



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES

CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

**ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA COBERTURA VEGETAL EN
LA SUBCUENCA DEL RÍO CHAMBO**

Trabajo de integración curricular

Tipo: Proyecto de investigación

Presentado para optar el grado académico de

INGENIERA FORESTAL

AUTORA: MARIA FERNANDA PINTA ESCOBAR

DIRECTORA: ING. JULIA DESIREE VELASTEGUI CÁCERES

RIOBAMBA – ECUADOR

2021

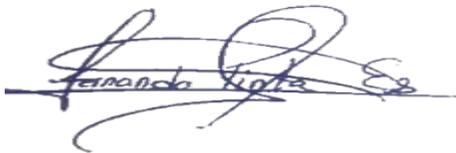
© 2021, María Fernanda Pinta Escobar

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, María Fernanda Pinta Escobar declaro que el presente trabajo de integración curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de integración curricular: el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba 16 de septiembre del 2021

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'María Fernanda Pinta Escobar', written over a horizontal line.

María Fernanda Pinta Escobar

060554287-7

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES

CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto de Investigación, “**ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA COBERTURA VEGETAL EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CHAMBO**”, realizado por la señorita: MARIA FERNANDA PINTA ESCOBAR, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros de tribunal de trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

FIRMA

FECHA

Ing. Eduardo Patricio Salazar Castañeda

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

2021-09-16

Ing. Julia Desire Velastegui Cáceres

DIRECTORA DEL TRABAJO DE

INTEGRACIÓN CURRICULAR

2021-09-16

Ing. Vilma Fernanda Noboa Silva

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

2021-09-16

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación dedico con todo el cariño, a mi familia de manera especial a mis padres Pedro Pinta Tuquinga e Inés María Escobar Sinaluisa que son el pilar fundamental en mi vida, por su apoyo incondicional a lo largo de mis estudios, por sus valores inculcados haciéndome día a día una mujer de bien. Dedico el presente trabajo a mis hermanos y hermanas por su apoyo moral y sus palabras de aliento para seguir adelante y lograr lo que un día me plantee. A mis sobrinos que con su cariño e inocencia son la mayor motivación, decirles que aunque me vieron caer existe la forma de levantarse y seguir adelante y que el éxito depende de disciplina y confianza personal.

Fernanda

AGRADECIMIENTO

Un sincero agradecimiento a mi padre y madre que confiaron en mí brindándome su apoyo incondicional a lo largo de los años cumplidos y su ayuda en la carrera universitaria.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por acogerme para la preparación, al cuerpo de docentes de la Escuela de Forestal por guiarme y brindar sus conocimientos para la formación durante la etapa universitaria.

A mi tribunal de Trabajo de Integración Curricular Ing. Julia Desire Velastegui e Ing., Vilma Noboa por brindarme sus conocimientos y recomendaciones para su llevar a cabo la investigación.

Un grato agradecimiento al Equipo del Proyecto Dimatez por su acogida en su importante estudio de manera especial un gran agradecimiento al Ing. Diego Cullsqiculma Colcha por su apoyo y tiempo brindado para resolver mis inquietudes y culminar la investigación.

Fernanda

TABLA DE CONTENIDO

INDICE DE TABLA	x
INDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xiii
INDICE DE ANEXOS	xiv
ÍNDICE DE ABREVIATURA	xv
RESUMEN	
INTRODUCCIÓN	1
PROBLEMÁTICA	2
JUSTIFICACIÓN	3
OBJETIVOS	4
HIPÓTESIS	4
Hipótesis nula	4
Hipótesis alternante	5

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	
1.1. Teledetección	6
<i>1.1.1. Aplicación</i>	<i>7</i>
<i>1.1.2. Herramientas de Teledetección.</i>	<i>7</i>
1.2. Sensores remotos	8
<i>1.2.1. Imágenes satelitales</i>	<i>8</i>
<i>1.2.2. Landsat</i>	<i>9</i>
<i>1.2.2.1. Landsat 8</i>	<i>9</i>
1.3. Sistemas de información geográfica	11

1.3.1.	<i>Arcgis</i>	12
1.4.	Índices de vegetación	12
1.4.1.	<i>Índice de vegetación diferencial normalizada (NDVI)</i>	13
1.4.2.	<i>Fórmula de NDVI</i>	14
1.4.3.	<i>Valores de NDVI</i>	14
1.5.	Plataformas para descargar imágenes satelitales	15
1.5.1.	<i>Earth Engine</i>	15
1.5.1.1.	<i>El catálogo de datos de EE</i>	16
1.6.	Clasificación	16
1.6.1.	<i>Algoritmos de clasificación</i>	17
1.6.2.	<i>Clasificación Supervisada</i>	17
1.6.3.	<i>Clasificación no Supervisada</i>	18
1.7.	Análisis multitemporales	18
1.8.	Cobertura vegetal y uso de suelo	19
1.8.1.	<i>Cobertura vegetal</i>	19
1.8.2.	<i>Uso de suelo</i>	19
1.9.	Cuenca hidrográfica	20

CAPITULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO	
2.1.	Área de estudio de la investigación	21
2.1.1.	<i>Caracterización del área de estudio</i>	21
2.1.2.	<i>Límites de la subcuenca</i>	22
2.1.3.	<i>Cantones inscritos en el territorio de la Subcuenca del Chambo</i>	23
2.1.4.	<i>Usos y ocupación de tierra</i>	24
2.1.5.	<i>Microcuencas de la Subcuenca del rio Chambo</i>	24

2.2.	Equipos y Materiales.....	25
2.2.1.	<i>Materiales</i>	25
2.2.2.	<i>Software</i>	26
2.2.3.	<i>Insumos</i>	26
2.3.	Metodología de estudio	
2.3.1.	<i>Ejecución del primer objetivo</i>	27
2.3.1.1.	<i>Obtención de la información satelital.....</i>	27
2.3.1.2.	<i>Calcular el índice espectral NDVI.....</i>	28
2.3.2.	<i>Procesamiento de Imágenes satelitales en Arcgis.....</i>	30
2.3.3.	<i>Ejecucion del segundo objetivo.....</i>	32
2.3.3.1.	<i>Coberturas establecidas.....</i>	32
2.3.4.	<i>Para el tercer objetivo Generación de la Matriz de Transición.....</i>	34
2.3.4.1.	<i>Matriz de transición.....</i>	35

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1.	Calculo del índice espectral NDVI de las imágenes satelitales en el periodo de tiempo 2015 -2020.	37
3.2.	Resultados obtenidos de la clasificación supervisada	42
3.2.1.	<i>Coberturas identificadas</i>	42
3.2.2.	<i>Resultados por año de estudio</i>	42
3.2.2.1.	<i>Año 2015.</i>	43
3.2.2.2.	<i>Año 2016.....</i>	45
3.2.2.3.	<i>Año 2017.....</i>	47
3.2.2.4.	<i>Año 2018.....</i>	49
3.2.2.5.	<i>Año 2019.....</i>	51

3.2.2.6. <i>Año 2020</i>	53
3.2.2.7. <i>Análisis multitemporal</i>	55
3.2.2.8. <i>Cambio de cobertura vegetal del 2015 al 2020.</i>	57
3.2.3. <i>Matriz de transición</i>	58
3.2.3.1. <i>Transición de Cobertura.</i>	59
CONCLUSIONES	64
RECOMENDACIONES	66
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

INDICE DE TABLA

Tabla 1-1:	Especificaciones técnicas de las bandas espectrales y sensores.	10
Tabla 2.1:	Aplicaciones de cada banda con los reportes de la NASA.	10
Tabla 3-1:	Rangos de clasificación del NDVI.	14
Tabla 1-2:	Límites de la subcuenca del río Chambo.	23
Tabla 2-2:	Clases consideradas para la detección de cambios	32
Tabla 3-2:	Códigos de transición entre año 2015-2020	35
Tabla 1-3:	Estadística descriptiva de los valores de NDVI para los años de estudio.....	40
Tabla 2-3:	Datos en hectáreas y porcentajes de la cobertura vegetal del año 2015.	43
Tabla 3-3:	Datos en hectáreas y porcentajes de la cobertura vegetal del año 2016.	45
Tabla 4-3:	Datos en hectáreas y porcentajes de la cobertura vegetal del año 2017.	48
Tabla 5-3:	Datos en hectáreas y porcentajes de la cobertura vegetal del año 2018.	49
Tabla 6-3:	Datos en hectáreas y porcentajes de la cobertura vegetal del año 2019.	51
Tabla 7-3:	Datos en hectáreas y porcentajes de la cobertura vegetal del año 2020.	53
Tabla 8-3:	Área de cobertura vegetal del periodo 2015-2020.....	56
Tabla 9-3:	Cambio de cobertura vegetal en la subcuenca del río Chambo 2015-2020.....	57
Tabla 10-3:	Matriz de transición de cobertura vegetal entre año 2015 y 2020.....	58
Tabla 11-3:	Estado de cambio de cobertura vegetal en la subcuenca del rio Chambo 2015-2020.	61

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Fases de proceso de teledetección.....	6
Figura 1-2:	Área de estudio subcuena del río Chambo.	22
Figura 2-2:	Cantones inscritos en la subcuena.	23
Figura 3-2:	Microcuencas presentes en la subcuena del río Chambo.	25
Figura 4-2:	Ventana de plataforma Google Earth Engine. Búsqueda de imágenes.	28
Figura 5-2:	Ventana de plataforma Google Earth Engine. Ingreso de expresión de índice espectral.	29
Figura 6-2:	Ventana de plataforma Google Earth Engine. Ingreso de la fórmula de índice espectral.	30
Figura 7-2:	Procesamiento de imágenes satelitales.	31
Figura 8-2:	Procesamiento 2 de imágenes satelitales.	31
Figura 9-2:	Ventana para crear las firmas espectrales.	33
Figura 10-2:	Ventana de aplicación de clasificación supervisada ArcMap 10.5	34
Figura 11-2:	Códigos ingresados por categoría en la tabla de atributos	35
Figura 12-2:	Ventana de herramienta de geoprocésamiento Intersect ArcMap 10.5.....	36
Figura 13-2:	Ventana cálculo de área de cambio ArcMap.....	36
Figura 1-3:	Índice espectral NDVI periodo 2015-2020.	39
Figura 2-3:	Cobertura para el año 2015 subcuena río Chambo.....	45
Figura 3-3:	Cobertura para el año 2016 subcuena río Chambo.....	47
Figura 4-3:	Cobertura para el año 2017 subcuena río Chambo.....	49
Figura 5-3:	Cobertura para el año 2018 subcuena río Chambo.....	51
Figura 6-3:	Cobertura para el año 2019 subcuena río Chambo.....	53
Figura 7-3:	Cobertura para el año 2020 subcuena río Chambo.....	55

