



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS
NATURALES
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

“Análisis espacio-temporal del cambio del uso de suelo en la zona rural del sector Joseguango Alto en la parroquia Mulaló mediante la utilización de imágenes satelitales en el periodo 2016-2024.”

Proyecto de investigación presentado previo a la obtención del Título de
Ingeniero Ambiental

Autor:

Caisaguano Yugcha Erik Lenin

Tutor:

Velastegui Tapia Vincent Benjamín

LATACUNGA – ECUADOR

Marzo 2026

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Caisaguano Yugcha Erik Lenin, con cédula de ciudadanía No. 0550475230, declaro ser autor del presente Proyecto de Investigación: **“ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DEL CAMBIO DEL USO DE SUELO EN LA ZONA RURAL DEL SECTOR JOSEGUANGO ALTO EN LA PARROQUIA MULALÓ MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES EN EL PERIODO 2016-2024.”**, siendo el Ingeniero Vincent Benjamín Velastegui Tapia Mg., Tutor del presente trabajo; y, eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Latacunga, 5 de febrero del 2026

Erik Lenin Caisaguano Yugcha
C.C: 0550475230
ESTUDIANTE

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **CAISAGUANO YUGCHA ERIK LENIN**, identificado con cédula de ciudadanía **0550475230** de estado civil soltero, a quien en lo sucesivo se denominará **EL CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - **EL CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado “**ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DEL CAMBIO DEL USO DE SUELO EN LA ZONA RURAL DEL SECTOR JOSEGUANGO ALTO EN LA PARROQUIA MULALÓ MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES EN EL PERIODO 2016-2024.**”, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: Abril 2022 – Agosto 2022

Finalización de la carrera: Octubre 2025 – Marzo 2026

Tutor: Ing. Vincent Benjamín Velastegui Tapia. Mg.

Tema: “**ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DEL CAMBIO DEL USO DE SUELO EN LA ZONA RURAL DEL SECTOR JOSEGUANGO ALTO EN LA PARROQUIA MULALÓ MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES EN EL PERIODO 2016-2024.**”.

CLÁUSULA SEGUNDA. - **LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA. – Por el presente contrato, **EL CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA. - **OBJETO DEL CONTRATO:** Por el presente contrato **EL CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación del trabajo de grado.

c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.

d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.

e) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **EL CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **EL CEDENTE** podrá utilizarla.

CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - LA CESIONARIA podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **EL CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 5 días del mes de febrero del 2026.

Erik Lenin Caisaguano Yugcha

EL CEDENTE

Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.

LA CESIONARIA

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Proyecto de Investigación con el título:

“ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DEL CAMBIO DEL USO DE SUELO EN LA ZONA RURAL DEL SECTOR JOSEGUANGO ALTO EN LA PARROQUIA MULALÓ MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES EN EL PERIODO 2016-2024.”, de Caisaguano Yugcha Erik Lenin de la carrera de Ingeniería Ambiental, considero que el presente trabajo investigativo es merecedor del Aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa.

Latacunga, 5 de febrero del 2026

Ing. Vincent Benjamín Velastegui Tapia, Mg.
C.C: 0502547649
DOCENTE TUTOR

AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprobamos el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi; y, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, el postulante: **CAISAGUANO YUGCHA ERIK LENIN**, con el título de Proyecto de Investigación: **“ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DEL CAMBIO DE USO EN LA ZONA RURAL DEL SECTOR JOSEGUANGO ALTO EN LA PARROQUIA MULALÓ MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE IMÁGENES SALELITALES EN EL PERIODO 2016 – 2024”** ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.

Latacunga, 5 de febrero del 2026

Ing. Rivera Moreno Marco Antonio, Mg.
C.C: 0501518955
LECTOR 1 (PRESIDENTE)

Ing. Daza Guerra Oscar Rene, Mg.
C.C: 0400689790
LECTOR 2 (MIEMBRO)

Lic. Lema Pillalaza Jaime Rene, Mg.
C.C: 1713759932
LECTOR 3 (MIEMBRO)

AGRADECIMIENTO

Por primera instancia quiero agradecer a Dios por darme la vida y sabiduría para seguir adelante y quien me permitió compartir experiencias con mi familia.

Quiero dedicar un agradecimiento a mis padres, Víctor y Rosa, quienes fueron el motor principal para lograr mis metas y objetivos de mi vida. Por su amor incondicional y consejos que día a día me fortalecieron y me ayudaron a no rendirme.

Agradezco a mi pareja Jennyfer quien con amor y comprensión ha sido un lugar seguro en los momentos difíciles y desafiantes. Gracias por ser mi compañera de vida y por motivarme para siempre dar lo mejor de mí.

A mis hermanas, Pamela y Karen su apoyo incondicional y palabras de aliento han sido muy fundamental para mi vida. Gracias por nunca dejarme solo y apoyarme en todo momento, gracias por creer en mí.

Quiero expresar mi más sincera gratitud a los diferentes docentes que me acompañaron en el transcurso de mi carrera universitaria quienes compartieron experiencias y conocimiento que aportaron mucho en mi formación académica. Cada uno ha plasmado una huella en mi vida y siempre estaré agradecido.

Finalmente agradezco a mi familia, amigos y docentes que gracias a las diversas experiencias y vivencias culmina una etapa más de mi vida. Este logro no es solo mío, sino de todos ustedes. Gracias por ser parte de mi historia y por siempre ayudarme a concluir mis metas.

Erik Lenin Caisaguano Yugcha

DEDICATORIO

A mis padres Victor y Rosa por el apoyo incondicional por su tiempo y paciencia, por su amor inmenso. A mi madre por siempre creer en mí y darme palabras de aliento día a día.

A mis hermanas Pamela y Karen por el apoyo y compañía que siempre me han brindado, por sus palabras que me motivaban.

A mi Novia Jennyfer quien siempre estuvo presente en este proceso, apoyándome y brindándome su tiempo, por sus palabras de aliento y su amor incondicional, por motivarme en los momentos más abrumadores.

Les dedico este trabajo a ellos que nunca desconfiaron de mí, incluso cuando yo dudaba de mis capacidades. Gracias por brindarme su apoyo y estar presentes en mi vida.

Erik Lenin Caisaguano Yugcha

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

TÍTULO: “ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DEL CAMBIO DEL USO DEL SUELO EN LA ZONA RURAL DEL SECTOR JOSEGUANGO ALTO EN LA PARROQUIA MULALÓ MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES EN EL PERIODO 2016-2024”

Autor:

Caisaguano Yugcha Erik Lenin

RESUMEN

El presente estudio tuvo como propósito analizar la dinámica espacio-temporal del cambio de uso y cobertura del suelo en la zona rural del sector Joseguango Alto, parroquia Mulaló, durante el periodo 2016–2024, con el fin de identificar las transformaciones territoriales y los factores asociados a la intervención antrópica. La investigación se planteó como objetivos identificar las principales coberturas del suelo, cuantificar las superficies ganadas y perdidas por cada clase y evaluar el estado de la cobertura vegetal mediante el índice de vegetación de diferencia normalizado. Metodológicamente se empleó un enfoque cualitativo con apoyo de métodos inductivo-deductivo, descriptivo y cartográfico, utilizando técnicas de teledetección y Sistemas de Información Geográfica. Se procesaron imágenes satelitales Sentinel-2 mediante corrección atmosférica, clasificación supervisada con el algoritmo de máxima verosimilitud y análisis multitemporal basado en la metodología Corine Land Cover; adicionalmente se calculó el estado de la vegetación para determinar la condición de la vegetación. Los resultados evidencian una dinámica territorial diferenciada en el año 2024, donde las tierras agropecuarias registraron la mayor ganancia con 49.92 ha, seguidas por las tierras herbáceas con un incremento de 28.89 ha y las tierras arbustivas con una ganancia de 6.23 ha, lo que refleja procesos de expansión productiva y regeneración secundaria en ciertas áreas; asimismo, la zona antrópica presentó un aumento moderado de 1.05 ha, asociado a la dispersión de viviendas e infraestructura rural. En contraste, el suelo sin cobertura vegetal mostró una pérdida de 13.05 ha, lo que sugiere procesos de ocupación o recuperación vegetal parcial. En conjunto, las transformaciones observadas responden principalmente a la intensificación de actividades agropecuarias, la presión antrópica y variaciones en las prácticas de manejo del suelo, factores que han modificado la estructura del paisaje rural. El estudio aporta información geoespacial actualizada que fortalece la planificación territorial, la gestión ambiental y la toma de decisiones locales orientadas al uso sostenible del suelo en la parroquia Mulaló.

Palabras clave: cambio de uso de suelo, teledetección, cobertura vegetal, análisis multitemporal, Sistema de información Geográfica.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCE AND NATURAL RESOURCES

THEME: “SPATIO-TEMPORAL ANALYSIS OF LAND USE CHANGE IN THE RURAL AREA OF THE JOSEGUANGO ALTO SECTOR IN THE MULALÓ PARISH USING SATELLITE IMAGES FROM 2016 TO 2024”

Author:

Caisaguano Yugcha Erik Lenin

ABSTRACT

The present study aimed to analyze the spatio-temporal dynamics of land use and land cover change in the rural area of the Joseguango Alto sector, Mulaló parish, during the period 2016–2024, in order to identify territorial transformations and the factors associated with anthropogenic intervention. The research objectives were to identify the main land cover classes, quantify the areas gained and lost by each class, and assess the condition of vegetation cover using the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI).

Methodologically, a qualitative approach was employed, supported by inductive-deductive, descriptive, and cartographic methods, using remote sensing and Geographic Information Systems (GIS) techniques. Sentinel-2 satellite images were processed through atmospheric correction, supervised classification using the maximum likelihood algorithm, and multitemporal analysis based on the Corine Land Cover methodology; additionally, vegetation status was calculated to determine vegetation condition.

The results show a differentiated territorial dynamic in 2024, where agricultural lands recorded the greatest gain with 49.92 ha, followed by herbaceous lands with an increase of 28.89 ha and shrublands with a gain of 6.23 ha, reflecting processes of productive expansion and secondary regeneration in certain areas. Likewise, the anthropic zone showed a moderate increase of 1.05 ha, associated with the dispersion of housing and rural infrastructure. In contrast, bare soil showed a loss of 13.05 ha, suggesting processes of land occupation or partial vegetation recovery.

Overall, the observed transformations mainly respond to the intensification of agricultural activities, anthropogenic pressure, and variations in soil management practices, factors that have modified the structure of the rural landscape. The study provides updated geospatial information that strengthens territorial planning, environmental management, and local decision-making aimed at the sustainable use of land in Mulaló parish.

Keywords: land use change, remote sensing, vegetation cover, multitemporal analysis, Geographic Information System.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	iii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR	iii
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	v
AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN.....	vi
AGRADECIMIENTO	vii
DEDICATORIO	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
ÍNDICE DE CONTENIDO	<u>xi</u>
ÍNDICE DE TABLAS	xvi
ÍNDICE DE FIGURAS	xvii
1. INFORMACIÓN GENERAL.....	1
2. INTRODUCCIÓN	2
3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	3
4. ACTORES BENEFICIARIOS DEL PROYECTO.....	3
5. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	4
6. OBJETIVOS	5
6.1. Objetivo General.....	5
6.2. Objetivos Específicos.....	5
7. ESTRUCTURA DE ACTIVIDADES VINCULADAS A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS	6
8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA.....	7
8.1. Conceptualización de territorio.....	7
8.2. Area geográfica.....	7
8.3. Zonas rurales en Ecuador.....	7
8.4. Uso de suelo.....	7
8.5. Factores de uso de suelo directo o indirecto	7

8.6. Actividades económicas en áreas rurales.....	7
8.7. Cobertura de suelo	8
8.8. Tipo de cobertura.....	8
8.9. Cambio de uso de suelo	8
8.10. Frontera agrícola	8
8.11. Expansión agrícola.....	8
8.12. Deforestación	9
8.13. Urbanización	9
8.14. Factores que provocan el cambio de uso del suelo	9
8.15. Clasificación internacional del uso de suelo	9
8.15.1. World reference base for soil resources	9
8.15.2. Soil taxonomy del USDA	9
8.16. Clasificación del uso de suelo aplicada al contexto de Ecuador.....	10
8.16.1. Ley orgánica de ordenamiento territorial y gestión de suelo	10
8.16.2. Plan de uso de gestión de suelo ‘‘PUGS’’	10
8.17. Análisis espacial.....	10
8.18. Sistema de Información Geográfica (SIG).....	10
8.19. Evolución del sistema de información geográfica (SIG).....	10
8.20. Ventajas de los sistemas de información geográfica.....	11
8.21. Teledetección	11
8.22. Principios físicos de la teledetección	11
8.23. Radiación electromagnética	12
8.24. Firma espectral.....	13
8.25. Principios del análisis multitemporal	13
8.26. Indicadores espectrales	14
8.27. Proceso de degradación rural asociados al cambio del suelo	14
8.28. Marco legal	15

8.28.1. Normas constitucionales y derechos de naturaleza.....	15
8.28.2 Legislación ambiental general	16
8.28.3 Código orgánico territorial, autonomía y descentralización (COOTAD).....	16
8.28.4. Reglamento de ordenamiento territorial cantonal.....	16
8.28.5. Políticas de uso de suelo establecidas por el (GAD) Joseguango Bajo Mulaló.....	17
9. PREGUNTA CIENTÍFICA	17
10. AREA DE ESTUDIO	18
a. Clima.....	18
b. Flora y Fauna	19
11. METODOLOGÍA.....	19
11.1. Método cualitativo	19
11.2. Método inductivo o deductivo	20
11.3. Método bibliográfico	20
11.4. Metodología cartográfica.....	20
11.5. Método descriptivo	21
11.6. Corine Land Cover, para la clasificación.....	21
11.7. (NDVI) para el estado de cobertura del suelo.....	21
11.8. Técnicas	22
11.8.1. Recopilación de datos	22
11.8.2. Descarga de imágenes Sentinel – 2.....	23
11.9. Procesamiento de las imágenes satelitales	27
11.9.1. Corrección atmosférica	27
11.9.2 Coberturas establecidas.....	28
11.10. Procedimientos de datos	28
11.10.1 Datos para el procedimiento de las imágenes	28
11.10.2. Combinación de bandas	29
11.10.3. Clasificación supervisada.....	29

11.10.4. Matriz de confusión	30
11.10.5. Índice de kappa	31
11.10.6. Matriz de transición	31
11.10.7 Cálculo de cambio para la cobertura vegetal	32
11.10.8. Elaboración de mapas cartográficos	33
12. COMPROBACIÓN DE LA PREGUNTA CIENTIFICA	34
13. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	35
13.1. Análisis del espacio temporal del cambio de uso de suelo	35
13.1.1. Clasificación del cambio de uso de suelo 2016	35
13.1.2. Clasificación de cambio de uso de suelo 2017.....	38
13.1.3. Clasificación de cambio de uso de suelo 2018.....	41
13.1.4. Clasificación de cambio de uso de suelo 2019.....	44
13.1.5. Clasificación de cambio de suelo del año 2020	47
13.1.6. Clasificación del cambio de suelo del año 2021	49
13.1.7. Clasificación de cambio de uso de suelo 2022.....	53
13.1.8. Clasificación de cambio de suelo 2023.....	55
13.1.9. Clasificación de cambios de suelos del año 2024	59
13.2. Matriz de confusión	61
13.2.1 Matriz de confusiones del año 2016	61
13.2.2. Índice kappa del año 2016	62
13.2.3. Matriz de confusión 2024	63
13.2.4. Índice kappa del año 2024	63
13.2.5. Matriz de transición	64
Indicador de cambio – Pérdida (Li)	65
Indicador de cambio – Ganancia (Gj)	65
13.2.6. Cambio de cobertura del suelo de los años 2016 -2024.....	65
13.3. Mapas cartográficos	69

13.3.1. Mapa cartográfico de uso de suelo del año 2016.....	69
13.3.2. Mapa cartográfico del índice de vegetación (NDVI) del año 2016	70
13.3.3. Mapa cartográfico de uso de suelo del año 2017	70
13.3.4. Mapa cartográfico del índice de vegetación (NDVI) del año 2017	71
13.3.5. Mapa cartográfico de uso de suelo del año 2018.....	71
13.3.6. Mapa cartográfico de uso de suelo del año 2019	72
13.3.7. Mapa cartográfico del índice de vegetación (NDVI) del año 2019	73
13.3.8. Mapa cartográfico de uso de suelo del año 2020.....	73
13.3.9. Mapa cartográfico del índice de vegetación (NDVI)del año 2020	74
13.3.10. Mapa cartográfico de uso de suelo del año 2021	74
13.3.11. Mapa cartográfico del índice de vegetación (NDVI) del año 2022	76
13.3.12. Mapa cartográfico de uso de suelo del año 2023	76
13.3.13. Mapa cartográfico de uso de suelo del año 2024	77
13.3.18. Mapa cartográfico del índice de vegetación (NDVI) del año 2024	78
14. CONCLUSIONES	79
15. RECOMENDACIONES	79
16. BIBLIOGRAFÍAS	80
17. ANEXOS	87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Actores directos e indirectos del proyecto	4
Tabla 2	Actividades ejecutadas en el proyecto.	6
Tabla 3	Previsualización de las imágenes obtenidas del Sentinel 2.....	24
Tabla 4	Metadatos de las imágenes descargadas de Copernicus Browser	26
Tabla 5	Caracterización de la cobertura vegetal	28
Tabla 6	Matriz de confusión	30
Tabla 7	Valor del índice de kappa.....	31
Tabla 8	Matriz de transición	32
Tabla 9	Matriz para el cálculo de la cobertura vegetal	33
Tabla 10	Hectáreas de clasificación de uso de suelo del año 2016.....	36
Tabla 11	Índice de vegetación normalizada (NDVI) del año 2016.....	37
Tabla 12	Hectáreas (ha) del uso de suelo del año 2017	39
Tabla 13	Índice de la vegetación de diferencia (NDVI) del periodo del 2017.....	40
Tabla 14	Cambio de uso de suelo del año 2016 al 2017	40
Tabla 15	Aras (ha) de clasificación del uso de suelo del año 2018	42
Tabla 16	Índice de vegetación de diferencia normalizada del año 2018	43
Tabla 17	Área de hectáreas (ha) de clasificación del uso de suelo del año 2019.....	45
Tabla 18	Índice de vegetación normalizada del año 2019	46
Tabla 19	Dinámica de cambio del suelo del año 2018 al 2019.....	46
Tabla 20	Área de hectáreas (ha) de clasificación del uso de suelo del año 2020.....	48
Tabla 21	Índice de vegetación normalizada de año 2020	49
Tabla 22	Área de hectáreas (ha) de clasificación del uso de suelo del año 2021.....	50
Tabla 23	Índice de vegetación normalizada en el año 2021	51
Tabla 24	Dinámica de cambio de cobertura del año 2020 y 2021	52
Tabla 25	Área de hectáreas (ha) de clasificación del uso de suelo del año 2022.....	54
Tabla 26	Índice de la vegetación normalizada de año 2022	55
Tabla 27	Área de hectáreas (ha) de clasificación del uso de suelo del año 2023.....	56
Tabla 28	Índice de vegetación normalizada del año 2023	57
Tabla 29	Dinámica de cambio de cobertura del año 2022 al 2023	57
Tabla 30	Área de hectáreas (ha) de clasificación del uso de suelo del año 2024.....	60
Tabla 31	Índice de vegetación normalizada de año 2024	61

Tabla 32 Matriz de confusión de año 2016.....	61
Tabla 33 Matriz de confusión de año 2024.....	63
Tabla 34 Matriz de transición entre el año 2016 y 2024.....	64
Tabla 35 Cambio de uso de suelo del año 2016 al 2024.....	66
Tabla 36 Índice de vegetación de diferencia normalizada. Comparativo (2026 – 2024)	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Recepción de energía mediante teledetección	30
Figura 2	Radiación electromagnética.....	31
Figura 3	Mapa geográfico del sector José Guango Alto.....	36
Figura 4	Análisis del espacio del cambio de suelo del sector Joseguango Alto	40
Figura 5	Recorte de shepefile del área de estudio.....	40
Figura 6	Plataforma Copernicus Browser. Descarga de las imágenes satelitales	41
Figura 7	Correlación atmosférica de las imágenes Sentinel - 2.....	44
Figura 8	Clasificación supervisada	46
Figura 9	Clasificación supervisada	47
Figura 10	Estándares geográficos	50
Figura 11	Mapa de suelo del año 2016	52
Figura 12	Mapa de la vegetación normalizada (NDVI) del 2016.....	54
Figura 13	Mapa de uso de suelo del año 2017	55
Figura 14	Mapa de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) de año 2017	56
Figura 15	Mapa de uso de suelo del año 2018.....	58
Figura 16	Mapa de vegetación normalizada (NDVI) del año 2018.....	60
Figura 17	Mapa de uso suelo del año 2019.....	61
Figura 18	Mapa del índice de vegetación normalizada del año 2019.....	62
Figura 19	Mapa de uso de suelo del año 2020.....	64
Figura 20	Mapa del índice de vegetación normalizada del año 2020.....	65
Figura 21	Mapa del uso de suelo del año 2021.....	66
Figura 22	Mapa del índice de vegetación normalizada del año 2021	68
Figura 23	Mapa se usó de suelo 2022.....	70
Figura 24	Mapa de índice de vegetación del normaliza el año 2022.....	71
Figura 25	Mapa de suelo del año 2023	72
Figura 26	Mapa del índice de vegetación normalizada del año 2023.....	73
Figura 27	Mapa de uso de suelo del año 2024.....	75
Figura 28	Mapa del índice de vegetación normalizada del año 2024.....	77
Figura 29	Índice de kappa después de la matriz de confusión.....	79
Figura 30	Índice kappa de la matriz de confusión	80
Figura 31	Dinámica de cobertura del suelo, ganancia y perdidas.....	83
Figura 32	Comparación del NDVI por clase (2026 y 2024).....	84

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título del proyecto:

“Análisis espacio-temporal del cambio del uso de suelo en la zona rural del sector Joseguango Alto en la parroquia Mulaló mediante la utilización de imágenes satelitales en el periodo 2016-2024.”

Fecha de inicio: Octubre 2025.

Fecha de finalización: Febrero 2026.

Lugar de ejecución:

Sector Joseguango Alto, Parroquia Mulaló, Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi, Zona3.

Facultad que auspicia:

Universidad Técnica de Cotopaxi, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales.

Carrera que auspicia: Carrera de Ingeniería Ambiental.

Equipo de investigación:

Tutor de Titulación: Ing. Velastegui Tapia Vincent Benjamín, Mg.

Nombre del Investigador: Sr. Caisaguano Yugcha Erik Lenin

Lector 1: Ing. Rivera Moreno Marco Antonio, Mg.

Lector 2: Ing. Daza Guerra Oscar Rene, Mg.

Lector 3: Ing. Lema Pillalaza Jaime Rene, Mg.

Área de conocimiento: Ciencias Ambientales

Línea de investigación:

Análisis, desarrollo urbano, Ordenamiento territorial, teledetección y sistemas de información Geográfica.

Sub líneas de investigación de la Carrera: Cambio y uso del recurso suelo

Línea de vinculación de la Facultad: Gestión de recursos naturales, ordenamiento territorial, uso del territorio, para el desarrollo humano y social.

2. INTRODUCCIÓN

El estudio del cambio de uso de suelo desde la perspectiva temporal y espacial es un instrumento sustancial en los estudios tanto ambientales o territoriales, además permite aclarar, entender y abarcar como la superficie ha ido presentando transformaciones y las diferentes características que se han mostrado en los años de estudio. Para realizar la investigación se relacionó diferentes técnicas como; la herramienta de los sistemas de información geográfica, los cuales, nos ayudan a procesar y comparar los datos satelitales que han sucedido a lo largo del periodo, así se puede determinar los cambios y modificaciones que se dan en el área de interés

El sector Joseguango Alto es considerada una zona rural, está ubicada en la parroquia Mulaló, cantón Latacunga. La perspectiva del estudio nos permitió evaluar y sobre todo examinar como se ha ido perdiendo ganando uso del suelo. Según Santafé (2023), menciona que la información de los (PDOT) de la parroquia del sector José guango Alto dan a conocer sobre la ocupación del suelo como; el páramo seco, almohadilla, herbáceo, especificando principalmente las propiedades de un ecosistema de gran altitud.

Bajo esta óptica, la descarga de imágenes satelitales de la plataforma Copernicus Browser (Sentinel) nos permitió realizar los diversos análisis espacio-temporal del periodo 2016 – 2024 de la misma manera brinda datos espaciales continuos con resoluciones apta para detectar y analizar las variaciones en la clase de uso de suelo.

La teledetección ayudo al procesamiento y a captura datos de la zona en distintas bandas del espectro electromagnético gracias a sus sensores. A partir de los datos y los diferentes métodos empleados se generan mapas temáticos de uso de suelo y estado de la vegetación de cada periodo, que revelan las diferentes transiciones.

Los resultados de la investigación espacio-temporal no solo nos muestran los cambios cuantitativos y cualitativos en el campo. El estudio tiene como objetivo entender el cambio que ha sufrido la zona de interés mediante un procedimiento estadístico de datos con herramientas cartográficas y análisis de mapas.

3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La evaluación de los cambios de suelo en el territorio rural se da debido a las distintas necesidades de englobar las transformaciones territoriales que han ocurrido en los distintos años en esta zona de interés, caracterizando por una fuerte dinámica agropecuaria, expansión territorial y presión sobre los ecosistemas andinos. Además, el estudio es esencial para la adecuada gestión territorial ambiental o toma de decisiones en contextos donde el crecimiento rural no siempre se desarrolla bajo criterios de sostenibilidad.

Bajo este contexto, el acceso a información adecuada sobre el uso del suelo a nivel local, dificulta evaluar con claridad los diferentes impactos causados por la actividad humana en el paisaje. Además, el uso de imágenes satelitales o técnicas de teledetección son instrumentos esenciales, debido a que permite identificar, cuantificar y monitorear los cambios ocurridos durante el periodo 2016 y 2024 con un alto nivel de detalle. Estas tecnologías facilitan la generación de evidencia científica confiable, especialmente en zonas donde los registros cartográficos oficiales son escasos o están desactualizados.

Respecto a lo antes mencionado, el lugar a investigar forma parte del ecosistema estratégico, el cual, permiten la preservación de la diversidad biológica y regula el agua en las estribaciones del Cotopaxi. Por ello conocer las tendencias del cambio como la expansión de pastizales, reducción de vegetación nativa o el incremento de áreas antrópicas, es crucial para identificar amenazas, prevenir procesos de degradación ambiental y proponer medidas de manejo que garanticen la sostenibilidad del territorio.

Finalmente, el proyecto contribuye a generar información relevante para los distintos entes tanto parroquiales como cantonales de la provincia de Cotopaxi, quienes requieren insumos técnicos para el ordenamiento territorial, planificación de actividades productivas y formulación de políticas locales enfocadas en la preservación del entorno natural. De esta manera, el estudio contribuye no solamente al saber científico, también tiene un impacto directo en el entorno y la sociedad al permitir una toma de decisiones como al territorio.

4. ACTORES BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

El presente estudio de investigación aporta beneficios como; los beneficiarios directos e indirectos, los cuales, son 1.200 habitantes del sector de Joseguango Alto en contraparte los beneficiarios indirectos son 217.761 habitantes del cantón Latacunga, así como las diferentes entidad gubernamentales y no gubernamentales, las cuales podrían utilizar la información para realizar diversas actividades como ordenamiento y planificación territorial.

Tabla 1*Actores directos e indirectos del proyecto*

Beneficiarios directos	Número de habitantes
Joseguango Alto	1.200 habitantes
Beneficiarios indirectos	Número de habitantes
Cantón Latacunga	217.761 habitantes

Nota. La tabla especifica a los actores directos e indirectos beneficiarios. Fuente: Elaboración propia, datos tomados del GAD municipal de Latacunga (2024)

5. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La zona rural de Joseguango Alto, perteneciente a Mulaló ubicado en el cantón Latacunga, en la última década se ha evidenciado transformaciones significativas en su estructura territorial y en los patrones de ocupación del suelo. Estas dinámicas están relacionadas principalmente con la expansión de actividades agropecuarias, el incremento de áreas de pastoreo, la reducción progresiva de coberturas vegetales naturales y la creciente dispersión de viviendas rurales. Sin embargo, a pesar de la importancia ambiental y productiva del sector, no existe un diagnóstico actualizado y técnicamente sustentado que permita comprender la manera precisa el ritmo, magnitud y dirección de estos cambios.

La ausencia de información sistemática sobre el uso de cobertura del suelo dificulta la planificación territorial y limita la habilidad de las autoridades pertinentes al momento de gestionar políticas, las cuales, garanticen la sostenibilidad de los recursos. Esta situación se vuelve más crítica considerando que el sector Joseguango Alto forma parte de un entorno ecológicamente sensible, donde los remanentes de vegetación andina, los suelos agrícolas o zonas de carga de agua, desempeñan funciones esenciales para la conservación de la biodiversidad y el manejo adecuado de los recursos hídricos, para abastecer a la población local junto con sus respectivas actividades de producción.

Asimismo, las prácticas productivas tradicionales han sido reemplazadas progresivamente por sistemas más intensivos, principalmente ganadería extensiva y cultivos de ciclo corto que han generado procesos de degradación del suelo, fragmentación del paisaje y presión sobre los ecosistemas naturales, este escenario se agrava con la informalidad en la expansión de infraestructura y viviendas, lo que puede alterar la funcionalidad ecológica del territorio y aumentar el riesgo de conflictos socioambientales.

Aunque existen métodos modernos para el monitoreo territorial, como la teledetección y el análisis multitemporal de imágenes satelitales, estos no han sido aplicados de manera sistemática en el sector de Joseguango Alto. Por ello persiste un vacío de información que impide determinar de forma cuantitativa y espacialmente precisa como han cambiado las categorías de uso de suelo entre los años 2016 y 2024 y cuáles son las áreas más impactadas o vulnerables dentro del territorio.

En base a estos criterios, surge la importancia de llevar a cabo un estudio técnico que posibilite identificar, clasificar o valorar las transformaciones en el uso del suelo con términos de espacios y tiempos, mediante tecnologías geoespaciales. Este análisis no solo aportará información científica actualizada, sino que también constituirá un insumo fundamental para la gestión ambiental, la planificación del desarrollo local y la protección de los ecosistemas estratégicos de la parroquia Mulaló.

6. OBJETIVOS

6.1. Objetivo General

Analizar los espacios temporales y sus cambios en el uso o cobertura del suelo en la zona rural Joseguango Alto, parroquia Mulaló, durante el periodo 2016 y 2024 mediante la interpretación de imágenes satelitales, con el propósito de identificar los cambios espaciales o temporales del territorio.

6.2. Objetivos Específicos

Identificar las principales coberturas del suelo existentes en el sector de Joseguango Alto, desde el año 2016 al 2024 mediante imágenes satelitales.

Cuantificar los diferentes cambios ocurridos en su cobertura y uso del suelo durante el periodo 2016 y 2024 comparando superficies ganadas o perdidas por cada clase de cobertura.

Analizar la evolución del uso del suelo como el estado de la cobertura mediante el índice NDVI durante los años 2016 - 2024.

7. ESTRUCTURA DE ACTIVIDADES VINCULADAS A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

Tabla 2

Actividades ejecutadas en el proyecto.

Objetivos	Actividades	Metodología	Resultado de la actividad
Identificar los principales suelos existentes en el sector de Joseguango Alto para los años 2016 y 2024 a partir de imágenes satelitales.	-Delimitar el área de estudio. -Realizar las correspondientes descargas de las imágenes satelitales de los años de investigación 2016-2024. -Corrección atmosférica	-Leyenda de cobertura y uso de los diferentes suelos. -Teledetección y SIG. -Uso de imágenes Sentinel-2. -Clasificación supervisada. -Software SIG (ArcGIS).	- Elaboración de los mapas de cobertura y uso de suelo para los años 2026-2024. -Identificación de los grupos de vegetación, tierras herbáceas, tierras arbustivas, tierras agropecuarias, suelos sin cobertura vegetal, zonas antrópicas. -Base cartográfica georreferenciada del área del estudio.
Cuantificar los cambios ocurridos en la cobertura y uso de suelo durante el periodo 2016 y 2024 comparando superficies ganadas o perdidas por cada clase de cobertura.	-Calcular la superficie terrestre por cada nivel de cobertura por año. -Comparación de las coberturas en base a análisis-temporal. -La realización de matrices.	-Análisis espacio-temporal mediante SIG. -Cálculo de áreas en hectáreas y porcentajes. -Matriz de transición de cobertura.	-Creación de tablas de cambio de cobertura. -Identificación de pérdidas y ganancias de cobertura. -Mapa de cambio de uso de suelo.
Analizar el cambio de uso de suelo, así como el estado de su cobertura mediante el índice NDVI durante los años 2016 -2024.	Procesamiento de imágenes satelitales para generar los mapas temáticos. Clasificación del uso del suelo y coberturas vegetales en mapas para la representación visual.	Uso del software SIG (ArcGIS) para la elaboración de los mapas. Representación de los mapas para el uso de suelo o cobertura vegetal, de cambio.	Variedad de mapas detallados sobre el uso de suelo y cobertura de vegetación para los diferentes periodos 2016 – 2024.

