



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

INGENIERÍA EN MEDIO AMBIENTE

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Título:

**“EVALUACIÓN MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE LA COBERTURA
VEGETAL EN EL PARQUE NACIONAL COTOPAXI MEDIANTE IMÁGENES
SATELITALES DESDE EL AÑO 2008 AL 2020”**

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

Autores:

Herrera Carrera Luis Washington
Herrera Gallo Nancy Piedad

Tutor:

Rivera Moreno Marco Antonio

LATACUNGA – ECUADOR

Agosto 2022

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Luis Washington Herrera Carrera, con cédula de ciudadanía No. 0503500357 y Nancy Piedad Herrera Gallo, con cédula de ciudadanía No. 0503965204, declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: “Evaluación multitemporal del cambio de la cobertura vegetal en el Parque Nacional Cotopaxi mediante imágenes satelitales desde el año 2008 al 2020”, siendo el Ingeniero Mg. Marco Antonio Rivera Moreno, 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, 26 de agosto del 2022



Luis Washington Herrera Carrera
Estudiante
CC: 0503500357



Nancy Piedad Herrera Gallo
Estudiante
CC: 0503966204



Ing. Marco Antonio Rivera Moreno, M.Sc.
Docente Tutor
CC: 0501518955

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 **LUIS WASHINGTON HERRERA CARRERA**, identificado con cédula de ciudadanía **0503500357** 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 multitemporal del cambio de la cobertura vegetal en el Parque Nacional Cotopaxi mediante imágenes satelitales desde el año 2008 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 2017 – Marzo 2018

Finalización de la carrera: Octubre 2021 – Marzo 2022

Aprobación en Consejo Directivo: 3 de junio del 2022

Tutor: Ingeniero Mg. Marco Antonio Rivera Moreno

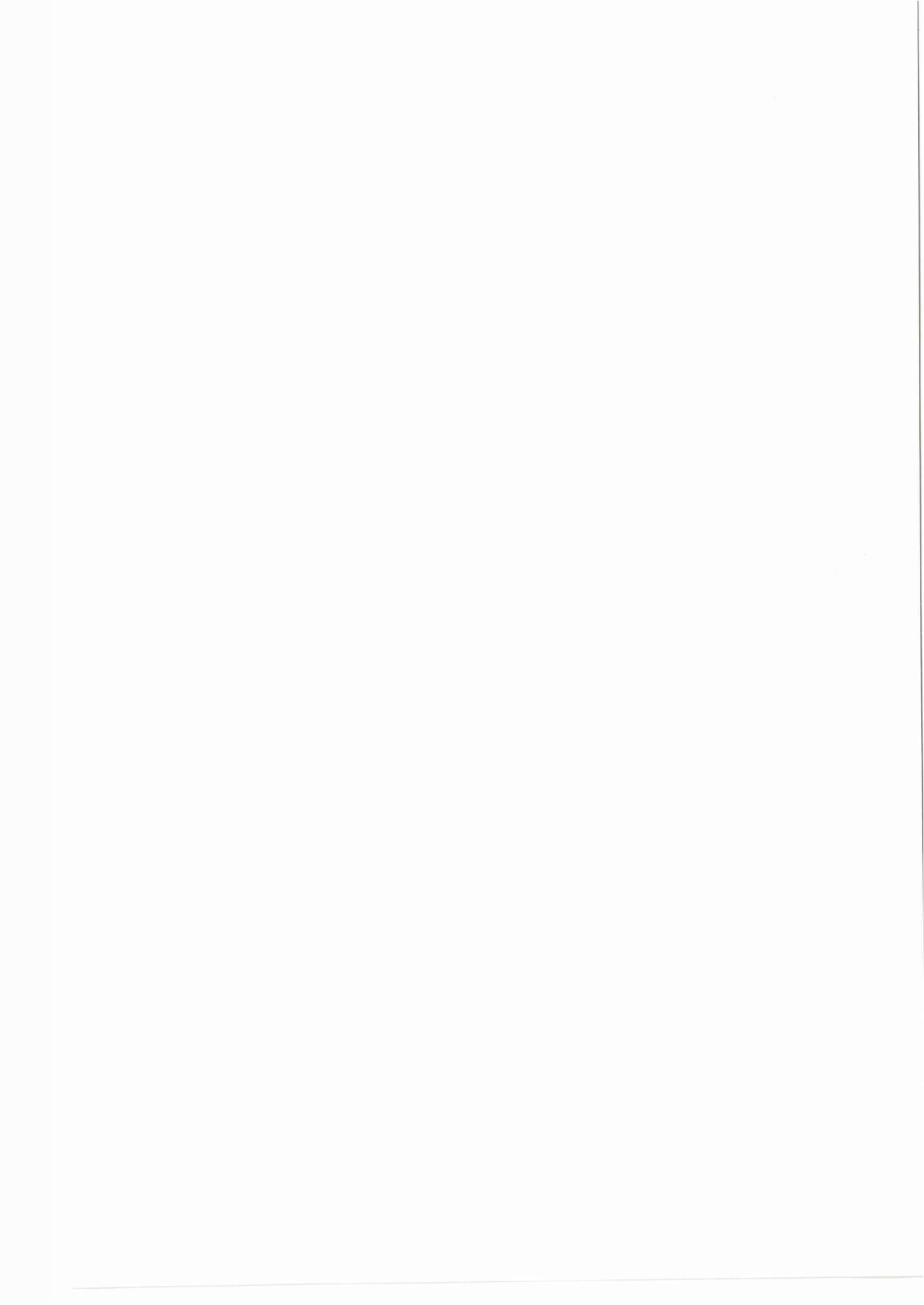
Tema: “Evaluación multitemporal del cambio de la cobertura vegetal en el Parque Nacional Cotopaxi mediante imágenes satelitales desde el año 2008 al 2020”

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.

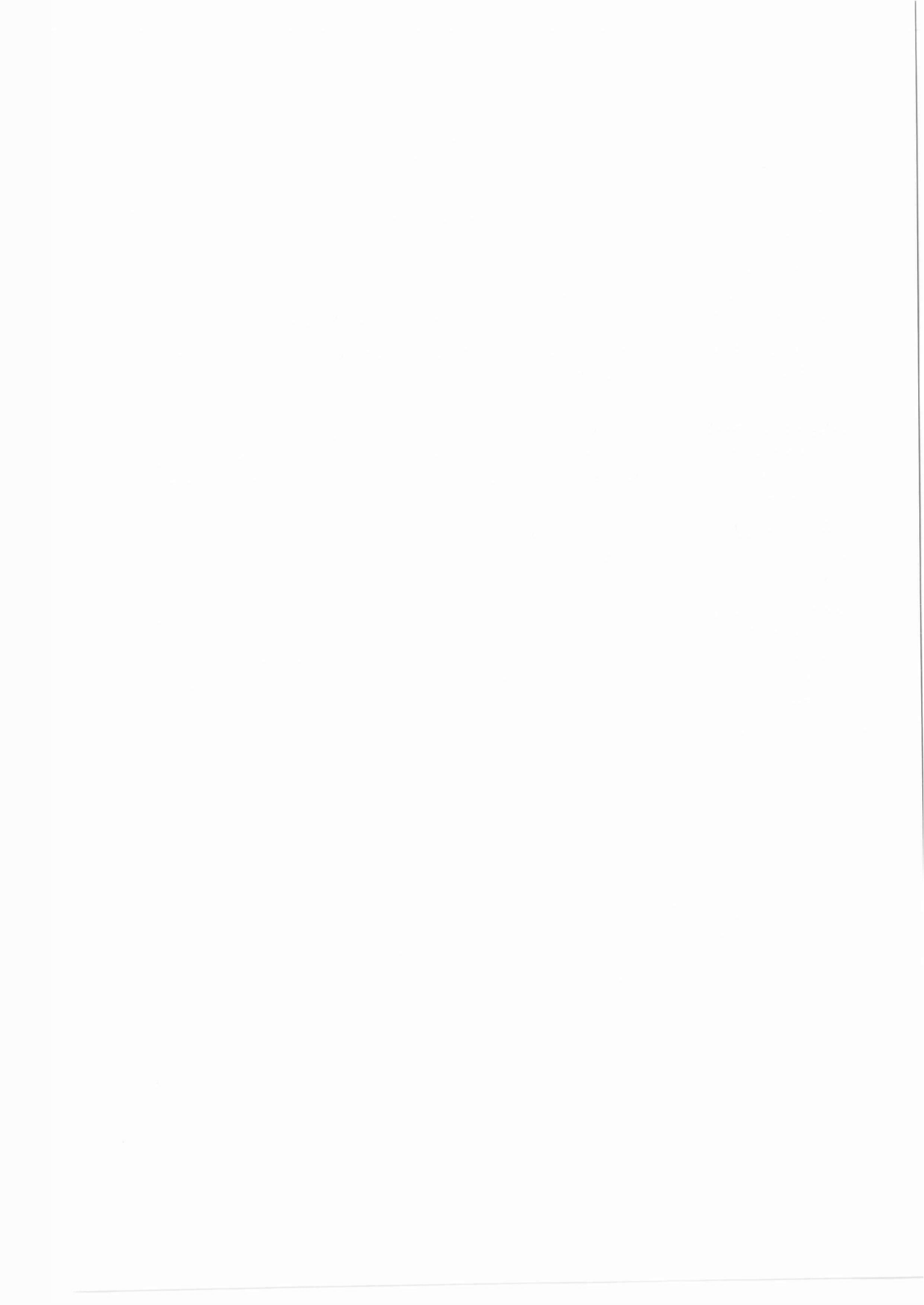
CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento 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 26 días del mes de agosto del 2022.



Luis Washington Herrera Carrera
EL CEDENTE

Ing. Cristian Tinajero Jiménez, Ph.D.
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 **HERRERA GALLO NANCY PIEDAD**, identificada con cédula de ciudadanía de estado civil soltera, a quien en lo sucesivo se denominará **LA 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. - **LA 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 multitemporal del cambio de la cobertura vegetal en el Parque Nacional Cotopaxi mediante imágenes satelitales desde el año 2008 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 2017 – Marzo 2018

Finalización de la carrera: Octubre 2021 – Marzo 2022

Aprobación en Consejo Directivo: 3 de junio del 2022

Tutor: Ingeniero Mg. Marco Antonio Rivera Moreno

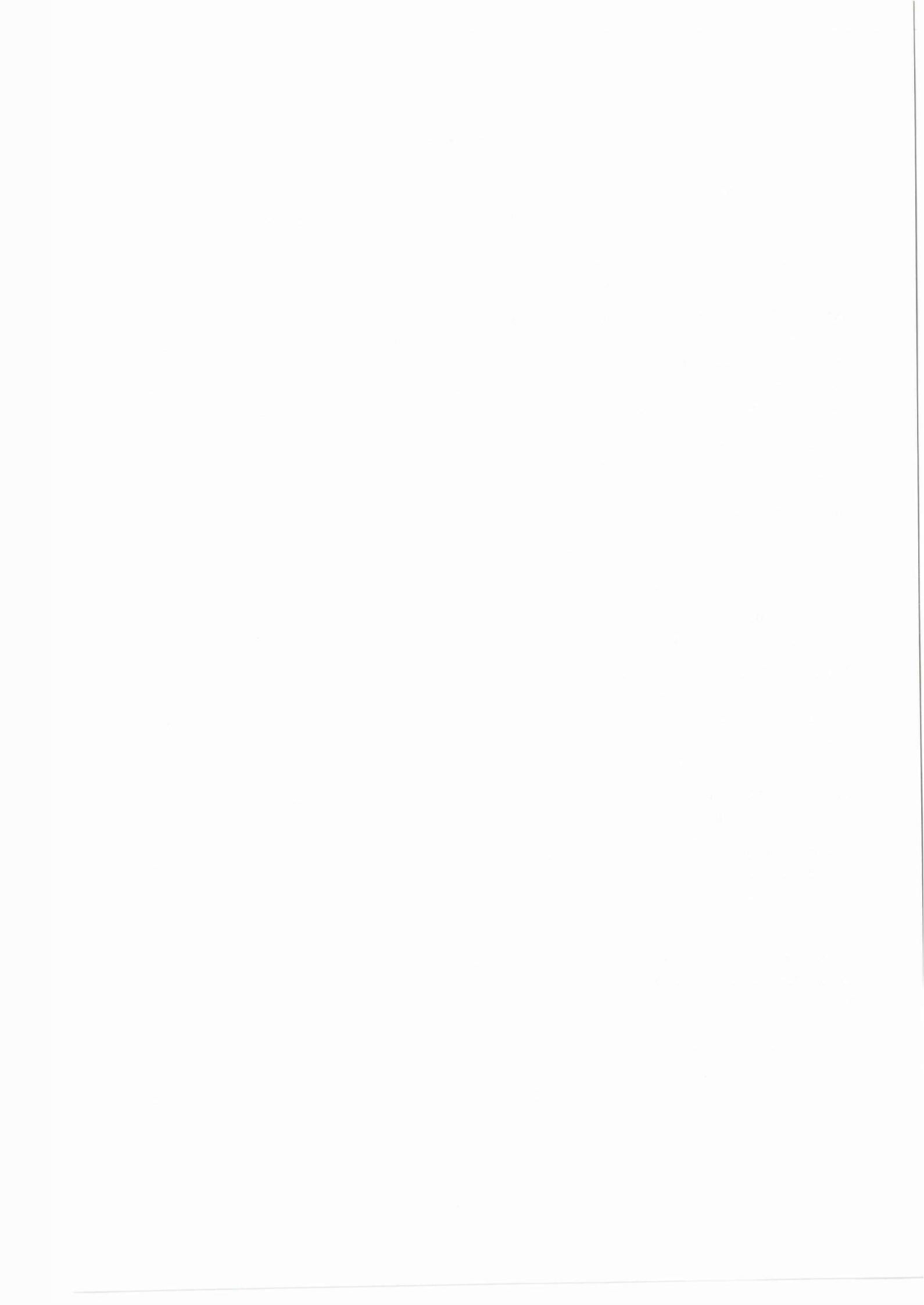
Tema: “Evaluación multitemporal del cambio de la cobertura vegetal en el Parque Nacional Cotopaxi mediante imágenes satelitales desde el año 2008 al 2020”

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, **LA 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 **LA 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 **LA 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 **LA 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 **LA 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.

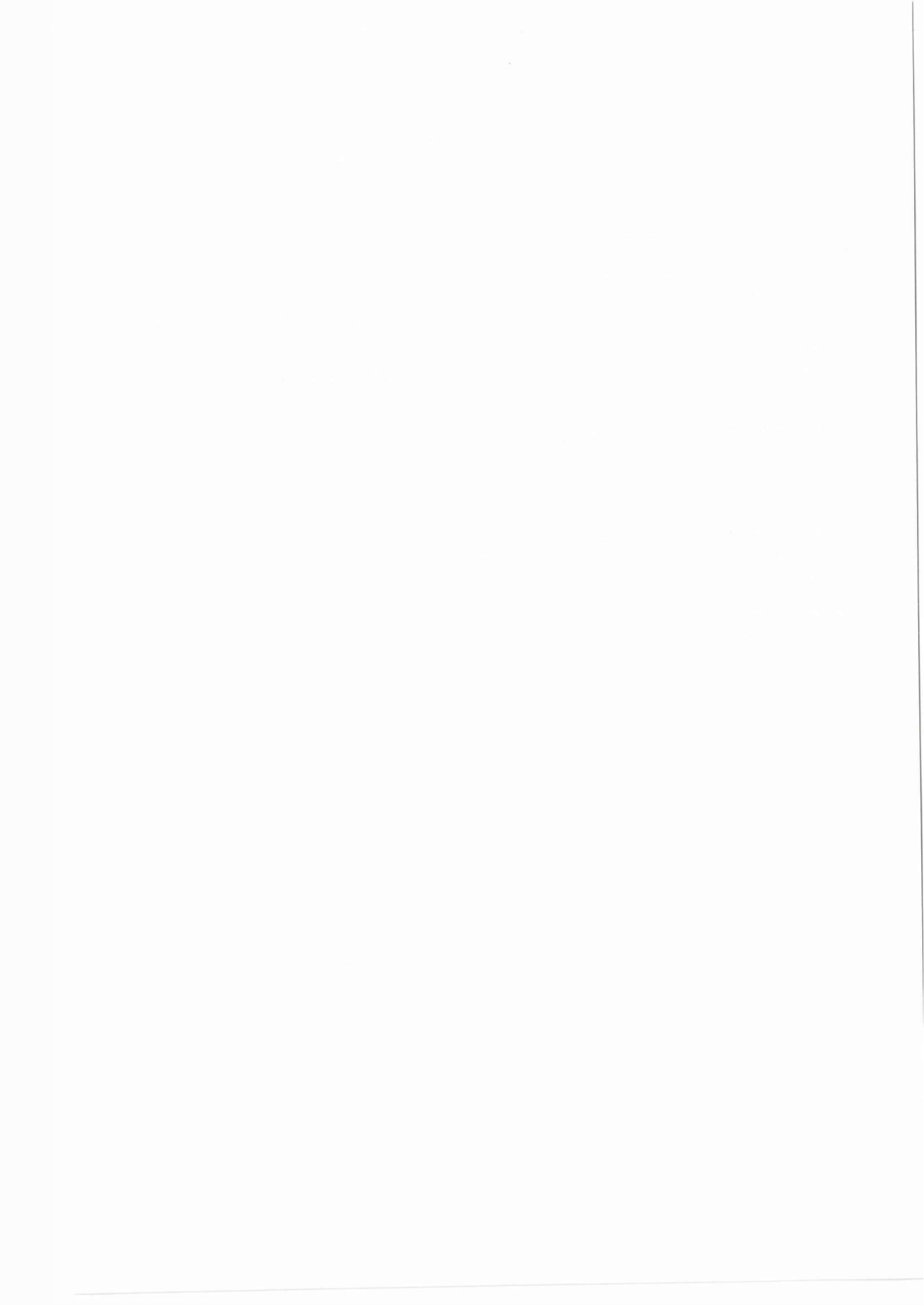
CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento 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 26 días del mes de agosto del 2022.



Nancy Piedad Herrera Gallo
LA CEDENTE

Ing. Cristian Tinajero Jiménez, Ph.D.
LA CESIONARIA

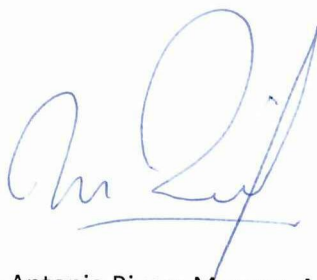


AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

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

“EVALUACIÓN MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE LA COBERTURA VEGETAL EN EL PARQUE NACIONAL COTOPAXI, MEDIANTE IMÁGENES SATELITALES DESDE EL AÑO 2008 AL 2020”, de Herrera Carrera Luis Washington y Herrera Gallo Nancy Piedad, 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.

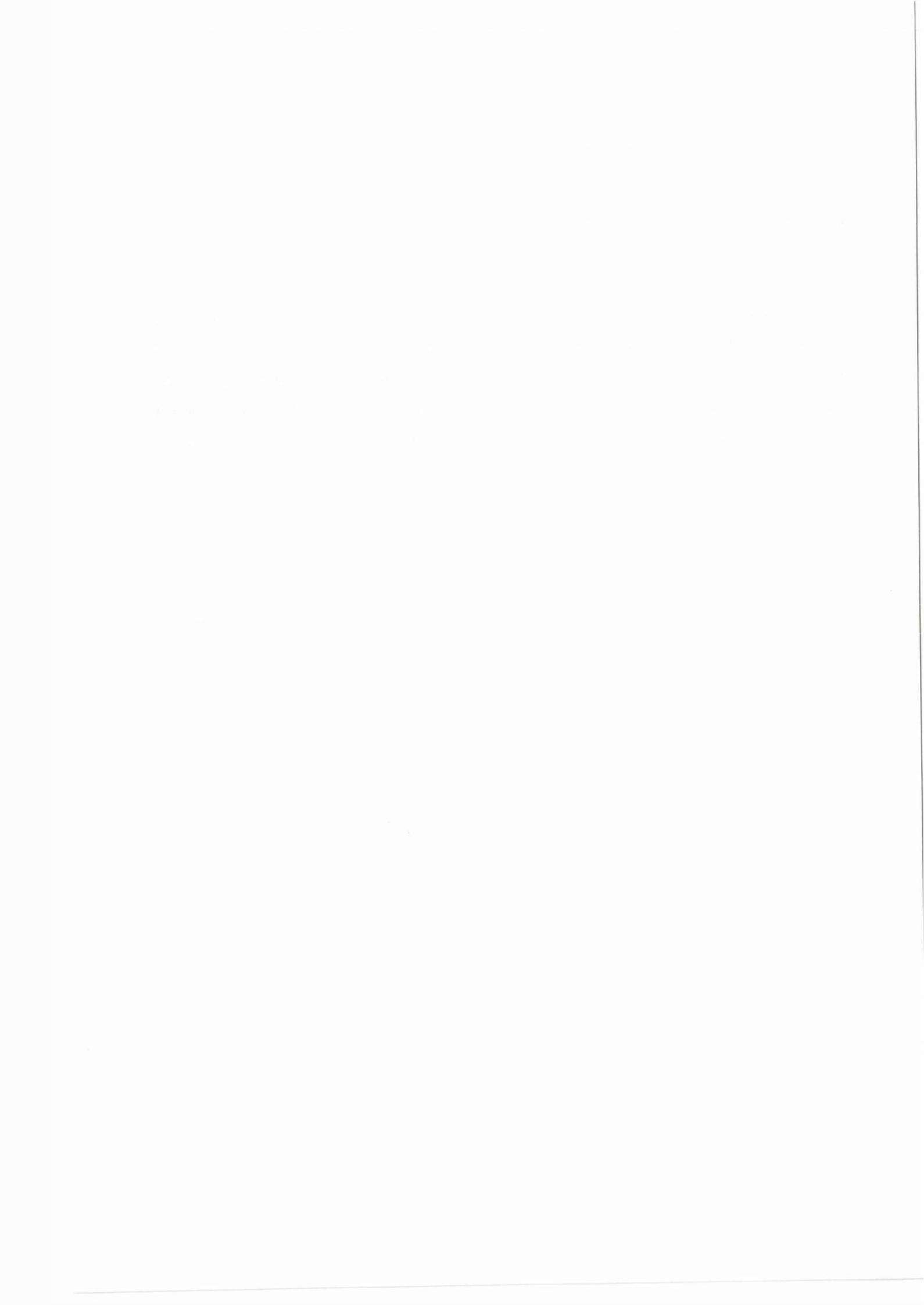
Latacunga, 26 de agosto del 2022



Ing. Marco Antonio Rivera Moreno, M.Sc.

DOCENTE TUTOR

CC: 0501518955

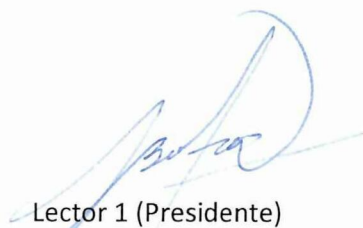


AVAL DE LOS LECTORES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprobamos el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi; y, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, los postulantes: Herrera Carrera Luis Washington y Herrera Gallo Nancy Piedad, con el título del Proyecto de Investigación: "EVALUACIÓN MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE LA COBERTURA VEGETAL EN EL PARQUE NACIONAL COTOPAXI, MEDIANTE IMÁGENES SATELITALES DESDE EL AÑO 2008 AL 2020", han 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.

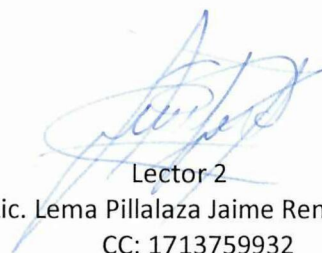
Latacunga, 26 de agosto del 2022



Lector 1 (Presidente)

Ing. Vladimir Marconi Ortiz Bustamante, M.Sc.

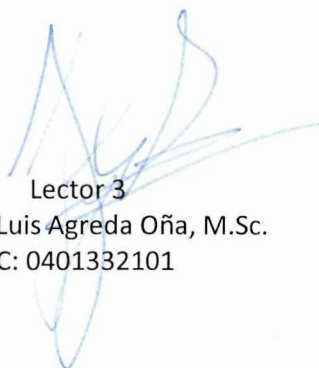
CC: 0502188451



Lector 2

Lic. Lema Pillalaza Jaime Rene, M.Sc.

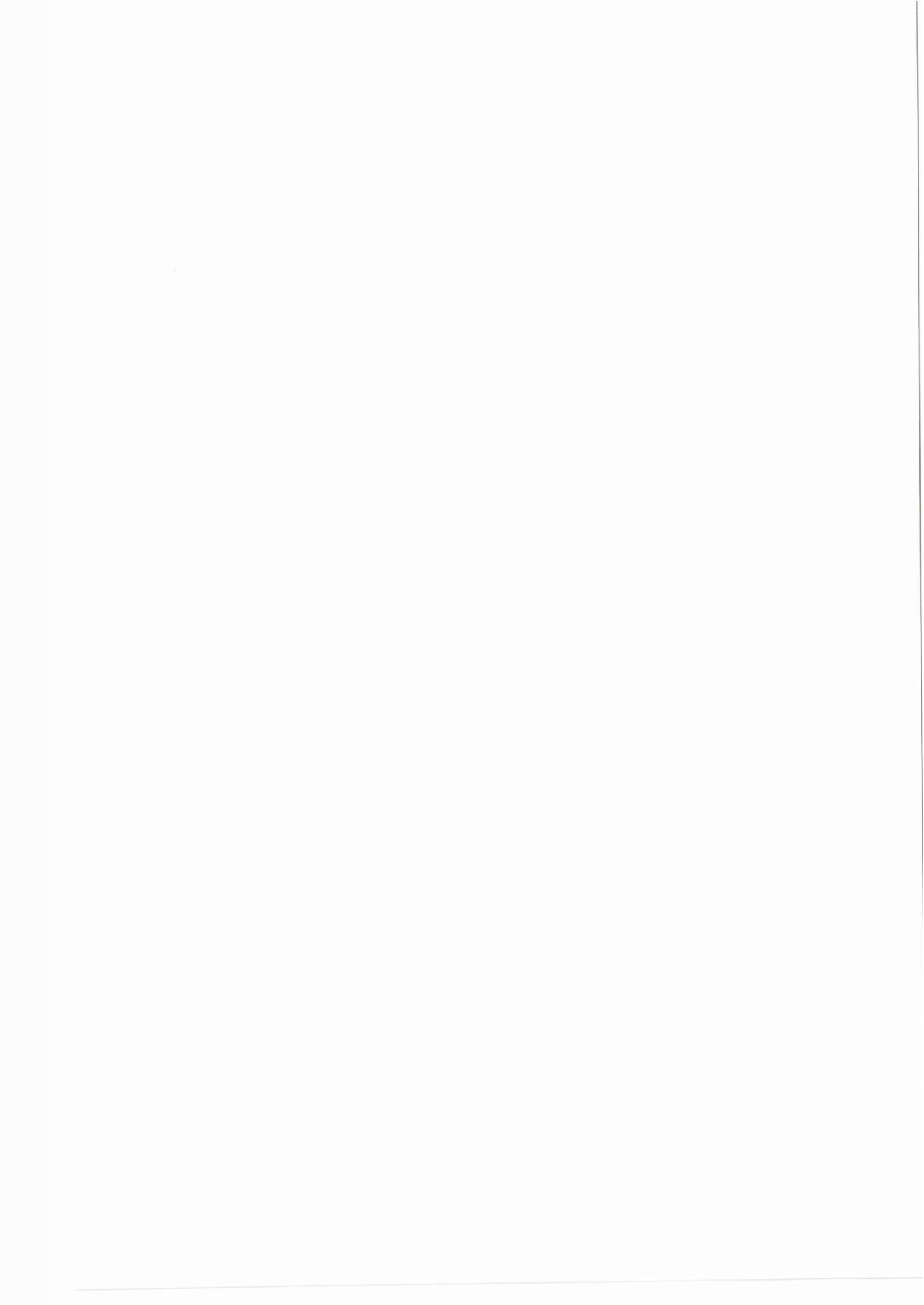
CC: 1713759932



Lector 3

Ing. José Luis Agreda Oña, M.Sc.

CC: 0401332101



AGRADECIMIENTO

La presente tesis de ingeniería y la formación de mis estudios, se la debo a todas las personas que fueron mis mentores y profesores, los cuales me faltarían páginas para detallar sus lecciones, virtudes y aprendizajes, siempre estarán en la formación a lo largo de mi vida, agradezco a la vida por haberlos puesto en mi camino y formar el hombre que ahora soy, por los malos y buenos momentos que se pasó en compañía de mis compañeros, amigos y familia, que sin duda fueron la ayuda necesaria para crecer y fortalecerme, un especial agradecimiento a mi compañera de tesis Nancy Piedad Herrera Gallo, la cual estuvo presente en los buenos y malos momentos de mi formación y proyecto.

Luis Washington Herrera Carrera

AGRADECIMIENTO

Expreso un grato y sincero agradecimiento a:

Todas las personas especiales que llegaron a mi vida que con su amistad, apoyo, aliento y compañía, hicieron posible cumplir tan anhelado sueño, quiénes de una otra manera ha contribuido con un granito de arena.

Dios por la vida, sabiduría y por darme la oportunidad de culminar mi etapa estudiantil y llegar a ser profesional.

Mis padres, por ser mi apoyo incondicional, en momentos difíciles que me ha tocado afrontar siempre estuvieron conmigo, quienes a través de su ejemplo de superación humildad, dedicación, comprensión y sacrificio me han enseñado a valorar cada meta cumplida.

Mi hermano, Roberto Herrera quien se ha preocupado siempre por el futuro de su familia, apoyándome en mis metas. Como también al resto de mi familia, hermanos, cuñadas y sobrinos por apoyarme moralmente en todo el trascurso de mi carrera.

José, por tu colaboración, motivación y ayuda constante, gracias por el apoyo en momentos precisos.

Ing Marco Rivera, mi tutor de tesis por la dedicación, tiempo y el apoyo brindado, que a través de sus conocimientos y motivación, fue una guía indispensable en la elaboración de esta investigación.

Luis, mi compañero de tesis por su amistad, paciencia, apoyo y por compartir sus experiencias y conocimientos conmigo.

¡¡ GRACIAS A TODOS!!

Nancy Piedad Herrera Gallo

DEDICATORIA

Este proyecto esta dedico con todo mi corazón y sin duda a mis dos pilares en la vida, a mi madre Gladys Emperatriz Carrera Toscano y a mi hermana Cintia Lisseth Herrera Carrera, por su amor, comprensión y su incondicional apoyo en la obtención de mis logros en el presente y futuro.

Luis Washington Herrera Carrera



DEDICATORIA

Este proyecto se lo dedico con todo corazón a mi madre Dioselina Gallo y a mis hermanos Nelson, Manuel, Kleber y Roberto Herrera por su esfuerzo, apoyo incondicional y confianza, quienes fueron mi pilar fundamental en mi vida y así poder alcanzar tan anhelado sueño. Como también a mi padre Alejandro Herrera que aunque no este físicamente conmigo sé que desde el cielo me cuida y me guía para que todo me salga bien. Finalmente a toda la familia en especial a mis cuñadas Gloria y Patricia y a mis queridos sobrinos/as: Nayeli, Ariel, Maricriz y Danny.

Nancy Piedad Herrera Gallo

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

TÍTULO: “EVALUACIÓN MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE LA COBERTURA VEGETAL EN EL PARQUE NACIONAL COTOPAXI, MEDIANTE IMÁGENES SATELITALES DESDE EL AÑO 2008 AL 2020”.

