-2014 (Tabla 6), se evidenció que la categoría más afectada fue el Mosaico agropecuario con una pérdida total de 31,85%, donde el 28,04% se convirtió en pastizal; el 1,66% en vegetación arbustiva y herbácea, debido al incremento de la demanda de alimentos, con ello el aumento en la producción de carne, y a su vez, la demanda de alimentos para el ganado; el 1,90% en cultivo anual y el 0,23% en área sin cobertura vegetal, lo cual evidencia el constante cambio que ha sufrido el suelo de Mosaico agropecuario. Por otro lado, en este periodo se ha empezado a materializar el impacto del cambio de uso de suelo descontrolado, pues el Cuerpo de agua natural se ha visto alterado en la reducción de su superficie con un 0,10%, que pasó a ser Pastizal (0,06%), Cultivo anual (0,02%) y mosaico agropecuario (0,01%). Vale recalcar también que se evidencia una reducción y pérdidas en el Páramo, el cual, a

más de transformarse en cultivos anuales, se ha convertido en Mosaico agropecuario, lo cual tiene relación directa con la expansión de la frontera agrícola y actividades agropecuarias.

Por último, en el tercer periodo 2016-2018 (Tabla 8), pese a no existir anteriores usos de suelo como Cultivo anual, Plantación forestal y Pastizal, se evidencia una marcada tendencia en la transformación del Páramo en Tierra agropecuaria con un 0.01%, el cual, pese a no ser muy significativo, marca la tendencia de la invasión y pérdida del Páramo. Se presume que el valor no significativo del cambio se debe al corto periodo de dos años analizado en este periodo. Otro particular observado fue que el incipiente impacto ambiental demostrado en el periodo anterior sobre el Cuerpo de agua natural se ha cristalizado totalmente para estos años, pues dicho recurso ha desaparecido por completo.

Esta información coincide con la información presentada en el PDOT de Tixán 2019 - 2023, en cuanto al uso y cobertura de suelos, donde se manifiesta que:

En la última década se ha cambiado las actividades agrícolas por las actividades agropecuarias con un aumento considerable de las actividades pecuarias y pastizales, fuente de mayor ingreso económico para las familias campesinas de la parroquia, lo que evidencia mayor producción agropecuaria mixta o asociación de cultivos lo que incluye una mezcla dentro de la chacra de pastizales con cultivos. (p.31)

Indicando además que, entre los recursos naturales bajo presión o degradados, se encuentra: En el recurso flora: el páramo debido al sobre pastoreo en áreas altas, avance de la frontera agrícola e introducción de *Pinus Radiata*; el Bosque, debido a las malas prácticas en talas de árboles, avance de la frontera agrícola, introducción de especies forestales exóticas (pino, eucalipto, ciprés); y, arbustal por el avance de la frontera agrícola y la expansión de la zona urbana. En el recurso agua: las vertientes por la degradación de páramos y bosques y la reducción de zonas de recarga hídrica; y ríos y lagunas debido a la contaminación por malas prácticas agropecuarias. Y, en el recurso suelo: el uso agrícola por la contaminación por uso excesivo de plaguicidas y cambio climático. (PDOT de Tixán 2019 – 2023)

En cuanto a las áreas pobladas, no existe información al respecto en los usos de suelo analizados en el presente estudio, sin embargo, es indiscutible la existencia de las actividades antrópicas en el área de interés y no se puede dejar de lado la relación directa de dichas actividades sobre los distintos usos de suelo, pues al poseer una relación directamente

proporcional entre el incremento de la población y la demanda de esta, se le considera como causa principal y directa del cambio del uso y cobertura del suelo.

A este respecto, el análisis de las causas y efectos de los cambios de uso y cobertura de suelo reveló que las actividades antrópicas se traducen en la causa principal de la repercusión en el ambiente, debido a su constante crecimiento y demanda, lo que genera una presión dirigida principalmente hacia los recursos naturales agua y suelo, pues se ha abusado de su uso y no se han tomado las medidas necesarias para mantener su resiliencia, o para su cuidado y preservación, acarreando con ello un deterioro ecosistémico, impactos que desencadenarán consecuencias de mayor índole y no únicamente a nivel cantonal, pues después de la degradación de ecosistemas frágiles, alteración de la calidad del suelo, agua y aire, y regulación hídrica, se producirán sequías, erosión del suelo y deslizamientos, alteración de la salud e integridad física de los pobladores, pérdida de infraestructuras y alteración del paisaje, efectos que se traducen en un desarrollo insostenible y que contribuyen al cambio climático.