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2:	Metodología de estudio.	27
Gráfico 1-3:	Valores máximos y mínimos por año de estudio.....	40
Gráfico 2-3:	NDVI y precipitación	41
Gráfico 3-3:	Distribución de coberturas para el año 2015	44
Gráfico 4-3:	Distribución de coberturas para el año 2016.	46
Gráfico 5-3:	Distribución de coberturas para el año 2017.	48
Gráfico 6-3:	Distribución de coberturas para el año 2018.	50
Gráfico 7-3:	Distribución de coberturas para el año 2019.	52
Gráfico 8-3:	Distribución de coberturas para el año 2020.	54
Gráfico 9-3:	Cambio de cobertura en el periodo de estudio.	56
Gráfico 10-3:	Ganancias y pérdidas de cobertura.	59
Gráfico 11-3:	Porcentaje de cambio del año 2015 al 2020.	62

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: MAPA DE COBERTURA VEGETAL SUBCUENCA DEL RÍO CHAMBO 2015

ANEXO B: MAPA DE COBERTURA VEGETAL SUBCUENCA DEL RÍO CHAMBO 2016

ANEXO C: MAPA DE COBERTURA VEGETAL SUBCUENCA DEL RÍO CHAMBO 2017

ANEXO D: MAPA DE COBERTURA VEGETAL SUBCUENCA DEL RÍO CHAMBO 2018

ANEXO E: MAPA DE COBERTURA VEGETAL SUBCUENCA DEL RÍO CHAMBO 2019

ANEXO F: MAPA DE COBERTURA VEGETAL SUBCUENCA DEL RÍO CHAMBO 2020

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

EE	Earth Engine
ESPAC	Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua
INEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
IV	Índices de Vegetación
GPS	Sistema de Posicionamiento Global
MAAE	Ministerio del Ambiente y Agua
MDC	Mínima Distancia
MLC	Máxima Verosimilitud
ND	Niveles digitales
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NV	Clase no vegetal
NIR	Infrarrojo cercano
NNC	Redes Neuronales
OLI	Operational Land Imager
(PB)	Petabyte
SIG	Sistemas de información geográfica
SVM	Máquinas de Vectores Soporte
SV	Suelo sin Vegetación
TIRS	Thermal Infrared Sensor
VDe	Vegetación Densa
VD	Vegetación Dispersa
VM	Vegetación Media

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo realizar el análisis multitemporal de la cobertura vegetal en la subcuenca del río Chambo, un estudio de cambio de cobertura del año 2015 al 2020. Dentro del área estudiada se cuantificó la cobertura utilizando la información de Google Earth Engine, para lo cual se calculó el índice espectral (NDVI) de las imágenes satelitales landsat dentro de la plataforma de descarga. Además mediante el software Arcgis se realizó la clasificación supervisada para la identificación de coberturas, también se realizó la matriz de transición entre el año 2015 y 2020, a fin de analizar el cambio presentado. Los resultados indican que para el año 2016 mostró 0,873 de NDVI aproximándose a +1 en comparación a los demás años que se mostraron valores bajos. En cambio para el 2020 un valor de -0,527 acercándose a -1. Mediante la clasificación supervisada se evidenció cambios en todos los tipos de cobertura, siendo la vegetación dispersa con ganancia de superficie que para el año 2015 tuvo 129.080,48 ha (35,96%) y al 2020 con 152.619,419 ha (42,52%). Por medio de la matriz se pudo identificar la transición de vegetación media a vegetación dispersa con un cambio de 32.211,4 ha. Se concluye que en la zona estudiada existió un cambio de 139.397 ha equivalente a 39% y un 61% de la cobertura vegetal sin cambios, equivalente a una superficie de 219.525,3 ha de la subcuenca. Se recomienda realizar diagnósticos en zonas de interés hídrico para proponer acciones que involucre la protección de los recursos naturales

Palabras Clave: <COBERTURA VEGETAL>, <IMÁGENES LANDSAT 8>, <ÍNDICE DE VEGETACIÓN DE DIFERENCIA NORMALIZADA (NDVI)>, <CLASIFICACIÓN SUPERVISADA>, <SUBCUENCA RIO CHAMBO>



1888-DBRA-UTP-2021

ABSTRACT

The aim of this study was to conduct a multitemporal analysis of vegetation cover in the Chambo River sub-basin, a study of cover change from 2015 to 2020. Within the studied area, cover was quantified using information from Google Earth Engine, for which the spectral index (NDVI) of the satellite images was calculated. spectral index (NDVI) of the downloaded landsat satellite images. In addition, using Arcgis software, a supervised classification was performed for the identification of coverages, and the transition matrix was also made between 2015 and 2020, in order to analyze the change presented. The results indicate that for the year 2016 showed 0.873 NDVI approaching +1 compared to the other years that showed low values. On the other hand, for 2020 a value of -0.527 approaching -1. Through the supervised classification, changes were evidenced in all types of cover, being the dispersed vegetation with a gain in surface area that for 2015 had 129,080.48 ha (35.96%) and in 2020 with 152,619.419 ha (42.52%). Through the matrix, it was possible to identify the transition from medium vegetation to sparse vegetation with a change of 32,211.4 ha. It is concluded that in the studied area there was a change of 139,397 ha equivalent to 39% and 61% of the vegetation cover remained unchanged 61% of the vegetation cover remained unchanged, equivalent to an area of 219,525.3 ha of the sub-basin. It is recommended to carry out diagnoses in areas of water interest in order to propose actions which involve the protection of natural resources.

Key words: <VEGETATION COVERAGE>, <LANDSAT 8 IMAGES>, <INDEX OF NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX (NDVI)>, <SUPERVISED CLASSIFICATION>, <SUBCUENCA RIO CHAMBO>.

INTRODUCCIÓN

Las dinámicas de cambio de la superficie terrestre son complejas y causan transformaciones en la estructura y funcionalidad del ambiente; dando como resultado de los cambios, el riesgo de atentar en contra de la sostenibilidad de generaciones futuras. (Pinos, 2016: p. 8). Por tal razón, a nivel global ha incrementado el interés y la necesidad de contar con información de usos y coberturas terrestres que sean confiables y actualizadas, existiendo numerosos proyectos de carácter local, nacional e internacional con objetivos de creación y actualización de bases de datos tanto de coberturas como usos y ocupación manto terrestre (Borràs et al., 2017: p. 56).

El análisis de cobertura es una práctica admitida desde 1940 siendo una forma de evaluar los cambios del manto terrestre. Con base en información generada a partir de percepción remota usualmente fotografías aéreas e imágenes brindadas de diferentes satélites se lleva a cabo la medición de dichos cambios (Pineda, 2011: p. 1). Posterior al análisis de cambio de coberturas con la ayuda de sensores remotos y sistemas de información geográfica (SIG), ayudan a entender o conocer las causas que originan el cambio ya sean factores ambientales o socioeconómicos (Achicanoy et al., 2018: pp. 41-42), puede ser por causa de expansión acelerada de la zona urbana, el avance de la frontera agrícola, todos estos factores generan impactos ambientales que degradan los ecosistemas naturales, produciendo cambios en su estructura y función (Achicanoy, et al., 2018: pp. 41-42; Pinos, 2016: p. 8).

En el Ecuador, en las últimas décadas se ha experimentado cambios considerables en su cobertura vegetal natural y del uso determinado de la tierra, entre ellos las permutaciones de tierras con potencial agrícola, a suelo rural en urbano del mismo modo el desplazamiento de las áreas de agropecuarias a zonas con vegetación nativa, perdiendo la función social y ambiental del suelo (Pinos, 2016: p. 8). En la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC), indica que en el año 2017 se evidencia un cambio considerable de su cobertura vegetal natural que disminuyó a 332.418 ha de páramo, representando un decrecimiento anual del -12,01 % y 5.675,402 de montes y bosques que corresponde un decrecimiento de -1,70% (INEC, 2017, pp: 5-8).

En base a la bibliografía indagada existe poco registro de estudios de análisis multitemporal de cobertura vegetal en la subcuenca del río Chambo, no obstante existe un sinnúmero de estudios realizados a nivel global y regional. Así dentro de Ecuador existen ciertos estudios realizados que han servido de ayuda para el análisis en la zona de estudio. En el presente trabajo se pretende analizar la

cobertura vegetal de manera multitemporal de la subcuenca del río Chambo basado en información de percepción remota, y mediante imágenes satelitales, para llevar a cabo el análisis de la dinámica de cambio en la cobertura vegetal en el transcurso del tiempo.

PROBLEMÁTICA.

A escala mundial se están dando cambios de cobertura vegetal producto de distintas actividades principalmente las económicas que posteriormente crean problemas ambientales (Acosta y Suárez, 2020: p. 12). El uso de la tierra y la cobertura vegetal está sometida a cambio constantes (Torre y Rivas 2019: p. 25), siendo estos los primeros problemas que aquejan a la humanidad (López, 2006: citados en Pineda, 2011: p. 3). Los cambios en su gran parte son degradación del terreno, conversión de la cobertura del terreno e intensificación en el uso de la tierra, los mismos que van disminuyendo su fertilidad del mismo modo incrementa la presencia de contaminación (Torre y Rivas, 2019: p. 25). Siendo estos la principal causa del cambio climático global, además van relacionados directamente con la seguridad en la producción de alimentos, la biodiversidad, la salud humana, la urbanización, la migración transfronteriza, la calidad del agua y del suelo (López, 2006: citados en Pineda, 2011:p.3).

La presencia de recursos naturales en un lugar representa un crecimiento económico para la población del mismo modo, con desventaja ambiental. Esto representa una problemática mundial en diferentes ámbitos por el uso indiscriminado de los recursos naturales, siendo este un aspecto nocivo para la naturaleza perdiendo el valor de la sostenibilidad (Tomio & Ullrich, 2015: citados en Orellana y Lalvay, 2018: p.68). El incremento poblacional en los últimos años ha sido la causa para la explotación de los recursos naturales para la obtención de materia prima para su desarrollo económico. Las actividades antropogénicas tales como el pastoreo, agricultura extensiva y el cambio climático han ocasionado con el transcurso del tiempo cambio de la cobertura de vegetación, y destrucción de los ecosistemas (Paula, et al., 2018: p.126).