Nota. Actividades realizadas en base de los objetivos planteados. Tomado de Erik (2026).

8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA

8.1. Conceptualización de territorio

El territorio es una construcción que tiene un impacto crucial en todos los procesos relacionados con la zona. El término se ha vinculado con la localización geográfica de un lugar, así como con la instauración relacionadas con el poder en las comunidades y en el estado (Castaño-Aguirre et al., 2021).

8.2. Área geográfica

El entorno geográfica emplea el término del "espacio geográfico" para referirse a las zonas estructuradas por la localidad, sin embargo, es el entorno donde los grupos de personas de la localidad interactúan con el medio ambiente del lugar (Calahorrano, 2021).

8.3. Zonas rurales en Ecuador

El sector rural se encuentra constituido por áreas donde se lleva a cabo labores como; la agricultura donde se asocia con todo el territorio que tiene pocas personas y cuya actividad financiera más importante es la labor del suelo (Romero Tandazo., 2019).

8.4. Uso de suelo

Según Garbacho (2023) menciona que el uso del suelo se refiere a las diferentes actividades o insumos que la gente lleva a cabo mediante un tipo específico de cobertura terrestre para producir, modificar y conservar el espacio. Además, definir el cuidado del suelo mantiene una relación directa entre las acciones de los seres humanos en su entorno y la cobertura terrestre.

8.5. Factores de uso de suelo directo o indirecto

El uso de la tierra se divide en dos categorías principales como son; los factores directos como también llamados causas próximas y factores indirectos que se relacionan con las diferentes acciones, las cuales, afectan de manera directa la cobertura y el uso del suelo, como por ejemplo, en el gran crecimiento de la agricultura y su ganadería, sin embargo, las causas diferentes actúan de manera más amplia, generalmente fuera de lo que es el área de estudio pero es de gran importancia que se incluyan entre sí con la toma de decisiones de los pobladores locales (Escobar Flores et al., 2021).

8.6. Actividades económicas en áreas rurales

En estas zonas rurales, se puede mencionar que la agricultura es una función principal ya que ocupa el primer puesto en todas las actividades financieras de los hogares, debido a diferentes funciones que cuentan con varias restricciones para su desarrollo, sin embargo, las

familias logran subsistir a través de otras acciones principales que no están situadas dentro del campo (Ramírez-Mocarro, 2022).

8.7. Cobertura de suelo

Se define al tipo de cobertura de suelo mediante la naturaleza morfológica debido a que describe como es el revestimiento de toda la superficie terrestre como; natural o superficial, la cual puede ser observada y contabilizada a través del uso de diferentes sensores remotos (Riva et al., 2024).

La información sobre la cobertura es importante para fenómenos ambientales y territoriales, ya que permite analizar los procesos naturales y antrópicos de la superficie terrestre y los problemas ambientales asociados (Tobar-Díaz et al., 2023).

8.8. Tipo de cobertura

La cobertura terrestre hace referencia a las diferentes propiedades físicas de la tierra que se manifiestan en cómo están distribuidos como; su vegetación, el desierto o el hielo y el agua. Además, también incluye elementos creados solamente por acciones de las personas como son los asentamientos (Tamiru, 2025).

8.9. Cambio de uso de suelo

Según González et al., (2024) menciona que la transformación del uso de suelo se refiere a la conversión de toda la vegetación de la localidad para otros fines, entre las cuales se encuentra; la ganadería, infraestructura y agricultura. Esto provoca el deterioro de la calidad de la vegetación al alterar su densidad o composición en relación con todas las especies existentes en el lugar.

8.10. Frontera agrícola

Para Anzoátegui et al., (2023) menciona que la frontera es la división que separa las zonas rurales dedicadas a actividades agropecuarias de las zonas que se encuentran protegidas, que son relevantes desde el punto de vista ecológico, sin embargo, es una demarcación biofísica en la planificación territorial que se enfoca principalmente al desarrollo sostenible.

8.11. Expansión agrícola

Bajo este contexto, es un ejemplo específico de los cambios que las personas realizan al utilizar la tierra o de manera en la que aprovechan los ecosistemas terrestres (Muñoz Marcillo et al., 2020). Además la expansión agrícola tiene una gran influencia en; el clima, ciclos de agua, carbono, nitrógeno en la biosfera, lo cual, la biodiversidad de gases afectan el incremento en la demanda de todas las fibras y alimentos mediante la expansión del área

destinada a la agricultura debido a que se presenta como un proceso inevitable (Winkler et al., 2021).

8.12. Deforestación

Para Pérez (2020) menciona que la deforestación se refiere al proceso de transformar, ya sea de manera directa o inducida, mediante la cobertura durante un lapso específico, sin embargo, usualmente este procedimiento tiene como propósito establecer actividades minerales urbanas, agrícolas y ganaderas.

8.13. Urbanización

Según Amaña et al., (2019) menciona sobre la deforestación y hace referencia al proceso de transformación, ya sea de manera directa o inducida sobre la cobertura a otra durante un lapso específico. Usualmente, este procedimiento tiene como propósito establecer diferentes actividades mineras, urbanas o agrícolas.

8.14. Factores que provocan el cambio de uso del suelo

El crecimiento de la población mundial ha causado una significativa elevación dentro de la demanda de los recursos mineros, energéticos o biológicos. Además de que se busquen nuevas tierras para ampliar las diferentes zonas ya sean rurales o urbanas, sin embargo, esto a ocasionado modificaciones en las coberturas (Arias-Muñoz et al., 2024).

8.15. Clasificación internacional del uso de suelo

8.15.1. World reference base for soil resources

El sistema es la base de la referencia para los recursos del suelo son importantes debido a que cumple con un estándar internacional para clasificar y nombrar suelos, creado por la FAO y la UNESCO para correlacionar y mapear suelos globalmente, usando dos niveles (32 Grupos de Suelos de Referencia y Calificadores) para caracterizar suelos observables mediante propiedades y horizontes diagnósticos (*Base referencial mundial del recurso suelo 2014*, s. f.).

8.15.2. Soil taxonomy del USDA

Para Washinton (2020) menciona que el sistema jerárquico internacional es importante para clasificar suelos debido a que fue desarrollado mediante el departamento de agricultura del país de los Estados Unidos, el cual, agrupa propiedades medibles (color, textura, química) en seis ordenes estructuradas permitiendo entender su formación, uso y manejo, desde lo más general a lo específico.

8.16. Clasificación del uso de suelo aplicada al contexto de Ecuador

8.16.1. Ley orgánica de ordenamiento territorial y gestión de suelo

Según Gutierrez (s.f) menciona el propósito de la ley, la cual, establece los principios y normas que guían sobre las competencias relacionadas con la gestión territorial y el uso del suelo de las zonas urbanas o rurales, mediante la interrelación con otras actividades que tengan un impacto significativo dentro del lugar que ocupen, sin embargo, es importante acotar que asegurar una coordinación efectiva y fomentar un desarrollo territorial es primordial para que sea de forma equitativa y equilibrada.

8.16.2 Plan de uso de gestión de suelo ‘‘PUGS’’

Para Andocilla (2021) menciona que el plan de uso es un documento normativo que permite que los GAD municipales implementen e instalen diferentes políticas dirigidas a diversas actividades del territorio, tales como: rehabilitación de los espacios para el uso colectivo, el cuidado y protección de los patrimonios, mejora de todo el equipamiento público y el mantenimiento o cuidado del suelo.

8.17. Análisis espacial

Según Reyes (2011) señala que es una corriente geográfica, la cual, se describe como ‘‘combinación de saberes, métodos y diferentes procedimientos que se aplican en estudios en las zonas desde una perspectiva científica’’. Además, es un conjunto de modelos o técnicas, las cuales, emplean de manera referencial vinculada a cada dato que da a conocer el sistema estudiado.

8.18. Sistema de Información Geográfica (SIG)

Los sistemas han progresado como un método relevante para el estudio del uso del suelo, sin embargo, pueden identificar, correlacionar y examinar todos los espacios geográficos, de acuerdo, a los datos del mapeo creando conexiones entre las diferentes fuentes de información (Estacio Vidal et al., 2021).

8.19. Evolución del sistema de información geográfica (SIG)

Bajo este contexto, los sistemas con estructura vectorial son aquellos que representan la realidad a partir de dos elementos, los cuales, se vuelven funcionales por medio del establecimiento de bases de datos gráficos mediante mapas y alfanuméricas, sin embargo, esta línea cuenta con tres enfoques que pueden ser implementados a través de diferentes procesos ya sean cuantitativos como; aquellos que utilizan tablas, los que se realizan mediante bases de dato o los que requieren la combinación de ambos elementos para su implementación (Buzai & Montes Galbán, 2021).

8.20. Ventajas de los sistemas de información geográfica

Según Carrion (2021) menciona que son aquellos que facilitan todo el análisis espacial avanzada, lo que simplifica la detección de las tendencias geográficas o relaciones, sin embargo, posibilitan la incorporación de los diferentes datos geospaciales con otros tipos de información, los cuales, son; median ambiente, financieros y demográficos. Además, nos brindan instrumentos visuales que posibilitan la representación a través de mapas, gráficos de manera clara para la toma de decisiones.

8.21. Teledetección

Para Cabrera & Agugliaro (2025) da a conocer sobre la detección debido a que es una rama del conocimiento que posibilita la obtención de la información acerca de las superficies, a través de examinar la zona, lo cual, dicha información es recolectada a través de sensores que se encuentran en las plataformas.

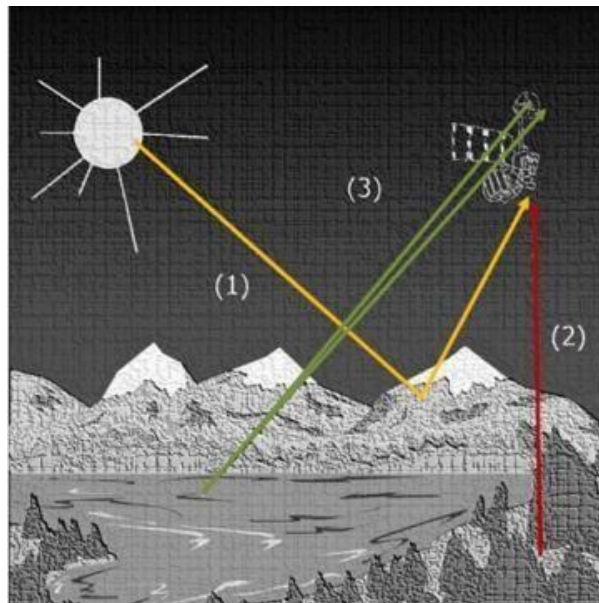
8.22. Principios físicos de la teledetección

Para Torrusio et al., (2025) en esencia, la energía funciona mediante tres formas las cuales son;

- 1) Reflexión; Es una fuente natural que se genera como el sol y con la tierra, lo cual, mediante este proceso se obtiene la energía que llega a los sensores.
- 2) Emisión; De acuerdo con la ley de Plack, cualquier cuerpo cuya temperatura sea mayor que 0 expide la energía y los sensores detectan toda la energía emitida, principalmente como calor.
- 3) Emisión o reflexión; En esta situación, los diferentes sensores son simultáneamente emisores de energías que se reflejan en los radares enviando señales electromagnéticas.

Figura 1

Recepción de energía mediante teledetección



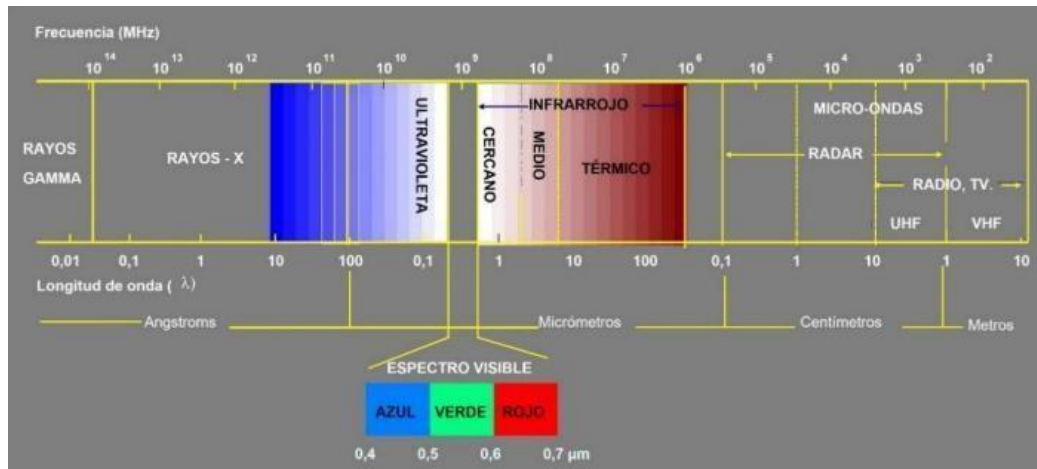
Nota. La figura muestra la reflexión, emisión, Fuente. Imagen tomada del centro canadiense de investigación remota.

8.23. Radiación electromagnética

Según Torrusio (2025) menciona que la radiación se define como uno de los procesos donde la energía emite diferentes partículas u ondas, las cuales, pueden desplazarse. Además, se presenta en diferentes formas como;

- Luz visible
- Ondas de radio
- Rayos X

Bajo este contexto, todas ellas son distintas, se difunden de acuerdo con la teoría fundamental de las ondas, las cuales, representan la programación de manera minuciosa, sin embargo, esta propagación incluye campos electricos que son perpendiculares y también se propagan en una correcta dirección.

Figura 2*Radiación electromagnética*

Nota. Clasificación de imágenes satelitales. Tomada de (Torrusio, s. f.).

8.24. Firma espectral

Bajo esta óptica, la firma espectral es una forma específica para que un objeto o sustancia reaccione a todas las radiaciones electromagnéticas, la cual, se obtiene por medio de diferentes longitudes. Además, con esta propiedad se puede diferenciar y detectar elementos naturales de la tierra mediante el uso de las herramientas de teledetección. Para Molina (2019) menciona que a cada una de los tipos de cobertura, dando a conocer la firma espectral particular, similar a la ‘huella digital’, la cual, posibilita toda la identificación exacta de la persona.

Según Fonceca & Gonzales (2022) el análisis de firmas espectrales ha progresado considerablemente gracias a las nuevas tecnologías o diferentes sensores remotos, sin embargo, la introducción tanto hiperespectral ha mejorado significativamente la habilidad de detección, lo cual, hace posible distinguir las mínimas diferencias o las que sean de manera parecida.

8.25 Principios del análisis multitemporal

Por consiguiente, es un procesamiento de imágenes satelitales que compara datos capturados en diferentes momentos en el tiempo para identificar, cuantificar y entender cambios en la superficie terrestre (como usos de suelo, coberturas, urbanizaciones, degradación ambiental, etc.). Este tipo de análisis se usa ampliamente en teledetección y ciencias de la tierra para monitorizar tendencias, patrones y dinámicas espaciales que no pueden verse con una sola imagen (Universidad Politécnica Salesiana et al., 2024).

Respecto a lo antes mencionado, el objetivo del análisis multitemporal es evaluar la transformación, de acuerdo, al uso del suelo y pérdidas de cobertura vegetal, utilizando

métodos de geoespaciales que se aplican a las diferentes imágenes satelitales obtenidas en diferentes momentos (Lozano, 2019).

El análisis multitemporal se basa en la comparación secuencial de imágenes satelitales obtenidas en fechas distintas para detectar cambios reales en la superficie terrestre, evitando que se confundan con variaciones temporales irrelevantes (como diferentes estaciones)(Slesinski et al., 2023).

Según un estudio de la FAO/ARGIS, da a conocer sobre el análisis multitemporal, lo cual, hace posible detectar transformaciones entre diversas fechas observando principalmente la evolución del entorno natural y a sus efectos de la intervención del ser humano en el mismo (Solórzano Faubla et al., 2025).

8.26. Indicadores espectrales

Los índices espectralares son combinaciones matemáticas de dos o más bandas espectrales que mejoran características superficiales específicas, como la vegetación, el agua o las áreas edificadas, y reducen los efectos del ruido atmosférico, las sombras y las diferencias topográficas (Tran et al., 2022).

Cabe destacar, que los valores del índice de vegetación de diferentes normalizada que se relaciona entre 0 a 1 calculada como la diferenciación entre la luz roja y la reflectancia roja óptica, en relación con la suma de ambas (Alee et al., 2023).

El NDBI (índice de diferencia normalizada construida) es un indicador de teledetección que se utiliza para detectar la acumulación de vegetación en imágenes satelitales. El valor de este índice oscila entre -1 y 1; los valores positivos altos indican la probabilidad de que el píxel sea una acumulación de vegetación o un edificio (Dos Santos Junior et al., 2024).

8.27. Proceso de degradación rural asociados al cambio del suelo

Bajo este contexto, la vegetación natural y los otros usos de suelos modifican las propiedades biofísicas de la superficie, afectando los flujos de calor y agua (Bracalenti et al., 2024). Además, los diferente cambios de suelos y su cobertura han llegado al punto más crítico de la historia, ejerciendo presión sobre biomas importantes y su biodiversidad (Oliveira et al., 2024).

La expansión agrícola / ganadera sustituye vegetación natural, modifica la tenencia y disponibilidad de recursos locales y es una causa directa de degradación en áreas rurales; en regiones secas y boscosas esto afecta comunidades dependientes del bosque (Vallejos et al., 2026).

Aun tras la deforestación, el uso posterior del suelo condiciona la recuperación de biodiversidad distintas formas de uso conducen a trayectorias ecológicas muy diferentes, afectando conservación y restauración (Maeda et al., 2023).

La erosión del suelo, el abandono de las tierras de cultivos y el uso imprudente de la tierra (es decir, el pastoreo excesivo y la consiguiente invasión de arbustos) han degradado gravemente la tierra (Kgaphola et al., 2023).

8.28. Marco legal

8.28.1. Normas constitucionales y derechos de naturaleza

La constitución de la república (2008) menciona en el Art. 10 sobre establecer a la naturaleza para poseer los derechos entre sí para obtener un ciclo de vida seguro con el propósito de salvaguardar y restaurar. Además, Ecuador cuenta con un sistema constitucional donde reconoce a la naturaleza como la madre tierra haciendo énfasis al cuidado de los derechos otorgados.

El Art. 72 da a conocer acerca de la estipula de la Pachamama o como se le conoce principalmente “madre naturaleza” el cual tiene derechos que son respetados plenamente para conservar y regenerar sus ciclos vitales, debido a que es el lugar donde la vida florece y cada vez se reproduce.

Por consiguiente, el Art. 72, dentro de la constitución de la república, establece que la naturaleza en el Ecuador tiene derecho a ser restaurada ante diferentes impactos ambientales que se presenten, sin embargo, el estado será el encargado de implementar estrategias más efectivas para lograr el cuidado mediante medidas pertinentes para suprimir los efectos ambientales dañinos.

Finalmente, el Art. 73 menciona la carta magna, el cual el estado tomará las diferentes medidas de restricción donde se indicará sobre el uso de todos los recursos naturales para asegurar la satisfacción de las necesidades actuales, tomando en cuenta las generaciones futuras para no perjudicar. En síntesis, la normativa proporciona el sustento jurídico y conceptual para el estudio del uso del suelo en zonas rurales. Al evaluar el contexto espacio temporal del territorio son ayuda a identificar impactos ambientales, sustentar decisiones de planificación territorial y promover un manejo responsable del suelo.

8.28.2. Legislación ambiental general

Según Garces (2019) menciona a la legislación ambiental general del Ecuador contribuye el marco que regula la salvaguardia o conservación de los recursos naturales guiando la administración del territorio, especialmente en regiones rurales debido a que el uso de la tierra tiene un impacto medioambiental considerable. Además, el (COA) es quien regula la gestión ambiental al mencionar algunos como; evolución del impacto ambiental en las zonas, el control o seguimiento de los mecanismos de restauración.

Bajo esta óptica, la ley orgánica de tierras rurales señala en el Art. 113 sobre los gobiernos descentralizados, los cuales, no tienen permitido aprobar iniciativas de urbanización en terrenos rurales ubicados en las diferentes zonas que tengan aptitud agraria o que históricamente se han utilizado para actividades agrícolas, sin contar con los permisos que otorga la autoridad agraria nacional.

8.28.3. Código orgánico territorial, autonomía y descentralización (COOTAD)

El (COOTAD) es el marco normativo el cual se rige en la distribución del territorio dentro del Ecuador, sin embargo, establece las competencias de los GAD con respecto a las diferentes planificaciones o gestión de suelo para mantener el desarrollo territorial del lugar.

El artículo 3 del COOTAD una de las obligaciones de la los GAD es el crecimiento justo de las circunscripciones territoriales, garantizando el buen vivir. Esto es relevante ya que implica que el uso y ocupación del suelo debe ser desarrollado de manera sostenible para poder evitar ciertas afectaciones que se dan como la pérdida de cobertura vegetal, degradación ambiental o el deterioro del medio natural en áreas rurales; El artículo 4 menciona las leyes establecidas por los

(GAD). Las cuales, permiten ejercer su mandato bajo los fundamentos de la sostenibilidad del medio ambiente, la participación ciudadana y planificación integral del territorio.

El COOTAD señala en el artículo 41 que los GAD tienen la función de formular y dar a conocer los (PDOT) debido a que son uno de los principales documentos para una planificación del uso correcto del suelo (*cootad.pdf*, s. f.). El diferente cambio de uso de suelo sin debida planificación puede generar diversos problemas ambientales.

8.28.4. Reglamento de ordenamiento territorial cantonal

El reglamento de Ordenamiento Territorial Cantonal del cantón Latacunga integra herramientas legales para la aplicación local, debido, a que tiene como objetivo principal la regulación o también sobre ocupación de la gestión del suelo dentro de la competencia cantonal. El propósito prioritario es asesorar el desarrollo local de manera organizada, sostenible y

ponderada, en base a las particularidades medio ambientales, sociales y productivas del territorio.

Por consiguiente, el principal objetivo del plan de ordenamiento del cantón de Latacunga es mejorar la estructura, así como la zonificación de las normativas relacionadas con la ocupación del suelo, sin embargo, es necesario que se implementen diferentes tratamientos urbanísticos para garantizar un funcionamiento adecuado, teniendo en cuenta los riesgos que se presenten con respecto a la realidad del territorio,

El reglamento territorial de Latacunga se acopla especialmente a través del (PDOT LATACUNGA) y el (PUGS) (*Registro Oficial Orgánico de la Republica del Ecuador, s. f.*). Su análisis resulta irremplazable para deducir los cambios de uso de suelo desde el panorama legal, permitiéndonos determinar modificaciones espaciales ocurridas en la superficie del sector rural de Joseguango Alto.

8.28.5. Políticas de uso de suelo establecidas por el (GAD) Joseguango Bajo Mulaló

Las políticas de uso de suelo manifestadas por el GAD parroquial buscan organizar el territorio rural de acuerdo a su particularidad física, ambiental y productivas impulsando el lucro racional del suelo y frenar la fase de degradación ambiental afiliados al cambio de uso no planificado.

El PDOT del (GAD) de Joseguango Bajo señala que el uso del suelo rural se orientará a actividades productivas acordes con la aptitud del territorio, priorizando todo aquello que se relacione con la conservación de todos los recursos naturales.

Desde esta perspectiva, las diferentes políticas establecidas en el GAD consideran que el daño de la cobertura vegetal conforma un factor crítico del deterioro ambiental, por lo que se dispone su conservación como un eje principal de ordenamiento del suelo rural.

Por consiguiente, se proyecta que el cambio del uso del suelo, el cual, debe estar alineada con la organización territorial actual, formándose en un proceso de inspección frente a procesos de expansión agrícola, pecuaria o de la posesión del territorio que no se consideren criterios ambientales.

En el marco de esta indagación, el análisis espacio- temporal del suelo compone un artefacto esencial para valorar el cumplimiento de todas las políticas territoriales establecidas por el GAD, permitiendo reconocer tendencias de inclinaciones del territorio rural y sus repercusiones ambientales.

9. PREGUNTA CIENTÍFICA

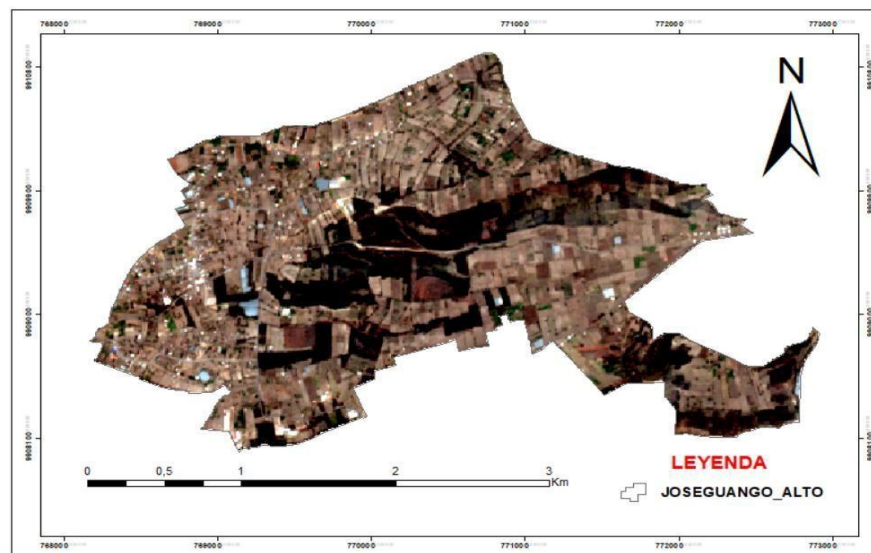
¿Cómo ha variado el uso de suelo en la zona rural del sector Joseguango Alto Parroquia Mulaló, entre los años 2016 y 2024, y qué factores han influido en estos cambios según el análisis de imágenes satelitales?

10. AREA DE ESTUDIO

El sector Joseguango Alto está ubicado en Mulalo del cantón Latacunga dentro de la provincia de Cotopaxi, en la región de la Sierra del Ecuador. Esta superficie conforma como parte de la región Andina, la cual, se identifica por su relieve topográfico ligeramente montañoso. Además, cuenta con un área de 708.64 ha. Con una altitud de 2.971 o 3200 mtrs. de altura sobre el nivel de mar (msnm), sin embargo, predomina el clima ecuatorial mesotérmico semihúmedo en la zona, la temperatura varía anualmente entre los 8 °C y 20 °C. La precipitación moderada y presenta una marcada estacionalidad. Los suelos del sector son de origen volcánico se caracterizan por ser altamente fértiles lo cual ha sido aprovechado y favorable para el desempeño en actividades agropecuarias. Está limitada por las parroquias de: Mulalo, Alaquez, Guaytacama y Tanicuchi, como referencia principal se encuentra la carretera E35 Latacunga- Quito

Figura 3

Mapa geográfico del sector José Guango Alto



Nota. La figura muestra el mapa de la ubicación del sector. Tomado de: Erik (2026).

a. Clima

El sector Joseguango Alto, se ubica dentro del clima interandino ecuatorial mesotérmico semihúmedo particular de buena fracción de la región andina central del Ecuador. Esta clase de clima se manifiesta típicamente en espacios de altitud intermedia entre los 2.600 y 3.200 msnm. Además, la temperatura varía relativamente entre 12° y 20 ° C, dependiendo de la altitud y la

exposición solar, con temperaturas mínimas que inusualmente bajan a 0 °C y máximas que generalmente no exceden los 30 °C en áreas bajas y expuestas, sin embargo, la humedad de la zona es de 65% o 85% y las precipitaciones anuales suelen superar los 500mm. Las condiciones tienen una conexión con el uso y cobertura del suelo.

b. Flora y Fauna

El Ecuador se caracteriza por albergar una gran diversidad biológica como forma de vida expresada ampliamente en su flora y fauna, lo cual, cuenta con una gran biodiversidad que es reconocida a nivel mundial.

Bajo este contexto, dentro del lugar de estudio se da a conocer sobre la flora y fauna nativa, la cual, ha disminuido a causa de la desaparición de vegetación por los cambios del uso del suelo, mediante la expansión de la frontera agrícola para que se establezcan nuevos cultivos, sin embargo, todavía se encuentran especies con gran importancia para mantener el territorio, por consiguiente, algunas de las especies que albergan la zona son características del lugar:

- Molles
- Eucaliptos
- Alisos
- Matico
- Sunfilli
- Chuquiragua

Desde esta perspectiva, en cuanto a la fauna endémica principal del lugar se encuentran los siguientes:

- Cuy
- Conejo
- Rapoza
- Zorrillo
- Curiquingue
- Mirlo
- Colibrí

11. METODOLOGÍA

11.1. Método cualitativo

Según Romero (2019) menciona que el objetivo principal es la recopilación y estudio de información que no es numérica donde abarca la entrevista o análisis de textos bibliográficos.

Este método permite analizar los diversos fenómenos desde la perspectiva directa determinando todos los cambios que se encuentran en la cobertura del suelo, considerando experiencias y percepciones. Además, la metodología fundamenta el análisis de las imágenes satelitales o mapas. Nos ayuda a construir ideas y transformaciones a partir de la recolección de la información (Guzmán, 2021).

11.2. Método inductivo o deductivo

Bajo este contexto, el método combina dos tipos de razonamientos donde se encuentra la educación o inducción, sin embargo, este enfoque metodológico es clave para el análisis que se realiza de manera integral en los cambios de uso de suelo. Mediante un proceso inductivo fue posible reconocer patrones espaciales y temporales a partir de la interpretación de las imágenes satelitales, lo cual, el razonamiento deductivo permitió relacionar los resultados con el planteamiento teórico sobre el cambio y uso de los suelos en el lugar, La articulación de ambos razonamientos contribuyó a una interpretación más coherente y sólida en el ámbito ambiental.

11.3. Método bibliográfico

Para Martines et al., (2017) menciona que la revisión bibliográfica es la fase crucial en el desarrollo de una investigación, la cual, conlleva la consulta de diversos documentos como; repositorios, bases de datos, entre otros. Además, este procedimiento conocido también como revisión, permitirá sustentar datos reales.

Este método aportó el soporte conceptual necesario para analizar el espacio temporal o el cambio del suelo a partir de la revisión bibliográfica que incluyó estudios relacionados con la cobertura y las transformaciones de suelo y las técnicas aplicadas en el análisis espacial. El conjunto de información nos facilitó la contextualización de los resultados obtenidos y la identificación antecedentes relevantes.

11.4. Metodología cartográfica

Bajo en contexto de Noruega (2021) da a conocer que es un método de investigación que emplea mapas como instrumentos fundamentales para poder examinar los diferentes fenómenos territoriales desde la perspectiva temporal como espacial. Esta técnica posibilita observar e interpretar la distribución y el desarrollo de las variables geográficas en una región específica, ayudando a los vínculos y dinámicas, sin embargo, los mapas son esenciales para organizar, representar y comunicar el espacio geográfico.

Este método se aplicó para examinar la evolución de los espacios temporales del cambio de uso del suelo de las zonas. Además de la generación de mapas temáticos fue posible

interpretar los resultados permitiendo identificar las diversas transformaciones del uso de suelo. Esta herramienta permitió reconocer patrones de cambio y realizar el análisis multitemporal, contribuyendo de forma relevante a la comprensión del fenómeno objetivo del estudio.

11.5. Método descriptivo

Para Alban et al., (2020) mencionan que es un enfoque esencial, cuyo propósito es describir de manera sistemática los atributos, ofreciendo datos que se pueden comparar con diferentes fuentes y mostrar con exactitud cuál es la realidad del caso.

A lo largo del estudio esta metodología permitió, en primera instancia identificar y categorizar los diferentes cambios en la estructura del cambio del uso del suelo existentes en el sector de Joseguango Alto en el periodo 1016–2024.

11.6. Corine Land Cover, para la clasificación

La metodología se utiliza principalmente para clasificar o mapear sobre el uso del suelo y cobertura de la superficie de todo el territorios, con el objetivo de comprobar cual es la evolución del entorno natural González et al., (2020). Este método da a conocer información detallada de las áreas terrestres del sitio de estudio. Por ende, permite realizar la clasificación y comparación de todas las áreas boscosas, agropecuarias, zonas urbanas del sector de Joseguango Alto por medio de interpretación de las imágenes satelitales y la realización de cálculos para transformar los datos geoespaciales en una información digital mediante herramientas para la planificación territorial.