En este sentido, y considerando la dinámica de los cambios de uso y cobertura de suelo, se determinó que los usos de suelo con cambios trascendentales en su estructura y composición fueron: Mosaico agropecuario debido a los intercambios constantes que sufrió este uso de suelo; y, el Páramo y Bosque nativo debido a las tendientes pérdidas que estos usos presentaron. Ahora bien, relacionando dicha dinámica y los efectos perjudiciales como la erosión y los deslizamientos o movimientos en masa, se consideró que los espacios de riesgo de la parroquia Tixán corresponden a Mosaico agropecuario, Páramo y Bosque nativo, donde estos últimos requieren mayor interés debido a los servicios ecosistémicos que brindan, destacando la captura de carbono en el suelo, regulación hídrica, conservación de la biodiversidad, y en general, la mitigación de efectos que contribuyen al cambio climático.

Finalmente, en este orden de ideas y al igual que la investigación de Hernández & Rojas (2013), el presente estudio enfatiza en la planeación y la ordenación del territorio, pues al “ser procesos de tipo técnico, administrativo y participativo” (257), deben reflejar una dinámica territorial en términos económicos, sociales y ambientales, es decir, procurar el desarrollo sostenible de la sociedad.

CONCLUSIONES

La metodología empleada en el presente estudio permitió determinar el cambio de uso de suelo experimentado en la parroquia Tixán, cantón Alausí, provincia de Chimborazo, en tres periodos: en el análisis del primer periodo 1990-2000 se evidenció un cambio total del 5,38%, predominando el cambio de uso de suelo de Mosaico agropecuario a Plantación forestal, de Páramo y de Bosque nativo a Mosaico agropecuario; en el segundo periodo 2008-2014 existió un cambio total del 37,98%, prevaleciendo el cambio de uso de suelo de Mosaico agropecuario a Pastizal, de Páramo a Mosaico agropecuario, y de Cuerpo de agua natural a Mosaico agropecuario, Cultivo anual y Pastizal; y, en el tercer y último periodo 2016-2018, se determinó un cambio total del 0,11%, destacando la tendencia de invasión al uso de suelo de Páramo y la desaparición del Cuerpo de agua natural.

El análisis del cambio de uso de suelo en la parroquia Tixán permitió determinar que los principales cambios efectuados en dicha parroquia se deben a sistemas de producción, dirigiendo con ello a las actividades antrópicas como la causa principal de dichos cambios, teniendo como efectos la pérdida de cobertura vegetal, degradación de ecosistemas frágiles, alteración de la regulación hídrica, pérdida de la biodiversidad, erosión, deslizamientos o movimientos en masa.

Considerando los riesgos de erosión y deslizamientos o movimientos en masa, la desaparición del Cuerpo de agua natural debido a un uso desmedido, la marcada tendencia en la invasión del Páramo debido al incremento de cultivos y expansión de la frontera agrícola, la pérdida de Bosque nativo, y el intercambio constante del uso de suelo de Mosaico agropecuario, lo cual altera la calidad del suelo; se determinó que los espacios de riesgo de la parroquia Tixán corresponden a Páramo, Bosque nativo y Mosaico agropecuario.

Los espacios de riesgo generados por el cambio en el uso y cobertura de suelo de la parroquia Tixán, y determinados en el presente trabajo como el uso de suelo de Páramo y Bosque nativo; son espacios de riesgo que merecen vital atención e interés, pues resultan importantes formaciones ecológicas que brindan valiosos servicios ecosistémicos, entre ellos, la regulación hídrica, mitigación del cambio climático, aspectos relacionados a la biodiversidad, óptimo hábitat para la fauna y flora únicos del sector, belleza escénica, entre otros, que conectan su conservación con el desarrollo sostenible de la sociedad.

RECOMENDACIONES

La combinación de los SIG y análisis estadístico demostró ser muy útil para este tipo de estudios, ratificando con ello la importancia de los SIG en las Ciencias Sociales, pues permitió cuantificar los cambios y observar su dinámica en diferentes categorías: persistencia, pérdidas, ganancias, cambio neto y total, y el intercambio en los diferentes usos de suelo. Sin embargo, para estudios futuros similares al presente, se recomienda el uso de técnicas de teledetección y el análisis de la información de la tabulación cruzada de los procesos de transición sistemáticos a partir de imágenes satelitales y con ello poseer una prueba más fehaciente en cuanto a la realidad del área de estudio.

Para estudios futuros se recomienda determinar factores explicativos más detallados que influyan en el cambio de uso y cobertura de suelo, y con ello determinar los espacios de riesgo del área de estudio, mismos que deberán ser corroborados en campo a través de análisis de suelo, agua y/o aire, según corresponda.

La definición acertada de los espacios de riesgos, permitirá generar información relevante y útil para la planeación y ordenamiento territorial, generar modelos, ordenanzas y normativas que permitan la articulación del desarrollo económico, la conservación, adecuado manejo y gestión de los recursos naturales, la prevención, reducción de riesgos y alertas de respuesta, y de manera general, permitirá una planificación orientada a la generación de soluciones eficientes que contribuyan al desarrollo local, regional y promuevan un desarrollo sostenible para la sociedad.

