



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS
NATURALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN MEDIO AMBIENTE

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Título:

“EVALUACIÓN DE LA DINÁMICA TEMPORAL DE LA COBERTURA VEGETAL DEL CANTÓN SALCEDO MEDIANTE EL USO DE IMÁGENES SATELITALES DESDE EL AÑO 2000 AL 2020”

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de Ingenieros en
Medio Ambiente

Autores:

Changalombo Valencia Diego Armando
Rivera Rivera Jhonatan Alexander

Tutor:

Mogro Cepeda Yenson Vinicio Ing. Mg.

LATACUNGA – ECUADOR

Agosto 2021

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Changalombo Valencia Diego Armando, con cedula de ciudadanía No. **0503490153** y **Rivera Rivera Jhonatan Alexander**, con cedula de ciudadanía No. **1750967406**, declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: “**Evaluación de la dinámica temporal de la cobertura vegetal del Cantón Salcedo mediante el uso de imágenes satelitales desde el año 2000 al 2020**”, siendo el Ingeniero Mg. Yenson Vinicio Mogro Cepeda, Tutor del presente trabajo; y eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad

Latacunga 11 de agosto de 2021

Diego Armando Changalombo Valencia

Estudiante

CC:0503490153

Rivera Rivera Jhonatan Alexander

Estudiante

CC: 1750967406

Ing. Mg. Yenson Vinicio Mogro Cepeta

Docente Tutor

CC:0501657514

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 Changalombo Valencia Diego Armando, identificados con las cédulas de ciudadanía 0503490153 de estado civil soltero, a quien en lo sucesivo se denominará **EL CEDENTE**; y, de otra parte, el Ingeniero Ph.D. Cristian Fabricio Tinajero Jiménez, en calidad de Rector, 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 en Medio Ambiente, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado “Evaluación de la dinámica temporal de la cobertura vegetal del Cantón Salcedo mediante el uso de imágenes satelitales desde el año 2000 al 2020”, 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: octubre 2016 – marzo_2017

Finalización de la carrera: abril 2021 – agosto 2021

Aprobación en Consejo Directivo: 20 de mayo del 2021

Tutor: Ing. Mg. Yenson Vinicio Mogro Cepeda

Tema: “Evaluación de la dinámica temporal de la cobertura vegetal del Cantón Salcedo mediante el uso de imágenes satelitales desde el año 2000 al 2020”

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 11 días del mes de Agosto del 2021.

Diego Armando Changelombo Valencia

EL CEDENTE

Ing. Ph.D. Cristian Tinajero Jiménez

LA CESIONARIA

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 Rivera Riveras Jhonatan Alexander, identificados con las cédulas de ciudadanía 170967406 de estado civil soltero, a quien en lo sucesivo se denominará **EL CEDENTE**; y, de otra parte, el Ingeniero Ph.D. Cristian Fabricio Tinajero Jiménez, en calidad de Rector, 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 en Medio Ambiente, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado “Evaluación de la dinámica temporal de la cobertura vegetal del Cantón Salcedo mediante el uso de imágenes satelitales desde el año 2000 al 2020”, 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: octubre 2016 – marzo_2017

Finalización de la carrera: abril 2021 – agosto 2021

Aprobación en Consejo Directivo: 20 de mayo del 2021

Tutor: Ing. Mg. Yenson Vinicio Mogro Cepeda

Tema: “Evaluación de la dinámica temporal de la cobertura vegetal del Cantón Salcedo mediante el uso de imágenes satelitales desde el año 2000 al 2020”

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:

- f) 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.
- g) La publicación del trabajo de grado.

- h) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- i) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- j) 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 11 días del mes de Agosto del 2021.

Jhonatan Alexander Rivera Rivera

EL CEDENTE

Ing. Ph.D. Cristian Tinajero Jiménez

LA CESIONARIA

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

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

“Evaluación de la dinámica temporal de la cobertura vegetal del Cantón Salcedo mediante el uso de imágenes satelitales desde el año 2000 al 2020”, de Changalombo Valencia Diego Armando y Rivera Rivera Jhonatan Alexander, de la carrera de Ingeniería en Medio Ambiente, 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 11 de Agosto del 2021

Ing. Mg. Vinicio Mogro Cepeda

DOCENTE TUTOR

C.C. 0501657514

AVAL DE LOS LECTORES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores ,aprobados 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, los postulantes: Changelombo Valencia Diego Armando y Rivera Rivera Jhonatan Alexander , con el título del Proyecto de Investigación: **“EVALUACIÓN DE LA DINÁMICA TEMPORAL DE LA COBERTURA VEGETAL DEL CANTÓN SALCEDO MEDIANTE EL USO DE IMÁGENES SATELITALES DESDE EL AÑO 2000 AL 2020”** 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 realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga 11 de Agosto del 2021

Lector 1 (presidente)
Ing. Mg. Caterine Isabel Donoso Quimbita
CC: 0502507536

Lector 2
Ing. Mtr. Jaime Rodrigo Segarra Escandón
CC: 0103578365

Lector 3
Ing. MSc. Jose Antonio Andrade Valencia
CC: 0502524481

AGRADECIMIENTO

Le agradezco a Dios por haberme guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi apoyo mi fortaleza y sobre todo siempre brindarme una vida llena de aprendizajes y experiencias por otra parte agradezco a mi familia principalmente a mis padres por el apoyo brindado, por ser la base de mis escalones para poner seguir avanzando y lograr lo que me propongo. Del mismo modo le agradezco la confianza, apoyo y dedicación de tiempo a mis docentes: Vinicio Mogro – Juan Espinoza por haber compartido conmigo sus conocimientos y sobre todo su amistad. Gracias Ingeniero Vinicio por creer en mí, y haberme brindado la oportunidad de desarrollar la tesis profesional y por todo el apoyo brindado.

DIEGO ARMANDO

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a mis padres por brindarme su apoyo en esta meta que estoy por finalizar ya que ellos fueron un pilar fundamental para seguir luchando por mis sueños y metas que me he propuesto en la vida, también por apoyarme tanto moralmente como económicamente en todo el transcurso de mi carrera.

También quiero agradecer a mi tutor el Ingeniero Vinicio Mogro quien con sus conocimientos y paciencia me apoyo, me guio a través de cada etapa de este proyecto de investigación y así alcanzar los resultados deseados.

Muchas gracias a todos.

JHONATAN ALEXANDER

DEDICATORIA

Este presente trabajo la dedico a mis padres como los son José Changalombo y Blanca Valencia quienes fueron el pilar fundamental para lograr culminar mis estudios, quienes me apoyaron en cada decisión que tomaba les agradezco mucho por ellos estoy donde estoy de igual manera les dedico a mis hermanos como los son German, Wilson, Clara y Carlos ya que ellos también fueron un apoyo incondicional con los buenos consejos brindados.

Y por supuesto a mi querida Universidad y a todas las autoridades, por permitirme concluir con una etapa de mi vida, gracias por la paciencia y orientación que siempre me han brindado.

DIEGO ARMANDO

DEDICATORIA

Dedico con todo mi corazón mi proyecto de grado a mis padres y abuelitos por estar conmigo en cada etapa de mi vida, por enseñarme a crecer como persona, por apoyarme, guiarme y por ser mis pilares fundamentales en esta larga trayectoria.

A mi hermana por su cariño y apoyo incondicional durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento. A toda mi familia porque con sus consejos y palabras de aliento, hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas alcanzadas.

JHONATAN ALEXANDER

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

TÍTULO: “Evaluación de la dinámica temporal de la cobertura vegetal del Cantón Salcedo mediante el uso de imágenes satelitales desde el año 2000 al 2020”.

Autores: Changelombo Valencia Diego Armando

Rivera Rivera Jhonatan Alexander

RESUMEN

Las investigaciones relacionadas con los cambios progresivos de la cobertura vegetal y el uso de suelo son cada vez más importantes en la investigación ambiental ya que permite evaluar a lo largo del tiempo la pérdida o ganancia de la cobertura vegetal. Además, en las últimas décadas las actividades antropogénicas se han convertido en el principal problema de la transformación de los ecosistemas, modificándolos o destruyéndolos con el fin de desarrollar sus actividades. El objetivo principal de la presente investigación fue evaluar la dinámica temporal de la cobertura vegetal del cantón Salcedo del año 2000 al 2020, el estudio se realizó en base a las imágenes satelitales multiespectrales Landsat 7 ETM+, 8 OLI y Sentinel 2, la metodología aplicada para la clasificación de la cobertura vegetal es de carácter supervisado, usando el algoritmo de máxima verosimilitud y la aplicación del NDVI en el programa QGIS, además se validaron la clasificación mediante áreas de entrenamiento y verificaciones tomadas en campo, la cual se identificó siete coberturas: bosque, suelos desnudos, páramo, mosaico agropecuario, zonas urbanas, ríos o lagos, arbustos y matorrales, de este modo se evaluaron los cambios de la cobertura vegetal, de igual forma se elaboró una matriz de transición donde se analizaron los cambios ocurridos cada dos periodos con la finalidad de identificar y cuantificar los cambios sucedidos dentro del área de estudio. Por lo tanto, los resultados indican que desde el año 2001 al 2020 el cantón Salcedo ha sufrido cambios progresivos en la cobertura vegetal, uno de los cambios más significativos es la pérdida de los páramos y el aumento de los mosaicos agropecuarios teniendo que para el año 2020 el páramo ha decrecido 5812,84 ha y el mosaico agropecuario ha aumentado 12216,43 ha más que el año 2001. Los datos capturados por todos estos sensores se almacenaron en forma de tablas y mapas, a partir de los cuales se generó la información que ayude a la actualización del plan de ordenamiento territorial del cantón Salcedo con respecto al uso actual del suelo y así poder realizar una planificación sobre el territorio para el ámbito de la conservación de los recursos naturales.

Palabras claves: Dinámica multitemporal, imágenes satelitales, método supervisado, cobertura vegetal, QGIS.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCES AND NATURAL RESOURCES

THEME: “Temporal dynamics evaluation of the vegetal coverage in the Salcedo Canton using satellite images from 2000 to 2020”.

Authors: Changelombo Valencia Diego Armando
Rivera Rivera Jhonatan Alexander

ABSTRACT

Research related to the progressive changes in vegetation coverage and land use is becoming increasingly important in environmental research as it allows to evaluate over time the loss or gain of vegetation coverage. Moreover, in recent decades, anthropogenic activities have become the main problem in the transformation of ecosystems, modifying or destroying them in order to develop their activities. The main objective of this research was to evaluate the temporal dynamics of the vegetation coverage of the Salcedo Canton from 2000 to 2020, the study was conducted based on multispectral satellite images Landsat 7 ETM+, 8 OLI and sentinel 2, the methodology applied for the vegetation coverage classification is supervised, using the maximum likelihood algorithm and the application of NDVI in the QGIS program, also the classification was validated by training areas and verifications taken in the field, which identified seven coverages: forest, bare soils, moorland, agricultural mosaic, urban areas, rivers or lakes, shrubs and bushes, in this way the changes in vegetation coverage were evaluated, as well as a transition matrix where the changes that occurred every two periods were analyzed in order to identify and quantify the changes that occurred within the study area. Therefore, the results indicate that from 2001 to 2020 the Salcedo Canton has suffered progressive changes in vegetation coverage, one of the most significant changes is the loss of moorland and the increase of agricultural mosaics, with the moorland decreasing by 5812.84 hectares by 2020 and the agricultural mosaic increasing by 12216.43 hectares more than in 2001. The data captured by all these sensors were stored in the form of tables and maps, from which information was generated to help update the land use plan for the Salcedo Canton with respect to current land use and thus be able to plan the territory for the conservation of natural resources.

Keywords: Multitemporal dynamics, satellite images, supervised method, vegetation cover, QGIS.

Índice de Contenidos

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR.....	iii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR	v
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	vii
AVAL DE LOS LECTORES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	viii
AGRADECIMIENTO.....	ix
AGRADECIMIENTO.....	x
DEDICATORIA	xi
DEDICATORIA	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT	xiv
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	2
3. BENEFICIOS DEL PROYECTO.....	3
4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	3
5. OBJETIVOS.....	4
5.1. Objetivo General.....	4
5.2. Objetivos Específicos.....	4
6. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA TÉCNICA	6
6.1. Cobertura vegetal.....	6
6.2. Cambio de Cobertura Vegetal.....	6
6.3. Uso de la Tierra	6
6.4. Ámbito Ecosistémico - Territorial.....	7
6.4.1. Uso actual de Suelo.....	7

6.4.2.	Topografía.....	7
6.4.3.	Condiciones climáticas.....	8
6.4.4.	Flora y Fauna.....	8
6.4.5.	Hidrología	8
6.4.6.	Geología.....	9
6.4.7.	Geomorfología.....	9
6.4.8.	Páramo	9
6.4.9.	Servicios ecosistémicos del páramo	10
6.4.10.	Principales factores que afectan a los páramos	10
6.5.	Sistemas de información Geográfica	10
6.6.	Teledetección.....	11
6.6.1.	Fundamentos de la Teledetección	11
6.6.2.	La Teledetección ambiental.....	12
6.6.3.	Espectro Electromagnético	13
6.7.	Sensores Remotos	14
6.7.1.	Tipos De Sensores	14
6.7.1.1.	Sensores Pasivos	14
6.7.1.2.	Sensores Activos.....	15
6.8.	Características de los datos de teledetección.....	16
6.9.	Resolución del Sensor Remoto	17
6.9.1.	Resolución Espacial	17
6.9.2.	Resolución Espectral.....	17
6.9.3.	Resolución radiométrica.....	17
6.9.4.	Resolución Temporal	17
6.10.	Características de los satélites Landsat	18

6.10.1.	El Programa Copernicus.....	20
6.10.2.	Características de Sentinel 2A	21
6.11.	Pre-Procesamiento de Imágenes.....	21
6.11.1.	Corrección geométrica	21
6.11.2.	Corrección Radiométrica.....	22
6.11.3.	Corrección Atmosférica.....	22
6.11.4.	Bandeo de las imágenes Landsat 7	22
6.12.	Procesamiento De Imágenes	23
6.12.1.	Unión de bandas.....	23
6.12.2.	Análisis de las imágenes.....	23
6.12.3.	Combinación de bandas.....	24
6.12.4.	Análisis multitemporal de la cobertura vegetal	25
6.13.	Procesamiento/Clasificación De Imágenes	26
6.13.1.	Fase de entrenamiento	26
6.13.2.	Índice de vegetación.....	26
6.13.3.	Clasificación Supervisada.....	27
6.13.4.	Clasificación no supervisada.....	28
6.14.	Evaluación Multicriterio.....	28
6.15.	Marco Legal	29
6.15.1.	Constitución de la República del Ecuador	29
6.15.2.	COOTAD	30
6.15.3.	Código Orgánico del Ambiente	30
6.15.4.	Código Orgánico Integra Penal.....	31
6.15.5.	Reglamento Código Orgánico del Ambiente	31
7.	PREGUNTA CIENTÍFICA.....	32

8.	METODOLOGÍA.....	33
8.1.	Área de Estudio.....	34
8.2.	Fases metodológicas.....	35
8.2.1.	Fase 1: Trabajo de campo.....	35
8.2.2.	Fase 2: Preparación.....	36
8.2.2.1.	Búsqueda de información secundaria.....	36
8.2.2.2.	Selección y descarga de imágenes satelitales Landsat y Sentinel 2.....	37
8.2.2.3.	Composición de las imágenes descargadas.....	38
8.2.3.	Fase 3: Preprocesamiento de imágenes satelitales.....	38
8.2.3.1.	Correcciones geométricas.....	38
8.2.3.2.	Corrección radiométrica.....	38
8.2.3.3.	Corrección atmosférica.....	39
8.2.3.4.	Clasificación supervisada.....	40
8.2.3.5.	Cálculo de Índice de vegetación “NDVI”.....	41
8.2.4.	Fase 4: Post-procesamiento.....	42
8.2.5.	Fase 5: Consolidación de resultados.....	42
8.2.5.1.	Análisis multitemporal.....	42
8.3.	Evaluación multicriterio.....	42
9.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	45
9.1.	Categoría de la cobertura vegetal y usos del suelo del cantón Salcedo.....	45
9.2.	Cobertura vegetal y uso suelo 2000- 2020.....	47
9.2.1.	Cobertura vegetal y uso de suelo 2001-2004-2007.....	47
9.2.2.	Cobertura vegetal y usos de suelo 2011 – 2016 – 2020.....	49
9.3.	Análisis multitemporal.....	51
9.4.	Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI).....	56

9.5.	Análisis de la evaluación multicriterio	59
9.6.	Impactos (social, económico y ambiental).....	60
10.	PRESUUESTO.....	61
11.	CONCLUSIONES	62
12.	RECOMENDACIONES	63
13.	BIBLIGRAFÍA.....	64
14.	ANEXOS	69

Índice de figura

Figura 1	Espectro electromagnético	14
Figura 2	Tipo de energía para la obtención de las imágenes satelitales	15
Figura 3	Línea de tiempo de las misiones Landsat	18
Figura 4	Color natural (432) y falso color 843	24
Figura 5	Clasificación ramificada.....	27
Figura 6	Metodología empleada.....	33
Figura 7	Metodología empleada para zonas prioritarias a reforestar.....	34
Figura 8	Mapa de ubicación del cantón Salcedo	35
Figura 9	OruxMaps Puntos georreferenciados en la zona de estudio	36
Figura 10	Visualización de la interfaz de la plataforma Earth Explore	38
Figura 11	Imagen Landsat 7 satelital realizado la corrección del bandeado	39
Figura 12	Semi-Automático clasificación Plugin	40
Figura 13	Rango del NDVI -1 a +1	41
Figura 14	Análisis de cobertura vegetal de los años 2001-2004-2007	48
Figura 15	Análisis de cobertura vegetal de los años 2011-2016-2020	50
Figura 16	NDVI del 2001- 2004	56
Figura 17	NDVI del 2007- 2011	57
Figura 18	NDVI del 2016- 2020	58
Figura 19	Zonas prioritarias a reforestación.....	59

Índice de tabla

Tabla 1	Beneficiarios del proyecto de investigación.....	3
Tabla 2	Actividades de sistema de tareas en relación a los objetivos.....	5
Tabla 3	Características de sensores Landsat7, 8 y Sentinel 2	19
Tabla 4	Combinación de las bandas Landsat 8, 7 y Sentinel 2	25
Tabla 5	Escala de preferencia de Saaty.....	29
Tabla 6	Modelo de plantilla para la toma de puntos de muestreo	36
Tabla 7	Imágenes del Landsat 7, 8 y sentinel 2	37
Tabla 8	Grados de pendiente	43
Tabla 9	Valores asignados a cada variable según su escala de preferencia	44
Tabla 10	Rango de Priorización para Zonas a Reforestar.....	44
Tabla 11	Categorías y claves de la leyenda de la cobertura vegetal.....	45
Tabla 12	Coordenadas geográficas de los tipos de cobertura vegetal.....	46
Tabla 13	Análisis multitemporal de la clasificación supervisada.....	47
Tabla 14	Análisis multitemporal de la clasificación supervisada.....	49
Tabla 15	Matriz de transición de la cobertura vegetal 2001 -2004	53
Tabla 16	Matriz de transición de la cobertura vegetal 2007 - 2011	54
Tabla 17	Matriz de transición de la cobertura vegetal 2016 -2020	55
Tabla 18	Presupuesto para la elaboración del proyecto.....	61

Índice de Anexos

Anexo 1	Mapa de cobertura vegetal del cantón Salcedo del año 2001	69
Anexo 2	Mapa de cobertura vegetal del cantón Salcedo del año 2004	70
Anexo 3	Mapa de cobertura vegetal del cantón Salcedo del año 2007	70
Anexo 4	Mapa de cobertura vegetal del cantón Salcedo del año 2011	70
Anexo 5	Mapa de cobertura vegetal del cantón Salcedo del año 2016	70
Anexo 6	Mapa de cobertura vegetal del cantón Salcedo del año 2020	70
Anexo 7	Mapa del cambio de la cobertura vegetal del año 2001 al 2004	70
Anexo 8	Mapa del cambio de la cobertura vegetal del año 2007 al 2011	70
Anexo 9	Mapa del cambio de la cobertura vegetal del año 2016 al 2020	70
Anexo 10	Mapa de zonas prioritarias a reforestar del cantón Salcedo.....	70

1. INTRODUCCIÓN

La vegetación es un importante indicador para evaluar diferentes procesos biofísicos en los ecosistemas, desde la aparición de los seres humanos sobre la tierra, los paisajes naturales de manera rutinaria se han convertido en zonas dominadas por el ser humano para los cultivos, la ocupación y otras actividades económicas, en la cual ejerce una fuerte presión sobre la cobertura vegetal, transformándola gradualmente.

En las últimas décadas el Ecuador ha experimentado fuertes cambios en la cobertura vegetal y el uso de suelo, uno de los tantos factores que han alterado este proceso es el avance desmesurado de la frontera agrícola y el crecimiento agresivo de las áreas urbanas. Sobre todo, el cantón Salcedo según (Balarezo & Guerrero, 2014) menciona que esto se debe a que el cantón se ha convertido en una de las regiones de desarrollo agrícola, y de pastizales muy extensos, es así que más del 49,3% de la población del cantón se dedica a estas actividades (p. 69), cabe mencionar, que las coberturas y los cambios del uso de suelos son muy relevantes y visibles, principalmente debido a las actividades antropogénicas que los seres humanos cambian el entorno para su propio beneficio la cual conlleva la modificación y la pérdida de los diferentes tipos de coberturas naturales. Por ende, la pérdida de estos recursos naturales son uno de los problemas ambientales más serios que estamos encarando al destruir el medio que produce nuestros alimentos y donde nos desenvolvemos en nuestro diario vivir.

Cabe señalar que, al establecer indicadores de degradación y protección de los recursos naturales, especialmente al evaluar la dinámica del uso de la tierra y los cambios en la cobertura vegetal, la teledetección es una herramienta valiosa y determinante. Un aporte destacado de la teledetección espacial al estudio medioambiental es poder captar imágenes desde un sensor que se encuentra en el espacio para su posterior análisis (Chuvienco, 1998). De igual forma, pueden ayudarnos a identificar, describir, cuantificar y monitorear los cambios de la cobertura vegetal, causadas por actividades y alteraciones antropogénicas o cambios climáticos, así como la descripción de escenarios tendenciales (Pérez y Muñoz, 2006).

Por lo tanto, los sistemas de información geográfico (SIG) aplicado al medio ambiente juega un papel fundamental en la investigación actual, por lo que la información espacial puede ser manipulada, mejorada y modelada, y se pueden dar respuestas al cómo y por qué ocurre estos fenómenos. Es por ello que la presente investigación pretende evaluar la cobertura vegetal del cantón Salcedo en los últimos 20 años y poder identificar las nuevas características de la

cobertura vegetal y construir mapas locales detallados en donde se plasme los resultados obtenidos.

2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La pérdida de la cobertura vegetal es considerada como un proceso complejo que se ha convertido en una gran preocupación a escala global y local. Es importante mencionar que los factores que han ayudado a la pérdida de la cobertura vegetal no solo es la expansión de la frontera agrícola si no también el cambio climático, que trae como consecuencia una alteración en la temperatura media del planeta, debido a las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmosfera. Estos impactos en nuestro país se han manifestado en la disminución del páramo de alta montaña, debido a los incendios que son comunes en esta zona y que se han intensificado en las últimas temporadas secas.

Actualmente, las actividades en los páramos se dirigen a la ganadería (generalmente combinada con la quema) y los cultivos (principalmente papas, leguminosas y otros productos). En algunas áreas, estas actividades se combinan a través de un sistema de rotación de cultivos entre papas y pastizales. Hay otras actividades más pequeñas como las plantaciones y la minería del carbón y el denominado cascajo con el que se elabora bloques alivianados para la construcción. Las actividades humanas han causado que, entre los distintos tipos de páramo que se conocen y que son determinados por su naturaleza, se encuentren varios niveles de intervención, lo que ha transformado ecosistemas en menor o mayor grado, en un mosaico de paisajes (Hofstede et al., 2014, p. 27).

Según (PDOT, 2015) en la provincia de Cotopaxi menciona que “no existen estudios a nivel provincial ni cantonal que puedan vincular científicamente la pérdida de la cobertura vegetal natural con la disminución de los caudales de agua, la percepción generalizada de la población sobre todo que habita en el sector rural” (p. 19).

Es por ello, que la conservación y preservación de los bosques y paramos es importante en la actualidad, puesto que la capacidad de dichos ecosistemas de cumplir múltiples funciones, sirven de ayuda en la solución de estos graves problemas ambientales que hoy en día los estamos atravesando. Además, la presente investigación ayudará a que el cantón salcedo pueda tener insumos actualizados con los que pueden realizar una planificación sobre el territorio para el ámbito de la conservación de los recursos naturales y tener, sobre todo, el plan de ordenamiento territorial actualizado con respecto a uso y cobertura actual del suelo.

3. BENEFICIOS DEL PROYECTO

Tabla 1

Beneficiarios del proyecto de investigación

Beneficiarios		
Directos	Habitantes del cantón Salcedo	
	Hombres	27.880
	Mujeres	30.336
Indirectos	Universidad Técnica de Cotopaxi (La Matriz) y su Población	2.800 Hbts.
Total		61.016

Fuente: (INEC, 2010)

4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La cobertura vegetal juega un papel importante en la protección del medio ambiente, entre otras funciones, mantiene la estabilidad hídrica debido a su intervención en los componentes del ciclo del agua, de igual forma el proceso de regulación del caudal de una cuenca hidrológica, retiene el caudal y la dirige hacia la vía fluvial aumentando la infiltración al suelo; a su vez actúa como una “esponja” que retiene agua para luego liberar en un tiempo paulatino. Por lo tanto, aumenta la estabilidad del suministro de agua y reduce el nivel de inundación en las cuencas (Calderón & Carvajal, 2019, p. 4).

Cabe señalar que la cantidad de regulación del agua en una cuenca hidrológica dependerá del tipo, característica y cantidad de cada cobertura vegetal que exista en la misma. Por tal motivo, es indispensable conservar y mantener las coberturas vegetales naturales; sin embargo, en la actualidad y aun conociendo el importante papel que juega la vegetación en los procesos naturales del ambiente, la degradación y el avance desmesurado de las fronteras agrícolas constituye alguno de los problemas más preocupantes a nivel mundial, en cuanto se refiere a la conservación de los ecosistemas.

En las últimas décadas el Ecuador ha experimentado fuertes cambios en su cobertura vegetal natural y el uso de suelo, debido al avance de la frontera agrícola y, el crecimiento de las zonas urbanas entre otros. La presión que ejerce la población sobre el territorio, han conducido al sacrificio de tierras con potencial agrícola, convirtiendo la tierra rural en tierra urbana (Universidad de Cuenca & Pinos-Arévalo, 2016).