AUTORES: Herrera Carrera Luis Washington
Herrera Gallo Nancy Piedad

RESUMEN

La investigación se realizó en el Parque Nacional Cotopaxi (PNC), donde se evaluó el cambio de la cobertura vegetal, utilizando imágenes satelitales en el periodo 2008 al 2020. La metodología consistió en el procesamiento de imágenes satelitales Landsat 7 y Landsat 8, en el que se tomó como referencia la combinación de bandas para el análisis de vegetación, donde se obtuvo la clasificación supervisada de las clases de cobertura vegetal en el PNC, empleando el método de máxima probabilidad que utiliza el software ArcGIS, denominada también como algoritmo de máxima verosimilitud, la validación de las categorías se realizó por medio de los datos de la salida de campo, en la cual se identificó 6 coberturas que son: zonas forestales, páramo, vegetación herbácea y arbustiva, pastizal, glaciar y zonas sin cobertura vegetal. Para determinar los cambios de las clases se realizó el análisis multitemporal de imágenes satelitales de los años 2008, 2009, 2010, 2013, 2015, 2016, 2018, 2020, mediante el software Qgis, utilizando la herramienta SCP (Semi-Automatic Classification Plugin) Sub, (Cambio de Cobertura de Uso de Suelo), los datos obtenidos fueron cuantificados mediante la matriz de transición o tabulación cruzada, cada dos años de estudio. La obtención de los resultados se realizó mediante la representación de mapas temáticos de la cobertura vegetal del PNC, evidenciando el cambio y las transiciones que ocurrieron en el periodo de análisis, identificando la pérdida y ganancia de cada clase dentro del mismo. Por ende, existe un cambio progresivo en el periodo del 2008 al 2020 en las clases: zonas forestales con un incremento del 0,82% que representa 256,63 ha más para el año 2020, con respecto al 2008, la vegetación arbustiva y herbácea para el año 2008 tiene 10.1%, sin embargo, para el 2020 indica un aumento llegando al 26,9 % que representa 8683,63 ha, el pastizal posee un incremento para el año 2020 del 1.55%. Por lo contrario, el páramo tiene una disminución del 19,89%, que representa 6422,86 ha menos con relación al 2008 y finalmente en el glaciar existió un decremento del 0.88% lo cual representa 291,48 ha menos del año 2008. Se evidencia un notable crecimiento de zonas forestales, pastizal vegetación arbustiva y herbácea, así mismo existe un decremento de páramo y glaciar en el periodo establecido.

Palabras Clave: Evaluación Multitemporal, cobertura vegetal, imágenes satelitales, transición.



TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCE AND NATURAL RESOURCES

THEME: "MULTITEMPORAL EVALUATION OF VEGETATION COVER CHANGE IN COTOPAXI NATIONAL PARK USING SATELLITE IMAGES FROM 2008 TO 2020".

AUTHOR: Herrera Carrera Luis Washington
Herrera Gallo Nancy Piedad

ABSTRACT

The research was conducted in Cotopaxi National Park (PNC), where the change in vegetation cover was evaluated using satellite images from 2008 to 2020. The methodology consisted of processing Landsat 7 and Landsat 8 satellite images, in which the combination of bands for vegetation analysis was taken as a reference, where the supervised classification of vegetation cover classes in the PNC was obtained, using the maximum likelihood method used by ArcGIS software, also known as maximum likelihood algorithm, the validation of the categories was done through the data from the field output, in which 6 coverages were identified, which are: forest areas, paramo, herbaceous and shrub vegetation, grassland, glacier and areas without vegetation cover. To determine the changes in the classes, a multitemporal analysis of satellite images of the years 2008, 2009, 2010, 2013, 2015, 2016, 2016, 2018, 2020 was performed using the Qgis software, using the SCP (Semi-Automatic Classification Plugin) Sub tool (Land Use Cover Change), the data obtained were quantified using the transition matrix or cross tabulation, every two years of study. The results were obtained through the representation of thematic maps of the vegetation cover of the PNC, showing the change and transitions that occurred in the period of analysis, identifying the loss and gain of each class within it. Therefore, there is a progressive change in the period from 2008 to 2020 in the following classes: forest zones with an increase of 0.82% representing 256.63 ha more for the year 2020, with respect to 2008, shrub and herbaceous vegetation for the year 2008 has 10.1%, however for 2020 indicates an increase reaching 26.9% representing 8683.63 ha, pasture has an increase for the year 2020 of 1.55%. On the other hand, the paramo has a decrease of 19.89%, which represents 6422.86 ha less than in 2008, and finally, the glacier has a decrease of 0.88%, which represents 291.48 ha less than in 2008. There was a notable growth of forest areas, pasture, shrub and herbaceous vegetation, as well as a decrease in paramo and glacier in the established period.

Keywords: Multitemporal evaluation, vegetation cover, satellite images, transition.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	vii
AGRADECIMIENTO.....	ix
AGRADECIMIENTO.....	x
DEDICATORIA	xi
DEDICATORIA	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT	xiv
ÍNDICE DE CONTENIDOS	xv
ÍNDICE DE TABLAS.....	xviii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xix
1. INFORMACIÓN GENERAL	1
2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	2
3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO.....	2
4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	3
5. OBJETIVOS.....	4
5.1. Objetivo general.....	4
5.2. Objetivos específicos.....	4
6. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS	4
7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA TÉCNICA	5
7.1. Uso del suelo.....	5
7.2. Tipos de suelo del Parque Nacional Cotopaxi (PNC)	6
7.2.1. Geomorfología del suelo del PNC.....	6
7.3. Mapas de uso de suelos	7
7.4. Uso de suelo del Parque Nacional Cotopaxi	7
7.5. Cobertura vegetal.....	7
7.6. Cambios de cobertura vegetal	10

7.7.	Pérdida de cobertura vegetal	10
7.7.1.	<i>Pérdida de los páramos en el Parque Nacional Cotopaxi</i>	10
7.8.	Ámbito Ecosistémico Territorial del PNC.....	10
7.8.1.	<i>Relieve del Parque Nacional Cotopaxi (PNC)</i>	10
7.8.2.	Clima.....	11
7.8.3.	<i>Zonas de Vida</i>	11
7.8.4.	<i>Flora y fauna</i>	12
7.8.5.	Hidrología	12
7.9.	Fundamentos de la Teledetección.....	13
7.9.1.	<i>Teledetección</i>	13
7.9.2.	<i>Tipos de sensores</i>	13
7.9.3.	<i>Resoluciones del sistema del sensor</i>	13
7.9.4.	<i>Elementos de la teledetección</i>	14
7.9.5.	<i>La teledetección aplicada al estudio del Medio Ambiente</i>	15
7.9.6.	<i>Imágenes satelitales</i>	16
7.9.7.	<i>Características del Landsat 7, 8,</i>	17
7.10.	Combinaciones de banda	18
7.11.	Pre-Procesamiento de imágenes.....	19
7.11.1.	<i>Corrección geométrica</i>	19
7.11.2.	<i>Corrección radiométrica</i>	20
7.11.3.	<i>Corrección atmosférica</i>	20
7.11.4.	<i>Corrección de bandeo de las imágenes Landsat 7</i>	20
7.12.	Procesamiento de imágenes satelitales	20
7.12.1.	<i>Fase de entrenamiento</i>	20
7.12.2.	<i>Leyenda temática de Cobertura y Uso de tierra</i>	21
7.12.3.	<i>Método no supervisado</i>	21
7.12.4.	<i>Método supervisado</i>	22
7.12.5.	<i>Fase de asignación</i>	23

7.13.	Post-procesamiento/ validación de resultados.....	23
7.13.1.	<i>Tipos de muestreo de validación</i>	23
7.13.2.	<i>Matriz de transición</i>	24
7.13.3.	<i>Análisis multitemporal</i>	24
8.	PREGUNTA CIENTÍFICA	25
9.	METODOLOGÍA	25
9.1.	Tipo De Trabajo	27
9.1.1.	<i>Investigación Bibliográfica</i>	27
9.1.2.	<i>Investigación Descriptiva</i>	27
9.1.3.	<i>Investigación de campo</i>	27
9.2.	Métodos.....	27
9.2.1.	<i>Método de observación directa</i>	27
9.2.2.	<i>Método exploratorio</i>	27
9.2.3.	<i>Método de máxima verosimilitud</i>	28
9.2.4.	<i>Método de clasificación supervisada</i>	28
9.2.5.	<i>Método Analítico</i>	28
9.3.	Técnicas	28
9.3.1.	<i>Observación directa</i>	28
9.4.	Herramientas	28
9.5.	Instrumento.....	28
9.6.	Área de estudio	28
9.7.	Mapa de ubicación del PNC.....	29
9.8.	Fases metodológicas.....	30
9.8.1.	<i>Fase 1</i>	30
9.8.2.	<i>Fase 2: Preparación</i>	32
9.8.3.	<i>Fase 3 preprocesamiento de imágenes</i>	33
9.8.4.	<i>Fase 4 Procesamiento</i>	34
9.8.5.	<i>Fase 5.- Post-procesamiento/ Validación de resultados</i>	35

[The page contains extremely faint and illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the document. No specific content can be transcribed.]

10.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	36
10.1.	Objetivo específico uno: Identificación de cobertura vegetal en el PNC.....	36
10.2.	Objetivo específico dos: Cobertura vegetal del PNC del año 2008 al 2020.....	37
10.3.	Objetivo específico tres: Análisis multitemporal.....	43
11.	IMPACTOS.....	48
11.1.	Impacto social.....	48
11.2.	Impacto Ambiental.....	48
11.3.	Impacto económico.....	48
12.	PRESUPUESTO.....	49
13.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	50
13.1.	Conclusiones.....	50
13.2.	Recomendaciones.....	50
14.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51
15.	ANEXOS.....	58

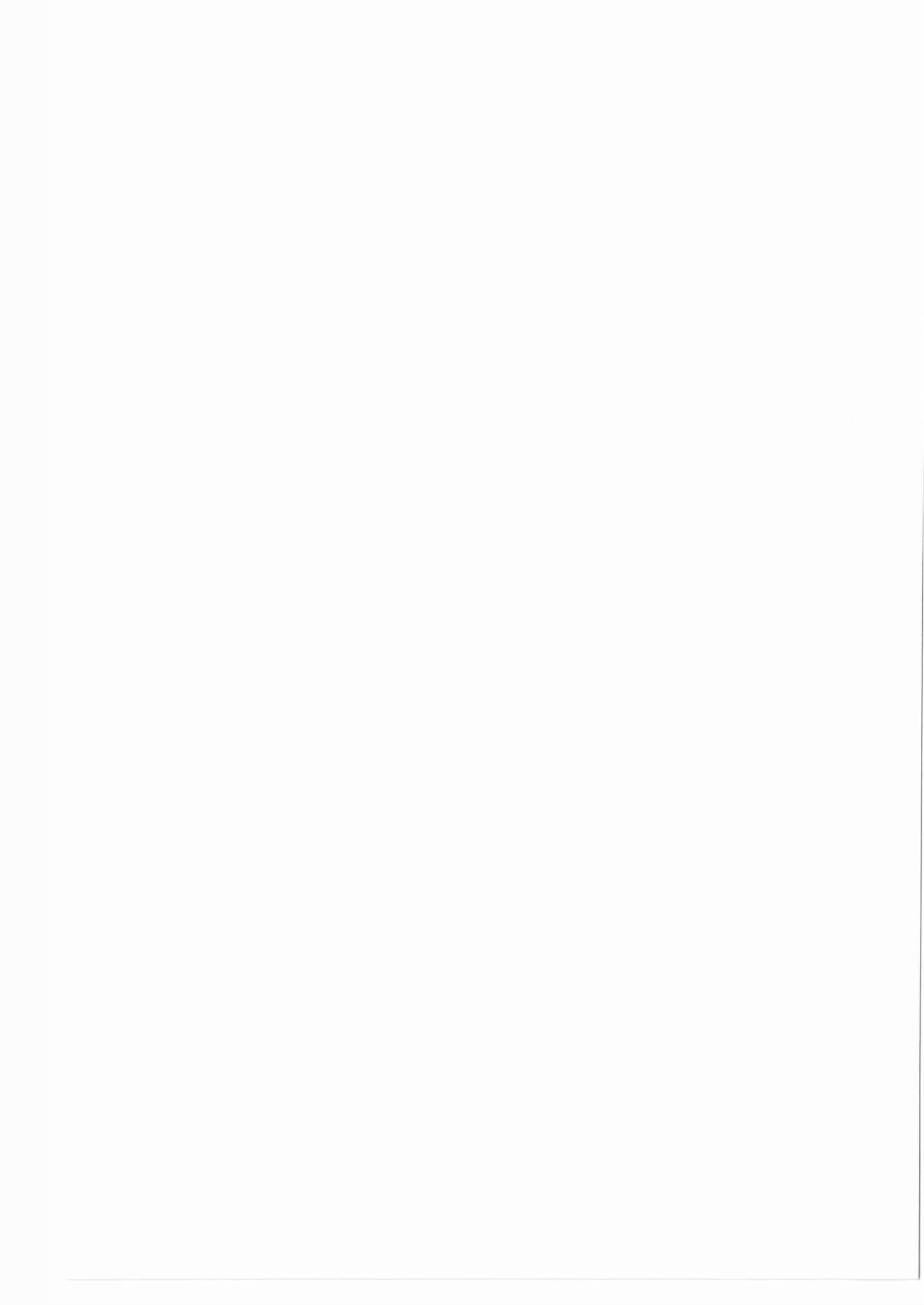
ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Beneficiarios del proyecto de investigación.....</i>	2
<i>Tabla 2. Actividades de sistema de tareas en relación a los objetivos.....</i>	4
Tabla 3. Características de la pendiente en el Parque Nacional Cotopaxi.....	6
Tabla 4. Principales coberturas vegetales del que se encuentran en el PNC.....	8
Tabla 5. Formaciones vegetales naturales.....	9
<i>Tabla 6. Características generales del satélite Landsat 7.....</i>	17
<i>Tabla 7. Distribución de las bandas en OLI y TIRS.....</i>	18
Tabla 8. Combinación de bandas Landsat 7, 8.....	19
Tabla 9. Leyenda temática de Cobertura y Uso de la Tierra.....	21
Tabla 10. Imágenes seleccionadas de los satélites Landsat 7 y 8.....	32
Tabla 11. Cobertura vegetal y uso del suelo 2008- 2020.....	39
Tabla 12. Matriz de transición del 2008 al 2010.....	46
Tabla 13. Matriz de transición del 2013 al 2015.....	47
Tabla 14. Matriz de transición del 2018 al 2020.....	47



ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 <i>Esquema y componentes principales de un sistema de teledetección espacial.</i>	15
Ilustración 2 <i>Esquema de clasificación digital supervisada.</i>	22
Ilustración 3 <i>Disposición espacial de las observaciones bajo un muestreo aleatorio.</i>	24
Ilustración 4 <i>Diagrama metodológico.</i>	26
Ilustración 5 <i>Mapa de ubicación Parque Nacional Cotopaxi (PNC).</i>	29
Ilustración 6 <i>Corrección de bandeo Landsat 7.</i>	33
Ilustración 7 <i>Mapa de la cobertura vegetal en el PNC, 2008 – 2020.</i>	38
Ilustración 8 <i>Datos porcentuales de las zonas forestales en el periodo 2008 - 2020.</i>	40
Ilustración 9 <i>Datos porcentuales del páramo en el periodo 2008 - 2020</i>	40
Ilustración 10 <i>Datos porcentuales de la vegetación arbustiva y herbácea en el periodo 2008 - 2020.</i>	41
Ilustración 11 <i>Datos porcentuales del glaciar en el periodo 2008 - 2020.</i>	42
Ilustración 12 <i>Cambio de la cobertura vegetal en el PNC de 2008 al 2010.</i>	44
Ilustración 13 <i>Cambio de la cobertura vegetal en el PNC de 2013 al 2015.</i>	44
Ilustración 14 <i>Cambio de la cobertura vegetal en el PNC de 2018 al 2020.</i>	45



1. INFORMACIÓN GENERAL

Título del proyecto

Evaluación multitemporal del cambio de la cobertura vegetal en el Parque Nacional Cotopaxi, mediante imágenes satelitales desde el año 2008 al 2020.

Lugar de ejecución:

Cantón Latacunga, Provincia Cotopaxi, Parque Nacional Cotopaxi

Institución, unidad académica y carrera que auspicia

Universidad Técnica de Cotopaxi, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, carrera de Ingeniería en Medio Ambiente.

Nombres de equipo de investigación:

Tutor: Ing. Rivera Moreno Marco Antonio. M.Sc

Estudiante: Sr. Herrera Carrera Luis Washington.

Estudiante: Srta. Herrera Gallo Nancy Piedad.

LECTOR 1: Ing. Vladimir Marconi Ortiz Bustamante. M.Sc

LECTOR 2: Lic. Lema Pillalaza Jaime Rene. M.Sc

LECTOR 3: Ing. Agreda Oña José Luis. M.Sc

Área de Conocimiento:

Ciencias Naturales. Medio Ambiente, Ciencias Ambientales.

Línea de investigación:

Análisis, conservación y aprovechamiento de la biodiversidad local.

Sub-línea de Investigación de la Carrera:

Manejo y conservación de la biodiversidad

Línea de Vinculación de la Facultad:

Gestión de recursos naturales, biodiversidad, biotecnología y genética, para desarrollo humano y social.

2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

En la última década existen pocos estudios de la pérdida de cobertura vegetal en el Parque Nacional Cotopaxi (PNC), por tal motivo la evaluación multitemporal permitirá conocer el porcentaje de afectación a través de técnica de teledetección, utilizando imágenes satelitales como son *Landsat* 7, 8, 9. Según (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, 2019) es de suma importancia la conservación de los Parques Nacionales, ya que son áreas de preservación por su condición natural y rasgos ecológicos, estéticos y culturales, por lo que está prohibido cualquier tipo de explotación u ocupación el cual atente a dichas áreas. No obstante, el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) promueve mediante capacitaciones charlas a la comunidad aledaña, para que sean parte del control y conservación de los Parques Nacionales.

Por tal motivo es necesario la implementación de metodologías modernas y de más uso como son los sensores remotos, esta forma de usar la tecnología para detectar, explicar, cuantificar y monitorear los cambios de la cobertura vegetal, los adelantos de la frontera agrícola y los patrones de comportamiento de estas unidades espaciales, por ocupaciones y alteraciones antropogénicas o cambios climáticos, así como la especificación de escenarios tendenciales (GeoPlaDes, 2009).

Se cree que es evidente y fundamental la conservación y preservación de las áreas protegidas, puesto a que estos ecosistemas frágiles son fundamentales para el cuidado del recurso hidrológico, que abastece a la parte central del Ecuador (Aguirre, 2014). Además, el presente trabajo permitirá obtener datos actualizados de todo el territorio que conforma el Parque Nacional Cotopaxi y ayudará a planificar mejor la conservación de los recursos naturales.

3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

La importancia de la investigación aportara directamente a los trabajadores del Parque Nacional Cotopaxi (PNC) con datos que servirán, para estudios a futuro mientras que el resto de la población de las provincias que conforma el PNC se podrán favorecer para la elaboración de planes de manejos territoriales.

Tabla 1

Beneficiarios del proyecto de investigación.

BENEFICIARIOS	
DIRECTOS	Habitantes de la parroquia Mulaló Población total al 2020 10.217
	Encargados del Parque Nacional Cotopaxi Trabajadores del PNC Población Ecuatoriana
INDIRECTOS	Población total 2021 17'283.338

Fuente: Equipo de investigación Luis Herrera, Nancy Herrera, 2022.

4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La vegetación proporciona un indicador importante en la evaluación de los diferentes procesos biológicos que se generan en los ecosistemas, como por ejemplo en fenómenos tanto atmosféricos (lluvia, nieve, granizo), los cuales son intervenciones en el cambio climático a los procesos del ciclo del agua. También debemos tener en cuenta que los páramos ecuatorianos albergan una biodiversidad muy compleja y frágil, los cuales proveen servicios ecosistémicos como: recursos hídricos de calidad, receptores de carbono, los suelos tienen una densidad baja y estructura abierta porosa, que posibilitan la retención de agua con alta conductibilidad hidráulica (Chuncho & Chuncho, 2019). Es por ello que la capa de la cobertura vegetal es uno de los recursos más importantes ya que ayuda a controlar la variación de la temperatura, del mismo modo controla la erosión de los suelos y uno de las principales funciones es la regulación del ciclo hidrológico.

Estos ecosistemas mantienen una importancia tanto social como cultural, los cuales mantienen a la población rural productiva con diversos alimentos y a su vez se generan la gestión de turismo y recreación. Chuncho & Chuncho (2019) plantea que el cambio brusco de la cobertura vegetal que lastimosamente existe en estos sectores los cuales han sido producidos por la introducción de plantas exóticas, incendios, el incremento de la frontera agrícola e incluso por la actividad minera, ha provocado una aceleración en el cambio climático y erosión del suelo. Uno de los problemas más preocupantes hoy en día es el avance desmesurado de la frontera agrícola, debido a que algunos agricultores no tienen el conocimiento previo del manejo del uso de suelo.

Según estudios realizados por Eco Ciencia la pérdida de la cobertura vegetal de la provincia de Cotopaxi, mantiene una tendencia creciente evidenciando cambios drásticos en la superficie de los bosques, antes ocupaban más de la mitad de la provincia, pero hoy en día representa el 22.6%, de igual manera los páramos se han reducido, teniendo en la actualidad un 17.5%, los matorrales que cubren la mayor parte de los valles y quebradas ahora apenas representan el 1,3% de la provincia (Martínez, 2006). El cambio climático ha sido uno de tantos factores que han alterado los ecosistemas del páramo, a su vez la deforestación de bosques nativos y avances de la frontera agrícola ha provocado la disminución de la cobertura vegetal.

En los últimos años los páramos de la parroquia Mulaló pertenecientes al sistema de áreas protegidas del Parque Nacional Cotopaxi (PNC), han sufrido una pérdida anual de cobertura vegetal aproximada de 111.51 hectáreas, esto se debe a la intervención de las distintas actividades, ocasionado el avance de la frontera agrícola, la pérdida de recursos naturales y beneficios ecosistémicos que provee los páramos (Padilla, 2014). La disminución de los páramos del PNC es a consecuencia del incremento de plantaciones de pino, aumentó de pastizal y vegetación herbácea.



El PNC presenta formaciones vegetales tales como; el páramo de pajonal, superpáramo azonal los cuales se han visto amenazados por plantaciones forestales de pino (*pinus radiata*), considerado como una especie exótica introducida en esta área protegida que en su mayoría tienen fines comerciales (Morales, 2021). Las causas de la disminución del páramo en el PNC son el incremento de monocultivos de pino, sobrepastoreo, incendios provocados para la remoción de la capa vegetal nativa con la finalidad de regenerar pastos tiernos para el ganado.

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo general

- Evaluar los cambios de la cobertura vegetal en el Parque Nacional Cotopaxi mediante la estimación multitemporal usando imágenes satelitales en el periodo 2008 al 2020.

5.2. Objetivos específicos

- Identificar los tipos de cobertura vegetal existente en el Parque Nacional Cotopaxi mediante el muestreo aleatorio simple.
- Determinar el cambio multitemporal de la cobertura vegetal mediante el uso de imágenes satelitales
- Analizar la variación de la cobertura vegetal que se ha producido en los 13 años de estudio, a partir del procesamiento y análisis cartográfico existente.

6. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

A continuación se muestra la tabla de actividades que están relacionadas directamente con el proyecto, el cual tiene un sistema de tareas y metodologías para cumplir los objetivos científicos propuestos.

Tabla 2

Actividades de sistema de tareas en relación a los objetivos.

Objetivos	Actividades	Metodología	Resultado
Identificar los tipos de cobertura vegetal existente en el Parque Nacional Cotopaxi mediante el muestreo aleatorio simple.	<ul style="list-style-type: none"> • Recopilación de información de PDOT, MAE, IEE. • Georreferenciar los tipos de cobertura vegetal existentes en el PNC. • Delimitación del área de estudio en el programa <i>ArcGIS Pro</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> • Técnica de observación • Método exploratorio • Muestro aleatorio simple • Método descriptivo 	<ul style="list-style-type: none"> • Clases de cobertura vegetal

<p>Determinar el cambio multitemporal de la cobertura vegetal mediante el uso de imágenes satelitales</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Descarga y recopilación de imágenes satelitales del satélite <i>Landsat</i> del portal web <i>USGS</i> (colección <i>Landsat 2</i> nivel -1). • Clasificación de las imágenes satelitales aptas para el estudio • Procesamiento de las imágenes satelitales en <i>ArcGIS Pro</i>. • Generar mapas cobertura vegetal de los periodos de estudio. 	<ul style="list-style-type: none"> • Método de clasificación supervisada • Método descriptivo • Método de máxima verosimilitud • Método de clasificación supervisada 	<ul style="list-style-type: none"> • Mapas temáticos de cobertura vegetal del PNC del periodo de estudio.
<p>Analizar la variación de la cobertura vegetal que se ha producido en los 13 años de estudio, a partir del procesamiento y análisis cartográfico existente.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Identificación de cambios ocurridos en la cobertura vegetal y uso de suelo en los últimos 13 años • Determinación de la pérdida de cobertura vegetal del periodo establecido por m². 	<ul style="list-style-type: none"> • Método analítico 	<ul style="list-style-type: none"> • Mapas temáticos y tablas de transición de la cobertura vegetal del PNC del periodo de análisis.

Fuente: Equipo de investigación Luis Herrera, Nancy Herrera, 2022.

7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA TÉCNICA

7.1. Uso del suelo

La FAO crea el proyecto (*WRB*) “Base Referencial Mundial del Recurso Suelo”, esta herramienta es una base que ayuda a la comunicación científica como instrumento para la identificación de clases y uso del suelo, a su vez el INEN (Servicio Ecuatoriano de Normalización) dice “ el uso del suelo, se refiere a la categoría de utilización de las tierras en el sector rural del país” (Viqueira, 2013, p. 57). Es por ello que el uso de suelo se caracteriza por las actividades antrópicas que se desarrollan sobre la cobertura del suelo con el fin de producir, alterarlo o mantenerlo.

Tomando en consideración las recomendaciones de las Naciones Unidas en la conferencia de Hábitat, al suelo se le da una gran importancia para el bienestar de la humanidad. Naciones Unidas (1976) afirma que es el soporte fundamental para su permanencia y desarrollo, siendo un objetivo principal en las políticas de los asentamientos humanos. Por lo tanto, se lo considera como elemento imprescindible al recurso suelo, para la formación social, política y económica de una sociedad. El uso del suelo se refiere a como se ocupa la superficie, según la función de su capacidad agrologica y por ende al potencial de desarrollo, su clasificación será de acuerdo a la ubicación como urbano o rural.



7.2. Tipos de suelo del Parque Nacional Cotopaxi (PNC)

El PNC, podemos encontrar un conjunto de suelos característicos de una zona volcánica, suelos que no retienen el agua, debido a que están formados de una mezcla de piedra pómez, y grava. Por su parte Almachi (2014). Describe que el material piroclástico expulsado de anteriores erupciones, formo varios pasos de lahares que se desplazó por toda la zona esto formo los paisajes únicos del volcán Cotopaxi, los suelos presentan diferencias en la composición de la arena (fina, media y gruesa), también en las piedras y el porcentaje del material orgánico. En su mayor parte de los valles interandinos del Parque, se componen de suelos tipo arenosos el cual es caracterizado por no retener la humedad con eficiencia. Sin embargo, también se encuentran extensiones de suelo que tienen composiciones de suelo franco arenoso húmedo, el cual posee una gran cantidad de retención de agua y se caracteriza por su color negro.

7.2.1. Geomorfología del suelo del PNC

Según Ministerio de Ambiente (2010) el cambio de la geomorfología en el parque es producto de procesos antrópicos, naturales y la propia característica de la zona como es la variable de la pendiente del suelo, esta última característica es la que limita las labores de labranza y el movimiento del agua se considera que la pendiente del parque va entre suave y ligeramente ondulado a moderadamente ondulado, la variación de las características de la pendiente.

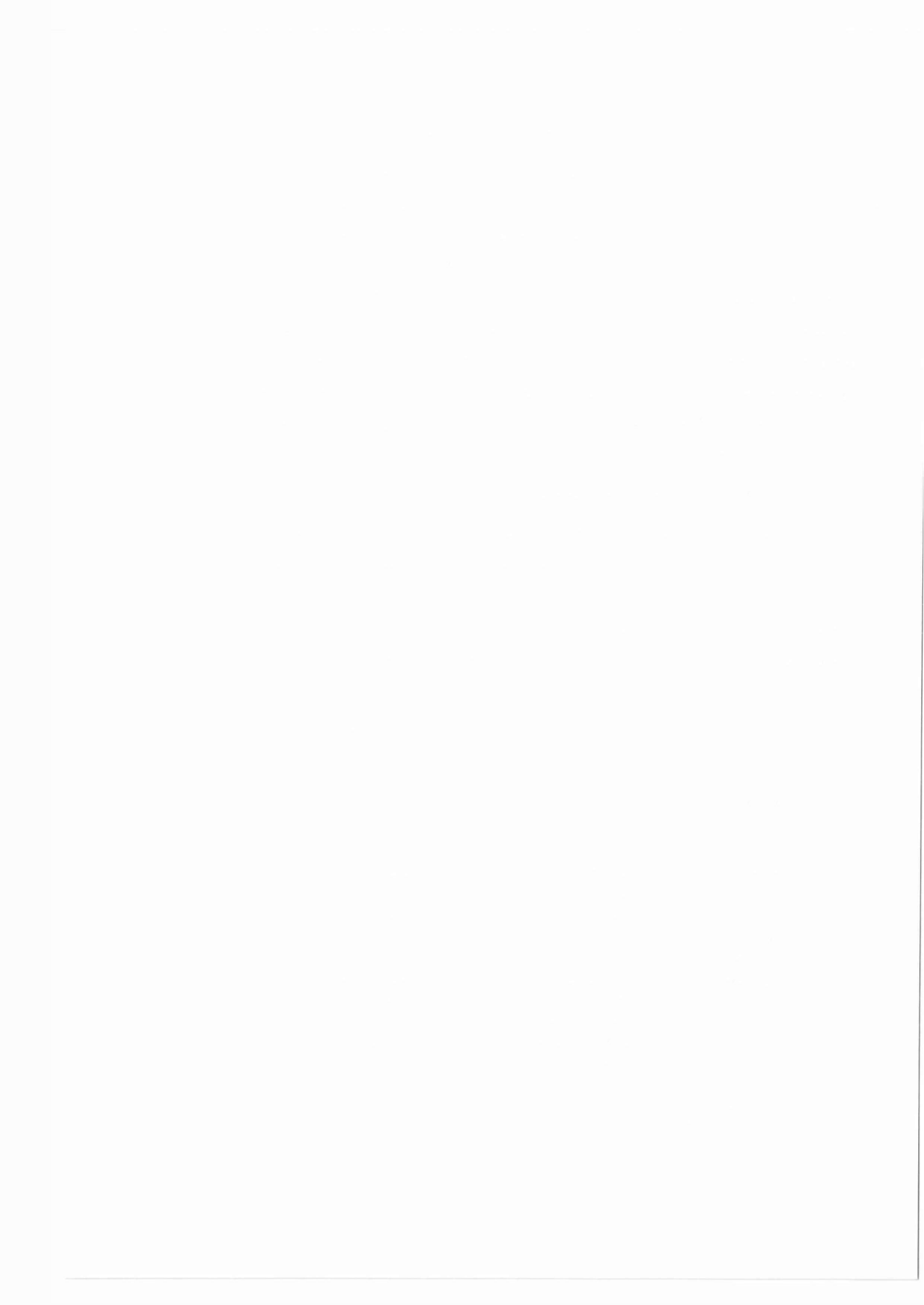
En la tabla 3, se muestra los diferentes porcentajes de pendiente que tiene el parque Nacional Cotopaxi, la descripción de cada rango de pendiente y la representación en metros cuadrados y porcentaje de esa zona.