Dentro del área de estudio se puede evidenciar cambios notorios a lo largo del tiempo en 25 años dentro de la subcuenca del río Chambo se ha perdido el 24,3% de la superficie total de páramo, por diversos factores a los que están sometidos como son: el avance de la frontera agrícola, la reforestación con especies exóticas y las quemadas del pajonal en zonas de pastoreo, todos estos elementos conllevan a la pérdida de fuentes hídricas y los recursos naturales presentes. Cabe

mencionar que con la reforma agraria de los años 60 y 70 se dio inicio al proceso de expansión de las actividades agrícolas hacia zonas altas, por lo tanto, los campesinos e indígenas de la Sierra iniciaron a ocupar las zonas de baja productividad y con alta pendiente (Comité de la Subcuenca del Río Chambo, 2015: p. 35).

JUSTIFICACIÓN

Dentro de la subcuenca del río Chambo encontramos zonas de recarga hídrica correspondiente al ecosistema páramo que representa el 33% de la superficie de la subcuenca, siendo este el ecosistema de gran importancia que permite el almacenamiento y regulación de los flujos de agua. Por tal motivo, esta zona es considerada de gran interés por la población aledaña por el desarrollo económico que se genera dentro de ella.

La subcuenca del río Chambo debido a su ubicación dispone de agua, suelo y clima adecuado convirtiéndola en una zona agropecuaria. Por tales actividades desarrolladas por la población dentro de la subcuenca, se ha evidenciado cambios significativos de la cobertura a causa del pastoreo excesivo, avance descontrolado de la frontera agrícola entre otros factores que día a día van alterando el normal funcionamiento del manto terrestre (Comité de la Subcuenca del Río Chambo, 2015: pp.33-37).

De acuerdo a estos antecedentes y conociendo la importancia de las zonas de recarga hídrica presentes dentro de la subcuenca del río Chambo y la conservación de los recursos presentes es sustancial conocer las coberturas y uso de suelo de la zona. Así, la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo a través del Instituto de Investigaciones ejecuta el proyecto *Diseño e implementación de un sistema de monitoreo ambiental por teledetección en zonas con alto Potencial de Recarga Hídrica en el margen oriental de la Subcuenca del Río Chambo - DIMATEZ*, mismo que tiene como fin de identificar, diseñar, monitorear e implementar una política pública provincial para el manejo y conservación de las funciones ecológicas de las zonas de recarga hídrica (Lara et al., 2021: p. 127).

De esta manera el estudio de análisis de cobertura vegetal a través de nuestra investigación mediante el trabajo en sensores remotos y sistemas de información geográfica se podrá identificar y tratar información de la zona de estudio para dar seguimiento a la subcuenca del río Chambo. Así, también aportar al proyecto *DIMATEZ* con información fiable y actualizada para la construir una herramienta

de gestión vinculando los factores que ocasionan cambios notorios en la composición vegetal así tomar decisiones, plantear alternativas que garanticen la conservación y ejecutar acciones adecuadas para un manejo sostenible y sustentable de los recursos presentes en la zona.

1. OBJETIVOS

A. Objetivo General.

Realizar el análisis multitemporal de la cobertura vegetal en la subcuenca del río Chambo

B. Objetivos específicos.

- Calcular el índice espectral NDVI de las imágenes satelitales en el periodo de tiempo 2015 - 2020.
-
- Realizar la clasificación supervisada de cobertura vegetal de la zona de estudio.
-
- Generar la matriz de transición de cobertura vegetal de la subcuenca del río Chambo entre el año 2015 y 2020.

2. HIPÓTESIS

Hipótesis nula

- La cobertura vegetal no presenta cambios en el transcurso del tiempo en la subcuenca del río Chambo.

Hipótesis alternante

- La cobertura vegetal presenta cambios en el transcurso del tiempo en la subcuenca del río Chambo

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Teledetección

La teledetección o percepción remota es una herramienta científica, mediante la cual se obtiene información o datos a distancias de objetos sin que exista un contacto material para ello debe existir algún tipo de interacción entre los objetos observados, que están situados sobre la superficie terrestre, marina o en la atmósfera (López, 2020: p.3). La teledetección es considerada una técnica aplicada por tal razón es dependiente del desarrollo tecnológico, además la percepción remota trabaja con un sensor instalado en plataformas aeroespaciales tales aviones, satélites, radares, naves espaciales, entre otros, para luego facilitar información variada para varios campos de estudio (Chuvieco, 1995, pp.29-30).

Con la teledetección surge la implementación de nuevos enfoques y herramientas para el apoyo en procesos de conservación de la biodiversidad y otros estudios alrededor de todo el mundo (Sánchez, 2018, p.243), en el transcurso del tiempo existe avances en los sensores aéreos como el desarrollo de nuevos instrumentos de captura que proporcionan hoy en día imágenes multiespectrales con gran resolución espacial (Fragoso y Quirós, 2019: p.263). Para que un proceso de teledetección se lleve a cabo debe pasar por las siguientes fases mencionados a continuación (Fundación Conama, 2016, p. 18).

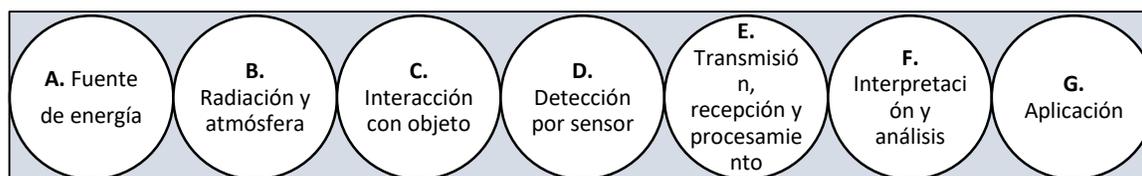


Figura 1-1: Fases de proceso de teledetección.

Fuente: Fundación Conama, 2016: p. 18

Elaborado por: Pinta, 2021

1.1.1. Aplicación

En la actualidad existen muchas ciencias que demandan el tratamiento de imágenes digitales, debido a que estas brindan información importante sobre cubiertas vegetales, marina y terrestre del planeta. A continuación se menciona algunas áreas de estudio (López, 2020: pp.23-26):

- Geografía
- Biología
- Geología
- Agronomía
- Oceanografía
- Arqueología

En la actualidad la teledetección esta aplicada con la ecología, relacionada con el campo de la biodiversidad por sus principales amenazas que son la fragmentación y pérdida del hábitat por la deforestación incitada por actividades humanas ocasionando la extinción en las especies. Debido a las características que posee la teledetección como la resolución espacial, espectral, radiométrica y temporal es posible medir algunas variables de la biodiversidad. En tal sentido los ecologistas y las agencias espaciales conjuntamente, han determinado una lista de variables para el monitoreo de la biodiversidad desde el espacio (Sánchez, 2018: p.243).

1.1.2. Herramientas de Teledetección.

Condori et al., (2018: p. 27) menciona que como interface entre la información espacial y los sistemas de información geográfica, se hace necesario mencionar a la fotointerpretación y sistema de posicionamiento global (GPS), como herramientas brindan una mayor facilidad de optimizar recursos económicos para una mejor calidad y ampliar la información sobre los recursos naturales.

La fotointerpretación como herramienta de la teledetección, identifica y cuantifica áreas y cuerpos de interés, como, por ejemplo, la vegetación clasificándolas en ciertas áreas caracterizadas por un patrón de vegetación y se delimitan sus respectivas superficies (Condori et al., 2018: p.27). El GPS con sus siglas en inglés Global Positioning System básicamente se trata de un sistema basado en tecnología satelital que radica en establecer la posición geográfica de un punto sobre la superficie terrestre.(Adeva, 2021; Condori et al., 2018: p.27).

1.2. Sensores remotos

Los sensores remotos son una herramienta útil en los estudios relacionados con suelos, vegetación, litología, geomorfología, entre otras (Carpintero et al., 2007: p. 14), a partir de determinadas bandas espectrales se obtiene la extracción de información de imágenes satelitales, así mediante análisis digital se podrá realizar cálculos como por ejemplo de índices espectrales para diferentes análisis de interés (Delpino et al., 2018: p.113). Por estas características de análisis, proporciona datos de los materiales tal y como se encuentran in situ (Ariza et al., 2018: p. 108), debido al nivel de reflectancia captada en el proceso de interacción con la superficie terrestre y los presentes en los sensores (Delpino et al., 2018: p. 113).

1.2.1. Imágenes satelitales.

Las imágenes satelitales son el tipo de información que es proporcionada por algún sensor de cierto satélite y son herramientas útil para evaluación y monitoreo ambiental (De La Cruz y Muñoz, 2016: p.24), están formadas por matrices, en la cual cada celda corresponde a un píxel y mediante la resolución espacial del sensor dará las dimensiones. La radiación electromagnética proveniente de la diferentes coberturas son registradas por los sensores y almacena en cada píxel, conforme a los intervalos de longitudes de onda, en las que este programado el sensor para captar (Bravo, 2017: p.18). Las imágenes satelitales hoy en día son una herramienta utilizada para la identificación y monitoreo de elementos de la superficie terrestre y su dinámica en periodos de tiempo determinados. Asimismo éstas proporcionaran información para determinar los factores del cambio en coberturas terrestres (De La Cruz y Muñoz, 2016: p.24).

Existen varios factores que puede influir en las imágenes satelital como la obstrusividad, la visibilidad que es la característica del ambiente y representa aquellos aspectos que determinan la observación de los objetos; tales como la cobertura vegetal, la topografía, el basamento geológico, entre otros. En cuanto a las propiedades y características de las imágenes satelitales pueden presentar condicionantes ligados con el grado de resolución disponible, la época del año, la hora del día y otras características de cuando fue tomada la imagen (Dellepiane, 2018: pp.260-261). Entre las imágenes satelitales utilizadas en el campo de la ecología podemos mencionar las imágenes multiespectrales como (Modis, Landsat, Sentinel, entre otros); e hiperespectrales tales como QuickBird, GeoE-ye y WorldView (Sánchez, 2018:p. 247).

1.2.2. Landsat

El conjunto de satélites landsat fue el primer programa creado específicamente para la detección remota, como líder para el estudio de características ambientales de la tierra como monitoreo de cobertura y usos de suelo, este satélite se encuentra en monitoreo por más de 40 años, proporcionando datos temporal e imágenes multiespectrales con alta resolución espacial. Las imágenes landsat brindan información a diversos estudios, supliendo diversas necesidades de los negocios, la ciencia, la educación, el gobierno y la seguridad nacional (Zanter, 2016: pp.1-2). Landsat brinda una serie de misiones de observación de la Tierra por satélite administrado de forma conjunta la NASA y el Servicio Geológico de EE.UU (Bravo, 2017: p. 19).