De acuerdo a datos difundidos por el Ministerio de Ambiente en el 2012, el Ecuador presenta una tasa anual de cambio de cobertura boscosa de -0,71% para el periodo 1990 – 2000 y de -0,66% para el periodo 2000 – 2008. Proporcionando una deforestación de 89.944 hectáreas/año, y de 77.647 ha/año para cada periodo, respectivamente (MAE, 2012).

Por otro lado, existe limitada información sobre los cambios de cobertura vegetal y uso del suelo en los territorios cantonales, es aquí donde surge el interés por desarrollar el estudio sobre el cambio de la cobertura vegetal que ha tenido el cantón Salcedo en los últimos años. El periodo de evaluación comprenderá el rango entre, el año 2000 al 2020, a partir de un análisis multitemporal para la determinación de la pérdida de la cobertura.

5. OBJETIVOS

5.1.Objetivo General

Evaluación de la dinámica temporal de la cobertura vegetal del Cantón Salcedo mediante el uso de imágenes satelitales en los últimos 20 años.

5.2.Objetivos Específicos

- Identificar los tipos de cobertura vegetal del área de estudio asociando a las respectivas coordenadas geográficas.
- Identificar las zonas donde ocurrió los cambios de coberturas vegetales mediante el uso de imágenes satelitales.
- Determinar la variación de la cobertura vegetal presente en el Cantón Salcedo, en los últimos 20 años a partir del procesamiento y análisis de información cartográfica existentes.

Tabla 2*Actividades de sistema de tareas en relación a los objetivos*

Objetivos	Actividades	Resultados de actividades	Medios de verificación
1. Identificar los tipos de cobertura vegetal del área de estudio para el muestreo de las coordenadas geográficas.	Recopilación de información bibliográfica, PDOT. Georreferenciación de puntos de muestreo de las clases de cobertura vegetal.	Puntos de muestreo dentro del área de estudio.	Libreta de campo con las coordenadas georreferenciadas. Base de datos de las coordenadas identificadas por fotointerpretación.
2. Identificar las zonas donde ocurrió los cambios de coberturas vegetales mediante el uso de imágenes satelitales	Obtención de las imágenes satelitales del Earth Explorer del USGS. Preprocesamiento y creación de polígonos en el software QGIS.	Correcciones atmosféricas de las imágenes satelitales.	Archivo digital de correcciones atmosféricas realizadas para cada imagen.
3. Determinar la variación de las coberturas vegetales presentes en el Cantón Salcedo, en los últimos 20 años a partir del procesamiento y análisis de información cartográfica existentes.	Análisis de la cobertura vegetal en el cantón Salcedo. Comparación de la pérdida de la cobertura vegetal en los periodos de estudio.	Mapas temáticos del cambio de cobertura vegetal del territorio.	Mapas analógicos y digitales temáticos del cambio de cobertura vegetal para los años realizado la investigación.

6. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA TÉCNICA

6.1.Cobertura vegetal

Según (Portilla & Resl, 2013), menciona que “la cobertura vegetal es la capa de vegetación natural que cubre la superficie del terreno, desde áreas cubiertas por pastizales hasta bosques naturales, con diversas biomasas y diferentes características fisiológicas y ambientales”. De igual forma incluye la cobertura vegetal causada por actividades humanas, como áreas agrícolas y forestales, áreas urbanas, aguas y terrenos baldíos. Por otro lado, la cobertura vegetal puede proporcionar información básica para varios procesos nacionales, tales como mapas de ecosistemas, conflictos de uso de la tierra, manejo de cuencas y tierras, deforestación e inventario forestal.

6.2.Cambio de Cobertura Vegetal

En los últimos años, las actividades humanas han sido reconocidas como la mayor fuerza formadora de la biosfera. Además, las fuerzas naturales son la causa más actual del flujo y estado de la biosfera. La mayoría de los cambios en los ecosistemas terrestres se deben a la protección de la cubierta terrestre, la degradación y la intensificación del uso de la tierra. Los cambios en el uso de la tierra son el resultado de interacciones complejas entre los seres humanos y el entorno biofísico, debido a que actúan en una amplia gama de escalas de tiempo y espacio. Por otro lado, nos ayudan a entender las fuerzas sociales que impulsan los cambios en el uso de la tierra, es esencial estudiar, modelar y predecir los cambios ambientales a nivel local y nacional (Granados & Acosta, 2010, p. 20).

En el Ecuador, la deforestación y la transformación del uso de la tierra es un problema complejo causado por una variedad de causas directas e indirectas (o potenciales); estas incluyen la expansión de las fronteras agrícolas y áreas densamente pobladas; la colonización de áreas silvestres; y la transformación de las áreas de manglares en granjas camaroneras u otros usos (MAE, 2012).

6.3.Uso de la Tierra

Según (Rosas et al., 2015), menciona que el uso de la tierra “son actividades que el hombre emprende en un cierto tipo de cobertura de la tierra para producir, cambiar o mantenerla” (p.11). Así mismo (Di Gregorio & Jansen, 2005), indica que el uso de la tierra

establece un vínculo directo entre la cobertura de la tierra y las acciones de las personas en su medio.

De mismo modo (Herrera, 2015), señala que la pérdida de los recursos a través de procesos de degradación de la tierra (como la erosión eólica e hídrica) es uno de los problemas ambientales más graves que enfrenta la sociedad al destruir los medios de producción de nuestros alimentos.

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO 1995), afirma que “la tierra es una área de la superficie del globo terrestre que se puede delinear, abarcando todos los atributos de la biosfera inmediatamente por encima y por debajo de su superficie, incluyendo el clima en la zona cercana a la superficie, el suelo y las formas del terreno, la superficie hidrológica incluyendo lagos poco profundos, ríos, humedales y pantanos, las capas sedimentarias cercanas a la superficie y las reservas de aguas subterráneas asociadas a las mismas, las poblaciones de la flora y la fauna, las formas de colonización de la población humana y los resultados físicos de la actividad humana anterior y actual terrazas, estructuras para reserva o drenaje de aguas, caminos, construcciones, etc.”

6.4.Ámbito Ecosistémico - Territorial

6.4.1. Uso actual de Suelo

El terreno del Cantón Salcedo, debido a la existencia de la Cordillera central y occidental, tiene una superficie bastante irregular, pero la tierra es bastante fértil lo cual ha colaborado para el desarrollo agrario de todo el cantón. Sus suelos se distinguen por tener las siguientes características: en general, suelo profundo con dos tipos de horizontes A y B, cuenta con una textura Arcillo arenoso de estructura columnar (Germánico, 2010, p. 51).

Según (Osorno, 2015), menciona que “los lugares no erosionados, sea en la parte baja o alta del cantón se encuentran áreas cultivadas, bajo régimen de seco o con riego, la mecanización agrícola en la práctica no está limitada por las pendientes” (p. 23). También se tiene cultivos bajo invernadero, como el tomate de riñón y en menor proporción brócoli y babaco.

6.4.2. Topografía

Según (Germánico, 2010), señala que “la fisionomía que presenta el cantón es típico de la zona central andina, con presencia de pequeñas elevaciones, donde predominan los páramos, picachos y en la parte central los valles, llanuras y maseta” (p. 52).

6.4.3. Condiciones climáticas

El territorio de Salcedo se clasifica en dos zonas templadas y fría.

- a) **Zona templada:** Localizada en la parte baja y plana, tiene un clima benigno que oscila entre 13° a 20° C
- b) **Zonas frías:** Se localiza a partir de los 3.000 msnm en el páramo, presenta el clima frío con vientos helados propios de la zona.

El cantón cuenta con una temperatura tanto fría y ventosa entre los meses de junio y agosto, pero entre los meses de febrero y marzo se presenta días calurosos. De igual forma su formación ecológica predominante corresponde a la conocida como bosque húmedo montano (bhM), definido entre cotas de los 2400 y 3000 msnm cuyas características climáticas típicas son la presencia de una temperatura promedio de 14,5°C (Germánico, 2010, p. 63).

6.4.4. Flora y Fauna

La flora del cantón se presenta por especies propias tanto de los valles centrales andinos como del páramo, teniendo así especies forestales nativas representadas por parches en las zonas altas y bajas como también en sus mayorías plantaciones con especies exóticas, entre ellas: frutales, herbáceas, ornamentales, medicinales y forrajeras. (Germánico, 2010, p. 64). Cabe señalar que la mayoría de las especies han sufrido un decrecimiento en su población, ya sea por el cambio climático como por la explotación, manteniéndose la mayoría de las que subsisten en la parte alta específicamente en las zonas aisladas mientras que, las especies de bajíos son cultivadas, principalmente las alimenticias y medicinales, así como también las especies necesarias para hacer leña u otros usos.

La fauna del cantón se representa por especies propias tanto de los valles centrales como andino como del páramo, teniendo así especies características de la zona, sin embargo, algunas de las especies importantes han ido desapareciendo de la zona a causa del avance de la frontera agrícola, pero principalmente por el calentamiento global (Germánico, 2010, p. 67).

6.4.5. Hidrología

El territorio del cantón se encuentra bañado por diferentes cuencas y microcuencas (río Cutuchi, río Nagsiche y río Yanayacu) las mismas que facilitan el desarrollo de mismo y ayudan a la producción agrícola de la zona, existen vertientes tanto de la cordillera central como occidental, que mantienen en las zonas altas del páramo, lamentablemente en las últimas décadas se han empezado a degradar principalmente los páramos de la zona occidental por el cultivo de especies exóticas principalmente el pino, causando el decrecimiento de la escorrentía

de agua en la zona, ocasionando consecuencias que alteren al ciclo de agua (Germánico, 2010, p. 68).

6.4.6. Geología

En el área del cantón aforan varias formaciones geológicas, como la formación Pisayambo la cual se localiza en la parte occidental y alta del cantón ocupando aproximadamente el 60% de la parroquia Cusubamba, seguidamente está la formación Latacunga la cual están constituido por una secuencia parcialmente consolidada de arenas, limos, tobas y conglomerados ocupando más de 80% de la parroquia Panzaleo. Posteriormente esta cangagua es un manto de ceniza volcánica de 10 a 30 m de potencia está localizada en la parroquia de San Miguel y en la parte central de la parroquia de Mulliquindil por último tenemos los volcánicos de Sagoatoa la cual está constituido de lavas y aglomerados de composición andesita proxémica localizando en la parroquia de Cusubamba, ocupando aproximadamente el 35% del este, de la misma extendiéndose al occidente de la parroquia de Mulalillo ocupando aproximadamente el 50% (Osorno, 2015, p. 11).

6.4.7. Geomorfología

Las mayores altitudes del cantón, de acuerdo a la Cartografía 1:50.000 del Instituto Geográfico Militar (Angamarca, 1991; Latacunga, 1992; Salcedo, 1990; Laguna de Anteojos, 1988; y, San José de Poaló, 1991), están sobre los 3.600 msnm, localizando a los extremos occidental y oriental del cantón. Las mayores altitudes están al occidente y suroccidente de la Parroquia Cusubamba con el 50 % de su territorio por el contrario al sur de la Parroquia Mulalillo tenemos 20 % menos del territorio, sin embargo, el 25 % se encuentra al oriente de la Parroquia San Miguel y menos del 5 % se encuentra en la Parroquia Mulliquindil. Por otro lado, las pendientes que están en la parte alta en muchos de los casos son más del 50%.

La parte baja del cantón está atravesada por el río cutuchi, en lo que corresponde a territorios de las parroquias San Miguel, Antonio Holguín y Panzaleo; también la Parroquia Mulalillo dispone de una zona baja. En una de las partes más baja del cantón se localiza la ciudad de San Miguel, a 2.650 msnm. La geomorfología del cantón condiciona los suelos y limita sus usos especialmente por las fuertes pendientes (Osorno, 2015, p. 13).

6.4.8. Páramo

Según la Ley de Conservación y Uso Sustentable de la Biodiversidad del Ecuador se define como Paramo:

“Ecosistema tropical alto andino que se extiende en los Andes septentrionales, entre el actual o potencial límite superior de bosque andino cerrado y la línea de nieve perpetua, caracterizado por una vegetación dominante no arbórea, alta irradiación ultravioleta, bajas temperaturas y alta humedad.”

El páramo al ser un ecosistema natural, se encuentra dominado por pajonales, rosetales, arbustales, humedales y pequeños bosquetes (Hofstede, 2014). Se encuentran principalmente en las partes altas de los Andes Ecuatorianos, entre aproximadamente los 3.500 metros hasta la altitud en la que las condiciones climáticas y edáficas permitan la existencia de vida, es un ecosistema el cual se caracteriza por su clima frío y es muy frágil a los cambios en el uso de la tierra.

6.4.9. Servicios ecosistémicos del páramo

Los páramos son ecosistemas de montaña andinos estratégicos en términos de provisión de servicios ambientales, sobre todo por su capacidad de provisión y regulación hídrica. Además de los servicios ecosistémicos asociados al agua, los páramos prestan otra serie de servicios entre los cuales se destaca el servicio de recreación que está muy relacionado a la belleza escénica de estos ecosistemas. El Páramo de Cumbijín, Sacha y Galpón entre otros tienen una gran importancia para provisión y regulación hídrica de las poblaciones y ciudades cercanas y además provee otros bienes y servicios ambientales como captura de carbono, biodiversidad, entre otros (García, 2013).

6.4.10. Principales factores que afectan a los páramos

El cambio climático, es uno de los principales factores que afectan al ecosistema de páramo, ya que es un ecosistema que presenta alta fragilidad, debido a sus condiciones climáticas, es decir presentan cambio como aumento de temperatura, diferentes regímenes de precipitaciones y nubosidad, mismos que al estar ubicados en alta montaña, no tienen pisos térmicos más fríos a los cuales desplazarse. Otro de los factores que afectan al páramo es la deforestación, incremento de la frontera agrícola o reforestación, ya que al introducir especies exóticas son también una amenaza, así como la falta de conocimiento sobre su importancia y características (Jiménez, 2019, p. 29).

6.5. Sistemas de información Geográfica

El sistema de información geográfica (SIG) es un conjunto de herramientas informáticas que facilitan el uso y el manejo de la información geográfica, está diseñado específicamente

para procesar dicha información. El concepto de SIG ha evolucionado para transformarlo actualmente en un sistema complejo diseñado para abordar todas las necesidades emergentes respecto a datos georreferenciados. Utilizando la tecnología actual, los elementos SIG se pueden incorporar en lugares más distantes, y uno de los pilares más sólidos del SIG actual es su capacidad para mostrar componentes espaciales que se pueden gestionar con la ayuda de sistema de información geográfica (Olaya, 2010, p. 41).

En pocas palabras, SIG es un conjunto de software y hardware diseñado específicamente para recopilar, mantener y utilizar datos cartográficos.

6.6. Teledetección

Según (Chuvienco, 1990) “la teledetección es una técnica que permite adquirir imágenes de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales”.

La teledetección comenzó entre 1946 y 1950, cuando se lanzaron los primeros cohetes V-2 equipados con pequeñas cámaras desde Nuevo México (E.E.UU.) como sensor remoto. Desde entonces, se han llevado a cabo diferentes proyectos y misiones sobre otros cohetes, misiles balísticos y satélites que han tomado imágenes de la tierra. Aunque la calidad de las primeras imágenes tomadas desde el espacio no era tan buenas, con el tiempo, esta tecnología ha revelado el verdadero potencial de esta tecnología permitiendo analizar y obtener información desde el espacio para diferentes proyectos (Évora Brondo, 2012, p. 11).

Por otro lado, la teledetección desde un satélite cuenta con numerosas aplicaciones, gracias a las ventajas que ofrece frente a otros medios de observación más convencionales, como la fotografía aérea o los trabajos de campo, aunque más que sustituirlos los complementan adecuadamente. Los datos de sensores remotos son una de las pocas fuentes de información propiamente globales, ya que los sistemas orbitales permiten tomar información del planeta, en condiciones comparables entre si (mismo sensor, similar altura). De igual forma ofrecen una fuente homogénea y exhaustiva de datos para todo el planeta, lo que permite su fácil inclusión en estudios globales (Chuvienco, 2002, p. 33).

6.6.1. Fundamentos de la Teledetección

Según (Chuvienco, 2002), indica que “la teledetección es una técnica que presenta numerosas ventajas con respecto a los métodos tradicionales, de las cuales podemos destacar tres”.

- Se realizan una cobertura periódica de la superficie, lo que permite estudios de evolución.

- Permite una visión global de grandes espacios, lo que homogeneiza la toma de datos.
- Permite obtener información sobre regiones no visibles del espectro electromagnético, registrando datos inaccesibles al ojo humano.

Desde el punto de vista de su aplicación, el propósito de la teledetección es identificar las características de la superficie terrestre y los fenómenos que allí ocurren a partir de los datos registrados por el sensor con base a que el material terrestre registrado en el suelo tiene su propia respuesta espectral (Castaño et al., 2003, p. 2).

Para que la observación desde el satélite sea posible y de acuerdo con la identificación de teledetección, es necesario que exista algún tipo de interacción entre los objetos y el sensor. Es por ello que los tres elementos principales en todo sistema de teledetección son: el sensor, el objeto observado y el flujo energético que permite poner a ambos en relación. Este flujo energético es el que pone en contacto superficie y sensor y por ello gran número de los principios de la teledetección están directamente relacionado con las propiedades de esta radiación, ya que es la fuente de información que utiliza el sensor (Castaño et al., 2003, p. 2).

La energía captada por el sensor se transmite a la estación de recepción y procesamiento, donde los datos se convierten en una imagen digital. Posteriormente se debe interpretar la imagen procesada de forma visual y/o digital para extraer información sobre el objeto iluminado. El último paso del proceso de teledetección consiste en aplicar la información extraída de la imagen para comprender mejor el área de estudio, revelar nueva información o ayudarnos a resolver un problema específico (Évora Brondo, 2012, p. 13).

6.6.2. La Teledetección ambiental

Según (Sacristán Romero, 2005) menciona que “la teledetección de los recursos naturales se basa en un sistema de adquisición de datos a distancia sobre la biosfera, que se basa en las características de la radiación electromagnética y su interacción con la superficie de la tierra”(p.16). Todos los elementos de la naturaleza tienen su propia respuesta espectral, denominada características espectrales. La teledetección ambiental estudia los cambios de espectro, espacio y tiempo de las ondas electromagnéticas y revela la correlación entre las ondas electromagnéticas y las características de diferentes materiales terrestres. Su objetivo básico es identificar los materiales de la superficie terrestre y los fenómenos que intervienen en ellos a través de sus características espectrales.

La información se recoge desde plataformas de observación que pueden ser aéreas o espaciales, pues los datos adquiridos a partir de sistemas situados en la tierra constituyen un estadio preparatorio de la Teledetección. Las plataformas de observación que portan los

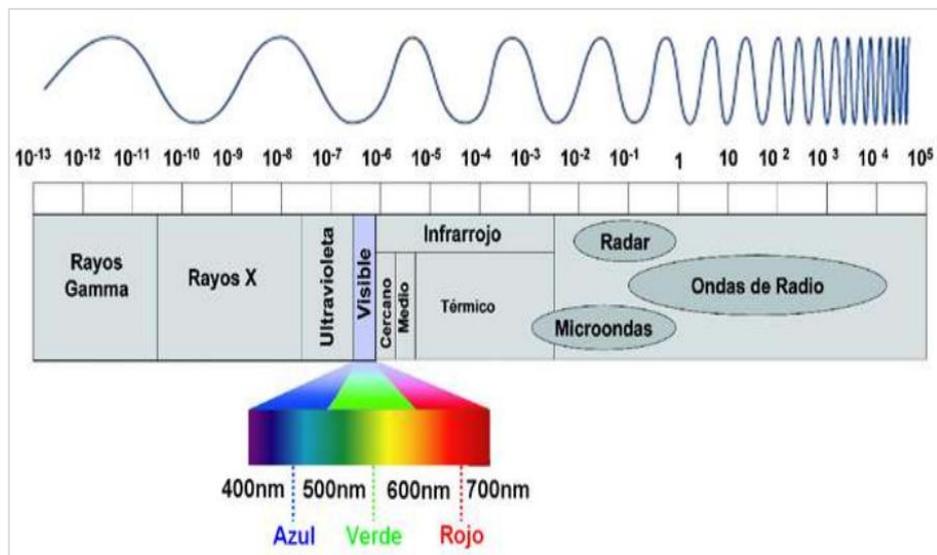
sensores son; aquellos instrumentos que son susceptibles de recibir y medir la intensidad de la radiación que procede del suelo en una cierta gama de longitudes de onda y transformarla en una señal que permita localizar, registrar y digitalizar la información en forma de fotografías o imágenes numéricas grabadas en cinta magnética compatibles con un ordenador (Ortega, 2011).

Los sensores pueden ser cámaras fotográficas, radiómetros de barrido multiespectral, radares y láseres. Estos satélites generan imágenes que analizan la radiación emitida o reflejada por las formas y objetos de la superficie terrestre en las longitudes de onda en las cuales son sensibles (ultravioleta, visible, infrarrojo próximo, infrarrojo técnico) con el fin de reconocer la variada gama de formas y objetos(Ortega, 2011).

6.6.3. Espectro Electromagnético

Los ojos humanos pueden considerarse sensores remotos ya que pueden detectar la luz reflejada por los objetos del entorno. Sin embargo, la visión humana solo puede percibir una pequeña parte del espectro electromagnético, es decir, el espectro visible. La luz visible es solo una de las tantas formas de radiación electromagnética que existen (Arroyo, 2016, p. 2).

Así, las ondas de radio, el calor, los rayos ultravioletas o los rayos X son otras formas comunes. En teledetección, lo normal es caracterizar a las ondas electromagnéticas por su longitud de onda en micrómetros (μm , 10^{-6}m) o nanómetros (nm , 10^{-9} m), es decir, por la posición que ocupan dentro del espectro electromagnético. De esta forma quedan definidas varias regiones del espectro. Aunque por conveniencia se asignan diferentes nombres a estas regiones (ultravioleta, visible, infrarrojo, microondas, etc.), no existen divisiones exactas entre unas y otras (Évora Brondo, 2012, p. 14).

Figura 1*Espectro electromagnético*

Fuente: <https://images.app.goo.gl/sp6mJrb66eAKF3oWA>

6.7.Sensores Remotos

Los sensores remotos son un instrumento que se encuentra en la plataforma satelital cuya tecnología permite la obtención de la información procedente de la cubierta terrestre de objetos sin estar físicamente en contacto con él. Los sensores remotos pueden clasificarse como pasivo o activos, según el tipo de fuentes de energía electromagnética que utilice (Pinos Arévalo, 2015, p. 24).

6.7.1. Tipos De Sensores

6.7.1.1.Sensores Pasivos

Los sensores pasivos detectan la radiación electromagnética emitida o reflejada de fuentes naturales. Muchos sensores pasivos tienen sensibilidad multiespectral, lo que significa que recopilan datos de diferentes bandas espectrales al mismo tiempo. Las mediciones de diferentes regiones del espectro electromagnético proporcionan una amplia información sobre diferentes aspectos del medio ambiente. Por ejemplo, la luz ultravioleta se utiliza para controlar el nivel de ozono en la atmósfera superior. Las bandas visibles e infrarrojas pueden determinar la salud de la vegetación (cultivos, bosques). Se utilizan sensores sensibles a la radiación térmica infrarroja para determinar la temperatura del suelo, las nubes y las superficies del océano (Jordi Vivancos, 2005).

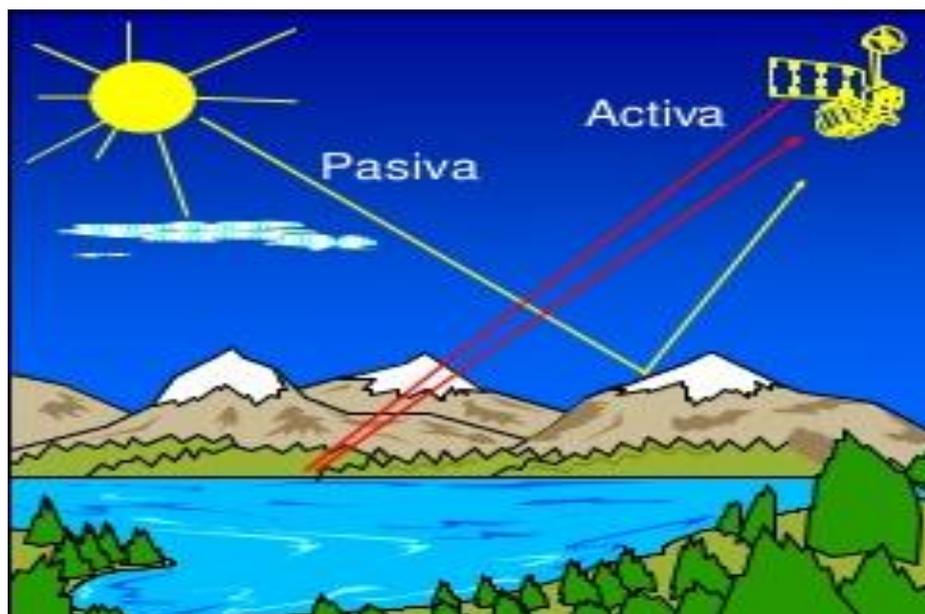
6.7.1.2.Sensores Activos

Los sensores activos llamados SAR (Synthetic Aperture RADAR), por su parte no depende de la energía electromagnética del sol ni de las propiedades térmicas de la Tierra, sino que generan su propia señal que es transmitida del sensor hacia el terreno independientemente de las condiciones atmosféricas. El radar funciona en el rango del espectro de frecuencias de 1 mm a 1 m. Se basa en el principio de que las microondas artificiales enviadas en una dirección específica chocarán con los objetos y se dispersarán. La energía dispersa se recibe, amplifica y analiza para determinar la ubicación y características del objeto. Dado que también se puede medir el tiempo que tarda el pulso de radiación en viajar de un lado a otro, se puede conocer la distancia recorrida y se puede generar un modelo de elevación digital. Debido a que el radar tiene la capacidad de penetrar las nubes, es insustituible en áreas con cobertura continua de nubes.

Su mayor ventaja es que por su gran longitud de onda (muy superior al tamaño de las gotas de agua en la atmósfera), no se absorbe. Además de ser un haz de luz artificial, también puede manipular su modo de emisión, obteniendo así la mayor información. Entre otras aplicaciones, las señales de radar también se utilizan para controlar la retracción de los casquetes polares como indicador del calentamiento global (Jordi Vivancos, 2005).

Figura 2

Tipo de energía para la obtención de las imágenes satelitales



Fuente: <https://images.app.goo.gl/aehNV8s6>

6.8. Características de los datos de teledetección

Según (Romero, 2005b) menciona que es “el conjunto de datos obtenido a través del programa de teledetección de un avión o nave espacial siempre contiene tres tipos de información.