Al demostrar en el presente estudio la repercusión de las actividades antropogénicas sobre los cambios de uso y cobertura de suelo, el presente documento constituye, aunque incipiente, una valiosa herramienta y un referente para trabajos futuros en cuanto al análisis del adecuado uso de suelo, diseño del crecimiento ordenado y la toma de acertadas decisiones de los entes responsables de la planificación territorial y gestión de riesgos, en particular, para la planificación del Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) parroquial de Tixán.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bocco, G., Mendoza, M., & Masera, O. (2001). La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán: Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. *Investigaciones geográficas*, 18-36. Recuperado el 10 de noviembre de 2020, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112001000100003&lng=es&tlng=es
- Burbano, H. (2016). El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 33(2), 117-124. doi:<http://dx.doi.org/10.22267/rcia.163302.58>.
- Camacho, R., Camacho, J., Balderas, M., & Sánchez, M. (septiembre de 2017). Cambios de cobertura y uso de suelo: estudio de caso en Progreso Hidalgo, Estado de México. *Madera bosques*, 23(3), 39-60. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.21829/myb.2017.2331516>
- Centro Nacional de Prevención de Desastres. (2020). *Gobierno de México*. Obtenido de <https://www.gob.mx/cenapred/es/articulos/la-relacion-entre-el-cambio-de-uso-del-suelo-y-las-inundaciones>
- Cotler, H., Sotelo, E., Dominguez, J., Zorrilla, M., Cortina, S., & Quiñones, L. (2007). La conservación de suelos: un asunto de interés público. *Gaceta Ecológica*(83), 5-71. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53908302>
- FAO. (2015). Carta Mundial de los Suelos revisada. <https://www.fao.org/publications/card/es/c/I4965S/>. Obtenido de <https://www.fao.org/publications/card/es/c/I4965S/>
- FAO. (2021). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Obtenido de Portal de Suelos de la FAO: <https://www.fao.org/soils-portal/about/definiciones/es/>
- GAD de la parroquia Tixán. (2019). *Gobierno parroquial rural de Tixán*. Obtenido de <https://tixan.gob.ec/home/ubicacion-geografica/>

- GAD de la parroquia Tixán. (2019). *Gobierno parroquial rural de Tixán*. Obtenido de <https://tixan.gob.ec/home/historia/>
- GAD de la parroquia Tixán. (2019). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia Tixán 2019 - 2023*.
- Gaiimo Chávez, S. (1996). *El Ordenamiento Territorial y Los Usos del Suelo Urbano como Instrumento de la Gestión Ambiental*. CEPAL, Santiago de Chile. Obtenido de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/34770/S9600630_es.pdf
- Gobierno de México. (2015). SEMARNAT. Obtenido de http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_GLOS_RFORESTA&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce
- Hernández, A., & Rojas, R. (2013). Cambios en el uso del suelo asociados a la expansión urbana y la planeación en el corregimiento de Pasquilla, zona rural de Bogotá (Colombia). *Cuadernos de geografía: Revista colombiana de geografía*, 22(2), 257-271. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/rcdg/v22n2/v22n2a14.pdf>
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. (2015). La importancia del suelo. *RIA. Revista de Investigaciones*, 41(2). Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86441580001>
- López, V., & Plata, W. (2009). Análisis de los cambios de cobertura de suelo derivados de la expansión urbana de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, 1990-2000. *Investigaciones geográficas*(68), 85-101. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112009000100007&lng=es&tlng=es
- López, V., Balderas, M., Chávez, M., Juan, J., & Gutiérrez, J. (2015). Cambio de uso de suelo e implicaciones socioeconómicas en un área mazahua del altiplano mexicano. *CIENCIA ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*, 22(2), 136-144. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=104/10439327004>
- Lu, D., Brondízio, E., Moran, E., & Mausel, P. (2004). Change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*, 25(12), 2365-2407.