Tabla 3

Características de la pendiente en el Parque Nacional Cotopaxi.

RANGO	DESCRIPCIÓN	ÁREA (M ²)	PORCENTAJE
0 – 5	Plano a casi plano	223,676	0.68
5 – 12	Suave a ligeramente ondulado	6.875,536	20.97
12 – 25	Moderadamente ondulado	2.628,369	8.02
25 – 50	Colinado	5.480,766	16.72
50 - 70	Escarpado	4.210,621	12.84
>70	Montañoso	383,470	1.17
ER	Eriales o afloramientos rocosos	5.469,308	16.68
ON	Nieve y hielo	7.515,316	22.92
	TOTAL	32787,1	100

Nota. La información mostrada en la tabla ayudo a modificar la leyenda al proyecto de investigación datos tomados de sistematización de información del Plan de Manejo del PNC.



7.3. Mapas de uso de suelos

Desde el punto de vista de Chóez. (2018) los mapas de uso de suelo son esenciales debido a que proporcionan los diferentes tipos de suelo existentes en la zona “ los mapas son herramientas para transmitir una determinada información geográfica empleando un lenguaje gráfico, al momento de crear un mapa debemos presentar la información acorde a los destinatarios y sus objetivos” (p. 11). Por ello la cartografía se divide en dos cartografías base y temática.

La cartografía más usada es la temática ya que se apoya de la cartografía base y se centra en la representación de un tema concreto de carácter social, físico, político, cultural y geográfico. Para ello se debe tomar en cuenta “los elementos fundamentales de la cartografía temática como son: la escala, la unidad mínima cartografiable y el nivel de desagregación conceptual de la leyenda” (Manso *et al.*, 2007, p. 2).

7.4. Uso de suelo del Parque Nacional Cotopaxi

De acuerdo con la información del Plan de Manejo Ambiental del Parque Nacional Cotopaxi el “Uso y Cobertura del Suelo el PNC está constituido por 60.47% de páramo, 22.82% de nieve o hielo, 13.41% de afloramiento rocoso y el 3.30% corresponde a cultivos de ciclo corto (maíz) y bosque plantado” (Espinoza *et al.*, 2019, p. 2). El páramo que representaba la mayor parte del parque, en la actualidad es muy evidente su disminución.

De acuerdo con Ministerio de Ambiente (2010) el PNC presenta un porcentaje total de vegetación natural de 97,92%, respecto a su superficie total, lo que equivale a 31.583,30 Ha; lo cual hace suponer que las áreas con vegetación intervenida dentro de este indicador alcanzan un valor de 2,1% .

7.5. Cobertura vegetal

La cobertura vegetal es el material de origen vegetal, ya sea que se encuentre vivo o muerto, el cual se encuentre directamente sobre el suelo para que este actúe como un aislamiento de la atmósfera. Heuvelop *et al.* (1986) sostiene que la cobertura vegetal ayuda a modificar las características calóricas del suelo, debido a que capta la radiación y reduce la evaporación, ayudando a mantener húmedo el suelo Cobertura vegetal del PNC.

Mediante la Cartografía temática SENAGUA 2014, en el Parque Nacional Cotopaxi, la cobertura vegetal que predomina son los pastos con un total de 35,36%, luego se tiene arena 26,45%, bosque 1,65%, cuerpos de agua 0,12%, glaciar 5,33%, lecho rocoso 0,84%, matorral 25,05% sin cobertura vegetal 3,53%, y sin infamación en un 1,67% (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal

Latacunga, 2016b). En este sentido el parque está siendo intervenido por pastizal que es la cobertura más predominante.

7.5.1. Cobertura y Uso de la Tierra del Parque Nacional Cotopaxi

El estudio realizado de cobertura y uso de la tierra hace referencia a la cubierta vegetal más representativa en el Parque Nacional Cotopaxi. En relación a lo mencionado, se sostuvo que:

La Cobertura Vegetal Natural abarca un área de 20 541,32 ha, que representan el 63,651 % de la superficie total del PNC, destacándose el páramo con 17 211,94 ha y el bosque nativo con 253,38 ha que comprenden el 83,792 % y 1,234 % del total del área protegida respectivamente. (Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE) *et al.*, 2016, p. 15)

Esto indica que el Parque Nacional Cotopaxi posee formaciones vegetales como el páramo que abarcan el mayor porcentaje del parque.

Tabla 4

Principales coberturas vegetales del que se encuentran en el PNC.

CÓDIGO	COBERTURA	USO	SUPERFICIE (HA)	PORCENTAJE (%)
AN	CUERPO DE AGUA NATURAL	AGUA	37,42	0,116
IM	INFRAESTRUCTURA ANTRÓPICA	ANTRÓPICO	3,68	0,011
BN	BOSQUE NATIVO		253,38	0,785
MT	VEGETACIÓN ARBUSTIVA	CONSERVACIÓN Y	1 943,26	6,022
PR	PÁRAMO	PROTECCIÓN	17 211,94	53,334
VH	VEGETACIÓN HERBÁCEA		1 132,73	3,510
PZ	PASTIZAL	PECUARIO	63,85	0,198
BP	PLANTACIÓN FORESTAL	PROTECCIÓN O PRODUCCIÓN	170,04	0,527
OG	GLACIAR		1 217,13	3,771
OS	ERIAL	TIERRAS IMPRODUCTIVAS	10 238,52	31,726
	TOTAL		32 271,96	100,000

Nota. A partir de esta clasificación, se realizó una modificación para el actual estudio. Fuente: Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE) *et al.* (2016).

1. Zonas forestales

Caracterizadas por sus condiciones de temperatura que van desde los 6 a los 12 grados centígrados, el porcentaje del área del parque es del 0,785% representa 253,38 Ha, y las especies que las constituye son: *Myricaceae*, *Araliaceae*, *Elaeocarpaceae*, *Boraginaceae*, *Buddlejaceae*, *Pinaceae* (Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE) *et al.*, 2016).

2. Páramo

Según Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE) *et al.* (2016), la temperatura varía entre los 3 a 6 C⁰, con una precipitación promedio anual de 1 000 a 2 000 milímetros; los cuales corresponde en su mayor superficie a páramos herbáceos denominados penacho de las familias *Asteraceae*, *Clusiaceae*, *Ericaceae*, *Bromeliaceae*, *Campanulaceae* y *Poaceae*. Generalmente se entremezclan con otro tipo de hierbas y pequeños arbustos.

3. Vegetación Arbustiva y herbácea

Desde la posición de Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE) *et al.* (2016) la vegetación arbustiva son matorrales denominados especímenes de hierbas y arbustos pequeños “se lo encuentra en vertientes o quebradas, en pendientes pronunciadas y en otros lugares de difícil acceso las familias más representativas son: *Loranthaceae*, *Hypericaceae*, *Polygalaceae*, *Melastomataceae*, *Ericaceae*, *Rosaceae*, *Campanulaceae*” (p. 23). Es por ello que la vegetación arbustiva del PNC se localiza en la parte central. Por otra parte la vegetación herbácea se desarrollan en orillas de cuerpos de agua y llegan alcanzar 2 metros de altura las familias más características son: *Passifloraceae*, *Malvaceae*, *Rubiaceae*, *Commelinaceae*, *Lamiaceae*, *Valerianaceae*, *Asteraceae*, *Orchidaceae*, *Rosaceae*, *Apiaceae*.

4. Cobertura Vegetal Natural del PNC

El PNC, presenta cuatro formaciones vegetales naturales, de las cuales se describen sus características, fisonomía y composición florística.

Tabla 5

Formaciones vegetales naturales.

CÓDIGO	CATEGORÍA OBJETO	SUPERFICIE (HA)	PORCENTAJE (%)
BN	BOSQUE NATIVO	253,38	0,785
PR	PÁRAMO	17 211,94	53,334
MT	VEGETACIÓN ARBUSTIVA	1 943,26	6,022
VH	VEGETACIÓN HERBÁCEA	1 132,73	3,510
	OTRAS ÁREAS	11 730,64	36,349
	TOTAL	32 271,96	100,000

Nota. La información mostrada por el IEE en el estudio del Parque Nacional Cotopaxi 2010-2013 es la base del proyecto que se presenta, ya que gracias a su leyenda se pudo hacer modificaciones al estudio que se realizó. Fuente: Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE) *et al.* (2016).

7.6. Cambios de cobertura vegetal

Desde la posesión de Ceballos & Toro. (2012) los cambios de cobertura vegetal “está directamente relacionado con los cambios en la dinámica de la erosión y que la conservación de los bosques disminuye considerablemente la cantidad de pérdida de suelo” (p. 51). Por lo tanto es muy importante la protección y conservación de ecosistemas naturales.

Según Ceballos & Toro (2012) los cambios de cobertura vegetal determina la disminución en la pérdida y extinción de bosques nativos, como también se da por reemplazamiento de cobertura vegetal por plantaciones forestal. Sin embargo, no son los únicos factores de pérdida boscosa, otro de los factores es el aumento de labranza de tierra con el fin de producir pasto para el ganado en las últimas décadas se ha identificado la expansión territorial de ganado bovino.

7.7. Pérdida de cobertura vegetal

La pérdida de la cobertura vegetal es un problema, debido que no solamente altera el ciclo hidrológico, sino que produce serios problemas como erosión, salinización, pérdida de productividad y disminución de la capacidad de infiltración de agua para la recarga de acuíferos. El impacto negativo que ocasionan estos cambios, es la pérdida de cobertura vegetal y fertilidad de suelos, así como también afectan a los beneficios de los ecosistemas debido a las actividades antrópicas (Pérez *et al.*, 2005).

7.7.1. Pérdida de los páramos en el Parque Nacional Cotopaxi

La disminución de los páramos en el lado sur del PNC es muy preocupante debido a que “el ritmo de pérdida de los páramos es de 1 384 ha por año, es decir, aproximadamente 4 ha son convertidas diariamente a un uso agrícola, ganadero y los grandes monocultivos de pino (*Pinus radiata*) una especie introducida” (Chisag, 2015, p. 22). Por ello es muy importante que existan campañas de concientización y conservación de los páramos ya que son fuentes del almacenamiento de recurso hídrico que provee a todo el cantón de Latacunga.

7.8. Ámbito Ecosistémico Territorial del PNC

7.8.1. Relieve del Parque Nacional Cotopaxi (PNC)

El Parque está compuesto de paisajes típicos volcánicos, y en su entorno existen dos estratovolcanes, los cuales son: el Cotopaxi y el Rumiñahui, en su entorno está constituido por lahares, coladas de lava y depósitos de ceniza. También dice que el PNC presenta un paisaje típicamente volcánico y está dominado por dos estratovolcanes: el Cotopaxi y el Rumiñahui, alrededor de los cuales se presentan lahares, coladas de lava y depósitos de ceniza (Ministerio de Ambiente, 2010). Por su

parte Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (2019) describe que los aspectos del relieve son los siguientes: existen espacios planos, los cuales se encuentran por el sector del río Pita y su parte occidental, en su mayoría está compuesto por un terreno ondulado profundo donde se forman quebradas, justo en el sector de los volcanes, sus terrenos son verticales de pendiente y escarpadas, al oriente del Parque, es evidente la diferencia topográfica, donde aparecen varios montículos en forma de media naranja, es un aspecto único en este paisaje.

7.8.2. Clima

Tiene una variación que va entra muy húmedo temperado, páramo lluvioso y subhúmedo tropical, el clima de la provincia va desde el gélido de las cumbres andinas hasta el cálido húmedo en el subtropical occidental, es normal que la provincia tenga una temperatura media anual de 12 C°, por lo que se considera un clima templado, frío con variaciones a cálido húmedo.

1. **Ecuatorial meso térmico semi-húmedo.** - El clima característico de los valles abrigados y zonas que se sitúan a más de 3200 msnm, en el sector se presentan ligeras precipitaciones no superan los 500 ml.
2. **Zona Nival.** - Constituido por el coloso volcán Cotopaxi, en la actualidad y por el cambio climático existente se ha ido disminuyendo su casquete glaciar a más del 55%
3. **Ecuatorial de Alta Montaña.** - Se encuentra establecido desde los 3000 msnm. Estos factores son los que dar valor a la temperatura y lluvias del sector los cuales forman los páramos con un ecosistema muy frágil y fácil de vulnerar (GADPR Mulaló, 2020).

7.8.3. Zonas de Vida

1. **Bosque Húmedo Montañoso.** - Ubicado entre los 3400 y 4900 msnm, considerada la parte más baja del parque con una temperatura que oscila de los 6 a los 12° centígrados, con vegetación arbórea de poca altura y la mayoría de vegetación constituida por vegetación de paramo.
2. **Páramo Pluvial Subalpino.** - Esta comprendido entre los 3.900 y 4.000 metros sobre el nivel del mar, es decir en las faldas de volcán; la temperatura ambiente es entre los 3 y 6 grados centígrados y las precipitaciones lluviosas anuales se ubican entre los 1.000 y 2.000 milímetros.
3. **Tundra Pluvial Alpina.** - Ubica en la parte as alta de los volcanes Rumiñahui y Cotopaxi, comienza a los 4400 y 4700 msnm, con temperaturas que varían los 1,5 y 3 grados centígrados, y una precipitación anual de 1000 a 2000mm. Se encuentra presente varias especies vegetales como son las almohadillas. También es importante informar la cubierta de nieve donde no



existe ningún asentamiento de cobertura vegetal por las condiciones del sitio que se encuentra a partir de los 4800msnm (Ministerio de Ambiente, 2010).

7.8.4. Flora y fauna

1. Flora

En los páramos cercanos al Parque Nacional Cotopaxi existen grandes monocultivos de pino (*Pinus radiata*) especie introducida en 1976 que ha llegado a ser muy exitosa sobre los 3 000 msnm ya que se han adaptado a las condiciones de las zonas templadas y subtropicales reemplazando al páramo natural (Reinoso, 2011).

Los datos obtenidos dicen que el 85.29% del PNC se conserva en estado natural, esto abarca especies de árboles y arbustos, en la parte alta se encuentran especies de hierbas y líquenes que son un complemento de los musgos.

2. Fauna

Los animales identificados en la zona de estudio son los siguientes de acuerdo a la: (Descripción General Parque Nacional Cotopaxi; MAE; 2009): conejos (*Silvilagus brasiliensis*), venado: (*Odocoileus virginianus*), lobos: (*Pseudalopex culpaeus*), puma: (*Puma concolor*), cervicabra: (*Mazama rufina*), zorrillo: (*Conepatus semistriatus*), ratones: (*Caenolestes sp.*). Según Reinoso (2011). Se registran alrededor de 80 especies de aves las cuales son consideradas acuáticas y migratorias y de mayor importancia la presencia del emblema del Ecuador el cóndor andino que se encuentra en peligro de extinción, los peces nativos del lugar son las preñadillas que han sido minimizadas en su gran mayoría por especies introducidas como la trucha, otros de las especies como las lagartijas los anfibios nativos como el jambato

7.8.5. Hidrología

(Almachi, 2014) menciona que “el recurso hídrico es uno de los recursos de mayor importancia dentro del Parque Nacional Cotopaxi, el páramo contiene grandes cantidades de agua en su interior, por lo cual se lo considera una fábrica o fuente de agua natural” (p. 10). Las cuencas que nacen del Parque son varias, las cuales alimentan a sistemas hidroeléctricos, son destinados también para agua de riego y potable, los principales ríos que desembocan son: el río Cutuchi, río San Pedro y el río Pita.



7.9. Fundamentos de la Teledetección

7.9.1. Teledetección

Bella *et al.* (2008) Describe que la teledetección constituye una herramienta muy útil que hoy en día se utiliza para obtener información determinada de un objeto situado en la superficie terrestre, lo cual se obtienen por medio de sensores remotos activos y pasivos los cuales son encargados de detectar y grabar cuantitativamente la radiación electromagnética producida por el sol como también aquella energía emitida por la superficie terrestre que se ven reflejadas en distintas longitudes de onda.

7.9.2. Tipos de sensores

- **Sensores pasivos.** - Son los encargados de obtener información energética de la radiación electromagnética de fuentes naturales, reflejada por la superficie terrestre, se dividen en tres grupos distintos: fotográficos, fotoeléctricos y antenas, el primer grupo se encuentran la cámara fotográfica, el segundo el explorador de barrido, empuje y cámara de vidicon, y el tercero radiómetro de microondas.
- **Sensores remotos activos.** - Son los encargados de obtener información energética radiación electromagnética de fuentes artificiales para registrarla y analizarla, La característica principal de los sensores activos es la capacidad de proporcionar un haz de energético luego captura la reflexión sobre superficie que se observa (Sarmiento, 2001).

7.9.3. Resoluciones del sistema del sensor

Es el conjunto de sistemas que analiza la información, capaz de capturar los detalles a la perfección, se encarga de analizar el número y ancho de banda del espectro electromagnético, a su vez debe tener la capacidad de distinguir variaciones en la energía reflejada que detecta el sensor. Según Sánchez (2012) el sistema de sensores depende mucho del conjunto de resoluciones, las cuales están estrechamente relacionadas entre sí y que a continuación se detallan:

1. **Resolución espacial.** - Se refiere al tamaño más pequeño de un objeto que se puede seleccionar de los objetos o características que lo rodean. "Está constituida por el tamaño del pixel que se puede observar en la imagen medida en metros sobre el terreno, esto depende de la altura del sensor con respecto a la tierra, el ángulo de visión, la velocidad de escaneado y las características ópticas del sensor". (Sánchez, 2012, p. 14)
2. **Resolución espectral (Número de bandas y ancho de banda).** - La resolución espectral representa el número de bandas espectrales que puede distinguir el sensor. (Edrosa, 2011)



afirma que la información multispectral es muy interesante porque se puede detectar en diferentes bandas el comportamiento de los objetos presentes en la superficie, mientras más bandas espectrales proporcionando el sensor, la cobertura puede espectralmente caracterizar mejor.

3. **Resolución temporal.**- Desde la perspectiva de Chuvieco. (2008) “resolución temporal es la frecuencia o periodicidad con la que el sensor adquiere las imágenes; y la resolución angular se refiere a los ángulos en los que la misma zona puede ser observada por el sensor” (p. 95). La resolución temporal se refiere al período de tiempo más corto en el que un sensor volverá a visitar o pasará por el mismo lugar en la superficie de la Tierra. Debido a que existe cierto grado de superposición en las franjas de imágenes de las órbitas adyacentes de la mayoría de los satélites y esta superposición aumenta con el aumento de la latitud, algunas áreas de la Tierra tienden a volver a generar imágenes con mayor frecuencia que otras. *Landsat* tiene una resolución temporal de 16 días, mientras que *AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer)* tiene una resolución temporal de solo 12 horas. (Campbell, 2007).

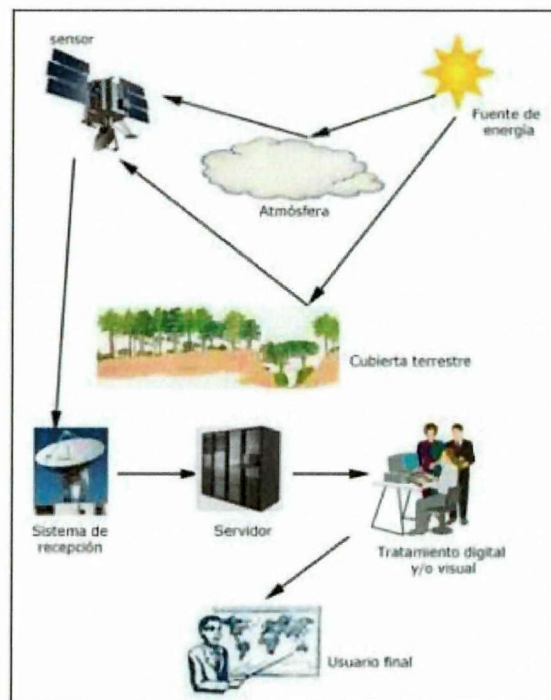
7.9.4. Elementos de la teledetección

1. **Fuente de energía.** – Procedente de la radiación electro-magnética que detecta el sensor, puede tratarse de un eje extremo a este, donde se hablaría de teledetección pasiva o de un haz electromagnético emitido por un sensor denominando teledetección activa. Chuvieco, (2008) afirma que el sol es la fuente más importante de generación de energía. Sin embargo, se puede realizar teledetección a partir de la energía emitida por los mismos objetos observados, o desde fuentes artificiales.
2. **Cubierta terrestre.** - Recibe la señal energética de la fuente de energía y refleja según sus propiedades físicas.
3. **Sistema de recepción.** - Su tarea es capturar la energía de la cobertura terrestre (2), para posterior codificarla y enviarla directamente al sistema receptor (4).
4. **Sistema de sensor.** – Es donde se recibe la información del sistema de recepción se registra y se distribuye a los intérpretes.
5. **Interprete.** - Una persona que es específicamente responsable de convertir los datos del sistema de sensor, en información temática de interés, ya sea visual o digital lo cual facilita el análisis de un estudio.
6. **Usuario final.** – Encargado de analizar el esquema presentado (Chuvieco, 2008).

La Ilustración 1 muestra el proceso que lleva la teledetección hasta obtener un producto final, también se observan los componentes que utiliza para que sea posible la captura de las imágenes satelitales.

Ilustración 1

Esquema y componentes principales de un sistema de teledetección espacial.



Nota. El usuario final usa la información tratada y cuantificada de imágenes ráster, las cuales sirven para varias investigaciones a futuro. Fuente: REDIAM (2018).

7.9.5. La teledetección aplicada al estudio del Medio Ambiente

La teledetección es una técnica muy eficiente que está basada en la adquisición de datos de la superficie de la tierra por medio de sensores instalados en plataformas especiales, la generación de datos se da por la interacción electromagnética.

- 1. Aplicación de teledetección.** - En el estudio de la vegetación, la teledetección se puede aplicar para determinar la cubierta vegetal, tipo de planta, bosques, cultivos y usos agrícolas, así como la forma de la planta, productividad, salud y ciclo vegetativo (Miralles, 1991, p. 45). Para la creación de mapas temáticos los cuales muestran el estado actual del tipo de vegetación existente en el lugar de estudio.

Sin embargo, es interesante esta disciplina ya que su versatilidad, con datos que ofrece abastece a varios campos como: la geología, ecología, agricultura, meteorología, etc. A causa



de esto las aplicaciones son muy amplias dentro del medio ambiente, y se describen a continuación las más destacadas:

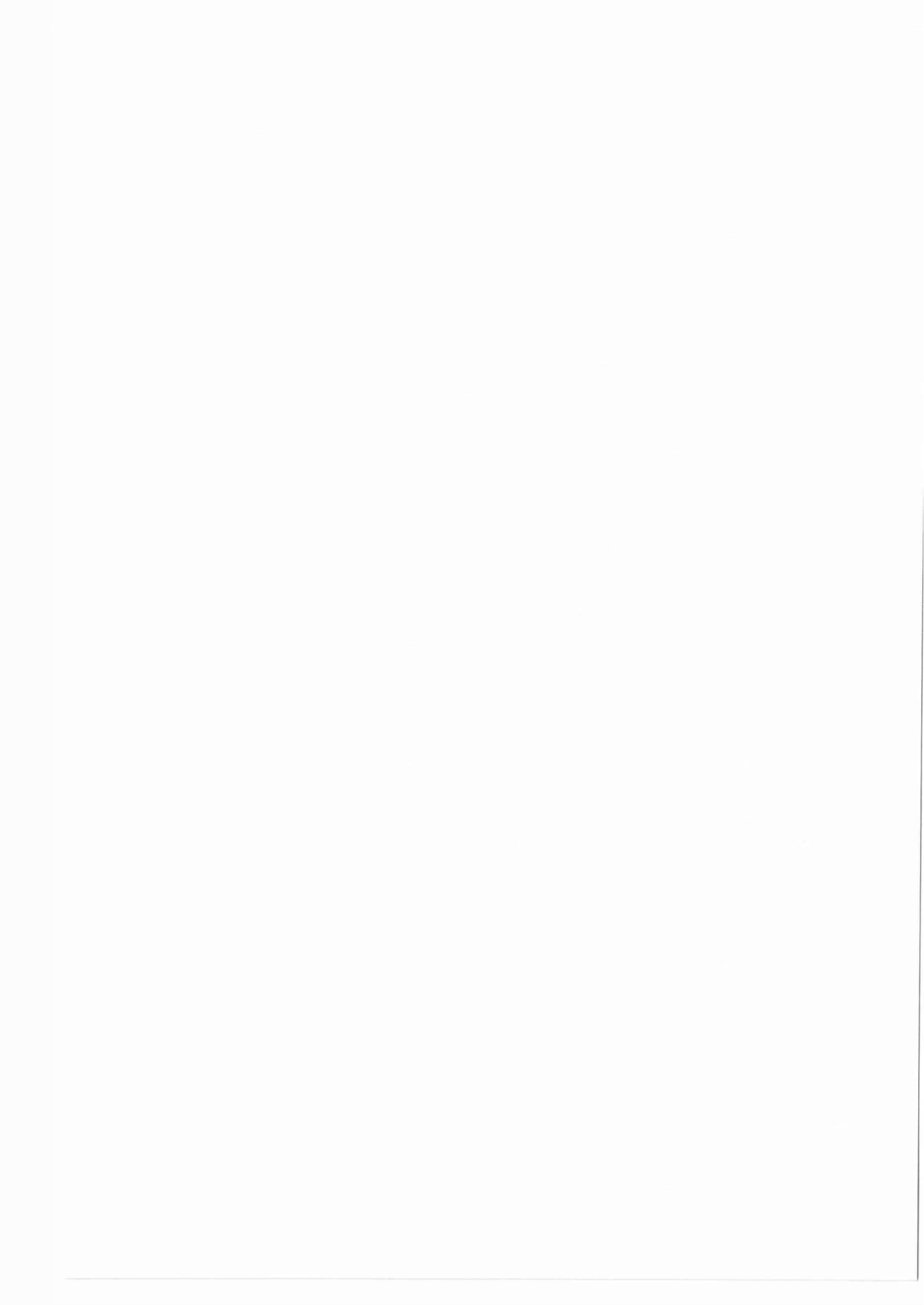
- Estimación del consumo de agua en la agricultura
- Mapas de bosques y cultivos
- Seguimiento de prácticas agrícolas
- Detección y seguimiento de inundaciones
- Detección de grandes catástrofes naturales
- Detección de zonas quemadas
- Estudio de la erosión de playas y arenales
- Inventario regional para usar en estudios de impacto ambiental
- Inventario de agua superficial
- Medidas de movimientos de icebergs en zonas polares o de movimientos sísmicos
- Cartografía térmica de la superficie del mar
- Medición de la salinidad del mar
- Control de la calidad física del agua superficial: turbidez y contenido de algas.
- Cartografía de la cobertura vegetal del suelo
- Evaluación de las condiciones de estrés en la vegetación debidas a sequía o deforestación.
- Cartografía de usos del suelo y estudios de cambios de usos del suelo
- Predicción del rendimiento de cultivos.

2. Función de la teledetección en el estudio de medio ambiente

La teledetección de recursos naturales se fundamenta en un sistema remoto de recopilación de datos de la biosfera basado en las características de la radiación electromagnética y sus interacciones con los materiales en la superficie de la Tierra. Es decir, examina las variaciones espectrales, espaciales y temporales de las ondas electromagnéticas y revela las correlaciones que existen entre ellas y las propiedades de diversos materiales terrestres. Su objetivo principal es identificar los materiales de la superficie terrestre y los fenómenos que en ella se operan por medio de su firma espectral (Sacristán, 2005).

7.9.6. Imágenes satelitales

Las imágenes satelitales son modelo *Ráster* que divide la zona de estudio en una agrupación de celdas cuadradas dispuestas en un orden particular. Según Gutiérrez, (2016) afirma que todos modelos de estas celdas obtiene un valor único que se supone que representa toda el área cubierta por la celda. Por su parte Muñoz & De La Cruz (2016) indica que las imágenes se han convertido en



un instrumento favorable para la evaluación y el seguimiento de cualquier elemento sobre la tierra y de su comportamiento en determinados periodos de tiempo, infiriendo los componentes determinantes en los cambios que se presenten en la cobertura terrestre.

7.9.7. Características del Landsat 7, 8,

1. Satélite Landsat 7

Dirección General de Geografía y Medio Ambiente (1993) afirma que el satélite lanzado el 15 de abril de 1999, y en la actualidad aún sigue en servicio, capta y transmite un máximo de 532 imágenes por día, orbita en Heliosincrónica, esto quiere decir que pasara por el mismo lugar en una determinada hora, además tiene acceso a toda la visión de la superficie de la tierra en solo 15 días, pesa 1973 kilogramos y mide 4.04 metros de largo por 2.74 metros de diámetro. Lo que hace diferente a los anteriores satélites *Landsat* es que posee una capacidad de almacenamiento de 378 gigabytes que equivalen a 100 imágenes y el sensor que lleva es el (ETM+)

Tabla 6

Características generales del satélite Landsat 7.

MODO ESPECTRAL	ESPACIAL (METROS)	ESPECTRAL (MICRAS)	RADIOMÉTRICA	TEMPORAL
PANCROMÁTICA	15	Banda 8. Pancromática	0.52 - 0.90	
		Banda 1. Azul	0.45 - 0.52	
		Banda 2. Verde	0.53 - 0.61	
		Banda 3. Roja	0.63 - 0.69	
MULTIESPECTRAL	30	Banda 4. Infrarrojo cercano1	0.78 - 0.90	8 BITS
		Banda 5. Infrarrojo cercano2	1.55 - 1.75	16 días
		Banda 6. Infrarrojo medio	2.09 - 2.35	

Nota. El sensor del satélite Landsat 7 presento un error, por el cual se debe realizar la corrección de bandeo la cual fue implementado en la descargar de las imágenes con un procesamiento 1. Fuente: INEGI. Dirección General de Geografía y Medio Ambiente.



2. Satélite *Landsat 8*

El satélite *Landsat 8* fue lanzado en el año 2013 por la *NASA* e incorpora dos instrumentos de barrido: *Operational Land Imager (OLI)*, y un sensor térmico infrarrojo llamado *Thermal Infrared Sensor (TIRS)* el cual recoge dos bandas espectrales en longitudes de onda incluidas por la misma banda en los anteriores sensores *TM* y *ETM*. Por su parte Ariza (2013) describe que las imágenes *Landsat 8* adquiridas por los sensores (*OLI*) y (*TIRS*) consisten en 9 bandas espectrales con una resolución espacial de 30 metros para las bandas 1 a 7 y 9. La banda (1) (azul oscuro) se puede utilizar para estudios costeros y aerosoles. Para la detección de cirrus se usa la banda (9). La banda 8 (pancromática) tiene una resolución de 15 metros. Hay dos bandas térmicas, 10 y 11, disponibles para proporcionar temperaturas superficiales más precisas y se capturan con una resolución de 100 m (Tabla 2) Distribución de las bandas en *OLI* y *TIRS*.

A continuación, en la tabla 7, se muestra las especificaciones técnicas de los sensores que contiene el satélite *landsat 8*.

Tabla 7

Distribución de las bandas en OLI y TIRS

LANDSAT 8 OPERATIONAL LAND IMAGER (OLI) AND THERMAL INFRARED SENSOR (TIRS)	BANDAS	LONGITUD DE ONDA (MICRÓMETRO S)	RESOLUCIÓN (METROS)
	Banda 1 - Aerosol costero	0.43 - 0.45	30
	Banda 2 - Azul	0.45 - 0.51	30
	Banda 3 - Verde	0.53 - 0.59	30
	Banda 4 - Rojo	0.64 - 0.67	30
	Banda 5 - Infrarrojo cercano (<i>NIR</i>)	0.85 - 0.88	30
	Banda 6 - <i>SWIR</i> 1	1.57 - 1.65	30
	Banda 7 - <i>SWIR</i> 2	2.11 - 2.29	30
	Banda 8 - Pancromático	0.50 - 0.68	15
	Banda 9 - Cirrus	1.36 - 1.38	30
	*Banda 10 - Infrarrojo térmico (<i>TIRS</i>) 1	10.60 - 11.19	100
FEBRUARY 11, 2013	*BANDA 11 - INFRARROJO TÉRMICO (TIRS) 2	11.50 - 12.51	100

Nota. El satélite podrá tomar una fotografía de la misma zona cada 2 semanas. Fuente: USG (2013)

7.10. Combinaciones de banda

Con las combinaciones de banda se puede resaltar las variaciones de color, textura, tonalidad y diferenciar los distintos tipos de cobertura que existe en superficie a continuación se muestra las combinaciones de bandas de las imágenes satelitales *Landsat 7* y *8*.