1.2.2.1 Landsat 8

Landsat 8 es el octavo satélite remoto lanzado el 11 de febrero de 2013 (Bravo, 2017: p.19). El satélite captura la información en un periodo de 16 días aproximadamente a las 10 de la mañana en el Ecuador, el satélite landsat 8 conformado por 11 bandas satelitales (Vargas Cuentas et al., 2018; citados en Vivanco y Torres, 2018: p.14). El satélite Landsat 8 incorpora dos instrumentos de barrido: Operational Land Imager, conocido como OLI y el Thermal Infrared sensor, conocido como TIRS. La calidad de los datos tanto en relación de la señal en función del ruido como la resolución radiométrica (12 bits) del OLI y TIRS, es más alta que los anteriores instrumentos de Landsat (8 bits para TM y ETM+) que ayudan a detectar cambios en la superficie terrestre, aportando una mejora en la capacidad (Ariza, 2013: pp.8-9).

Las imágenes landsat 8 consta de 11 bandas satelitales 9 bandas son captadas por el sensor OLI y 2 bandas por el sensor TIRS. Además, las imágenes satelitales provenientes del satélite landsat 8 son de acceso libre y gratuito (Vargas Cuentas et al., (2018) citados en Vivanco y Torres, 2018: p. 14).

Al contar con los 2 instrumentos científicos: el Operational Land Imager (OLI) y el sensor de infrarrojos térmico (TIRS), presenta imágenes multiespectrales con 11 bandas espectrales que abarcan desde el azul profundo hasta el infrarrojo térmico (Mateo et al., 2018: p. 4). A continuación se detallan las bandas espectrales, las longitudes de onda respectivamente (tabla 1-1).

Tabla 1-1: Especificaciones técnicas de las bandas espectrales y sensores.

Sensor	Banda	Resolución espectral (micrómetros)	Resolución espacial (metros)
OLI	B01 Aerosol costero	0,43-0.45	30
	B02 Azul	0.45-0.51	30
	B03 Verde	0.51-0.59	30
	B04 Rojo	0.59-0.67	30
	B05 NIR	0.85-0.88	30
	B06 SWIR1	1.57-1.65	30
	B07 SWIR2	2.11-2.29	30
	B08 Pancromático	0.50-0.68	30
	B09 Cirrus	1.36-1.38	30
TIRS	B10 Infrarrojo térmico 1	10.60-11.19	30
	B11 Infrarrojo térmico 2	11.50-12.51	30

Fuente: Matus, 2019: p. 13

Elaborado por: Pinta, 2021

Por otra parte, es necesario conocer las aplicaciones de cada una de las bandas del sensor landsat 8, detallado en la tabla 2-1

Tabla 2.1: Aplicaciones de cada banda con los reportes de la NASA.

Banda	Aplicación
Banda 1	Detecta azules y violetas profundas
Banda 2	Útil para mapear cuerpos de agua, diferenciación entre suelo y vegetación, además, presenta diferencia entre la vegetación conífera y decidua
Banda 3	Valúa el vigor de la vegetación sana, diferenciar tipos de rocas y medir la calidad de agua.
Banda 4	Determina la absorción de clorofila, por tanto usado para la clasificación de la cubierta vegetal, agricultura y uso del suelo.

Banda 5.	Mide el infrarrojo cercano, o NIR. Esta parte del espectro es importante para la ecología
Banda 6	Infrarrojo de onda corta o SWIR. Es especialmente útil para diferenciar la tierra húmeda de la seca, y para la geología: rocas y suelos.
Banda 7	Aplicaciones similares a la banda 6
Banda 8	Pancromática actúa como una película en blanco y negro: en vez de coleccionar colores visibles por separado, los combina en un solo canal.
Banda 9	Muy fina de longitudes de onda: sólo 1370 ± 10 nanómetros. Pocos instrumentos espaciales recogen esta parte del espectro, porque la atmósfera absorbe casi todo
Banda 10	Infrarrojo térmico, o TIR lo que le admite ver el calor.
Banda 11	Funciones similares a la banda 10

Fuente: Geomática, 2020.

Elaborado por: Pinta, 2020

1.3. Sistemas de información geográfica

Los SIG son la unión tanto de hardware, software y datos geográficos creados para la captura para diferentes funciones de almacenamiento, manipulación, análisis y el desarrollo de toda la información referenciada y posibilitan la vinculación espacial de distintas fuentes de información. Además los SIG trabajan con base de datos que relaciona identificadores de objetos gráficos de un mapa digital, pues de esta manera permite conocer su localización en la cartografía de un objeto con sus atributos que indica la información del identificador de la base de datos (Amado, 2016: pp.15-16).

Además mediante técnicas de datos referenciados geográficamente o geoprocesamiento se puede georeferenciar la información de cada área, lo que permite simbolizar cartográficamente la variación espacial y/o temporal de las variables, además se puede integrar espacialmente la información procedente de diferentes fuentes (Fandos et al., 2019: p.8).

Existe un rápido avance de los SIG, debido al desarrollo de nuevas tecnologías, siendo esta una herramienta primordial en distintas áreas relacionadas con gestión estratégica, además utilizado en

análisis demográfico, estudio de medio ambiente conjuntamente con la gestión de recursos y aplicaciones para desarrollo de urbanismo. Los campos mencionados desarrollados por empresas, industrias e instituciones sociales y gubernamentales siendo esta herramienta esencial para la solución de diferentes problemas que tengan componente espacial gracias a su versatilidad en el análisis de distintos estudios (Vázquez, 2017: p.159).

1.3.1. Arcgis.

Es un software del conjunto de los SIG, cuenta con varias funcionalidades para la captura, creación, edición, análisis, tratamiento, diseño, publicación e impresión de información geográfica (Amado, 2016: p. 16; MAE y MAGAP, 2015: p.17) y permite efectuar investigación espacial de datos, mediante el Arcgis se pueden crear, consultar y analizar datos de formato raster, además se puede combinar varias capas, aplicar funciones matemáticas, construir y obtener nueva información a partir de datos ya existentes también, se puede hacer análisis estadísticos e interpolar valores de datos para el área en estudio (Amado, 2016: p. 16).

1.4. Índices de vegetación.

Los índices de vegetación (IV) basados en sensores remotos son algoritmos simples y efectivos para realizar evaluaciones tanto cuantitativas y cualitativas de la cobertura vegetal, asimismo podemos analizar las características como el vigor y la dinámica de crecimiento, entre otras aplicaciones (Xue y Su, 2017: p.1). Mediante un análisis espectral de los índices permite tener una visión del efecto provocado en la cobertura vegetal (Morocho, 2020: p. 155), por lo tanto, estos índices se están usando ampliamente en diversos campos con el uso de distintas plataformas aéreas y satelitales con avances tecnológicos de la actualidad. (Xue y Su, 2017:p. 1).

Mediante la aplicación de una serie de coeficientes de bandas para las imágenes, se logra conocer la información acerca del comportamiento espectral de las diferentes unidades geomorfológicas, así como de las coberturas asociadas (Ariza et al., 2018: p.112).

1.4.1. Índice de vegetación diferencial normalizada (NDVI).

El índice de vegetación NDVI conocido como índice de vegetación diferencial normalizada utilizado para la identificación de la vegetación verde en la superficie y la observación de su distribución espacial, así como su avance a lo largo del tiempo (Ariza et al., 2018: p.112). Para ello, el NDVI diferencia entre la reflectancia del rojo con el infrarrojo cercano de esta manera facilita para la medición cuantitativa y cualitativa como la cantidad, calidad, vigorosidad y desarrollo de la cobertura vegetal en superficies extensas (Bravo, 2017: pp.75-76).

Dicho índice, es el más conocido con respecto a los demás índices de vegetación, por ende el más utilizado para todo tipo de aplicaciones y estudios debido a la sencillez de cálculo y disponer de un rango de variación fijo entre -1 y +1 lo que admite formar umbrales y realizar la comparación imágenes (Muñoz, 2013: p.4).

El empleo de índices para la identificación de masas vegetales tiene su base en el peculiar comportamiento radiométrico de la vegetación en relación a la actividad fotosintética y la estructura foliar de las plantas, por ende, permite ver la vigorosidad de la planta (Díaz, 2015: p.42). La vegetación sana presenta un claro contraste entre las bandas visibles de la firma espectral correspondiente al rojo (0,6 a 0,7 μm) y al infrarrojo cercano (0,7 a 1,1 μm) (Chuvieco, 1995: p.63).

Este índice está dado por la energía absorbida y reflejada por las plantas, así la vegetación sana indica un claro contraste entre la banda roja y el infrarrojo cercano. Por el contrario, el visible es absorbido por pigmentos de las paredes celulares de las hojas si estas no presentan estrés hídrico reflejan más energía, en cambio al presentar algún estrés de sequía la reflectividad disminuye (Díaz, 2015: p.42). Por todas estas características un elevado contraste entre una baja reflectividad en el visible y una alta reflectividad en el infrarrojo cercano. Por lo tanto, esta característica ayuda en la respuesta espectral para diferenciar la vegetación sana de otras cubiertas (Chuvieco, 1995: p.63; Díaz, 2015: p.42).

En el contexto, tenemos como ejemplo, cuando un árbol presenta vigor, refleja mayor radiación solar en el infrarrojo cercano y poca en el rojo, como resultado tenemos un NDVI con valores elevados. Al contrario, cuando un árbol está sufre de alguna patología o enfermo el NDVI tiende a ser bajo. De manera similar el índice espectral también sirve para diferenciar vegetación siempre verde de la vegetación xerófila o seca (Cartaya, 2014: p.8).

1.4.2. Fórmula de NDVI

Para el cálculo de este indicador o índice de vegetación NDVI, utilizan dos bandas, el infrarrojo cercano (NIR) y rojo (RED) el número de la banda difiere según el sensor (Vivanco y Torres, 2018: p. 41). A continuación se muestra el índice de vegetación NDVI con el NIR y rojo en su fórmula como se especifica en (Geography, 2020).