- Una información espacial que representa la organización en el espacio físico de los elementos que constituyen la imagen.
- Una información espectral que caracteriza y puede conducir al conocimiento de la naturaleza de la superficie terrestre.
- Una información temporal que permite la detección de los cambios operados en la superficie de la tierra con el transcurso del tiempo.

Además, los sensores remotos, especialmente los radiómetros de barrido multiespectral de la serie de satélites LANDSAT, realizan una percepción muy particular del medio ambiente y del paisaje que se caracteriza porque existe una homogeneización de la imagen que es función del nivel de resolución de los sensores o captadores. (Sacristán Romero, 2005b).

Según (Romero, 2007), manifiesta que, “en definitiva, los datos adquiridos a través de Teledetección se caracterizan por las siguientes propiedades” (p. 83).

1. Posibilidad de obtener información sobre aspectos del medio natural que escapan totalmente a nuestros sentidos (ondas de radar, infrarrojo etc.). La experiencia natural del ser humano es, por lo tanto, nula en estos dominios espectrales, y por esta razón se realizan visualizaciones que tienen una función y utilidad análogas a las fotografías aéreas, y que se denominan imágenes para evitar la confusión.
2. Estas informaciones que son registradas por los sensores, y que miden la cantidad de energía reflejada o emitida por los objetos naturales que componen el paisaje son de tipo numérico, y se prestan al tratamiento matemático. Por otro lado, su extremada abundancia obliga al empleo de grandes ordenadores y métodos de tratamiento de datos muy sofisticados y potentes.
3. Los datos extraídos de los servicios de teledetección ofrecen ciertos aspectos de los ecosistemas difíciles de estudiar, prácticamente desconocidos, contribuyendo de una forma eficaz al conocimiento de los mismos y de su funcionamiento (detección de enfermedades en las plantas, efectos del estrés debido a la falta de agua, transpiración, régimen térmico, etc.).
4. Por último, la teledetección permite seguir la evolución de las grandes extensiones forestales que persisten en la superficie del globo terrestre, tener una visión de conjunto

sobre los efectos producidos por las grandes catástrofes (como, por ejemplo, las sequías aterradoras de las regiones saharianas de África) y reconocer ciertos fenómenos de polución a gran escala en el cielo y en el mar.

6.9. Resolución del Sensor Remoto

Según (Puerta Tuesta, 2013) menciona que “la resolución de un sistema sensor tiene como finalidad discriminar información detallada; que depende del efecto combinado de todos sus componentes físicos del sistema” (p.12).

6.9.1. Resolución Espacial

Se denomina resolución espacial al sensor que puede distinguir los objetos más pequeños de la imagen. El objeto se muestra en la unidad de información más pequeña representada en la imagen, que se llama píxel (píxel: es un elemento de una imagen bidimensional y es el elemento más pequeño e indivisible en una imagen digital) (Puerta Tuesta, 2013).

6.9.2. Resolución Espectral

La resolución espectral es un sensor que puede distinguir la radiación reflejada en cada longitud de onda del espectro electromagnético, está diseñado para medir la energía radiante en cualquier parte del espectro, incluidos los rayos ultravioletas, infrarrojos, calor y microondas. La resolución espectral se define por el número de bandas que el sensor puede capturar y el ancho de cada banda. Por tanto, cuantas más bandas de frecuencia tenga el sensor, mayor será su sensibilidad, pues ayuda a la caracterización espectral de las distintas áreas de cobertura vegetal (Yolanda León, 2002, p. 8).

6.9.3. Resolución radiométrica

La resolución radiométrica tiene la capacidad del sensor para discriminar niveles o intensidades de radiancia espectral, utilizándose desde 128 hasta 1024 niveles. Como hablamos anteriormente, lo más común es utilizar 256 valores (0-255), ya que generalmente aporta suficiente detalle sin sacrificar demasiado espacio de almacenamiento en el computador.

6.9.4. Resolución Temporal

La frecuencia o periodicidad de la adquisición de las imágenes por parte del sensor de la misma área en la superficie terrestre depende siempre de las características orbitales del satélite (altura, velocidad e inclinación) y de las características del sensor. En resumen, la

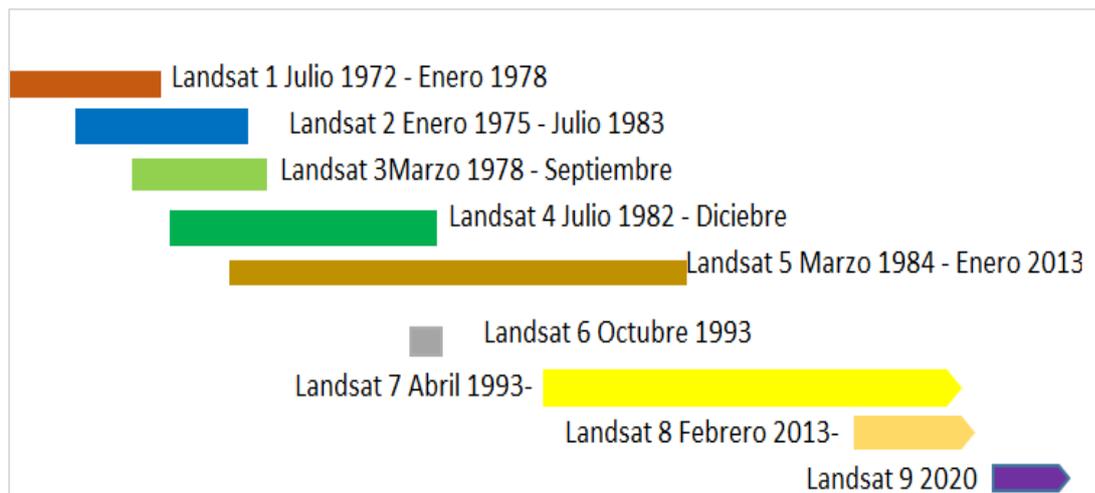
resolución temporal de un sensor se trata del tiempo en el que vuelve a pasar el satélite por el mismo punto de la tierra.

6.10. Características de los satélites Landsat

El primer satélite Landsat fue puesto en órbita el 23 de Julio de 1972 se denominaba ERTS, en español “Satélite de Tecnología de Recursos de la Tierra”, posteriormente se denominó Landsat 1. Los siguientes lanzamientos fueron Landsat 2 en 1975, Landsat 3 en 1978, Landsat 4 en 1982, Landsat 5 en 1984, cabe indicar que este último tiene un récord Guinness por su largo período de funcionamiento; Landsat 6 lanzado en 1993 no pudo alcanzar la órbita; luego vino Landsat 7 lanzado con éxito en 1999 al igual que Landsat 8 en 2013, y se tiene previsto para 2020 el lanzamiento de Landsat 9 (Mendoza Vargas & Lois, 2009).

Figura 3

Línea de tiempo de las misiones Landsat



Fuente: <https://images.app.goo.gl/hWhJTs9WqhMVRipk7>

Según el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), menciona los siguientes sensores: El sensor TM a bordo de Landsat 5 posee cinco bandas espectrales y una térmica, esta última posee una resolución de 120 metros, pero los productos se escalan a 30 m. El tamaño de la escena es de 170 km de norte a sur por 183 km de este a oeste, su resolución temporal es de 16 días.

En Landsat 7 el sensor ETM+ posee seis bandas con resolución de 30 metros, a excepción de las bandas: 6 cuya resolución es 60 metros, pero es reajustada a 30 metros, y la pancromática ocupando la banda 8 con resolución de 15 metros; el total de 8 bandas forman una escena de tamaño aproximado de 170 km por 183 km (Alexander Ariza, 2013).

Las mismas dimensiones estimadas de la escena corresponden al sensor Landsat 8 que posee once bandas, donde: desde la banda 1 hasta la 7 y la banda 9 tienen 30 metros de resolución espacial, la banda 8 o pancromática tiene 15 metros de resolución, y las bandas 10 y 11 poseen resolución de 100 metros (reajustado a 30 m) para precisión de temperaturas superficiales. Por el contrario, Sentinel 2 está compuesta por el instrumento MSI (Instrumento Multiespectral), que captura la información de la superficie terrestre en 13 bandas espectrales, con diferentes resoluciones espaciales, cuatro bandas de 10 m, seis bandas de 20 m y tres bandas con resolución de 60 m (Caguango, 2019).

En la **Tabla 3** se evidencia un resumen de las características de los sensores de satélites Landsat, todos los sensores detallados poseen una resolución temporal de 16 días a excepción del Sentinel 2 que posee una resolución temporal de 5 días (INEGE, 2018).

Tabla 3

Características de sensores Landsat7, 8 y Sentinel 2

SATÉLITE SENSOR	BANDAS	Longitud de onda (micrómetros)	Resolución (metros)
Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)	Banda 1-azul	0,45-0,52	30
	Banda 2-verde	0,52-0,60	30
	Banda 3-Rojo	0,63-0,69	30
	Banda 4-Infrarrojo Cercano	0,77-0,90	30
	Banda 5-Infrarrojo de onda corta SWIR1	1,55-1,75	30
	Banda 6-Térmico	10,40-12,50	60 (30)
	Banda 7-Infrarrojo de onda corta SWIR2	2,09-2,35	30
Landsat 8 Operational Land	Banda 8-Pancromático	0,52-0,90	15
	Banda 1- ultra azul	0,435-0,451	30
	Banda 2-azul	0,452-0,512	30

Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS)	Banda 3-Verde	0,533-0,590	30
	Banda 4-Rojo	0,636-0,673	30
	Banda 5-Infrarrojo cercano	0,851-0,879	30
	Banda 6- Infrarrojo de onda corta SWIR1	1,566-1,651	30
	Banda 7-Infrarrojo de onda corta SWIR2	2,107-2,294	30
	Banda 8-Pancromático	0,503-0,676	15
	Banda 9 -Cirrus	1,363-1,384	30
	Banda 1 Aerosol Costero	0,443	60
	Banda 2 Azul	0,490	10
Sentinel 2	Banda 3 Verde	0,560	10
	Banda 4 Rojo	0,665	10
	Banda 5 Borde rojo de vegetación	0,705	20
	Banda 6 Borde rojo de vegetación	0,740	20
	Banda 7 Borde rojo de vegetación	0,783	20
	Banda 8 NIR Infrarrojo Cercano	0,842	10
	Banda 8A Borde rojo de vegetación	0,865	20
	Banda 9 Vapor de Agua	0,945	10
	Banda 10 SWIR - Cirrus	1,375	60
	Banda 11 SWIR Infrarrojo Cercano	1,610	20
	Banda 12 SWIR Infrarrojo Cercano	2,190	20

6.10.1. El Programa Copernicus

Copernicus es el programa de observación de la tierra más ambicioso de la historia. Su intención es proporcionar información precisa, actualizada y de fácil acceso con el objetivo de mejorar la gestión ambiental al comprender mejor los cambios que ocurren en la superficie de la tierra (Izaskun et al., 2017). De la misma forma el programa se apoya en una familia de

satélites denominados Sentinel que suponen una fuente constante e independiente de datos de alta calidad para satisfacer las necesidades de los servicios Copernicus de sus usuarios.

6.10.2. Características de Sentinel 2A

Según (Izaskun et al., 2017) menciona que “el satélite Sentinel 2 A fue lanzado el 23 de junio de 2015 con el propósito de tomar imágenes ópticas de alta resolución para monitorizar la superficie de nuestro planeta. Además, hay que mencionar que la resolución temporal que posee es de 10 días cada satélite y 5 días combinados, de igual forma la resolución espacial es de 10, 20, 60 metros según las bandas” (p. 6).

6.11. Pre-Procesamiento de Imágenes

Según (Sánchez Jara, 2012) señala que “se denominan restauración y corrección de imágenes, los procedimientos para corregir la radiación de la imagen y la distorsión geométrica causada por el sensor o la plataforma que soporta la imagen” (p. 37). De igual forma (Redd & Gtz, 2010) menciona que “los procesos de corrección de imagen tienen como objetivo eliminar las anomalías detectadas en la imagen y corregirlas mediante operaciones de corrección geométrica o radiométrica” (p. 25).

6.11.1. Corrección geométrica

(Sánchez Jara, 2012) menciona que el propósito de corrección geométrica “es corregir la distorsión causada por los cambios geométricos del sensor y la tierra; y la asignación de coordenadas para cada píxel (latitud y longitud)” (p. 38). La imagen corregida geoméricamente debe representar correctamente la superficie de la tierra. El error geométrico proviene de uno o más de los siguientes factores:

- Movimiento en el sistema de escaneo y de la plataforma que sustenta el sensor
- Perspectiva de los elementos ópticos del sensor
- Cambios en la altitud de la plataforma
- Relieve del terreno
- Curvatura y rotación de la tierra

Los cambios sistemáticos o predecibles relacionados con el sensor pueden corregirse mediante modelos que describen su movimiento y el movimiento de la plataforma que lo soporta, así como la relación geométrica entre la plataforma y el suelo. Estos se denominan modelos de sensor y son utilizados por programas comerciales en el proceso de georreferenciación de imágenes. Otros tipos de errores no son sistémicos, sino que dependen

de las condiciones específicas del terreno, por lo tanto, es necesario utilizar modelos de terreno digitales para eliminarlos (proceso denominado corrección ortogonal o corrección diferencial) (Sánchez Jara, 2012).

6.11.2. Corrección Radiométrica

Las anomalías radiométricas son distorsiones que afectan a los Niveles Digitales (ND) de los píxeles. Estos ND, que son la traducción digital de un flujo energético recibido por el sensor para una determinada banda del espectro (Suárez 2014), pueden evidenciar fallos en los sensores, que generan píxeles incorrectos. Estas anomalías deben ser corregidas para que la información que nos proporcionen estos ND sea lo más fiel posible a la realidad que se estudia (Resl & Cabrera, 2012).

Según (Chuvieco, 2016), señala que “las correcciones radiométricas son un conjunto de operaciones destinadas a modificar los ND para aproximarse a los valores obtenidos en condiciones ideales”.

6.11.3. Corrección Atmosférica

Según (Aguilar Arias et al., 2015) señala que “la corrección atmosférica tiene como objetivo restaurar la radiación intrínseca del objeto de investigación obtenida a partir de la señal recibida por el sensor”, esto requiere:

- 1) Convertir el ND de cada banda al valor radiante (L),
- 2) Convertir la radiancia al valor de reflectividad del techo de la atmósfera "atmósfera superior" (TOA),
- 3) Conversión flash, por lo contrario, el valor en ND es directamente proporcional a la irradiancia capturada originalmente por el sensor, por lo que la escala de irradiancia original se puede restaurar aplicando la fórmula de conversión correspondiente para cada banda de la imagen, que se calcula durante la calibración inicial del sensor.

El SCP (Semi-Automatic Classification Plugin) es una de las herramientas que existe en el mercado para realizar el procesamiento de corrección atmosférica de Landsat, al igual que ocurre en el entorno de Sentinel y cualquier otra misión, lo más importante para realizar las correcciones atmosférica es disponer de los metadatos asociados a las bandas (Roberto, 2019).

6.11.4. Bando de las imágenes Landsat 7

Las imágenes de Landsat 7 a partir del 14 de julio del 2003 sufre en su dispositivo SLC (corrector de línea de exploración) una falla y se apaga y crea problemas de bandedo de las

imágenes satelitales generando gaps o líneas de ausencia de información con una ligera inclinación hacia los laterales mientras la zona central se muestra correctamente. Para la imagen completa (aproximadamente 185 X 170 km), las rayas corresponden al 22%, disminuyendo hacia el centro (Barsi et al., 2007).

6.12. Procesamiento De Imágenes

6.12.1. Unión de bandas

Es una técnica que pretende mejorar una imagen multiespectral y así potenciar su uso en diversas aplicaciones mediante un proceso Pan-sharpening.

Pan-sharpening utiliza bandas pancromáticas de alta resolución de imágenes multiespectrales para visualizar las bandas de menor resolución. Por ello, los datos de la imagen pancromática se combinan con los datos de la imagen multiespectral (bandas 1 a 7 y 9), la imagen combinada aumentará su resolución espacial conservando la información espectral en la imagen, sin embargo, para las imágenes de Sentinel 2 no es necesario realizar la pancromática debido a que las imágenes ya vienen con una resolución de 10 m. El objetivo principal de realizar la pancromática del Landsat 8 es mejorar la interpretabilidad de los datos mejorando la calidad visual, dado que mantener la calidad de la información espectral es fundamental para el análisis de características espectrales, como el análisis de vegetación, suelo, etc., la cual se ha convertido en una de las tareas más útiles y necesarias en las aplicaciones de teledetección (Arenas & Castro et al., 2011).

6.12.2. Análisis de las imágenes

El análisis de las imágenes procedentes del satélite puede llevarse a cabo de dos modos: mediante interpretación visual o bien mediante técnicas de tratamiento digital de información multiespectral. La interpretación visual pretende, sin intervención del ordenador, extraer información espacial a partir del análisis de la imagen y su cualidad (brillo, color, textura, forma, tamaño de los elementos que la componen) (Muñoz & Ángel, 2006, p. 11).

El tratamiento digital se encamina, del mismo modo, hacia la extracción de información temática del territorio, pero haciendo uso de las técnicas mediante algoritmos en programas informáticos. Estas técnicas se engloban dentro del campo de la clasificación digital y se desarrollan en tres fases: entrenamiento, asignación y verificación (Muñoz & Ángel, 2006, p. 11).

- La fase de entrenamiento tiene por objeto la determinación de unas áreas piloto para cada una de las categorías en las que se pretende clasificar la imagen.
- La fase de asignación persigue la categorización de todos los píxeles de la imagen atribuyéndoles una categoría informacional.
- Dentro de la fase de verificación esta la tarea de clasificar mediante la ejecución de los trabajos de verificación mediante el muestreo de campo.

De acuerdo al (IGAC, 2005), el análisis visual de imágenes de satélite se realiza empleando tres bandas del sensor, coincidiendo con la capacidad de los monitores empleados en informática, monitores RGB, Red/Green/Blue (Rojo/Verde/Azul), con los que, por combinación de estos, se construye el resto de colores. De igual forma, empleando estos tres colores se tiene una combinación y da como resultado los diferentes colores y tonos. Estos colores y tonos se emplean para la interpretación visual de las imágenes, combinando las bandas de manera que se da un primer acercamiento al contenido de la imagen (Mauro Jiménez, 2011).

Figura 4

Color natural (432) y falso color 843



Fuente: earhtexplore.usga.gov

6.12.3. Combinación de bandas

Según (Vílchez & Enseñanza, 2002) menciona que “para la visualización de los datos de teledetección es mejor tener una representación en colores, ya que el ojo humano capta mejor el color que los niveles de gris” (p. 53). El comportamiento espectral de los materiales se puede identificar mediante la composición de colores. Se utilizan tres colores (rojo, verde y azul) para la combinación. Cuando estos tres colores se combinan en varias proporciones, producirán diferentes colores en la región visible del espectro. Asociando cada banda espectral (no

necesariamente el espectro visible) con un color primario separado para finalmente generar una imagen con combinaciones de colores.

Banda: conjunto de datos que representan la intensidad de la luz reflejada o el calor emitido en una área específica o una área específica del espectro electromagnético (rojo, verde, azul, infrarrojo cercano e infrarrojo térmico) (Vílchez & Enseñanza, 2002).

Tabla 4

Combinación de las bandas Landsat 8, 7 y Sentinel 2

Descripción	Combinación (RGB)		
	Landsat 7	Landsat 8	Sentinel 2
Color natural	3-2-1	4-3-2	4-3-2
Falso color (urbano)	7-5-3	7-6-4	12-11-4
Color infrarrojo (vegetación)	4-5-3	5-4-3	8-4-3
Agricultura	5-4-1	6-5-2	11-8-2
Penetración atmosférica	7-5-4	7-6-5	12-11-8A
Vegetación saludable	5-4-1	5-6-2	8-11-2
Tierra / agua	5-4-3	5-6-4	8-11-4
Natural con remoción atmosférica	7-4-2	7-5-3	12-8-3
Infrarrojo de onda corta	4-3-2	7-5-4	12-8-4
Análisis de vegetación	7-4-2	6-5-4	11-8-4

6.12.4. Análisis multitemporal de la cobertura vegetal

Según opiniones de diferentes autores, el análisis multitemporal de imágenes aéreas e imágenes de satélites es un método eficaz para detectar cambios en la vegetación, debido a que existe una alta correlación entre los cambios espectrales de las imágenes y los cambios en la cobertura vegetal, por lo que las consecuencias de estos cambios pueden ser evaluado para detección, control y análisis rápido y eficaz (Felipe, 2016).

En el ámbito mundial, la teledetección es una tecnología que se ha utilizado para identificar cambios en la cobertura y el uso de la tierra. Esta valiosa tecnología se utiliza para monitorear fenómenos naturales u otras modificaciones que sufre un área debido a la intervención humana (Felipe, 2016). De igual forma las investigaciones relacionadas con el análisis ayudan a definir la clasificación ya que aportan otros elementos de análisis, como cambios en el estado fenológico de las especies vegetales.

6.13. Procesamiento/Clasificación De Imágenes

6.13.1. Fase de entrenamiento

Una vez que los datos han sufrido las diversas correcciones necesarias, se pueden utilizar 3 métodos complementarios para definir la categoría en la imagen de satélite, esta etapa se denomina etapa de entrenamiento. Se define los métodos de la siguiente forma:

6.13.2. Índice de vegetación

Según (Gilbert et al., 1997) menciona que “el índice de vegetación se puede definir como un parámetro calculado con base a los valores de reflectancia a diferentes longitudes de onda, que es particularmente sensible a la cobertura de vegetación “.

Es importante decir que el índice normalizado diferencial de vegetación (NDVI) es el más conocido y usado. Este tipo de índice se puede variar según el uso del suelo, las condiciones fenológicas, los regímenes hídricos del territorio y el ambiente climático de la zona. (Rouse et al., 1974).

El índice se basa en el comportamiento de radiación radiométrico de la vegetación, que está relacionado con la actividad de fotosíntesis y la estructura foliar de la planta, por lo que se puede determinar la vitalidad de la planta. El valor NDVI es una función de la energía absorbida o reflejada por las plantas en varias partes del espectro electromagnético. La respuesta espectral de la vegetación sana muestra un claro contraste entre el espectro visible (especialmente la banda roja) y el infrarrojo cercano (NIR) (García-Cervigón & José, 2015, p. 43).

Mientras que en el visible los pigmentos de la hoja absorben la mayor parte de la energía que reciben, en el NIR, las paredes de las células de las hojas, que se encuentran llenas de agua, reflejan la mayor cantidad de energía. En contraste, cuando la vegetación sufre algún tipo de estrés, ya sea por presencia de plagas o por sequía, la cantidad de agua disminuye en las paredes celulares por lo que la reflectividad disminuye en el NIR y aumenta paralelamente en el rojo al tener menor absorción clorofílica. Esta diferencia en la respuesta espectral permite separar con relativa facilidad la vegetación sana de otra cubierta (García-Cervigón & José, 2015, p. 43).

El cálculo del NDVI implica el uso de una simple fórmula con dos bandas, el Infrarrojo Cercano (NIR) y el rojo (RED).

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Características

A partir de estos valores tienen niveles correspondientes a praderas, cultivos, forestaciones etc., dependiendo el valor alcanzado. Sin embargo, su desventaja es que es sensible a la reflectividad del suelo donde se ubica la planta, lo que limita su potencial de reconocimiento. Por ejemplo, en un área con baja densidad de vegetación, la reflectividad de los píxeles en la banda infrarroja y la banda roja vendrá determinada principalmente por el suelo, con pocos cambios debido a la vegetación. El resultado es que el índice de vegetación de la zona dará un resultado muy similar al suelo desnudo y no se podrá detectar la presencia de vegetación (P. Muñoz, 2013, p. 3).

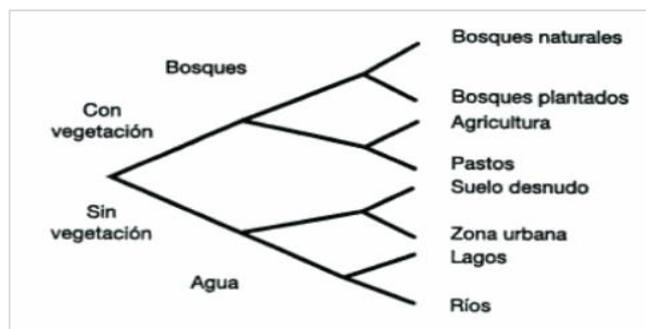
6.13.3. Clasificación Supervisada

La teoría que respalda este tipo de análisis es que cada tipo de cobertura refleja energía electromagnética de una determinada longitud de onda en diferente forma, la clasificación debe hacerse necesariamente con la ayuda de un programa como lo es el QGIS. El primer paso en la clasificación supervisada de una imagen es establecer las áreas de entrenamiento o de calibración para la cual el usuario debe conocer el tipo de cobertura vegetal correspondiente dentro del área de entrenamiento. Algunos autores recomiendan tratar de no discriminar entre muchas clases de cobertura de inmediato, sino más bien hacer una clasificación ramificada (*figura 5*).

Este procedimiento se puede hacer interpretando en el programa imágenes en falso color ya que es posible determinar diferentes tipos de cobertura y marcar sobre ellas las áreas de entrenamiento. Otra posibilidad es recoger en el campo puntos de muestreo de diferente tipo de cobertura y utilizar esos datos para definir las áreas de entrenamiento (P. Muñoz, 2013).

Figura 5

Clasificación ramificada



Fuente: <https://images.app.goo.g>

Las áreas de entrenamiento se utilizan para preparar firmas espectrales de cada tipo de cobertura, las cuales son similares a las curvas de reflectancia. Una vez creadas las firmas espectrales para cada tipo de cobertura que queremos identificar, se procede a clasificar la imagen; es decir, a asignar cada pixel de la imagen a uno de los tipos de cobertura definidos cuando se construyan las firmas espectrales.

6.13.4. Clasificación no supervisada

En una clasificación no supervisada, la imagen se cataloga por medio de un algoritmo matemático de agrupación (cluster). Este algoritmo crea grupos de pixeles semejantes en cuanto a sus valores en todas las bandas de la imagen. Luego, el análisis determina los tipos de cobertura a los cuales corresponden cada uno de estos grupos y les asigna el nombre correspondiente, por lo general, se utiliza información auxiliar o visitas de campo (con un GPS para los puntos de muestreos) para determinar a qué tipo de cobertura corresponde cada grupo. La diferencia básica entre una clasificación supervisada y no supervisada es que la última no incluye la identificación de áreas de entrenamiento (Bakker & Jansen, 2001).