Tabla 8

Combinación de bandas Landsat 7, 8.

DESCRIPCIÓN	COMBINACIÓN (ELECTRO)	
	<i>Landsat 7</i>	<i>LANDSAT 8</i>
COLOR NATURAL	3-2-1	4-3-2
FALSO COLOR (URBANO)	7-5-3	7-6-4
COLOR INFRARROJO (VEGETACIÓN)	4-5-3	5-4-3
AGRICULTURA	5-4-1	6-5-2
PENETRACIÓN ATMOSFÉRICA	7-5-4	7-6-5
VEGETACIÓN SALUDABLE	5-4-1	5-6-2
TIERRA / AGUA	5-4-3	5-6-4
NATURAL CON REMOCIÓN ATMOSFÉRICA	7-4-2	7-5-3
INFRARROJO DE ONDA CORTA	4-3-2	7-5-4
ANÁLISIS DE VEGETACIÓN	7-4-2	6-5-4

Nota. En el actual estudio se utilizó la combinación de bandas para análisis de vegetación. Fuente: Changalombo & Rivera (2021).

7.11. Pre-Procesamiento de imágenes

Bonilla & Taípe (2021) Mencionan que “la etapa de pre-procesamiento consiste en corregir distorsiones radiométricas y geométricas de los datos crudos de la imagen satelital. Las distorsiones radiométricas alteran valores de brillo de los píxeles, las distorsiones geométricas tienen efecto panorámico y curvatura terrestre” (p. 39). Se realiza en las imágenes satelitales la corrección atmosférica, geométrica y radiométrica según sea necesario.

7.11.1. Corrección geométrica

La corrección geométrica de las imágenes satelitales se puede abordar según dos procedimientos. Uno de ellos son la corrección orbital donde se pretende modelar aquellas fuentes de error geométrico conocidas, a partir de aplicar transformaciones inversas a las que realiza el sensor en el momento de la adquisición. Para ello es necesario disponer con suficiente precisión de las características orbitales de la plataforma y especificaciones del sensor. El segundo enfoque se trata de modelar un error geométrico sobre una serie de puntos con coordenadas conocidas, llamados puntos de control, en este caso el error se modela con sensatez porque se incluyen todas las fuentes del error también en las funciones de transformada, asumiendo que estos puntos son suficientemente representantes de la deformación geométrica conformada (Chuvieco, 2008).

7.11.2. Corrección radiométrica

Mediante la corrección radiométrica se mejora la precisión, en la cual se busca descomponer la imagen en valores de Niveles Digitales (ND), compensando así las diferencias en los valores de radiancia y la conversión de los ND a valores de radiancia y reflectancia, utilizando modelos de atmósfera y las geometrías de observación (Chuvieco, 2008).

7.11.3. Corrección atmosférica

Es importante realizar la corrección atmosférica debido a que los sensores remotos de la teledetección que capta principalmente la energía que refleja y es emitida por elementos presentes en la superficie terrestre. Esa radiación electromagnética sufre un cambio en sus dispersiones cuando interactúan con partículas presentes en la atmósfera lo cual provoca la disminución en el contraste de la imagen. Navia & Rivera (2016). Por lo tanto, es fundamental una corrección atmosférica de las imágenes satelitales ya que ayuda a eliminar estas dispersiones, y así mejorar el contraste y valores reales de la imagen.

7.11.4. Corrección de bandeo de las imágenes Landsat 7

Se realiza la corrección con el fin de corregir defectos de los valores de píxeles en algunas de las bandas de las imágenes *Landsat 7*. Vidal *et al.* (2020) afirma que en el año 2003 el satélite sufre una falla en el corrector de líneas y se apaga, lo cual generó problemas de bandeo de las imágenes provocando la presencia de franjas con ausencia de información y fue afectado en un 7% el centro de la imagen y 38 % cerca de los bordes.

7.12. Procesamiento de imágenes satelitales

El procesamiento de imágenes satelitales “es la aplicación de técnicas matemáticas, estadísticas y computacionales, que permiten mejorar, corregir, analizar y extraer información de las imágenes captadas por los sensores a bordo de los satélites” (Basterra, 2017, p. 22). El cual se lo realiza en el *software ArcGIS Pro* y *Qgis*.

7.12.1. Fase de entrenamiento

Chóez. (2018) describe que “una vez pasados los datos por todo tipo de correcciones requeridas, se da la definición de clases mediante dos métodos complementarios en las imágenes satelitales esta etapa es conocida como fase de entrenamiento” (p. 19). Es decir, se lo realiza con el fin de entrenar al clasificador del programa *ArcGIS Pro* para realizar la clasificación supervisada de cobertura vegetal del área de estudio.



7.12.2. Leyenda temática de Cobertura y Uso de tierra

La leyenda fue definida con base a la información del mapa de cobertura vegetal y uso del suelo generado por el MAGAP-MAE, en el año 2015 a escala 1:25 000. En este sentido, Instituto Estudios Ecuatoriano (IEE) *et al.* (2016) sostuvo al respecto que:

La determinación de las diferentes coberturas se adaptó a una nueva estructura de leyenda temática de Cobertura y Uso de la Tierra, en base del catálogo nacional de objetos del Consejo Nacional de Geo información (CONAGE) hasta el segundo nivel, en virtud que no se realizó comprobación de campo. (p. 12) Para ello se definió los siguientes parámetros:

Tabla 9

Leyenda temática de Cobertura y Uso de la Tierra.

NIVEL I	NIVEL II
TIERRAS FORESTALES	Bosque nativo (BN) Plantación forestal (BP)
TIERRAS ARBUSTIVAS Y HERBÁCEAS	Páramo (PR) Vegetación arbustiva (MT) Vegetación herbácea (VH)
TIERRAS AGROPECUARIAS	Pastizal (PZ)
CUERPOS DE AGUA	Natural (AN)
ZONAS ANTRÓPICAS	Infraestructura Antrópica (IM)
TIERRAS SIN COBERTURA VEGETAL	Erial (OS) Glaciar (OG)

Nota. La leyenda que fue utilizada en el estudio del IEE fue una adaptación de la CONAGE (Consejo Nacional de Geoinformación). Fuente: Base de datos de Cobertura y Uso de la Tierra.

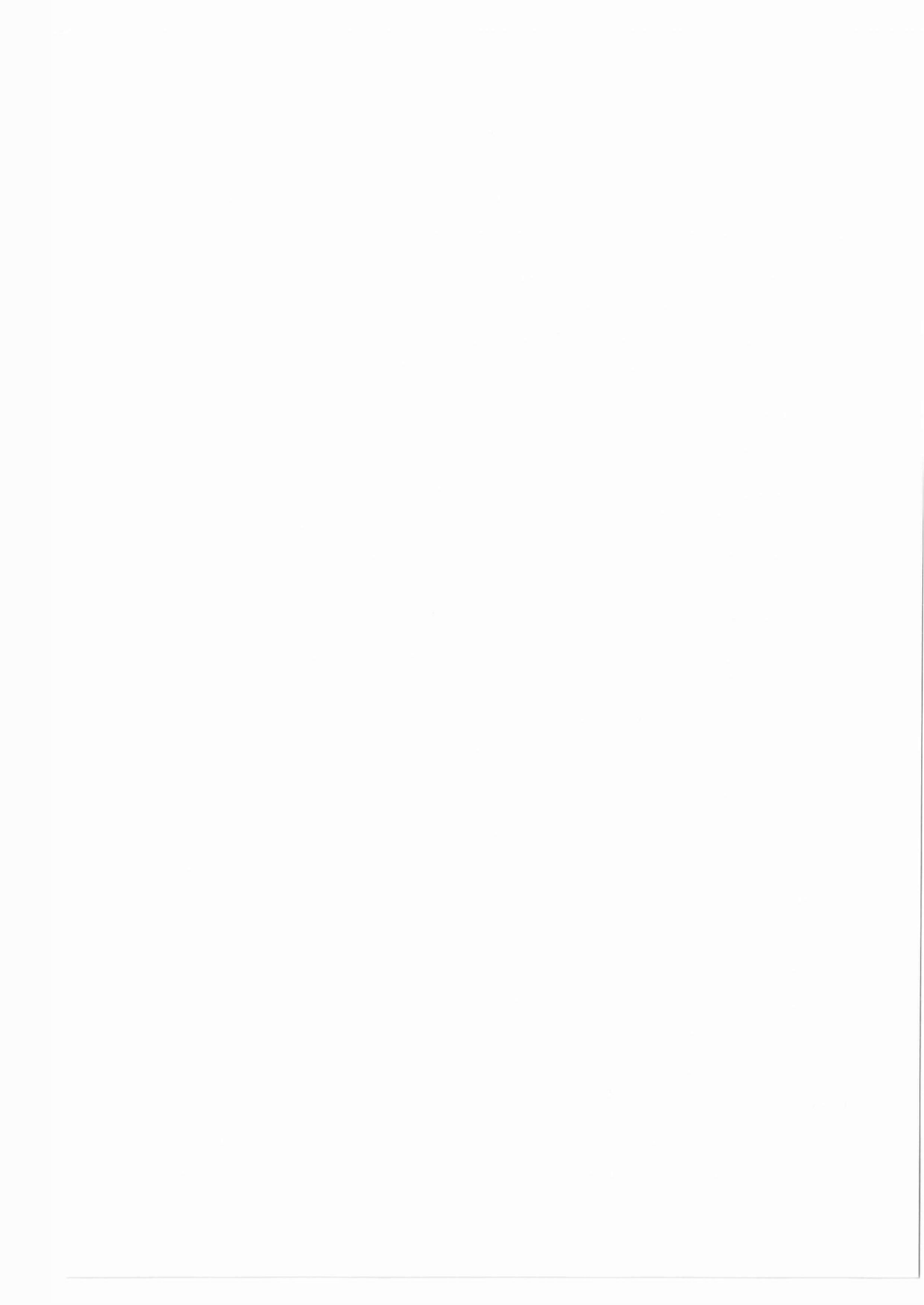
7.12.3. Método no supervisado

Este método de clasificación intenta definir las clases espectrales presentes en la imagen, es decir que no es necesario conocer el área de estudio. Por ende, la intervención humana se centra en la interpretación de los resultados.

Este método asume que los niveles digitales (ND) de la imagen se agrupan en una serie de conglomerados (o clusters) que se corresponden con grupos de píxeles con un comportamiento espectral homogéneo y que, por ello, deberían definir unas clases informacionales de interés (Gómez & Giner, 2018, p. 7).

EL método hace referencia que quien define las clases de acuerdo a los datos es su propio algoritmo en este sentido, Ramírez. (2013) sostuvo al respecto que:

Para llevar esto a cabo es necesario suministrar algunos valores tales como el número de clases que se desea crear los tamaños mínimos y máximos de cada una, o ciertas tolerancias para la



distinción entre clases. Estos parámetros (guían) al algoritmo en la definición de clases, que se produce en estos métodos de forma simultánea a la asignación de los elementos a una u otra de dichas clases. (p. 2)

Para concluir el método es esencial para cuando no se ha realizado una visita de campo al área de estudio.

Una de las cuestiones más interesante de los métodos de clasificación no supervisado según Ramírez. (2013) “entrega una capa *Ráster* con los píxeles clasificados. Sin embargo, no se tiene conocimiento acerca de las clases de cobertura suministrados por el algoritmo, y será necesario estudiarlas después para saber que representa cada una de ella” (p. 2).

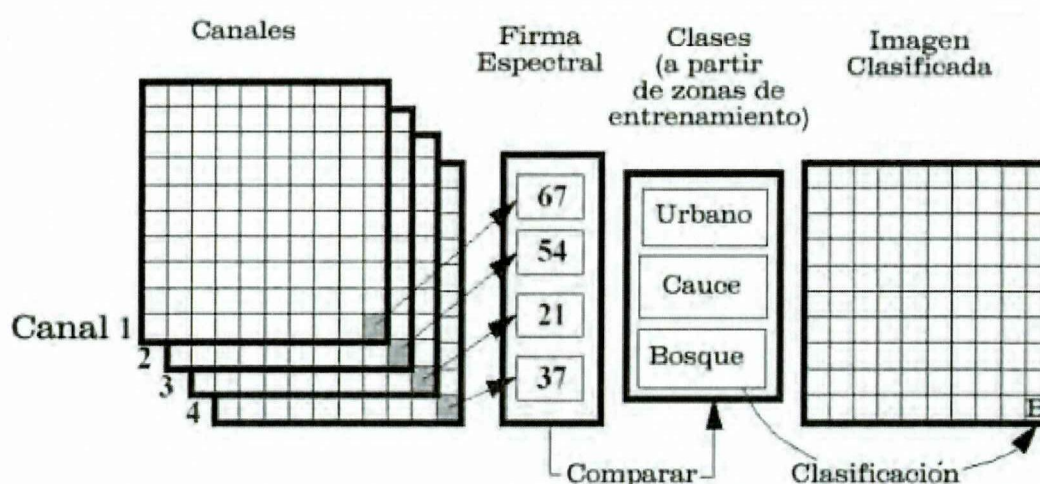
7.12.4. Método supervisado

Desde el punto de vista de Gómez & Giner. (2018) “este método de entrenamiento requiere un cierto conocimiento de la zona de estudio que permite delimitar sobre la imagen unas zonas o áreas representativas de las distintas categorías que se pretenden discriminar” (p. 6). Es decir, las áreas de entrenamiento sirven para preparar al ordenador en el reconocimiento de las distintas categorías.

La clasificación supervisada pretende definir las clases temáticas que no tengan claro significado espectral, considerada por esto como un método artificial.

Ilustración 2

Esquema de clasificación digital supervisada.



Nota. Se muestran las etapas que tiene la clasificación, en el medio se puede apreciar las clases que el autor entrena al programa para entregar un producto digital supervisado. Fuente: Gómez & Giner (2018).

Las etapas en el proceso de clasificación supervisada de acuerdo a (Posada, 2012, p. 110) son las siguientes:

- Análisis estadístico visual de las bandas
- Elaboración de la leyenda
- Selección y delimitación de las áreas de entrenamiento
- Evaluación estadística de las áreas de entrenamiento

7.12.5. Fase de asignación

Una vez pasada la fase de entrenamiento, y ya teniendo un conjunto de clases de las bandas espectrales, se debe tratar de adjuntar los píxeles a cada clase, para esto existen varios procedimientos, pero los más usados se los detallan a continuación:

1. Clasificador por máxima verosimilitud

En este método se debe tener calculado la media y la desviación típica de las clases ya obtenidas en la fase de entrenamiento. Este clasificador asume que los píxeles siguen una función de distribución normal por probabilidad, asignándolos por probabilidad de pertenecer a esa clase. Esto quiere decir que el clasificador asignará al píxel a la clase más cercana espectralmente (Chóez, 2018).

7.13. Post-procesamiento/ validación de resultados

Permite conocer la fiabilidad y precisión de lo obtenido durante el proceso de clasificación en relación con eso Bonilla & Taipe. (2021) sostuvo al respecto que:

Uno de los métodos más utilizados es la matriz kappa o matriz de confusión, en la que se debe tomar en cuenta la diagonal de la matriz porque indica la cantidad de píxeles reales de la clasificación que concuerdan por clase, mientras que los restantes están confundiendo con las otras categorías. (p. 47)

7.13.1. Tipos de muestreo de validación

Los más utilizados para el muestreo de campo y validación de mapas, son basados en el principio de la equiprobabilidad, esto quiere decir que los métodos utilizados tengan la misma probabilidad de ser observadas, asegura las características más importantes de la muestra extraída.

1. Muestreo aleatorio simple

Este tipo de muestra asigna un número a cada unidad muestral (u.m) de la población total, luego a través del método puede ser matemático con un ordenador o tablas de números aleatorios, se asignan varas u.m necesarias para completar la muestra requerida (ilustración 3) (Boca & Rodríguez, 2011). Este tipo de muestra simple, da consideración a las unidades experimentales homogéneas, pero no es útil cuando la población llegue a ser heterogénea.

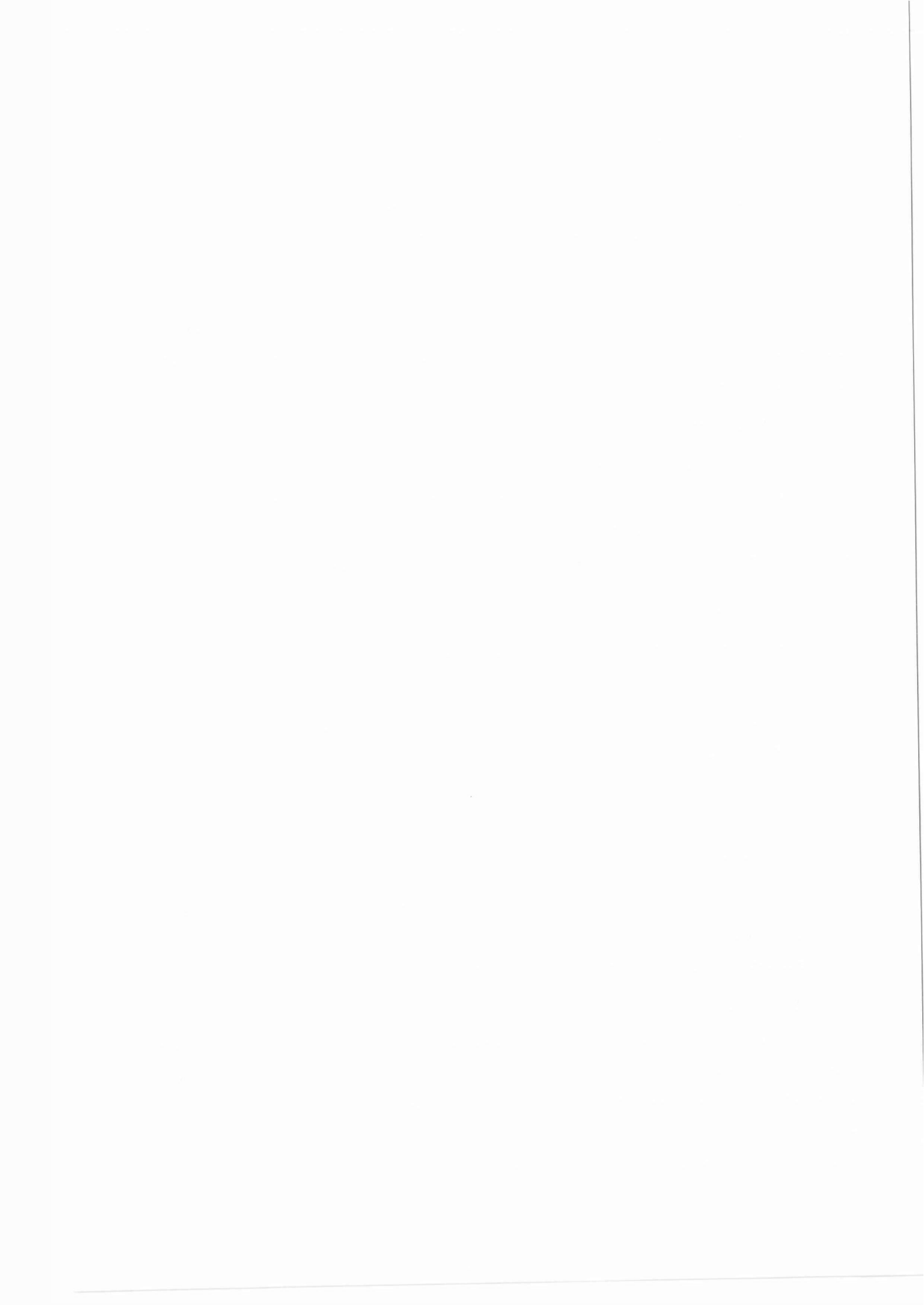
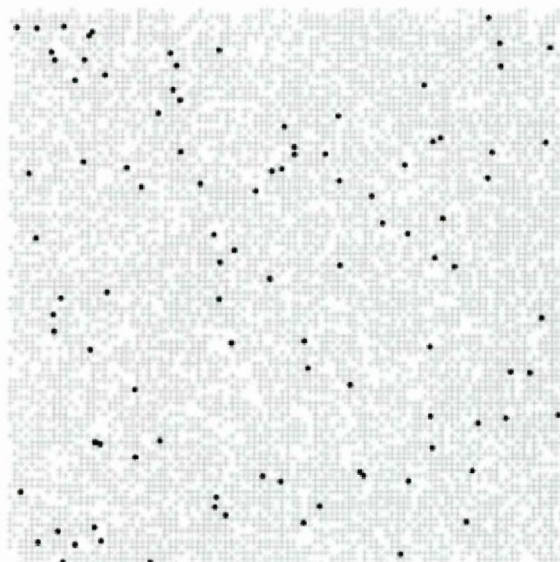


Ilustración 3

Disposición espacial de las observaciones bajo un muestreo aleatorio.



Fuente: (Boca & Rodríguez, 2011)

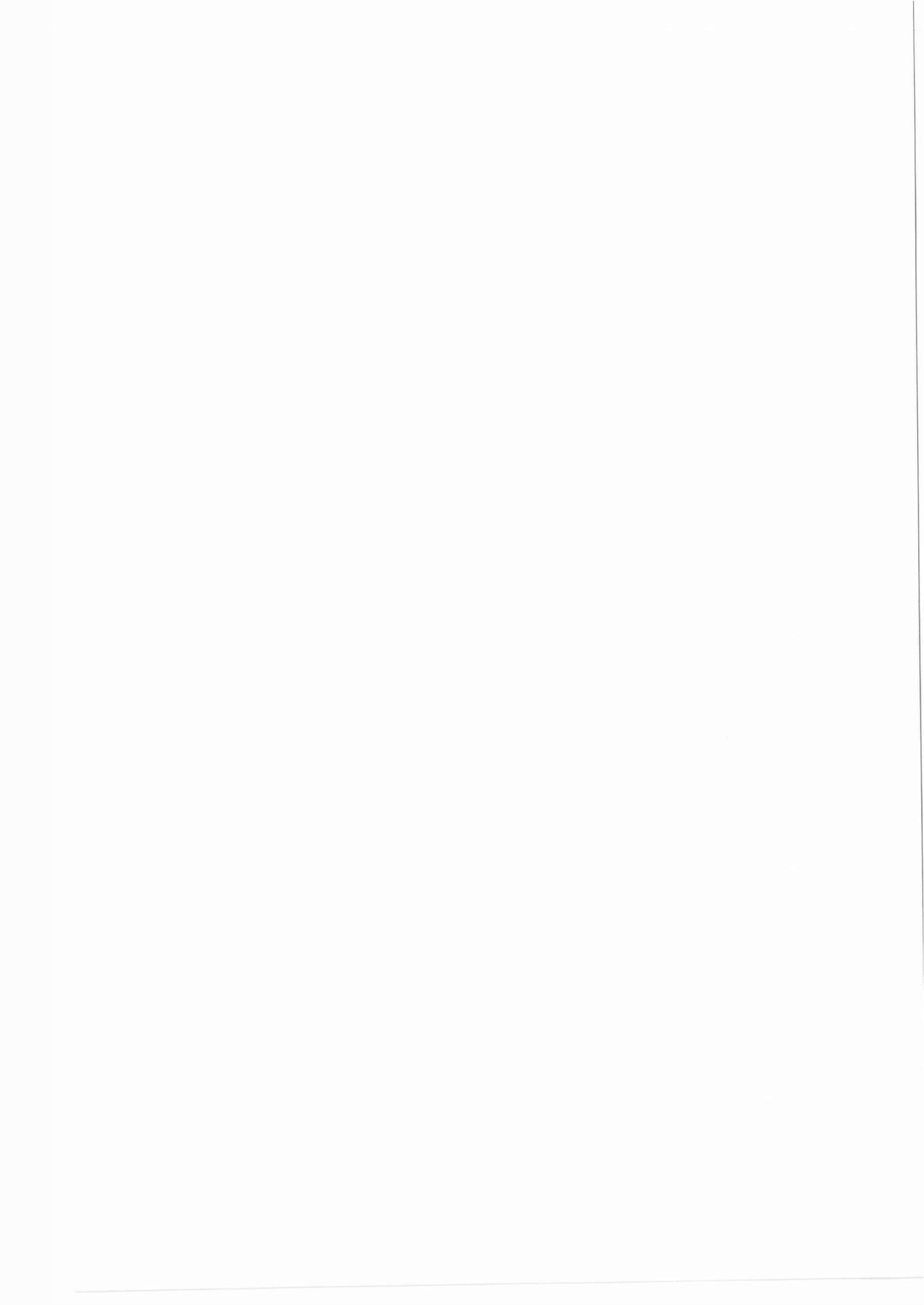
7.13.2. Matriz de transición

La matriz de transición es muy eficiente para identificar las transiciones más importantes del cambio de cobertura vegetal “debido a que la estructura está dada por una doble entrada, donde las filas muestran valores de coberturas en una fecha inicial y las columnas muestran los valores de las fechas finales” (Alvarado & Mainato, 2021, p. 44). Por lo tanto la matriz ayuda a identificar las pérdidas y ganancias de las categorías.

7.13.3. Análisis multitemporal

De acuerdo con Medina. (2015) el análisis multitemporal está basado en la teledetección espacial debido a que “es una técnica que permite obtener conclusiones diferenciadas relacionadas con las transformaciones espaciales de una región. El procesamiento multitemporal implica que las series de datos provenientes de diferentes fechas, tienen que convertirse en un conjunto único de datos “ (p. 12).

El análisis multitemporal se usa para identificar cambios de superficie de la tierra “como los usos de suelo, la cobertura vegetal o la configuración del paisaje y demás factores del territorio según su aplicación” (Avila, 2021, p. 41). Es por ello que los estudios multitemporales son realizados a partir de mapas temáticos con el fin de evaluar los cambios existentes en la cobertura vegetal y el uso de suelo.



8. PREGUNTA CIENTÍFICA

¿Se puede determinar y cuantificar el cambio de la cobertura vegetal, utilizando el análisis multitemporal con imágenes satelitales en el Parque Nacional Cotopaxi?

Sí, es posible cuantificar los datos de los píxeles en imágenes que son tomadas por un satélite, el cual da por defecto un determinado color por píxel (30m x 30m), la equivalencia de los píxeles dependerá del sensor que tendrá dicho satélite, implementando métodos como el preprocesamiento, procesamiento post-procesamiento y la validación de datos, como la salida de campo y utilizando ortofotos para interpretar los colores, el cual puede llegar a datos 90% reales del suelo de la zona de estudio. Obtenida la información se realiza un análisis de los cambios o variaciones que se visualizan cada año o periodo, estos cambios pueden ser naturales o antrópicos.

9. METODOLOGÍA

A continuación se presenta el diagrama metodológico, el cual fue realizado para cumplir con los objetivos del trabajo de investigación, se dividió en 5 fases, se parte por la recopilación del material necesario y finaliza en la entrega de mapas temáticos del cambio de la cobertura vegetal del periodo de estudio, también se presenta la matriz de transición el cual está caracterizado las transiciones ocurridas de la cobertura vegetal, la información obtenida de los datos es en hectáreas y porcentaje del parque.