- MAE (Ministerio de Ambiente del Ecuador), & FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, IT) (2015). *Especies forestales leñosas arbóreas y arbustivas de los bosques montanos del Ecuador*. . Quito. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmninnibpcapjcgclclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fbiblio.flacsoandes.edu.ec%2Flibros%2Fdigital%2F55826.pdf
- Merlotto, A., Piccolo, M., & Bértola, G. (2012). Crecimiento urbano y cambios del uso/cobertura del suelo en las ciudades de Necochea y Quequén, Buenos Aires, Argentina. *Revista de Geografía Norte Grande*(53), 159-176. Obtenido de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rgeong/n53/art10.pdf>
- Naciones Unidas. (2014). *La situación demográfica en el mundo, 2014*. Nueva York. Obtenido de <https://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/trends/Concise%20Report%20on%20the%20World%20Population%20Situation%202014/es.pdf>
- Osuna, A., Díaz, J., Sánchez, J., Villegas, E., Gallardo, J., & Davila, G. (2015). Evaluación de cambio de cobertura vegetal y uso de suelo en la cuenca del río Tecolutla, Veracruz, México; periodo 1994-2010. *Ambiente & Agua*, 10(2). doi:<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1539>
- Pineda, N., Bosque, J., Gómez, M., & Plata, W. (2009). Análisis de cambio del uso del suelo en el Estado de México mediante sistemas de información geográfica y técnicas de regresión multivariantes: Una aproximación a los procesos de deforestación. *Investigaciones geográficas*(69), 33-52. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112009000200004&lng=es&tlng=es.
- Pineda, O. (2011). *Análisis de cambio de uso de suelo mediante percepción remota en el Municipio de Valle Santiago*. México, D.F. Obtenido de <https://centrogeo.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1012/41/1/21-2011-Tesis-Pineda%20Pastrana%2C%20Oliva-Maestra%20en%20Geom%C3%A1tica.pdf>

- Pinos, D., Morales, O., & Durán, M. (2021). Suelos de páramo: Análisis de percepciones de los servicios ecosistémicos y valoración económica del contenido de carbono en la sierra sureste del Ecuador. *Revista De Ciencias Ambientales*, 55(2), 157-179. doi:<https://doi.org/10.15359/rca.55-2.8>
- Radicelli, C., Pomboza, M., Villacrés, P., & Boderó, E. (2019). SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y SU APLICACIÓN EN LAS CIENCIAS SOCIALES: UNA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA. *Chakiñan, Revista De Ciencias Sociales Y Humanidades*(8), 93-104. doi:<https://doi.org/10.37135/chk.002.08.02>
- RAE. (2020). *Real Academia Española*. Obtenido de <https://dle.rae.es/suelo>
- Romero, H., Molina, M., Moscoso, C., Sarricolea, P., & Smith, P. (2007). Caracterización de los cambios de usos y coberturas de suelos causados por la expansión urbana de Santiago, análisis estadístico de sus factores explicativos e inferencias ambientales. En *Movilidad Espacial y Reconfiguración Metropolitana* (págs. 251-270). Santiago de Chile: Geolibros PUC. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/40883144>
- Romero, P. (2013). *Estudio de Impacto Ambiental Ex-Post de la empresa ANDREWS*. Pelileo.
- Sahagún, F., & Reyes, H. (2018). Impactos por cambio de uso de suelo en las áreas naturales protegidas de la región central de la Sierra Madre Oriental, México. *CienciaUAT*, 12(2), 6-21. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-78582018000100006&lng=es.
- Sepúlveda, A., Saavedra, P., & Esse, C. (2019). Análisis de cambio de cobertura y uso de suelo en una subcuenca preandina chilena. Herramienta para la sustentabilidad productiva de un territorio. *Revista de geografía Norte Grande*(72), 9-25. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022019000100009>
- Silva, A., & Rubio, M. (2014). Análisis de cambios de uso del suelo en la Delegación Municipal de Ingeniero White (Buenos Aires, Argentina): aplicación de

geotecnologías. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 23(1), 133-146. doi:<https://doi.org/10.15446/rcdg.v23n1.35580>