Según (P. Muñoz, 2013, p. 57) señala que “la clasificación de imágenes generalmente llega a tipo de cobertura (bosque, pasto, agricultura)” (p. 57).

6.14. Evaluación Multicriterio

El análisis multicriterio, es un método que permite facilitar y orientar la toma de decisiones a partir de criterios múltiples. Se emplea principalmente para resolver problemas de decisión a través de las disputas que surgen después de hacer comparaciones entre varias alternativas, por lo que puede ser empleado también como método de evaluación, por otro lado, según (Pinos Arévalo, 2015) señala que el análisis multicriterio han demostrado ser bastante eficaz en la toma de decisiones, también menciona que se basa en la priorización de criterios, partiendo del hecho de que a pesar de que muchas variables interfieren en el comportamiento de un fenómeno o hecho en particular, no todas influyen con las misma intensidad o el mismo peso por tanto, se requiere otorgarles pesos a cada uno de los criterios (p. 38).

Según (Ovando & Escalante, 2014) menciona que en la actualidad, este método se utiliza principalmente para proporcionar herramientas que faciliten el proceso de toma de decisiones enmarcadas en la resolución de problemas; entre estas herramientas se encuentran el proceso de análisis jerárquico (AHP) que fue desarrollado por Saaty en el año 1980 permitiendo modelar un sistema complejo de múltiples criterios a través de una estructura de orden jerárquico. Como afirman (Osorio & Orejuela, 2008) es una metodología para estructurar,

medir y sintetizar. El AHP es un modelo matemático que involucra todos los aspectos del proceso de toma de decisiones: funciona bajo una estructura jerárquica, se basa en la prioridad, considera la preferencia de un elemento a otro y gestiona múltiples alternativas.

Por otro lado según el autor (Galindo & Molina, 2017) menciona que Tomas Saaty, propuso una escala de evaluación que ampliamente utiliza y consiste en añadir la importancia en una escala de 1 a 9, donde 1 es igualmente impórtate y 9 es más importante sobre otro criterio (p.13).

Tabla 5

Escala de preferencia de Saaty

Escala	Definición	Explicación
1	Bajamente preferida	Los dos criterios contribuyen igual al objetivo
3	Moderadamente preferida	La experiencia y el juicio favorecen un poco a un criterio frente al otro
5	Fuertemente preferida	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente a un criterio frente al otro
7	Muy fuertemente preferida	Un criterio es favorecido muy fuertemente sobre el otro.
9	Extremadamente preferida	La evidencia favorece en la más alta medida a un factor frente al otro

Fuente: Saaty (1994b)

Los valores 2, 4, 6 y 8 se utilizan cuando no se puede definir con claridad la preferencia entre los criterios considerados.

6.15. Marco Legal

6.15.1. Constitución de la República del Ecuador

La carta magna ecuatoriana publicada mediante registro oficial (R.O) No.449 del 20 de octubre de 2008; indica en su artículo Art. 14.- reconocer el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*. De igual manera se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

Por otro lado, el Art. 71 menciona que la naturaleza o Pacha Mama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos.

El Art. 414.- menciona que el Estado adoptará medidas adecuadas y transversales para la mitigación del cambio climático, mediante la limitación de las emisiones de gases de efecto invernadero, de la deforestación y de la contaminación atmosférica; tomará medidas para la conservación de los bosques y la vegetación, y protegerá a la población en riesgo.

De igual forma el Art. 415 indica que el Estado central y los gobiernos autónomos descentralizados adoptarán políticas integrales y participativas de ordenamiento territorial urbano y de uso del suelo, que permitan regular el crecimiento urbano, el manejo de la fauna urbana e incentiven el establecimiento de zonas verdes (Constitución de la República-del Ecuador, 2018).

6.15.2. COOTAD

El Código Orgánico Ordenamiento Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD) aprobado mediante la Asamblea Nacional fue publicado en el Registro Oficial Suplemento 303 del 19 de octubre de 2010, indica en el Art. 4 los fines de los gobiernos autónomos descentralizados, dentro de sus respectivas circunscripciones territoriales hace referencia en el literal d) la recuperación y conservación de la naturaleza y el mantenimiento de un ambiente sostenible y sustentable (COOTAD, 2010).

En el Art. 296 menciona sobre el ordenamiento territorial que los gobiernos autónomos descentralizados permitan planificar con autonomía la gestión territorial, basado en el reconocimiento y la valoración de la diversidad cultural y la proyección espacial de las políticas sociales, económicas y ambientales, proponiendo un nivel adecuado de bienestar a la población en donde prime la preservación del ambiente para las futuras generaciones. De igual forma la planificación del ordenamiento territorial regional, provincial y parroquial se inscribirá y deberá estar articulada a la planificación del ordenamiento territorial cantonal y distrital (COOTAD, 2010).

6.15.3. Código Orgánico del Ambiente

De acuerdo al registro oficial suplemento 983 de 12 de abril del 2017 del Código Orgánico de Ambiente en el Art. 5 numeral 2 menciona sobre el manejo sostenible de los ecosistemas, con especial atención a los ecosistemas frágiles y amenazados tales como páramos, humedales, bosques nublados, bosques tropicales secos y húmedos, manglares y ecosistemas

marinos y marinos-costeros; de igual forma el numeral 4 señala la conservación, preservación y recuperación de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico; mientras que el numeral 5 hace referencia a la conservación y uso sostenible del suelo que prevenga la erosión, la degradación, la desertificación y permita su restauración.

Por otro lado, dentro de capítulo III de las áreas especiales para la conservación de la biodiversidad en el art. 61 menciona que las servidumbres ecológicas obligatorias son las franjas de protección ribereñas de los cuerpos de agua, así como las laderas escarpadas naturales. La cobertura boscosa o vegetación natural de las servidumbres ecológicas solo puede ser objeto de aprovechamiento de productos no maderables de simple recolección y de usos no consuntivos.

Además, en el capítulo V del manejo y conservación de bosques naturales numeral 1 menciona que las tierras con bosques naturales destinadas para la conservación, manejo sostenible y restauración, así como las plantaciones forestales, no sea afectables con fines de reforma agraria, salvo cuando los fines sean expropiatorios (Código Orgánico Ambiental, 2017).

6.15.4. Código Orgánico Integra Penal

Dentro del capítulo IV de los delitos contra el ambiente y la naturaleza o Pacha Mama sección primera en el art. 245 menciona que la persona que invada las áreas del Sistema Nacional de áreas Protegidas o ecosistemas frágiles, será sancionada con pena privativa de libertad de uno a tres años.

De igual forma en el art 246 de los incendios forestales y de vegetación menciona que la persona que provoque directa o indirectamente incendios o instigue la comisión de tales actos, en bosque nativos plantados o páramos, será sancionado con pena privativa de libertad de uno a tres años (Código Orgánico Integral Penal, 2014).

6.15.5. Reglamento Código Orgánico del Ambiente

En el capítulo VI del monitoreo y evaluación de patrimonio forestal nacional en el art, 344 menciona que la Autoridad Ambiental Nacional será la encargada de planificar y ejecutar el monitoreo del patrimonio forestal nacional a través del sistema nacional de monitoreo de bosques, el cual deberá generar, recopilar analizar y reportar información biofísica georreferenciada relacionada con los bosques, otro ecosistemas naturales y su biodiversidad asociada, considerando además otra clases de uso de suelo, a intervalos regulares, permitiendo

el monitoreo de los cambios en el transcurso del tiempo, en articulación con otras entidades competentes.

En cuanto al título VII de los ecosistemas frágiles en el art. 248 menciona que la Autoridad Ambiental Nacional podrá dictar medidas adicionales para la conservación, protección y uso sostenible de ecosistemas frágiles sin afectar sus procesos y ciclos vitales evitando su fragmentación por actividades antrópicas.

Del mismo modo en el título VII capítulo II menciona que los páramos cumplen una función fundamental para el desarrollo del país y el bienestar de la población por las fuentes hídricas contenidas en ellos y la cantidad de carbono que alberga, por lo cual en aquellas áreas alteradas por actividades humanas o naturales y que se determinen como prioritarias para la conservación, la Autoridad Ambiental Nacional deberá fomentar la restauración ecológica (Reglamento Código Orgánico Ambiente, 2019).

7. PREGUNTA CIENTÍFICA

¿Es posible determinar y cuantificar el cambio de la cobertura vegetal mediante un análisis histórico con el uso de imágenes satelitales?

Si es posible determinar y cuantificar los cambios mediante el uso de imágenes satelitales ya que los sensores remotos instalados en un satélite permiten visualizar y obtener información de la superficie terrestre para su posterior análisis de los diferentes procesos producidos de forma antrópico o naturales ocurridos dentro de la cubierta terrestre.

8. METODOLOGÍA

Se adjunta el diagrama de flujo de la metodología empleada en la presente investigación.

Figura 6

Metodología empleada

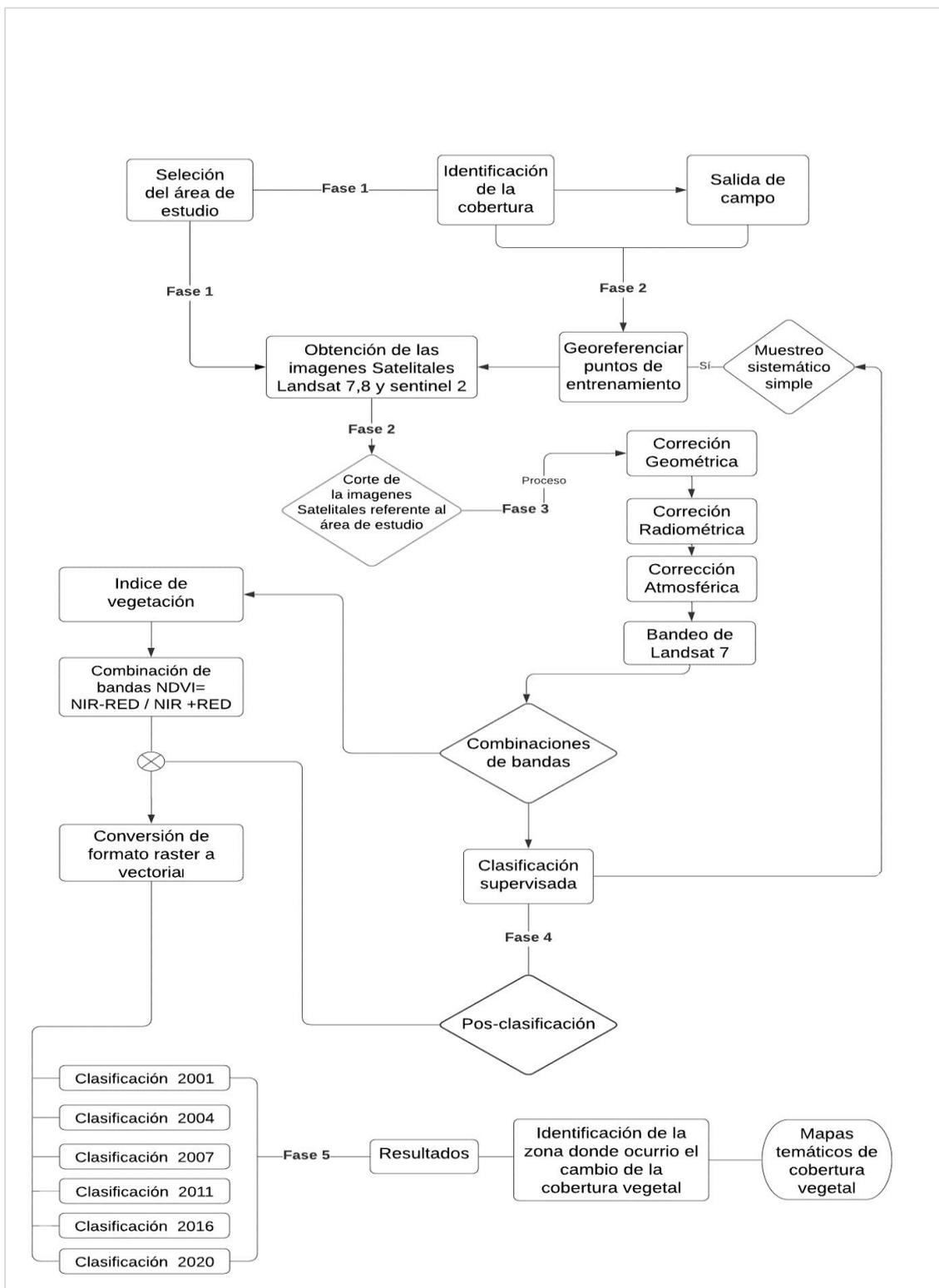
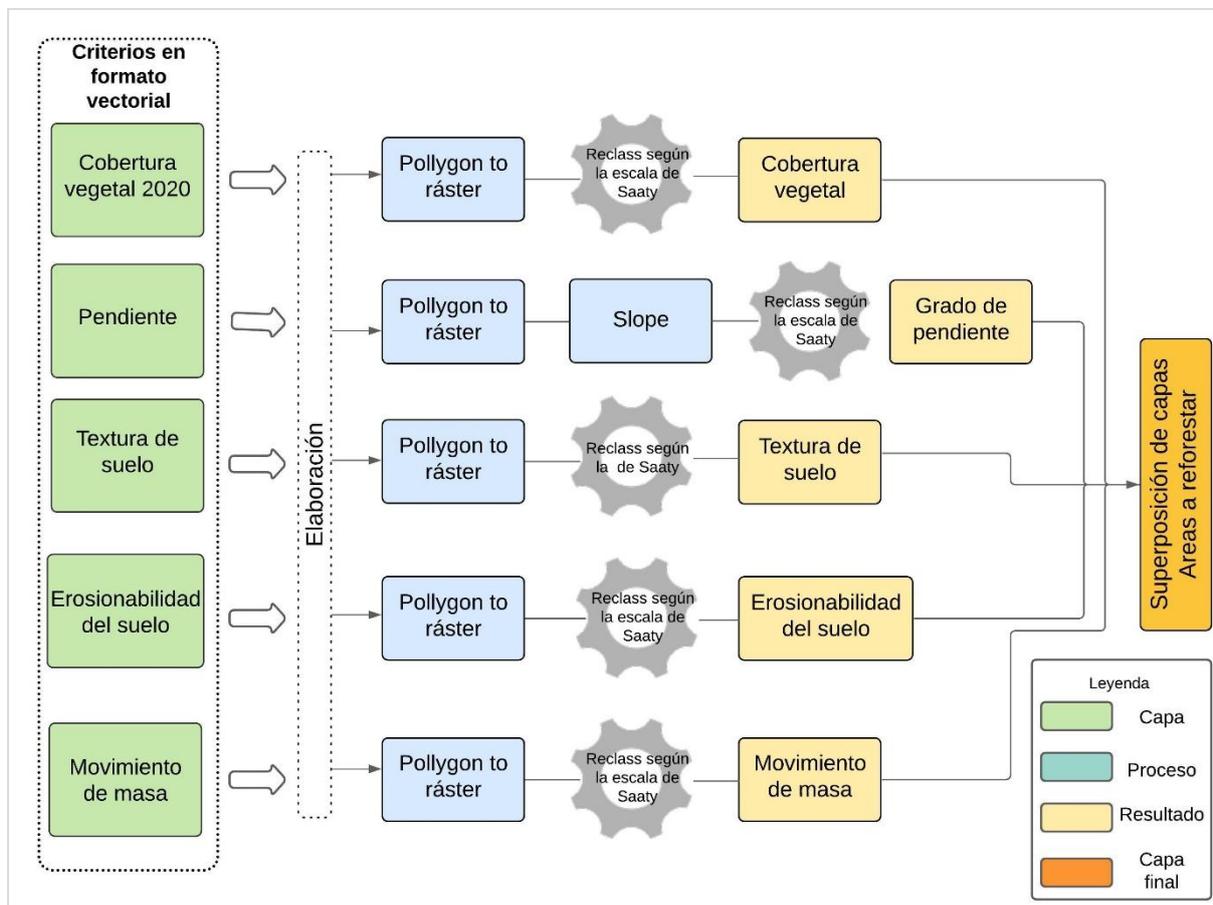


Figura 7

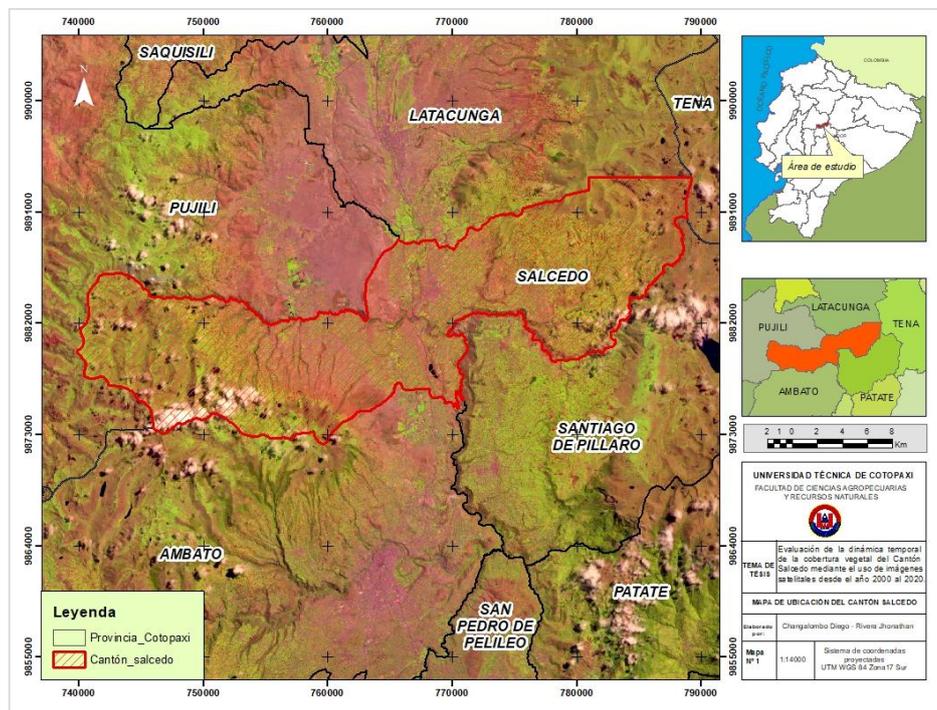
Metodología empleada para zonas prioritarias a reforestar



8.1. Área de Estudio

Este proyecto de investigación pretende identificar los cambios de cobertura vegetal en los últimos 20 años. Dicha área, localizada en la región sierra en la zona suroriental de la provincia de Cotopaxi específicamente en el cantón Salcedo el área de estudio tiene una superficie de 255 Km^2 y una altitud de 2684 msnm, limitan con los siguientes cantones;

- **Al norte:** los cantones de Pujilí y Latacunga, con su parroquia Belisario Quevedo (Provincia del Cotopaxi).
- **Al sur:** los cantones de Ambato y Píllaro (Provincia del Tungurahua).
- **Al este:** la Cordillera Central de los Andes (Provincia del Napo).
- **Al oeste:** el cantón Pujilí con su parroquia de Angamarca (Provincia de Cotopaxi).

Figura 8*Mapa de ubicación del cantón Salcedo*

8.2. Fases metodológicas

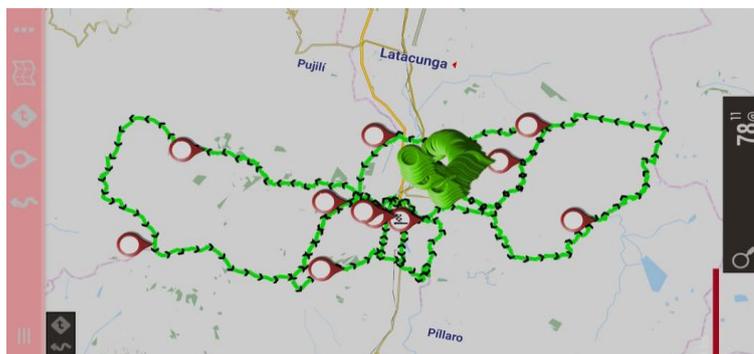
En el presente estudio se contempla las siguientes 5 fases detallados a continuación:

8.2.1. Fase 1: Trabajo de campo

En esta primera fase comprende la salida de campo al área de estudio, para la toma de puntos de entrenamiento y la identificación del tipo de cobertura vegetal existente en la zona. Para la toma de las coordenadas geográficas se utilizó el programa OruxMaps, este programa permite ver mapas geográficos tanto de modo online como offline facilitando de mejor manera la obtención de los puntos, como medio de verificación se reporta la libreta de campo y la imagen del OruxMaps con los puntos georreferenciados dentro de la zona de investigación. De igual forma se recopiló la información bibliográfica de fuentes secundarias para entender y analizar el cambio histórico de la cobertura vegetal del cantón Salcedo de los años de investigación.

Figura 9

OruxMaps Puntos georreferenciados en la zona de estudio



Fuente: Programa OruxMaps

Tabla 6

Modelo de plantilla para la toma de puntos de muestreo

Fecha:					
Parroquia	Tipo de cobertura	Coordenadas			Observaciones
		X	Y	Z	
San Miguel	Agrícola	783606	9889596	3771	
Antonio José de Holguín	Agrícola	766915	9878557	465	
Cusubamba	Bosque	754008	9879807	3352	
Mulalillo	Agrícola	765763	9880300	511	
Mulliquindil (Santa Ana)	Matorrales	772543	9889399	2969	
Panzaleo	Matorrales	770322	9878473	242	

8.2.2. Fase 2: Preparación

En esta fase se realiza la búsqueda y recolección de información en diferentes fuentes con la finalidad de adquirir el insumo necesario para el desarrollo de toda la investigación, por lo que se procedió a seleccionar y descargar imágenes de satélites Landsat 7, 8 y Sentinel 2. Cabe mencionar que la selección de las imágenes satelitales fueron desde el año 2001 debido que para el año 2000 no se logró encontrar una imagen satelital con buena resolución.

8.2.2.1. Búsqueda de información secundaria

La información secundaria se basa en la búsqueda bibliográfica de fuentes como PDOT del cantón Salcedo, y en la página del MAE con el propósito de conocer las características de

la cobertura vegetal y uso del suelo del área de estudio, de igual forma, se recopiló información de gran importancia sobre la teledetección aplicado al medio ambiente para el análisis de cambio de cobertura vegetal.

8.2.2.2. Selección y descarga de imágenes satelitales Landsat y Sentinel 2

Las imágenes satelitales utilizadas para el proceso fueron descargadas a partir del portal web Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), el cual dispone de una amplia base de datos histórica de imágenes obtenidas de los diferentes satélites con registros que llegan hasta la fecha actual.

Estas imágenes serán escogidas en función de ciertos parámetros de selección enfocados en la evaluación de la calidad visual de cada una de ellas, de esta forma, se destaca la valoración del porcentaje máximo de cobertura de nubes el cual fue establecido en un 12 y 15%, valor que constituye un límite máximo aceptable para la zona de estudio. De igual forma, se tomó mucho en cuenta las condiciones climáticas (época de estiaje) presentes en el cantón (junio, julio, agosto y septiembre) y la influencia de estas en la obtención de imágenes satelitales de Landsat 7, 8 y Sentinel 2.

Tabla 7

Imágenes del Landsat 7, 8 y sentinel 2

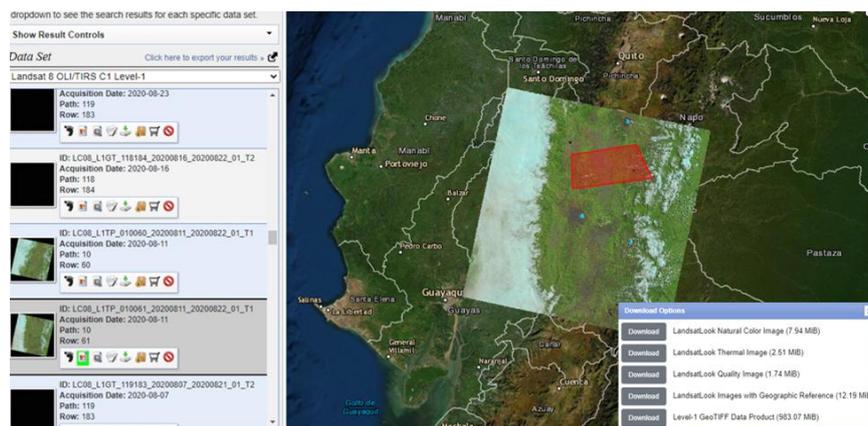
Fecha	Sensor	Fecha de adquisición
2001	LE07_L2SP_010061_20010916_20200917_02_T1	16/09/2001
2004	LE07_L1TP_010061_20040628_20200915_02_T1	28/06/2004
2007	LE07_L1TP_010061_20070731_20200913_02_T1	31/07/2007
2011	LE07_L1TP_010061_20110608_20200910_02_T1	08/06/2011
2016	LC08_L2SP_010061_20160920_20200905_02_T1	20/09/2016
2020	L1C_T17MQU_A024232_20200811	11/08/2020

8.2.2.3. Composición de las imágenes descargadas

Las imágenes seleccionadas son descargadas del portal web Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) en un formato comprimido en el cual las bandas que componen a cada imagen se encuentran separadas.

Figura 10

Visualización de la interfaz de la plataforma Earth Explore



Fuente: USGS

8.2.3. Fase 3: Preprocesamiento de imágenes satelitales

8.2.3.1. Correcciones geométricas

No todas las imágenes de satélite están georreferenciadas, es decir, no cuentan con un sistema de coordenadas para la ubicación geográfica, por lo que es necesario asignar un sistema de coordenadas las cuales se las aplicaron los siguientes parámetros para cada una de las imágenes compuestas:

- Datum WGS84
- Sistemas de coordenadas UTM (Universal Transversal Mercator)
- Zona 17s (hemisferio sur)

8.2.3.2. Corrección radiométrica

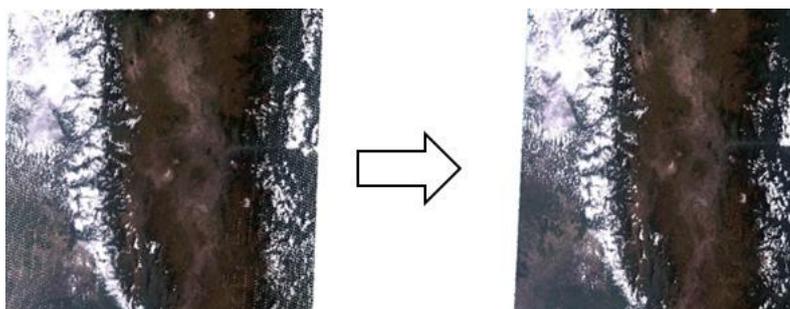
Al realizar las correcciones radiométricas permiten corregir defectos provenientes de los valores de pixeles en todas o en algunas bandas. Algunos errores fácilmente advertibles los encontramos en las imágenes Landsat 7 ya que en el 2003 sufre en su dispositivo SLC (corrector de línea de exploración) una falla y se apaga y crea problemas de bandeo de las imágenes

satelitales generando gaps o líneas de ausencia de información con una ligera inclinación hacia los laterales mientras la zona central se muestra correctamente (Barsi et al., 2007).