Fórmula 1

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)}$$

Donde

NIR= Infrarrojo cercano

Red= Rojo

NDVI= Índice de vegetación diferencial normalizada

1.4.3. Valores de NDVI

El valor del NDVI varía de -1 a +1, un NDVI < 0 se corresponden con cubiertas artificiales, zonas de agua, nubes, rocas, es decir, a clases no vegetales; valores del índice cercanos a 0,1 indican zonas desérticas, vegetación escasa, por el contrario si se tiene valores cercanos a 0,9 caracterizan zonas con alta densidad de vegetación (Ariza et al., 2018: p.112). Existe un sinnúmero de clasificaciones de rangos para distinguir las diferentes coberturas así se tiene valores de referencia los propuestos por (Cartaya et al., 2014: p.14; Merg et al., 2011: p.5) como se puede observar en la tabla 3-1.

Tabla 3-1: Rangos de clasificación del NDVI.

Valor	Clasificación
<-0.1	Clase no Vegetal
-0.1-0.15	Suelo sin Vegetación
0.15-0.25	Vegetación Dispersa
0.25-0.40	Vegetación Mediana
>0.40	Vegetación Densa

Fuente: Cartaya et al., 2014: p.14; Merg et al. 2011: p.5

Elaborado por: Pinta, 2021

1.5. Plataformas para descargar imágenes satelitales

Debido a que la teledetección está experimentando cambios de paradigma fundamental, se está dando paso a una extensa gama de aplicaciones ricas en datos de interpretación de una, dos o varias imágenes para la evaluación de la pérdida global de bosques, como para el seguimiento de los recursos hídricos en la superficie de la Tierra y la determinación de la frecuencia de las perturbaciones a lo largo de los años (Lee et al., 2018: p.1).

Vivanco y Torres (2018: p.13) mencionan en su estudio la existencia de varias plataformas, actualmente utilizados para la descarga de imágenes satelitales de forma libre y gratuitas dependiendo del sensor a utilizar, además la resolución de las imágenes multispectrales, por ejemplo tenemos los más conocidos sensor landsat, sensor +TM, sensor modis.

1.5.1. Earth Engine

Es una de las plataformas utilizadas para el análisis científico, Earth Engine (EE) trabaja a escala petabyte (PB) permite la visualización de conjuntos de datos geospaciales, de acceso libre para el beneficio público como también para usuarios comerciales y de la administración (Ramos, 2018). En contexto Google Earth Engine permite el análisis de datos ambientales a escala planetaria con disponibilidad de imágenes de satélite procedentes de los últimos 40 años. Al mismo tiempo recopilan nuevas imágenes diariamente (Ramos, 2018; Vasconcelos, 2015), además provee herramientas para la computación de datos utilizados por científicos y otros interesados en la detección de cambios y tendencias en la superficie de la tierra, en los océanos y en la atmósfera (Vasconcelos, 2015).

La capacidad de análisis de los datos en línea es las característica por la cual se diferencia Google Earth ya que Earth Engine almacena, organiza las imágenes satelitales y las pone a disposición por primera vez para la extracción de datos a escala global (Ramos, 2018). En el mismo contexto la plataforma permite la computación en la nube para el análisis de datos geográficos, así también permite el acceso a un catálogo de insumos de teledetección, además con la capacidad de procesar estos productos directamente en línea (Mateo et al., 2018: p.4).

Debido a la existencia de avances en la teledetección y en la tecnología, ha facilitado a las plataformas a proporcionar acceso a imágenes con técnicas de análisis avanzadas de análisis de información de

imágenes satelitales. Además, en estudios referente a clasificaciones de uso del suelo y análisis de coberturas, la plataforma ofrece la capacidad de crear nuevas clasificaciones y acceder a los conjuntos de datos mundialmente (Lee et al., 2018: p. 1). Todos los datos dentro de la plataforma se encuentran preprocesados y georreferenciados facilitando su uso directo, asimismo permite cargar datos de usuario en formatos raster o vectoriales (Mateo et al., 2018: p. 4).

1.5.1.1. El catálogo de datos de EE

El catálogo de Earth Engine es una colección de datos públicos de varios petabytes de conjuntos de datos geospaciales ampliamente usados. El catálogo mayormente se compone de imágenes de teledetección de observación de la Tierra, como archivos completos de landsat, datos de sentinel-1 y sentinel-2, también brinda información de pronósticos climáticos, datos de cobertura terrestre datos ambientales, geofísicos y socioeconómicos (Gorelick et al., 2017: p. 19). EE también proporciona APIs en JavaScript y Python, así como otras herramientas, para permitir el análisis de grandes conjuntos de datos (Ramos, 2018).

El catálogo de la plataforma de EE se encuentra en una constante actualización a una velocidad de aproximadamente 6.000 escenas por día, los usuarios pueden pedir la adición de nuevos conjuntos de datos al catálogo público, además pueden cargar sus propios datos privados mediante interfaz REST usando la herramientas de línea de comandos o basadas en navegador y compartir con otros usuarios (Gorelick et al., 2017: p. 19).

1.6. Clasificación

El estudio de detectar y cuantificar coberturas de la superficie terrestre depende en gran parte de las capacidades del sensor y técnicas de clasificación entre las cuales están la clasificación supervisada, no supervisada y mixta (Campos y Vargas, 2018: p.59). La clasificación de imágenes es un estudio común en la teledetección para lo cual se usan múltiples combinaciones de clasificadores y algoritmos para mejorar el rendimiento de la clasificación de las imágenes satelitales (Shen et al., 2018: p.3705). Como resultado del proceso de clasificación se tiene una imagen temática en la cual cada pixel de la imagen inicial se ha asignado varias categorías (Ormeño, 2006: p. 164).

Perry (2017: p.13) indica, dos tipos de clasificación: la supervisada en la cual consiste crear firmas espectrales o un clasificador en base a datos de entrenamiento y la no supervisada, en este caso se busca identificar cuáles son las clases existentes, sin la existencia de una definición a priori de ellas. Mediante la clasificación se obtiene un dato particular de un atributo a partir de otros, el atributo a obtener es la clase o variable dependiente, mientras tanto que los atributos utilizados para hacer el análisis se llaman variables independientes (Cruz et al., 2017: p.11).

1.6.1. Algoritmos de clasificación

Para efectuar el proceso de clasificación se ha implementado diversos algoritmos, cada uno de ellos con distinta velocidad de ejecución, precisión y clase de datos tratados, los cuales brindan soluciones bajo diferentes enfoques como son: probabilísticos, árboles de decisión, basados en vecindad, redes neuronales, entre otros. Existe un sinnúmero de clasificadores conjuntamente con la versatilidad de las poblaciones que se trabajan en el ámbito real, por tal motivo hace compleja la tarea de seleccionar un algoritmo en específico que se realice con mayor eficacia (Cruz et al., 2017: pp. 10-11).

Ávila et al. (2020: p. 41) menciona ciertos algoritmos de clasificación como los de Mínima Distancia (MDC), los de Máquinas de Vectores Soporte (SVM) y el de Redes Neuronales (NNC) y Máxima Verosimilitud (MLC). Este último utilizado en la presente investigación, necesita de datos para mayor precisión estadística de entrenamiento (Escandón et al., 2018: p. 37). El intérprete es quien ubica dentro de la imagen los campos de entrenamiento representativos para cada clase a ser categorizado (Osuna et al., 2015: p. 354).

1.6.2. Clasificación Supervisada.

Para llevar a cabo un análisis mediante la clasificación supervisada de imágenes satelitales, requiere de un cierto conocimiento de la zona a analizar, este conocimiento puede derivarse de revisión de campo, la fotointerpretación y otras fuentes como mapas temáticos (Cartaya et al., 2015: p.53). Por ende permiten delimitar sobre la imagen áreas de entrenamiento suficientemente representativas de cada categoría que la forman. Asimismo, la clasificación supervisada permite explorar diferentes tipos de atributos o clases mediante un análisis estadístico (Cartaya et al., 2014: p. 7). Para Vargas y Campos (2018: p.59) el método supervisado se considera el más preciso; sin embargo, menciona que su precisión depende de la capacidad del algoritmo utilizado para diferenciar las categorías.

Al procesar imágenes satelitales por medio de la clasificación supervisada permite crear datos de tendencia de uso de suelo y la diversificación de coberturas, análisis de cultivos de un área geográfica de interés, posteriormente aplicando multitemporalidad y mediante cartografía temática observar los comportamientos y cambios de una zona determinada (Rivas, 2020: p.91). Existen numerosos procedimientos matemáticos para el análisis de patrones espectrales mediante la clasificación supervisada como de Máxima probabilidad (Maximum Likelihood), Distancia Mínima (Minimum distance), Paralelepípedos (Parallelepiped), Angulo espectral (Spectral Angle Mapper) (MAE y MAGAP, 2015: p.20).

1.6.3. Clasificación no Supervisada.

Dentro de la clasificación no supervisada el algoritmo utilizado no requiere de un entrenador (Moreno, 2017: p.13), para trabajar con este tipo de clasificación se utiliza un algoritmo denominado Isodata, el cual agrupa píxeles con respuestas espectrales similares, con la técnica de análisis *Iterative Self-Organizing Data*, posteriormente son identificados. El algoritmo presente en esta clasificación está creado para trabajar con datos de 8-bit (Rosero, 2017: p.26). Además, el algoritmo funciona mediante un computador mismo que agrupa los datos y los clasifica independientemente de los datos muestreados en campo (Moreno, 2017: p.13). Como desventajas de esta clasificación se tiene la obtención de clases no contiguas, con píxeles aislados, también es 100% dependiente de los datos, un ejemplo de esto, puede ser el caso de una imagen con una considerable interferencia atmosférica en consecuencia a esto se obtiene datos con alteraciones (Rosero, 2017: p.26).

1.7. Análisis multitemporales

El análisis multitemporal es una práctica mediante la cual permite obtener imágenes con diferentes fechas y horas con el propósito de estudiar los fenómenos naturales, los estudios más conocidos son los de análisis de coberturas y uso de suelo, de esta manera permiten conocer los tipos de cambios que producen las distintas actividades antropogénicas (Hernández et al., 2015: citado en Fernández, 2019: p.26).

El análisis multitemporal conlleva a varias actividades como la adquisición de los insumos como las imágenes, la preparación de las imágenes, la clasificación de las coberturas presentes, en último lugar la determinación de cambios en los estudios. Para una mayor precisión de los resultados es recomendable trabajar con ayuda de trabajo en campo para la validación de la clasificación (Ramírez,

2015: p.3). Al mismo tiempo, las técnicas basadas en la percepción remota obtienen un alto potencial para el estudio de análisis multitemporal, mediante el cual da paso a la identificación de los cambios desde diferentes escalas de trabajo (Martínez et al., 2017: p.92). Por otra parte, los análisis multitemporales, se han elaborado para establecer el grado de afectación de diferentes acontecimientos naturales o antrópicos en los diferentes ecosistemas, como es el caso de los incendios forestales (Alzate et al., 2017: p.96).