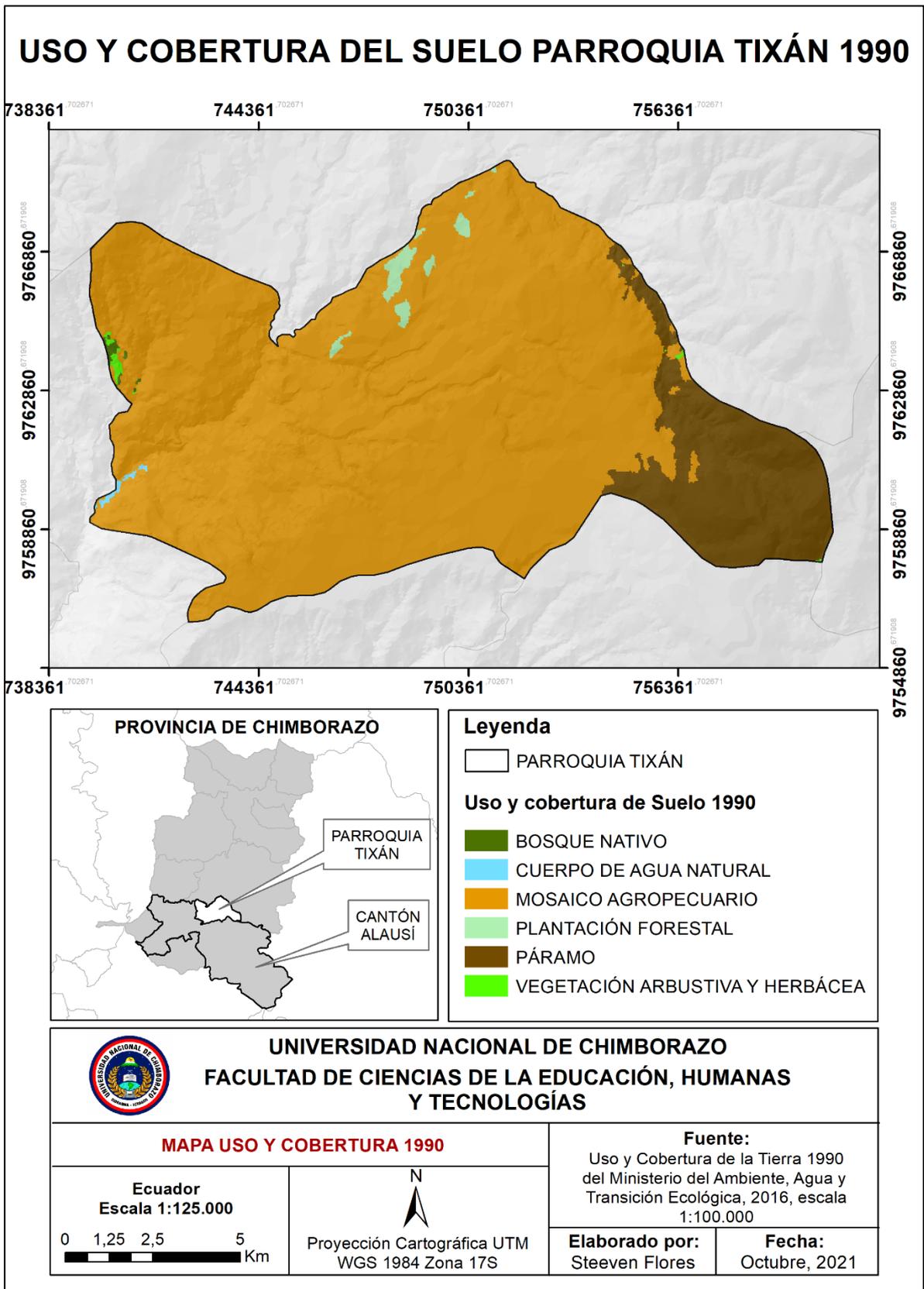
Sociedad Española de la Ciencia del Suelo. (2017). *LIBRO BLANCO: TRATAMIENTO DEL SUELO EN LOS LIBROS DE TEXTO DE ENSEÑANZA SECUNDARIA OBLIGATORIA Y DE BACHILLERATO EN ESPAÑA* (Segunda ed.). Obtenido de <https://www.secs.com.es/wp-content/uploads/2017/06/Libro-de-los-suelos-digital-2-Edici%C3%B3n.pdf>

Sosa, P., & Martínez, F. (2009). Los sistemas de información geográfica y su aplicación en enlaces de comunicaciones. *Científica*, 13(1), 27-34. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61412184005>