Por otro lado, los valores de intensidad en cada pixel están condicionada a afectaciones como la distorsión radiométrica. Según (Rejas, 2007) señala que en las imágenes se presentan dos casos puntuales: que la distribución de intensidad en cada banda sea diferente en la escena que en el terreno; que el valor relativo de un pixel específico se distorsione de una banda a otra, sin seguir un patrón real de las variaciones espectrales teóricas, en relación al que debería tener según la superficie. Esto se fundamenta entonces, en la presencia de atmosfera, errores de transmisión electromagnética del medio y efectos de instrumentación.

Figura 11

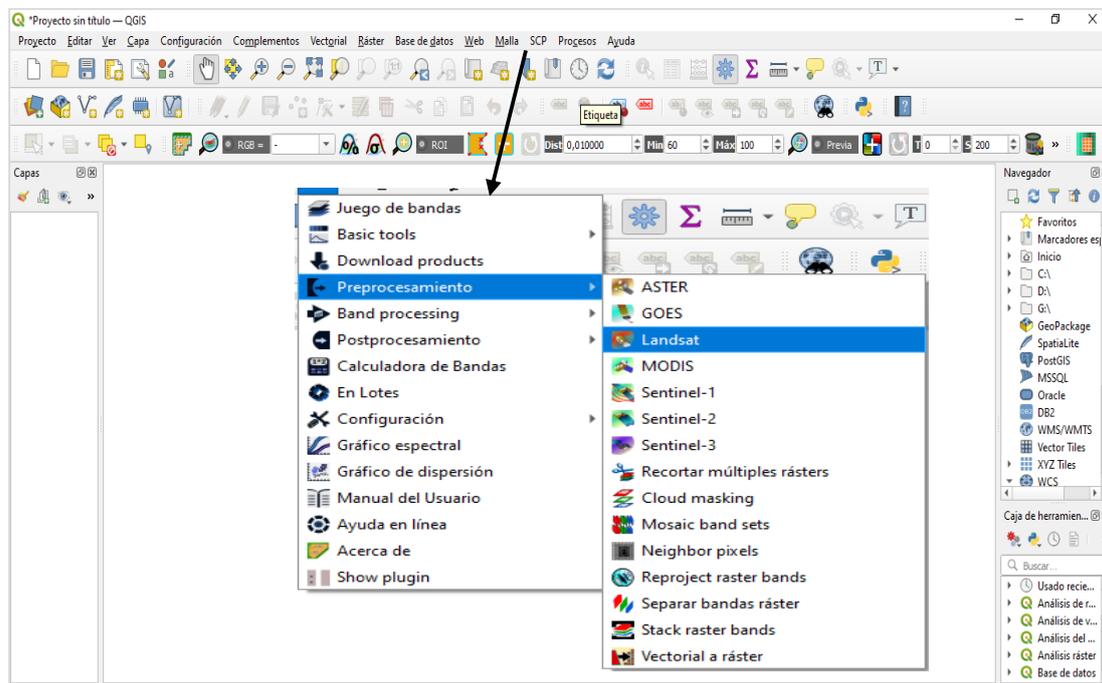
Imagen Landsat 7 satelital realizado la corrección del bandeo



Fuente: esarhexplore.usgs.gov

8.2.3.3. Corrección atmosférica

Para la corrección atmosférica de las imágenes podemos recurrir a diversos recursos. Algunas de las herramientas que se puede emplear de manera sencilla para llevar a cabo correcciones de imágenes satélites es el plugin SPC (Semi-Automatic Classification) que se puede incorporar en el QGIS, es una de las herramientas que existe en el mercado libre para realizar el procesamiento de corrección atmosférica de Landsat, al igual que ocurre en el entorno de Sentinel 2 y cualquier otra misión, lo más importante para realizar las correcciones atmosférica es disponer de los metadatos asociados a las bandas (Roberto, 2019).

Figura 12*Semi-Automático clasificación Plugin***8.2.3.4. Clasificación supervisada**

Para la clasificación supervisada de las imágenes anteriormente procesadas, se utilizó una de las tantas herramientas de mercado libre, como el Semiautomatic Classification Plugin de QGIS. La clasificación supervisada comienza con una cierta comprensión del campo de investigación, cuanto mayor es la familiaridad con el área de interés, mejor es la representación de la categoría que compondrá la leyenda dentro de los mapas temáticos del cambio de cobertura vegetal (Chuvieco, 2002). De igual forma la clasificación supervisada permite explorar diferentes tipos de atributos o clases por medio del análisis estadístico multivariado. Existen básicamente dos procedimientos para caracterizar las clases de coberturas vegetales; uno de ellos es el llamado entrenamiento supervisado, en el cual, se utiliza un conocimiento previo de las clases, derivado de la salida de campo, la fotointerpretación y otras fuentes (mapas temáticos, etc.), este conocimiento previo, definirá la identificación con el objetivo de determinar las coberturas de la tierra predominantes en el cantón Salcedo (Ramos, 2017, p. 9).

Luego se calculan los vectores de medias y las matrices de covarianza (estimadas) de las distintas clases y se utilizan en la fase posterior de asignación del resto de los píxeles de la escena a alguna de las clases previamente consideradas. La clasificación es una técnica muy útil, usada en diversos campos como el de reconocimiento de patrones espaciales (Ramos, 2017, p. 8).

8.2.3.5. Cálculo de Índice de vegetación “NDVI”

Para establecer el Índice de Vegetación Normalizada (NDVI) se utiliza una ecuación. El resultado de esta ecuación es la comparación de las características espectrales de las dos bandas específicas de la imagen satelital: la banda roja que manifiesta el nivel de absorción de clorofila que en la vegetación sana absorbe una mayor cantidad de energía por el proceso de fotosíntesis y la banda del infrarrojo cercano donde las estructuras vegetales de una planta sana reflejan una mayor cantidad de energía (Cargua et al., 2018).

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Dónde:

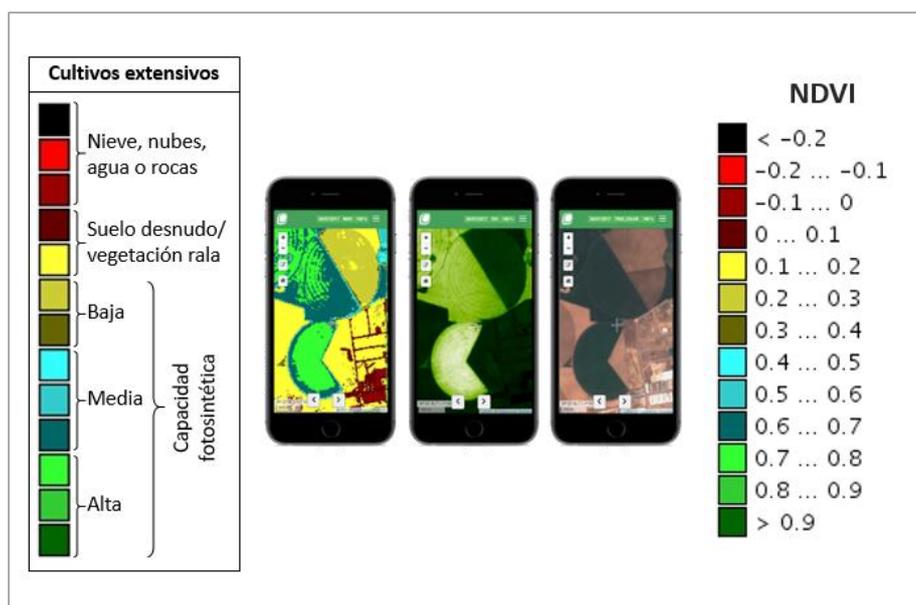
NIR: Infrarrojo cercano

RED: Rojo visible

Según (Ramos, 2017), menciona que “el rango de NDVI está entre -1 y 1, lo que representa a la vegetación si es negativa, corresponde a otros elementos (nubes, Agua) y valores cercanos a 0, como suelo desnudo” (p.15). A continuación, en la Fig. 13 se muestra el rango a la que nos basamos para la categorización de NDVI.

Figura 13

Rango del NDVI -1 a +1



8.2.4. Fase 4: Post-procesamiento

En esta cuarta fase consiste en la creación de un shapefile de tipo polígono la cual ayuda de mejor manera a vectorizar los resultados permitiendo el cálculo de propiedades geométricas como el área de cada uno de los polígonos para su posterior edición y ajuste según lo observado en cada una de las imágenes satelitales con la finalidad de que las coberturas vegetales identificadas sean clasificadas de mejor manera para la evaluación multicriterio.

8.2.5. Fase 5: Consolidación de resultados

Con la información generada en las fases anteriores, se desarrolla los mapas temáticos para el área de estudio, y se clasifica de acuerdo a cada fecha de evaluación. Por otro lado, el área que conforma cada cobertura vegetal se calcula en hectáreas y su cuantificación se lo realiza en porcentaje del área total permitiendo determinar la evaluación del comportamiento espectral de las coberturas y sus cambios de forma cuantitativa (Barrios, 2012, p. 11).

8.2.5.1. Análisis multitemporal

Con apoyo de la herramienta plugin SCP (Semiautomatic Classification Plugin) se realiza la comparación entre las clasificaciones en formato ráster generados anteriormente. De igual forma se analiza las coberturas vegetales correspondiente para cada período con la finalidad de determinar la tendencia del cambio de cobertura vegetal dentro del cantón Salcedo.

8.3. Evaluación multicriterio

En cuanto al análisis multicriterio que se tomó como una implementación dentro de la presente investigación con el objetivo de no solo lograr verificar los cambios de las coberturas vegetales transcurridas en los últimos 20 años, sino que también lograr determinar áreas prioritarias para reforestación dentro del cantón Salcedo, para obtener todo este conocimiento y entender cómo funciona el análisis multicriterio, se realizó una serie de consultas bibliográficas sobre estudios donde el eje principal de su desarrollo era este modelo. Una de las técnicas que se empleado dentro de la evaluación multicriterio es el denominado proceso analítico jerárquico (AHP) desarrollado por Thomas Saaty.

De igual forma, se requirió insumos o criterios que contribuyan a la generación del proceso, los criterios fueron; topografía (pendiente, movimiento de masa), suelos (textura de suelo), cobertura vegetal (uso de suelo), y erosionabilidad del suelo. Posteriormente, estos datos

fueron procesados en el software QGIS para el desarrollo del modelo de evaluación multicriterio y superposición de capas para obtener dichas zonas a reforestar.

Para determinar el grado de pendiente de nuestra área de estudio se procedió a cortar la capa ráster de acuerdo a la delimitación del cantón Salcedo, con la ayuda de la herramienta de análisis de terreno ráster (pendiente), que toma en cuenta las diferencias entre los valores de altura sobre el nivel del mar consignados en cada pixel. La clasificación de la pendiente con base a su grado de inclinación se realiza mediante la siguiente tabla.

Tabla 8

Grados de pendiente

Grado	Clasificación
0 – 3	Plano o casi plano
3 – 7	Ligeramente inclinado
7 – 12	Moderadamente inclinado
12 – 25	Fuertemente inclinado
25 – 50	Moderadamente escarpado
50 – 65	Escarpado
>65	Muy escarpado

Fuente: (IGAC, et al., 2010)

Posteriormente, cada criterio fue convertidos en formato ráster para lograr una reclasificación y establecer las escalas de preferencia para cada variable, donde se otorga un valor único como se puede observar dentro de la Tabla 9 que se presenta a continuación.

Tabla 9*Valores asignados a cada variable según su escala de preferencia*

Variable	Caracteres	Puntajes
Cobertura Vegetal	Bosque – Arbustos y matorrales	3
	Suelos Desnudos	6
	Paramo	5
	Mosaico Agropecuario	7
	Área Urbanas – Ríos y Lagos	1
Grado de las pendientes	Plano o casi plano	1
	Ligeramente inclinado	3
	Moderadamente inclinado	4
	Fuertemente inclinado	5
	Moderadamente escarpado	5
	Escarpado	6
	Muy escarpado	6
Textura de suelo	Muy fina	1
	Fina	2
	Media	5
	Gruesa	4
	Modernamente gruesa	3
Erosionabilidad del suelo	Susceptibilidad a erosión alta	7
	Susceptibilidad a erosión moderada	4
	Susceptibilidad a erosión baja	1
Movimiento de masa	Zonas con riesgo	5
	Zonas sin riesgo	1

Fuente: (Hidalgo, 2016)

Finalmente, se procedió a realizar la superposición de capas mediante la herramienta de álgebra de mapas donde cada variable fue sumada, teniendo en cuenta el rango de mayor ponderación en cada una de estas variables reclasificadas. En la tabla 10 se pueden observar los niveles para la clasificación de prioridad.

Tabla 10*Rango de Priorización para Zonas a Reforestar*

Rango	Nivel de prioridad
9 – 15	Prioridad baja
15 – 23	Prioridad moderada
24 – 31	Prioridad alta
32 – 46	Prioridad inmediata

Fuente: (IGAC, et al., 2010)

9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

9.1. Categoría de la cobertura vegetal y usos del suelo del cantón Salcedo

Para la clasificación de las categorías de la cobertura vegetal del cantón Salcedo se sustentó bajo la clasificación “*Memorias técnicas del cantón Salcedo página 27*” en la cual se ha identificado 11 subcategorías de cobertura vegetal y uso de suelo, sin embargo, tratando de ser lo más generalizado posible y facilite la interpretación y el análisis se realizó una categorización.

Tabla 11

Categorías y claves de la leyenda de la cobertura vegetal

Claves de clasificación para la Leyenda de coberturas	
1	BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES
	1.1 Bosques
	1.2 Bosque húmedos
2	ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA Y/O ARBUSTIVA
	2.1 Arbustos o Matorrales
	2.2 Vegetación herbácea húmeda y seca
3	ÁREAS CON O POCA VEGETACIÓN
	3.1 Tierras desnudas o con poca vegetación
4	PÁRAMO
5	MOSAICO DE CULTIVOS
	5.1 Mosaico agropecuario
	5.2 Cultivos permanentes y de ciclo corto
	5.3 Pastos de corte (forraje)
6	ÁREAS URBANAS
	6.1 Red Vial
	6.2 Puentes
	6.3 Invernaderos
7	CUERPOS DE AGUA
	7.1 Ríos
	7.2 Lagunas

Fuente: SIGTIERRAS, 2014

Tabla 12*Coordenadas geográficas de los tipos de cobertura vegetal*

Tipo de Cobertura	X	Y	Z
Mosaico Agropecuario	769871	9885991	2653,5
Mosaico Agropecuario	771343	9888591	2653,5
Mosaico Agropecuario	771321	9888521	2845,5
Mosaico Agropecuario	771642	9889059	2845,5
Mosaico Agropecuario	772092	9889337	2933,3
Mosaico Agropecuario	772187	9889307	2940,7
Mosaico Agropecuario	772429	9889393	2965,6
Mosaico Agropecuario	772543	9889399	2969,7
Mosaico Agropecuario	772720	9889271	2972,7
Mosaico Agropecuario	772839	9889316	3014,9
Mosaico Agropecuario	773055	9889152	2986,1
Mosaico Agropecuario	773066	9889102	2994,5
Cultivo Forestal	773273	9889008	3019,8
Cuerpo de Agua	773242	9889011	3015,7
Cultivo Forestal	773328	9888883	3022,4
Cultivo Forestal	773409	9888793	3030,5
Cultivo Forestal	773680	9888421	3050,6
Bosque Primario	773751	9888457	3063,8
Bosque Primario	773789	9888405	3064,9
Bosque Primario	773785	9888359	3064,9
Bosque Primario	773784	9888277	3069,2
Bosque Primario	773780	9888209	3070,1
Bosque Primario	773850	9888039	3070,1
Bosque Primario	774004	9888028	3070,1
Arbusto y Matorrales	774112	9887926	3096,7
Arbusto y Matorrales	774116	9887929	3096,7
Arbusto y Matorrales	774296	9887793	3109,1
Arbusto y Matorrales	774765	9887895	3149,8
Zona Urbana	774314	9887385	3108,2
Zona Urbana	774182	9887183	3116,5
Zona Urbana	774171	9887188	3116,9
Bosque Primario	773141	9884359	3016,8
Bosque Primario	772980	9884153	3012,5
Bosque Primario	772860	9884302	2907,5
Bosque Primario	772695	9884561	2906,6
Zona Urbana	769890	9885959	2663,5
Zona Urbana	769784	9886280	2662,5
Zona Urbana	769661	9886570	2663
Zona Urbana	769482	9886928	2661,9
Zona Urbana	769298	9887280	2661,7

9.2. Cobertura vegetal y uso suelo 2000- 2020

9.2.1. Cobertura vegetal y uso de suelo 2001-2004-2007

Tabla 13

Análisis multitemporal de la clasificación supervisada

Clases	Hectárea	% del 2001	Hectárea	% del 2004	Hectárea	% del 2007
Nubes y Sombras	1009,17	2,08	0	0,00	0,00	0,00
Bosques	5675,31	11,68	5999,20	12,34	5650,46	11,64
Arbustos y Matorrales	4999,32	10,28	2450,27	5,04	6618,79	13,63
Suelos Desnudos	14695,47	30,23	8256,12	16,99	10912,55	22,47
Páramo	14820,12	30,49	16771,46	34,51	10687,19	22,01
Mosaico Agropecuario	6915,69	14,23	14109,49	29,03	13886,66	28,60
Área Urbanas	452,70	0,93	761,85	1,57	961,85	1,98
Río y lagos	41,40	0,09	46,36	0,10	37,22	0,08
TOTAL	48609,1802	100	48600,8089	100	48554,7555	100

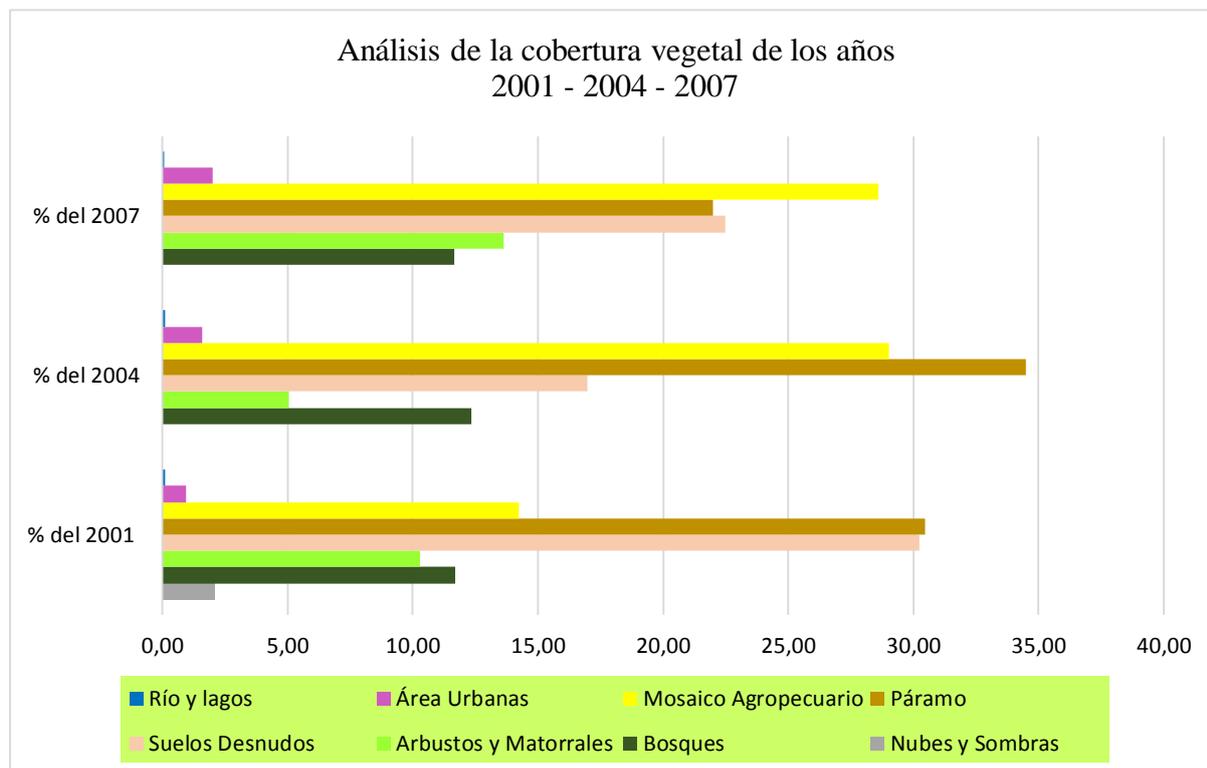
Se puede evidenciar cambios en las tres categorías presentadas. En el primer periodo 2001 - 2004, se observa un aumento de la categoría bosque, resultando del 11,68% al 12,34% para el año 2004 sin embargo, para el año 2007 presenta una disminución del 0,7% la cual significa 24,84 hectáreas menos, mientras que para la categoría de arbustos y matorrales tiene un aumento favorable para el año 2007 del 13,63% (6618,79 ha).

En el caso de la categoría suelos desnudos para el año 2001 tenemos un porcentaje del 30,23% (14695,47 ha) sin embargo, a partir de este año comienza a disminuir presentando para el año 2007 una tasa de decrecimiento del 7,76% menos, seguidamente tenemos al páramo presentando para el primer año un porcentaje del 30,39% (14820,12 ha) mientras que para el año 2007 debido al incremento de la población urbana y el aumento del mosaico agropecuario los páramos han ido decreciendo año tras año por ende, para el año 2007 presenta una disminución del 8,5 % menos, cabe señalar que la disminución de los páramo principalmente es para las actividades agrícolas y pastos ya sea de ciclo corto como largo, la cual a limitando la disponibilidad de un recurso escaso, lo que obliga a los pequeños agricultores a ingresar a áreas marginales y de laderas, ocasionando una pérdida de la capa de la cobertura vegetal.

En la siguiente Figura 14, se puede observar la variación de la cobertura vegetal del Cantón Salcedo para los años 2001, 2004 y 2007 en la cual se identifica los cambios presentados en los tres primeros años de análisis.

Figura 14

Análisis de cobertura vegetal de los años 2001-2004-2007



En este sentido se comprende una variación de cambio de cada una de las categorías analizadas para estos periodos, en la cual se puede identificar que el área con mayor influencia ha sido el mosaico agropecuario entre los años 2004 – 2007, seguidamente por la categoría de las áreas urbanas, no obstante las categorías de páramo y bosques, que presenta una lamentable disminución en el mismo periodo, mientras que en la categoría de arbustos y matorrales se puede observar que para el año 2007 presenta un favorable crecimiento.

Con respecto a los páramos y el avance de la frontera agrícola hacia las zonas altas de los páramos, pone en alto riesgo ya que la desaparición de la vegetación protectora causando una exposición del suelo al aire y aumentando la evapotranspiración en el suelo superficial ocasionando una menor capacidad de retención de agua. Se debe agregar que el páramo son verdaderas esponjas de agua, gracias a la gran capacidad de retención de agua de sus suelos,

que superan el 200% de su propio peso seco. De la misma manera el musgo es un reservorio capaz de retener en sus tejidos hasta 40 veces de su peso seco de agua (Cañadas, 1983, p. 96).

Los resultados obtenidos en nuestro trabajo de investigación muestran que los páramos, bosques, arbustos y matorrales presentan un decrecimiento por la cual concuerda con la investigación realizada por el autor (Encalada, 2005) que menciona que desde el año 1979 hasta el 2004 los tres tipos de vegetación analizadas de ese entonces (bosques de tierras bajas, bosques andinos y páramos) dentro de la provincia de Cotopaxi han decrecido considerablemente representando del 34 y 44% de su cobertura original (p. 20)., la cual manifiesta (Likens & Bormann, 1975) que la pérdida de la cobertura vegetal, ya sea por agricultura, ganadería, minería u otro tipo de explotación, puede llevar a un deterioro de los suelos superficiales, reducción de su fertilidad, variación drástica de los caudales hídricos que influyen en la severidad de las inundaciones o sequías y cambios en la funcionalidad de los ecosistemas.

De igual forma (Martínez, 2005) señala que en la provincia de Cotopaxi las tasas de pérdidas de coberturas vegetales en el páramo son alarmantes presentando 2000 y 2400 ha/año (p. 23).