11.7. (NDVI) para el estado de cobertura del suelo

Según Olivares (2019) menciona que es un índice, el cual, se aplica ampliamente para identificar la vegetación, debido a toda su eficiencia de monitoreo o análisis de condiciones de la tierra, entre los resultados que representa es -1 y 1, dichos valores inferiores a 0,1 se consideran indicativos de duelos desnudos mientras que los superiores son proporcionales, sin embargo, mientras más altos sean los valores, mayor será la actividad forestal de todas las distintas coberturas.

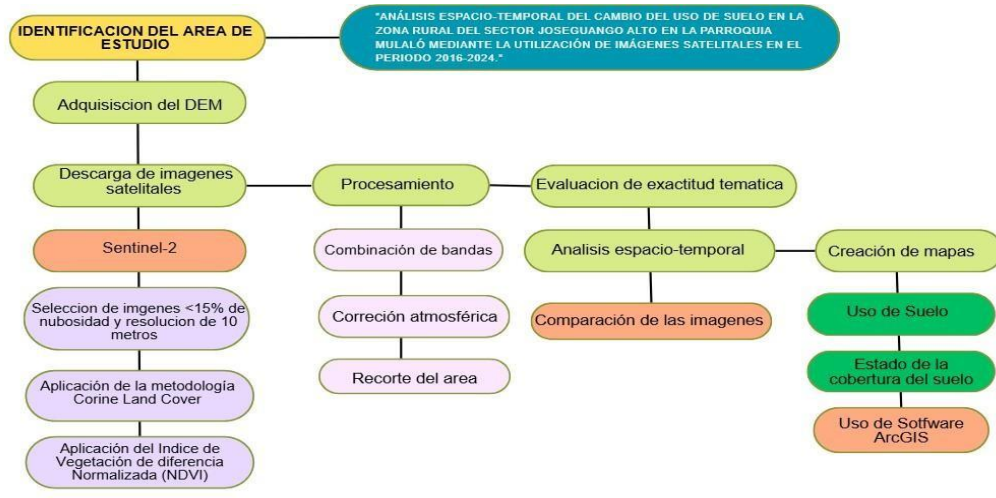
$$NDVI = \frac{IRc - r}{IRc + R}$$

IRs; Representa la banda infrarroja cercana

R; Representa la banda roja

Figura 4

Análisis del espacio temporal del cambio de suelo del sector Joseguango Alto



Nota. Modelo conceptual del diseño metodológico. Elaborado por: Erik (2026)

11.8 Técnicas

11.8.1. Recopilación de datos

Las capas cartográficas en formato Shapefile fueron obtenidas a partir de la plataforma espacial del Ecuador, por lo cual, incluyen límites territoriales en los ámbitos local, regional y nacional. Estas capas fueron posteriormente importadas y manipuladas en el software ArcGIS, donde se efectuó el proceso de recorte espacial con el fin de ajustarla al área específica de análisis

Figura 5

Recorte de shepefile del área de estudio

“Sistemas de Información Geográfica para Aplicaciones Agropecuarias en el Ordenamiento de Territorio y Manejo Integral de Cuencas”



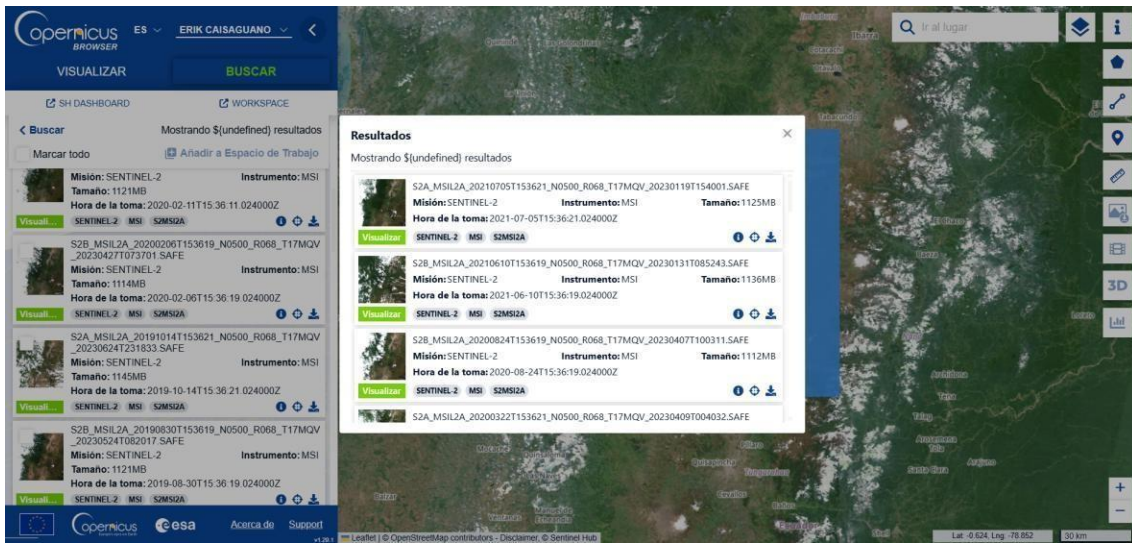
Nota. La figura muestra una captura del sistema de información geográfica. Tomada de Erik (2026)

11.8.2. Descarga de imágenes Sentinel – 2

Bajo este contexto, el análisis espacio-temporal es correspondiente al periodo del año 2016 al 2024, lo cual se descargaron las imágenes satelitales a través de herramientas digitales como Copernicus Browser. Se priorizó que al seleccionar las imágenes satelitales que estuvieran con baja nubosidad con el fin de tener una buena resolución así mismo que las imágenes cubran el área de interés. Asimismo, la fusión de la plataforma SIG y sus algoritmos han posibilitado el procedimiento de la generación cartográfica donde se detalla la obtención de la información más relevante para la toma de las decisiones.

Figura 6

Plataforma Copernicus Browser. Descarga de las imágenes satelitales.



Nota. La figura muestra la captura de la plataforma Copernicus Browser. Tomado de Erik (2026)

Las imágenes satelitales que se obtuvieron fueron de las áreas desde el año; 2016 – 2017 – 2018 – 2019 – 2020 – 2021 – 2022 – 2023 – 2024. Las diferentes imágenes descargadas se muestran a continuación en la tabla 3. Estas imágenes fueron seleccionadas mediante la plataforma Copernicus Browser, la cual nos permitió el acceso y la visualización de los diferentes datos satelitales. La fase de selección se ejecutó mediante el instrumento de búsqueda de la plataforma. Entre los principales parámetros que se tomaron en cuenta fue que las imágenes satelitales tengan baja nubosidad con la meta de minimizar interferencias atmosféricas al momento de ser procesadas, y la localización dentro del área de interés. Por otra parte, se procuró descargar las imágenes satelitales de cada año. Además, se presentará una tabla en donde se encuentre detallado la previsualización de las imágenes que se seleccionaron de cada año, lo cual nos facilita la organización y recopilación de datos.

Tabla 3

Previsualización de las imágenes obtenidas del Sentinel 2

Previsualización de las imágenes satelitales

2016	2017
 <p>S2A_MSIL2A_20161029T153622_N0500_R068_T17MQV_20230929T044941.SAFE Misión: SENTINEL-2 Instrumento: MSI Tamaño: 1127MB Hora de la toma: 2016-10-29T15:36:22.026000Z</p> <p>Visuali... SENTINEL-2 MSI S2MSI2A   </p> <p>0%</p>	 <p>S2A_MSIL2A_20171213T154241_N0500_R068_T17MQV_20230719T004636.SAFE Misión: SENTINEL-2 Instrumento: MSI Tamaño: 1116MB Hora de la toma: 2017-12-13T15:42:41.026000Z</p> <p>Visuali... SENTINEL-2 MSI S2MSI2A   </p> <p>0%</p>
2018	2019
 <p>S2B_MSIL2A_20181024T153619_N0500_R068_T17MQV_20230706T144138.SAFE Misión: SENTINEL-2 Instrumento: MSI Tamaño: 1116MB Hora de la toma: 2018-10-24T15:36:19.024000Z</p> <p>Visuali... SENTINEL-2 MSI S2MSI2A   </p> <p>0%</p>	 <p>S2B_MSIL2A_20190830T153619_N0500_R068_T17MQV_20230524T082017.SAFE Misión: SENTINEL-2 Instrumento: MSI Tamaño: 1121MB Hora de la toma: 2019-08-30T15:36:19.024000Z</p> <p>Visuali... SENTINEL-2 MSI S2MSI2A   </p> <p>0%</p>
2020	2021
 <p>S2B_MSIL2A_20200824T153619_N0500_R068_T17MQV_20230407T100311.SAFE Misión: SENTINEL-2 Instrumento: MSI Tamaño: 1132MB Hora de la toma: 2020-08-24T15:36:19.024000Z</p> <p>Visuali... SENTINEL-2 MSI S2MSI2A   </p>	 <p>S2A_MSIL2A_20210705T153621_N0500_R068_T17MQV_20230119T154001.SAFE Misión: SENTINEL-2 Instrumento: MSI Tamaño: 1125MB Hora de la toma: 2021-07-05T15:36:21.024000Z</p> <p>Visuali... SENTINEL-2 MSI S2MSI2A   </p>
2022	2023
 <p>S2B_MSIL2A_20220913T153619_N0510_R068_T17MQV_20240731T161858.SAFE Misión: SENTINEL-2 Instrumento: MSI Tamaño: 1118MB Hora de la toma: 2022-09-13T15:36:19.024000Z</p> <p>Visuali... SENTINEL-2 MSI S2MSI2A   </p>	 <p>S2B_MSIL2A_20230908T153619_N0510_R068_T17MQV_20241104T110413.SAFE Misión: SENTINEL-2 Instrumento: MSI Tamaño: 1114MB Hora de la toma: 2023-09-08T15:36:19.024000Z</p> <p>Visuali... SENTINEL-2 MSI S2MSI2A   </p> <p>5%</p>
2024	
 <p>S2B_MSIL2A_20241111T153619_N0511_R068_T17MQV_20241111T193447.SAFE Misión: SENTINEL-2 Instrumento: MSI Tamaño: 1148MB Hora de la toma: 2024-11-11T15:36:19.025000Z</p> <p>Visuali... SENTINEL-2 MSI S2MSI2A   </p>	

Nota. Imágenes satelitales de los diferentes años de estudio. Elaborado por: Erik (2026)

Las imágenes satelitales descargadas cubren completamente el área de estudio, sus principales características se presentan de manera específica en la siguiente Tabla 4. Donde contienen el nombre principal de la imagen, su fecha de captura y la hora que fue tomada por el satélite, sin embargo, la plataforma y la cobertura de nubes que está presente en la imagen, lo que facilita la comprensión y comparación de los datos descargados.

Tabla 4*Metadatos de las imágenes descargadas de Copernicus Browser.*

Metada file name	Fecha de captura	Hora	Plataforma	Cobertura de nubes
S2A_MSIL2A_201610 29T153622_N0500_R0 68_T17MQV_2023092 9T044941.SAFE	2016-10-29	15:36:22	Sentinel-2	30.832845
S2A_MSIL2A_201712 13T154241_N0500_R0 68_T17MQV_2023071 9T004636.SAFE	2017-12-12	15:42:41	Sentinel-2	18.90797
S2B_MSIL2A_201810 24T153619_N0500_R0 68_T17MQV_2023070 6T144138.SAFE	2018-10-24	15:36:19	Sentinel-2	17.494029
S2B_MSIL2A_201908 30T153619_N0500_R0 68_T17MQV_2023052 4T082017.SAFE	2019-08-30	15:36:19	Sentinel-2	23.515025
S2B_MSIL2A_202008 24T153619_N0500_R0 68_T17MQV_2023040 7T100311.SAFE	2020-08-24	15:36:19	Sentinel-2	11.272534
S2A_MSIL2A_202107 05T153621_N0500_R0 68_T17MQV_2023011 9T154001.SAFE	2021-07-05	15:36:21	Sentinel-2	16.540493
S2B_MSIL2A_202209 13T153619_N0510_R0 68_T17MQV_2024073 1T161858.SAFE	2022-09-13	15:36:19	Sentinel-2	26.30457
S2B_MSIL2A_202309 08T153619_N0510_R0 68_T17MQV_2024110 4T110413.SAFE	2023-09-08	15:36:19	Sentinel-2	26.666823
S2B_MSIL2A_202411 11T153619_N0511_R0 68_T17MQV_2024111 1T193447.SAFE	2024-11-11	15:36:19	Sentinel-2	7.033248

Nota. Imágenes descargas del portal Copernicus Browser. Elaborado por: Erik (2026)

11.9. Procesamiento de las imágenes satelitales

11.9.1. Corrección atmosférica

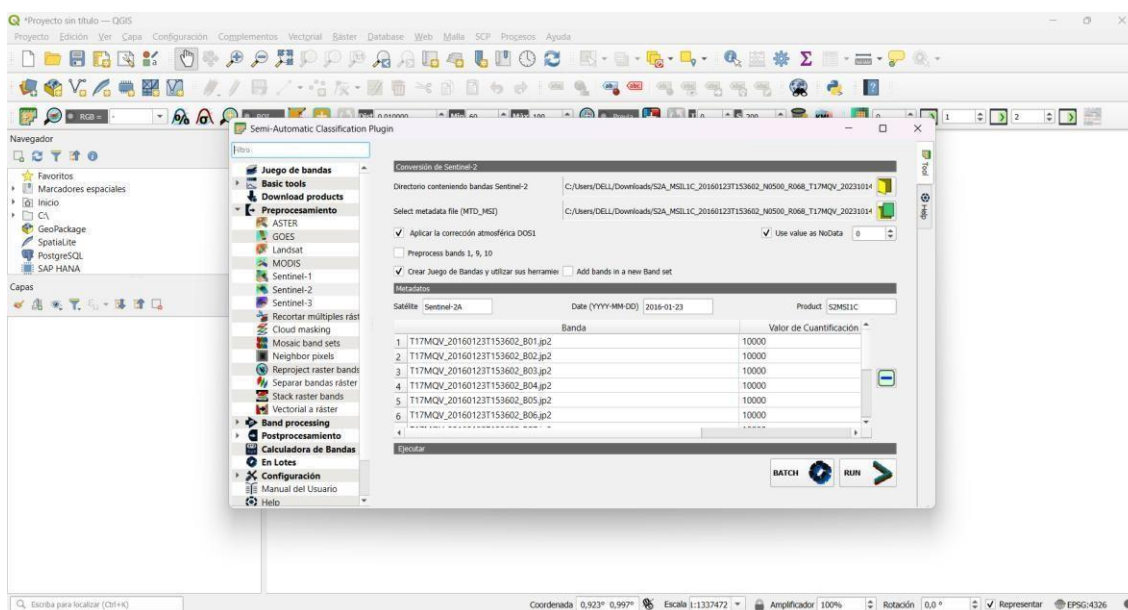
Según Aguilar (2015) menciona que la corrección atmosférica es un procedimiento, el cual, se utiliza para las imágenes digitales para suprimir la radiación y todo el impacto de los aerosoles que entran debido a los sensores y aparecen reflejados en las capturas que se capturan

Bajo este contexto, el propósito principal para llevar a cabo la corrección atmosférica se realizó mediante el procesador QGIS donde se instaló un componente llamado Semi-Automatic Classification Plugin. Lo cual esta herramienta permitió obtener valores de respuesta espectral libre correspondientes al área de interés. Este procedimiento fue esencial, sin embargo, posibilito realizar una comparación coherente entre las imágenes con diferentes fechas. Además, esta forma de evaluación precisa o multitemporal de la cobertura terrestre presente en el sector de Joseguango Alto en el periodo de análisis.

La corrección atmosférica del método de transferencia radiactiva implica simular la relación entre los parámetros atmosféricos de la sincronización satelital y la reflectividad real de la superficie mediante la simulación del proceso de transmisión de radiación entre el sensor remota atmosférico - superficial (*Corrección atmosférica: una visión general | Temas de ScienceDirect*, s. f.)

Figura 7

Correlación atmosférica de las imágenes Sentinel - 2



Nota. Se realizó la corrección atmosférica de cada imagen descargada. Elaborado por: Erik (2026).

11.9.2 Coberturas establecidas

Considerando la información presentada, se ejecutó una categorización de la cobertura vegetal tipo 1, conforme a la leyenda nacional de cobertura y uso de la tierra del Ecuador, entre los años 2009 y 2015, que fueron desarrolladas por el (MAATE), sin embargo, esta metodología hizo posible identificar y clasificar las diferentes de uso de suelo, lo que permitió una interpretación de manera minuciosa de todos los cambios de la cobertura vegetal en la zona. Además, la tipología fue elaborada con base a la información disponible para el lugar de investigación, utilizando una escala de 1:25.000.

Tabla 5

Caracterización de la cobertura vegetal

Leyenda de cobertura y uso de la tierra en escala 1:25:000		
Nivel	Claes	Código
NIVEL 1	Tierras herbáceas	1
	Tierras arbustivas	2
	Tierras agropecuarias	3
	Suelos sin cobertura	4
	Zonas antrópicas	5

Nota. La tabla muestra la cobertura de la leyenda vegetal. Tomado de MAGAP (2015).

11.10. Procedimientos de datos

11.10.1 Datos para el procedimiento de las imágenes

Considerando la información previa, la prioridad de definir con precisión cual es el área de estudio o mejora de la eficiencia en los procedimientos de todas las imágenes satelitales ‘‘Sentinel- 2’’, lo cual, se efectuó de manera precisa el recorte de los datos, mediante la herramienta de software ArcGIS. Además, en una etapa inicial se integraron las imágenes anteriormente sometidas a corrección atmosférica conjuntamente con la capa Shapefile haciendo énfasis al análisis. Asimismo, se añadieron diferentes puntos de referencia geoespacial que permiten comprobar con exactitud del posicionamiento espacial de la información.

Después, se utilizaron herramientas para elegir los datos de entrada para vectorial de la zona y las bandas espectrales que fueron recogidas, las cuales, fueron accesibles en todo el entorno del geoprocesamiento. Además, estos puntos establecieron los parámetros requeridos para mantener la resolución original de las imágenes con sus coordenadas pertinente, asegurando la estabilidad de los datos, sin embargo, esto permitió reducir la cantidad y mejorar

la eficiencia del software y hacer más sencillo el análisis orientado a determinar la cobertura terrestre.

11.10.2. Combinación de bandas

Luego de completar los procesos de todas las imágenes Sentinel -2 de los años que fueron estudiados desde el 2016 al 2024 mediante la herramienta de software ArcGIS. Además, se generó una composición de RGB (Rojo, Verde, Azul) esta composición cuenta de tres bandas, las bandas agrupadas general el color natural, utilizado los grupos como; red banda 4, Green banda 3 y blue banda 2.

Por consiguiente, para obtener el índice NDVI se utilizó la combinación de bandas la B8A y B4 ya que se utilizó imágenes Sentinel. Para realizar el cálculo se necesita de dichas bandas.

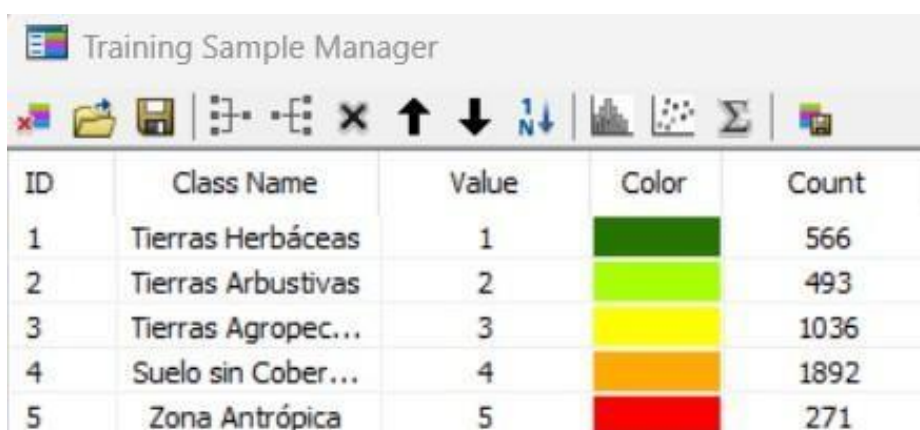
Permitiendo así generar una interpretación natural del suelo, sin embargo, esta herramienta fue de gran utilidad para realizar todos los análisis pertinentes de la visualización de los cambios de espacio-temporales que se dieron entre los años 2016 a 2024 del sector se Joseguango Alto.

11.10.3 Clasificación supervisada

Según Maturano et al., (2024) menciona que el análisis concreto de todas las imágenes de teledetección se utiliza en gran medida mediante una clasificación supervisada como método para otorgar etiquetas a los píxeles, basándose, e las cualidades espectrales.

Figura 8

Clasificación supervisada



ID	Class Name	Value	Color	Count
1	Tierras Herbáceas	1	Dark Green	566
2	Tierras Arbustivas	2	Light Green	493
3	Tierras Agropec...	3	Yellow	1036
4	Suelo sin Cober...	4	Orange	1892
5	Zona Antrópica	5	Red	271

Nota. Clasificación supervisada mediante instrumentos de clasificación. Elaborado por: Erik (2026).

Por consiguiente, la metodología fue aplicada en el software con la creación de creación de un SHP (shapefile) de puntos para a continuación ir categorizando los 5 niveles de cobertura.

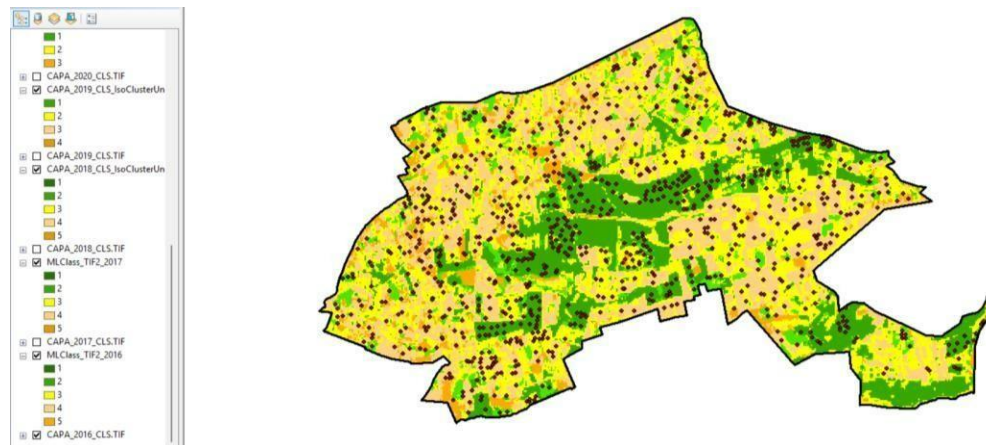
Además, de realizo mediante la herramienta maximum likelihood classification, la cual, ejecuta asignando los tipos determinados de pixel a las imágenes procesadas. Este proceso tenía el fin de organizar al software para la diferenciación de las clases de superficies, tales como;

- Tierra herbácea,
- Tierra arbustiva
- Tierras agropecuarias,

Una vez realizado la definición de las muestras, se procedió a otorgar un color y brillo, lo cual toca clasificarlas a todas según sus características definidas.

Figura 9

Clasificación supervisada



Nota: Elaboración de clasificación supervisada por categoría. Elaborado por: Erik (2026).

11.10.4. Matriz de confusión

Para llevar a cabo, dicho procedimiento se realizó una matriz mediante la incorporación de una nueva capa vectorial de punto. la cual permitió generar ubicaciones de muestreo empleadas en la evaluación con exactitud en el proceso de la clasificación supervisada

Bajo esta óptica, se asignó 400 puntos por cada tipo de vegetación, por lo cual, transformamos los puntos a ráster utilizando la herramienta de Point Ranster, sin embargo, se creó la matriz para todos los años a estudiar, considerando las discrepancias entre las coordenadas y la clasificación para determinar cuan confiable es esta última o cuáles son sus diferencias.

Tabla 6

Matriz de confusión

Tipo	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase n	Total
------	---------	---------	---------	---------	-------

1	x_{11}				
2	x_{22}				
Tipo	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase n	Total
3	x_{33}				
N	x_{nn}				
Total					

Nota. La tabla muestra la matriz de confusión. Tomado de (Abraira, 2015).

11.10.5. Índice de kappa

Desde el punto de vista Zeas (s.f) menciona que el índice de kappa distingue la concordancia decidida únicamente al azar; asignando principalmente un valor que representa la máxima o mínima concordancia posible para la efectiva estadística marginal, sin embargo, para el cálculo se utiliza la siguiente fórmula:

$$K = \frac{P\sigma - P_e}{1 - p_e}$$

Donde (P_e) quiere decir que es la proporción de convenios actualizados cuando se asume precipitación entre los observadores mientras que (P_o) son los valores que puede adoptar todo el coeficiente Kappa están en el rango promedio entre -1 a +1.

Tabla 7

Valor del índice de kappa

Índice de kappa	Grado de concordancia
0.00	No acuerdo
0.00-0.20	Insignificante
0.21-0.40	Bajo
0.41-0.60	Moderado
0.61-0.80	Bueno
0.81-1.00	Casi Perfecto

Nota. La tabla muestra la matriz Kappa. Tomado de Granja y Rivera (2024).

11.10.6. Matriz de transición

Para evaluar los cambios de usos y cobertura ocurridos entre los años 2016 a 2024 del sector de Joseguango Alto se validó la matriz pontius, que también se conocen como transición, sin embargo, evalúa la pérdida, las ganancias o el cambio total, así como cada persistencia de

las coberturas de uso (Pontius et al., 2004). De esta manera se puede determinar la cobertura que ha experimentado transformaciones más significativas en el campo.

Para Armando & Suares (2026) la estructura predetermina toda la matriz para la transición de se da a conocer en toda la tabla 7, la cual, permite incluir entradas de tiempo. El tiempo uno y el tiempo dos aquí se representan los valores de área correspondiente para cada categoría de uso y cobertura del suelo.

Tabla 8

Matriz de transición

Matriz de transición del periodo de estudio	Año 2			Suma Total (Pi+)	Perdida 1 (Li)
	1	2	3		
1	P11	P12	P13	P1+	P1+-P11
2	P21	P22	P23	P2+	P2+-P22
3	P31	P32	P33	P3+	P3+-P33
Año 1	Suma	P+1	P+2	P+3	1
	Total	2			
	(P+j)				
	Ganancias	P+1-P11	P+2-P22	P+3-P33	
	(Pj)				

Nota. La tabla muestra la matriz de transición para sus pérdidas o ganancias. Tomado de Nicolas & Efain (2026)

Bajo este contexto, para realizar el cálculo de todas las ganancias de cobertura se necesita tomar la diferencia entre el área o un tipo de clase (j) de todo el segundo año que es (p+j) y tomar por último la persistencia que está en la tabla de la diagonal de la matriz, la cual, es (pjj).

$$G_j = (P + j) - (P_{jj})$$

Por consiguiente, para calcular las pérdidas (Lij) se toma la diferencia de toda el área total de tipo i con cobertura (i), el cual, pertenece al primer año (pi+)

$$(P_{jj}), L_i = (P_i+) - (P_{ij})$$

11.10.7. Cálculo de cambio para la cobertura vegetal

Por consiguiente, para calcular la relación del cambio de la cobertura vegetal es importante realizar una resta que conlleve el área y el porcentaje de todo el primer año con el

presente, lo cual, el resultado es el porcentaje será el cambio de cobertura entre los dos años que se utilizó. Además, si la superficie y la tasa de cambio (t) son mayores de 0, se produce un incremento, por otro lado, el resultado de la resta llega a ser de manera negativa esto indica una reducción de la vegetación.

Tabla 9

Matriz para el cálculo de la cobertura vegetal

Clase	Año 1		Año 2		Superficie y tasa anual de cambio (t)	
	Ha	%	Ha	%	Ha	TAC
1.Tierra herbácea	a1		b1		a1-b1	%
2.Tierra arbustiva	a2		b2		a2-b2	%
3.Tierra agropecuaria	a3		b3		a3-b3	%
4.Suelo sin cobertura	a4		b4		a4-b4	%
5.Zona antrópica	a5		b5		a5-b5	%
Área total						

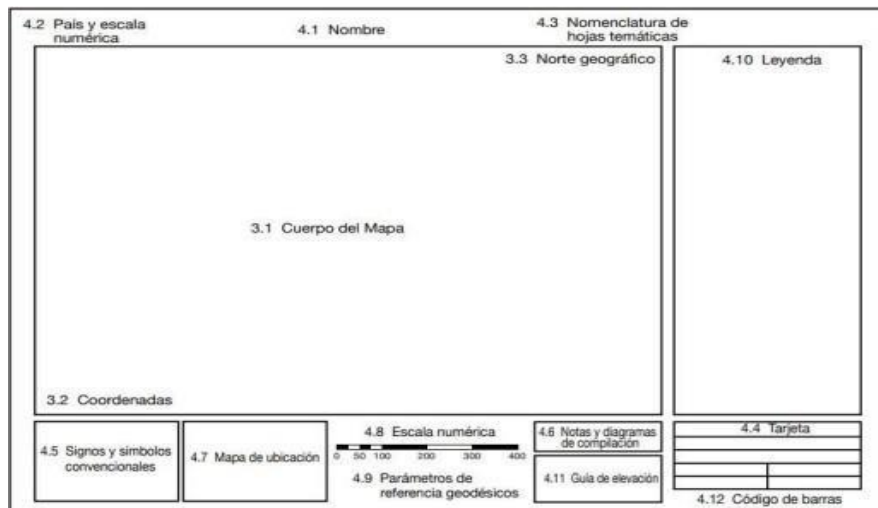
Nota. La tabla muestra la matriz para poder calcular la cobertura. Elaborado por: Erik (2026).

11.10.8 Elaboración de mapas cartográficos

Para la elaboración de los mapas cartográficos relacionados con el uso y cambio de la cobertura de la zona, sin embargo, se utilizó la plataforma ArcGIS. Además, se implementó los lineamientos que aplica “Estándares de Información Geográfica” lo que nos facilita la creación y cumplimiento de requisitos para la comprensión y poder compartirlos con la sociedad.

Figura 10

Estándares geográficos



Nota. La figura muestra los estándares definidos, los cuales, se utilizan para realizar mapas. Tomado de Morales (2022).

Esta guía cuenta con los elementos y partes de un mapa cuales son las siguientes.

- Localización
- Puntos de coordenadas
- El norte geográfico
- Escala numérica
- La tarjeta membrete
- El mapa de localización
- Inscripción

12. COMPROBACIÓN DE LA PREGUNTA CIENTIFICA

Bajo este contexto, el análisis de comprobación multitemporal de cobertura del suelo en la zona de Joseguango Alto, parroquia Mulaló, entre los años 2016 – 2024 evidencia un proceso territorial de transformación progresiva también caracterizada por procesos alternativos de expansión. Identificado mediante el análisis espacio temporal se empleó el método NDVI para determinar la condición de la cobertura vegetal, así como los métodos para la interpretación de las imágenes satelitales.

Los valores obtenidos muestran tendencias de procesos alternados de expansión agropecuaria a la vez incremento territorio sin cobertura vegetal y el deterioro de coberturas vegetales nativas a lo largo del periodo. El comportamiento señala que la presión antrópica y las prácticas agrícolas de gran magnitud son factores que conllevan a la transformación del territorio.

Las transformaciones se encuentran relacionadas con factores socioeconómicos de la mano del crecimiento poblacional después de todo se identifican fluctuaciones importantes no obstante incluyendo recuperación temporal de las coberturas herbáceas y arbustivas de hecho seguiré procesos de regeneración secundaria o cambios de manejo del suelo, según el método ndvi refleja procesos de sucesión ecológica temprana. Algunos factores según la recolección de datos las variaciones se pueden dar por condiciones climáticas, así como factores humanos que mantienen una actividad positiva con la cobertura vegetal del territorio.

La intensificación de la antropización de hecho refleja un aumento en zonas intervenidas y en suelos degradados por otra parte estas interacciones indican la expansión humana y agrícola que modifican espacios y reducen cobertura vegetal. No obstante, dichas recuperaciones no se consolidan de manera sostenida en el lapso de tiempo.

13. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Bajo este criterio, se fundamentan la metodología que se aplicó en la investigación, fundamentalmente en todo el proceso de las imágenes satelitales multitemporales y herramientas SIG, que ayudaron a la obtención de datos para clasificar todo el cambio de la cobertura del suelo de la zona de Joseguango Alto, mediante el periodo establecido del 2016 a 2024. Se priorizo métodos para identificar de mejor manera las áreas de pérdidas y también ganancias para la superficie del suelo.