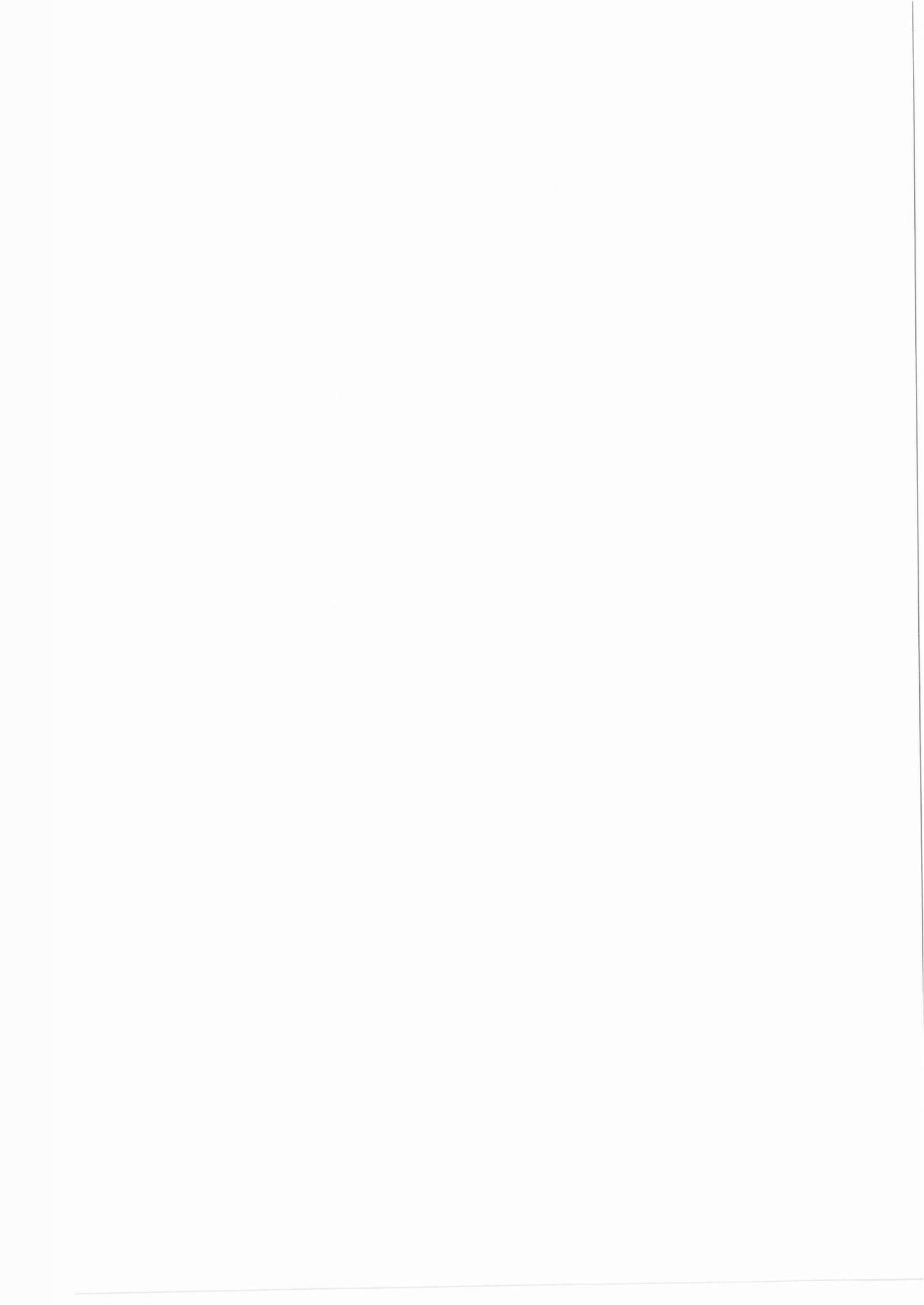
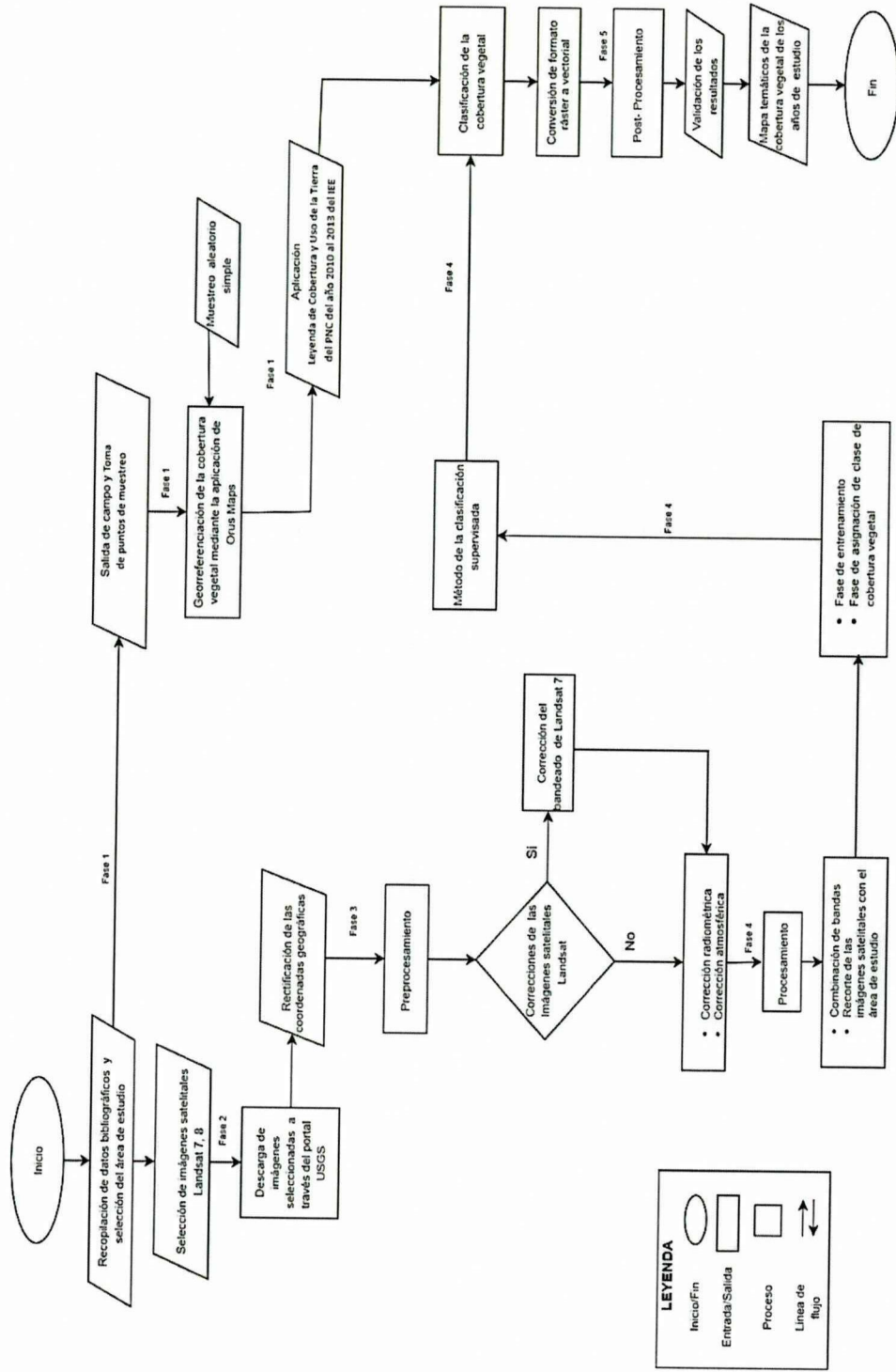
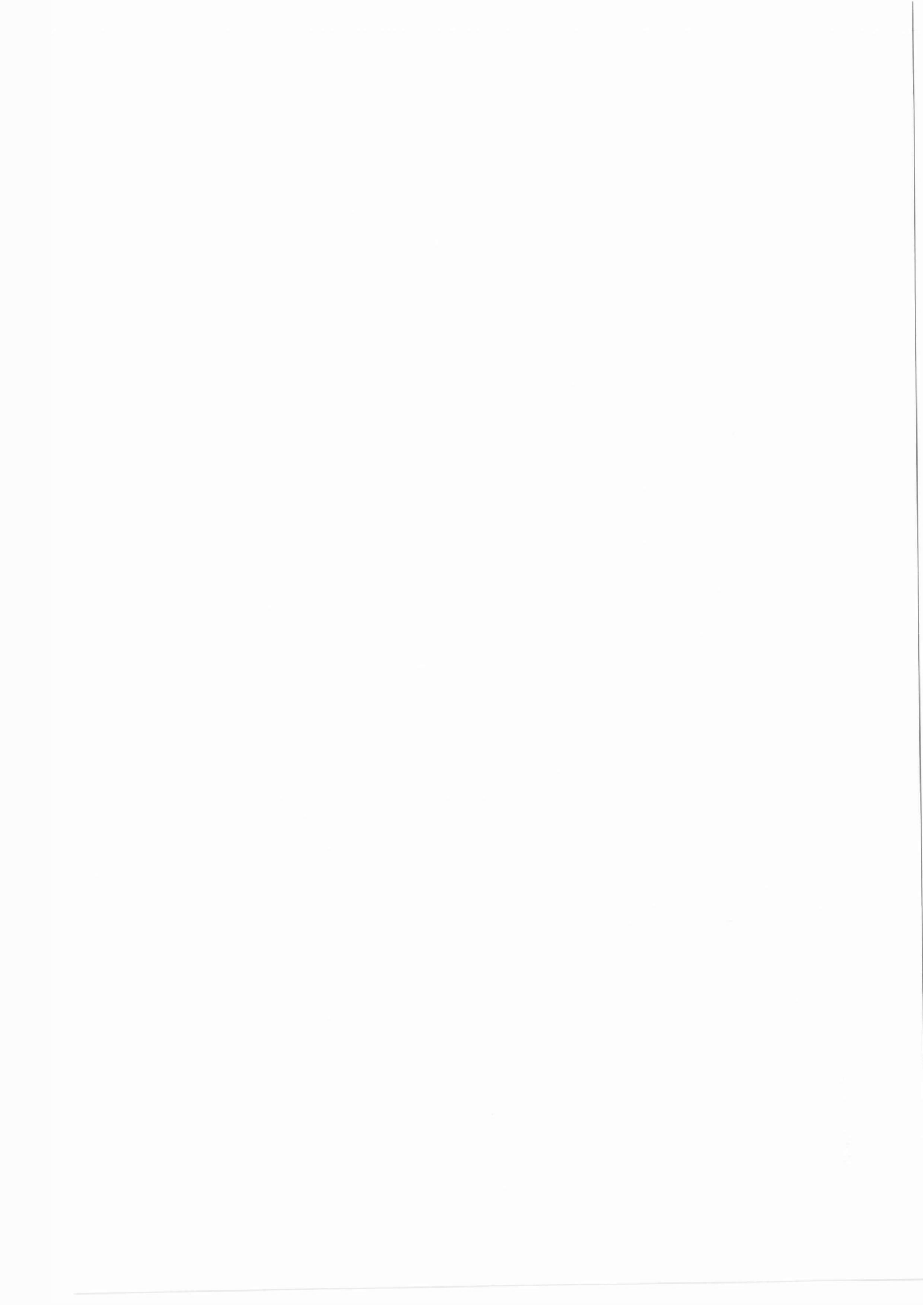


Ilustración 4

Diagrama metodológico.



Elaborado por: Equipo de investigación Luis Herrera, Nancy Herrera, 2022



9.1. Tipo De Trabajo

El enfoque del proyecto es de carácter cualitativo y cuantitativo, posee un alcance descriptivo, en el cual se plantea un análisis multitemporal del área, con las diferentes coberturas vegetales correspondientes a la zona de estudio, del Parque Nacional Cotopaxi en el periodo 2008 hasta el 2020. Por lo tanto, se realizó el análisis de las variaciones del cambio de cobertura vegetal en el PNC. El proyecto es no experimental según Hernández (2014) en este tipo de investigaciones no se efectúan la manipulación de las variables, es decir es netamente de observación directa de los fenómenos en su ambiente natural y así poder identificar para posterior analizar los cambios que se han desarrollado en el periodo de estudio en el Parque Nacional Cotopaxi.

9.1.1. Investigación Bibliográfica

Se recopiló información base para la conceptualización y definición de los términos utilizados para llevar a cabo el desarrollo del análisis de cambio de cobertura vegetal el PNC mediante técnicas de teledetección.

9.1.2. Investigación Descriptiva

Se obtuvo conocimiento necesario para describir las respectivas características del área de estudio, para identificar el tipo de cobertura vegetal existente en el PNC, mediante la toma de puntos de referencias en la salida de campo y descripción de tipo de cobertura

9.1.3. Investigación de campo

Permitió la recopilación de datos y obtener conocimiento con respecto al tipo de cobertura vegetal del PNC, para la cual se utilizó el programa Orux Map que ayudo en la georreferenciación de puntos de entrenamiento, identificación y validación del tipo de cobertura vegetal existente en la zona.

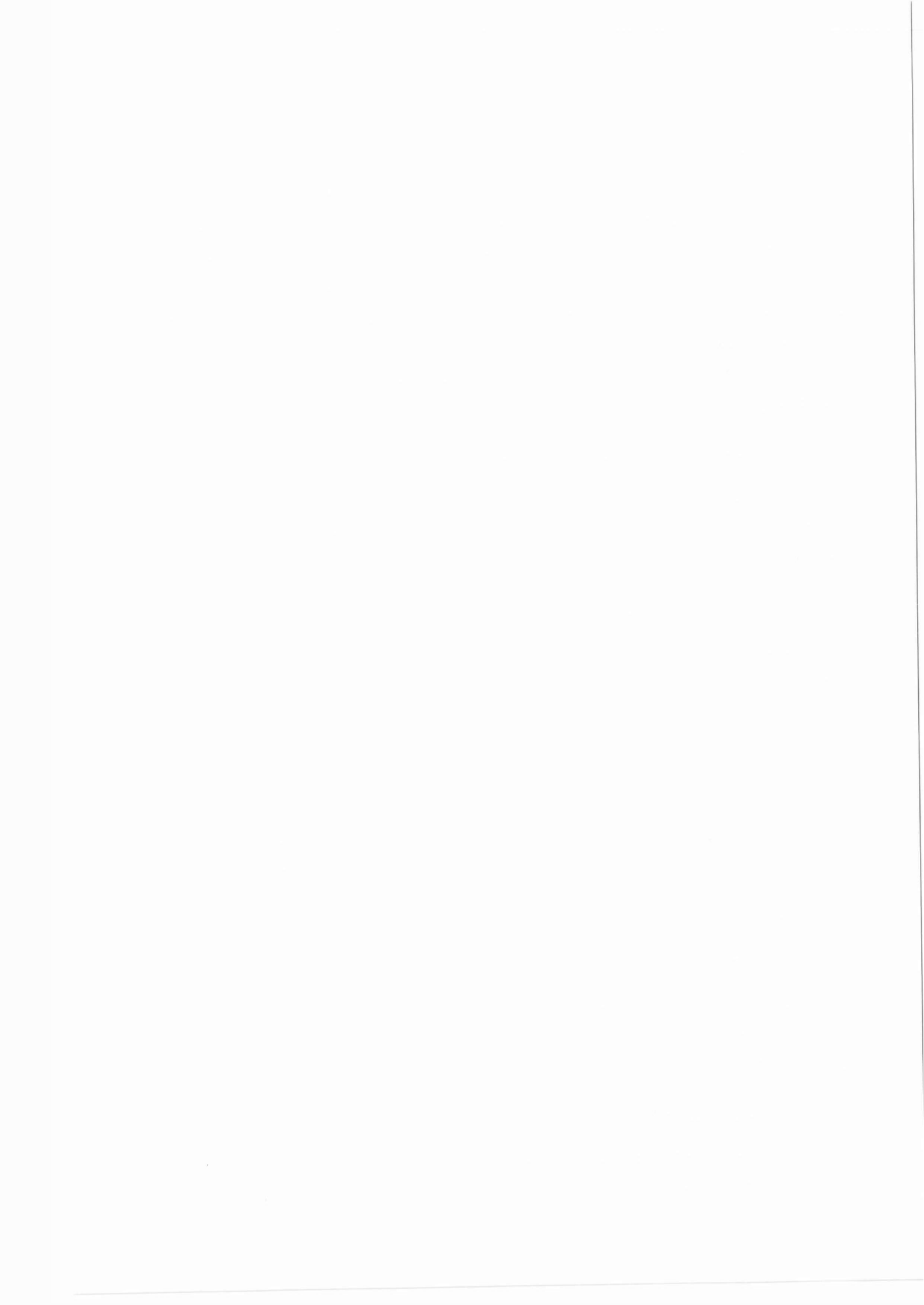
9.2. Métodos

9.2.1. Método de observación directa

La cual nos permitió validar datos que fueron obtenidos de las imágenes satelitales, mediante tablas comparativas de la superficie utilizando un análisis multitemporal del 2008 hasta el 2020, en el cual se identificó las variaciones de la cobertura vegetal existente en el parque.

9.2.2. Método exploratorio

Ayudo a destacar los aspectos principales de la problemática y a la verificación si es compatible con la realidad la información adquirida en fuentes teóricas como también cartográficas.



9.2.3. Método de máxima verosimilitud

El cual se usó para la clasificación de imágenes satelitales, mediante el software *ArcGIS Pro* el cual mediante un algoritmo que se aplica de forma sistemática a toda la imagen aglomera los pixeles una clase significativa dando como resultado las categorías encontradas en el parque.

9.2.4. Método de clasificación supervisada

Mediante este método se entrenó al software *ArcGIS Pro* como debe clasificar cada uno de los pixeles existentes en la imagen por medio de las áreas de entrenamiento, requiere la supervisión del usuario.

9.2.5. Método Analítico

Se utilizó en la validación de resultados del cambio de cobertura vegetal del PNC.

9.3. Técnicas

9.3.1. Observación directa

Permitió observar de manera clara el tipo de cobertura vegetal existente en el PNC y reconocer el tipo de especies representativas de cada cobertura vegetal.

9.4. Herramientas

Para la recopilación de datos u obtener la información necesaria para el desarrollo del estudio de uso varias herramientas como:

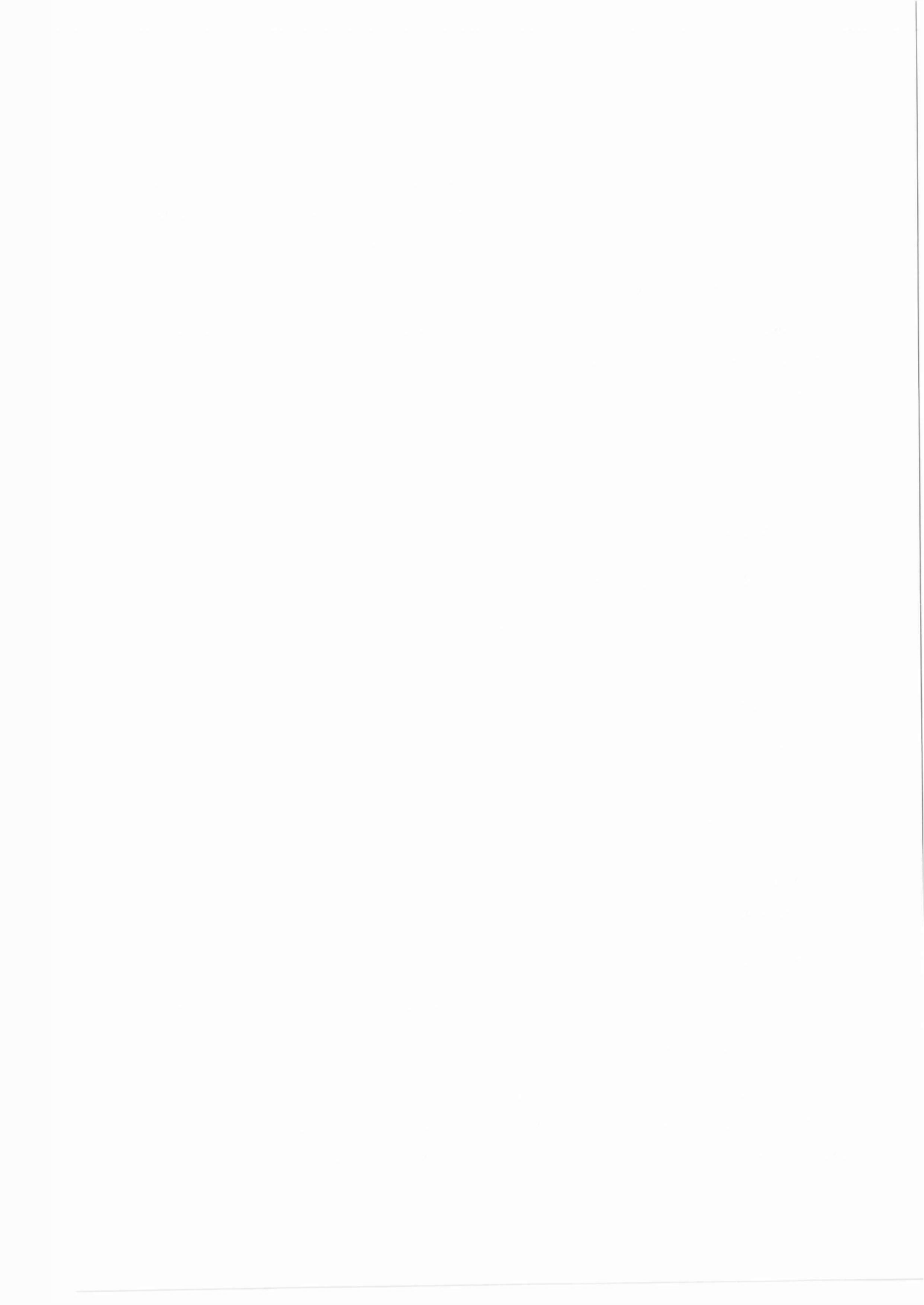
- Libreta de campo
- Cámara fotográfica
- Programa Orux Map (GPS)
- Computadora

9.5. Instrumento

El instrumento de medición utilizado para el desarrollo de la investigación es la observación

9.6. Área de estudio

La investigación se realizó en el Parque Nacional Cotopaxi el cual forma parte del sistema de Áreas Protegidas (SNAP), se encuentra entre las provincias de Cotopaxi, Napo, Pichincha con una extensión de 32 255 hectáreas es administrado por el Estado Ecuatoriano, ubicado en la Sierra Centro,



flanco oriental de los Andes, sus principales volcanes el Cotopaxi y Rumiñahui de los cuales nacen los ríos Cutuchi, San Pedro, Pita, Pedregal, Tamboyacu y el río tambo. Fue creado el 11 de agosto de 1975.

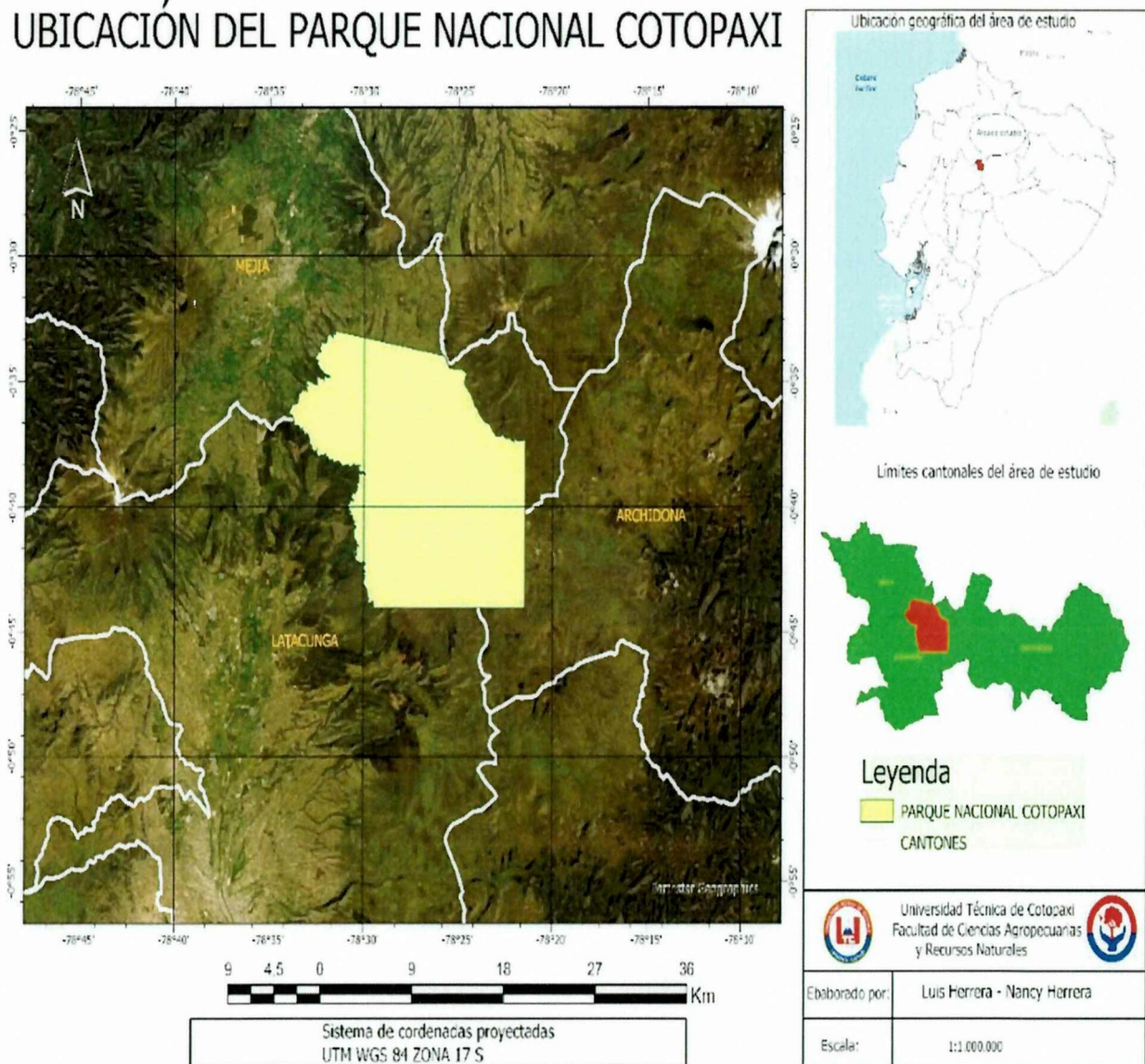
Se encuentra ubicado a 60 Km de distancia de la ciudad de Quito, 30 Km de distancia de la ciudad de Latacunga y 70km de la ciudad de Ambato, principal vía de acceso siendo la Panamericana Sur, entrando a El Chasqui. (Vinuesa, 2017).

9.7. Mapa de ubicación del PNC

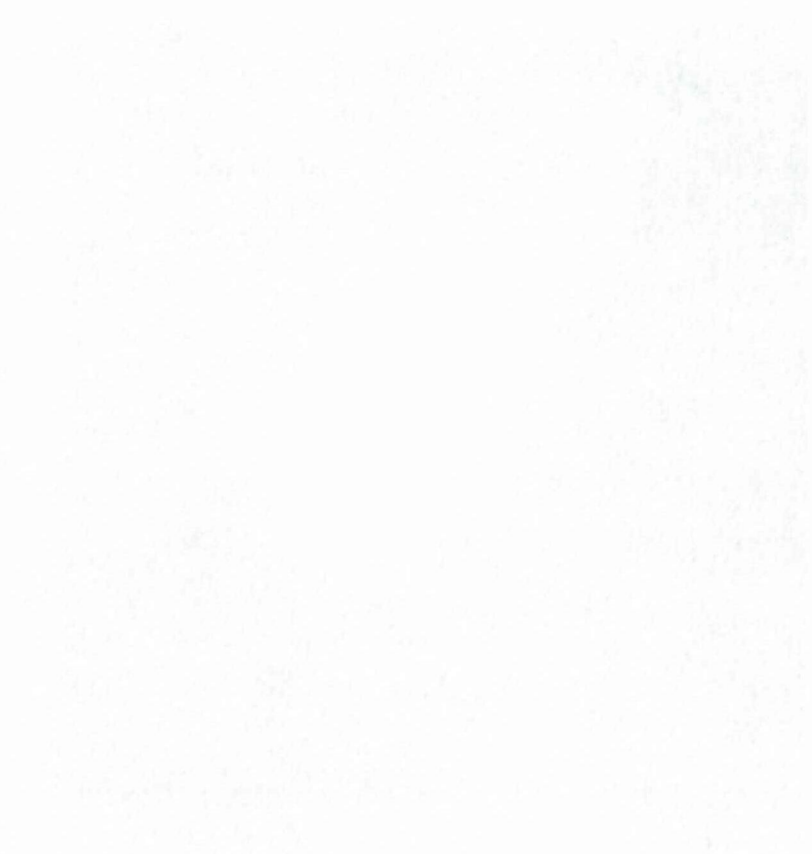
Ilustración 5

Mapa de ubicación Parque Nacional Cotopaxi (PNC).

UBICACIÓN DEL PARQUE NACIONAL COTOPAXI



Fuente: Equipo de investigación Luis Herrera, Nancy Herrera, 2022.



Población. - En el área de estudio se refleja 7 clases de cobertura vegetal las cuales serán analizadas en el periodo que abarca desde el año 2008 hasta el 2020, la cual comprende el área de 32.255 ha del PNC.

Muestra. - La muestra aplicada en el presente estudio parte de 5000 a 6000 puntos, tomados aleatoriamente por el software ArcGIS Pro mediante el método aleatorio simple, a los cuales fueron asignados clases para posteriormente realizar la clasificación supervisada, de la cobertura vegetal existente en el PNC del periodo de estudio. Sin embargo, para validación de los resultados obtenidos se tomó coordenadas geográficas en 18 puntos de las categorías que se reflejan en la ficha de campo ver Anexo 1.

9.8. Fases metodológicas

9.8.1. Fase 1

1. Recopilación de datos y selección del área de estudio

Se realizó una investigación del área de estudio, recopilando información de interés por varios medios como de, Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT), Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE), Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador (SNAP), Institutos de Espacial Ecuatorianos (IEE), en los cuales se obtuvo las características de la zona, bases de datos cartográficos, información de flora, fauna, uso de suelo, Leyenda de cobertura y uso de tierras, etc.

Se escogió el área actual de estudio porque existió variedad de información la cual sustenta el estudio multitemporal de esta zona, siendo de interés para varias provincias, ya que el lugar es una reserva del recurso hídrico, por sus páramos que actúan como esponjas, para lo cual es indispensable un estudio que permita analizar los cambios que ha existido en el PNC de la pérdida en la cobertura vegetal.

1.1. Delimitación del área de estudio. - Mediante el uso del programa *ArcGIS Pro* se procede a realizar la delimitación del área de estudio con datos adquiridos del *shapefile* de Áreas Protegidas Ministerio del Medio Ambiente (MAE) 2014, Parque Nacional Cotopaxi.

2. Selección de imágenes satelitales *Landsat 7* y *8*.

Para la interpretación de la cobertura vegetal del área de estudio se utilizó imágenes satelitales entre los años 2008 al 2020 las cuales fueron obtenidas del portal web *USGS* de los satélites *Landsat 7*, *8*, tomando en cuenta el porcentaje de nubosidad que no sobrepase el 10%.

3. Salida de campo

Se elaboró la ficha de campo para cobertura vegetal y uso de suelo, adaptando la leyenda de Cobertura y Uso de la Tierra del PNC del año 2010 al 2013 del IEE, con la que ayudó a identificar el tipo de cobertura existente en la zona de estudio.

Tabla 10

Ficha de campo.

FICHA DE CAMPO PARA COBERTURA VEGETAL Y USO DE SUELO DEL PNC						
LUGAR: PARQUE NACIONAL COTOPAXI						
FECHA (dd/mm/aa):		COORDENADAS			ANEXO	OBSERVACIONES
NIVEL 1	Código	Simbología	X	Y	Z	FOTOGRAFICO
Zonas forestales	1					
Páramo	2					
Vegetación arbustiva y herbácea	3					
Pastizales	4					
Glaciar	5					
Zonas sin cobertura vegetal	6					

Nota. En la ficha se encuentra con las 6 clases que se utilizaran en el estudio, menos la clase que se usara en la base de procesamiento de imágenes que se utiliza en nubosidad. Elaborado por: Equipo de investigación Luis Herrera, Nancy Herrera, 2022.

1. Levantamiento de información

Se realizó la visita de campo el 7 de junio del 2022 en el área de estudio, lo cual permitió la toma de coordenadas geográficas de los puntos de monitoreo con la ayuda del programa *OruxMaps*, registros fotográficos e identificación de tipo de cobertura existente en la zona, se registró un total de 18 puntos los cuales correspondían a zonas forestales, páramo, vegetación arbustiva y herbácea, pastizal, glaciar, y erial, mediante el muestro aleatorio simple.

El criterio técnico utilizado para la identificación de la cobertura vegetal en el Parque Nacional Cotopaxi, en primera instancia está basado en el protocolo para la elaboración del mapa de la Cobertura y Uso de la Tierra del Ecuador Continental 2013- 2014, el cual fue adaptada la leyenda de Cobertura y Uso de la Tierra del PNC, por auditoria del equipo de investigación (Álvarez & Macas, 2018).

9.8.2. Fase 2: Preparación

1. Selección de imágenes satelitales *Landsat 7, 8*

Para la selección y descarga de imágenes satelitales *Landsat ETM+, OLI TIRS* del área de estudio se recurrió al portal web del Servicio Geológico de los estados Unidos (*USGS*), cada imagen que se obtuvo tiene una resolución de 30 m de acuerdo al periodo de estudio, se seleccionó las imágenes que se encuentran dentro de la época de estiaje que va desde el mes de junio a septiembre, con el fin de obtener una imagen con un porcentaje menor de nubosidad en la zona de interés, la adquisición de las imágenes corresponden a los años 2008, 2009, 2010, 2013, 2015, 2016, 2018, y 2020 (Changalombo & Rivera, 2021).

Tabla 10

Imágenes seleccionadas de los satélites Landsat 7 y 8.

FECHA	SENSOR	FECHA DE ADQUISICIÓN
2008	LE07_L2SP_010060_20081106_20200913_02_T1	2008/11/06
2009	LE07_L2SP_010060_20090906_20200911_02_T1	2009/09/06
2010	LE07_L2SP_010060_20100909_20200910_02_T1	2010/09/09
2013	LC08_L1TP_010060_20131128_20200912_02_T1	2013/11/28
2015	LC08_L1TP_010060_20150915_20200908_02_T1	2015/09/15
2016	LC08_L1TP_010060_20161120_20200905_02_T1	2016/11/20
2018	LE07_L2SP_010060_20181001_20200828_02_T1	2018/10/01
2020	LC08_L1TP_010060_20200811_20200918_02_T1	2020/08/11

Nota. La selección de imágenes se realizó en los meses de verano, agosto a noviembre. Fuente: *USGS*.

2. Corrección geográfica

Se realizó la rectificación a las imágenes satelitales obtenidas del portal *USGS* debido a que no están correctamente georreferenciadas. Por ello se asignó un sistema de referencia adaptada para el área de estudio como es el sistema de coordenadas (*UTM*) *Universal Transversal de Mercator, Datum WGS 84 (World Geodetic System 1984)*, Zona 17S, para lo cual se utilizó el *software ArcGIS Pro*.

9.8.3. Fase 3 preprocesamiento de imágenes

Para el tratamiento digital de las imágenes adquiridas del portal *USGS*, se empleó el *software ArcGIS Pro* y *Qgis*, en la que se realizó, la corrección de bandeado en la imagen *Landsat 7*, correcciones radiométricas, geométricas, y atmosféricas.