1.8. Cobertura vegetal y uso de suelo.

1.8.1. Cobertura vegetal

De acuerdo al Ministerio del Ambiente del Ecuador hacen referencia a la cobertura como los datos que representan la capa de vegetación que cubre el manto terrestre, misma que está representada por la flora silvestre definidos como el conjunto de especies vegetales nativas, que crecen naturalmente (MAE, 2007: p.6). La cobertura vegetal como un indicador biofísico que representa los materiales que cubren el territorio (Borràs et al., 2017: pp.55-56), como por ejemplo, suelo desnudo que son áreas que no cuenta con vegetación, al estar ocupadas por playas, río y algunos movimientos de tierra que suceden en las partes altas con pendientes considerables (Subia, 2020: p.40), asfalto, vegetación (Borràs et al., 2017: p.56), ríos, lagunas entre otros cuerpos acuáticos (Subia, 2020: p.40).

1.8.2. Uso de suelo.

Datos que representan la ocupación que el hombre da a los diferentes tipos de cobertura, resultado de la interrelación entre los factores biofísicos y culturales de un espacio geográfico determinado (MAE, 2007: p.6). Desde un criterio socioeconómico es definido como la actividad dominante realizado en un lugar determinado, sean estos usos como agrícola, residencial, comercial, industrial, etc., a partir de estas se puede categorizar en niveles más específicos (Borràs et al., 2017: p.55).

1.9. Cuenca hidrográfica

La cuenca hidrográfica es espacio terrestre delimitado por las partes más altas de las montañas donde se juntan o se concentran todos los escurrimientos que confluyen y desembocan en un punto de salida de la cuenca ya sea un lago o el mar. Las cuencas hidrográficas se encuentran estructuradas jerárquicamente, se pueden subdividirse en subcuenca, microcuenca, todas las anteriores delimitadas por un parte aguas, en el cual se unen los escurrimientos que desembocan en un cauce principal (Ríos et al., 2013: pp.7-8).

Además en este territorio denominado cuenca hidrográfica existe una interacción temporal y espacial entre el medio físico, tecnologías y las instituciones (Ríos et al., 2013: p.7). Las cuencas están conformadas por diferentes usos del suelo y coberturas que definen directamente la dinámica ambiental y su conservación ya sean determinados por características naturales o antrópicas (Mirandola et al., 2020: p.82).

1.10. Matriz de transición.

Son tablas elaboradas a partir de la sobreposición de los mapas obteniendo la matriz de transición o de cambios en la cual va contenido la superficie de las coberturas para cada año y a partir de la matriz se determinara las tasas de cambio (Camacho et al., 2015: p.93). Cada matriz contiene filas y columnas con fechas 1 y 2 respectivamente (Rojas et al., 2019: p.10). Las áreas que no sufrieron cambios, es decir las persistencias entre tiempo 1 y tiempo 2, se muestran en la diagonal principal de la tabla, en cambio los elementos fuera de la diagonal principal pertenecen a las transiciones ocurridas entre categorías (Niño, 2020: p.27).

CAPITULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

Dentro de este capítulo se define las características territoriales de la zona de estudio correspondiente a la subcuenca del río Chambo, además se detalla los materiales y metodologías que se utilizaron para el desarrollo de los objetivos planteados en el presente estudio.

2.1. Área de estudio de la investigación

El presente estudio de investigación se llevó a cabo en la subcuenca del río Chambo, localizada en la zona centro del Ecuador. Con coordenadas proyectadas UTM Zona 17 sur/ Datum WGS 84, 783487-9817400 y una altura entre 3600msnm – 4600msnm (Córdova, 2018: p. 22). La subcuenca se encuentra ubicada en la zona de planificación número 3 del Ecuador (Comité de la Subcuenca del Río Chambo, 2015: p.32).

2.1.1. Caracterización del área de estudio

La subcuenca del río Chambo forma parte de la cuenca alta del río Pastaza, su principal afluente es el río del mismo nombre (Comité de la Subcuenca del Río Chambo, 2015: p.32). Dicho río se forma al unirse el río Cebadas con el río Guamote, y continúa su curso hacia el norte pasando por Cotaló donde se une con el río Patate para formar el río Pastaza (Quishpe, 2017: p.4). Cuenta con una superficie aproximada de 3580 km² (Comité de la Subcuenca del Río Chambo, 2015: p.32). Además dentro de la subcuenca se encuentran unos 33 ríos de tamaño muy variable, que drenan a un cauce principal denominado río Chambo (Andrade, 2019: p.34; Consejo de Cuenca, 2016), el cauce de las cuencas depende de la época del año y la ubicación geográfica (Consejo de Cuenca, 2016).

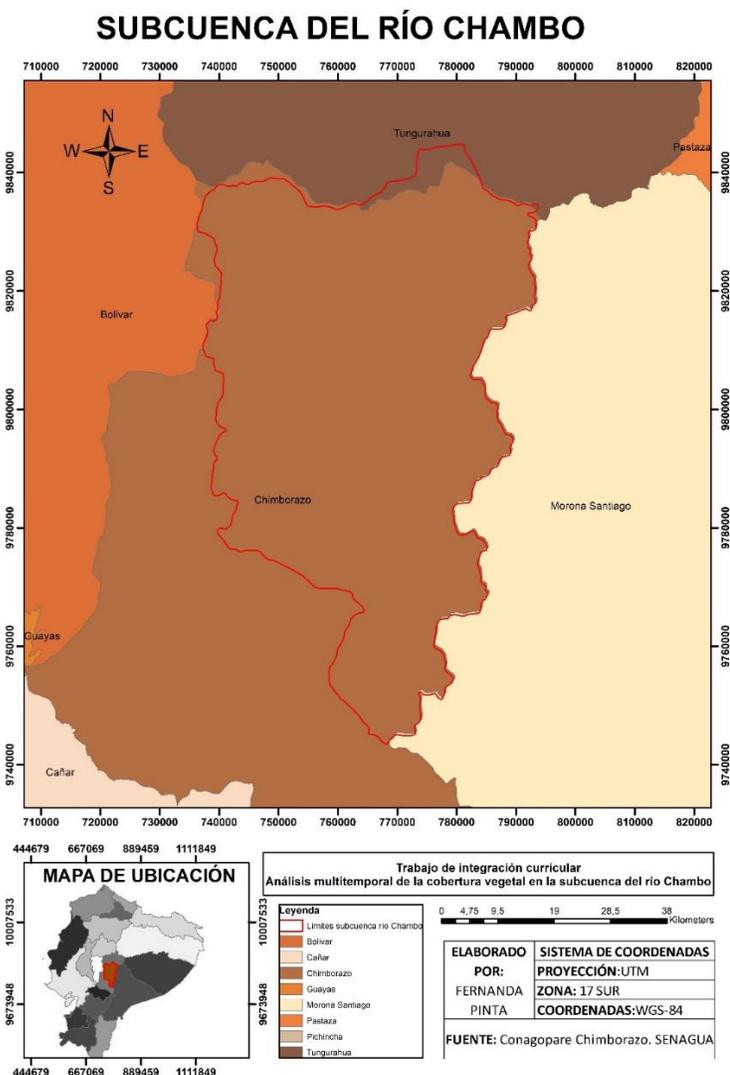


Figura 1-2: Área de estudio subcuenca del río Chambo.

Elaborado por: Pinta, 2021.

2.1.2. Límites de la subcuenca

En la figura 1-2 podemos visualizar los límites de la subcuenca, así tenemos al norte la provincia de Tungurahua, al sur la provincia de Chimborazo al este limita la provincia de Morona Santiago y al oeste tenemos limitando con la provincia de Bolívar y Chimborazo. Además en la tabla 1-2 se detalla los cantones inscritos en la subcuenca y las correspondientes provincias limitantes.

Tabla 1-2: Límites de la subcuenca del río Chambo.

NORTE	Provincia de Tungurahua
SUR	Cantón Alausí en Chimborazo
ESTE	Provincia de Morona Santiago
OESTE	Provincia de Bolívar y Cantones de Guamote, Colta y Pallatanga en Chimborazo.

Fuente: Comité de la Subcuenca del Río Chambo, 2015: p.30

Elaborado por: Pinta, 2021.

2.1.3. Cantones inscritos en el territorio de la subcuenca del río Chambo.

Dentro del territorio correspondiente a la subcuenca se encuentran 8 de los 10 cantones de la provincia de Chimborazo, tales como: Alausí, Guamote, Colta, Chambo, Riobamba, Penipe, Guano y una pequeña parte del cantón Pallatanga ocupando un 98% y el resto corresponde a la provincias de Tungurahua, Bolívar y Morona Santiago (Comité de la Subcuenca del Río Chambo, 2015: p.32; Consejo de Cuenca, 2016) (figura 2-2).

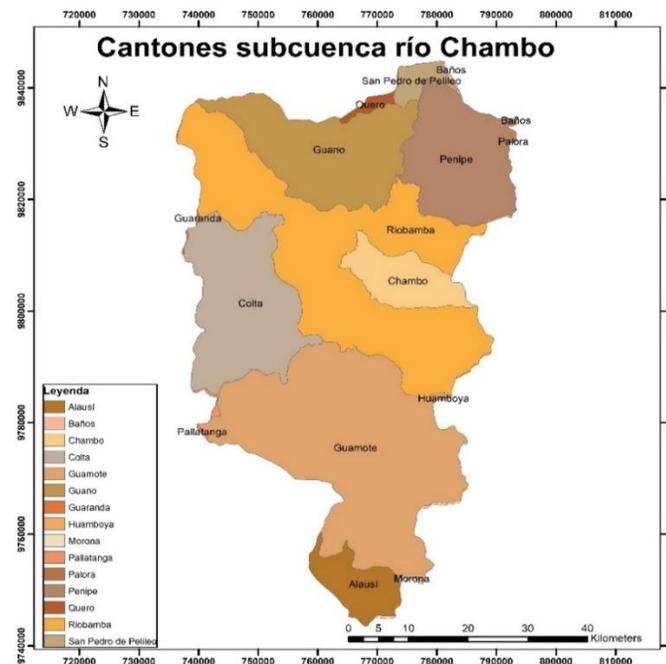


Figura 2-2: Cantones inscritos en la subcuenca.