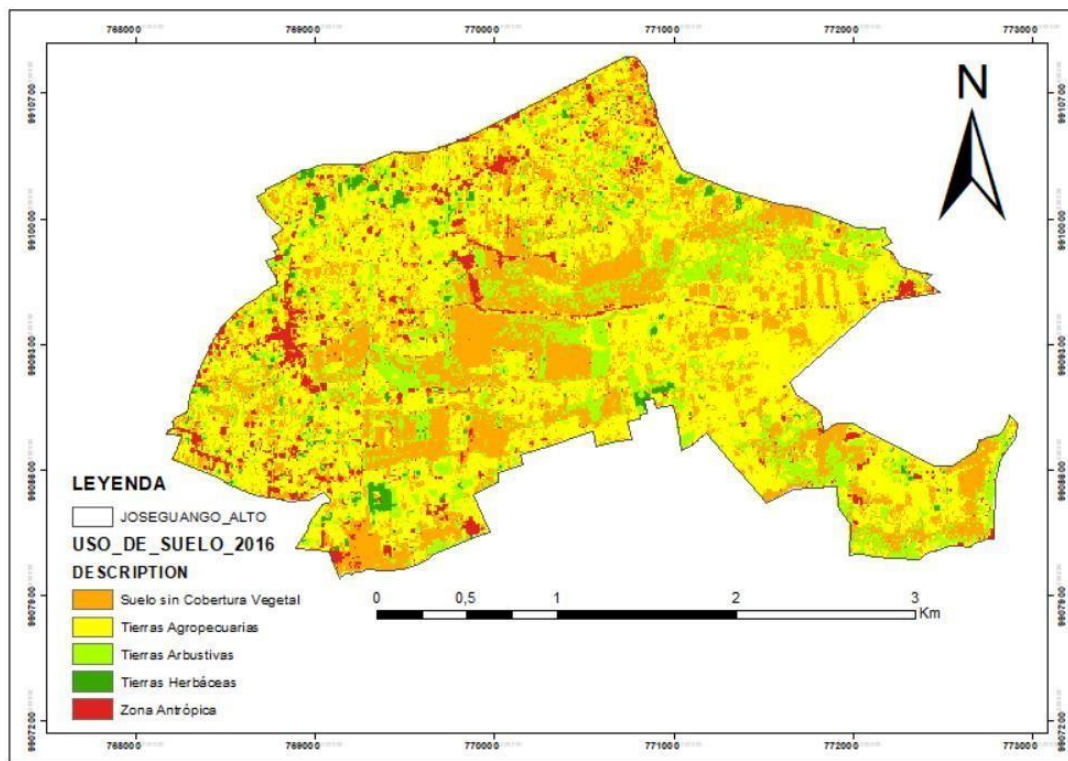
13.1. Análisis del espacio temporal del cambio de uso de suelo

13.1.1. Clasificación del cambio de uso de suelo 2016

Ante esta realidad, dentro del margen de este estudio se reconocieron 5 tipos de cobertura como; la tierra herbácea, la zona antrópica seguido de la tierra agropecuaria y diferentes suelos de cobertura vegetal. Además, esta categorización se definió como base de los datos, los cuales fueron extraídos del estudio de uso de tierra, contribuyendo principalmente a la caracterización detalla y una mejor interpretación en el campo que será estudiado.

Figura 11

Mapa de suelo del año 2016



Nota. Interpretación del uso de suelo del año 2016. Elaborado por: Erik (2026)

Se muestra que, en el año 2016 el uso del suelo está distribuida en las 5 clases establecidas principalmente, según el procesamiento e interacción con las imágenes satelitales

y clasificación supervisada. El sector Joseguango Alto con una superficie constante de 708.64 ha. En este año la clase predominante fue tierras agropecuarias con el 44,92% lo que equivale a 318.25 ha, dejando como evidencia que existe una gran demanda de actividades productivas. El suelo sin cobertura vegetal presenta un 30,36 % lo que equivale 215.11 ha, reflejando la degradación del suelo o suelos expuestos. Por otra parte, las tierras arbustivas alcanzan el 17,07 % del territorio lo que equivale en hectáreas a 121.01 ha. La zona antrópica ocupa el 5,76 % lo que equivale 40.82 ha. La tierra herbácea tiene 1,90 % ocupando el 13.45 ha de la extensión del territorio dando a conocer remanentes de cobertura natural, aunque con poca densidad ya fragmentados. Esta interpretación nos muestra que predomina las tierras agropecuarias y con signos de transformación del paisaje nativo.

Tabla 10

Hectáreas de clasificación de uso de suelo del año 2016

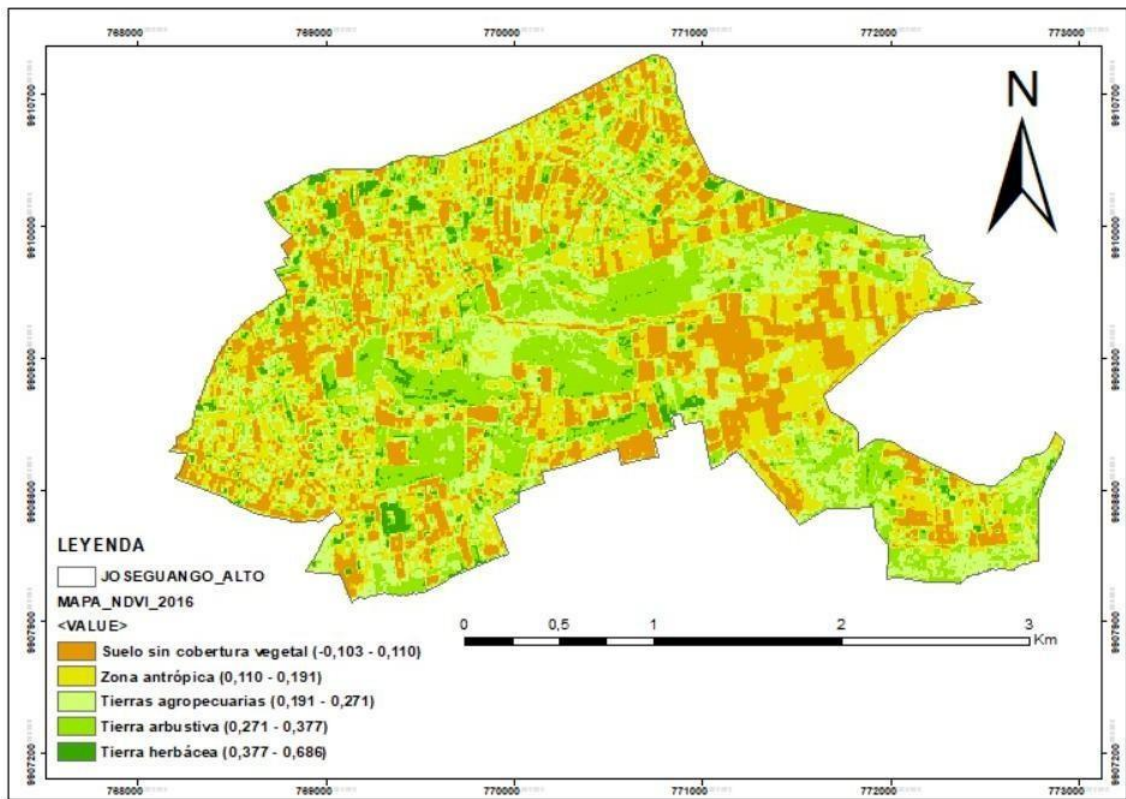
Are de clasificación			
	Clasificación	Área (Ha)	%
1	Tierra Herbácea	13.45	1,90
2	Tierra Arbustiva	121.01	17,07
3	Tierra Agropecuaria	318.25	44,92
4	Suelo sin cobertura vegetal	215.11	30,36
5	Zona antrópica	40.82	5,76
	Total	708.64	100

Nota. Superficie total del sector Joseguango Alto año 2016. Elaborado por: Erik (2026).

La distribución espacial de las coberturas de uso de suelo en 2016 evidencia que el área de estudio se encontraba, es una fase avanzada de transformación. El predominio de las tierras Agropecuarias confirma que los procesos de ocupación humana y desarrollo territorial no son recientes, sino el resultado de una dinámica histórica acumulativa. Según (Emilio Chuvieco, 2020) el dominio de las tierras agropecuarias ratifica que el desarrollo humano y expansión territorial no son recientes, sino ya consecuencia dinámica histórica. Mencionando así que esta transformación es la principal para el deterioro del paisaje natural de los territorios rurales.

Figura 12

Mapa de la vegetación normalizada (NDVI) del 2016



Nota. La figura muestra la cobertura vegetal interpretada por el método (NDVI). *Elaborado por:* Erik (2026)

Bajo esta óptica, el mapa indica el índice de la vegetación normalizada, la cual, corresponde al año del 2016, sin embargo, los valores obtenidos van desde el -0.103 a $0,686$ lo que indica la presencia de varias superficies sin cobertura de manera densa

Tabla 11

Índice de vegetación normalizada (NDVI) del año 2016

Periodo 2016	
Clase de cobertura	Rango NDVI
Suelo sin cobertura vegetal	-0.103 – 0.110
Zona antrópica	0.110 – 0.191
Tierras agropecuarias	0.191 – 0.271
Tierra arbustiva	0.271 – 0.377

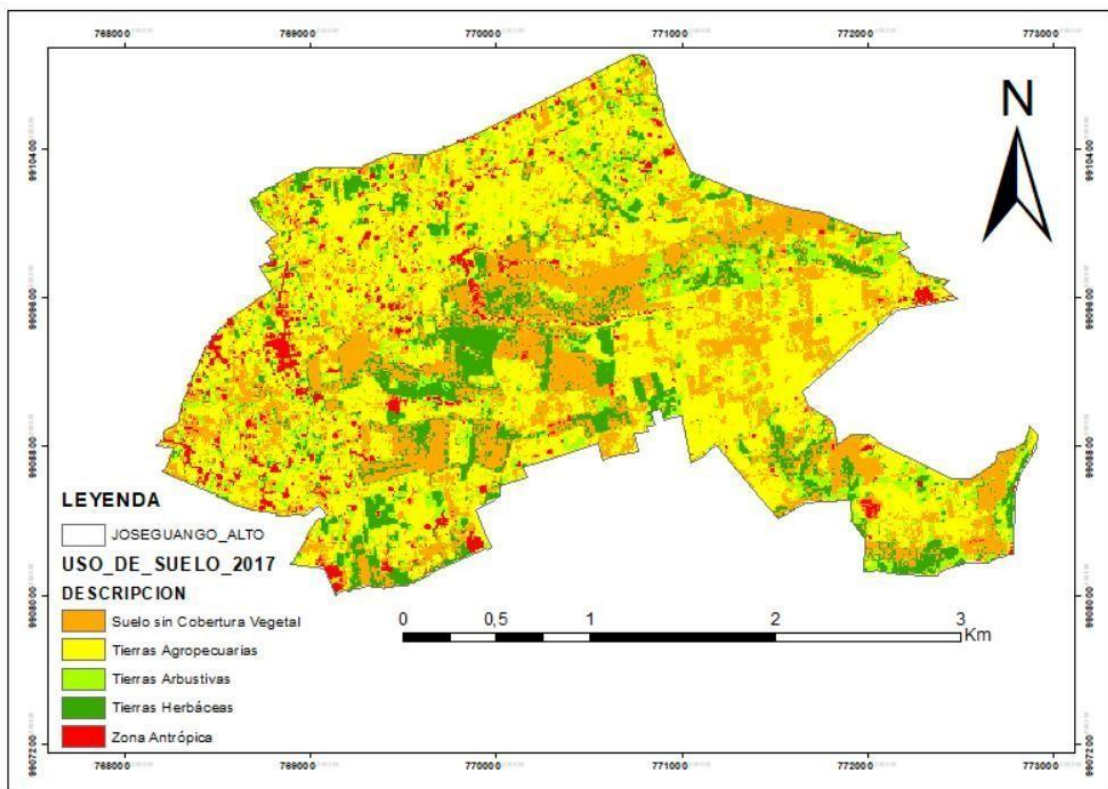
Nota. Valores de (NDVI) del año 2016. Elaborado por: Erik (2026)

13.1.2. Clasificación de cambio de uso de suelo 2017

Para este año 2017, evidencia modificaciones espaciales relevantes, los resultados reflejan una dinámica territorial activa.

Figura 13

Mapa de uso de suelo del año 2017



Nota. Interpretación del uso de suelo del año 2017. Elaborado por: Erik (2026)

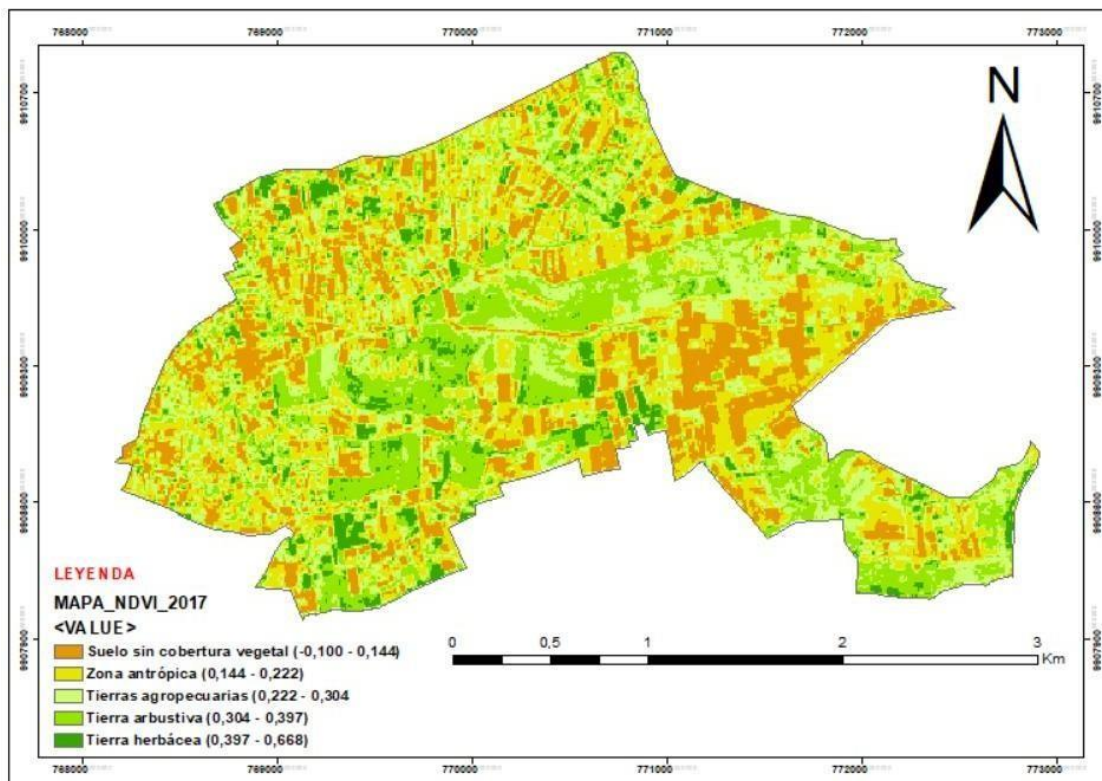
Este año se observó que las tierras agropecuarias con 41,39 % es la clase predominante con 293.29 ha, seguidas por los suelos sin cobertura vegetal registrando 200.79 ha (28,34 %), teniendo un contante de suelos expuestos. La tierra arbustiva, con 95.17 ha (13,43%) menora una participación dentro del territorio, indicando un leve desequilibrio en la perdida de vegetación. Las tierras herbáceas alcanzan un 12,23 % lo que equivale 86.69 ha del territorio, finalmente la zona antrópica presento un 4,61% equivalente a 32.70 lo que significa una ocupación urbana relativa dentro del territorio de estudio.

Tabla 12*Hectáreas (ha) del uso de suelo del año 2017*

		Área clasificada	
	Clasificación	Área (ha)	%
1	Tierra Herbácea	86.69	12,23
2	Tierra Arbustiva	95.17	13,42
3	Tierra Agropecuaria	293.29	41,39
4	Suelo sin cobertura vegetal	200.79	28,34
5	Zona antrópica	32.70	4,61
Total		70.864	100

Nota. Superficie total del sector Joseguango Alto año 2017, Elaborado por: Erik (2026).

El incremento conjunto de la tierra agropecuarias evidencia un proceso en el área de estudio. Los suelos sin cobertura vegetal de igual forma ganaron espacio en el territorio. Las tierras arbustivas y tierras herbáceas tuvieron un comportamiento en consistente en el uso de suelo, finalmente la zona antrópica no presento cambios drásticos.

Figura 14*Mapa de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) de año 2017*

Nota: Cobertura vegetal interpretada por el método (NDVI). *Elaborado por:* Erik (2026)
 Por consiguiente, la figura del mapa da a conocer el índice de la vegetación de la diferencia normalizada, la cual, corresponde al año 2017 representa una heterogeneidad espacial en la cobertura vegetal del territorio estudio. Los resultados oscilan entre -0,100 y 0,668 lo que nos da a entender que existe presencia de superficies sin cobertura vegetal hasta zonas con vegetación densa.

Tabla 13

Índice de la vegetación de diferencia (NDVI) del periodo del 2017

Periodo 2017	
Clase de cobertura	Rango NDVI
Suelo sin cobertura vegetal	-0.100 – 0.144
Zona antrópica	0.144 – 0.222
Tierras agropecuarias	0.222 – 0.304
Tierra arbustiva	0.304 – 0.397
Tierra herbácea	0.397 – 0.668

Nota. Valores de (NDVI) del año 2017. *Elaborado por:* Erik (2026).

Tabla 14

Cambio de uso de suelo del año 2016 al 2017

Clases	2016		2017		Diferencia (ha)	Diferencia (%)
	Área (ha)	%	Área (ha)	%		
1. Tierra herbácea	13.45	1,90	86.69	12,23	73.24	10.33
2. Tierra arbustiva	121.01	17,07	95.17	13,42	-25.84	-3.65
3. Tierra agropecuaria	318.25	44,92	293.29	41,39	-24.96	-3.53
4. Suelo sin cobertura vegetal	215.11	30,36	200.79	28,34	-14.32	-2.02
5. Zona antrópica	40.82	5,76	32.70	4,61	-8.12	-1.15
Total	708.64	100	708.64	100		

Nota. La tabla muestra las áreas del uso del suelo. *Elaborado por:* Erik (2026).

La comparación de los resultados de uso de suelo entre los años 2016 y 2017 evidencia modificaciones cuantificables de toda la distribución de coberturas, sin embargo, la superficie final de la zona de estudio se mantiene constante en 708.64 ha. Estas variaciones permiten identificar procesos de ganancia, pérdida y cambio neto, fundamentales para comprender la dinámica territorial del periodo analizado.

Entre 2016 y 2017, la tierra herbácea incrementó su superficie de 13.45 ha a 86.69 ha, lo que representa una ganancia de 73.24 ha, reflejando un aumento significativo de la cobertura vegetal. De manera similar, la tierra agropecuaria pasó de 318.25 ha a 293.29 ha, registrando una pérdida neta de -24.96 ha, lo que indica una disminución del uso productivo del suelo.

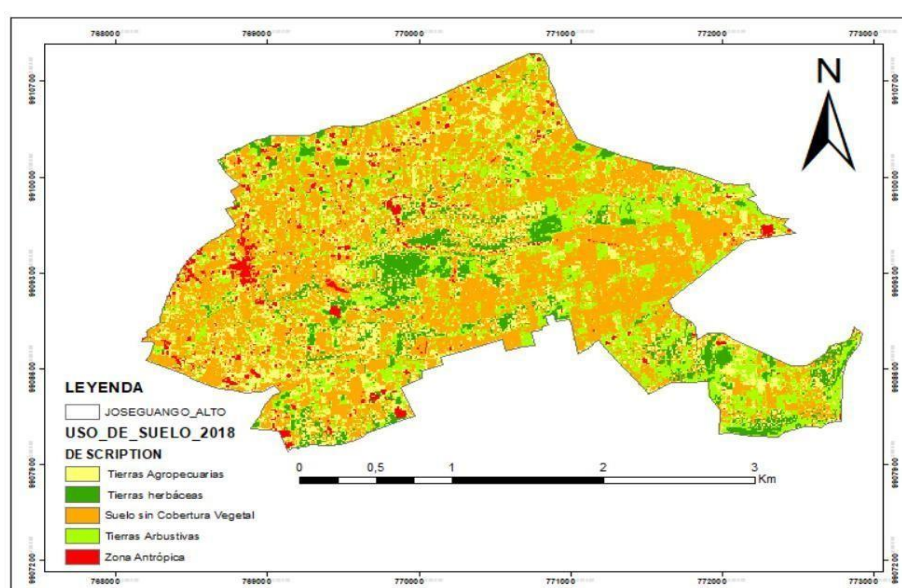
La tierra arbustiva también presentó una pérdida moderada de 121.01 ha a 95.17 ha, con una pérdida de -25.84 ha. También, el suelo sin cobertura vegetal experimentó una reducción considerable, pasando de 215.11 ha en 2016 a 200.79 ha en 2017, lo que equivale a una pérdida neta de -14.32 ha. De igual forma, la zona antrópica disminuyó de 40.82 ha a 32.70 ha, registrando una pérdida de -8.12 ha.

13.1.3. Clasificación de cambio de uso de suelo 2018

Desde esta perspectiva, el uso de suelo correspondiente al año 2018 evidencia un cambio significativo en la configuración espacial del territorio, respecto a los años previos. La distribución de las coberturas refleja un incremento marcado de la intervención antrópica, acompañado por una reducción de coberturas vegetales y productivas.

Figura 15

Mapa de uso de suelo del año 2018



Nota. Interpretación del uso del suelo del año 2018. Elaborado por: Erik (2026).

El suelo sin cobertura vegetal se consolida como la cobertura dominante, alcanzando 330.31 ha, lo que representa aproximadamente el 46,61 % del área total. Estos datos demuestran una expansión de áreas con suelos expuestos, involucrados con la remoción de cobertura vegetal. De forma simultánea, las tierras arbustivas registran 146.28 ha (20,64%), evidenciando un aumento considerable en comparación con 2017.

Las coberturas asociadas a vegetación y uso productivo muestran una tendencia regresiva. La tierra agropecuaria disminuye 142.07 ha (20,05 %), mientras que la tierra herbácea se reduce a 66.35 ha (9,36 %). La zona antrópica, con apenas 23.63 ha (3,33 %), alcanza su valor más bajo del periodo analizado hasta este año.

Tabla 15

Aras (ha) de clasificación del uso de suelo del año 2018

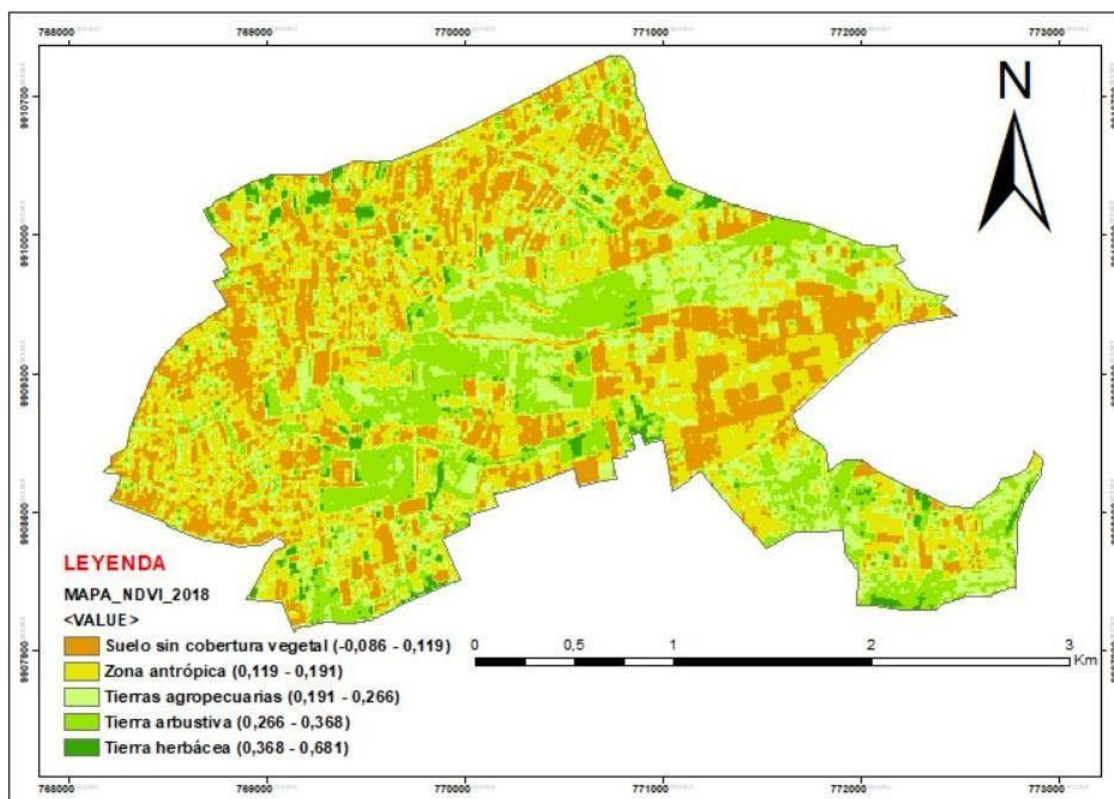
Area clasificada			
	Clasificación	Área (Ha)	%
1	Tierra Herbácea	66.35	9,36
2	Tierra Arbustiva	146.28	20,64
3	Tierra Agropecuaria	142.07	20,05
4	Suelo sin cobertura vegetal	330.31	46,61
5	Zona antrópica	23.63	3,33
	Total	708.64	100

Nota. La tabla muestra la superficie del sector Joseguango del año 2018. Elaborado por: Erik (2026).

Desde una perspectiva sistémica, el año 2018 representa un punto de inflexión negativo en la dinámica del uso de suelo, caracterizado por la expansión simultánea, evidencia un aumento sustancial de la presión humana sobre el territorio. Señala (Geist, 2021) que el uso del suelo se está caracterizando por una expansión a si a el suelo sin cobertura vegetal, lo que da a entender que la presión humana está generando áreas de degradación y al mismo tiempo suelos expuestos.

Figura 16

Mapa de vegetación normalizada (NDVI) del año 2018



Nota: Cobertura vegetal interpretada por el método (NDVI). *Elaborado por:* Erik (2026)

Bajo este contexto, la figura del mapa muestra el índice de cómo se encuentra la vegetación del año 2018 permitió conocer, principalmente el área de estudio. Los resultados obtenidos van entre -0.086 y 0.681, lo que representa la cobertura de las diferentes superficies existentes en la zona.

Tabla 16

Índice de vegetación de diferencia normalizada del año 2018

Periodo 2018	
Clase de cobertura	Rango NDVI
Suelo sin cobertura vegetal	-0.086 – 0.119
Zona antrópica	0.119 – 0.191
Tierras agropecuarias	0.191 – 0.266
Tierra arbustiva	0.266 – 0.368
Tierra herbácea	0.368 – 0.681

Nota. valores de (NDVI) del año 2018. *Elaborado por:* Erik (2026)

13.1.4. Clasificación de cambio de uso de suelo 2019

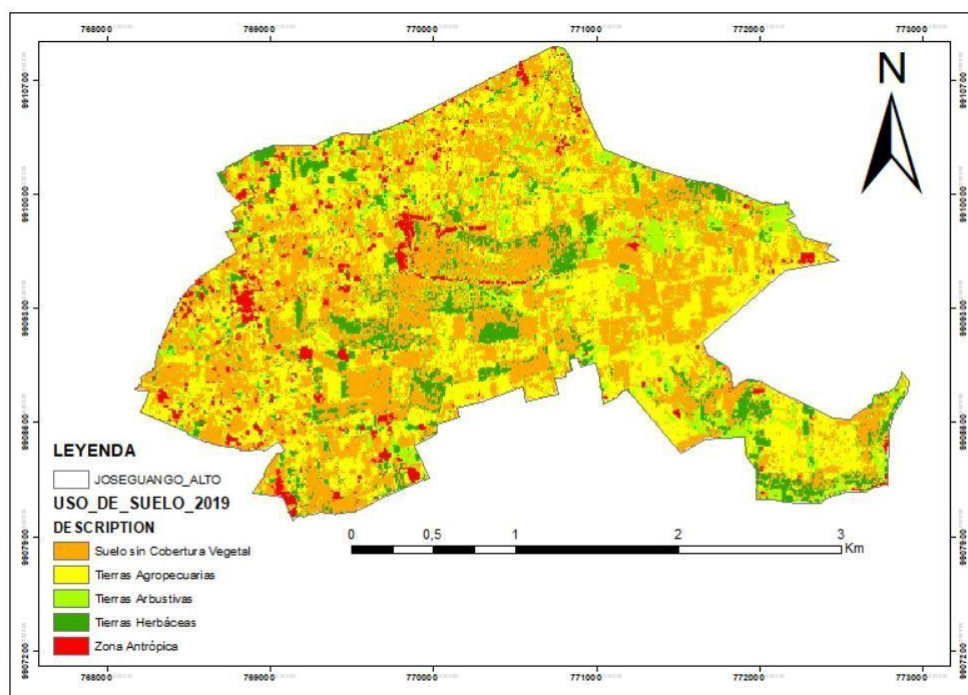
El análisis correspondiente al año 2019 evidencia la continuidad y profundización de los procesos de cambio observados en 2018, consolidando una tendencia de mayor intervención antrópica del territorio y una reducción progresiva de las coberturas vegetales y productivas.

El suelo sin cobertura vegetal alcanza 300.43 ha, representando aproximadamente el 42,39% del área total, lo que la posiciona como la cobertura dominante del paisaje, lo que indica que grandes superficies se encuentran expuestas

Las tierras agropecuarias mantienen valores elevados con 225.59 ha (31,83 %), las tierras arbustivas registran 84.59 ha (11,94%). Las tierras herbáceas, con 67.20 ha (9,48%) representan una participación mínima en el área de estudio. La zona antrópica alcanzo 30.83 ha (4,35%) este resultado confirma el incremento de expansión de áreas de infraestructura y artificiales.

Figura 17

Mapa de uso suelo del año 2019



Nota: Interpretación del suelo del año 2019. Elaborado por: Erik (2026).

En el año 2019 se evidencio tendencias de degradación de la cobertura vegetal, dada por el desplazamiento del suelo sin cobertura vegetal, incrementando así la presión antrópica. La reducción de coberturas refleja una transición del paisaje estas trasformaciones afectan directamente al área de estudio.

Tabla 17

Área de hectáreas (ha) de clasificación del uso de suelo del año 2019.

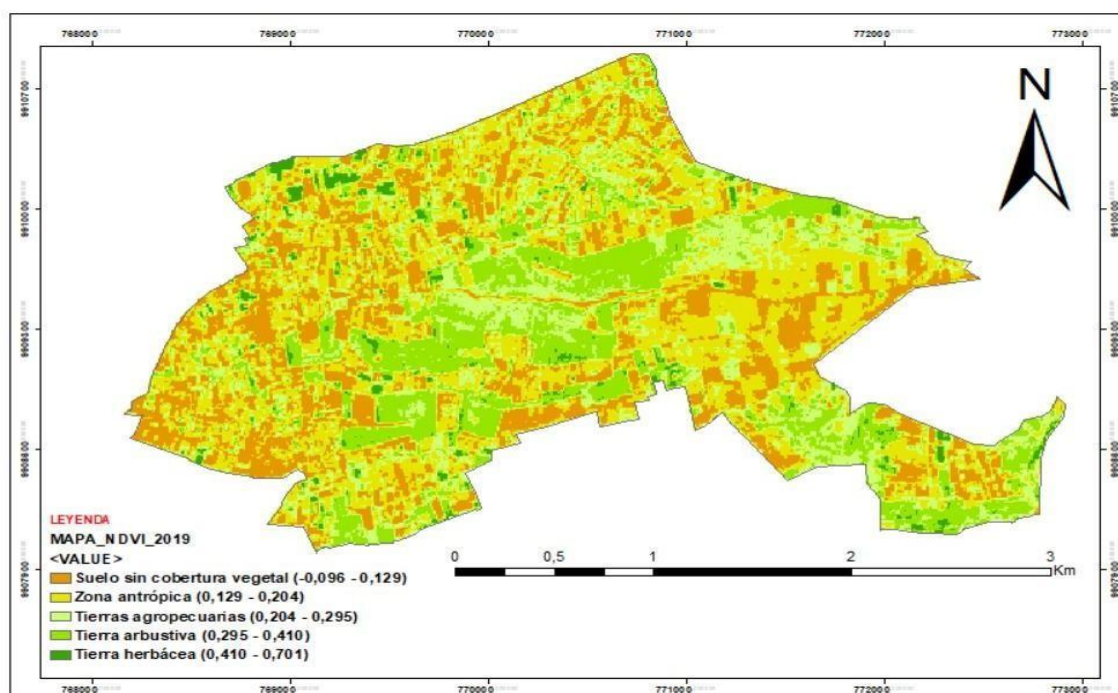
Área clasificada			
	Clasificación	Área (Ha)	%
1	Tierra Herbácea	67.20	9,48
2	Tierra Arbustiva	84.59	11,94
3	Tierra Agropecuaria	225.59	31,83
4	Suelo sin cobertura vegetal	300.43	42,39
5	Zona antrópica	30.83	4,35
Total		708.64	100

Nota. Superficie total del sector Joseguango Alto año 2019. Elaborado por: Erik (2026).