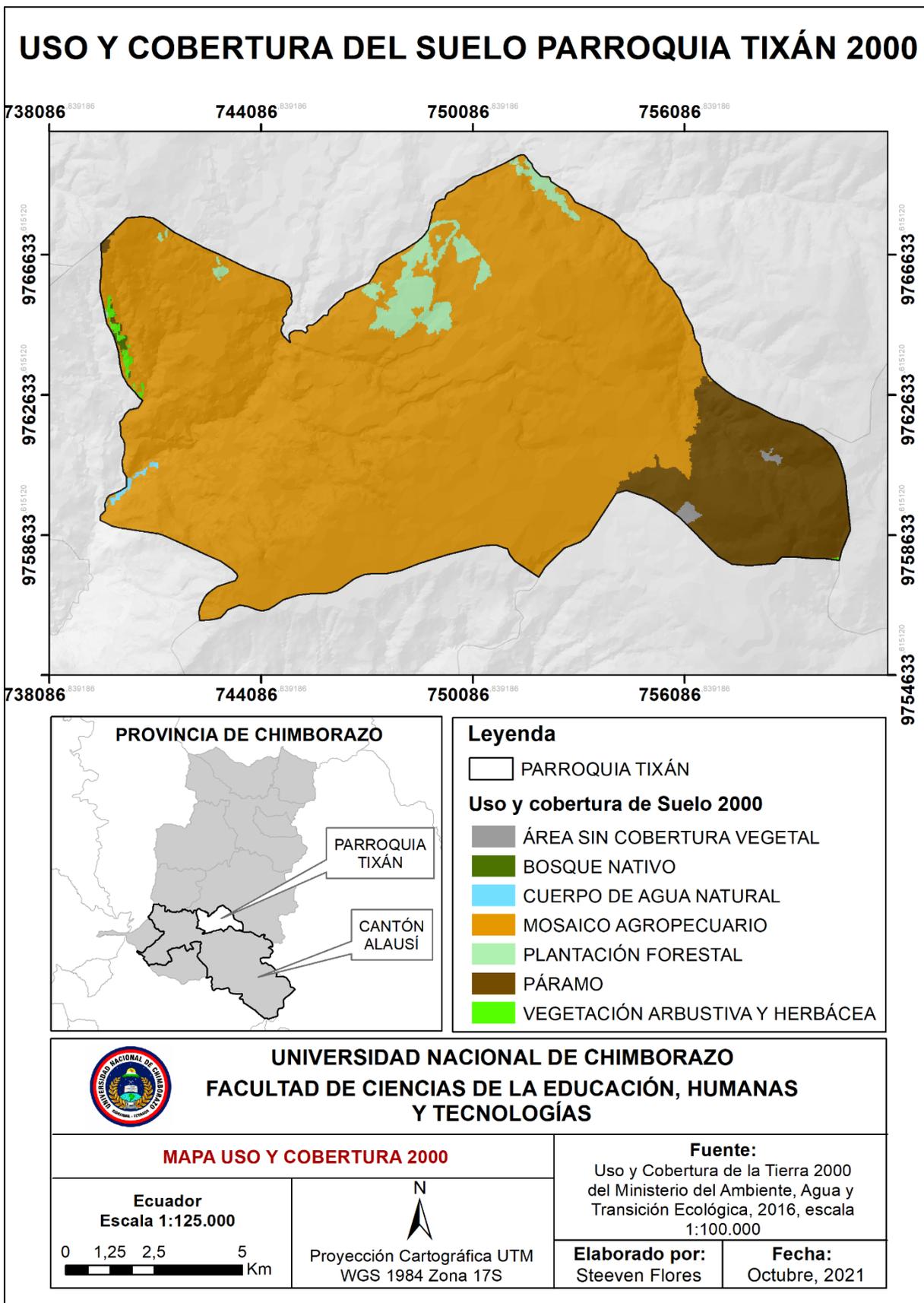
Velázquez, A., Gerardo, B., & Siebe, C. (2014). Cambio de uso del suelo. *Red Temática de CONACYT sobre Medio Ambiente y Sustentabilidad*, 1-4. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/263342417>

ANEXOS

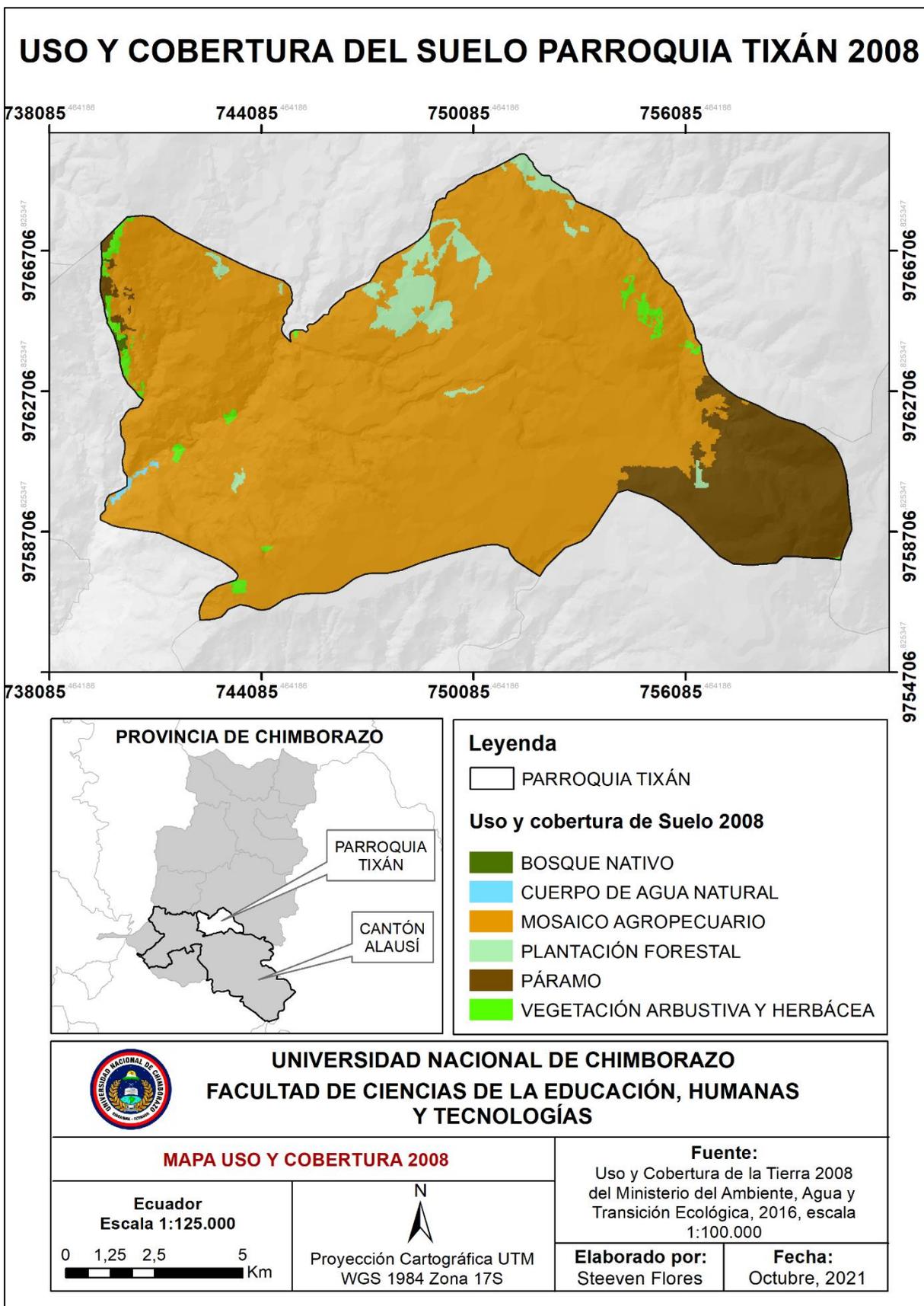
Anexo 1. Mapa de Uso y Cobertura de Suelo de Tixán 1990