Elaborado por: Pinta, 2021

2.1.4. Usos y ocupación de tierra

La actividad agropecuaria domina toda la subcuenca del río Chambo, por su ubicación disponen de agua, suelos y clima adecuados para una diversidad de cultivos, es el caso de los sectores de los Gatazos, comunidades de la parroquia San Luis y Tunshi, Chambo con producción intensiva de hortalizas tales como, brócoli, tomate riñón, lechuga, col, etc. Cultivos que posterior a su cosecha son destinados para abastecer los mercados de la Costa e incluso para exportación (Comité de la Subcuenca del Río Chambo, 2015, pp:37-39).

Otra actividad de la población económicamente activa es la ganadería, en los últimos años, debido a la estabilidad en el precio de la leche, siendo este un ingreso seguro y continuo, la zona de Cebadas por ejemplo, está convirtiéndose en una zona ganadera. También se destaca otro uso importante que es la presencia de bosques plantados de especies de *Pinus radiata* en zonas de páramo y eucalipto en las partes bajas, las plantaciones representan un 5% en el territorio de esta unidad hidrológica (Comité de la Subcuenca del Río Chambo, 2015, pp:37-39).

2.1.5. Microcuencas de la subcuenca del río Chambo.

La subcuenca del río Chambo, está conformada de 21 microcuencas, las más importantes son las microcuencas de los ríos Cebadas, Guamote, Chibunga, Guano, Puela, Alao, Blanco y Ulpán, que ocupan aproximadamente el 85% de esta subcuenca (Naranjo, 2013: p.166) (figura 3-2).

- Materiales de oficina

2.2.2. Software

- Google Earth Engine
- Arcgis 10.5 (licencia universitaria)
- Microsoft Office

2.2.3. Insumos

- Imágenes satelitales landsat 8 del año 2015 al 2020
- Shapefile de área de estudio subcuenca del río Chambo
- Cartografías

2.3. METODOLOGÍA DE ESTUDIO

La metodología se basa en el uso de SIG tal como el ArcMap 10.5, software que la Facultad de Recursos Naturales cuenta con la licencia educativa correspondiente. Dicho programa es utilizado para el procesamiento digital y la interpretación de las imágenes satelitales obtenidas del satélite landsat 8 desde la plataforma Google Earth Engine y con ello el cálculo del índice espectral NDVI mediante el cual se desarrolla la clasificación supervisada para identificar las coberturas del área de estudio. También se realizó la matriz de transición con el fin de identificar los cambios de coberturas en el período de análisis 2015 al 2020 (gráfico 1-2).

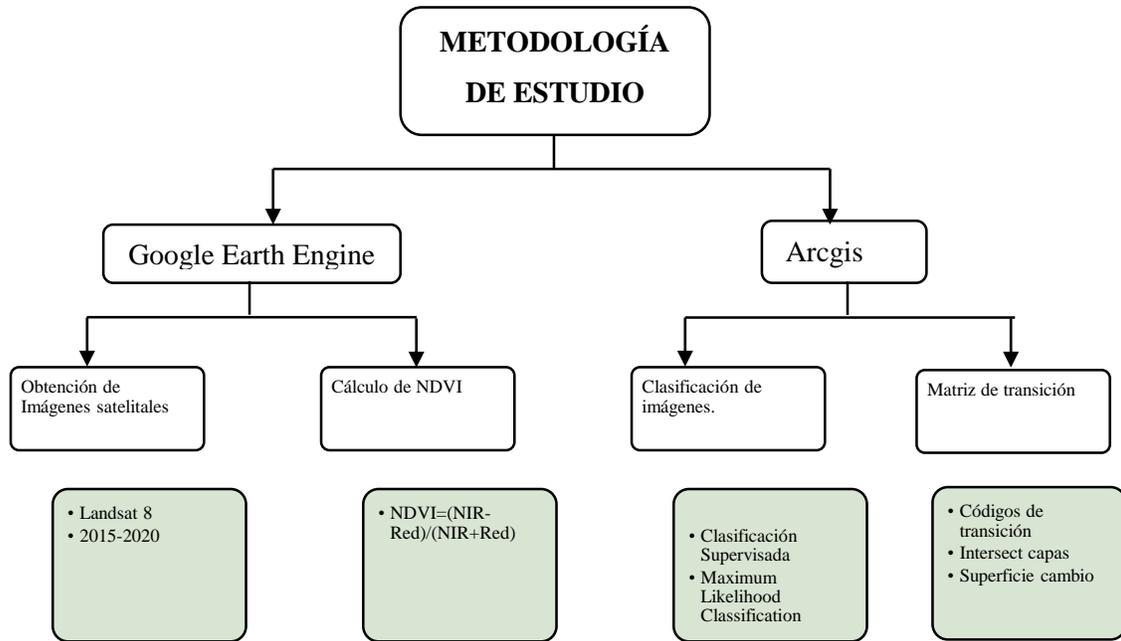


Gráfico 1-2: Metodología de estudio.

Elaborado por: Pinta, 2021

2.3.1. Para la ejecución del primer objetivo: Calcular el índice espectral NDVI de las imágenes satelitales en el período de tiempo 2015 -2020.

Para dar inicio al análisis y cumplimiento del objetivo número uno se ingresó a la plataforma de Google Earth Engine con una cuenta previamente creada, que nos permitió obtener los insumos a partir del cual se llevó a cabo los diferentes procedimientos.

2.3.1.1. Obtención de la información satelital.

Las imágenes satelitales fueron obtenidas de la plataforma Google Earth Engine, para dicho estudio encontramos la gama de imágenes proporcionadas por la plataforma, dentro de ellas se seleccionaron las imágenes del satélite landsat, (*Compuesto Landsat 8 Collection 1 Tier 1 Annual TOA Reflectance Composites*). Este tipo de información cuenta con datos anuales, para un análisis de series y apilamiento de datos, estas imágenes son un compuesto de todas las escenas de cada año iniciando

desde el primer día del año y continuando hasta el último día del año. Además esta información está compuesta de escenas orto rectificadas de nivel 1 con calibración radiométrica y ortorectificación sustentada con puntos de control de terreno y un modelo digital de elevación, además utiliza la reflectancia calculada de la parte Superior de la Atmosfera TOA (figura 4-2).

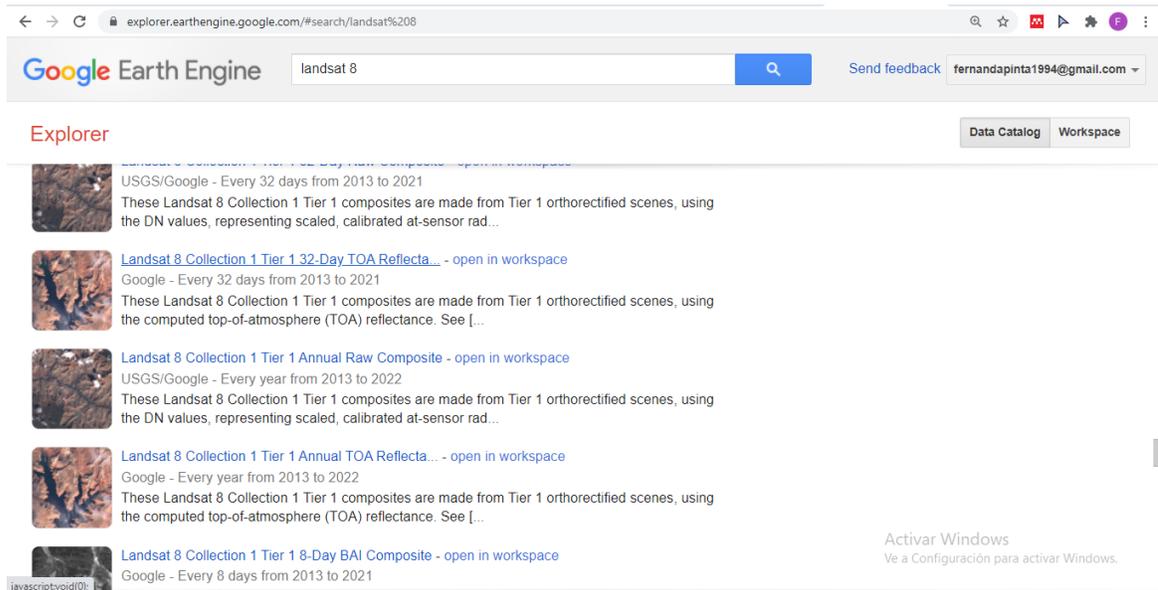


Figura 4-2: Ventana de plataforma Google Earth Engine. Búsqueda de imágenes.

Fuente: Google Earth Engine, 2021

Elaborado por: Pinta, 2021

2.3.1.2. Calcular el índice espectral NDVI

Se realizó el cálculo del índice espectral NDVI en cada uno de los años de estudio para identificar la presencia de vegetación en la superficie y observar su distribución espacial. Luego de aplicar el índice nos dan valores de -1 a 1, para este cálculo mediante el índice espectral NDVI se utilizan las banda rojo e infrarrojo cercano, en landsat 8 corresponden a las bandas 4 y 5. De esta manera para la subcuenca del río Chambo se obtiene valores máximos y mínimos por cada año de estudio para el período 2015- 2020.

El procedimiento dentro de la plataforma Google Earth Engine para el cálculo del índice espectral NDVI se detalla a continuación:

A partir de la imagen landsat 8 seleccionada y guardada dentro de la plataforma ingresamos a la pestaña *Add computation - Expression* a continuación seleccionamos la imagen con la cual se va a trabajar, se visualiza una imagen cargada con 12 capas, posterior a esto ingresamos la fórmula correspondiente del índice espectral NDVI (figura 5-2).