El crecimiento continuo de la zona antrópica entre 2018 y 2019 evidencia que el territorio ha ingresado en una etapa avanzada de ocupación humana, propia de procesos de expansión urbana poco planificados.

Figura 18

Mapa del índice de vegetación normalizada del año 2019



Nota: Cobertura vegetal interpretada por el método (NDVI). Elaborado por: Erik (2026)

El mapa del año 2019 realizado evidencia valores de entre -0.096 y 0.701 lo que indica la presencia de superficies sin vegetación como superficies con vegetación densa.

Tabla 18*Índice de vegetación normalizada del año 2019*

Periodo 2019	
Clase de cobertura	Rango NDVI
Suelo sin cobertura vegetal	-0.096 – 0.129
Zona antrópica	0.129 – 0.204
Tierras agropecuarias	0.204 – 0.295
Tierra arbustiva	0.295 – 0.410
Tierra herbácea	0.410 – 0.701

Nota. Valores de (NDVI) del año 2019. Elaborado por: Erik (2026).

Tabla 19*Dinámica de cambio del suelo del año 2018 al 2019*

Clases	<u>2018</u>		<u>2019</u>		Diferencia (ha)	Diferencia (%)
	Área (ha)	%	Área (ha)	%		
1. Tierra herbácea	66.35	9,36	67.20	9,48	0.85	0,12
2. Tierra arbustiva	146.28	20,64	84.59	11,94	-61.69	-8.7
3. Tierra agropecuaria	142.07	20,05	225.59	31,83	83.52	11.78
4. Suelo sin cobertura vegetal	330.31	46,61	300.43	42,39	-29.88	-4.22
5. Zona antrópica	23.63	3,33	30.83	4,35	7.2	1.02
Total	708.64	100	708.64	100		

Nota. La figura muestra el área de todo el suelo. Elaborado por: Erik (2026).

Bajo este contexto, la comparación de suelos entre los años 2018 y 2019 demuestran que el territorio mantiene una tendencia de intensificación en tierras agropecuarias, acompañada por ajustes marginales en las coberturas vegetales y productivas, sin que se produzcan procesos significativos de recuperación ambiental.

En términos generales, las tierras agropecuarias incremento su superficie de 142.07 ha en 2018 a 225.59 ha en 2019, lo que representa una ganancia de 83.52 ha, consolidándose como la cobertura dominante del paisaje. El suelo sin cobertura vegetal mantiene valores elevados, pasando de 330.31 ha a 300.43 ha, lo que representa una variación mínima (-29.88 ha). Esta estabilidad en valores altos indica la persistencia de superficies degradadas, sin una reconversión efectiva hacia coberturas vegetales o productivas.

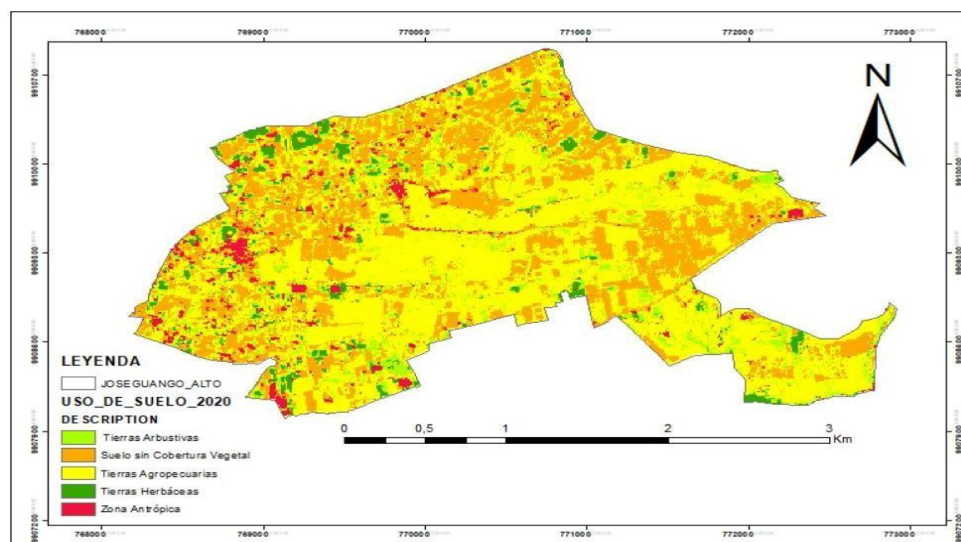
Las coberturas asociadas a vegetación y producción muestran pérdidas leves pero constantes. Las tierras arbustivas disminuyen de 146.28 ha a 84.59 ha, con una pérdida de -61.69 ha, mientras que las tierras herbáceas presentan una reducción marginal de 0.85 ha. La zona antrópica también crece, pasando de 23.63 ha a 30.83 ha, lo que representa una ganancia de 7.2 ha. El equilibrio de las cantidades altas indica la persistencia de la extensión antrópicas existentes, menciona (Chidodo et al., 2025) que la degradación de la cobertura vegetal es el espacio de intensificación agrícola esto reestructura el uso del suelo y puede ocasionar una difícil recuperación.

13.1.5. Clasificación de cambio de suelo del año 2020

Bajo esta óptica, el análisis correspondiente al año 2020 evidencia una profundización de la tendencia de antropización del territorio, consolidando los procesos de cambio identificados en los años inmediatamente anteriores. La distribución espacial de las coberturas muestra una dominancia clara de los usos antrópicos, acompañada por una reorganización interna de las coberturas productivas y una reducción significativa de la vegetación secundaria.

Figura 19

Mapa de uso de suelo del año 2020



Nota. Interpretación del uso de suelo de año 2020. Elaborado por: Erik (2026).

El suelo sin cobertura vegetal registra 219.71 ha (31.01%), evidenciando una reducción moderada en comparación con 2019. Esta disminución sugiere que parte de las superficies previamente expuestas fueron reconvertidas hacia otros usos, principalmente antrópicos o productivos.

En contraste, las coberturas vegetales naturales presentan una disminución marcada. La tierra arbustiva se reduce a 68.42 ha (9,65%), mientras que la tierra herbácea alcanza apenas 25.84 ha (3,65), reflejando una contracción significativa de la vegetación secundaria y de bajo porte.

Tabla 20

Área de hectáreas (ha) de clasificación del uso de suelo del año 2020.

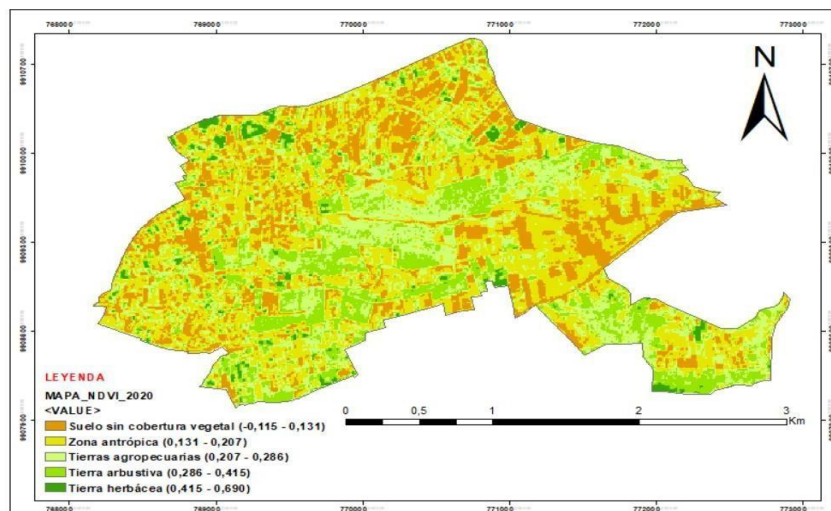
Área clasificada			
	Clasificación	Área (Ha)	%
1	Tierra Herbácea	25.84	3,65
2	Tierra Arbustiva	68.42	9,65
3	Tierra Agropecuaria	366.57	51,73
4	Suelo sin cobertura vegetal	219.71	31,01
5	Zona antrópica	28.10	3,96
	Total	708.64	100

Nota. Superficie total del sector Joseguango Alto año 2020. Elaborado por: Erik (2026).

La zona antrópica alcanzó 28.10 ha (3,96%) del área total confirma que el territorio ha ingresado en una fase avanzada de artificialización del paisaje.

Figura 20

Mapa del índice de vegetación normalizada del año 2020



Nota. La figura muestra la vegetación interpretada. Elaborado por: Erik (2026)

El mapa corresponde al año 2020. Los resultados obtenidos oscilan entre -0.115 y 0.13, lo que determina las diferentes superficies tanto superficies sin cobertura desnudas como coberturas densas.

Tabla 21

Índice de vegetación normalizada de año 2020

Periodo 2020	
Clase de cobertura	Rango NDVI
Suelo sin cobertura vegetal	-0.115 – 0.131
Zona antrópica	0.131 – 0.207
Tierras agropecuarias	0.207 – 0.286
Tierra arbustiva	0.286 – 0.415
Tierra herbácea	0.415 – 0.690

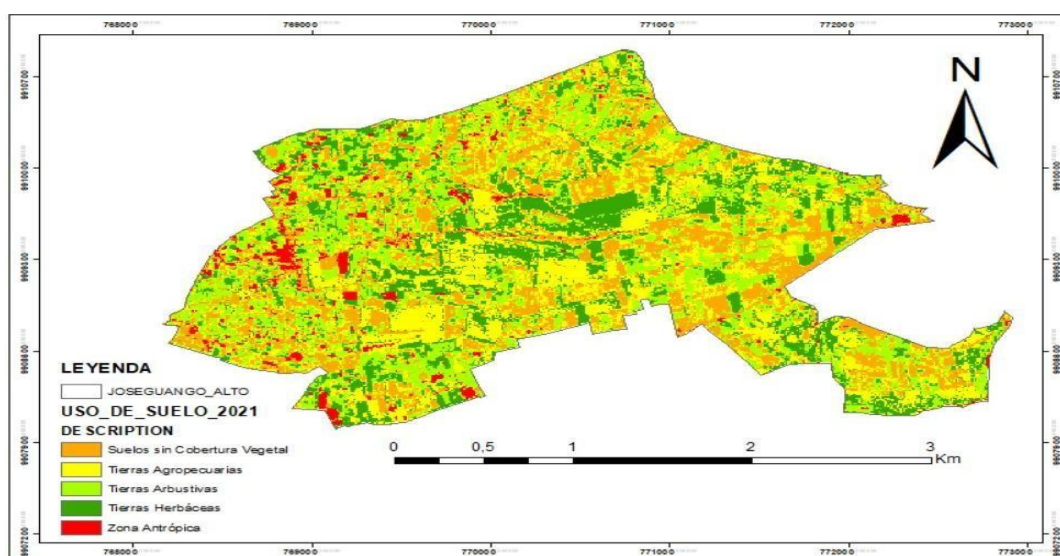
Nota. valores de (NDVI) del año 2020. Elaborado por: Erik (2026).

13.1.6. Clasificación del cambio de suelo del año 2021

Bajo este contexto el análisis correspondiente al año 2021 evidencia un cambio sustancial en la dinámica territorial, marcando una ruptura clara con la tendencia de intensificación observada entre 2018 y 2020. La distribución de las coberturas refleja un incremento significativo de las coberturas vegetales y productivas, acompañado por una reducción pronunciada de las superficies antrópicas y del suelo sin cobertura vegetal

Figura 21

Mapa del uso de suelo del año 2021



Nota. Interpretación del suelo en el año 2021. Elaborado por: Erik (2026)

La tierra agropecuaria alcanza 194.90 ha, equivalente al 27,50 % del área total, consolidándose como una de las coberturas dominantes del territorio. De manera similar, la tierra arbustiva registra 184.73 ha (26,07 %), evidenciando una expansión notable de la vegetación secundaria.

La tierra herbácea presenta un incremento considerable, alcanzando 132.87 ha (18,75%), valor que contrasta fuertemente con los mínimos registrados entre 2018 y 2020.

En contraste, el suelo sin cobertura vegetal se reduce drásticamente a 170.21 ha (24,02%), registrando el valor más bajo del periodo analizado hasta este año. Asimismo, la zona antrópica disminuye a 25.93 ha (3,66%), evidenciando la reducción de la superficie, la cual, se ocupa por los usos urbanos e infraestructura.

Tabla 22

Área de hectáreas (ha) de clasificación del uso de suelo del año 2021.

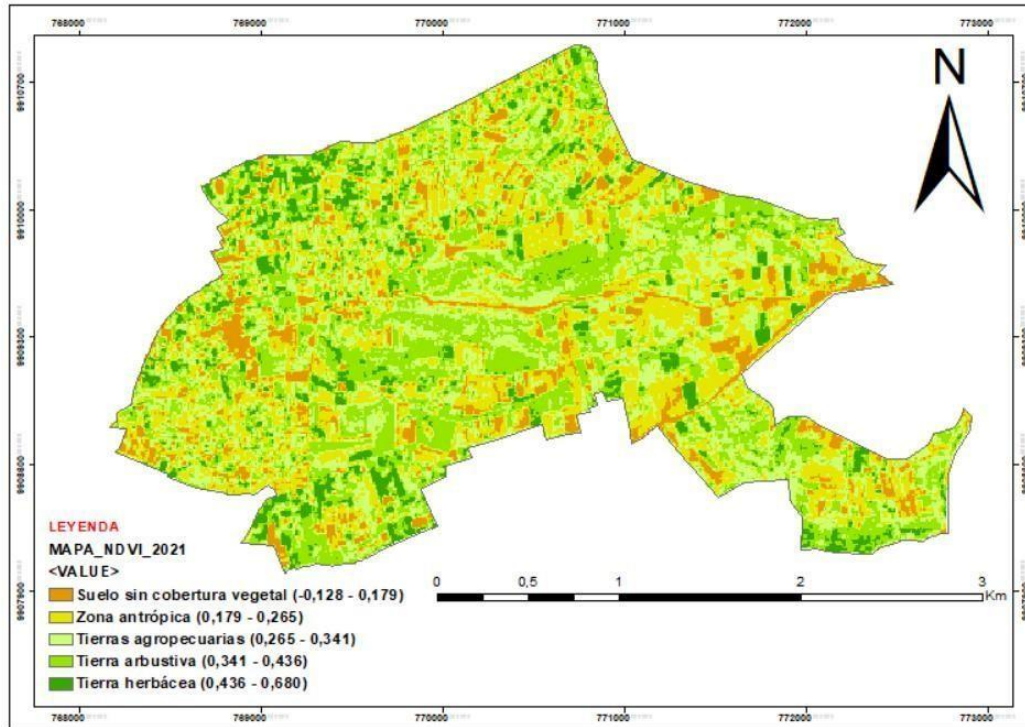
Área clasificada			
	Clasificación	Área (Ha)	%
1	Tierra Herbácea	132.87	18,75
2	Tierra Arbustiva	184.73	26,07
3	Tierra Agropecuaria	194.90	27,50
4	Suelo sin cobertura vegetal	170.21	24,02
5	Zona antrópica	25.93	3,66
	Total	708.64	100

Nota. Superficie total del sector Joseguango Alto año 2021. Elaborado por: Erik (2026).

El incremento conjunto de la tierra herbácea y arbustiva, que supera el 44.82% del área total, evidencia la activación de procesos de sucesión ecológica temprana y secundaria, asociados a la recuperación progresiva del territorio.

Figura 22

Mapa del índice de vegetación normalizada del año 2021



Nota. La figura muestra la cobertura del suelo interpretada por el método (NDVI). Elaborado por: Erik (2026).

Bajo este contexto el análisis corresponde al 2021, lo cual, ayudo a mencionar los deferentes niveles, sin embargo, los resultados que se obtuvieron oscilan entre -0.128 y 0.680 marcando las zonas con menor y mayor actividad fotosintética.

Tabla 23

Índice de vegetación normalizada en el año 2021

Periodo 2021	
Clase de cobertura	Rango NDVI
Suelo sin cobertura vegetal	-0.128 – 0.179
Zona antrópica	0.179 – 0.265
Tierras agropecuarias	0.265 – 0.341
Tierra arbustiva	0.341 – 0.436
Tierra herbácea	0.436 – 0.680

Nota. Valores de (NDVI) del año 2021. Elaborado por: Erik (2026).

Tabla 24*Dinámica de cambio de cobertura del año 2020 y 2021*

Clases	2020		2021		Diferencia (ha)	Diferencia (%)
	Área (ha)	%	Área (ha)	%		
1. Tierra herbácea	25.84	3,65	132.87	18,75	107.03	15,1
2. Tierra arbustiva	68.42	9,65	184.73	26,07	116.31	16,42
3. Tierra agropecuaria	366.57	51,73	194.90	27,50	-171.67	-24,23
4. Suelo sin cobertura vegetal	219.71	31,01	170.21	24,02	-49.5	-6.99
5. Zona antrópica	28.10	3,96	25.93	3,66	-2.17	-0.3
Total	708.64	100	708.64	100		

Nota. La tabla muestra el área del suelo del 2020 y 2021. Elaborado por: Erik (2026).

Bajo esta óptica, entre los años del 2020 y 2021, se puede visualizar un cambio abrupto y significativo en la dinámica territorial, constituyéndose en el contraste más marcado del periodo de estudio.

La zona antrópica presenta una reducción sustancial, disminuyendo de 28.10 ha en 2020 a 25.93 ha en 2021, lo que representa una pérdida neta de -2.17 ha. Este cambio evidencia una disminución de la superficie ocupada por usos urbanos e infraestructura.

De manera similar, se reduce de 219.71 ha a 170.21 ha, registrando una pérdida de -49.5 ha, lo que constituye la mayor reducción de suelo degradado observada en todo el periodo analizado.

La tierra arbustiva incrementa su superficie de 68.42 ha a 184.73 ha, con una ganancia neta de 116.31 ha, mientras que la tierra herbácea aumenta de 25.84 ha a 132.87 ha, registrando una ganancia de 107.03 ha. Según (Venter et al., 2021) indican que mediante el análisis espacio-temporal las tierras herbáceas se generan de procesos naturales pueden influir algunos factores

como el cambio de uso agropecuario o la disminución en la presión antrópica dentro del área de afectación o interés.

Asimismo, la tierra agropecuaria muestra un cambio de 366.57 ha a 194.90 ha, lo que equivale a una pérdida de -171.67 ha, consolidando su rol dentro de la estructura territorial.

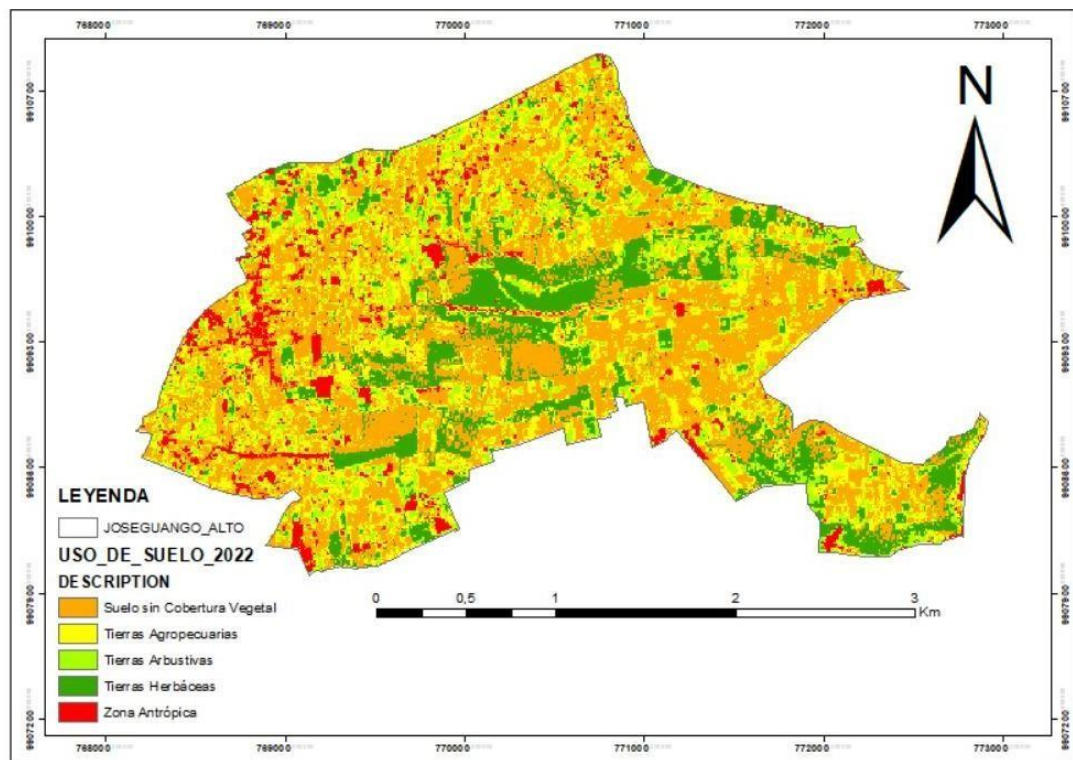
13.1.7. Clasificación de cambio de uso de suelo 2022

Desde esta perspectiva, al análisis corresponde a correspondiente al año 2022 evidencia una reconfiguración territorial posterior al proceso de recuperación observado en 2021.

El suelo sin cobertura vegetal constituye la cobertura dominante del territorio, el cual, mantiene una superficie de 295.48 ha, lo que representa el 41,70% de las áreas totales.

Figura 23

Mapa se usó de suelo 2022



Nota. Interpretación del uso del suelo en el año n de uso del suelo del año 2022. Elaborado por: Erik (2026)

La tierra agropecuaria alcanza 169.46 ha (23,92 %), consolidándose como la segunda cobertura más extensa del área de estudio. Su presencia indica la continuidad del uso productivo del suelo. La tierra arbustiva registra 85.58 ha, equivalente al 12.08 %, lo que evidencia una disminución respecto a 2021.

La tierra herbácea presenta 111.85 ha (15,78%), mostrando una reducción moderada frente al año previo.

Por su parte, la zona antrópica ocupa 46.27 ha (6,53%), reflejando un incremento en comparación con 2021.

Tabla 25

Área de hectáreas (ha) de clasificación del uso de suelo del año 2022.

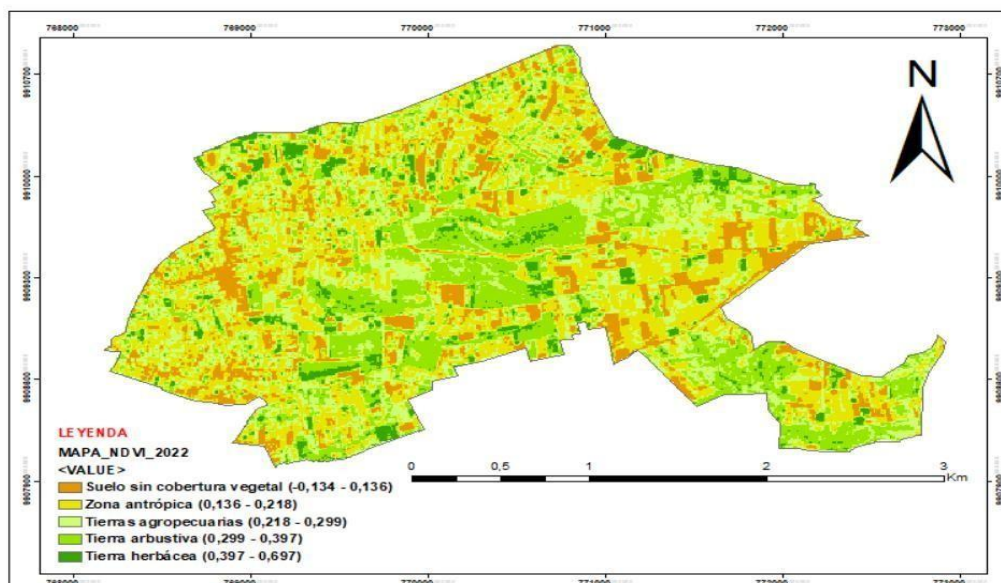
Área clasificada			
	Clasificación	Área (Ha)	%
1	Tierra Herbácea	111.85	15,78
2	Tierra Arbustiva	85.58	12,08
3	Tierra Agropecuaria	169.46	23,92
4	Suelo sin cobertura vegetal	295.48	41,70
5	Zona antrópica	46.27	6,53
	Total	708.64	100

Nota. Superficie total del sector Joseguango Alto año 2022. Elaborado por; Erik (2026).

El comportamiento del uso del suelo en 2022 puede interpretarse como una fase de ajuste posterior al proceso de recuperación ambiental observado en 2021. La expansión de la zona antrópica, junto con la reducción parcial de las coberturas vegetales, sugiere una reactivación del uso humano del territorio, posiblemente asociada a factores socioeconómicos o a la ocupación de áreas previamente liberadas

Figura 24

Mapa de índice de vegetación del normaliza el año 2022



Nota. La figura muestra la interpretada por el método (NDVI) del 2022. Elaborado por: Erik (2026)

El mapa de NDVI del año 2022 permitió identificarlos distintos niveles de densidad de la cobertura del territorio de estudio. Los datos registrados van -0.134 a 0.697 dando a entender los diferentes niveles de cobertura vegetal del suelo desde la densa o suelos sin cobertura.

Tabla 26

Índice de la vegetación normalizada de año 2022

Periodo 2022	
Clase de cobertura	Rango NDVI
Suelo sin cobertura vegetal	-0.134 – 0.136
Zona antrópica	0.136 – 0.218
Tierras agropecuarias	0.218 – 0.299
Tierra arbustiva	0.299 – 0.397
Tierra herbácea	0.397 – 0.697

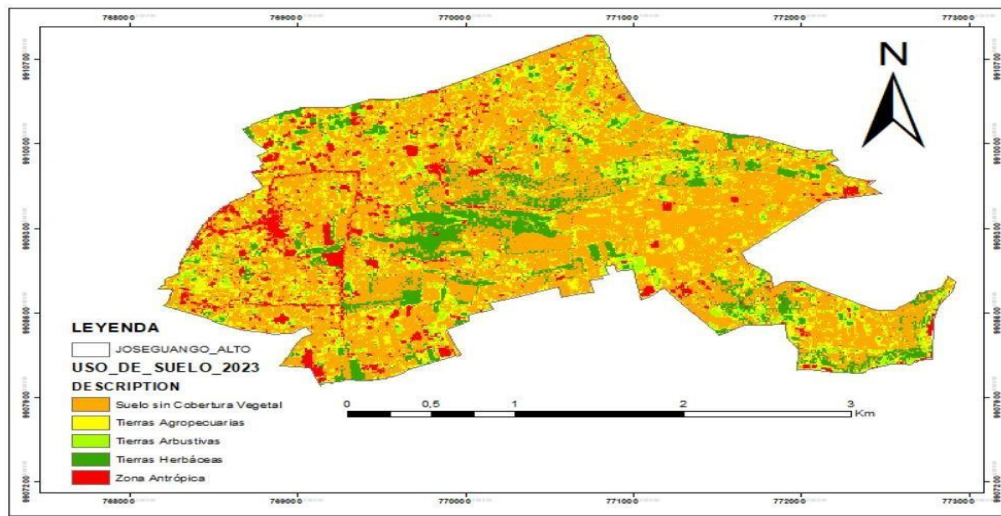
Nota. Valores de (NDVI) del año 2022. Elaborado por: Erik (2026)

13.1.8. Clasificación de cambio de suelo 2023

El análisis correspondiente al año 2023 evidencia una intensificación renovada del proceso de antropización del territorio, marcando un retorno a una tendencia expansiva de los usos antrópicos, luego de la fase de ajuste observada en 2022.

El suelo sin cobertura vegetal tiene una superficie de 396.35 equivalentes al 55,93 % de toda el área total, consolidándose nuevamente como la cobertura dominante del área de estudio.

Las tierras agropecuarias ocupan 130.60 ha (18,43%), evidenciando una disminución respecto a 2022. La tierra herbácea registra 76.55 ha (10,80%), mostrando una reducción moderada frente al año anterior. Las tierras arbustivas alcanzo 54.85 ha (7,74%) reflejando una leve disminución de la vegetación secundaria.

Figura 25*Mapa de suelo del año 2023*

Nota. Interpretación del suelo del año 2023. Elaborado por: Erik (2026)

La zona antrópica aumento a 50.29 ha (7,10 %), manteniéndose como la cobertura menos representativa del territorio lo que confirma una expansión de áreas urbanizadas, infraestructura y superficies artificializadas.

Tabla 27

Área de hectáreas (ha) de clasificación del uso de suelo del año 2023.

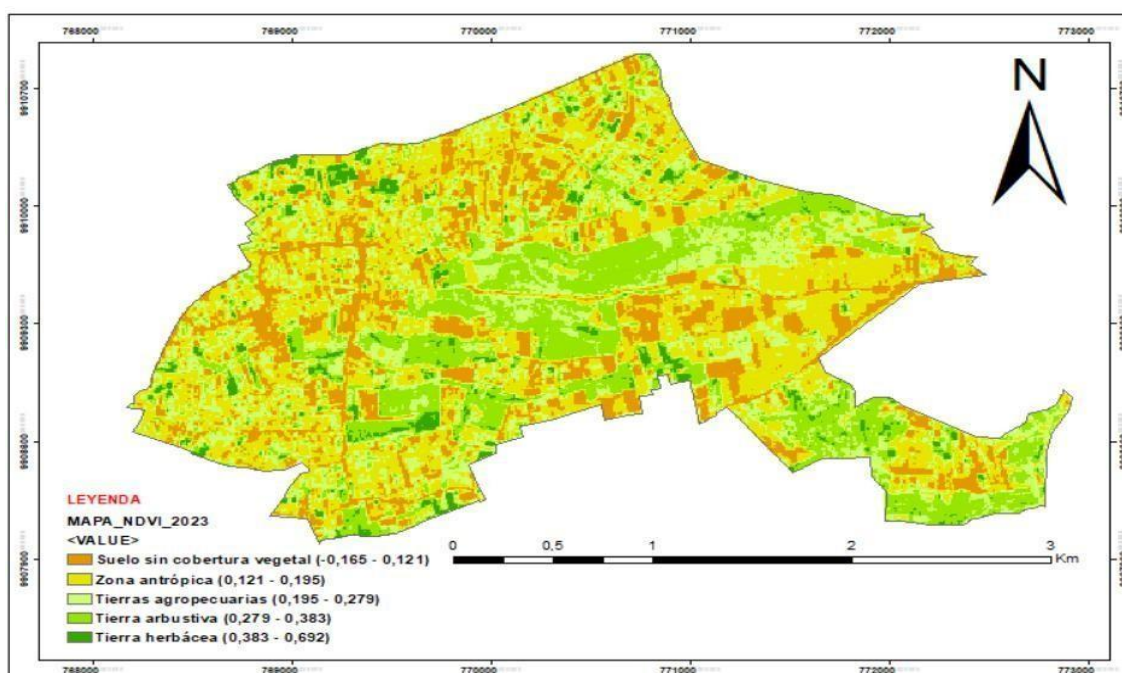
Area clasificada			
	Clasificación	Área (Ha)	%
1	Tierra Herbácea	76.55	10,80
2	Tierra Arbustiva	54.85	7,74
3	Tierra Agropecuaria	130.60	18,43
4	Suelo sin cobertura vegetal	396.35	55,93
5	Zona antrópica	50.29	7,10
	Total	708.64	100

Nota. Superficie total del sector Joseguango Alto año 2023. Elaborado por: Erik (2026).

El comportamiento del uso del suelo en 2023 evidencia un retorno a la trayectoria de expansión antrópica, interrumpiendo el equilibrio relativo observado en 2021 y, de manera parcial, en el 2022.

Figura 26

Mapa del índice de vegetación normalizada del año 2023



Nota. Cobertura vegetal interpretada por el método (NDVI). Elaborado por: Erik (2026)

El mapa de NDVI del año 2023 permitió identificar diferentes niveles de vigor y densidad de cobertura vegetal dentro del lugar de estudio. Además, el rango de los datos -0,165 a 0,692 dando a conocer los distintos contrastes de las zonas y áreas con menor y mayor actividad fotosintética.