1. Corrección de bandeado de *Landsat 7*

Se utilizó la herramienta *Ráster*, análisis y rellenar sin datos del *software Qgis*, en la cual emplea un método de interpolación para calcular los valores del área donde no existe datos, para ello se usó las bandas de máscara que viene por defecto en los archivos originales del *Landsat 7*, que son imágenes en dos colores blanco y negro, lo cual define los pixeles faltantes y así ayudo a corregir las imágenes, en la ilustración 6 se evidencia las bandas de las imágenes satelitales antes de la corrección de bandeado y su posterior corrección (Salinas, 2020).

Ilustración 6

Corrección de bandeado Landsat 7.

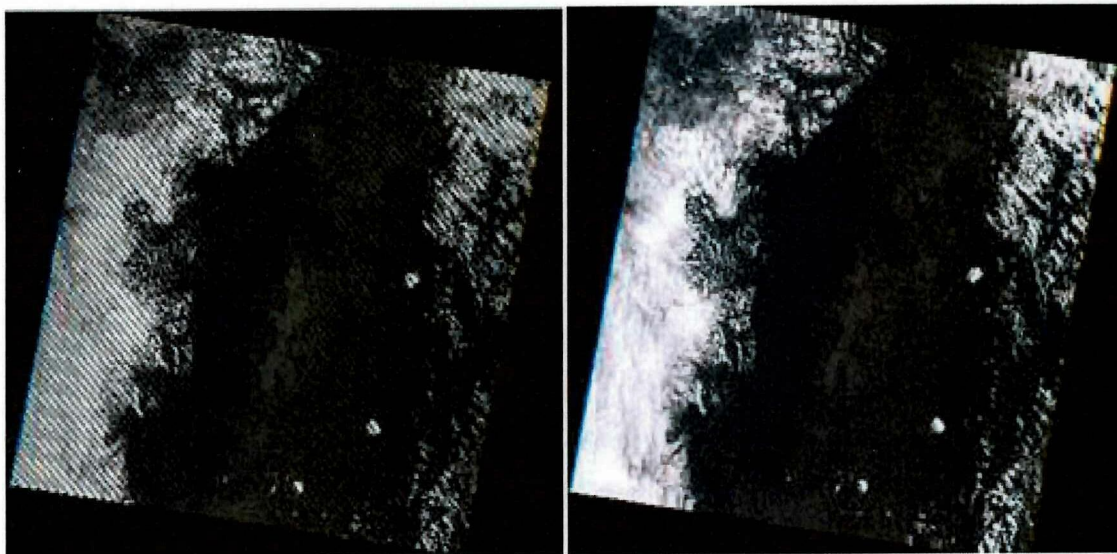


Imagen sin corrección de bandeado

Imagen con corrección de bandeado

Nota. Es necesario realizar esta corrección a todas las imágenes satelitales obtenidas del satélite *Landsat 7*.

2. Corrección geométrica.

Utilizando el programa *Qgis* mediante la herramienta corregir geometrías, esto ayudó a eliminar distorsiones que pueden tener las imágenes satelitales, causadas por la inclinación del sensor (en el momento de tomar la foto), también existe influencia del relieve, gracias a la corrección permitió conseguir mejores resultados en el procesamiento.

3. Corrección atmosférica.

Esta corrección fue realizada con el *software Qgis* con la ayuda de la herramienta *Plugin SCP (Semi-Automatic Classification Plugin)*, para ello se debe ingresar a la sección de Preprocesamiento de SCP incorporar bandas de trabajo en la pestaña *Landsat* y aplicar corrección atmosférica la cual permitió realizar la corrección de las bandas de las imágenes *Landsat* (Gisadminbeers, 2019).

9.8.4. Fase 4 Procesamiento

1. Combinación de bandas *Landsat 7, 8*.

Se realizó las composiciones espectrales de las imágenes satelitales *Landsat* seleccionadas, se tomó en cuenta el tipo de sensor y número de bandas, con el fin de analizar visualmente la cobertura vegetal, zonas de erosión, entre otros, en el *software Qgis* se utilizó la herramienta *Ráster* miscelánea y combinar con las bandas 7,4,2 en *Landsat 7* y las bandas 6,5,4 *Landsat 8* para análisis de vegetación donde se evidencio glaciar, erial, páramo, pasto, zonas boscosas y forestales, este procesamiento se lo realizo en las 8 imágenes seleccionadas (GeoGeeks, 2019).

2. Recorte de las imágenes *Landsat* con el área de estudio.

Se utilizó el *software ArcGIS Pro* para el recorte del área de estudio con las imágenes preprocesadas anteriormente, lo cual va a servir en el procesamiento ya que se disminuye el área original que tienen las imágenes descargadas del satélite, acortándolo a la delimitación del PNC, esto ayudará en la velocidad de análisis que tendrá el *software*.

3. Fase de entrenamiento y asignación

3.1. Clasificación supervisada de imágenes. - Para la clasificación de las imágenes procesadas con anterioridad, se tomó en cuenta los datos de la salida de campo en donde se realizó un muestreo aleatorio simple de las clases de coberturas existen en el área de estudio, adaptando la Leyenda de Cobertura y Uso de la Tierra del PNC del año 2010 al 2013 del IEE, permitió identificar de mejor manera el tipo de cobertura vegetal, debido a que se tienen un conocimiento previo de las clases.

En la clasificación supervisada fue empleado el método de máxima probabilidad, que consiste en asignar el pixel aquella clase en donde tenga más posibilidad de pertenencia, y así definir el tipo de cobertura predominante en el Parque Nacional Cotopaxi utilizando el *software ArcGIS Pro* y la herramienta *Maximum likelihood classification* (Reuter, 2018).

9.8.5. Fase 5.- Post-procesamiento/ Validación de resultados

1. Cartografía temática.

Se realizó los mapas temáticos para el área de estudio en los cuales fueron clasificados de acuerdo a la fecha de en la que se obtuvo.

2. Análisis multitemporal.

Se realizó un estudio de tipo espacial mediante comparaciones de las coberturas vegetales interpretadas en las imágenes satelitales del Parque Nacional Cotopaxi, esto permitió evaluar los cambios que existen en la zona mediante la asignación de clasificación supervisada en el procesamiento de las imágenes, arrojando datos de interés para la investigación de la evolución del medio ambiente y repercusiones por las acciones humanas sobre este medio, ayudando a determinar el cambio que ha tenido en el lapso de la investigación (2008 – 2021) (Chuvieco, 2008).

3. Matriz de transición

Para encontrar las zonas que presentaron transición de las clases se usó la información de dos mapas temáticos del PNC, utilizando la herramienta *SCP (Semi-Automatic Classification Plugin)*, Postprocesamiento cambio de cobertura de uso de suelo del *software Qgis*, en el estudio de transición de la cobertura vegetal, se realizó el análisis mediante tres periodos que comprenden 2008 - 2010, 2013- 2015 y 2018- 2020, donde se obtiene una base de datos los mismo que son incorporados en la plantilla base de la matriz de transición para su respectivo análisis.

A partir de la base de datos de los valores asignados a cada cobertura vegetal se procedió a realizar el cruce con el fin de determinar los nuevos valores de las clases donde se produjo el cambio y permanecía en el periodo de análisis. Según Garibay & Bocco (2012) el cruce de datos consiste en ubicar las permanencias y transformaciones de las coberturas vegetales con mayor exactitud, por lo que a partir de la los valores asignados a cada cobertura vegetal se procedió a realizar el cruce. Cabe recalcar que el cruce fue realizado en el *software Qgis*, con la finalidad de obtener valores de área en metros cuadrados.

De acuerdo con Alvarado & Mainato (2021) la matriz de transición describe que el primer valor numérico representa las clases de cobertura vegetal del año inicial y el segundo valor representa la categoría que tiene al final del periodo. Por lo tanto la tabulación toma forma de matriz de proporciones representadas por el área en ha y porcentajes, donde la columna son las clases de cobertura vegetal del año inicial y la fila superior detalla las clases que han tenido una transición, la diagonal principal representa las categorías que persisten en el periodo de análisis es decir que no cambiaron de estado.

10. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

10.1. Objetivo específico uno: Identificación de cobertura vegetal en el PNC

Mediante la visita de campo y el uso de herramientas SIG, se identificó las categorías de la cobertura vegetal en el PNC tales como:

- Zonas forestales
- Páramo
- Vegetación arbustiva y herbácea
- Pastizal
- Glaciar
- Zonas sin cobertura vegetal.

1. **Zonas forestales.** – Se identificó el bosque nativo con especies endémicas como el Pumamaqui, laurel de cera, Quishuar, yagual y plantaciones forestales como el pino *radiata*.

Según un estudio realizado por el Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE) *et al.* (2016), el bosque nativo se encuentra en los flancos occidentales del volcán Cotopaxi con especies representativas como el Pumamaqui (*Oreopanax ecuadorensis*), sachá capulí (*Vallea estipularis*), laurel de cera (*Morella pubescens*), fucuna negra (*Tournefortia fuliginosa*), Quishuar (*Buddleja pichinchensis*). Por otra parte, la plantación forestal se localiza mayoritariamente hacia el occidente y una pequeña parte al norte del parque.

2. **Páramo.** - En la visita de campo se identificó los más predominantes como: el páramo de pajonal en el cual representa especies de tipo penachos, pajonal, puya, y el páramo de almohadillas con especies como los líquenes.

El páramo tiene una vegetación característica como: Santa María, orejuela (*Hydrocotyle humboldtii*), trébol (*Trifolium repens*), taraxaco (*Taraxacum officinale*), achicoria (*Hypochaeris sessiliflora*), alfarito (*Rumex acetocella*), cacho de venado (*Halenia wedeliana*) y varias especies de paja (Calamagrostis, Stipa y Festuca), sigse (Cortaderia (Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE) *et al.*, 2016).

3. **Vegetación arbustiva y herbácea.** - En la visita de campo se identificó las que más predominan como: chilca, achupalla, chuquiragua, musgo, ashpa chocho.

Los resultados obtenidos en esta categoría guardan relación con el proyecto generación de Geoinformación para la gestión territorial a nivel nacional donde se describe las especies representativas de vegetación arbustiva del PNC como: chilca (*Baccharis buxifolia*), romerillo (*Hypericum laricifolium*), mortiño (*Vaccinium floribundum*), chuquiragua (*Chuquiraga jussie*). Por otra parte, la vegetación herbácea que posee es achicoria amarilla (*Hypochaeris sessiliflora*), ashpa chocho

(*Lupinus pubescens*), malvilla (*Pavonia castaneifolia*), hierba de vino (*Sabicea colombiana*), chulco (*Oxalis latooides* (Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE) *et al.*, 2016).

4. **Pastizal.** - Se evidencio durante la salida de campo pastos con predominancia de gramíneas forrajeras.

En la caracterización de cobertura vegetal y uso de tierra del PNC del periodo 2010-2013 se tiene como resultado que la cobertura de pastizal, se localizan hacia la parte norte del parque (Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE) *et al.*, 2016).

5. **Glaciar.** - Se evidencia que es muy importante por la hidrología del sector, y se identificó por encima del primer refugio.

En el estudio Efectos del calentamiento global en el glaciar Cotopaxi realizado por Cahueñas (2020), señala que la nieve del volcán Cotopaxi se encuentra en un rango altitudinal de 4900 y 5897 msnm.

6. **Zonas sin cobertura vegetal.** – Se identificó la clase sin cobertura vegetal en zonas como quebradas y en lugares donde no se identificó ninguna categoría de vegetación, cultivos ni labrado.

Según Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE) *et al.* (2016), las zonas sin cobertura vegetal se distribuye desde la zona centro- oriental, occidental y al sur del PNC.

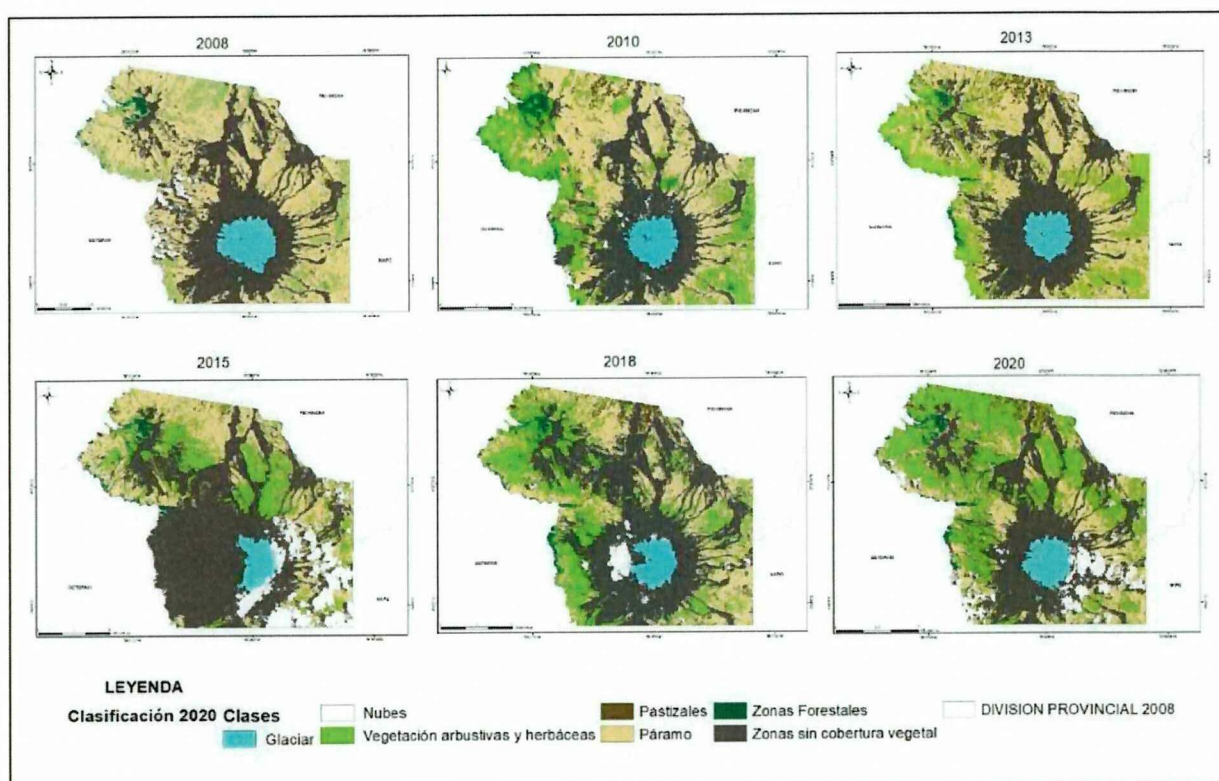
10.2. Objetivo específico dos: Cobertura vegetal del PNC del año 2008 al 2020

Las imágenes generadas en el trabajo de investigación, dependieron del tipo de combinación y tratamiento que se le dio a las bandas y sus composiciones, y permitió analizar las clases de intereses que se pretende estudiar, las cuales son de mayor relevancia para la protección y conservación de las mismas, las categorías (clases) fueron asignadas después de un estudio previo, donde se observó el cambio significativo de las mismas.

Se obtuvo los mapas de cobertura vegetal de los años 2008, 2009, 2010, 2013, 2015, 2016, 2018, 2020 resultando seis tipos de cobertura, la misma que presentan cambios de su área. Ver ilustración 7

Ilustración 7

Mapa de la cobertura vegetal en el PNC, 2008 – 2020.



Elaborado por: Equipo de investigación Luis Herrera, Nancy Herrera, 2022.

En los mapas se puede evidenciar extensiones de zonas sin cobertura vegetal, glaciar, paramo, vegetación arbustiva y herbácea, con presencia de plantaciones forestales y pastizal, estos mapas se elaboraron a una escala de 1:150.000, para observar de mejor manera todas las clases de cobertura vegetal existentes ver anexo (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9).

En la tabla 12 se evidencia las coberturas vegetales obtenidos en los mapas temáticos del periodo de estudio para el análisis multitemporal del cambio de cobertura vegetal del periodo de estudio 2008-2020, se observa una disminución significativa en la categoría páramo resultando del 44,69% del año 2008 al 24,8% para el 2020 es decir una pérdida del 19,89 %, que representa 6422,86 ha menos. En el caso de la categoría zonas forestales para el año 2008 se obtuvo 0,98% del total del PNC que representa 315,8 ha, para el 2020 existió un aumento del 0,82% que representa 256,63% más con respecto al 2008. Por otra parte, la vegetación herbácea se evidencia 10,10 % que presenta 3259,1 ha, del total del PNC para el año 2008, para el 2020 se identifica un aumento de 16,80 % es decir 5424,53 ha mas con respecto al 2008. Sin embargo, en la categoría de glaciar para el año 2008 tiene 5,08%, se evidencia una disminución para el 2020 del 0,88% que representa 291,48 ha menos con respecto al 2008. Finalmente, en la categoría zonas sin cobertura vegetal se comprobó un aumento de desde el año 2008 al 2015.

Tabla 11

Cobertura vegetal y uso del suelo 2008- 2020.

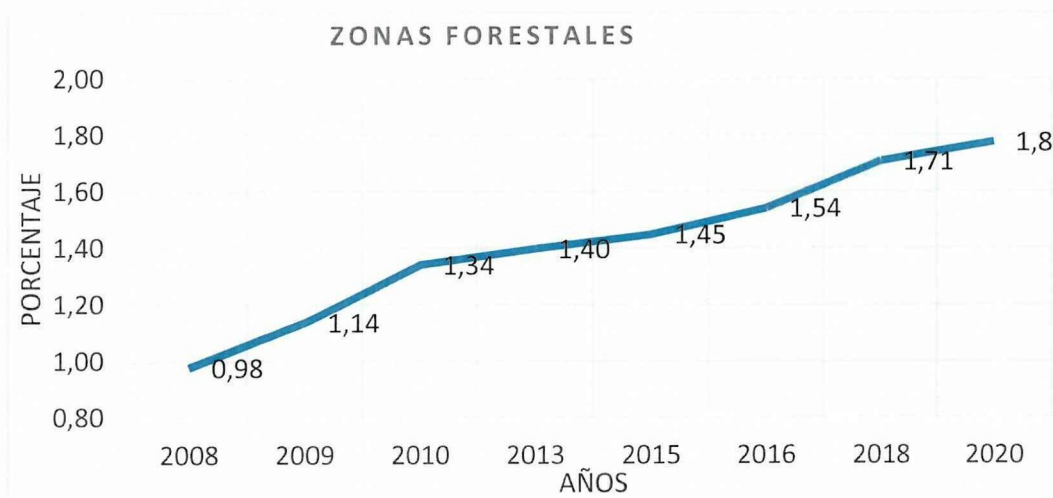
GRIDCODE	Clases	Años de estudio															
		2008		2009		2010		2013		2015		2016		2018		2020	
		ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
0	Nubes	665	2,06	0	0	270,54	1	0	0	3325,12	10,3	0	0	899,92	2,8	2138,78	6,6
1	Zonas Forestales	315,8	0,98	367,08	1,14	432,64	1,34	450,9	1,4	467,1	1,45	497,09	1,54	550,7	1,71	572,43	1,8
2	Páramo	14415,4	44,69	13669,8	42,38	12927,5	40,08	12298,14	38,13	7781,77	24,1	9927,12	31	8874,96	27,5	7992,54	24,8
3	Vegetación Arbustiva y Herbácea	3259,1	10,1	5465,72	16,94	6559,14	20,33	6192,4	19,2	4256,52	13,2	5754,7	17,84	6342,68	19,7	8683,63	26,9
4	Pastizales	42	0,13	30,49	0,09	347,06	1,08	418,4	1,3	231,54	0,72	461,86	1,43	487,73	1,51	540,81	1,68
5	Glaciar	1639,4	5,08	1313,63	4,07	1291,48	4	1239,37	3,84	1060,55	3,29	1139,83	3,53	1068,97	3,3	1347,92	4,2
6	Zonas sin cobertura vegetal	11919,6	36,95	11409,94	35,37	10428,2	32,33	11658,16	36,14	15134	46,9	14476,1	44,9	14032	43,5	10980,6	34
TOTAL		32257	100	32257	100	32257	100	32257	100	32257	100	32257	100	32257	100	32257	100

Nota. Toda la información de la tabla se utilizó en la elaboración de las gráficas porcentuales para el análisis de cambio de las coberturas vegetales más relevantes (ilustración 8, 9, 10, 11). Elaborado por: Luis Herrera, Nancy Herrera, 2022.



Ilustración 8

Datos porcentuales de las zonas forestales en el periodo 2008 - 2020.



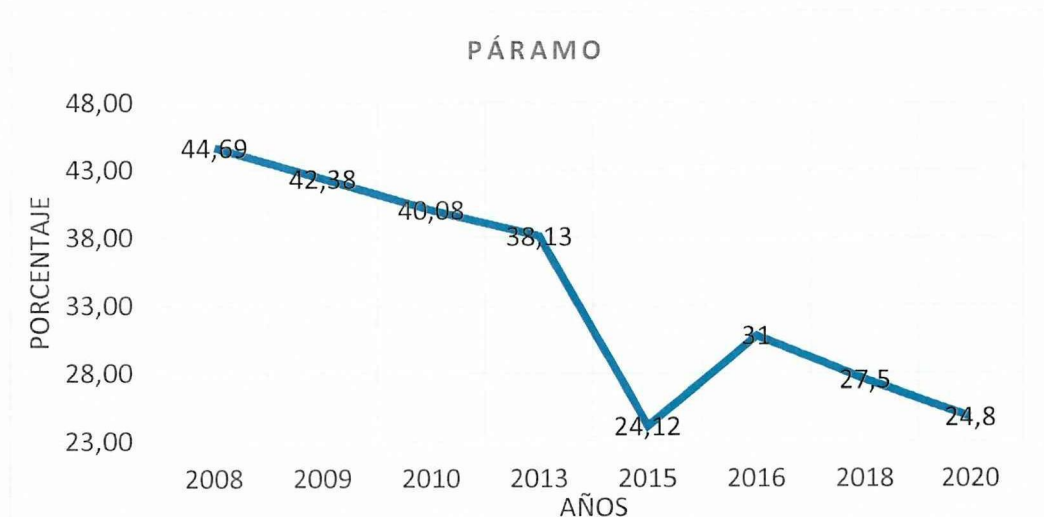
Elaborado por: Equipo de investigación Luis Herrera, Nancy Herrera, 2022.

En el gráfico porcentual de categoría zonas forestales empieza con 0,98% en el 2008 y se evidencia que tiene un aumento significativo cada año hasta el 2020 llega al 1,8% es decir que se incrementó en un 0,82% de lo inicial.

Según Chisag (2015) existe una amplia extensión de monocultivos en el Parque Nacional Cotopaxi, de Pino (*Pinus Radiata*), la cual fue una especie introducida desde el año de 1976 y se ha adaptado de la mejor manera en altitudes sobre los 3000 msnm, afectando drásticamente al páramo y en la actualidad aún no existe un estudio el cual analice las consecuencias de esta especie introducida.

Ilustración 9

Datos porcentuales del páramo en el periodo 2008 - 2020



Elaborado por: Equipo de investigación Luis Herrera, Nancy Herrera, 2022.

En la ilustración 9 se evidencia una disminución significativa en la categoría páramo resultando del 44,69% del año 2008 al 24,12% a consecuencia de la erupción volcánica del 14 de agosto 2015 por lo que la gran parte de vegetación en sentido occidente y suroccidente del volcán quedó con ceniza. Sin embargo, para el 2020 hay una pérdida del 19,89%, con respecto al 2008, debido al incremento de zonas forestales, pastizal, vegetación herbácea y zonas sin cobertura vegetal en el año 2020.

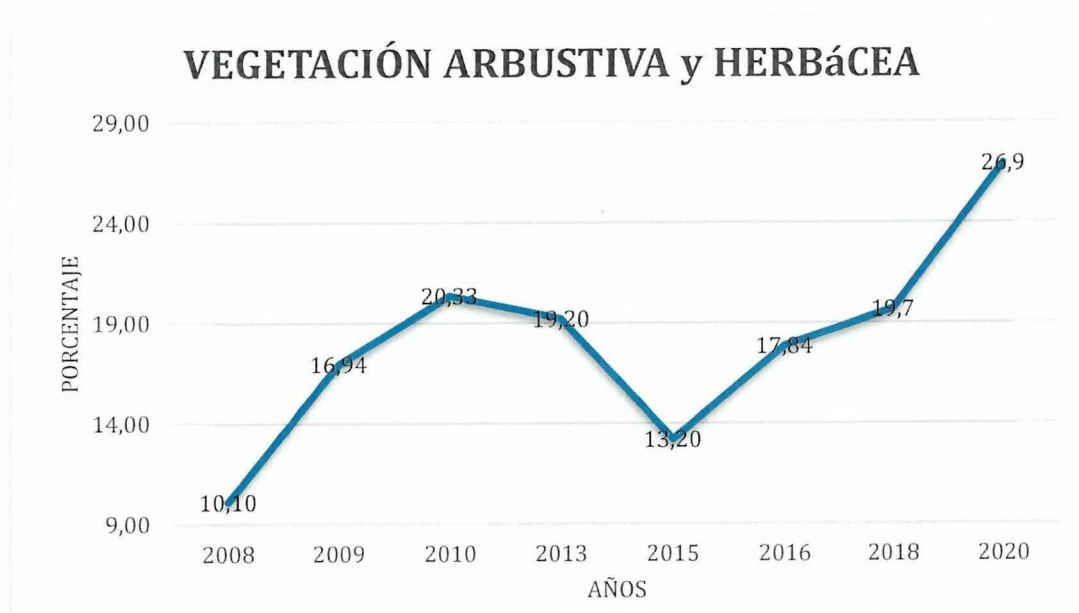
Ministerio de Coordinación de seguridad, (2015) describe en el informe 110 del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica que la erupción del volcán Cotopaxi del 15 de agosto del 2015 provocó caída de ceniza en dirección occidente y suroccidente del volcán, por lo se reportó caída de polvo volcánico en la entrada al Parque Nacional Cotopaxi y El Boliche.

La disminución del páramo en el PNC es cada vez más notable debido a que “algunas hectáreas del parque han sido transformadas a bosques de pinos; en zonas adyacentes al parque hay fuerte presión por actividades agrícolas y ganaderas, a veces los finqueros queman el pajonal nativo” (Yáñez *et al.*, 2011, p. 31).

Según estudio de Cárdenas (2013) hace referencia que los páramos se ven afectados por las plantaciones forestales de especies foráneas, la agricultura y el pastoreo y han puesto en peligro la biodiversidad y la prestación de servicios ecosistémicos del ecosistema páramo, la práctica más reciente en la zona es la ganadería extensiva y siempre combina con la quema de vegetación.

Ilustración 10

Datos porcentuales de la vegetación arbustiva y herbácea en el periodo 2008 - 2020.



Elaborado por: Equipo de investigación Luis Herrera, Nancy Herrera, 2022.

Con respecto a vegetación herbácea y arbustiva en la ilustración 10 se evidencia en la gráfica el 10,10% en el año inicial, para el 2010 un aumento de 6,84% y un decremento en el año 2015 obteniendo el 13,20% del total del PNC. Sin embargo, desde el 2016 al 2020 se observa un incremento de esta categoría llegando hasta el 26.9%, esto se debe a que después de un evento de erupción volcánica la vegetación herbácea tiende a aumentar.

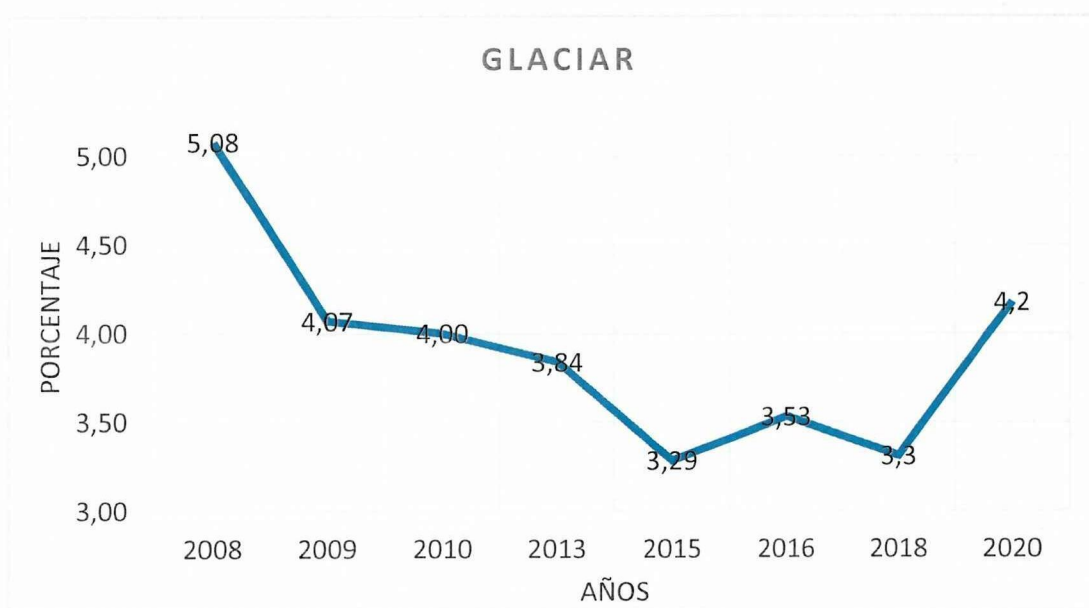
De acuerdo con Segovia (2022) la caída de ceniza, es bueno para el suelo, es capaz de cambiar las características del suelo, y mejora sus propiedades físicas ya que la ceniza al contacto con el agua se transforma en ácido, mejorando la filtración de varios tipos de suelos infértiles que rodean el volcán, esta da como resultado una mejora física como química del lugar favoreciendo así el crecimiento de las plantas.

Un estudio realizado por Promis. (2018) revela el aumento de vegetación tras una erupción volcánica del Chaitén, “las plantas herbáceas estarían colonizando las zonas altas, sobre todo las del género conyza, y la parte baja estaría siendo dominada por el coihue común, el dombeyi y el arbusto chaura gaultheria”. (p. 3)

Según Ramos (2021) existen estudios los cuales muestran la colonización de especies herbáceas como los helechos, líquenes, etcétera, en zonas que anteriormente estuvieron cubiertas por hielo, y con el transcurso de los años podrían mostrar un suelo mucho más adecuado para la proliferación de especies como son del páramo.

Ilustración 11

Datos porcentuales del glaciar en el periodo 2008 - 2020.



Elaborado por: Equipo de investigación Luis Herrera, Nancy Herrera, 2022.

En la ilustración 11 de la categoría glaciar es muy evidente su disminución en el 2008 empieza con 5,08% mientras que desde el 2009 al 2015 existe un decremento llegando a 3,29%, este valor bajo se debe al proceso de erupción del volcán en el año 2015, lo cual provocó un deshielo y otra parte del glaciar quedo bajo ceniza por lo que imposibilita la captación de la clase con el satélite. Es por ello que el año 2016 se evidencia un aumento de glaciar del 0,24%. Sin embargo, en el 2020 tiene un crecimiento de 0,67% con respecto al 2018 esto se debe al cambio de temperatura en el año.

En el año 2015 se registró una disminución de glaciar por eventos de erupción volcánica, donde se evidencio fisuras en el glaciar por altas temperaturas internas que experimento el volcán, lo cual ha originado que se desprendan bloques de nieve. “El agua del derretimiento de la nieve ha generado pequeños flujos de lodo y escombros, conocidos como lahares secundarios; son de pequeña magnitud, por lo que se quedan dentro del Parque Nacional Cotopaxi y en la parte alta del mismo” (Jumbo, 2015).