9.2.2. Cobertura vegetal y usos de suelo 2011 – 2016 – 2020

Tabla 14

Análisis multitemporal de la clasificación supervisada

Clases	Hectárea	% del 2011	Hectárea	% del 2016	Hectárea	% del 2020
Nubes y Sombras	1712,91	3,52	0	0	0	0
Bosques	8177,90	16,83	7232,83	14,88	5094,13	10,5
Arbustos y Matorrales	7276,39	14,97	6734,07	13,85	4725,21	9,7
Suelos Desnudos	7065,57	14,54	8423,97	17,33	5985,82	12,3
Páramo	9508,54	19,56	9391,68	19,32	9007,28	18,5
Mosaico Agropecuario	14026,49	28,86	12920,47	26,58	19132,12	39,4
Área Urbanas	994,71	2,05	4056,31	8,34	4640,25	9,5
Río y lagos	37,79	0,08	90,61	0,19	29,66	0,1
TOTAL	48600,3277	100	48609,9724	100	48614,4928	100

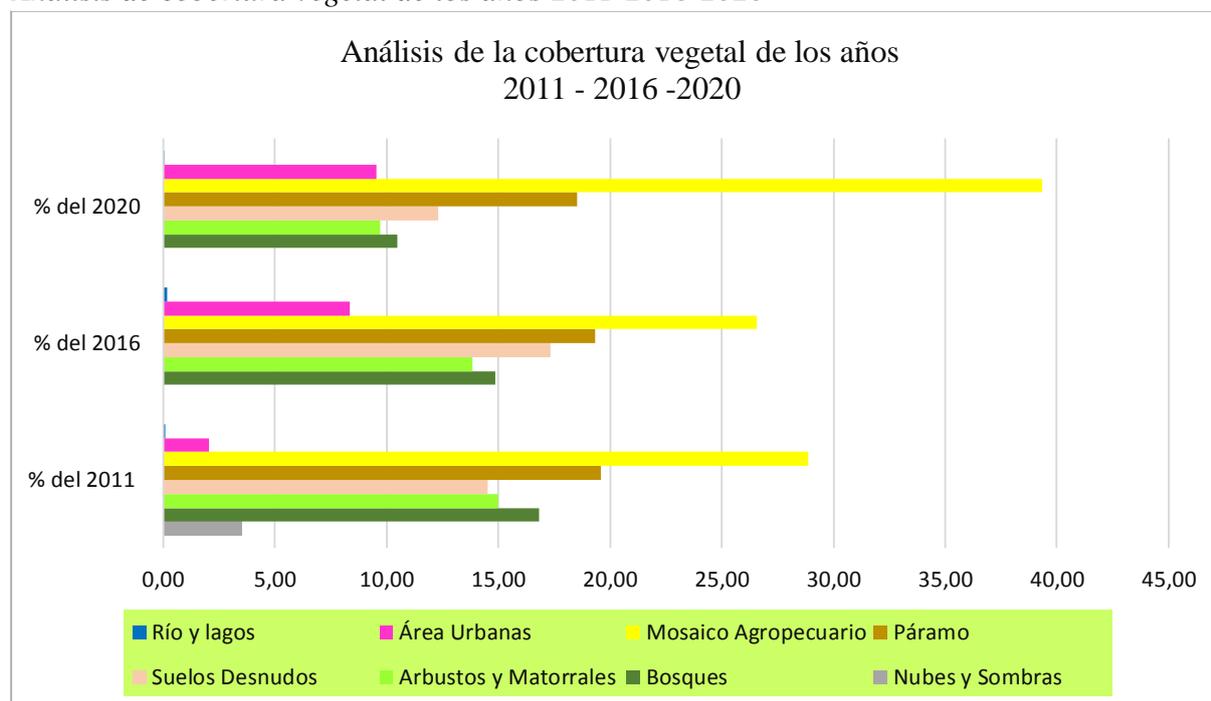
De acuerdo a los datos obtenidos de la cobertura vegetal, de los años 2011, 2016 y 2020 es posible evidenciar que todas las clases han variado, ya sea porque aumentaron o disminuyeron. Es importante mencionar que para la clase de bosques que representa el 16,83% (8177,90 ha) obtenida en el 2011 se puede evidenciar una disminución del 6.33% menos para

el 2020, seguidamente tenemos la clase de arbustos y matorrales que representa un porcentaje del 14,97% (7276,39 ha) en el 2011 y para el año 2020 presenta una disminución del 5,27% menos, de igual forma, tenemos la clase de suelos desnudos con un porcentaje del 14,54% (7065,57 ha) en el año 2011 y para el año 2020 se puede identificar un decrecimiento de un 2,24% menos, de mismo modo tenemos a los páramos que representa un porcentaje del 19,56% (9508,54 ha) en el 2011 sin embargo debido a aumento del mosaico agropecuario con un crecimiento del 39,4% y del crecimiento poblacional con un 9,5%, el páramo y la cobertura vegetal existen en el cantón Salcedo ha venido reduciendo su valor de conservación la cual para el año 2020 la tasa de decrecimiento de los páramo es de un 1,09% la cual significa una reducción de 9007,28 hectáreas menos.

En la siguiente Figura 15, se puede observar la variación de la cobertura vegetal del Cantón Salcedo para los años 2011, 2016 y 2020 en la cual se identifica un aumento agresivo de mosaico agropecuario en los últimos tres años.

Figura 15

Análisis de cobertura vegetal de los años 2011-2016-2020



Cabe recalcar que la categoría de uso de suelo con mayor dominancia para los tres periodos de tiempo, sigue siendo el mosaico agropecuario donde contiene (cultivos de ciclo corto como permanentes, de igual forma los llamados pastizales de corte como los forrajes) con una tendencia de crecimiento considerable. Una de las razones de este problema es el aumento de la densidad poblacional la cual implica una mayor ocupación territorial para realizar las

diferentes actividades, provocando en si la destrucción de la cobertura vegetal. Por la cual (Camacho, 2014), menciona que en la naturaleza, las tierras agrícolas provocan cambios ambientales, especialmente en la flora y fauna y los recursos del suelo. Por ende, las prácticas agropecuarias son responsables de la pérdida indiscriminada de los bosques nativos, el pastoreo persistente, la quema, el cultivo excesivo e incorrecto” (p. 7).

De esta manera (Mollo Alata, 2018) señala que “el mundo pierde alrededor de 75 mil millones de toneladas de suelo fértil de los sistemas agrícolas cada año. Por ejemplo, en África, en 40% de las superficies terrestre esta degradada, lo que afecta la producción de alimentos y conduce a la erosión del suelo, lo que a su vez contribuye la desertificación causando la incapacidad de los ecosistemas de cumplir con la función reguladora para suministrar bienes y servicios ecosistémicos” (p. 77).

Los resultado de este periodo analizados guarda relaciona con lo que sostiene (Nicola & Efraín, 2016) quienes señalan que las coberturas de agricultura y pastizales poseen una gran extensiones territoriales debido a la necesidades de suplir alimentos para la población, cabe señalar que los resultados realizados entre el 2005 y 2016 por los investigadores, se puede observar que el mosaico agropecuario han reducido las áreas boscosas.

9.3.Análisis multitemporal

Este tipo de análisis es muy eficaz para determinar los cambios de las coberturas vegetales y usos de suelo dentro del cantón, ya que permite proporcionar información de gran importancia para la planificación territorial, cabe recalcar que también proporciona información para la evaluación del impacto ambiental en determinadas áreas.

Es por ello, que para analizar las transiciones de las coberturas vegetales de los años 2001 - 2004 (*Tabla 15*), 2007 - 2011 (*Tabla 16*) y 2016 – 2020 (*Tabla 17*) del cantón Salcedo se elaboró una matriz de transición, la cual es una matriz cuadrada en la que podemos comparar la clasificación de referencia con la nueva clasificación realizada, esto permite verificar donde hubo transición de cobertura vegetal, cabe mencionar que esto se lo realizo con el programa QGIS usando el complemento SCP (Semi-Automatic Classification Plugin) específicamente con el postprocesamiento (cambio de cobertura de suelo). Estas matrices no solo pueden ver los cambios en la cobertura vegetal, sino también cuantificar los cambios ocurridos en las mismas.

Dentro de la matriz de confusión se puede observar que la columna inicial muestra las clases de la imagen de cobertura vegetal del año inicial y la fila superior indica la cobertura

vegetal de los años a comparar, mientras que la diagonal principal muestra las coberturas que no sufrieron alteraciones, es decir que no sufrieron cambios entre los años de análisis. Por el contrario, las clases que se encuentra fuera de la diagonal principal indica los cambios que han sufrido durante el periodo de estudio.

Para identificar la pérdida actual de la cobertura vegetal del cantón se analizó los 2 últimos periodos 2016 - 2020 donde resalta que las actividades agropecuarias siguen influyendo en el decrecimiento de cobertura vegetal dentro del cantón. Por otra parte, también se logró observar dentro de la (tabla 15) que no solo está aumentando el mosaico agropecuario sí no que también se está expandiendo las áreas urbanas y disminuyendo los suelos desnudos teniendo como resultados que en las dos clases mencionadas encontramos porcentajes representativos a comparación de los años anteriores.

Según (Medina López, 2015) señala que “el principal problema de esta matriz es que depende en gran medida de la fiabilidad de cada categoría, en otras palabras, si las categorías no se distinguen correctamente en cualquiera de las dos fechas, el cruce entre las categorías será incorrecto, proporcionando así información inexacta sobre los cambios” (p.47).

Cabe recalcar que estas transiciones ocurridas en los diferentes periodos analizados se los puede evidenciar dentro de los mapas temáticos (Anexos 7-8-9).

Tabla 15*Matriz de transición de la cobertura vegetal 2001 -2004*

		2004						
Cambio de Cobertura en (ha)	Código	Bosques	Arbustos y Matorrales	Suelos Desnudos	Páramo	Mosaico Agropecuario	Área Urbanas	Río y lagos
		1	2	3	4	5	6	7
2001	Bosques	10 46,5 %	18 3,6%	26 4,5%	34 17%	42 4%	50 1%	58 0,2%
	Arbustos y Matorrales	11 3,3%	19 13,4%	27 2%	35 2,4%	43 4,7%	51 6,2%	59 0,7 h%
	Suelos Desnudos	12 4%	2,1%	28 49,6%	36 0,1%	44 7,8%	52 30%	60
	Páramo	13 21%	21 34%	29 0,2%	37 74,6%	45 3,6%	53 0,1%	
	Mosaico Agropecuario	14 24,1%	22 44,2%	30 37,8%	38 5,8%	46 68,6%	54 16,4%	
	Área Urbanas	15 1%	23 2%	31 6,1%	39	47 10,6%	55 46,2%	
	Río y lagos	16 0,1%		32				64 99,1%

Tabla 16*Matriz de transición de la cobertura vegetal 2007 - 2011*

		2011							
Cambio de Cobertura en (ha)	Código	Bosques	Arbustos y Matorrales	Suelos Desnudos	Páramo	Mosaico Agropecuario	Área Urbanas	Río y lagos	
		1	2	3	4	5	6	7	
2007	Bosques	1	2 51,8%	11 15,2%	20 5%	29 16,3%	38 14,2%	47 3%	56 8,2%
	Arbustos y Matorrales	2	3 7%	12 8,4%	21 21,9%	30 18,6%	39 12%	48 23,7%	57 10,2%
	Suelos Desnudos	3	4 1,3%	13 0,8%	22 50,9%	31 0,5%	40 11,9%	49 20,1%	
	Páramo	4	5 17,2%	14 28,3%	23 0,7%	32 52,3%	41 0,7%	50 1%	
	Mosaico Agropecuario	5	6 14,3%	15 42,6%	24 19,4%	33 6,5%	42 58,1%	51 31,6%	
	Área Urbanas	6	7	16 0,1%	25 0,7%	34	43 0,4%	52 19,7%	
	Río y lagos	7		26 0,1%					62 81,6%

Tabla 17*Matriz de transición de la cobertura vegetal 2016 -2020*

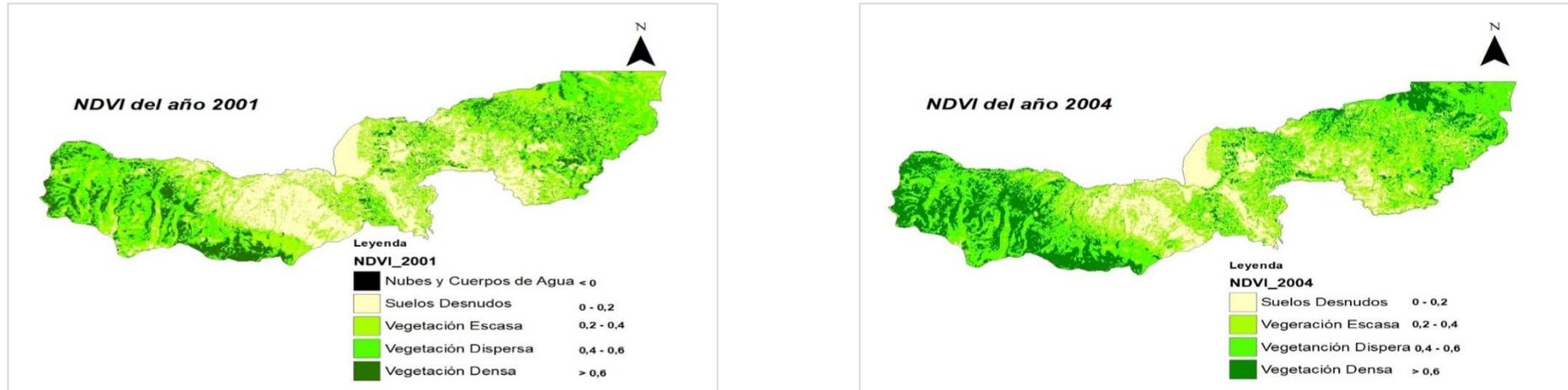
Cambio de Cobertura en (ha)		2020							
		Bosques	Arbustos y Matorrales	Suelos Desnudos	Páramo	Mosaico Agropecuario	Área Urbanas	Río y lagos	
2016	Código	1	2	3	4	5	6	7	
	Bosques	1	10 40,1%	18 5%	26 8%	34 1,2%	42 9,5%	50 5,7%	58 29%
	Arbustos y Matorrales	2	11 1,9%	19 20,4%	27 0,5%	35 20,3%	43 6,6%		
	Suelos Desnudos	3	12 3,8%	20 4,1%	28 47,9%	36 0,1%	44 4,6%	52 28,7%	60 8%
	Páramo	4	13 25,3%	21 11%	29 1,9%	37 73,9%	45 9,9%	53 0,1%	
	Mosaico Agropecuario	5	14 27,9%	22 57,2%	30 36,6%	38 4,4%	46 668,2%	54 ha 20,4%	62 2,4%
	Área Urbanas	6	15 1%	23 2,3%	31 5,2%	39 0,1%	47 1,3%	55 45,1%	63 3,8%
	Río y lagos	7		32 0,3%			48 5%		64 56,9%

9.4. Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)

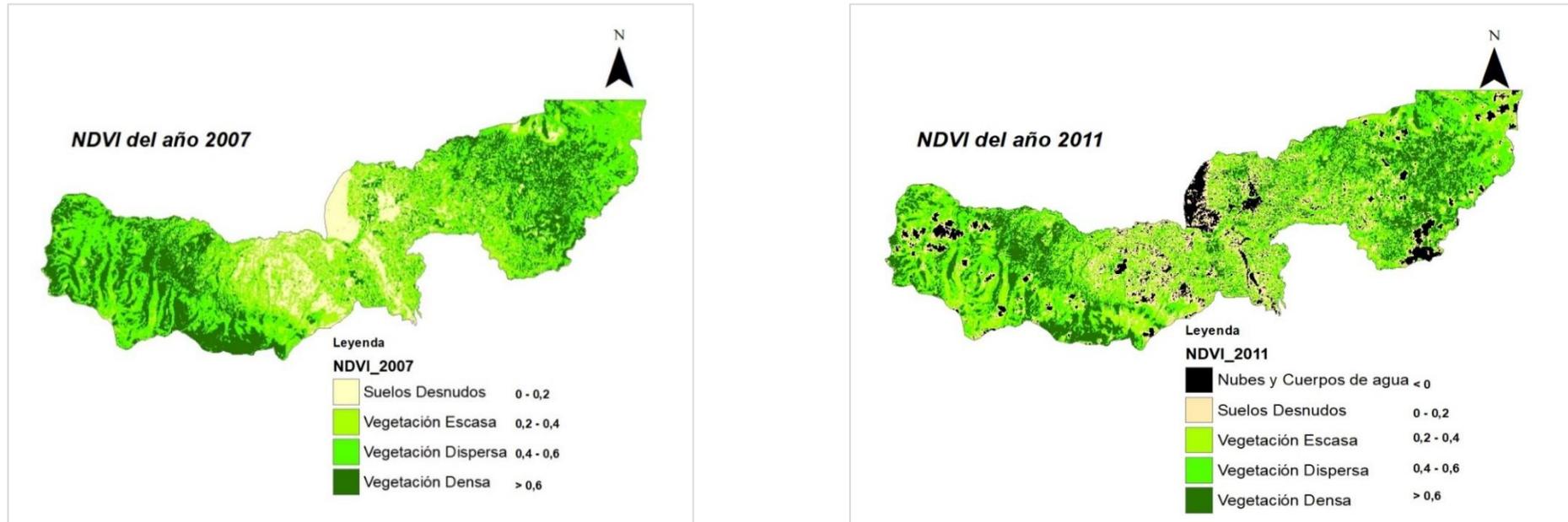
El análisis NDVI nos brinda información sobre la calidad de la vegetación en el área de estudio y la clasifica según la cobertura vegetal.

Figura 16

NDVI del 2001- 2004



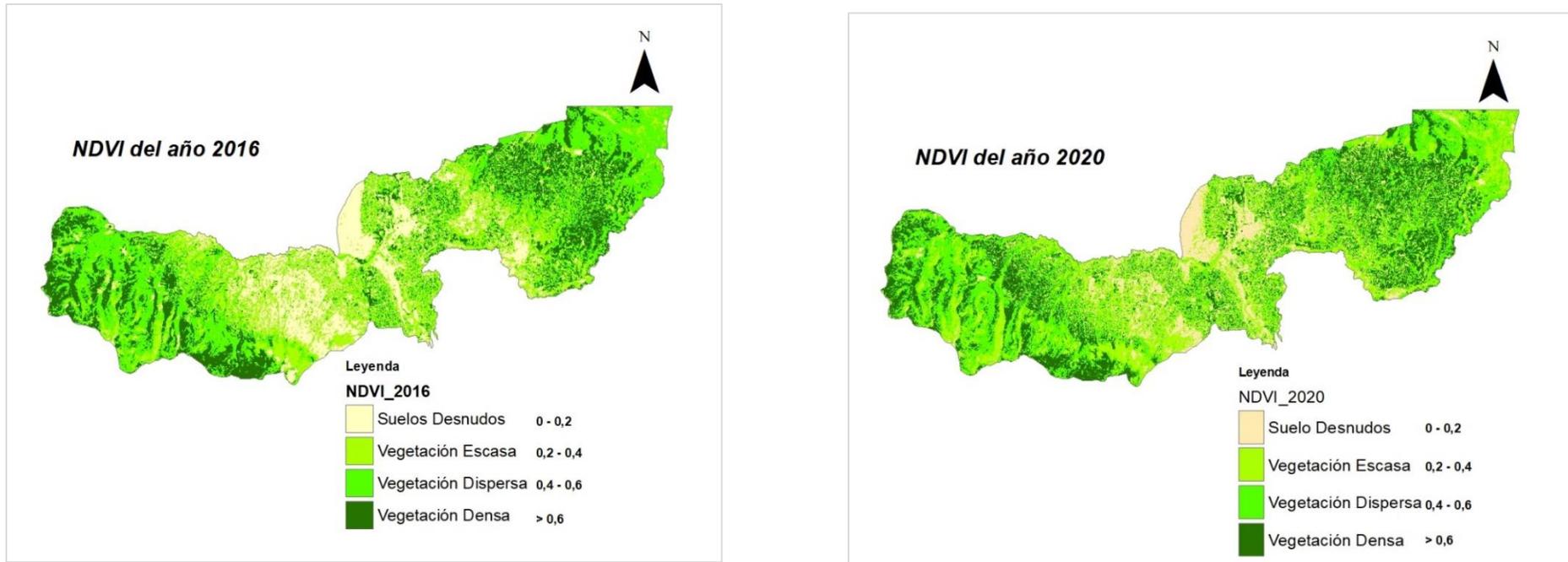
Cabe señalar que el índice de NDVI es aplicable para estudiar la vigorosidad de la vegetación, de igual forma para identificar zonas sin vegetación, de acuerdo al análisis realizado en la **Figura 13** se puede evidenciar a simple vista que las imágenes bajo el índice NDVI se comportan de forma muy similar en algunas áreas. Para el año 2001 el valor NDVI oscila entre 0,56 a -0,47 representando el menor porcentaje de la zona y una capacidad fotosintética baja, esto se debe a que en el año 2001 de acuerdo al análisis de cobertura vegetal analizada anteriormente el porcentaje de suelos desnudos o poca vegetación en muy alta lo que significa una reflectancia baja para identificar la densidad de la cobertura vegetal sin embargo, para el año 2004 el valor de NDVI oscila entre 0,86 a -0,25, esto se debe a la alta vigorosidad de la vegetación presentando un porcentaje alto de capacidad fotosintética en la parte oeste de la zona de estudio.

Figura 17*NDVI del 2007- 2011*

Para los siguientes periodos analizados, los valores del NDVI oscila entre 0,87 a -0,25 la cual para este año tenemos una vegetación densa, esto se debe a la presencia de lluvia, sin embargo, para el año 2007 la reflectancia de la cobertura vegetal disminuye la cual el NDVI para el año mencionado oscila entre 0,70 a -0,20. La razón principal de la disminución está relacionada con las practicas agropecuarias desarrolladas en el cantón, lo que supone cambios de uso de la tierra, de igual forma, la tala de bosques para el desarrollo de cultivos de ciclo corto, la cual a transforma sistemáticamente la tierra a condiciones de desertificación o áreas de pastizales. Según (Gil & Ledezma, 2020), menciona que la disminución de la cobertura vegetal tiene un fuerte impacto en el cambio climático no solo por la influencia directa en los procesos de evapotranspiración sino también por el importante rol de la vegetación en el secuestro y almacenamiento de carbono (p.16).

Figura 18

NDVI del 2016- 2020



Para los dos últimos periodos analizados, los valores del NDVI oscila entre 0,74 a -0,25 para el 2016 la cual para este año tenemos una vegetación densa, por el contrario, para el año 2020 el índice de vegetación oscila entre un valor de 0,89 a -0,56 en este periodo se puede identificar zonas con vegetación densa y la disminución de los suelos desnudos. Según (Balarezo & Guerrero, 2014) señala que esto se debe a que el cantón salcedo se ha convertido en una de las regiones de desarrollo agrícola, y de pastizales muy extensos, es así que más del 49,3% de la población del cantón Salcedo se dedica a estas actividades agrícolas (p.69).

Además según la investigación realizada por (Aguilar, 2015) menciona que, cuando existen valores más altos dentro del área intervenida es posible que en estas coberturas existan mezclas de pastizales y agricultura, que originan valores más altos en el NDVI. Los valores altos en las coberturas de pasto pueden deberse a la presencia de mayor contenido de humedad en su estructura que los árboles de los bosques, dando como consecuencia una mayor vigorosidad vegetal (p.4).

9.5. Análisis de la evaluación multicriterio

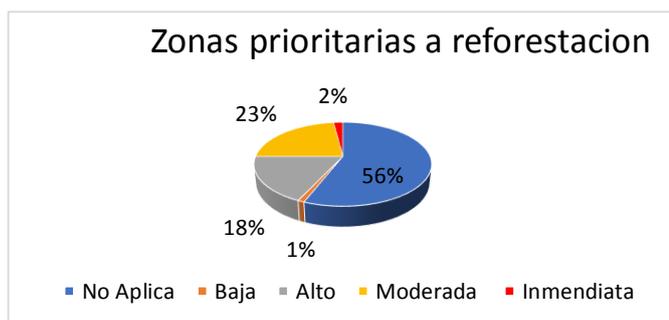
De acuerdo a las diferentes escalas de preferencia establecidas por Thomas Saaty, se establecieron diferentes diagnósticos para cada variable, posteriormente se procedió a la reclasificación y salida de las gráficas en formato ráster; cabe señalar que estas escalas se determinan de acuerdo grado de importancia.

A partir de la identificación de las variables visualizadas dentro del mapa temático se procedió a identificar las áreas prioritarias a reforestación dentro del cantón Salcedo, teniendo en cuenta los rangos de mayor ponderación de cada una de estas variables establecidas dentro del estudio. Este procedimiento se realizó a través de la superposición ponderada de capas en el programa ArcGIS específicamente con la herramienta; Spatial Analyst Tools – Overlay (weighted overlay) para la puesta en marcha el análisis de la evaluación multicriterio.

Como se puede apreciar en la figura 19, las áreas a reforestar inmediatamente cubren una extensión de 541,45 ha correspondiente al 2% del territorio, seguidamente en la clasificación moderada, encontramos una extensión de 11322,2 ha siendo este el 23%; en una categoría alta se encuentra 8832,38 ha el 18% del área de estudio, posteriormente tenemos de forma baja el 1% la cual corresponde a 513,06 ha a reforestar, por último tenemos las zonas que no aplican la cual consiste de 27291,12 ha correspondiente al 57% del área de estudio.

Figura 19

Zonas prioritarias a reforestación



La mayor zona a reforestación se encuentra en la parte oeste del cantón Salcedo específicamente dentro de la parroquia Cusubamba, estas áreas identificadas se procedió a la verificación la cual se pudo constatar con la salida de campo y la toma de fotografías cabe mencionar, que dentro de cada una de las áreas identificadas se necesita una intervención para el proceso de reforestación con plantas endémica la cual ayudara a mantener y a conservar los ecosistemas dentro de cada una de las parroquias con la finalidad de lograr una resiliencia ecosistémica. Cabe recalcar que el área a reforestación se las puede identificar dentro del mapa temático (Anexo 10)

9.6.Impactos (social, económico y ambiental)

Impacto Ambiental

Con respecto a los impactos que puede ocasionar la pérdida de la cobertura vegetal dentro del medio ambiente es la pérdida del hábitat afectando a la flora haciendo que las especies emigren hacia otros lugares de mismo modo la intervención del hombre con las prácticas agropecuarias implican la eliminación indiscriminada de bosques nativos la cual agrava los procesos erosivos del suelo, cabe recalcar que el cambio de la cobertura vegetal asociado a la expansión de la agricultura, la urbanización y la contaminación tiene una profunda influencia en el proceso hidrológico ya que la cantidad de agua almacenada en el suelo es un factor muy importante.

Impacto social y económico

En términos de impacto social, uno de los problemas más preocupantes de la pérdida de vegetación es el proceso de degradación del suelo. Los diferentes grados de degradación del suelo y su impacto en la sociedad pueden ser la disminución de su capacidad para producir productos económicos, lo que también está directamente relacionado con el bienestar humano, lo que da como resultado una baja productividad agrícola y la contaminación del agua y la calidad del aire.

Por otra parte, la demanda de los productos agrícolas aumenta día a día, con el crecimiento de la población para satisfacer esta demanda los agricultores recurren a la explotación de tierras fértiles dejando abandonado a tierras improductivas.