Tabla 28

Índice de vegetación normalizada del año 2023

Periodo del 2023	
Clase de cobertura	Rango NDVI
Suelo sin cobertura vegetal	-0.165 – 0.121
Zona antrópica	0.121 – 0.195
Tierras agropecuarias	0.195 – 0.279
Tierra arbustiva	0.279 – 0.383
Tierra herbácea	0.383 – 0.692

Nota: Valores de (NDVI) del año 2023. Elaborado por: Erik (2026)

Tabla 29

Dinámica de cambio de cobertura del año 2022 al 2023

Clases	2022	2023
--------	------	------

		Área	%	Área	%	Diferencia	Diferencia
		(ha)		(ha)		(ha)	(%)
1.	Tierra herbácea	111.85	15,78	76.55	10,80	-35.3	-4,98
2.	Tierra arbustiva	85.58	12,08	54.85	7,74	-30.73	-4,34
3.	Tierra agropecuaria	169.46	23,92	130.60	18,43	-38.86	-5,49
4.	Suelo sin cobertura vegetal	295.48	41,70	396.35	55,93	100.87	14,23
5.	Zona antrópica	46.27	6,53	50.29	7,10	4.02	0.57
Total		708.64	100	708.64	100		

Nota. La tabla muestra el uso de suelo del año 2022 y 2023. Elaborado por: Erik (2026).

Bajo este contexto el análisis entre los años 2022 y 23 se observa una intensificación significativa del proceso de antropización del territorio, acompañada por una reducción generalizada de las coberturas vegetales y productivas, así como un incremento del suelo sin cobertura vegetal.

La zona antrópica presenta un aumento notable, pasando de 46.27 ha en 2022 a 50.29 ha en 2023, lo que representa una ganancia neta de 4.02 ha. Este incremento consolida a la cobertura antrópica, reforzando la tendencia de expansión urbana e infraestructura observada en años anteriores. Por lo reportado por Seto, Karen C. et al. (2023), quienes señalan que el aumento del espacio antrópico corresponde únicamente a los asentamientos de personas, desarrollo de infraestructura, las diversas dinámicas socioeconómicas locales.

Sin cobertura, incrementa su superficie de 295.48 a 396.35, por lo cual se a registrando una ganancia de 100.87 ha, lo cual indica la incorporación de nuevas áreas en estado de degradación o en proceso de transformación.

En contraste, las coberturas vegetales y productivas muestran pérdidas relevantes. La tierra agropecuaria disminuye de 169.46 ha a 130.60 ha, con una pérdida de -38.86 ha, evidenciando su continua vulnerabilidad frente a la presión antrópica. La tierra arbustiva se

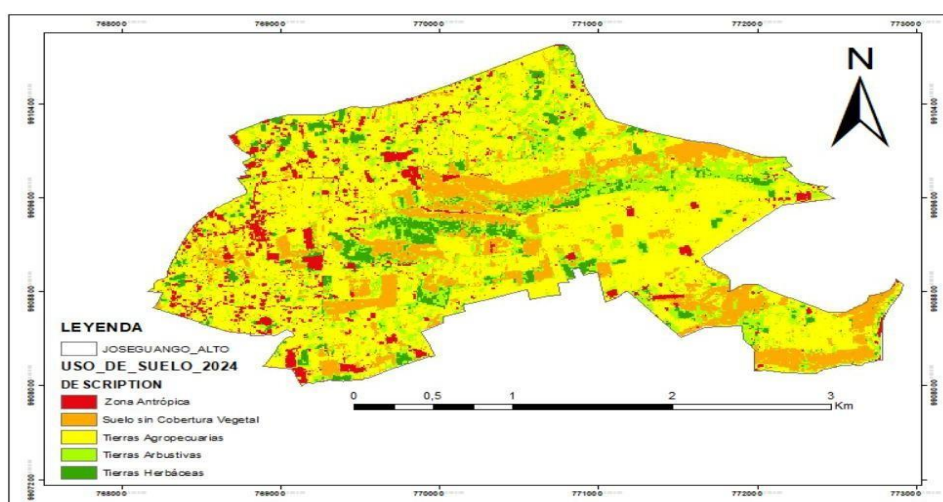
reduce de 85.58 ha a 54.85 ha, registrando una pérdida de -30.73 ha, mientras que la tierra herbácea disminuye de 111.85 ha a 76.55 ha, con una pérdida de -35.3 ha.

13.1.9. Clasificación de cambios de suelos del año 2024

Bajo esta óptica, correspondiente al año 2024 evidencia una moderación del proceso de antropización observado en 2023, acompañada por una redistribución interna de las coberturas, particularmente entre áreas productivas, vegetación secundaria y superficies sin cobertura vegetal.

Figura 27

Mapa de uso de suelo del año 2024.



Nota: Interpretación de uso del suelo del año 2024. Elaborado por: Erik (2026).

La zona antrópica registra la superficie de 48.23 que equivale a un 6,81 %, lo que representa una disminución significativa respecto a 2023. Este comportamiento sugiere una desaceleración temporal de la expansión urbana e infraestructura, o bien una reclasificación de áreas previamente intervenidas hacia otros usos.

El suelo sin cobertura vegetal alcanza 122.66 ha (17,31%), constituyéndose en una de las coberturas contante en el año. Este aumento indica la presencia de superficies en transición, posiblemente asociadas a remoción de vegetación, preparación de terrenos o abandono temporal del suelo.

La tierra agropecuaria ocupa 368.17 ha (51,95%), mostrando un incremento respecto a 2023. La tierra arbustiva registra 127.24 ha (17,96%), reflejando una estabilidad relativa de la vegetación secundaria, señala Monica Turner (2022) que las coberturas arbustivas frecuentan las zonas intermedias de los espacios ecológicos y se distribuyen a lo largo de los territorios rurales. mientras que la tierra herbácea alcanza 42.34 ha (5,97 %), manteniéndose como la cobertura menos representativa del territorio.

Tabla 30

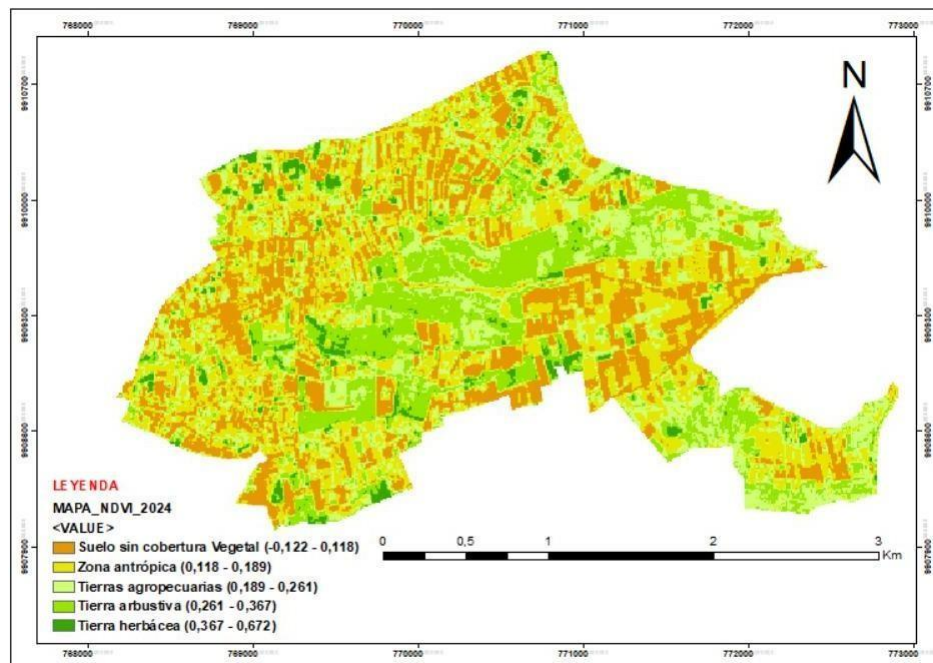
Área de hectáreas (ha) de clasificación del uso de suelo del año 2024

Área clasificada			
	Clasificación	Área (Ha)	%
1	Tierra Herbácea	42.34	5,97
2	Tierra Arbustiva	127.24	17,96
3	Tierra Agropecuaria	368.17	51,95
4	Suelo sin cobertura vegetal	122.66	17,31
5	Zona antrópica	48.23	6,81
Total		708.64	100

Nota. Superficie total del sector Joseguango Alto año 2024. Elaborado por: Erik (2026).

Figura 28

Mapa del índice de vegetación normalizada del año 2024



Nota. La figura muestra la cobertura interpretada por el método (NDVI). Elaborado por: Erik (2026)

El análisis de mapa de NDVI correspondiente al año 2024 permitió delimitar e identificar patrones diferenciados en la cobertura vegetal de territorio de estudio. El rango registrado -0.122 a 0.672 evidencian un área con contrastes marcados entre zonas con ausencia de actividad fotosintética y hasta zonas con vegetación densa.

Tabla 31

Índice de vegetación normalizada de año 2024

Periodo del 2024	
Clase de cobertura	Rango NDVI
Suelo sin cobertura vegetal	-0.122 – 0.118
Zona antrópica	0.118 – 0.189
Tierras agropecuarias	0.189 – 0.261
Tierra arbustiva	0.261 – 0.367
Tierra herbácea	0.367 – 0.672

Nota. Valores de (NDVI) del año 2024. *Elaborado por:* Erik (2026)

13.2. Matriz de confusión

13.2.1. Matriz de confusiones del año 2016

Bajo este contexto, la matriz correspondiente al año del 2016 evidencia un nivel adecuado de concordancia entre la clasificación obtenida a partir del procesamiento de las imágenes satelitales, lo cual, indica que el procedimiento de clasificación fue aplicado de manera consistente para este periodo inicial del análisis.

Tabla 32

Matriz de confusión de año 2016

	Tierra herbácea	Tierra arbustiva	Tierra agropecuaria	Suelo sin cobertura vegetal	Zona antrópica	Total
Tierra herbácea	445	0	0	0	0	445
Tierra arbustiva	0	562	0	0	0	562
Tierra agropecuaria	0	0	488	0	00	488

Suelo	sin	0	0	0	425	0	425
cobertura							
vegetal							
Zona		0	0	0	0	80	80
antrópica							
Total		445	562	488	425	80	2000

Nota. La matriz de confusión elaborada en ArcGIS mediante clasificación supervisada. Elaborado por: Erik (2026).

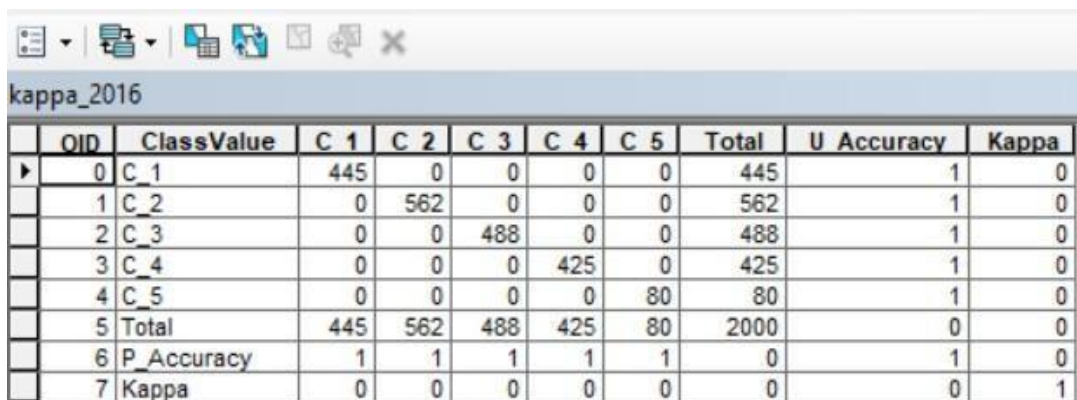
13.2.2. Índice kappa del año 2016

Bajo este contexto, el índice de kappa correspondiente al año 2016 indica un alto estándar que concuerde entre la clasificación obtenida y de los datos, superando ampliamente la concordancia esperada por azar. Este resultado demuestra que el proceso de clasificación posee una fiabilidad estadística sólida, lo que valida el uso de este año como referencia inicial para el análisis espacio-temporal.

Un valor elevado del índice Kappa sugiere que las diferencias observadas entre clases no son producto de asignaciones aleatorias, sino del reconocimiento efectivo de las características espectrales y espaciales de cada cobertura. Esto es especialmente relevante en estudios de cambio de uso de suelo, donde la confiabilidad del año base condiciona la validez de las comparaciones posteriores.

Figura 29

Índice de kappa después de la matriz de confusión



OID	ClassValue	C 1	C 2	C 3	C 4	C 5	Total	U Accuracy	Kappa
0	C_1	445	0	0	0	0	445	1	0
1	C_2	0	562	0	0	0	562	1	0
2	C_3	0	0	488	0	0	488	1	0
3	C_4	0	0	0	425	0	425	1	0
4	C_5	0	0	0	0	80	80	1	0
5	Total	445	562	488	425	80	2000	0	0
6	P_Accuracy	1	1	1	1	1	0	1	0
7	Kappa	0	0	0	0	0	0	0	1

Nota. La figura muestra el índice de kappa y la matriz de año 2016. Elaborado por; Erik (2026)

12.2.3. Matriz de confusión 2024

La matriz de confusión correspondiente al año 2024 muestra un comportamiento diferenciado respecto al año 2016, reflejando tanto la mayor complejidad del paisaje actual como la intensificación del uso del suelo ocurrido al largo del periodo de estudio.

Tabla 33

Matriz de confusión de año 2024

	Tierra herbácea	Tierra arbustiva	Tierra agropecuaria	Suelo sin cobertura vegetal	Zona antrópica	Total
Tierra herbácea	467	0	0	0	0	467
Tierra arbustiva	0	582	0	0	0	582
Tierra agropecuaria	0	0	479	0	00	479
Suelo sin cobertura vegetal	0	0	0	409	0	409
Zona antrópica		00	0	0	63	63
Total	467	582	479	409	63	2000

Nota. matriz de confusión elaborada en ArcGIS mediante clasificación supervisada. Elaborado por: Erik (2026).

13.2.4. Índice kappa del año 2024

El índice Kappa obtenido para el año 2024 refleja un nivel de concordancia sustancial a casi perfecto, lo que confirma que, a pesar de la mayor heterogeneidad del paisaje y de la intensificación de los procesos antrópicos, la clasificación mantiene una consistencia metodológica adecuada.

Este resultado indica que las variaciones en la precisión no responden a errores metodológicos, sino a la complejidad inherente del territorio, caracterizada por coberturas fragmentadas, estados transicionales del suelo y mezcla espectral. No obstante, el valor del índice Kappa confirma que el modelo de clasificación es robusto y confiable para la interpretación del cambio de uso de suelo en el año más reciente.

Figura 30

Índice kappa de la matriz de confusión

OID	ClassValue	C 1	C 2	C 3	C 4	C 5	Total	U Accuracy	Kappa
0	C_1	467	0	0	0	0	467	1	0
1	C_2	0	582	0	0	0	582	1	0
2	C_3	0	0	479	0	0	479	1	0
3	C_4	0	0	0	409	0	409	1	0
4	C_5	0	0	0	0	63	63	1	0
5	Total	467	582	479	409	63	2000	0	0
6	P_Accuracy	1	1	1	1	1	0	1	0
7	Kappa	0	0	0	0	0	0	0	1

Nota. índice de kappa a partir de la matriz de confusión, año 2024. Elaborado por: Erik (2026)

13.2.5. Matriz de transición

Bajo esta óptica, la matriz de transición es una herramienta primordial para entender del cambio y cobertura del suelo, ya que permite identificar no solo las superficies que permanecen estables en el tiempo, sino también las transferencias entre clases, evidenciando los procesos dominantes de transformación territorial.

En la matriz de transición, los valores ubicados en la diagonal principal representan la persistencia de cada clase, es decir, las áreas que mantienen la cobertura entre los años analizados. Además, los valores elevados en esta diagonal indican estabilidad espacial, mientras que valores bajos reflejan una alta vulnerabilidad al cambio.

Por el contrario, los valores fuera de la diagonal principal representan las transiciones entre clases, revelando qué coberturas han sido reemplazadas y cuáles han absorbido superficie de otras. Estas transiciones permiten identificar procesos como la expansión antrópica, la degradación del suelo o la recuperación de coberturas vegetales.

Tabla 34

Matriz de transición entre el año 2016 y 2024

2016 2024	Tierra Herbácea	Tierra Arbustiva	Tierra Agropecuaria	Suelo sin cobertura vegetal	Zona antrópica	Total, fecha 1(Pi+)	Perdida (Li)
Tierra	9.00	5.00	8.00	18.00	2.34	42.34	4.05
Herbácea							
Tierra	2.00	105.00	12.00	6.00	2.24	127.24	16.01
Arbustiva							

Tierra	1.50	8.00	270.00	75.00	13.67	368.17	48.25
Agropecuaria							
Suelo sin cobertura vegetal	0.50	2.00	25.00	90.00	5.16	122.66	125.11
Zona antrópica	0.45	1.01	3.25	26.11	17.41	48.23	23.41
Total, fecha 2 (P+j)	13.45	121.01	318.25	215.11	40.82	708.64	

Nota. La tabla muestra la matriz del año 2016 al año 2014, con el cálculo del área de software. Elaborado por: Erik (2024).

Indicador de cambio – Perdida (Li)

Tierra herbácea: $13.45 - 42.34 = -28.89$ ha

Tierra Arbustiva: $121.01 - 127.24 = -6.23$ ha

Tierra Agropecuaria: $318.25 - 368.17 = -49.92$ ha

Suelo sin cobertura vegetal: $215.11 - 122.66 = 92.45$ ha

Zona antrópica: $40.82 - 48.23 = -7.41$ ha

Pérdida total: $L = -28.89 + -6.23 + -49.92 + -7.41 = -92.45$ ha

Indicador de cambio – Ganancia (Gj)

Tierra herbácea: $42.34 - 13.45 = 28.89$ ha

Tierra Arbustiva: $127.24 - 121.01 = 6.23$ ha

Tierra Agropecuaria: $368.17 - 318.25 = 49.92$ ha

Suelo sin cobertura vegetal: $122.66 - 215.11 = -92.45$ ha

Zona antrópica: $48.23 - 40.82 = 7.41$ ha

Ganancia total: $G = 28.89 + 6.23 + 49.92 + 7.41 = 92.45$ ha

13.2.6. Cambio de cobertura del suelo de los años 2016 -2024

El análisis comparativo del suelo de los años 2016 y 2024 da a conocer la progresiva del territorio, caracterizada por la consolidación de los usos antrópicos, la persistencia de superficies degradadas y una reducción generalizada de las coberturas vegetales y productivas.

Tabla 35*Cambio de uso de suelo del año 2016 al 2024*

Clases	2016		2024		Diferencia (ha)	Diferencia (%)
	Área (ha)	%	Área (ha)	%		
1. Tierra herbácea	13.45	1,90	42.34	5,97	28.89	4,07
2. Tierra arbustiva	121.01	17,07	127.24	17,96	6.23	0,89
3. Tierra agropecuaria	318.25	44,92	368.17	51,95	49.92	7,03
4. Suelo sin cobertura vegetal	215.11	30,36	122.66	17,31	-92.45	-13,05
5. Zona antrópica	40.82	5,76	48.23	6,81	7.41	1,05
Total	708.64	100	708.64	100		

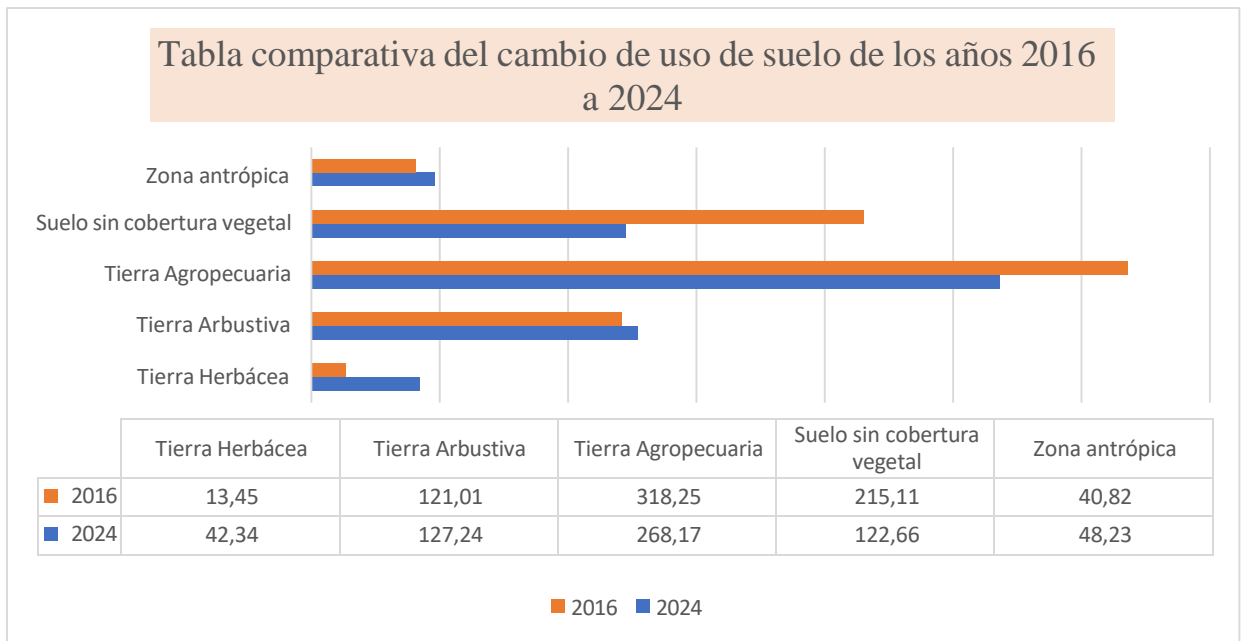
Nota. comparación de áreas de cobertura del suelo. Elaborado por: Erik (2026)

Durante el periodo analizado, la zona antrópica incrementó su superficie de 40.82 ha en 2016 a 48.23 ha en 2024, lo que representa una ganancia neta de 7.41 ha. Aunque este incremento cuantitativamente es moderado, resulta significativo desde el punto de vista territorial, ya que confirma la expansión sostenida de áreas urbanizadas e infraestructura, consolidando este uso como uno de los elementos estructurales del paisaje.

El suelo sin cobertura vegetal también muestra una tendencia de disminución, pasando de 215.11 ha a 122.66 ha, con una pérdida neta de -92.45 ha. Este comportamiento indica la persistencia de procesos de degradación.

Bajo este contexto, la tierra abusiva aumento 6.23 ha, la tierra agropecuaria en 49.92 ha y la tierra herbácea en 28.89 ha. Estas ganancias, aunque no extremas de manera individual, adquieren relevancia al ser analizadas de forma conjunta.

En términos generales, los resultados comparativos 2016–2024 reflejan un balance negativo para las coberturas naturales y productivas, frente a una expansión sostenida de los usos antrópicos y de superficies sin cobertura vegetal.

Figura 31*Dinámica de cobertura del suelo, ganancia y pérdidas*

Nota. La figura muestra la dinámica de los años 2016 al 2024 del sector Joseguango Alto. Elaborado por: Erik (2024).

Rangos específicos sobre los índices de vegetación normalizada entre las clases, asegurando la reclasificación del uso y cobertura del suelo.

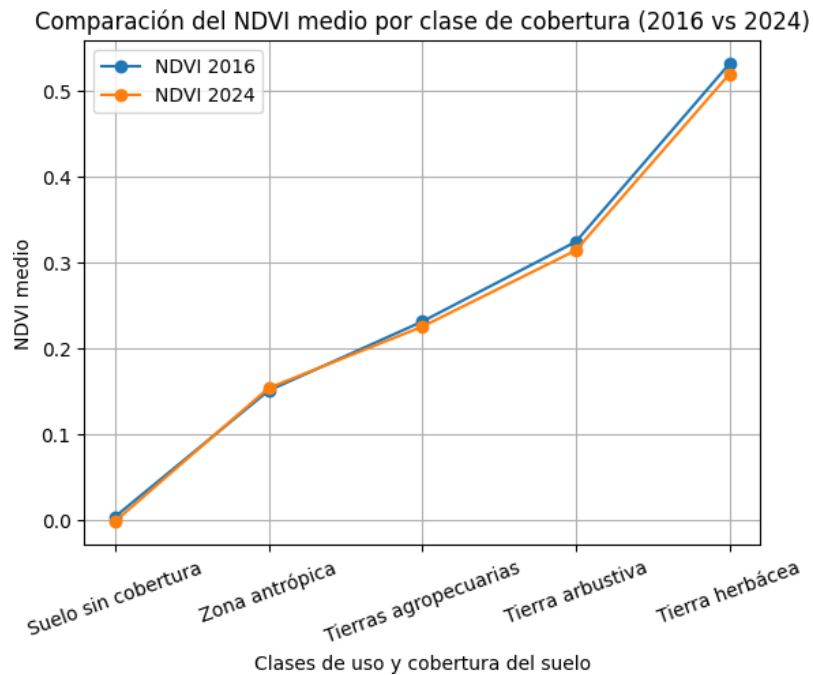
Tabla 36*Índice de vegetación de diferencia normalizada. Comparativo (2026 – 2024)*

Tabla Comparativa NDVI			
Clase	NDVI 2016	NDVI 2024	Tendencia
Suelo sin cobertura vegetal	-0.103 – 0.110	-0.122 – 0.118	Tendencia de aumento de valores negativos
Zona antrópica	0.110 – 0.191	0.118 – 0.189	Estables
Tierras agropecuarias	0.191 – 0.271	0.189 – 0.261	Disminución leve
Tierra arbustiva	0.271 – 0.377	0.261 – 0.367	Reducción moderada
Tierra herbácea	0.377 – 0.686	0.367 – 0.672	Disminución del vigor vegetal

Nota: Comparación de los años 2016 y 2024 del rango NDVI. Elaborado por: Erik (2024).

Figura 32

Comparación del NDVI por clase (2016 y 2024)

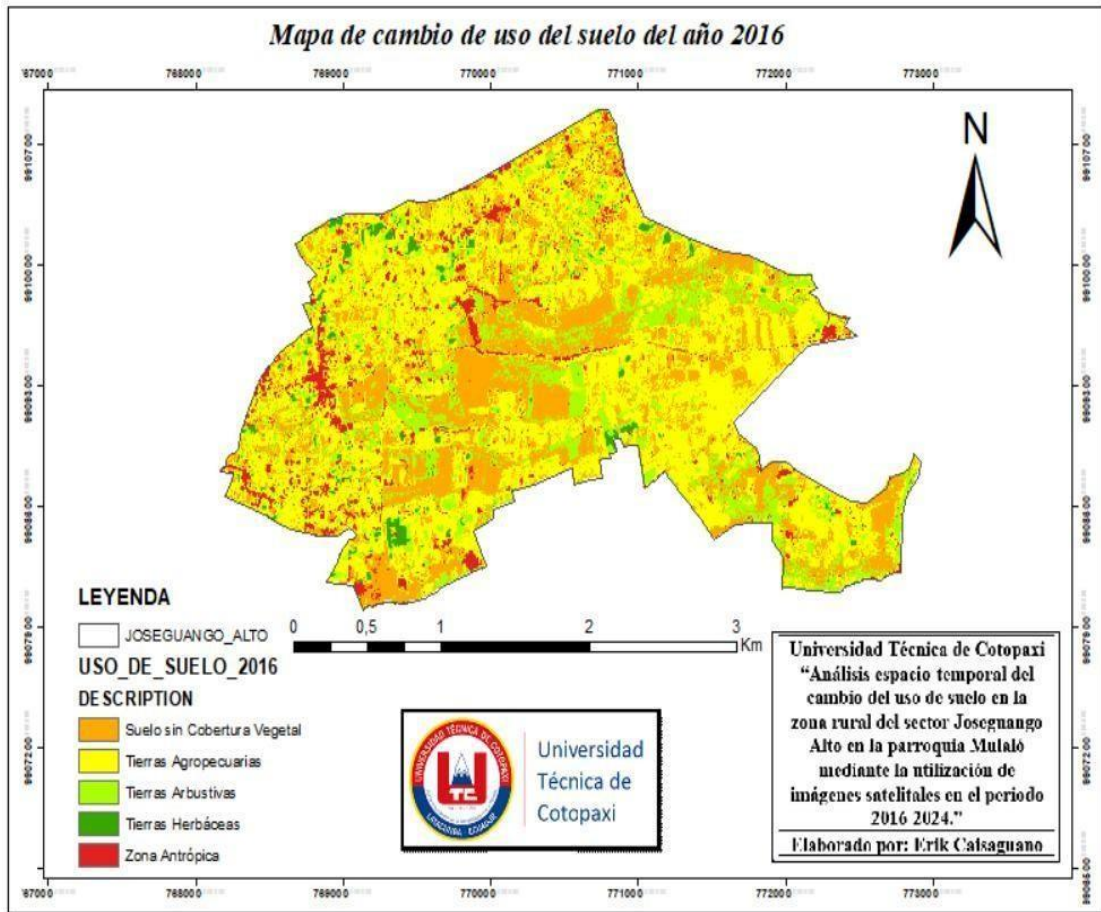


Nota. Modelo gráfico de la comparación del NDVI de los años 2016 y 2024. Elaborado por: Erik (2026).

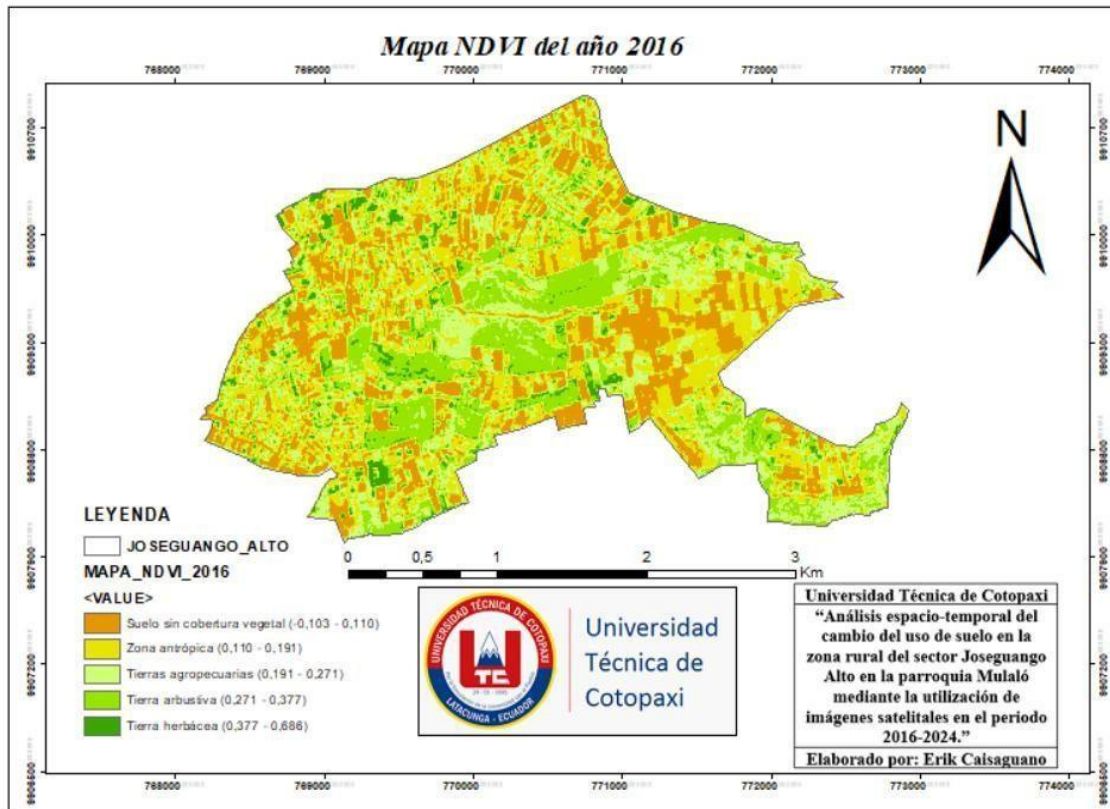
La tendencia leve de aumento de valores negativos en los suelos sin cobertura vegetal nos indica que existe mayor indicio de suelos desnudos y posiblemente degradación del suelo, en la zona antrópica los valores se muestran estables lo que no existe un flojo alto en áreas construidas y una baja regeneración vegetal, las tierras agropecuarias nos muestran un valor estable lo que muestra cambios del tipo de cultivos y la rotación de cultivos influyendo en la reducción de la cobertura, sin embargo, la tierra arbustiva muestra una reducción debido al cambio de zonas arbustivas a usos agrícolas o cambio de cobertura con fin humano y por último la tierra herbácea disminuyó, pueden interpretarse de diversas formas tanto como un menor vigor fotosintético debido a los factores del clima o diversas maneras de uso del suelo como el sobrepastoreo.