Las bajas temperaturas registradas en el año 2020 en la temporada de sequía los cuales superaron a años anteriores, dieron como resultado un cambio en el paisaje del Parque Nacional Cotopaxi, el cual se puede ver reflejado en los resultados del análisis de la cobertura vegetal 2015, 2016, 2018 y 2020 y está registrado tanto como antecedente de datos históricos meteorológicos de la Estación Aeropuerto Internacional Cotopaxi 2020 (INAMHI, 2020). Por otra parte en las noticias locales de la Provincia de Cotopaxi destacan la presencia de nieve en el PNC, y en otras reservas naturales de la Provincia. Por su parte Sarmiento (2001) afirma que estudios demuestran que la nieve alimenta la capa de los glaciares el cual forma un manto blanco en todas las cordilleras, afectando a la interpretación exacta la cobertura vegetal del glaciar.

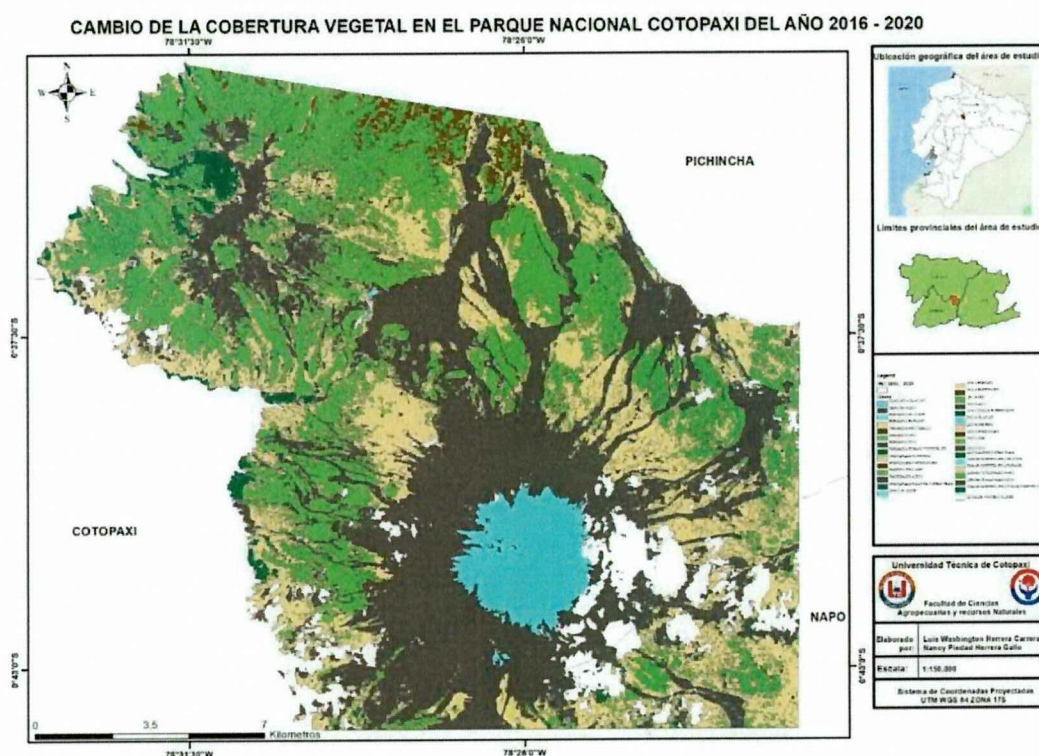
10.3. Objetivo específico tres: Análisis multitemporal

El análisis multitemporal es muy eficiente en la determinación de los cambios de cobertura vegetal y uso de suelo en el PNC, debido a que proporciona información relevante para la planificación territorial, conservación y protección de páramos e importancia de zonas hídricas. Para ello se elaboró los mapas temáticos de transición de cobertura vegetal del PNC del periodo de análisis (ilustración 12, 13, 14).



Ilustración 14

Cambio de la cobertura vegetal en el PNC de 2018 al 2020.



Elaborado por: Equipo de investigación Luis Herrera, Nancy Herrera, 2022.

Para el análisis de las transiciones de las coberturas vegetales de los años 2008-2010 (tabla 13), 2013-2015 (tabla 14), 2018-2020 (tabla 15) del PNC, se elaboró la matriz de transición en la que se puede evidenciar la variación de la cobertura vegetal en intervalos de 2 a 3 años, es decir es una matriz cruzada en la cual se puede comparar la clasificación de referencia en una nueva clase de cambio, con la finalidad de verificar en que clase ha existido una transición de cobertura vegetal, mediante el *software Qgis*, utilizando la herramienta *SCP (Semi-Automatic Classification Plugin)* cambio de cobertura de uso de suelo, los datos obtenidos se trasladó a una matriz en donde se analizó el tipo de cobertura vegetal en la que ha ocurrido un cambio. Por lo que se manifiesta que en estas matrices no solo se ven los cambios de cobertura vegetal, sino también se cuantifica los cambios ocurridos en el mismo.

En la matriz de transición se evidencia la columna de las clases de cobertura vegetal donde se muestra el año inicial y la fila superior detalla la cobertura vegetal del año a comparar. Con respecto a la diagonal principal se encuentran aquellas clases que no ha existido transición en su cobertura vegetal entre el periodo de análisis. Sin embargo, las clases que están fuera de la diagonal indican cambios que han ocurrido en el período de análisis.

La matriz de transición es aquella que va representada por el área total en hectáreas y porcentual se describe que “las filas y columnas representan las pérdidas y ganancias que se ha producido por cambios de cobertura y uso del suelo, los datos generados son usados para calcular las transiciones sistemáticas en términos de ganancias y pérdidas”. (Damian *et al.*, 2018, p. 18)

Tabla 12

Matriz de transición del 2008 al 2010.

CAMBIO DE LA COBERTURA VEGETAL (ha)	2010						TOTAL 2008 (P1)	TOTAL PERDIDA (Li)	
	FORESTAL %	PARAMO %	VEGETACION HERBACIA Y ARBUSTIVA%	PASTIZAL %	GLACIAR %	ZONAS SIN COBERTURA VEGETAL%			
	1	2	3	4	5	6			
	CÓDIG O								
FORESTAL	1	0,87% 279,2	0,02% 6,9	0,08% 25,3	0% 0,0	0% 0,0	0,00% 1	0,97% 312,4	0,10% 33,2
PARAMO	2	0,64% 205,6	30,93% 9976,1	11,54% 3722,5	0,23% 74,3	0% 0,0	1,22% 392,9	44,56% 14371,4	13,63% 4395,3
VEGETACION HERBACIA Y ARBUSTIVA	3	0,96% 310,3	2,49% 804,6	5,42% 1749,8	0,80% 259,1	0% 0,0	0,28% 89,4	9,95% 3213,2	4,53% 1463,4
PASTIZAL	4	0% 0,0	0,07% 22,8	0,01% 2,4	0,04% 13,3	0% 0,0	0,01% 3,8	0,13% 42,3	0,09% 29,0
GLACIAR	5	0% 0,0	0% 0,0	0% 0,0	0% 0,0	3,98% 1284,5	1,09% 350,9	5,07% 1635,4	1,09% 350,9
ZONAS SIN COBERTURA VEGETAL	6	0,07% 22,5	5,50% 1774,1	2,42% 779,2	0,00% 0,3	0% 0,0	28,40% 9160,1	36,39% 11736,2	7,99% 2576,1
TOTAL 2010		2,54% 817,6	39,01% 12584,5	19,47% 6279,2	1,07% 347,0	3,98% 1284,5	31,00% 9998,1		
TOTAL GANANCIA		1,67% 538,4	8,08% 2608,4	14,05% 4529,4	1,03% 333,7	0% 0	2,60% 838,0		
						TOTAL	97,07% 31310,9		
						NUBES	2,93 946,1		

Elaborado por: Equipo de investigación Luis Herrera, Nancy Herrera, 2022.

Para la identificación del cambio de la cobertura vegetal del PNC del año 2008 al 2010, se realizó un análisis de los datos más relevantes.

Los datos arrojados en la matriz de transición en la clase páramo del periodo 2008- 2010, indica una transición de 13,63% equivalente a 4395,3ha, para la categoría vegetación arbustiva y herbácea, el total de cambio es de 4,53% que es igual a 1463,4 ha, siguiendo con glaciario con una pérdida de 1,09% que presenta 350,9ha, finalmente para zonas sin cobertura vegetal el % de transición es de 8,01 equivalente a 2581,4ha.



Tabla 13

Matriz de transición del 2013 al 2015.

CAMBIO DE LA COBERTURA VEGETAL (ha)	CÓDIGO	2015						TOTAL 2013	TOTAL PERDIDA (Li)
		FORESTAL%	PARAMO%	VEGETACION HERBACIA Y ARBUSTIVA%	PASTIZAL%	GLACIAR%	ZONAS SIN COBERTURA VEGETAL%		
		1	2	3	4	5	6		
FORESTAL	1	0,79% 255,9	0,12% 40,0	0,17% 55,1	0% 0	0% 0	0,63% 203,3	1,71% 554,3	0,92% 298,4
PARAMO	2	0,01% 4,6	14,56% 4696,0	6,65% 2144,8	0,31% 101,3	0% 0	11,20% 3614,5	32,73% 10561,2	18,17% 5865,2
VEGETACION HERBACIA Y ARBUSTIVA	3	0,63% 202,2	7,06% 2276,6	4,56% 1470,9	0,09% 29,6	0% 0	4,24% 1369,1	16,58% 5348,4	12,02% 3877,5
PASTIZAL	4	0,0% 0,0	0,13% 41,1	0,26% 83,9	0,12% 39,2	0% 0	0,04% 12,4	0,55% 176,6	0,43% 137,4
GLACIAR	5	0% 0,0	0,00% 0,4	0% 0,0	0% 0,0	2,45% 790,6	1,30% 419,6	3,75% 1210,6	1,30% 420,0
ERIAL	6	0,00% 0,9	1,06% 343,1	1,54% 496,7	0,19% 60,9	0% 0	30,28% 9769,2	33,07% 10670,8	2,79% 901,6
TOTAL 2015		1,43% 463,6	22,93% 7397,2	13,18% 4251,4	0,71% 231,0	2,45% 790,6	47,69% 15388,1		
TOTAL GANANCIA		0,64% 207,7	8,37% 2701,2	8,62% 2780,5	0,59% 191,8	0,00% 0	17,41% 5618,9		
							TOTAL	88,39% 28521,9	
							NUBES	11,61 3735,1	

Elaborado por: Equipo de investigación Luis Herrera, Nancy Herrera, 2022.

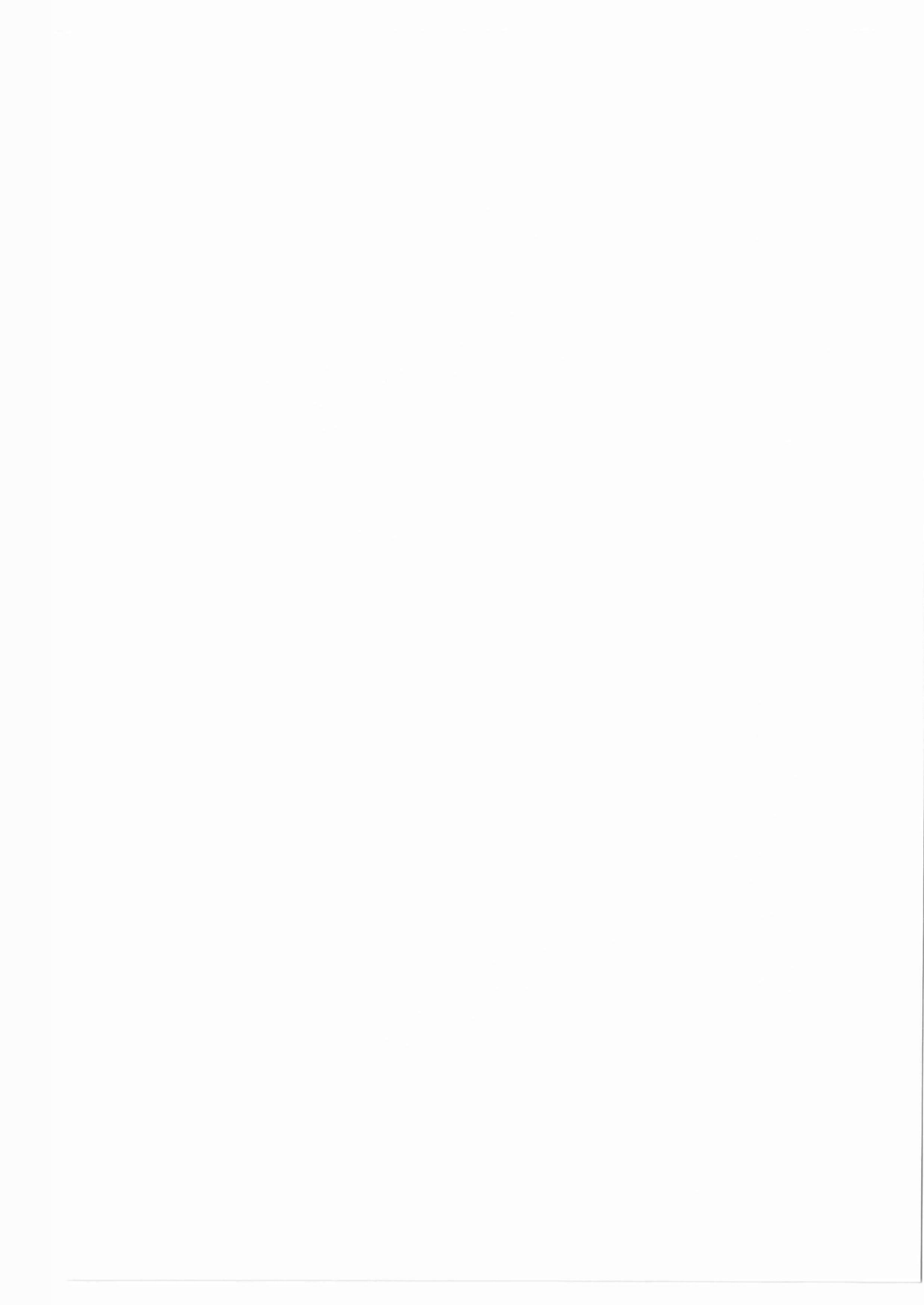
EL análisis de cambio de cobertura vegetal en el PNC del periodo 2013-2015 se realizó de acuerdo a los datos obtenidos en la en la matriz de transición donde indica que en la clase páramo tiene una transición de 18,17% en un área de 5865,2 ha, para la categoría vegetación arbustiva y herbácea, el total de cambio es de 12,02% que es igual a 3877,5 ha, siguiendo con glaciario con una pérdida de 1,30% que presenta 420 ha, finalmente para zonas sin cobertura vegetal el % de transición es de 3,48 equivalente a 1125,2 ha.

Tabla 14

Matriz de transición del 2018 al 2020.

CAMBIO DE LA COBERTURA VEGETAL (ha)	CÓDIGO	2020						TOTAL 2018	TOTAL PERDIDA (Li)	
		NUBES%	FORESTAL%	PARAMO%	VEGETACION HERBACIA Y ARBUSTIVA%	PASTIZAL%	GLACIAR%			ZONAS SIN COBERTURA VEGETAL%
		1	2	3	4	5	6			
FORESTAL	1	1,0% 336,2	0% 0,0	0,1% 20	0% 0	0% 0	0,4% 101,9	1,5% 458	0,5% 121,9	
PARAMO	2	0,1% 27	15,6% 5032	20,4% 6592	0,7% 233	0% 0	6% 1943,3	42,8% 13828	27,2% 8795,8	
VEGETACION HERBACIA Y ARBUSTIVA	3	0,6% 203	7,5% 2427	4,3% 1376	0% 33	0% 0	0,8% 262,5	13,3% 4301	9,0% 2925,1	
PASTIZAL	4	0% 0	0,1% 21	1,2% 375	0,7% 221	0% 0	0,0% 0,6	2,0% 618	1,3% 397	
GLACIAR	5	0% 0,0	0% 0	0% 0	0% 0	3,3% 1073,8	0,2% 54,6	3,5% 1128	0,2% 54,6	
ERIAL	6	0,0% 1,4	1,4% 454	1,2% 396	0,0% 3	0,6% 195,7	26,9% 8668	30,1% 9718	3,2% 1050	
TOTAL 2020		1,71% 567,4	24,60% 7934,0	27,20% 8759,1	1,51% 490,6	3,91% 1269,5	34,30% 11030,5			
		0,7% 231,2	24,6% 2901,9	22,9% 7382,8	0,8% 269,5	0,6% 195,7	7,4% 2362,9			
							TOTAL	93,2% 30051		
							NUBES	2,7% 7706		

Elaborado por: Equipo de investigación Luis Herrera, Nancy Herrera, 2022.



Para el análisis del cambio de la cobertura vegetal del PNC en el periodo 2018-2020, se toma en cuenta los datos obtenidos en la matriz de transición donde indica que la clase páramo tiene una transición de 27.2% de equivalente a 8795,8 ha, para la categoría vegetación arbustiva y herbácea, el total de cambio es de 9% que es igual a 2924,6 ha, siguiendo con glaciación con una pérdida de 0,2% que presenta 54,6 ha, finalmente para zonas sin cobertura vegetal el % de cambio es de 3,2% equivalente a 1050 ha.

11. IMPACTOS

11.1. Impacto social

El proyecto proporcionará información que ayudará a las comunidades y a autoridades de los GAD'S Parroquiales y municipales, a generar estrategias o proyectos, beneficiando a la población aledaña con la identificación y tecnificación, que está orientado a promover el incremento del desarrollo, el cual permite la participación de la sociedad en el mejoramiento y manejo de los ecosistemas estimulando al crecimiento de la calidad de vida de las personas.

11.2. Impacto Ambiental

Se genera impactos positivos ayudando a la identificación de los cambios de la cobertura vegetal, los cuales pueden ser utilizados en planes de prevención de daños a los ecosistemas, y la actualización en los PDOT (respecto a la cobertura vegetal), lo cual ayudará a controlar el desequilibrio en el flora y fauna del PNC, mejorando los sistemas hidrológicos, evitando la erosión progresiva del suelo y limitado la expansión de la frontera agrícola, para futuros estudios que puedan disminuir o mitigar la huella ecológica.

11.3. Impacto económico

El proyecto genera impactos sociales y ambientales que permitirá mantener y mejorar la composición ecosistémica, paisajística natural del PNC permitiendo generar turismo sostenible generando ingresos económicos a las comunidades de influencia directa e indirecta.

12. PRESUPUESTO

Tabla 22

Presupuestos.

DETALLES	UNIDAD	VALOR UNICO	TOTAL
SALIDA DE CAMPO	3	50,00	150
ALIMENTACIÓN	9	3,25	29,25
CAPACITACIONES	1	100,00	100,00
	MATERIALES TECNOLÓGICOS		
UNIDADES DE ALMACENAMIENTO	2	12,00	24,00
PROGRAMA ARCGIS PRO	2	100,00	200,00
USO DE INTERNET	5	35,00	175
ALQUILER DEL GPS	3	40,00	120
	MATERIALES DE OFICINA		
IMPRESIONES	700	0,10	70,00
ANILLADOS	4	5,00	20,00
EMPASTADOS	1	50,00	50,00
	PROGRAMAS DE SOFTWARE		
ASESORÍA DE QGIS, ARCGIS PRO	1	35,00	35,00
ASESORÍA EN TELEDETECCIÓN	1	5,00	35,00
	SUBTOTAL		1008,5
	IMPREVISTOS		100,00
	TOTAL		1108,25

Elaborado por: Equipo de investigación Luis Herrera, Nancy Herrera, 2022.



13. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

13.1. Conclusiones

- Utilizando el método de muestreo aleatorio simple realizado en la salida de campo, se identificó, las clases de cobertura vegetal seleccionadas para el estudio, las cuales son: forestales, páramo, vegetación arbustiva y herbácea, pastizal, glaciar y zonas sin cobertura vegetal. Las mismas que se utilizaron en la fase de entrenamiento realizado en el software ArcGIS Pro, para la identificación exacta de los píxeles y su respectiva clasificación, el único inconveniente que se tuvo en este proceso es la existencia de nubes en la zona de estudio, el cual genera una pérdida de datos.
- La evaluación multitemporal del cambio se caracterizó mediante imágenes satelitales, realizando técnicas de teledetección, que permitieron determinar los cambios de cobertura vegetal que ha sufrido alteraciones en el PNC, ya sea por diferentes factores como: crecimiento de las plantaciones forestales de pino, el aumento de pastizal, y vegetación arbustiva y herbácea dando como resultado la disminución del páramo en un 19,89 % del total del parque que representa 6422,86 ha menos, para el año 2020 con respecto al 2008, por otra parte el decrecimiento del glaciar es evidente del 0,88 % en el periodo de análisis.
- Se identificó variaciones de las clases de cobertura vegetal dentro del PNC, que se puede evidenciar a simple vista en los mapas temáticos de transición (ilustración 12, 13, 14), el periodo de análisis 2018- 2020 obtiene una variación de las clases páramo, vegetación herbácea y glaciar, donde se evidencia que el páramo tiene una variación del 27.2% equivalente a 8795,8 ha, mientras que la vegetación herbácea y arbustiva tiene un 9% que es igual a 2924,6 ha y finalmente el glaciar con una variación del 0,2% que presenta 54,6 ha del total del Parque.

13.2. Recomendaciones

- Difundir la información del proyecto en portales de instituciones públicas, ya que ayudan al análisis de los cambios de cobertura vegetal que están ocurriendo en las zonas de conservación alterando su flora, fauna y las fuentes hidrológicas, lo cual se puede realizar por medio de los Gobiernos Autónomos Descentralizados en conjunto con el Ministerio de Ambiente Agua y Transición Ecológica.
- Actualizaciones de los PDOTS de las provincias que conforman el parque con la finalidad de conocer el cambio de las diferentes coberturas vegetales, para ello se debe contar con un equipo multidisciplinario, lo cual permite a los Gobiernos Autónomos Descentralizados, tener énfasis en estos tipos de investigaciones y así puedan continuar con las líneas estratégicas, de conservación y restauración ecológica de los páramos.



- Promover los beneficios de nuevas tecnologías como la teledetección en la elaboración de estudios multitemporales de diferentes áreas investigativas de cualquier sector del país, ya que no existe una clasificación especializada, unificada y oficial de la cobertura vegetal y uso de suelo, y los modelos que existen no se acoplan para todo el territorio.

14. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre, Z. (2014). *Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador*.
<https://zhofreaguirre.files.wordpress.com/2012/03/snap-del-ecuador-2014-za.pdf>
- Almachi, C. (2014). *Sistema de riego para bosques y sistema de control contra incendios ejemplarizado en un sector del Parque Nacional Cotopaxi*. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/6856>
- Alvarado, N., & Mainato, F. (2021). *Herramientas SIG para el estudio de la cobertura vegetal y cambio de uso de suelo en el Cantón Chunchi, Provincia del Chimborazo*.
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/20104/1/UPS-CT009032.pdf>
- Álvarez, M., & Macas, V. (2018). Variación de la cobertura vegetal del Parque Nacional Machalilla mediante la evaluación de índices de vegetación en la provincia de Manabí. *Revista Científica Ciencias Naturales y Ambientales*, 12(2), 49-65. <https://doi.org/10.53591/cna.v12i2.284>
- Ariza, A. (2013). *Productos Landsat 8 LDCM*. <https://www.unspider.org/sites/default/files/LDCM-L8.R1.pdf>
- Avila, B. (2021). *Análisis multitemporal del cambio de cobertura vegetal y usos del suelo mediante herramientas SIG y Teledetección en la Reserva Ecológica Mache Chindul (REMACH), 1996-2019*. <https://repositorio.pucese.edu.ec/bitstream/123456789/2511/1/Avila%20Ospina%20Betsy.pdf>
- Basterra, I. (2017). *Teledetección-Imágenes Satelitales-Procesamiento Digital de Imágenes*. 33.
<http://ing.unne.edu.ar/dep/goeciencias/fotointer/pub/teoria2011/parte02/tdi.pdf>
- Bella, C. M. D., Posse, G., Beget, M. E., Fischer, M. A., Mari, N., & Veron, S. (2008). La teledetección como herramienta para la prevención, seguimiento y evaluación de incendios e

inundaciones: *Ecosistemas*, 17(3), Article 3. <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/85>

Boca, T., & Rodríguez, G. (2011). *Métodos estadísticos de la evaluación de la exactitud de productos derivados de sensores remotos*. 24. https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_mtodos_est_sensores.pdf

Bonilla, D., & Taipe, J. (2021). *Análisis Multitemporal de la cobertura vegetal a partir de la Imagen Satelital Sentinel-2 y Landsat-8 Mediante el uso de Algoritmos de clasificación, en la Reserva Ecológica el Ángel y Reserva Ecológica Arenillas*. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/20884/1/UPS%20-%20TTS499.pdf>

Cahueñas, D. (2020). *Efectos del calentamiento global en el glaciar Cotopaxi*. https://issuu.com/jcahuenas98/docs/revista_informativa_digital_daniela_cahue_as_2bg
u-

Campbell, B. (2007). *Introducción a la percepción remota*. <https://www2.geog.soton.ac.uk/users/trevesr/obs/rseo/index.html>

Cárdenas, C. (2013). *El fuego y el pastoreo en el páramo húmedo de Chingaza (Colombia): Efectos de la perturbación y respuestas de la vegetación*. 135. <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/120219/cac1de1.pdf?sequence=1>

Ceballos, D. de J., & Toro, L. (2012). Evaluación de la susceptibilidad a la erosión por el cambio de cobertura debido a la minería, en el Municipio de Anorí, Antioquia, Colombia. *Gestión y Ambiente*, 15(3), 51-64. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/36280>

Changalombo, D., & Rivera, J. (2021). "Evaluación de la dinámica temporal de la cobertura vegetal del Cantón Salcedo mediante el uso de imágenes satelitales desde el año 2000 al 2020". 101. <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/7870/1/PC-001068.pdf>

Chisag, P. (2015). "Identificación de la flora herbácea existente en el Parque Nacional Cotopaxi, después de los incendios generados en el año 2014, Provincia de Cotopaxi, periodo 2015". <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/2679/1/T-UTC-00215.pdf>

- Chóez, I. (2018). *Análisis de la cobertura vegetal y cambio de uso suelo en el área de influencia del canal azúcar-río verde mediante teledetección.*
- Chuncho, C., & Chuncho, G. (2019). *Páramos del Ecuador, importancia y afectaciones: Una revisión.*
- Chuvienco, E. (2008). *Teledetección Ambiental* (3.ra edición actualizada). Ariel, S. A.
- Damian, D., Márquez, C., García Víctor, Rodríguez, M., & Recalde, C. (2018). *Transiciones sistemáticas en el uso y la cobertura del suelo en una microcuenca alto andina, Ecuador 1991-2011.* <https://www.revistaespacios.com/a18v39n32/a18v39n32p08.pdf>
- Dirección General de Geografía y Medio Ambiente. (1993). *Aspectos Técnicos de las Imágenes Landsat.* https://www.inegi.org.mx/temas/imagenes/imgLANDSAT/doc/Aspectos_tecnicos_landsat.pdf
- Edrosa, R. (2011). *Aplicación de la Teledetección para el monitoreo de eventos hídricos superficiales mediante imágenes Cosmo Sky Med.*
- Espinoza, K., Itas, R., Montoya, K., Quinga, Y., Rosero, K., & Vega. (2019). *Plan de Manejo Ambiental Parque Nacional Cotopaxi.* <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-de-las-fuerzas-armadas-de-ecuador/impacto-ambiental/plan-de-manejo-cotopaxi/14505884>
- GADPR Mulaló. (2020). *Actualización del Plan de Desarrollo Y Ordenamiento Territorial de la Parroquia Mulaló, Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi 2020—2023.* 297. https://mulalo.gob.ec/cotopaxi/wp-content/uploads/2020/09/ACTUALIZACION-PDOT-MULALO-2020_-2.pdf
- Garibay, C., & Bocco, G. (2012). *Cambios de uso del suelo en la meseta purépecha (1976-2005).* Instituto Nacional de Ecología.
- GeoGeeks (Director). (2019, agosto 28). *Procesamiento de imágenes satelitales con ArcGIS Pro.* <https://www.youtube.com/watch?v=lJgPRlJB6wU>
- GeoPlaDes. (2009). *Estudio Multitemporal Del Nor-Oriente Del Ecuador.* 3-4. http://app.sni.gob.ec/snlink/sni/Portal%20SNI%202014/GEOGRAFICA/Conage/Documentos/Metodologias/Estudio_multitemporal_nororientecuador.pdf



- Gisadminbeers. (2019, octubre 11). Corrección atmosférica de Landsat en QGIS. *Gis&Beers*.
<http://www.gisandbeers.com/correccion-atmosferica-de-landsat-en-qgis/>
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Latacunga. (2016a). *Diagnóstico del Componente Biofísico del Cantón Latacunga 2016-2028*. http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/0560000380001_Diagn%C3%B3stico%20PDyOT%202016-2028compressed_13-04-2016_15-49-17.pdf
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Latacunga. (2016b). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial 2016-2028 Latacunga*. https://www.latacunga.gob.ec/images/pdf/PDyOT/PDyOT_Latacunga_2016-2028.pdf
- Gómez, Á., & Giner, Á. (2018). *Clasificación Digital de Imágenes por Satélite*. <http://mural.uv.es/gislo/telemedida.pdf>
- Gutiérrez, S. (2016). *Evaluación Multitemporal de las plantaciones de Eucalipto (Eucalyptus Globulus L.), con el uso de Técnicas de Teledetección y S.I.G. en el cantón de Inquisivi, la Paz*. 124.
- Hernández, S. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill. <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- Heuveldop, J., Pardo, J., Quirós, S., & Espinoza, L. (1986). *Agroclimatología Tropical*. EUNED. <https://books.google.com.ec/books?id=DD05AfVeRs0C&pg=PA96&dq=cobertura+vegetal&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjXuLOCvaD3AhX8RzABHV04BygQuwV6BAGLEAY#v=onepage&q=cobertura%20vegetal&f=false>
- Hurtado, M. (2017, febrero 6). *Aplicaciones de la Teledetección Ambiental*. Geoinnova. <https://geoinnova.org/blog-territorio/aplicaciones-de-la-teledeteccion-ambiental/>
- INAMHI. (2020). *El tiempo en 2020 en el Aeropuerto Internacional Cotopaxi, Ecuador*. <https://es.weatherspark.com/h/y/149844/2020/Datos-hist%C3%B3ricos-meteorol%C3%B3gicos-de-2020-en-el-Aeropuerto-Internacional-Cotopaxi-Ecuador#Figures-Summary>

- Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE), Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP), & Ministerio del Ambiente Ecuador (MAE). (2016). *Proyecto generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional Patrimonio de Áreas Naturales del Estado Parque Nacional Cotopaxi memoria técnica escala 1: 25 000 "Cobertura y Uso de la Tierra"*. https://www.geoportaligm.gob.ec/catalogo/srv/spa/resources.get?uuid=14f68937-8b3a-4294-9c74-c4990fe47d18&fname=mt_cotopaxi_cobertura_uso_tierra.pdf&access=public
- Jumbo, B. (2015). *El despertar del Cotopaxi*. <https://especiales.elcomercio.com/2015/09/cotopaxi/#intro>
- Manso, J. M. D., González, D. A., Rosón, A. M., Noia, B. B., & Paulo, S. P. (2007). *Dos perspectivas sobre la cartografía de coberturas y usos del suelo en Galicia*. 16, 23.
- Martínez, C. (2006). *Atlas socioambiental de Cotopaxi*. <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/43289.pdf>
- Medina, M. (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>
- Ministerio de Ambiente. (2010). *Plan de Manejo Parque Nacional Cotopaxi—2010*. <http://190.152.46.74/documents/10179/242256/31+PLAN+DE+MANEJO+COTOPAXI+2.pdf/04869ae6-1b44-4b95-88c8-11e5c1b79ca2>
- Ministerio de Coordinación de seguridad. (2015). *Volcán Cotopaxi mantiene emisiones de gas y ceniza*. <https://www.presidencia.gob.ec/volcan-cotopaxi-mantiene-emisiones-de-gas-y-ceniza/>
- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (2019). *Ecuador cuenta con 11 Parques Nacionales*. <https://www.ambiente.gob.ec/ecuador-cuenta-con-11-parques-nacionales/>
- Miralles, J. (1991). *La teledetección en el seguimiento de los fenómenos naturales. Recursos renovables: Agricultura*. Universitat de València.