10. PRESUUESTO

Tabla 18

Presupuesto para la elaboración del proyecto

Detalle	UNIDAD	Valor unitario	Total
<input type="checkbox"/> Salidas de Campo	8	6,00	48,00
<input type="checkbox"/> Alimentación	8	5,00	40,00
<input type="checkbox"/> Capacitaciones	2	50,00	100,00
MATERIALES TECNOLÓGICOS			
<input type="checkbox"/> Flash memory	1	12,00	12,00
<input type="checkbox"/> Programa ArcGIS	1	100,00	100,00
<input type="checkbox"/> Uso de internet	450 horas	0,40	180,00
<input type="checkbox"/> Alquiler de GPS	1	70,00	70,00
MATERIALES DE OFICINA			
<input type="checkbox"/> Impresiones	720	0,10	72,00
<input type="checkbox"/> Anillados	3	10,00	30,00
<input type="checkbox"/> Empastado	2	50,00	100,00
PROGRAMAS DE SOFTWARE			
<input type="checkbox"/> Asesoría de Qgis	1	50,00	50,00
<input type="checkbox"/> Asesoría en Teledetección	2	70,00	70,00
SUB TOTAL			872
IMPREVISTOS 10%			87,2
TOTAL			959,2

11. CONCLUSIONES

- Mediante el muestreo de las coordenadas geográficas realizadas en campo, se pudo identificar los tipos de coberturas vegetales existentes dentro del área de estudio como son: bosques, suelos desnudos, paramo, mosaico agropecuario, áreas urbanas, ríos o lagos, arbustos y matorrales las cuales ayudaron al entrenamiento del software QGIS para la verificación de dichas coberturas, sin embargo, la única limitación son los factores ambientales como las nubes.
- Mediante el empleo de los sistemas de información geográficos y el análisis de la combinación de banda landsat 7 MT+ (742), landsat 8 OLI (564) y sentinel 2 (11-8-4) de las imágenes satelitales permite determinar el cambio de la cobertura vegetal del cantón Salcedo por medio de la resolución espectral, del mismo modo la aplicación de la metodología supervisada genera un alto grado de exactitud para la identificación de los tipos de coberturas vegetales.
- La dinámica multitemporal del cambio se caracterizó directamente a la cobertura vegetal mediante las imágenes satelitales realizado con las técnicas de la teledetección que ha permitido determinar e identificar el tipo de cobertura vegetal que ha sufrido alteraciones ya sea por el calentamiento global, crecimiento poblacional o al aumento de la frontera agrícola dando como resultado que en los tres últimos años de análisis tenemos que el bosque ha reducido el 6.33% menos que el año 2011, mientras que el páramo debido al crecimiento población del 9,5% y al aumento de la frontera agrícola del 39,4% en el año 2020, el páramo y la cobertura vegetal ha ido decreciendo consideradamente presentando para el año 2020 un decrecimiento del 1,09% menos (9007,28 ha).
- Mediante el uso de imágenes satelitales se analizó el cambio de cobertura en el área de estudio, donde se puede identificar las variaciones de las clases de coberturas vegetales dentro del cantón Salcedo, que a simple vista se puede visualizar dentro de los mapas temáticos(figura1,2,3), las zonas donde ocurrió un mayor cambio fue en los dos últimos periodos 2016-2020 es decir en la parte sur oeste del cantón específicamente en la parroquia de Cusubamba, debido al aumento del mosaico agropecuario se vio reducido gran parte del páramo, bosques, arbustos y matorrales. Por otro lado, existen zonas dentro de la investigación que son de gran importancia a reforestar con especies endémicas de manera inmediata para así conservar la sostenibilidad hídrica y ecosistémica de la zona.

12. RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar imágenes satelitales que tengan un porcentaje máximo de nubosidad del 12 y 15%, con el propósito de lograr una mejor clasificación de las coberturas vegetales dentro del área de estudio. Por el contrario, si supera el porcentaje establecido, la clasificación supervisada tendrá varios errores al momento de identificar dicha cobertura ya que las nubes representan un gran problema.
- El análisis multitemporal es un método recomendado para la elaboración de mapas de zonificación de las áreas susceptibles al cambio de cobertura, ya que posibilita un óptimo manejo de la cartografía, del mismo modo se obtiene resultados satisfactorios. Cabe recalcar que se debe comprobar la información con levantamientos de campo en las zonas prioritarias a manera de corroboración de los resultados.
- Se sugiere un constante monitoreo del avance de la zona agraria y uso de suelo dentro del cantón Salcedo, para cuantificar las ganancias y/o pérdidas de las coberturas vegetales, esto ayudará a establecer líneas base para la toma de decisiones de las entidades competentes. A demás ayuda a actualizar el Plan de Ordenamiento Territorial de manera periódica, y así corroborar la reducción o aumento de la frontera agraria de la zona de estudio.

13. BIBLIOGRAFÍA

- 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>
- Aguilar, C. G. (2015). Aplicación de índices de vegetación derivados de imágenes satelitales para análisis de coberturas vegetales en la provincia de Loja, Ecuador. *CEDAMAZ*, 5(1), Article 1. <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/cedamaz/article/view/43>
- Alexander Ariza. (2013). *LDCM-L8.R1.pdf*. <https://www.un-spider.org/sites/default/files/LDCM-L8.R1.pdf>
- Arenas & Castro, S., Fernandez Haeger, J., & Jordano Barbudo, D. (2011). Aplicación de técnicas de teledetección y SIG sobre imágenes Quickbird para identificar y mapear individuos de peral silvestre (*Pyrus bourgeana*) en bosque esclerófilo mediterráneo. *Revista de Teledetección*, 35, 55-71.
- Arroyo, R. (2016, octubre 28). GESTIÓN DEL TERRITORIO MEDIANTE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN. *EL BLOG DEL AUTODIDACTA EN GEOMÁTICA*. <http://autodidactaengeomatica.blogspot.com/2016/10/>
- Balarezo, E. M. M., & Guerrero, G. (2014). *Dinámicas socioeconómicas del cantón Salcedo – provincia de Cotopaxi período: 2007-2012*. 119.
- Barrios, M. E. R. (2012). *ESTUDIO MULTITEMPORAL PARA LA DETERMINACIÓN DE CAMBIOS EN EL USO DEL SUELO EN EL COMPLEJO DE PÁRAMOS TOTA - BIJAGUAL - MAMAPACHA PARA EL PERIODO 1992 – 2012*. 20.
- Barsi, J. A., Markham, B. L., Helder, D. L., & Chander, G. (2007). *Radiometric calibration status of Landsat-7 and Landsat-5*. 6744. <https://doi.org/10.1117/12.738221>
- Caguango, A. (2019, abril 1). Características de los satélites Sentinel. *MasterGIS*. <https://www.mastergis.com/caracteristicas-sentinel/>
- Calderón, L. N. H., & Carvajal, J. A. S. (2019). *ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE COBERTURA VEGETAL Y SU INFLUENCIA EN LA GENERACIÓN DE CAUDALES PICO DE LA CUENCA SARDINATA, DEL DEPARTAMENTO DE NORTE DE SANTANDER – COLOMBIA*. 124.

- Camacho, M. (2014). Los páramos ecuatorianos: Caracterización y consideraciones para su conservación y aprovechamiento sostenible. *Revista Anales*, 1(372), 77-92. <https://doi.org/10.29166/anales.v1i372.1241>
- Cargua, F., Rodríguez, M., Romero, B., & Santillan, P. (2018). Evaluación del estado de conservación del bosque de ceja andina sur occidental del Parque Nacional Sangay (Ecuador), para una mejor gestión del recurso forestal. *Revista ESPACIOS*, 39(45). <https://www.revistaespacios.com/a18v39n45/18394529.html>
- Castaño, S., Reyes, J., & Vela, A. (2003). *Teledetección Ambiental*.
- Chuvieco, E. (2002). *Teledetección Ambiental*.
- Código Orgánico Integral Penal. (2014). *Código Orgánico Integral Penal del Ecuador*.
- Constitución de la República-del Ecuador. (2018).
- Encalada, A. C. (2005). *Evaluación Ecológica de Paisaje de la Provincia de Cotopaxi*. 63.
- Évora Brondo, J. A. (2012). *Teledetección para la gestión del territorio*.
- Felipe, A. R. D. (2016). *TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES*. 130.
- Galindo, M. M., & Molina, E. H. (2017). *ZONIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD A LA DEFORESTACIÓN DEL BOSQUE SECO TROPICAL MEDIANTE ANÁLISIS MULTICRITERIO, EN LOS MUNICIPIOS DE SAN JUAN NEPOMUCENO, MARIA LA BAJA Y SAN JACINTO (BOLÍVAR, COLOMBIA)*. 50.
- García, H. (2013). *Valoración de los bienes y servicios ambientales provistos por el Páramo de Santurbán*. <https://www.repository.fedesarrollo.org.co/handle/11445/332>
- García-Cervigón, D., & José, J. (2015). *Estudio de Índices de vegetación a partir de imágenes aéreas tomadas desde UAS/RPAS y aplicaciones de estos a la agricultura de precisión*. 78.
- Germánico, E. J. C. (2010). *PLAN DE DESARROLLO TURÍSTICO DEL CANTÓN SALCEDO, PROVINCIA DE COTOPAXI*. 194.
- Gil, H. A. P., & Ledezma, E. Z. (2020). Variaciones de la cobertura vegetal empleando el índice normalizado de diferencia de vegetación para monitorear ODS en Manabí—Ecuador. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia*, 2, 12-18.
- Granados, E. L., & Acosta, A. (2010). *Cambio de cobertura vegetal y uso de la tierra. El caso de la cuenca endorreica del lago de Cuitzeo, Michoacán*. 16.
- Herrera, J. Y. C. (2015). *PRESENTADO POR EL BACHILLER*: 113.
- Hidalgo, I. M. A. (2016). *Ing. Verónica Alexandra Ramos Cobos*. 84.

- Hofstede, R. (2014). *Los beneficios escondidos del páramo: Servicios ecológicos e impacto humano*. 4.
- Hofstede, R., Calles, J., López, V., Polanco, R., & Torres, F. (2014). *Los Páramos Andino*. <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2014-025.pdf>
- Izaskun, F., Amelibia, I., & Arroyo, Á. (2017). *El Programa Copernicus al alcance del usuario de las IDE Noviembre 2017*. 14.
- Jiménez, L. (2019). “ESTIMACIÓN DEL CARBONO DERIVADO DE LA MATERIA ORGÁNICA EN EL PÁRAMO DE LA COMUNIDAD CUMBIJÍN, DEL CANTÓN SALCEDO, PROVINCIA DE COTOPAXI, PERIODO ABRIL - AGOSTO 2019”. <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/5265/6/PC-000715.pdf>
- Jordi Vivancos, A. L. (2005). *Sensores de Teledetección* [Text]. CNICE. <http://200.116.181.65/principal/tierra/unidad3/sensores.htm>
- Mauro Jiménez. (2011, mayo 2). *Análisis de imágenes de satélite Con ArcGis 1*. Agua y SIG. <https://aguaysig.com/analisis-de-imagenes-de-satelite-con-arcgis-1/>
- Medina López, M. B. (2015). *ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE LA COBERTURA VEGETAL Y USO DE LA TIERRA EN EL CANTÓN GUALAQUIZA, 1987 – 2015*. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/7166/1/T-UCE-0004-33.pdf>
- Mendoza Vargas, H., & Lois, C. (Eds.). (2009). *Historias de la cartografía de Iberoamérica: Nuevos caminos, viejos problemas*. Instituto de Geografía, UNAM; INEGI.
- Mollo Alata, A. (2018). *ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA EXPLOTACIÓN MINERA CON APLICACIÓN DE PERCEPCIÓN REMOTA Y SIG EN LOS DISTRITOS DE ANANEA Y CUYOCUYO-PUNO, ENTRE 1975-2017*. 106.
- Muñoz, N., & Angel, L. (2006). *Teledeteccion: Nociones y Aplicaciones*. Carlos Pérez.
- Muñoz, P. (2013). *Apuntes de Teledetección: Índices de vegetación*.
- 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*. 27.
- Olaya, V. (2010). *Sistemas de Información Geográfica*. 911.
- Ortega, M. P. (2011). *APLICACIONES DE LA TELEDETECCIÓN Y SIG EN LA CARACTERIZACIÓN DE HUMEDALES EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA DE LA MANCHA HÚMEDA*. 113.
- Osorio, J. C., & Orejuela, J. P. (2008). *El proceso de análisis jerárquico (AHP) y la toma de decisiones multicriterio. Ejemplo de aplicación*. <https://www.redalyc.org/pdf/849/84920503044.pdf>

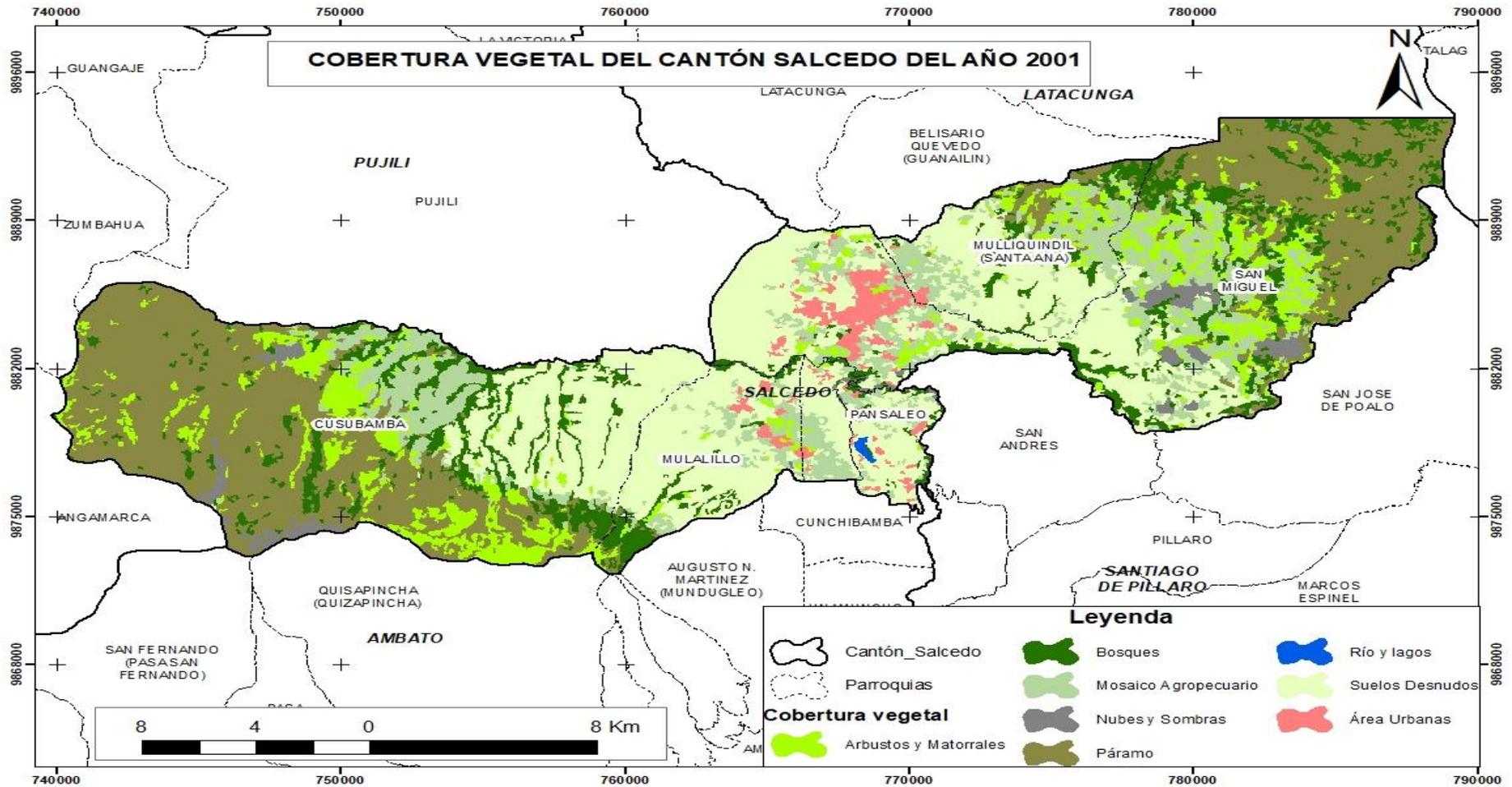
- Osorno. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial, Diagnostico por Componentes Biofísico*. http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/0560000620001_DIAGNOSTICO%20POR%20COMPONENTES_15-04-2016_15-56-19.pdf
- Ovando, M. L. G., & Escalante, F. O. P. (2014). *Priority areas for ecological restoration and reference sites in Chignahuapan- Zacatlan region*. 13.
- PDOT. (2015). *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Cotopaxi 2025*. 241.
- PINOS ARÉVALO, N. J. (2015a). *PROSPECTIVA DEL USO DEL SUELO Y COBERTURA VEGETAL EN EL ORDENAMIENTO TERRITORIAL*. Universidad de Cuenca.
- PINOS ARÉVALO, N. J. (2015b). *Prospectiva del uso del suelo y cobertura vegetal en el ordenamiento territorial Caso cantón Cuenca*.
- Portilla, J. P. A., & Resl, R. (2013). *Estudio de variación de la cobertura vegetal y estado actual del Cerro Imbabura aplicando herramientas GIS con fines de declaración de área protegida*. 140.
- Puerta Tuesta, R. (2013). *Manual de ArcGIS 10 Intermedio*. 117.
- Ramos, J. (2017). *DETECCIÓN DE CAMBIOS EN IMÁGENES MULTIESPECTRALES PARA EL SATELITE LANDSAT 7 DE LA NASA*. <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/16016/RAMOSGALVISJEISSONFABIAN2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Reglamento Código Orgánico Ambiente. (2019). *REGLAMENTO CODIGO ORGÁNICO AMBIENTAL*.
- Resl, R., & Cabrera, P. (2012). *Diego Fernando Pérez Vasco*. 152.
- Roberto. (2019, noviembre 10). Corrección atmosférica de Landsat en QGIS. *Gis&Beers*. <http://www.gisandbeers.com/correccion-atmosferica-de-landsat-en-qgis/>
- Romero, F. S. (2007). *LA TELEDETECCIÓN SATELITAL Y LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN AMBIENTAL*. 13.
- Rosas, E., Callego, F., & López, N. (2015). *Atlas de cobertura del suelo de Uruguay cobertura del suelo y detección de cambios 2000-2011* [Map]. Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura.
- Sacristán Romero, F. (2005a). La Teledetección satelital y los sistemas de protección ambiental. *Civilizar*, 5(9), 1. <https://doi.org/10.22518/16578953.701>

- Sánchez Jara, P. (2012). *UNIVERSIDAD DE CUENCA RESUMEN - PDF Free Download*.
<https://docplayer.es/3391678-Universidad-de-cuenca-resumen.html>
- Universidad de Cuenca, & Pinos-Arévalo, N. (2016). Prospective land use and vegetation cover on land management—Case canton Cuenca. *Estoa*, 5(9), 7-19.
<https://doi.org/10.18537/est.v005.n009.02>
- Vílchez, L. O., & Enseñanza, C. A. T. de I. y. (2002). *Inventarios forestales para bosques latifoliados en América Central*. CATIE.
- Yolanda León. (2002). *[PDF] Introducción a las Imágenes Satelitales—Free Download PDF*.
https://nanopdf.com/download/introduccion-a-las-imagenes-satelitales_pdf