13.3. MAPAS CARTOGRÁFICOS

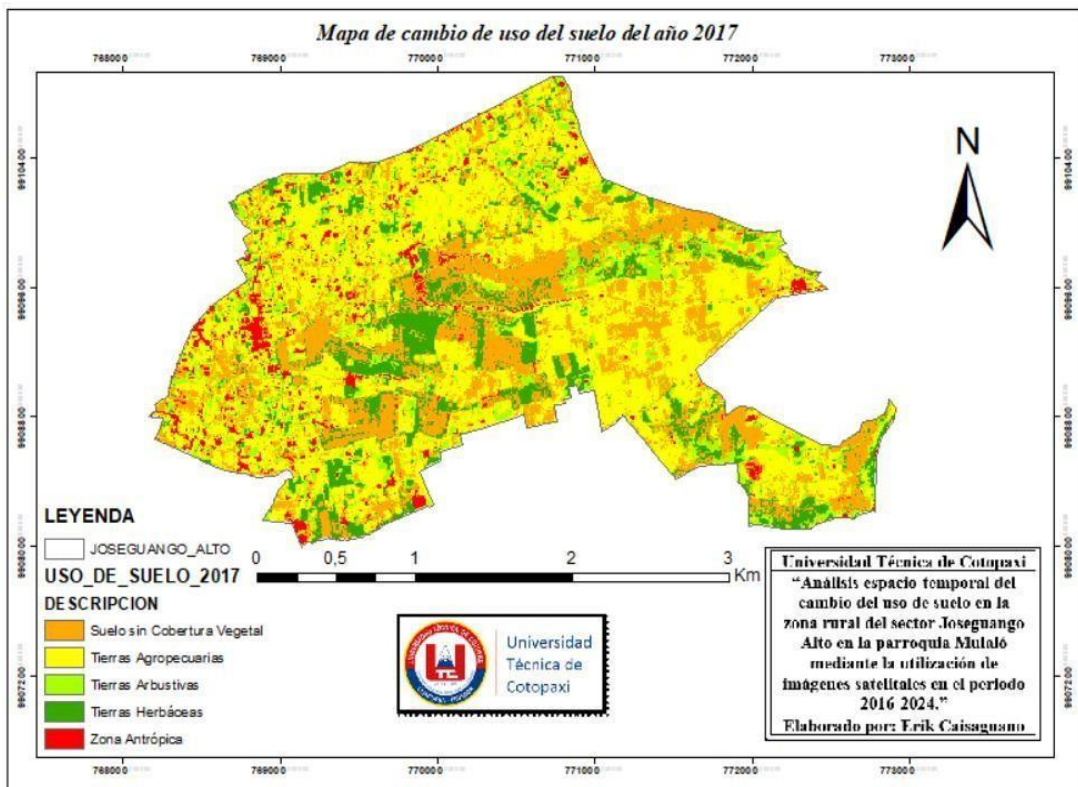
13.3.1. Mapa cartográfico de uso de suelo del año 2016



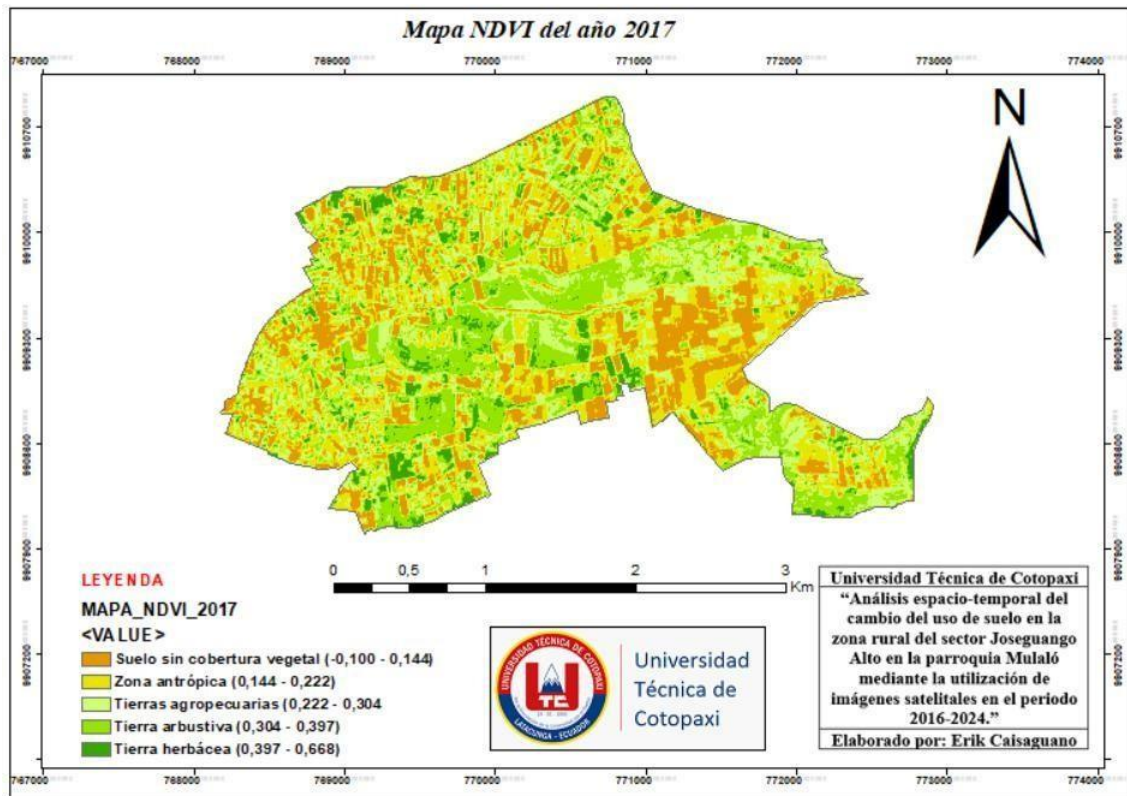
23.3.2. Mapa cartográfico del índice de vegetación (NDVI) del año 2016



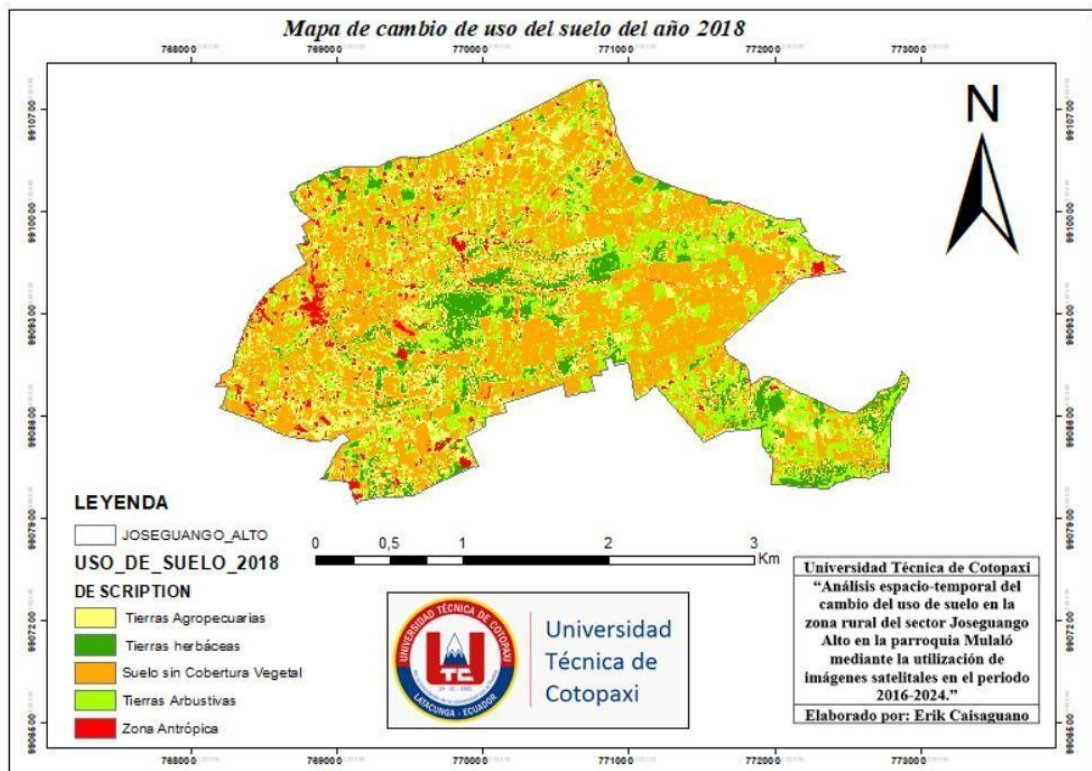
13.3.3. Mapa cartográfico de uso de suelo del año 2017



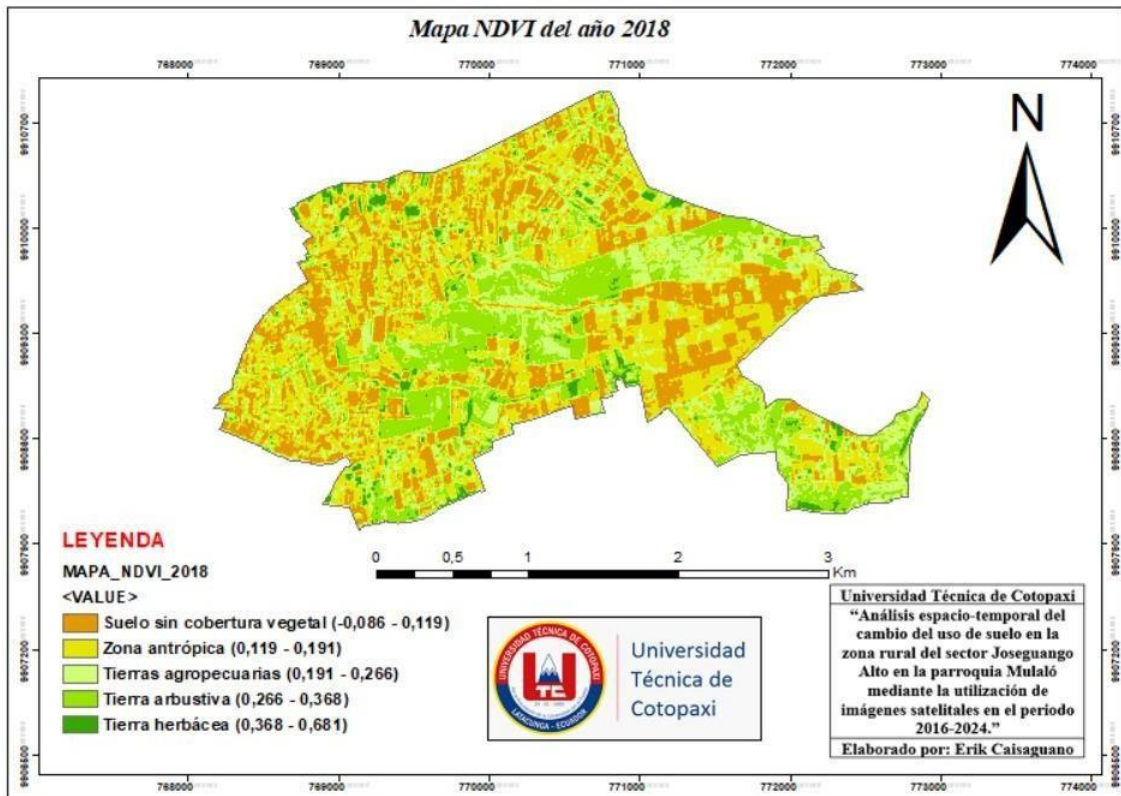
13.3.4. Mapa cartográfico del índice de vegetación (NDVI) del año 2017



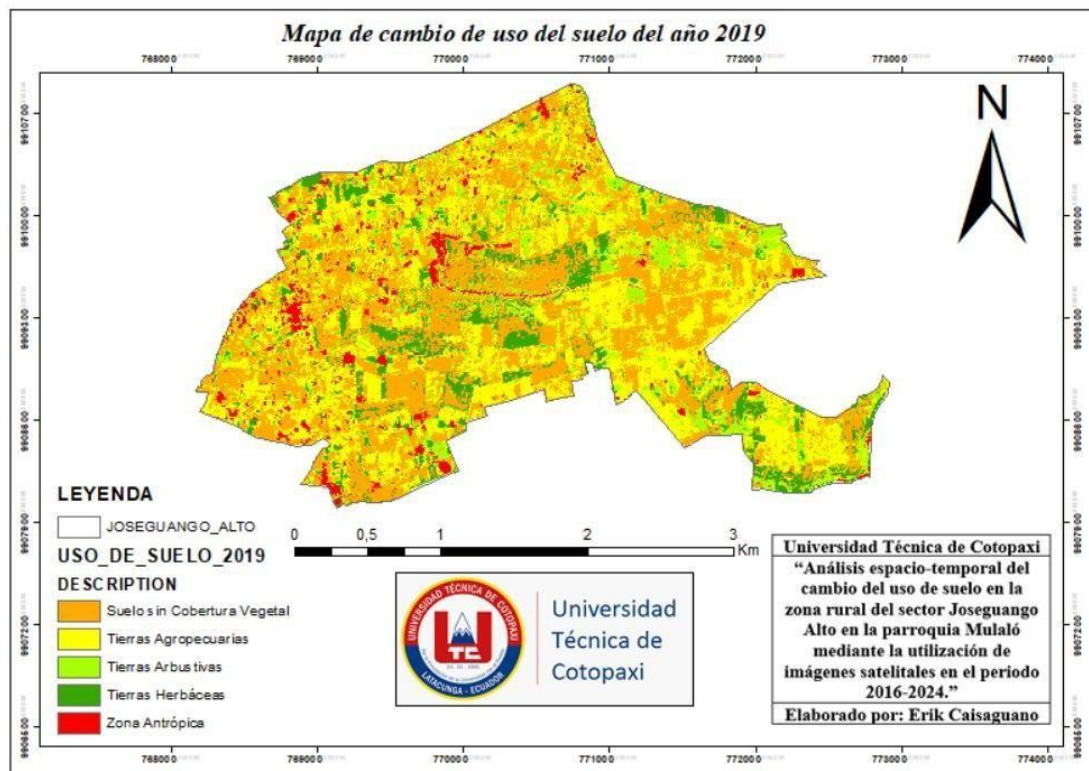
13.3.5. Mapa cartográfico de uso de suelo del año 2018



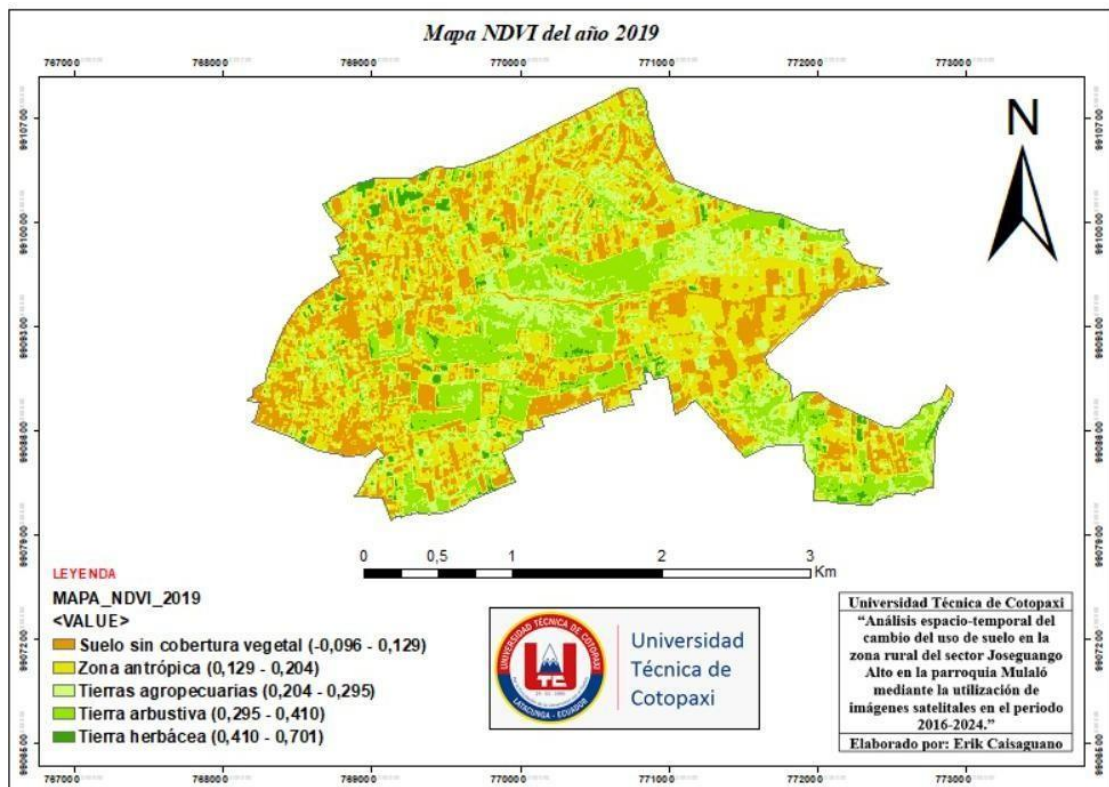
13.2.6. Mapa cartográfico del índice de vegetación (NDVI) del año 2018



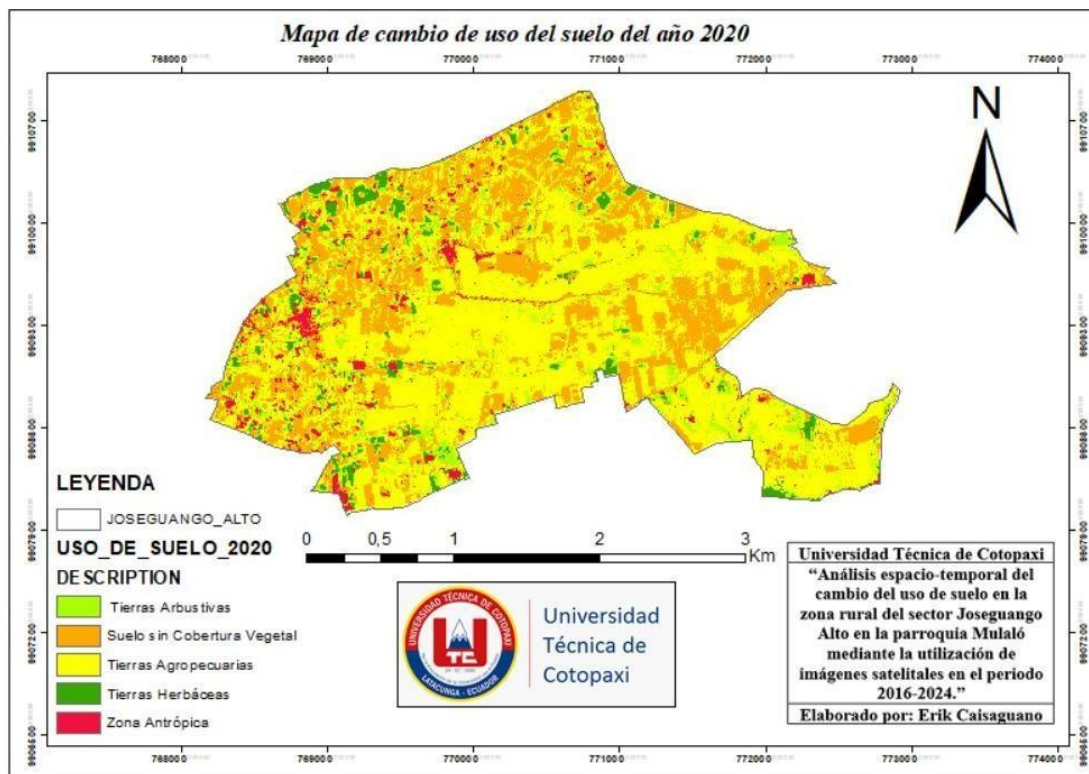
13.3.7. Mapa cartográfico de cambio de uso de suelo del año 2019



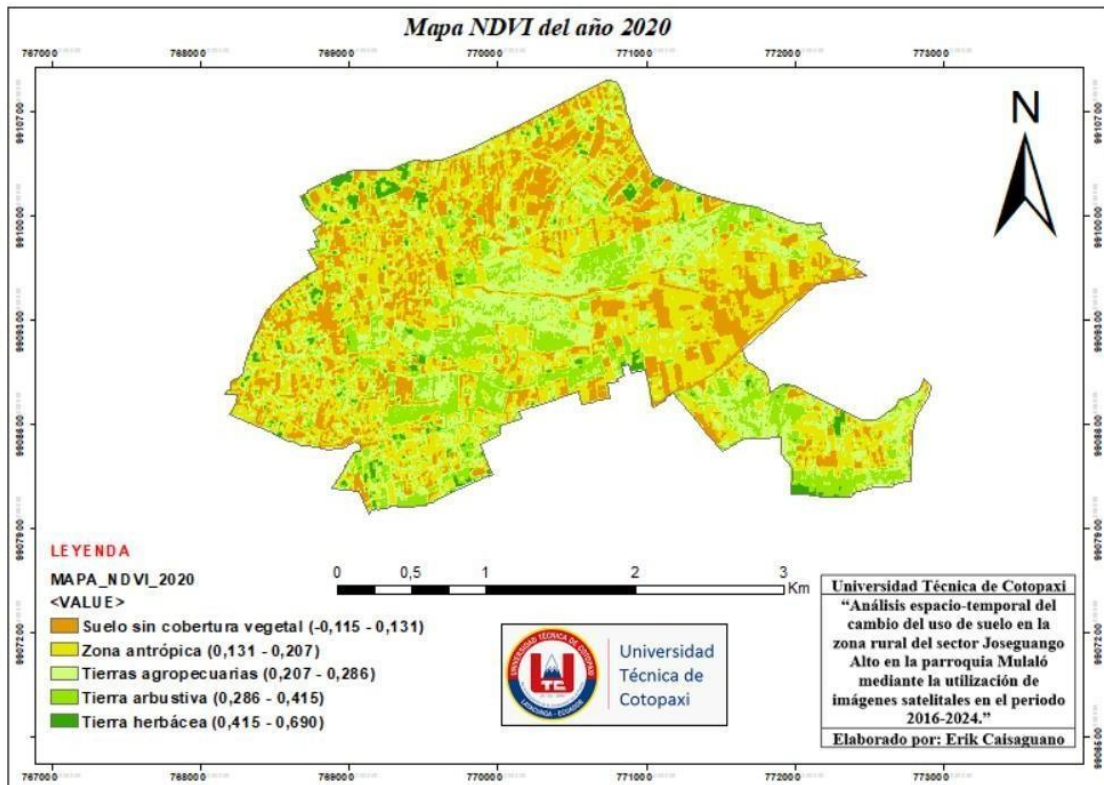
13.3.8. Mapa cartográfico del índice de vegetación (NDVI) del año 2019



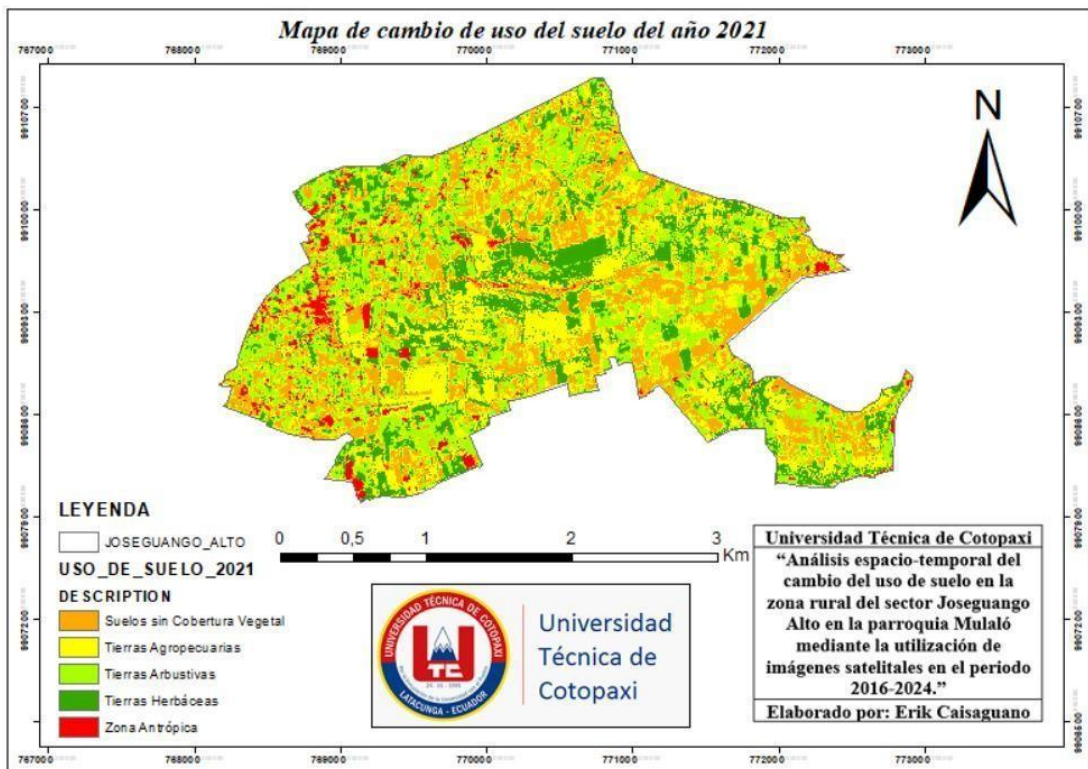
13.3.9. Mapa cartográfico de cambio de uso de suelo (NDVI) del año 2020



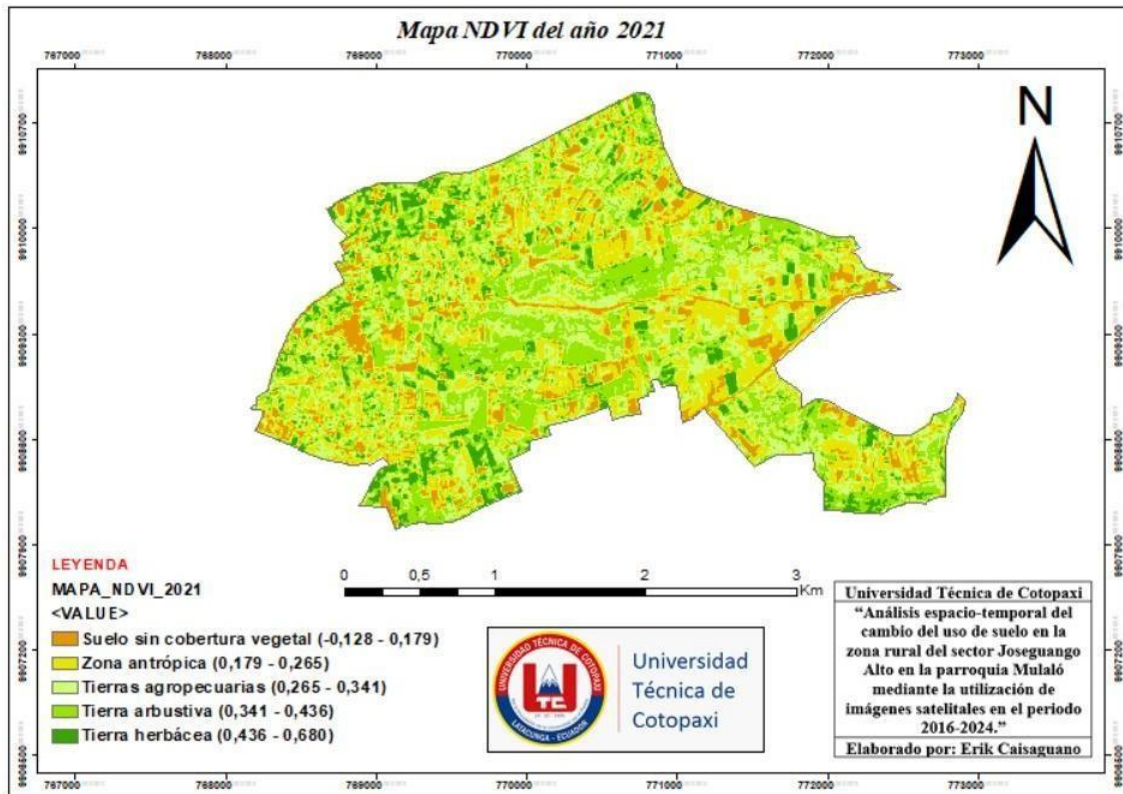
13.3.10. Mapa cartográfico del índice de vegetación (NDVI) del año 2020



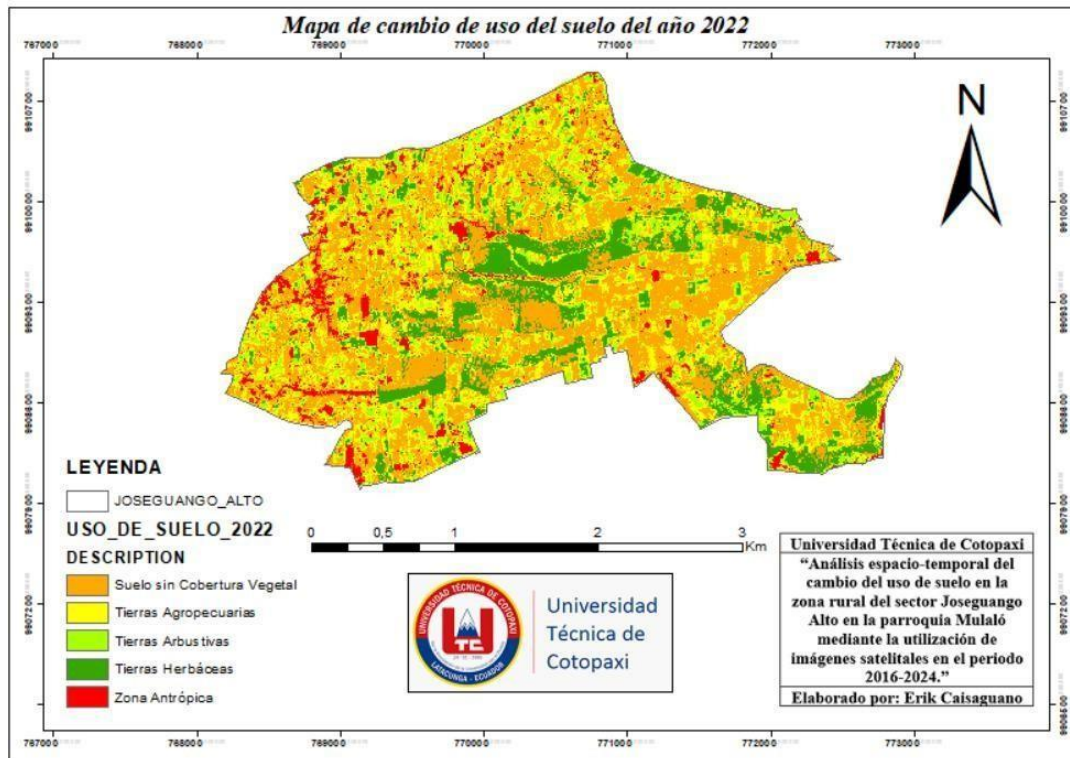
13.3.11. Mapa cartográfico de uso de suelo del año 2021



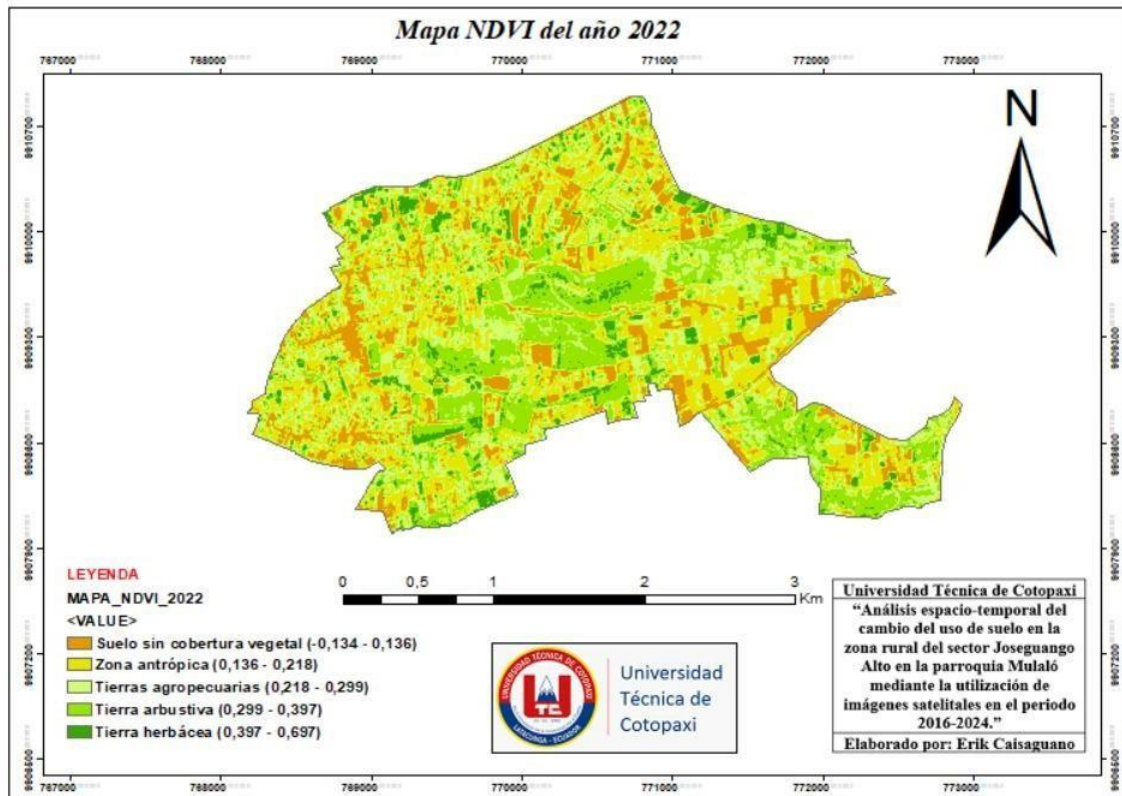
13.3.12. Mapa cartográfico del índice de vegetación (NDVI) del año 2021