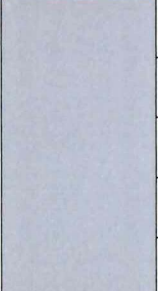




- Morales, M. (2021). *Efectos del tipo de restauración en la riqueza y cobertura vegetal de tres estados de conservación en los páramos de Cotopaxi y Antisana*. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/24857/1/FCB-CB-MORALES%20MIKAELA.pdf>
- Muñoz, G., & De La Cruz, J. (2016). *Análisis Multitemporal de la cobertura vegetal y cambio de uso del suelo del área de influencia del programa de reforestación de la federación nacional de cafeteros en el Municipio de Popayán, Cauca*. 58.
- Naciones Unidas. (1976). *Informe De Habitat: Conferencia De Las Naciones Unidas Sobre Los Asentamientos Humanos*. <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N76/967/14/PDF/N7696714.pdf?OpenElement>
- Navia, J., & Rivera, L. (2016). *Análisis Multitemporal de coberturas en la Subzona Hidrográfica Alto Río Cauca Utilizando Imágenes Satelitales Landsat*. 74. <https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/bitstream/handle/20.500.12746/2806/TRABAJO%20VERSION%20FINAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Padilla, M. (2014). *“Estudio Multitemporal Del Uso Del Suelo Y Cobertura Vegetal Natural En El Páramo De La Parroquia Mulaló”*.
- Pazmiño, F. (2013). *Plan de manejo forestal*. 8. <https://www.cotopaxi.com.ec/sites/default/files/2018-01/plan%20de%20manejo%20forestal.pdf>
- Pérez, Ortiz, G., Cruz, Y., & Larqué, A. (2005). *La percepción sobre la conservación de la cobertura vegetal*. 18.
- Posada, E. (2012). *Manual de prácticas de percepción remota con el programa ERDAS IMAGINE 2011*. 154. https://www.un-spider.org/sites/default/files/ManualERDAS_web.pdf
- Promis, A. (2018, mayo 1). *Estudio revela aumento de vegetación tras erupción del Chaitén*. <http://www.forestal.uchile.cl/noticias/143037/estudio-revela-aumento-de-vegetacion-tras-erupcion-del-chaiten>
- Ramírez, H. (2013). *Imágenes multiespectrales de sensores remotos*. https://www.un-spider.org/sites/default/files/Practica_ImagenesMultiespectralesDeSensoresRemotos_3.pdf

- Ramos, X. (2021). *Cambio climático ejerce presión sobre el ecosistema páramo y su avance ante la pérdida del hielo es lento*. <https://www.eluniverso.com/larevista/ecologia/cambio-climatico-ejerce-presion-sobre-el-ecosistema-paramo-y-su-avance-ante-la-perdida-del-hielo-es-lento-nota/>
- Reinoso, L. (2011). *Mejoramiento del área de alimentos y bebidas del refugio Jose Ribas (Volcan Cotopaxi)*. <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/458>
- Reuter, F. (2018). *Transformaciones de la imagen: Clasificaciones supervisadas y no supervisadas*. <https://fcf.unse.edu.ar/archivos/lpr/pdf/p11.PDF>
- Sacristán, F. (2005). La Teledetección satelital y los sistemas de protección ambiental. *Civilizar*, 5(9), 1. <https://doi.org/10.22518/16578953.701>
- Salinas, T. (2020). *Análisis de la Variación de la Cobertura Glaciar en el Ecuador mediante Teledetección*.
- Sánchez, P. (2012). *La Teledetección enfocada a la obtención de mapas digitales*. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/779/1/ti839.pdf>
- Sarmiento, F. (2001). *Diccionario de ecología: Paisajes, conservación y desarrollo sustentable para Latinoamérica*. <https://www.ensayistas.org/critica/ecologia/diccionario/n.htm>
- Vidal, J., Gallardo, J., & Peralta, C. (2020). *Potencial del acervo de imágenes Landsat disponible en Google Earth Engine para el estudio del territorio mexicano*. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112020000100110
- Vinueza, D. (2017). *Parque Nacional Cotopaxi*. Pdfcoffee.Com. <https://pdfcoffee.com/parque-nacional-cotopaxi-2-pdf-free.html>
- Viqueira, F. (2013). *La ciencia del suelo. Historia, concepto y método*. Univ Santiago de Compostela.
- Yáñez, P., Núñez, M., Carrera, F., & Martínez, C. (2011). Posibles efectos del cambio climático global en zonas silvestres protegidas de la Zona Andina de Ecuador. *La Granja*, 14(2), 24. <https://doi.org/10.17163/lgr.n14.2011.03>

15. ANEXOS

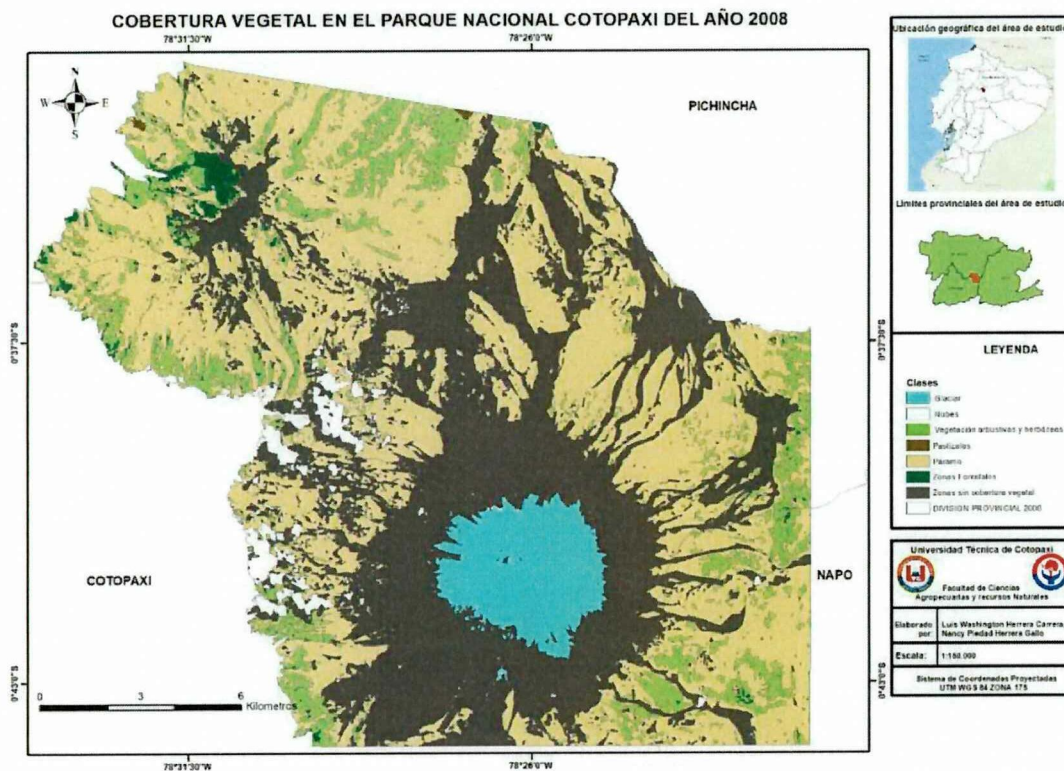
Anexo 1. Ficha de campo de la Cobertura Vegetal y Uso del Suelo en el Parque Nacional Cotopaxi.

FICHA DE CAMPO PARA COBERTURA VEGETAL Y USO DE SUELO DEL PNC

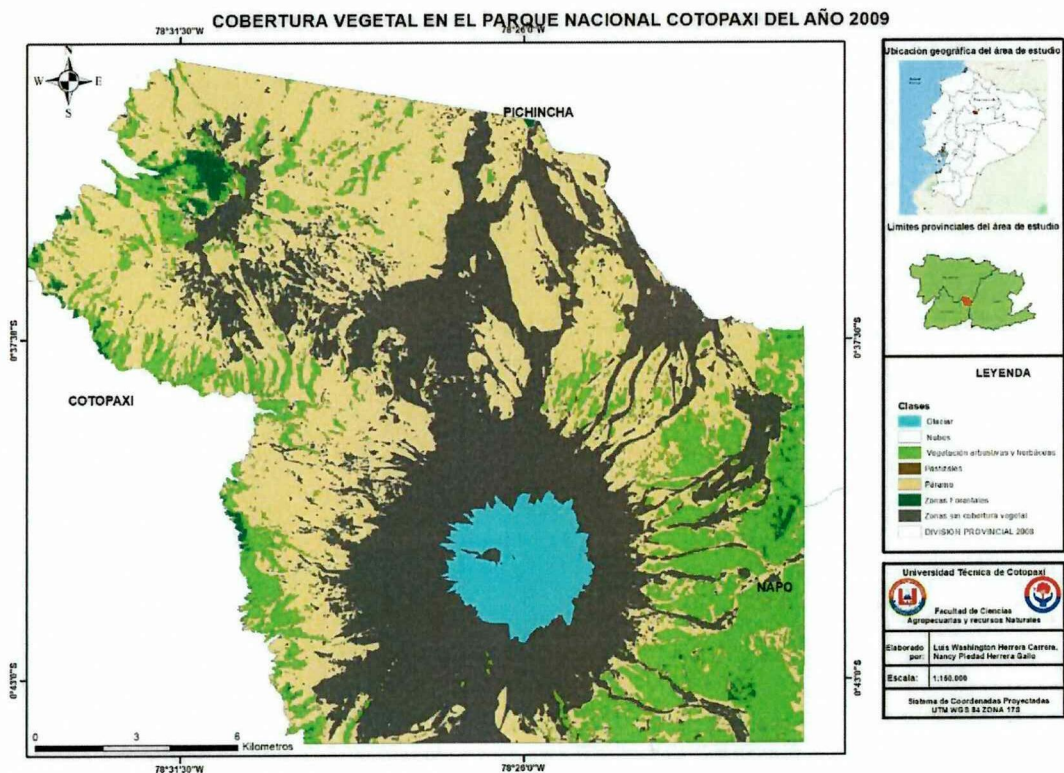
LUGAR: PARQUE NACIONAL COTOPAXI						
FECHA: 7 de junio del 2022			COORDENADAS		ANEXO FOTOGRÁFICO	OBSERVACIONES
NIVEL 1	Código	Simbología	X	Y		
Zonas forestales	1		778160.99	9928870.35	Anexo: 10,11	Pumamaqui, laurel de cera, Quishuar, yagual y plantaciones forestales como el pino <i>radiata</i> .
			778224.1	9929037.98		
			779120.84	9929065.62		
			775714.12	9935960.54		
			776064.07	9936225.72		
Páramo	2		783779.42	9932788.11	Anexo:12, 13	Páramo de pajonal con especies de tipo penachos, pajonal, puya, y el páramo de almohadillas con especies como los líquenes
			783970.98	9932884.26		
			784820.09	9934215.49		
			785569.14	9934789.80		
			787599.01	9933624.46		
Vegetación arbustivas y herbáceas	3		785559.51	9934977.67	Anexo:14, 15	Chilca, achupalla, chiquiragua, musgo, achicoria amarilla, ashpa chocho.
			786014.75	9934609.40		
			787624.67	9933828.96		
			784549.82	9930915.47		
			784591.73	9930848.07		
Pastizales	4		773765.75	9937499.12	Anexo: 16	Pastos con predominancia de gramíneas forrajeras.
			773869.50	9937576.39		
			781745.18	9938030.61		
Glaciar	5		785199.82	9926194.91	Anexo:18	En la altura del primer refugio
			785177.59	9926278.08		
			785163.56	9926204.67		
Zonas cobertura vegetal sin	6		785288.25	9927709.32	Anexo:17	Se identifico en zonas como quebradas y en lugares donde no se identificó ninguna categoría de Vegetación, cultivos ni labrado.
			785241.41	9927517.82		
			785022.29	9927160.42		
			785061.59	9927011.71		
			785104.37	9926725.55		

Fuente: Equipo de investigación Luis Herrera, Nancy Herrera, 2022.

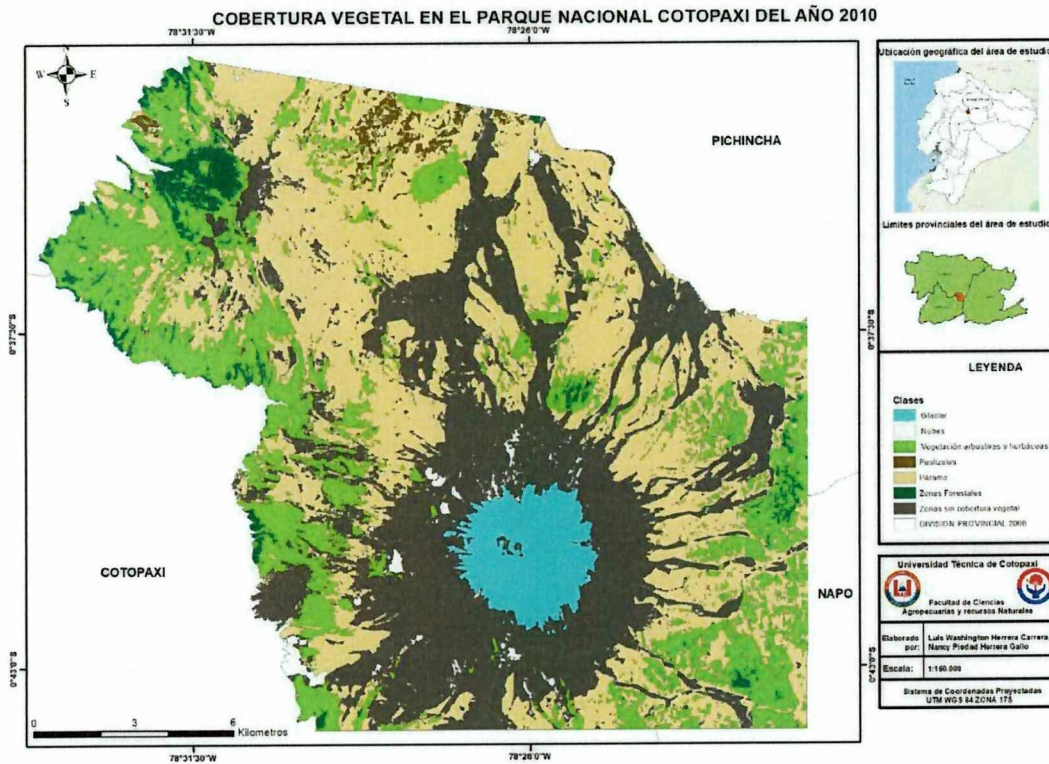
Anexo 2. Mapa temático del cambio de la cobertura vegetal del PNC del año 2008.



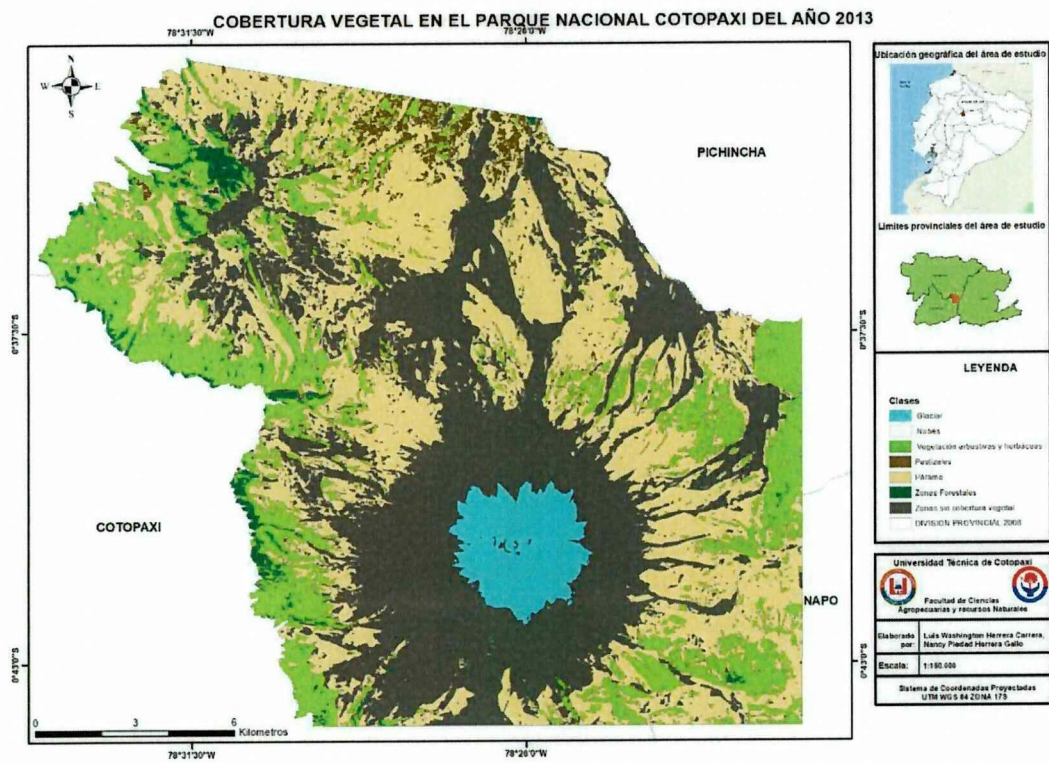
Anexo 3. Mapa temático del cambio de la cobertura vegetal del PNC del año 2009.



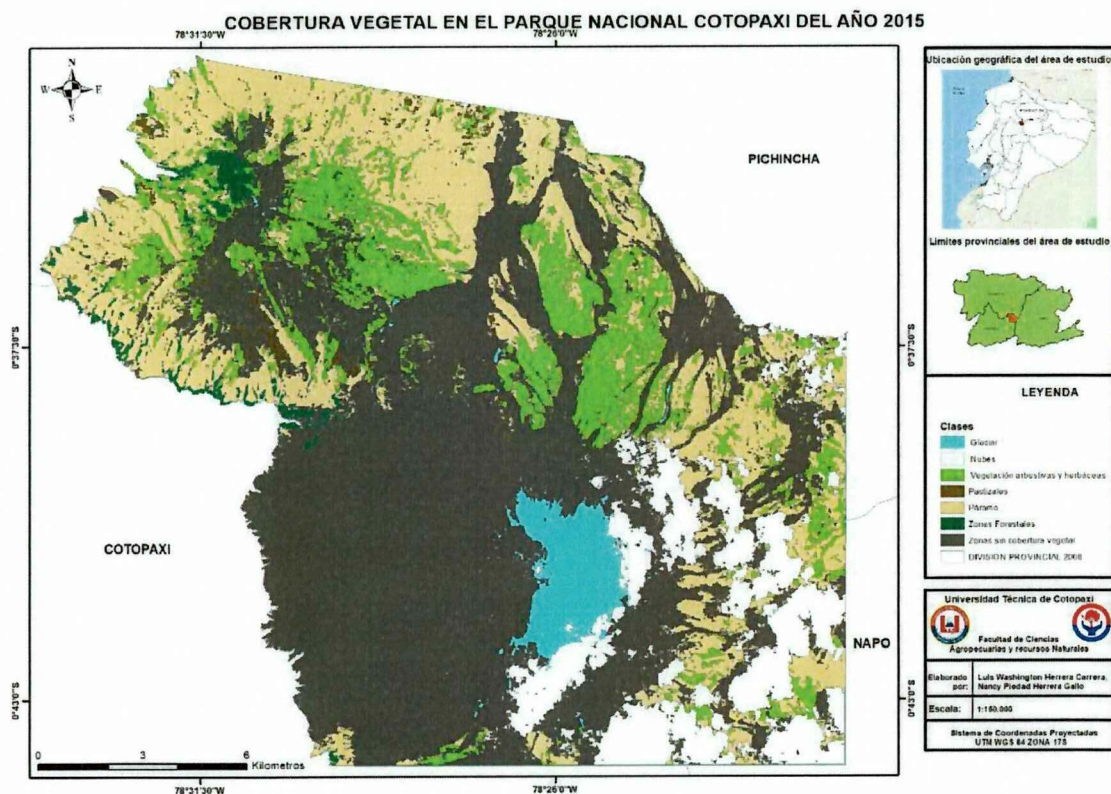
Anexo 4. Mapa temático del cambio de la cobertura vegetal del PNC del año 2010.



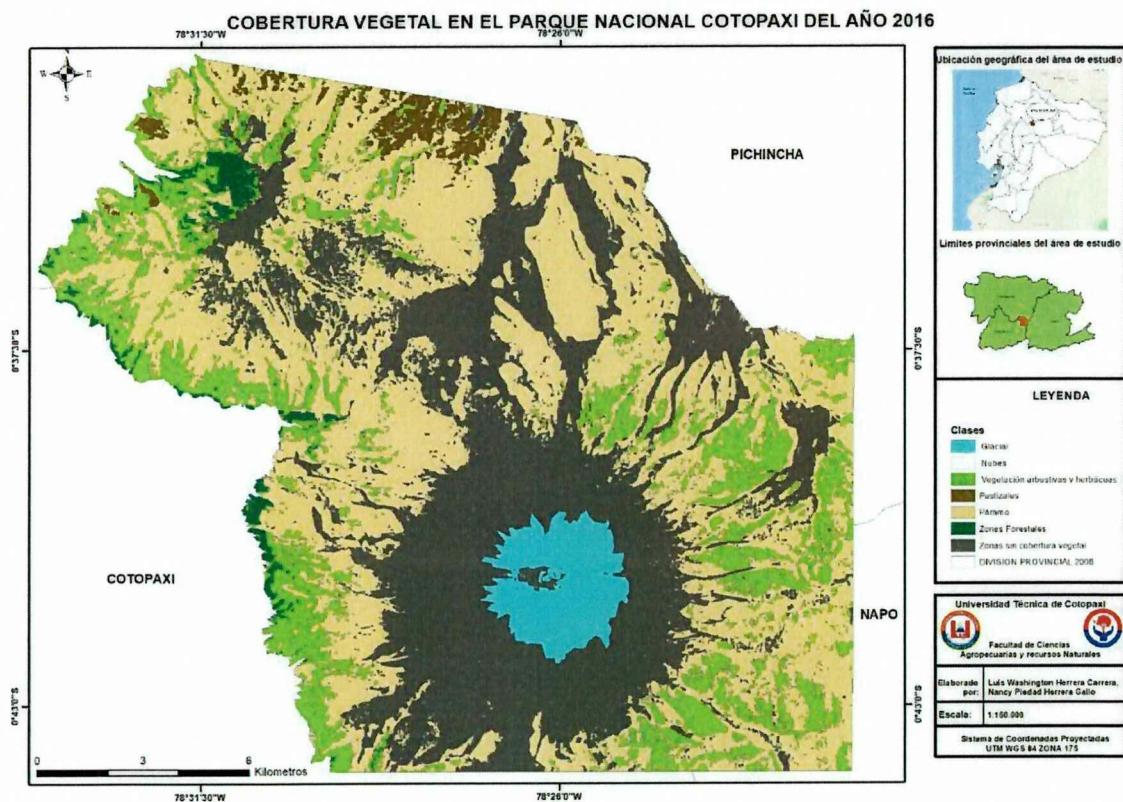
Anexo 5. Mapa temático del cambio de la cobertura vegetal del PNC del año 2013.



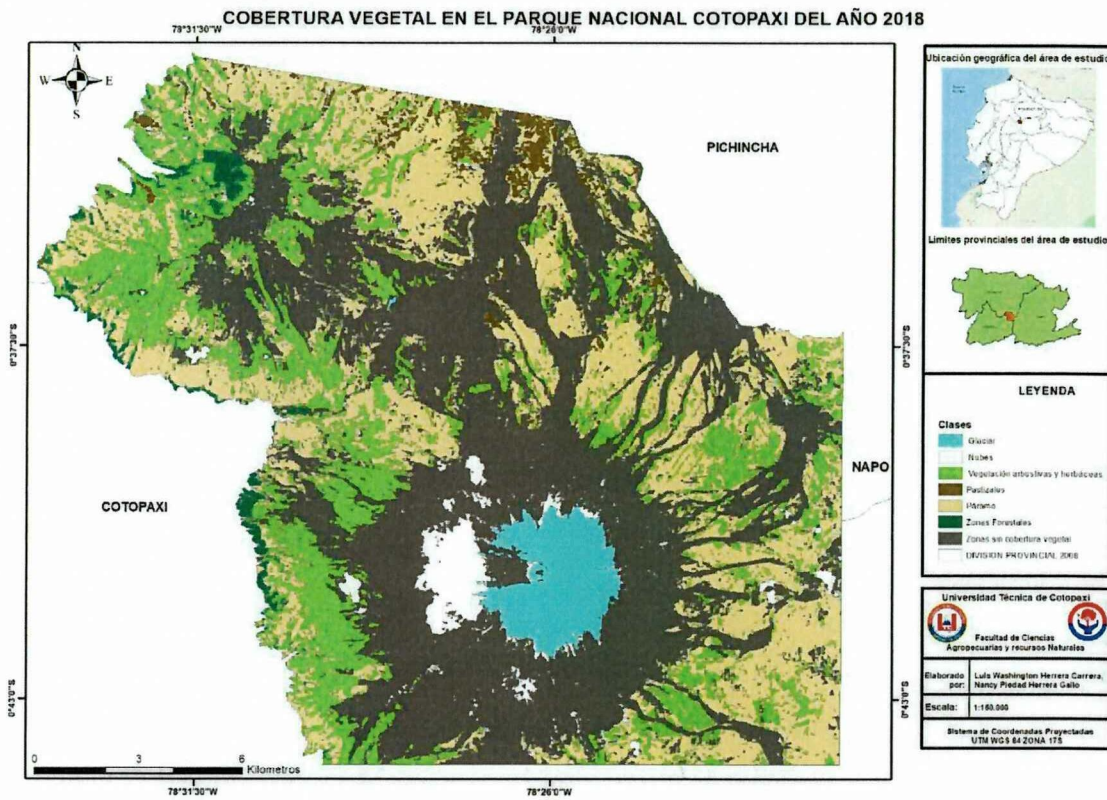
Anexo 6. Mapa temático del cambio de la cobertura vegetal del PNC del año 2015.



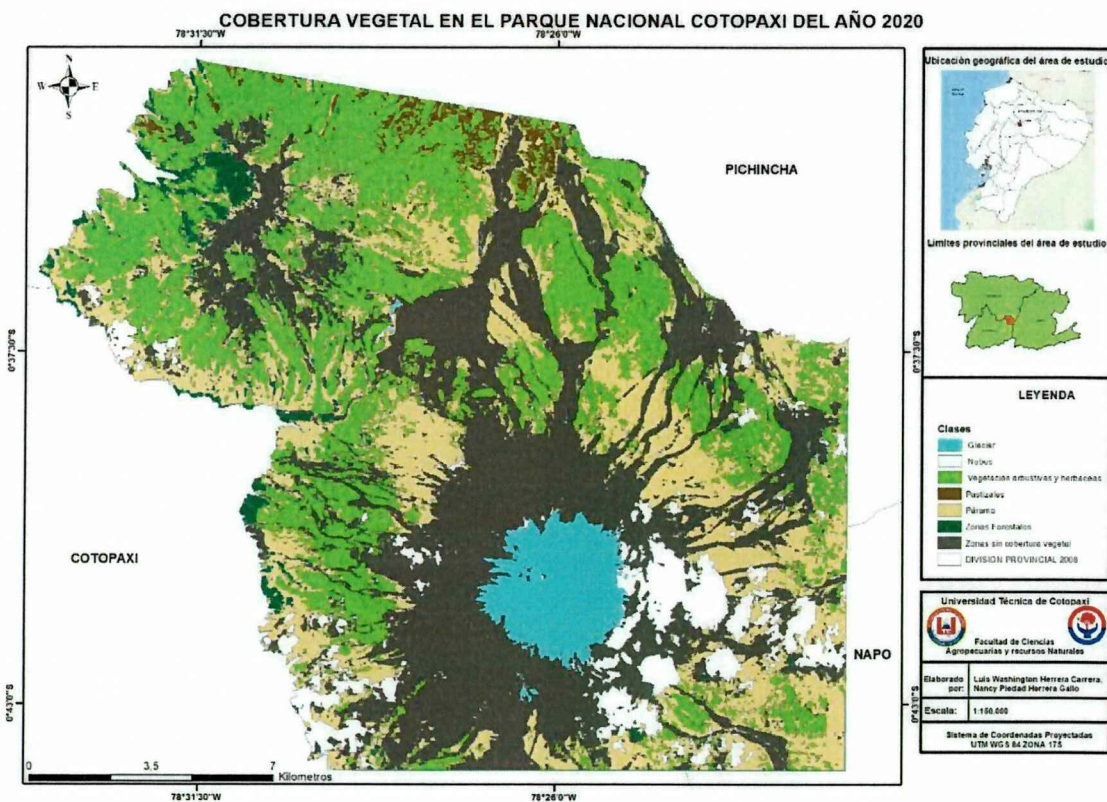
Anexo 7. Mapa temático del cambio de la cobertura vegetal del PNC del año 2016.



Anexo 8. Mapa temático del cambio de la cobertura vegetal del PNC del año 2018.



Anexo 9. Mapa temático del cambio de la cobertura vegetal del PNC del año 2020.



**ZONAS
FORESTALES***Anexo 10. Bosque plantado.**Anexo 11. Bosque nativo.**Anexo 12. Superpáramo.***PÁRAMO**

Anexo 13. Páramo.



Anexo 14. Vegetación arbustiva.

**VEGETACIÓN
ARBUSTIVA Y
HERBÁCEA**



[The text in this block is extremely faint and illegible. It appears to be a large block of text, possibly a list or a series of paragraphs, but the characters are too light to be transcribed accurately.]

Anexo 15. Vegetación herbácea.





Anexo 16. Pasto.

PASTIZALES





<p>ZONAS SIN COBERTURA VEGETAL</p>	<p><i>Anexo 17. Erial.</i></p> 
<p>Glaciar</p>	<p><i>Anexo 18. Comienzo del glaciar.</i></p> 

Fotografías tomadas por: Luis Herrera, Nancy Herrera.

Anexo 19.- Aval del Traductor

***AVAL DE TRADUCCIÓN***

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi, en forma legal **CERTIFICO** que:

La traducción del resumen al idioma Inglés del proyecto de investigación cuyo título versa: **“EVALUACIÓN MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE LA COBERTURA VEGETAL EN EL PARQUE NACIONAL COTOPAXI MEDIANTE IMÁGENES SATELITALES DESDE EL AÑO 2008 AL 2020”**, presentado por: **Herrera Carrera Luis Washington y Herrera Gallo Nancy Piedad**, egresados de la Carrera de Ingeniería en Medio Ambiente, perteneciente a la **Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales**, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

Latacunga, septiembre del 2022

Atentamente,


MSc. Alison Mena Barthelotty
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC
CI: 0501801252



Journal of Applied Gerontology

The Journal of Applied Gerontology is a peer-reviewed journal that publishes research and practice articles in the field of aging. The journal covers a wide range of topics, including the social, psychological, and health aspects of aging. It is a leading journal in the field and is read by researchers, practitioners, and students alike. The journal is published quarterly and is available in both print and online formats. The online version is available on the Sage Journals website. The journal is indexed and abstracted in several databases, including PsycINFO, Social Scisearch, and the Journal of Applied Gerontology Database. The journal is a member of the American Psychological Association and the Gerontological Society of America. The journal is a key resource for anyone interested in the field of aging and is highly cited in the field.

Volume 33
Number 4
December 2008

Journal of Applied Gerontology
33(4) 400-415
© 2008 Sage Publications
10.1177/0144626008320000