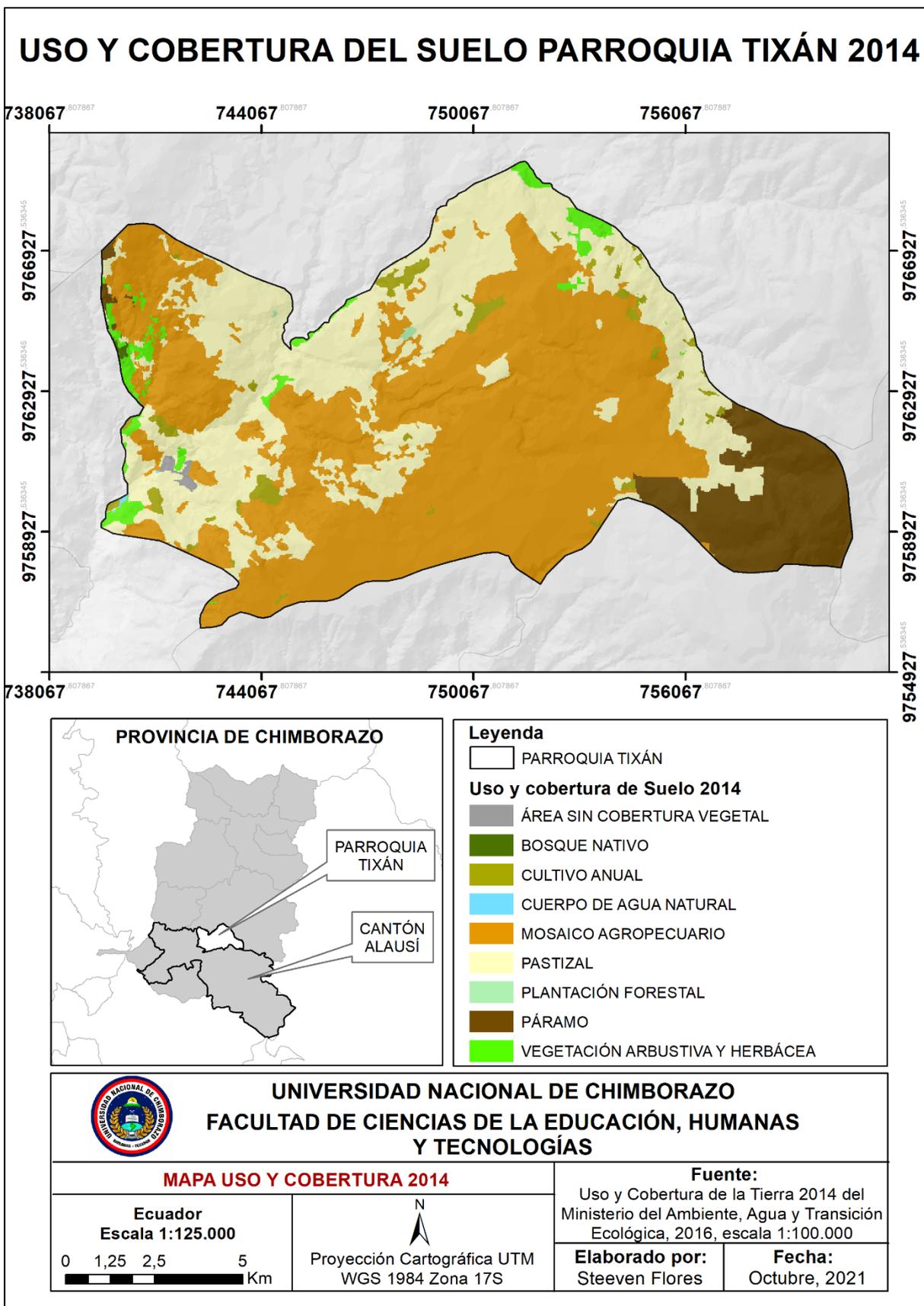
Anexo 2. Mapa de Uso y Cobertura de Suelo de Tixán 2000