14. ANEXOS

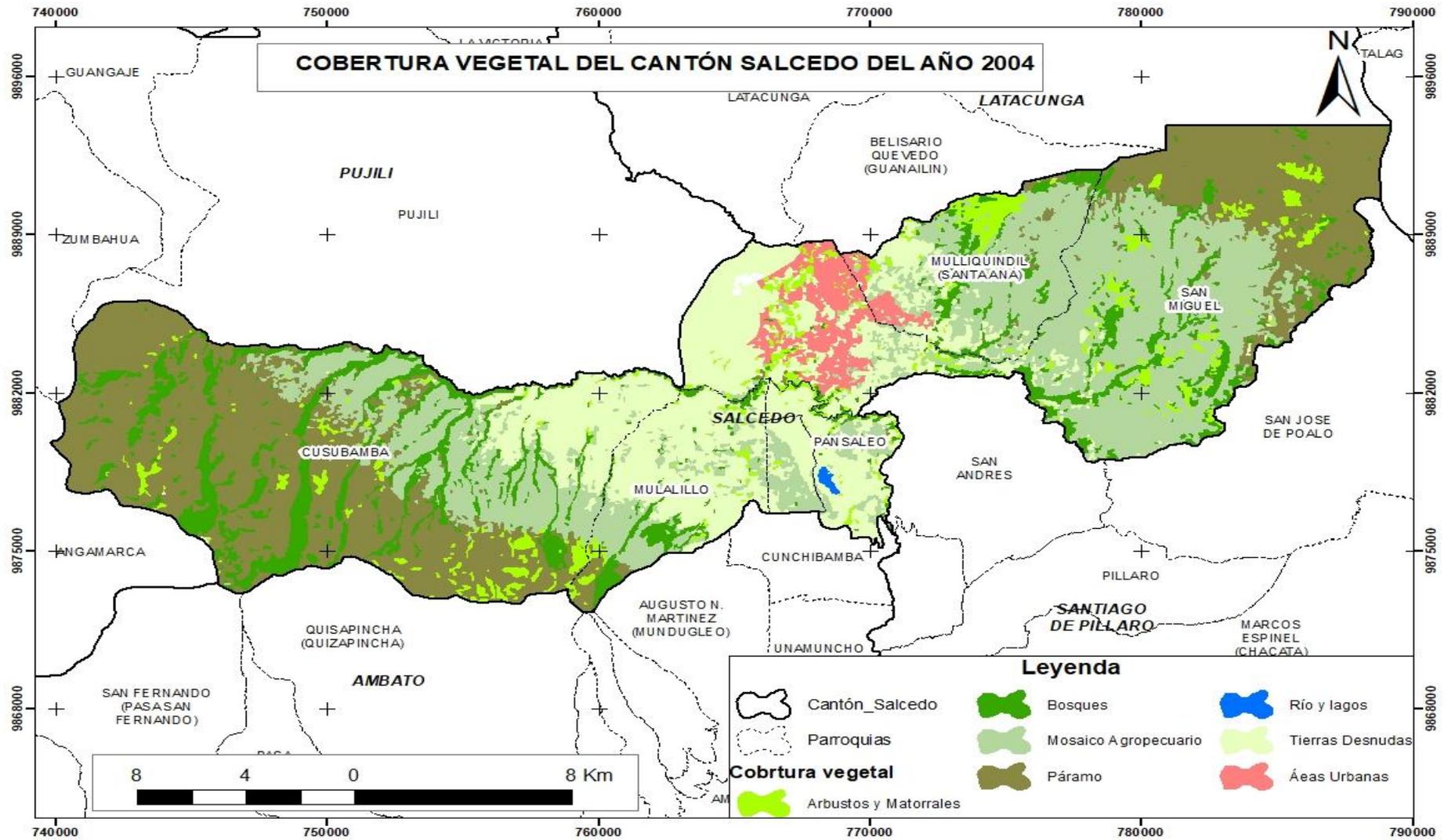
Anexo 1

Mapa de cobertura vegetal del cantón Salcedo del año 2001



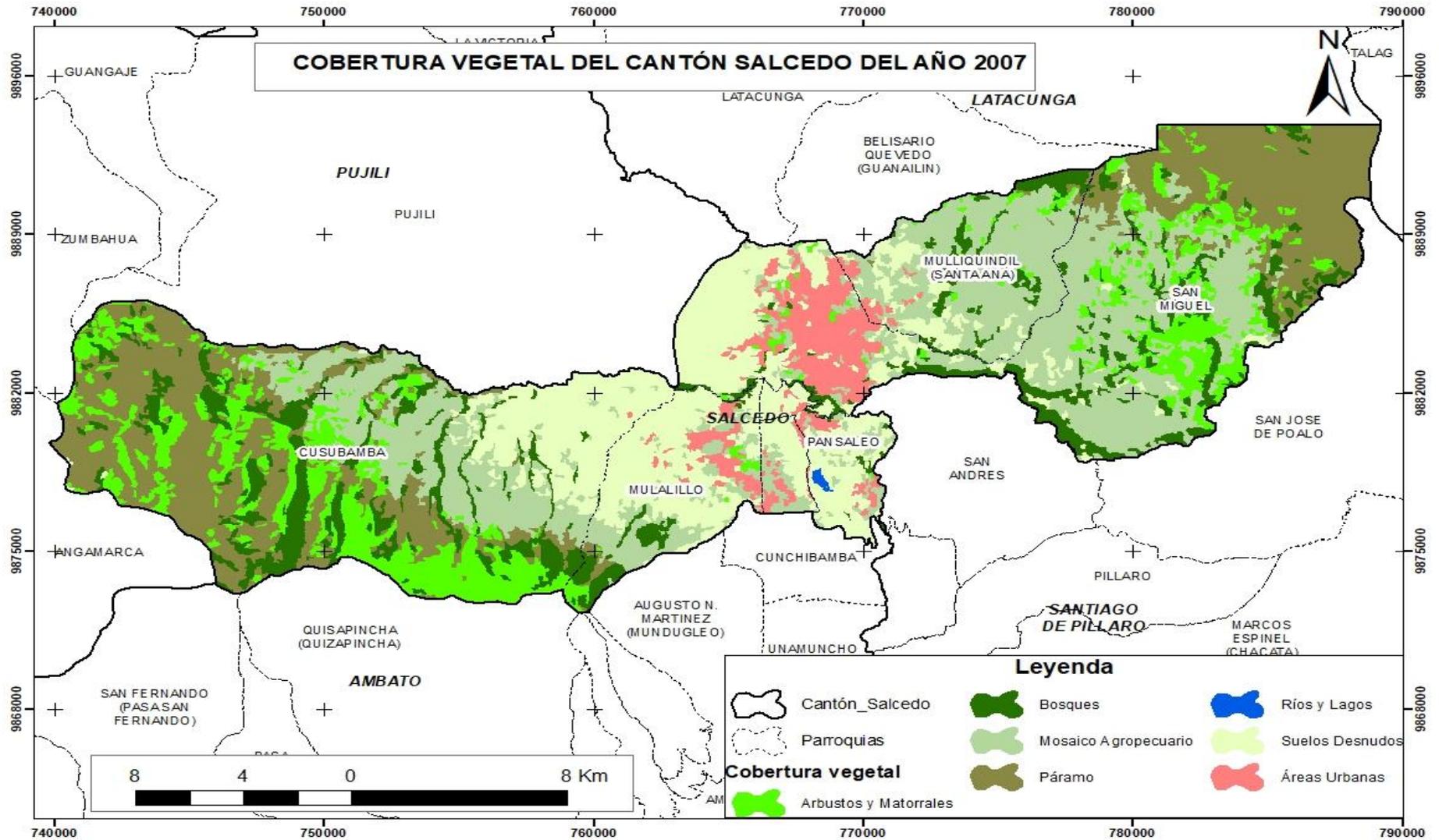
Anexo 2

Mapa de cobertura vegetal del cantón Salcedo del año 2004



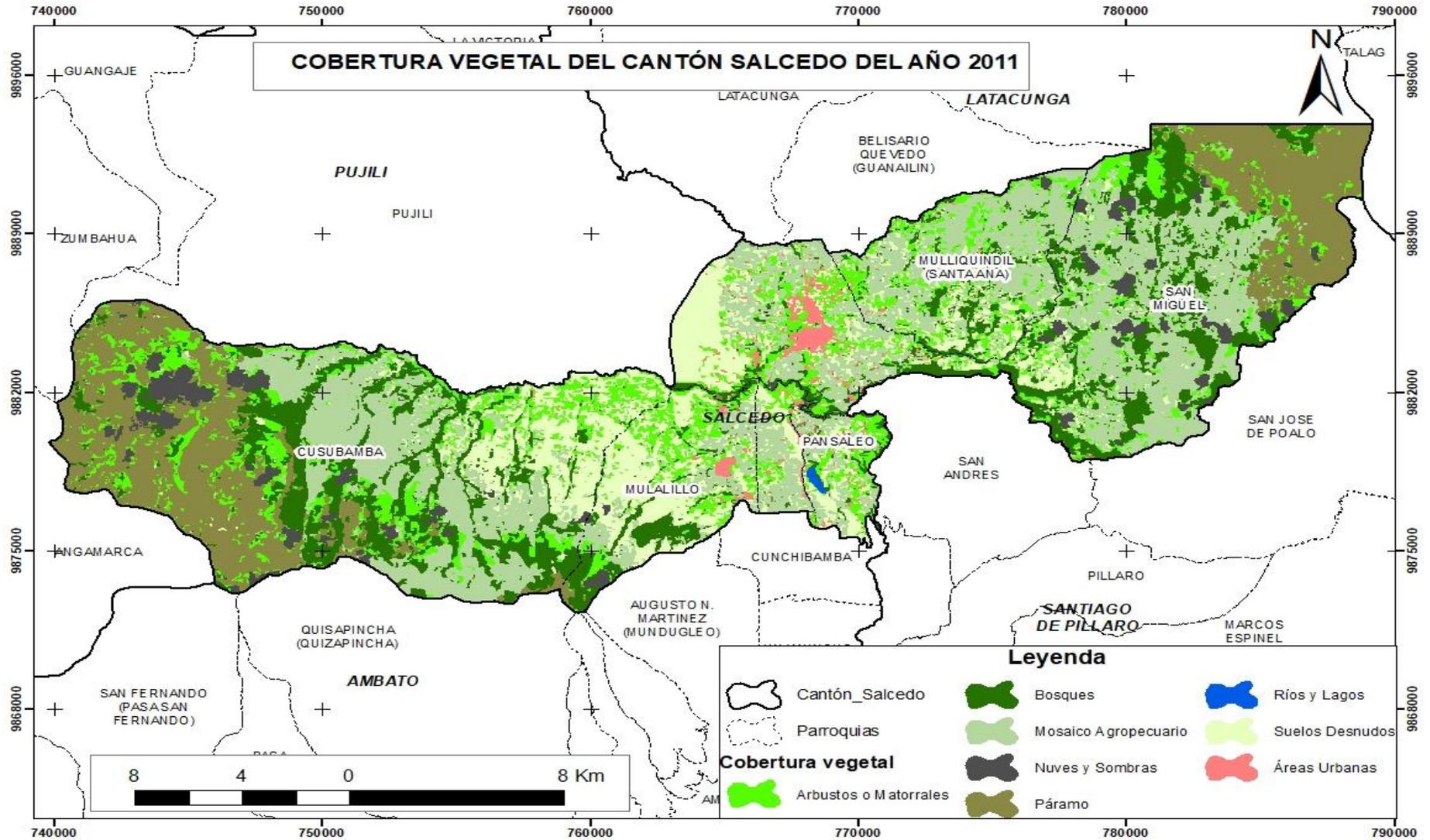
Anexo 3

Mapa de cobertura vegetal del cantón Salcedo del año 2007



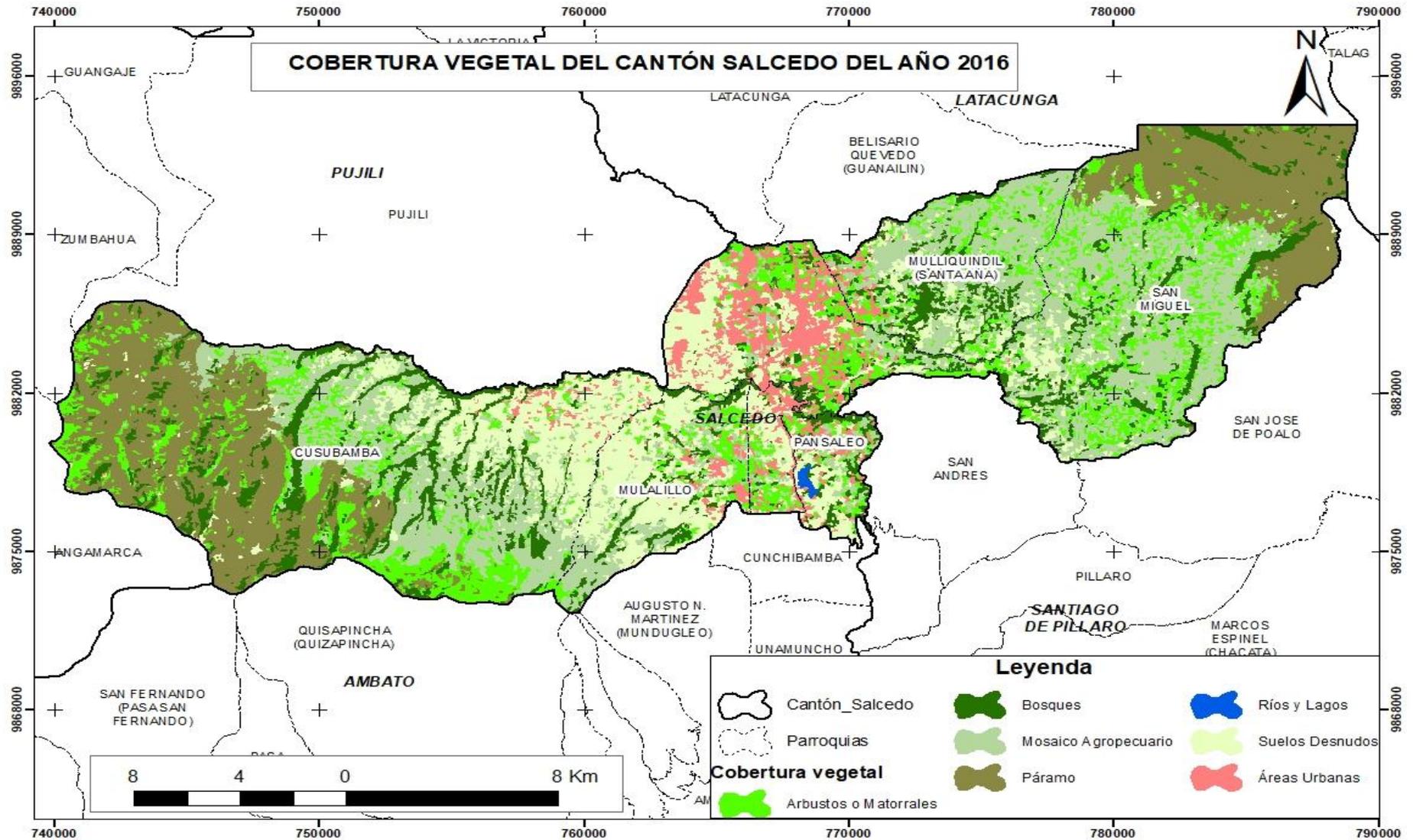
Anexo 4

Mapa de cobertura vegetal del cantón Salcedo del año 2011



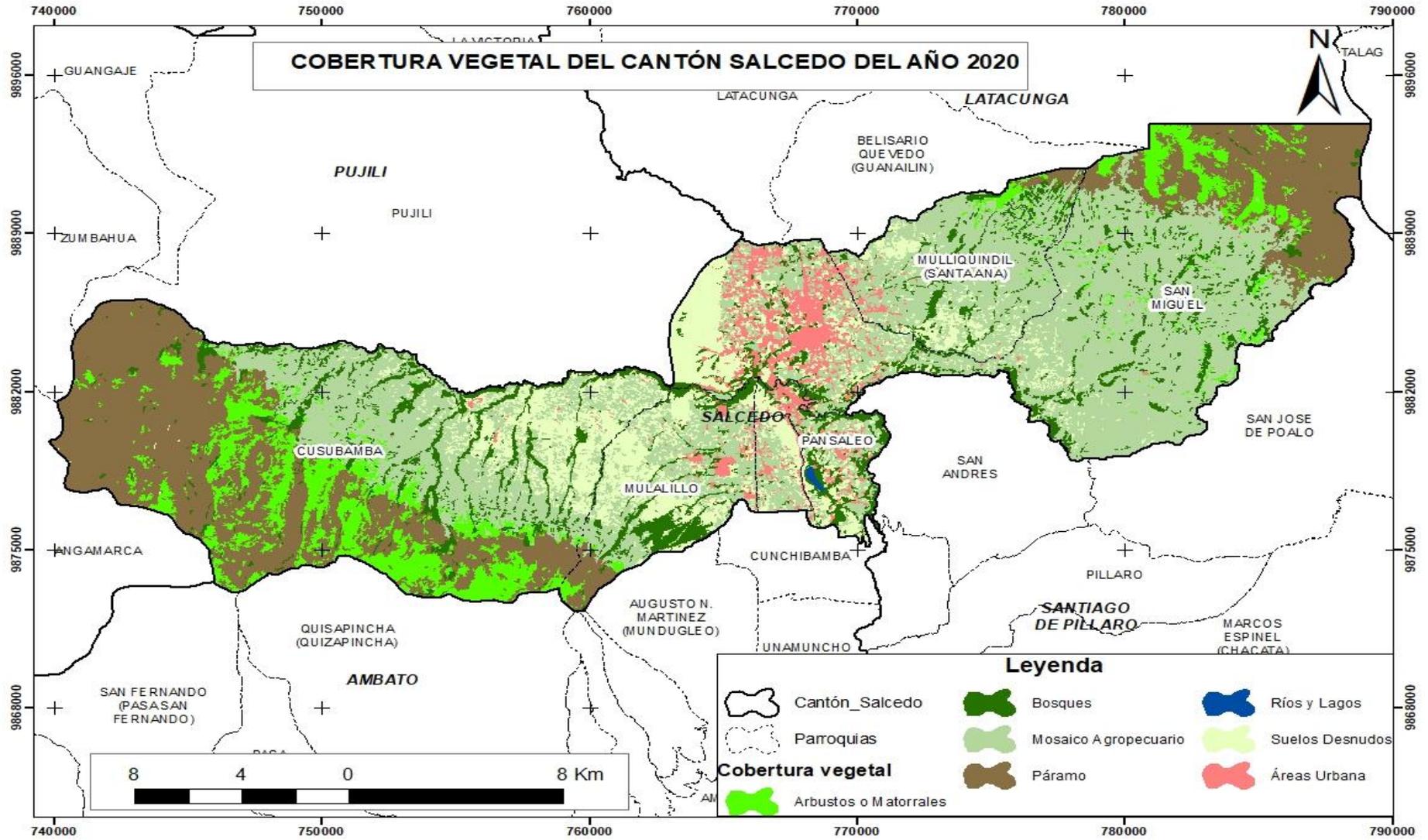
Anexo 5

Mapa de cobertura vegetal del cantón Salcedo del año 2016



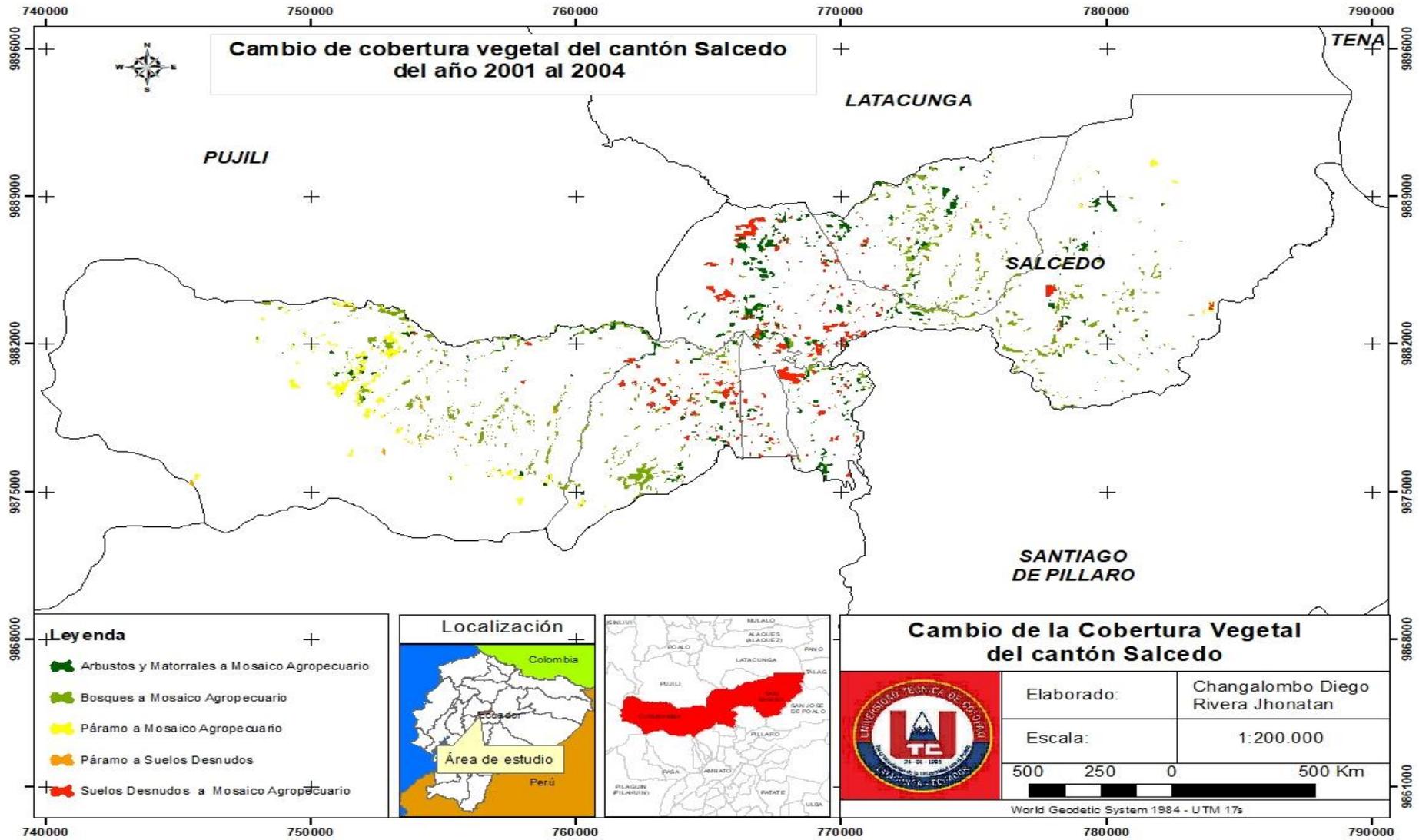
Anexo 6

Mapa de cobertura vegetal del cantón Salcedo del año 2020



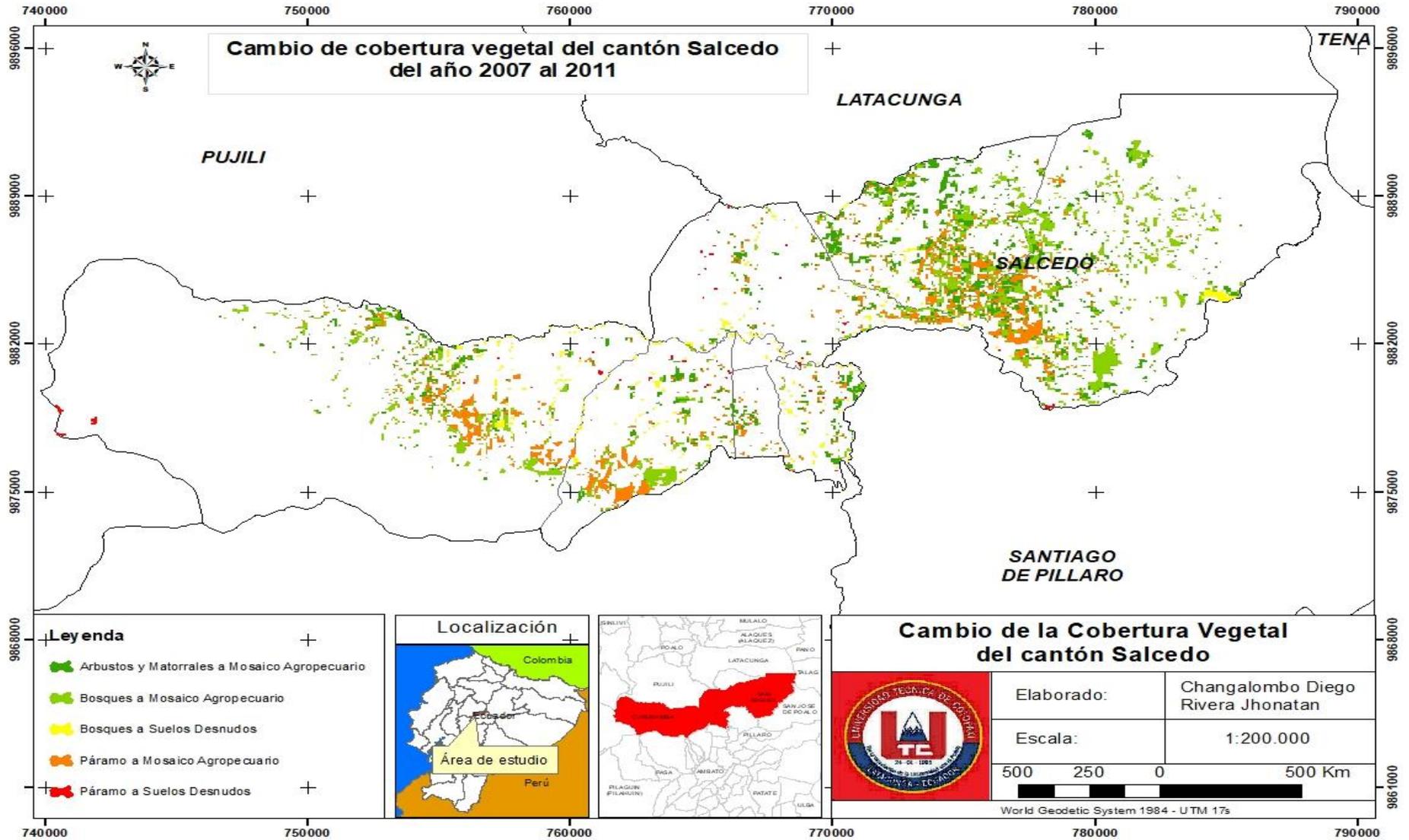
Anexo 7

Mapa del cambio de la cobertura vegetal del año 2001 al 2004



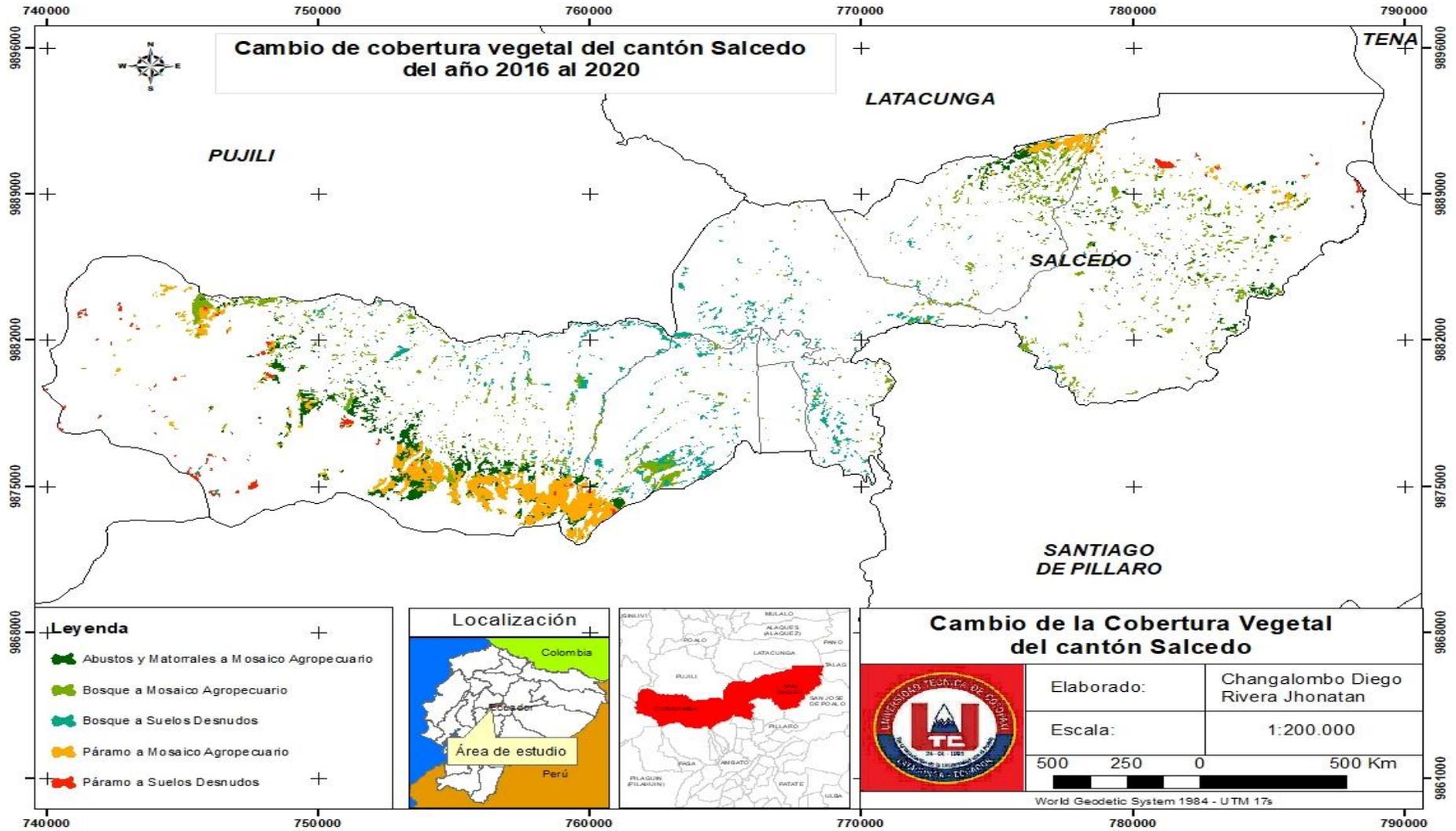
Anexo 8

Mapa del cambio de la cobertura vegetal del año 2007 al 2011



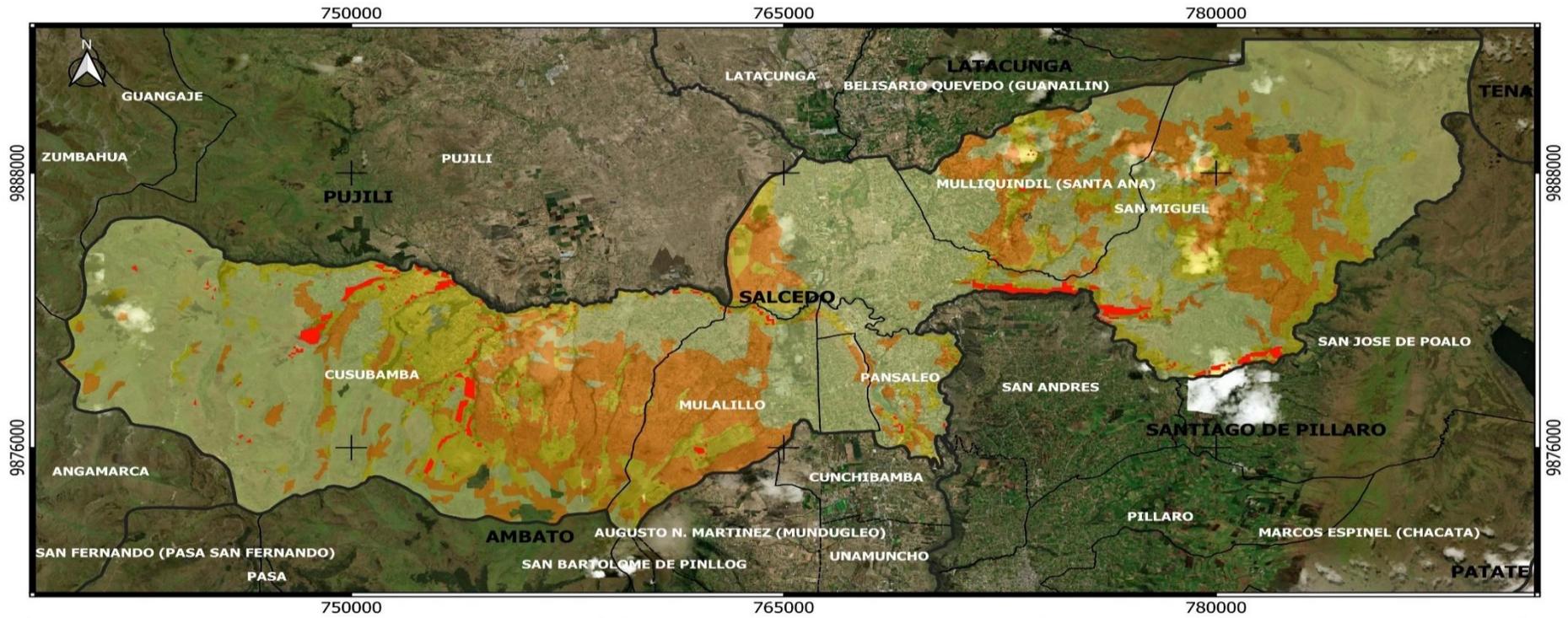
Anexo 9

Mapa del cambio de la cobertura vegetal del año 2016 al 2020



Anexo 10

Mapa de zonas prioritarias a reforestar del cantón Salcedo



Leyenda

	Cantón Salcedo	Priorización de áreas a reforestar
	Parroquias	
	No Aplica	
	Baja	
	Moderada	
	Alta	
	Inmediata	

Áreas Priorizadas a reforestación	Ha	%
No Aplica	27291,12	56
Baja	513,06	1
Moderada	11322,27	23
Alta	8832,38	18
Inmediata	541,45	2

0 5 10 km

Priorización de área a reforestar

	Elaborado por:	Changalombo Diego Rivera Jhonatan
	Escala:	1:200.000
World Geodetic System 1984- UTM Zona17 s		



Rivera, J. and Changalombo, D., 2021. *Misceláneo de hortalizas.*



Rivera, J. and Changalombo, D., 2021. *Cultivo de papa y trigo.*



Rivera, J. and Changalombo, D., 2021. *Bosque primario.*



Rivera, J. and Changalombo, D., 2021. *Vegetación herbácea seca.*



Rivera, J. and Changalombo, D., 2021. *Avance de la Frontera agrícola.*



Rivera, J. and Changalombo, D., 2021. *Perdida del bosque primario.*



Rivera, J. and Changalombo, D., 2021. Cultivos de pastizales



Rivera, J. and Changalombo, D., 2021. Cultivo de Pino



Rivera, J. and Changalombo, D., 2021. Mosaico de cultivos



Rivera, J. and Changalombo, D., 2021. Zona agrícola y pastizales



Rivera, J. and Changalombo, D., 2021. Zona agrícola y pastizales



Rivera, J. and Changalombo, D., 2021. Zona agrícola y arbustos