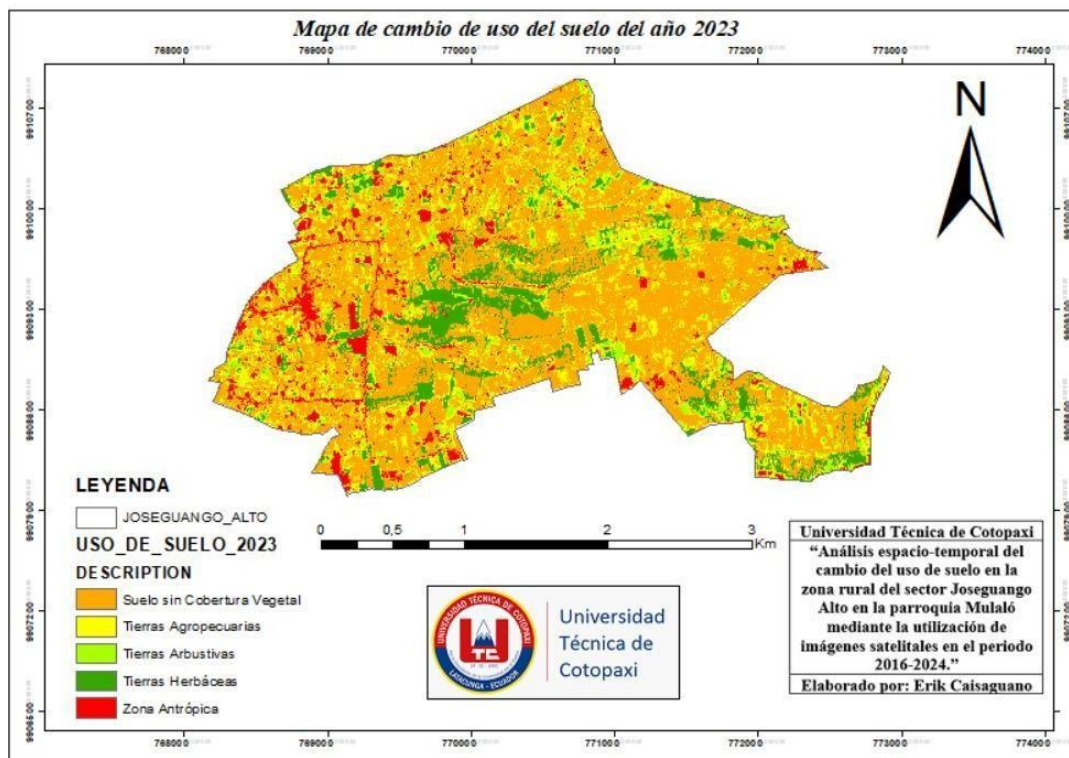
13.3.13. Mapa cartográfico de uso de suelo del año 2022



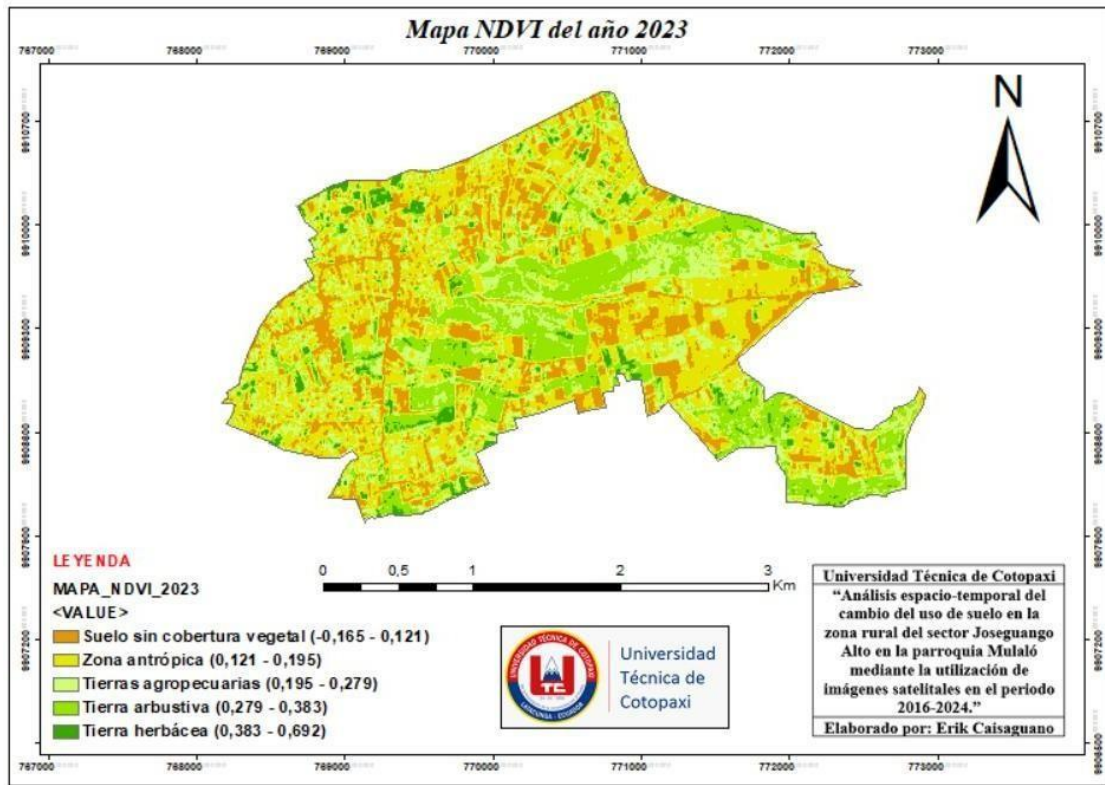
13.3.14. Mapa cartográfico del índice de vegetación (NDVI) del año 2022



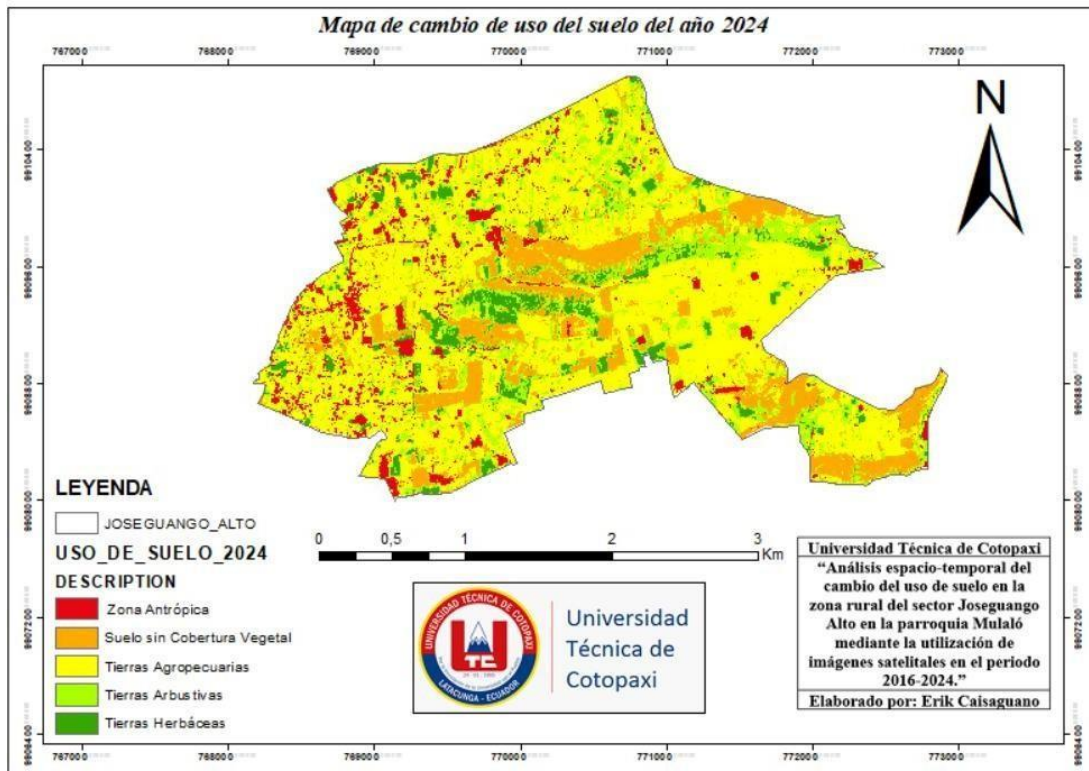
13.3.15. Mapa cartográfico de uso de suelo del año 2023



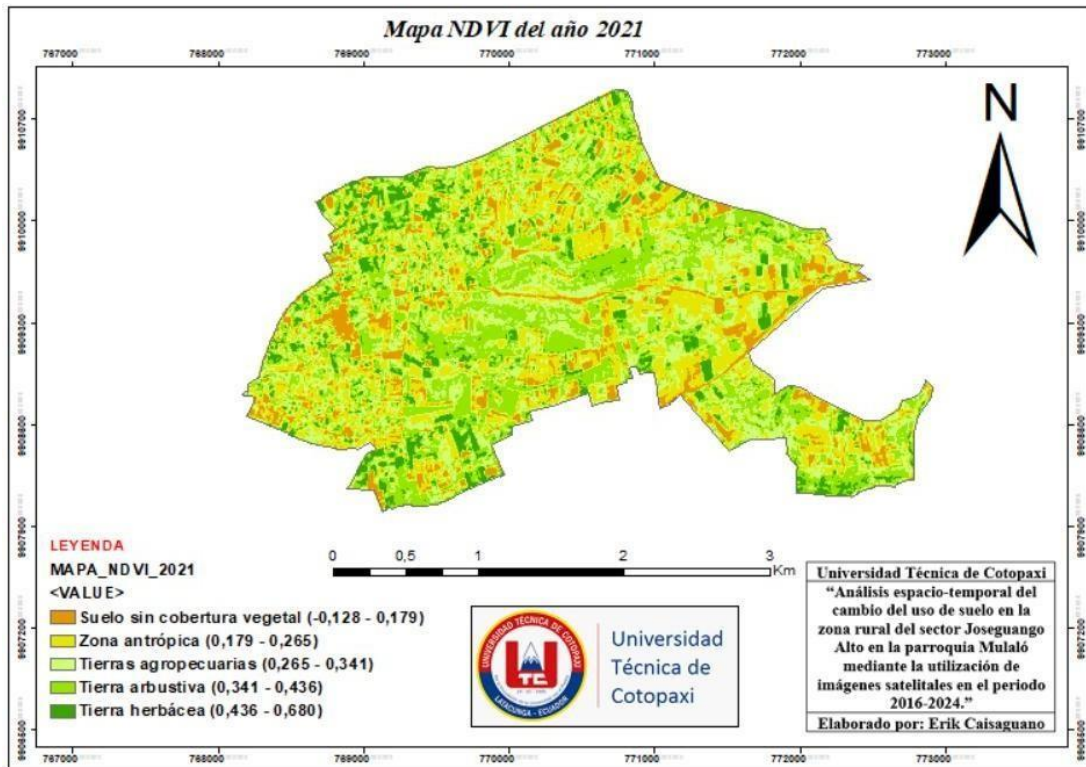
13.3.16. Mapa cartográfico del índice de vegetación (NDVI) del año 2023



13.3.17. Mapa cartográfico de uso de suelo del año 2024



13.3.18. Mapa cartográfico del índice de vegetación (NDVI) del año 2024



14. CONCLUSIONES

El estudio espacio-temporal mostró que en el sector de Joseguango alto ha experimentado diversos cambios relevantes en el territorio dentro de los años 2016 y 2024. Estos cambios se deben principalmente al desplazamiento de las áreas que se encuentran destinadas a la agricultura y zonas con influencia humana. Estos factores han hecho que exista la disminución de áreas con vegetación nativa.

El análisis de los sistemas geográficos, permitieron tener mayor comprensión de todos los cambios del uso del suelo o del estado de la cobertura vegetal del periodo de estudio. Teniendo en cuenta todas las imágenes satelitales, debido a que son herramientas útiles para mejorar el monitorear diferentes tipos de zonas.

La aplicación de NDVI permitió identificar de manera regular la dinámica vegetal del territorio, revelando así que el entorno ha experimentado una reducción gradual de la cobertura vegetal. Lo que manifiesta una presión antrópica en aumento en la zona.

15. RECOMENDACIONES

Fortalecer el monitoreo continuo de la cobertura del suelo periódicamente a partir de imágenes satelitales y la integración de las validaciones en el campo, con el fin de mejorar la efectivamente los cambios en el área determinada. De igual modo, se sugiere establecer protocolos estandarizados de verificación y seguimiento con instrumentos de planificación territorial.

Se recomienda integrar los resultados obtenidos del estudio a fuentes de datos para la planificación territorial de los GAD y entidades encargadas. Además, de esta manera se podrá utilizar la información con el fin de regular la expansión antrópica y así proteger las coberturas vegetales remanente. Así mismo se sugiere realizar futuras investigaciones multitemporales de mayor resolución espacial y temporal, así como la integración de variables socioeconómicas y climáticas para profundizar en la interpretación de los factores que llevan al cambio de uso de suelo.

Implementar programas de restauración y manejo sostenible del suelo en áreas donde se han detectado pérdidas de cobertura vegetal y degradación progresiva. La implementación de prácticas agroecológicas y conservación ayudaran a minimizar los efectos como la erosión, mejorar la productividad agrícola y con ello fortalecer la resiliencia del territorio frente a los cambios ambientales

16. BIBLIOGRAFÍAS

- Aguilar Arias, H., Mora Zamora, R., & Vargas Bolaños, C. (2015). Metodología para la corrección atmosférica de imágenes aster, rapideye, spot 2 y landsat 8 con el módulo flaash del software envi. atmospheric correction methodology for aster, rapideye, spot 2 and landsat 8 images with envi flaash module softwarE. *Revista Geográfica de América Central*, 2(53), 39-59. <https://doi.org/10.15359/rgac.2-53.2>
- Alban, G. P. G., Arguello, A. E. V., & Molina, N. E. C. (2020). Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción). *recimundo*, 4(3), 163-173. [https://doi.org/10.26820/recimundo/4.\(3\).julio.2020.163-173](https://doi.org/10.26820/recimundo/4.(3).julio.2020.163-173)
- Alee, M. M., Mehr, A. D., Akdegirmen, O., Nourani, V., Alee, M. M., Mehr, A. D., Akdegirmen, O., & Nourani, V. (2023). Drought Assessment across Erbil Using Satellite Products. *Sustainability*, 15(8). <https://doi.org/10.3390/su15086687>
- Anzoategui, L. V., Gil-Leguizamón, P. A., Sanabria-Marin, R., Anzoategui, L. V., Gil-Leguizamón, P. A., & Sanabria-Marin, R. (2023). Frontera agrícola y multitemporalidad de cobertura vegetal en Páramo del Parque Regional Natural Cortadera (Boyacá, Colombia). *Bosque (Valdivia)*, 44(1), 159-170. <https://doi.org/10.4067/s0717-92002023000100159>
- Arias-Muñoz, P., Saz, M. Á., & Escolano, S. (2024). Tendencias de cambio de usos y coberturas de suelo en la cuenca hidrográfica media-alta del río Mira en Ecuador. *Investigaciones Geográficas*, (81), 155-179. <https://doi.org/10.14198/INGEO.25248> *Base referencial mundial del recurso suelo 2014*. (s. f.).
- Bracalenti, M. A., Müller, O. V., Lovino, M. A., & Berbery, E. H. (2024). The agricultural expansion in South America's Dry Chaco: Regional hydroclimate effects. *Hydrology and Earth System Sciences*, 28(14), 3281-3303. <https://doi.org/10.5194/hess-28-3281-2024>
- Buzai, G. D., & Montes Galbán, E. J. (2021). *Estadística Espacial: Fundamentos y aplicación con Sistemas de Información Geográfica*. Universidad Nacional de Luján. Instituto de Investigaciones Geográficas. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/161048>
- Cabrera, I. R., & Agugliaro, F. M. (2025). *Teledetección Aplicada con QGIS: Casos Prácticos*. Universidad Almería.
- Calahorrano, S. S. P. (2021). *Diseño de un sistema de monitoreo mediante la utilización de access point para determinar la ubicación de un vehículo dentro de un área determinada*.

Carvajal Aldás, L. H. (2022). *Análisis multitemporal de la expansión urbana y cambios en el uso del suelo entre los años 2004-2021 de la ciudad de Ambato*.

<https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/35545>

Castaño-Aguirre, C. A., Baracaldo-Silva, P., Bravo-Arcos, A. M., Arbeláez-Caro, J.-S., Ocampo-Fernández, J., Pineda-López, O.-L., Castaño-Aguirre, C. A., Baracaldo-Silva, P., Bravo-Arcos, A. M., Arbeláez-Caro, J.-S., Ocampo-Fernández, J., & Pineda-López, O.-L. (2021). Territorio y territorialización: Una mirada al vínculo emocional con el lugar habitado a través de las cartografías sociales. *Revista Guillermo de Ockham*, 19(2), 201-217. <https://doi.org/10.21500/22563202.5296>

Chidodo, S., Zhang, L., Zarei, A., & Feger, K.-H. (2025). Remote sensing-based assessment of four decades of land use/land cover change in the Sigi River Watershed, East Usambara Mountains, Tanzania. *Frontiers in Remote Sensing*, 6. <https://doi.org/10.3389/frsen.2025.1594331>

constitución_de_la_república_del_ecuador_643. (s. f.).

cootad.pdf. (s. f.). recuperado 16 de diciembre de 2025, de

<https://www.cpccs.gob.ec/wp-content/uploads/2020/01/cootad.pdf>

Corrección atmosférica: Una visión general | Temas de ScienceDirect. (s. f.). Recuperado 26 de diciembre de 2025, de <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/atmospheric-correction>

Dominguez. (2021, septiembre 7). El PUGS: Una herramienta muy importante para los GADM. *Superintendencia de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión del Suelo*. <https://www.sot.gob.ec/2021/09/07/el-pugs-una-herramienta-muy-importante-para-los-gadm/>

Demir, D., & Musaoglu, N. (2023). AUTOMATIC CLASSIFICATION OF SELECTED CORINE CLASSES USING DEEP LEARNING BASED SEMANTIC SEGMENTATION. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLVIII-M-3-2023, 71-75. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-M-3-2023-71-2023>

Dos Santos Junior, E. R., De Mello, K., Garcia, E., & Richards, A. (2024). Wetland Condition Change Index using remote sensing images and Google Earth Engine. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLVIII-3-2024, 135-140. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-3-2024-135-2024>

- Emilat. (2020). *Fundamentals of Satellite Remote Sensing: An Environmental Approach*. Routledge & CRC Press. <https://www.routledge.com/Fundamentals-of-Satellite-Remote-Sensing-An-Environmental-Approach/Chuvieco/p/book/9781032850207>
- Escobar Flores, R. E., Castillo Santiago, M. Á., Escobar Flores, R. E., & Castillo Santiago, M. Á. (2021). Cambios en la cobertura y uso del suelo en la región del Soconusco, Chiapas. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 12(66), 46-69. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i66.755>
- Estacio Vidal, J. M., Tinoco Gómez, O. R., Díaz Tafur, J., & Moore Torres, R. K. (2021). Sistemas de Información Geográfica y Localización de un Relleno Sanitario en Cerro de Pasco. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas*, 24(48), 217-227. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v24i48.21774>
Estandares de informacion geografica—Páginas de Flipbook 1-50 | FlipHTML5. (s. f.). Recuperado 13 de enero de 2026, de <https://fliphtml5.com/wtae/zucy/basic>
- Flores-Gutiérrez, S. (2021). Análisis espacial del delito callejero en Ciudad de México, 2018. *Quivera Revista de Estudios Territoriales*, 23(1), 25. <https://doi.org/10.36677/qret.v23i1.15072>
- Fonseca, A. F. C., & González, A. M. R. (2022). Comparativa multi e hiperespectral del pasto *Cynodon nlemfuensis* bajo condiciones tropicales y de pastoreo con ganado lechero. *Revista Ingeniería*, 32(1), 1-18.
- Garcés, L. M. (s. f.). *Decreto Ejecutivo 752 Registro Oficial Suplemento 507 de 12-jun.-2019 Estado: Vigente*.
- Geist, H. J. (2021). Tobacco and Deforestation Revisited. How to Move towards a Global Land-Use Transition? *Sustainability*, 13(16), 1-21.
- González Soto, F. A., Ullón, D., Yaguachi Alarcón, A. L., Ramos, J. I. B., Montenegro Benalcázar, V. E., & Loján Córdova, J. I. (2024). Análisis multitemporal de cambios de uso del suelo en la isla Santa Cruz, archipiélago de las Galápagos, periodo 1991—2023. *Revista Ciencia y Tecnología*, 17(1), 1-9.
- Gonzalez-Toral, S., Saquicela, V., Lupercio, L., & de Cuenca, U. (2020). *land cover classification of high resolution images from an ecuadorian andean zone using deep convolutional neural networks and transfer learning*.
- Guzmán, V. (2021). El método cualitativo y su aporte a la investigación en las ciencias sociales. *Gestionar: revista de empresa y gobierno*, 1(4), 19-31. <https://doi.org/10.35622/j.rg.2021.04.002>

- informe con el análisis del plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia rural joseguango bajo periodo 2023-2027.* (s. f.). recuperado 18 de diciembre de 2025, de <https://joseguangobajo.gob.ec/cotopaxi/wp-content/uploads/2025/04/PDOT-JOSEGUANGO-2023-2027.pdf>
- Kgaphola, M. J., Ramoelo, A., Odindi, J., Mwenge Kahinda, J.-M., Seetal, A. R., & Musvoto, C. (2023). Impact of land use and land cover change on land degradation in rural semi-arid South Africa: Case of the Greater Sekhukhune District Municipality. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(6), 710. <https://doi.org/10.1007/s10661-023-11104-0>
- Landsat Soil Adjusted Vegetation Index | U.S. Geological Survey.* (s. f.). Recuperado 11 de diciembre de 2025, de <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-soil-adjusted-vegetation-index>
- LEY_ORGÁNICA_DE_ORDENAMIENTO_TERRITORIAL_USO_Y_GE_63.* (s. f.). *Ley-Organica-de-Tierras-Rurales-y-Territorios-Ancestrales.pdf.* (s. f.). Recuperado 17 de diciembre de 2025, de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/11/Ley-Organica-de-Tierras-Rurales-y-Territorios-Ancestrales.pdf>
- Lozano, D. L. Z. (2019). Análisis multitemporal y predictivo del cambio de uso del suelo y pérdida de cobertura vegetal. *Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*, 2(3), 81-89. <https://doi.org/10.25127/ucni.v2i3.607>
- Maeda, E. E., Aragão, L. E. O. C., Baker, J. C. A., Balbino, L. C., de Moura, Y. M., Nobre, A. D., Nunes, M. H., Silva Junior, C. H. L., & dos Reis, J. C. (2023). Land use still matters after deforestation. *Communications Earth & Environment*, 4(1), 29. <https://doi.org/10.1038/s43247-023-00692-x>
- Martín, S. G., Lafuente, V., Martín, S. G., & Lafuente, V. (2017). Referencias bibliográficas: Indicadores para su evaluación en trabajos científicos. *Investigación bibliotecológica*, 31(71), 151-180. <https://doi.org/10.22201/iibi.0187358xp.2017.71.57814>
- Maturano, J. G., Santana, J. D. M., García, A. L. A., & Hernández, M. S. (2024). Remote sensing of illegal dumps through supervised classification of satellite images: Application in Oaxaca, Mexico. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 50(2), 157-177. <https://doi.org/10.18172/cig.6273>
- Molina-Serrano, J. A., Fajardo-Franco, M. L., Aguilar-Tlatelpa, M., & Castañeda-Mendoza, A. (2019). Monitoring severity of *Lophodermium* sp. In pine forest with satellite

- images Sentinel 2. *Revista Mexicana de Fitopatología, Mexican Journal of Phytopathology*, 38(1). <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.1907-3>
- Muñoz Marcillo, J. L., Gentile, J. O., & Bustos Cara, R. (2020). Uso agrícola del suelo y demanda de agua para riego en la cuenca del río Vinces (Ecuador) durante el período 1990 – 2014. *Investigaciones geográficas (Chile)*, (59), 91-104.
- Nicola, S., & Efraín, D. (2016). *Análisis multitemporal de usos y coberturas de la tierra en el período 2005-2016 en el valle de Sico-Paulaya, Honduras*.
- Noguera, E. N. F. (2021). *Aplicación de los SIG en el análisis multitemporal de cambios en la cobertura vegetal en la vereda las Guacas del municipio de Popayán en los años 2001, 2009 y 2019*.
- Olivares, B. O., López-Beltrán, M. A., Olivares, B. O., & López-Beltrán, M. A. (2019). Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada aplicado al territorio indígena agrícola de Kashaama, Venezuela. *Cuadernos de Investigación UNED*, 11(2), 112-121. <https://doi.org/10.22458/urj.v11i2.2299>
- Oliveira, F. G. G. de, Amorim, J. da S., & Domingues, G. F. (2024). Effects of land use and land cover change on soil erosion in the Caatinga biome. *Environment, Development and Sustainability*. <https://doi.org/10.1007/s10668-024-05899-2>
- Pérez Hernández, M. J., Hernández Acosta, E., Sánchez Jiménez, R., González Gervacio, C., Madrigal Reyes, S., Pérez Hernández, M. J., Hernández Acosta, E., Sánchez Jiménez, R.,
- González Gervacio, C., & Madrigal Reyes, S. (2021). Dinámica de cambios de uso de suelo y vegetación por actividades antropogénicas en Zaachila, Oaxaca. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 12(66), 26-45. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i66.894>
- Plan de desarrollo y ordenamiento territorial. (2024). (2024).
- Pontius, R. G., Shusas, E., & McEachern, M. (2004). Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 101(2-3), 251-268. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2003.09.008>
- ¿Qué es la deforestación y cómo impacta a nuestro planeta? (s. f.). Recuperado 6 de diciembre de 2025, de <https://www.wwf.org.ec/?389690/que-es-la-deforestacion>
- Ramírez-Mocarro, M. A. (2022). Desarrollo sustentable en áreas rurales marginadas: Entre la sobrevivencia y la conservación. *Papeles de Población*, 4(18), 123-141.
- Registro Oficial Orgánico de la Republica del Ecuador. (s. f.). Recuperado 17 de diciembre de 2025, de https://esacc.corteconstitucional.gob.ec/storage/api/v1/10_DWL_FL/eyJYXWZXRhI

joicm8iLCJ1dWlkIjoiMGM4N2NkZWQtYzY5My00NjM4LWIwOTAtZDU1OTMy
ZmQwYjZmLnBkZiJ9

- Riva, P., González Guidi, R., Sánchez Caro, A., Gaspari, F. J., Riva, P., González Guidi, R., Sánchez Caro, A., & Gaspari, F. J. (2024). Determination of land use and land cover of the upper and middle basin of the Luján river. *Revista de geografía Norte Grande*, (89), 0-0. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022024000300002>
- Romero, M. Á. M., Tiza, D. R. H., Murillo, J. P. M., Cervantez, D. O. O., & Ordóñez, G. I. (s. f.). *Método mixto de investigación: Cuantitativo y cualitativo* [Text.Chapter]. Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú. <https://doi.org/10.35622/inudi.b.105>
- Romero Tandazo., G. C. (2019). *Factores determinantes de la movilidad humana del sector rural al urbano y su efecto en el desarrollo socio - económico del cantón loja, provincia de loja, periodo 2001- 2016*. <http://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/22096>
- Santafé, N. G. Á. (2023). *Actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia mulaló, cantón latacunga, provincia de cotopaxi 2020—2023*.
- Slesinski, J., Wierzbicki, D., Kedzierski, M., Slesinski, J., Wierzbicki, D., & Kedzierski, M. (2023). Application of Multitemporal Change Detection in Radar Satellite Imagery Using REACTIV-Based Method for Geospatial Intelligence. *Sensors*, 23(10). <https://doi.org/10.3390/s23104922>
- Solórzano Faubla, A. N., Loor Fernandez, O. D., Cedeño Sacon, A. F., & López Álava, G. A. (2025). *Análisis multitemporal de cambio de uso de suelo mediante percepción remota en el cantón Tosagua: Agricultura y Silvicultura*. https://agris.fao.org/search/en/providers/125666/records/68878f4a7fd4d06c32a921bb?utm_source=chatgpt.com
- Tamiru, T. (2025). Land Use Land Cover Change Detection Analysis Using GIS and Remote Sensing Techinques: In Case of Guto Wayu Woreda, Weastern Ethiopia. *American Journal of Remote Sensing*, 13(1), 1-12. <https://doi.org/10.11648/j.ajrs.20251301.11>
- Taxonomía de Suelos de USDA | Portal de Suelos de la FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. (s. f.). Recuperado 6 de diciembre de 2025, de <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/taxonomia-de-suelos-de-usda/es/>
- Tobar-Díaz, R., Gao, Y., Mas, J. F., & Cambrón-Sandoval, V. H. (2023). Clasificación de uso y cobertura del suelo a través de algoritmos de aprendizaje automático: Revisión

- bibliográfica. *Revista de Teledetección*, (62), 1-19.
<https://doi.org/10.4995/raet.2023.19014>
- Torrusio, S. E. (s. f.). *Introducción a la Teledetección Espacial*.
- Torrusio, S. E., Derguy, M. R., Lamaro, A. A., Torrusio, S. E., Derguy, M. R., & Lamaro, A. A. (2025). *Introducción a la teledetección espacial*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP). <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/182501>
- Tran, T. V., Reef, R., Zhu, X., Tran, T. V., Reef, R., & Zhu, X. (2022). A Review of Spectral Indices for Mangrove Remote Sensing. *Remote Sensing*, 14(19).
<https://doi.org/10.3390/rs14194868>
- Universidad Politécnica Salesiana, Avilés-Sacoto, E. C., Rodríguez-Ponce, J. P., & AGP Geospatial Company. (2024). Análisis multitemporal del cambio de uso y ocupación del suelo en el tramo del Qhapac Ñan Achupallas-Ingapirca. En Universidad Politécnica Salesiana, Quito (Ecuador), *Uso de tecnologías para la gestión y preservación de bienes patrimoniales* (1.^a ed., pp. 41-67). spue.
<https://doi.org/10.17163/abyaups.78.567>
- Uso del suelo | Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*. (s. f.). Recuperado 4 de diciembre de 2025, de https://www.ideam.gov.co/atencion-y-servicios-a-la-ciudadania/glosario/uso-del-suelo?utm_source=chatgpt.com
- Vallejos, M., Álvarez, A., del Giorgio, O., & Kuemmerle, T. (2026). Impacts of agricultural expansion on the resource availability of forest-dependent Indigenous communities in the Dry Chaco. *Ambio*, 55(1), 147-163. <https://doi.org/10.1007/s13280-025-02217-6>
- Ventajas y desafíos de los sistemas de información geoespacial | Espacio GeoTig*. (s. f.). Recuperado 6 de diciembre de 2025, de <https://blogs.upm.es/espacio-geotig/sig/ventajas-desafios/>
- Venter, O., Sanderson, E. W., Magrath, A., Allan, J. R., Beher, J., Jones, K. R., Possingham, H. P., Laurance, W. F., Wood, P., Fekete, B. M., Levy, M. A., & Watson, J. E. M. (2021). Sixteen years of change in the global terrestrial human footprint and implications for biodiversity conservation. *Nature Communications*, 7(1), 12558.
<https://doi.org/10.1038/ncomms12558>
- Winkler, K., Fuchs, R., Rounsevell, M., & Herold, M. (2021). Global land use changes are four times greater than previously estimated. *Nature Communications*, 12(1), 2501.
<https://doi.org/10.1038/s41467-021-22702-2>
- Zeas, S., & Marisol, F. (s. f.). *Zonificación de la susceptibilidad a deslizamientos por medio de sistemas de información geográfico, en la parroquia Bulán, canton Paute*.