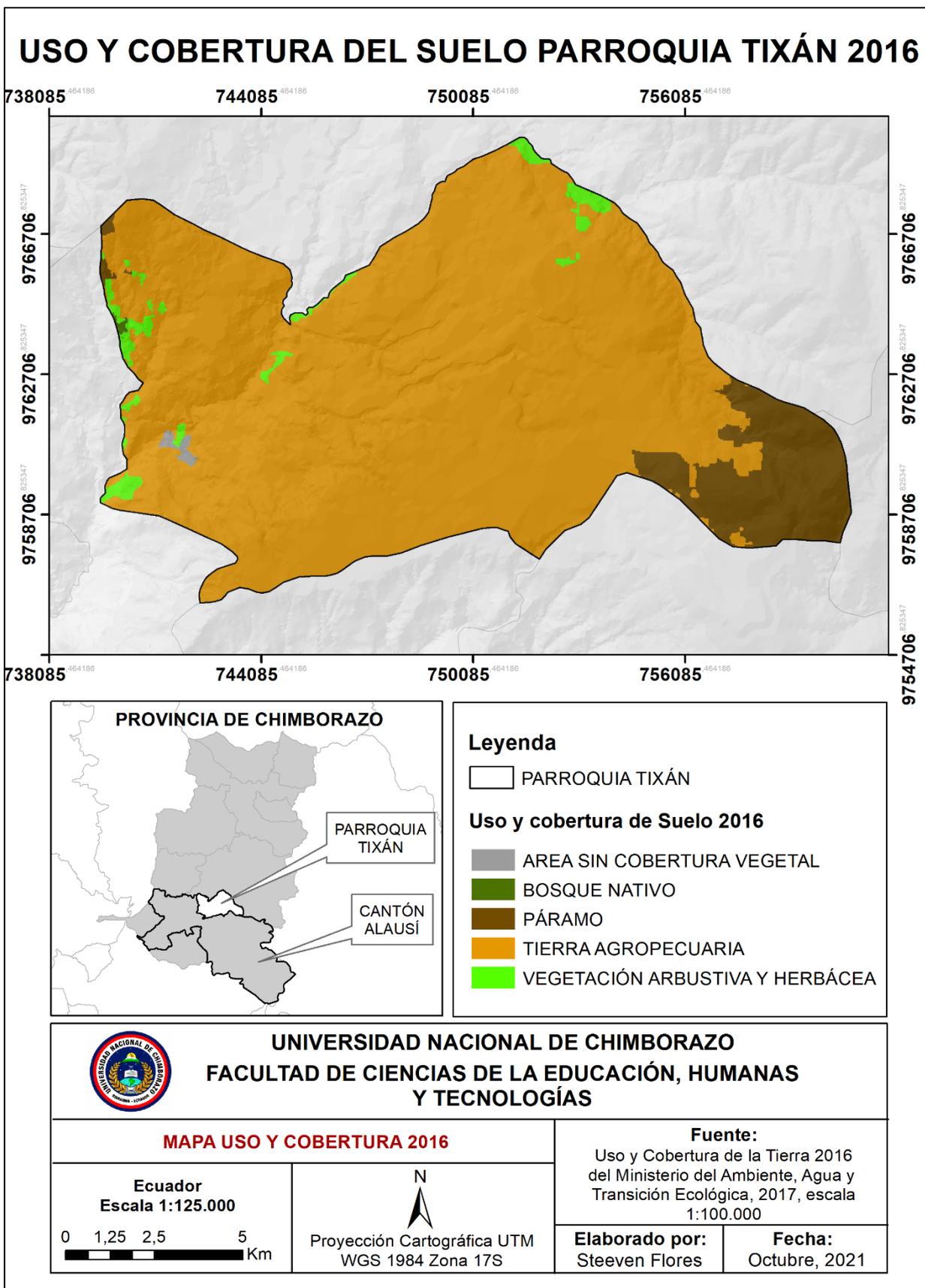
Anexo 3. Mapa de Uso y Cobertura de Suelo de Tixán 2008



Anexo 4. Mapa de Uso y Cobertura de Suelo de Tixán 2014



Anexo 5. Mapa de Uso y Cobertura de Suelo de Tixán 2016



Anexo 6. Mapa de Uso y Cobertura de Suelo de Tixán 2018