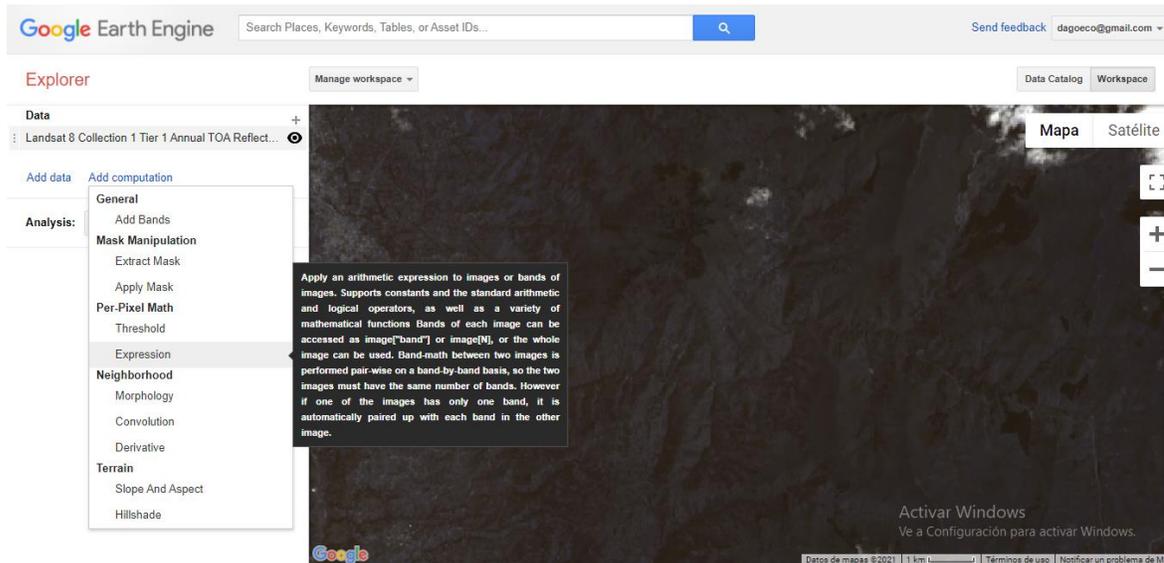


Figura 5-2: Ventana de plataforma Google Earth Engine. Ingreso de expresión de índice espectral.

Fuente: Google Earth Engine, 2021.

Elaborado por: Pinta, 2021

La fórmula general utilizada para el cálculo del NDVI se encuentra en el marco teórico en la fórmula 1. Sin embargo para el caso de la imagen landsat 8, Zambrano (2016: p.31) especifica la fórmula para el cálculo de índice y corresponden a las bandas 5 y 4 respectivamente así tenemos:

Fórmula 2

$$NDVI = \frac{(B5 - B4)}{(B5 + B4)}$$

Dónde: B5 corresponde a la banda 5 y B4 a la banda número 4

En la plataforma de google earth engine la expresión para el cálculo va escrita de la siguiente manera $NDVI = (img1 ["B5"] - img1 ["B4"]) / (img1 ["B5"] + img1 ["B4"])$, Una vez calculado la expresión descargamos la imagen para el análisis de datos dentro de Arcgis 10. 5 proyectando toda la información a coordenadas UTM, zona 17 Sur, datum WGS84. Proceso que se puede observar en la (figura 6-2).

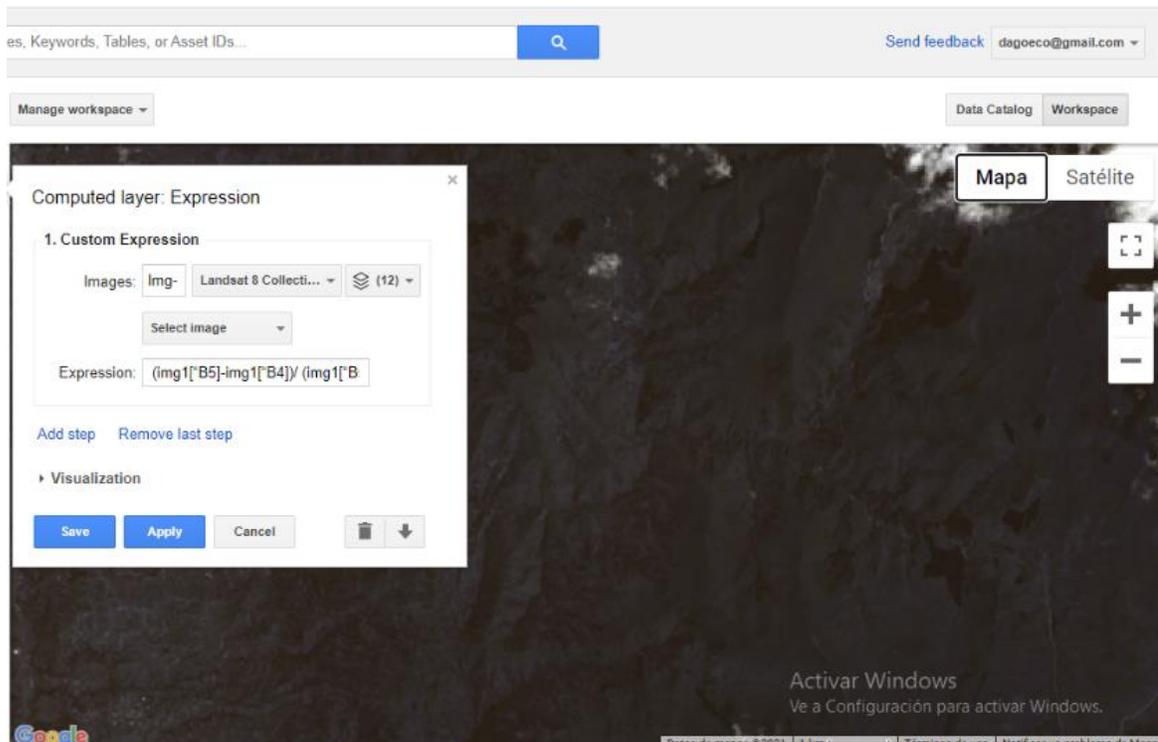


Figura 6-2: Ventana de plataforma Google Earth Engine. Ingreso de la fórmula de índice espectral.

Fuente: Google Earth Engine, 2021.

Elaborado por: Pinta, 2021

2.3.2. *Procesamiento de imágenes satelitales en Arcgis*

Contando con los raster de NDVI de los años 2015, 2016, 2017, 2018, 2019 y 2020 se inicio el procesamiento digital dentro del software arcgis proyectando toda la información a coordenadas UTM, zona 17 Sur, datum WGS84 y conjuntamente con la capa vector de cuencas del Ecuador se demarcó la zona de estudio la subcuenca del río Chambo en la imagen raster, dicho proceso se realizó con la herramienta de *extract by mask*, se obtuvo el archivo de la zona de estudio que constituye la base para realizar el tratamiento digital (figura 7-2).



Figura 7-2: Procesamiento de imágenes satelitales.

Elaborado por: Pinta, 2021

Mediante la herramienta *Export Data - Cell Size* se trabajó cambiando la resolución de tamaño de pixel a 20x20 obteniendo los raster agrupados en filas y columnas con una mejor resolución (figura 8-2).

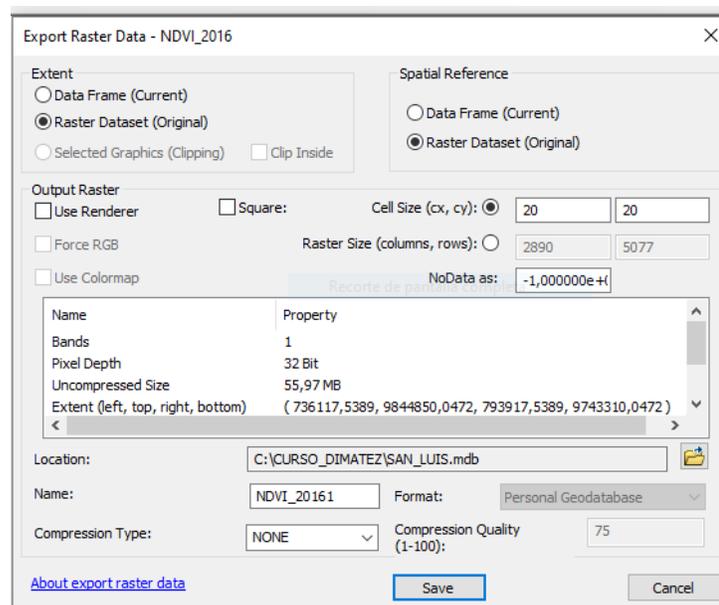


Figura 8-2: Procesamiento 2 de imágenes satelitales.

Fuente: ArcMap, 2021.

Elaborado por: Pinta, 2021

2.3.3. *Objetivo 2. Realizar la clasificación supervisada de cobertura vegetal del área de estudio.*

Mediante el clasificador de máxima verosimilitud se llevó a cabo la clasificación supervisada a través de la cual se obtendrá categorías de coberturas. Para este tipo de clasificación es recomendable tener un conocimiento previo de la zona de estudio, también se puede trabajar con la ayuda de la fotointerpretación y otras fuentes como los mapas temáticos entre otros. A partir de esta información, nos permitió seleccionar áreas representativas de cada categoría sobre la imagen calculada el índice espectral NDVI creando un *shapefile* con la clase entidad denominada *Puntos* para marcar las áreas representativas para cada clase, posterior a esto se asignó un código de identificación por categorías.

2.3.3.1. *Coberturas establecidas*

Los tipos de cobertura establecidos para la detección de cambios en la subcuenca del río Chambo se basan en la leyenda de (Cartaya Ríos et al. 2014)

Tabla 2-2: Clases consideradas para la detección de cambios

CLASE	COBERTURA	DESCRIPCIÓN
1	Clase no vegetal	Ríos, quebradas, lagunas, nubes
2	Suelo sin vegetación	Tierras degradadas, asentamientos, vías, tierra desnuda
3	Vegetación dispersa	Cultivos, herbazales, pastizales,
4	Vegetación media	Vegetación leñosa, plantaciones, bosques secos
5	Vegetación densa	Plantas densas en crecimiento, bosque húmedo

Fuente: Cartaya Ríos et al. 2014

Elaborado por: Pinta, 2021

Mediante el software Arcgis se trabaja en la clasificación supervisada el procedimiento realizado es el siguiente:

A partir de la capa vectorial del índice espectral, se crea una capa *shapefile* asignando un conjunto de puntos de control por categorías conocidas ya establecidas, buscando que los píxeles de las áreas

seleccionadas sean homogéneas para cada clase. Además para verificar los puntos se trabajó con el apoyo de la capa de cobertura y uso de suelo del Ecuador del MAE, Conagopare-Chimborazo 2016, mapas, informes técnicos, mapas bases del software Arcgis 10.5.

Posteriormente se generó un archivo de firmas espectrales en formato gsg con la herramienta *Create Signatures*, a continuación muestra las pestañas: *ArcToolbox - Spatial Analyst Tools - Multivariate - Create Signatures*. En la pestaña de *Input raster bands* seleccionamos el raster de imagen satelital, del mismo modo a continuación tomamos el *shapefile* de los puntos de control creados anteriormente (figura 9-2).

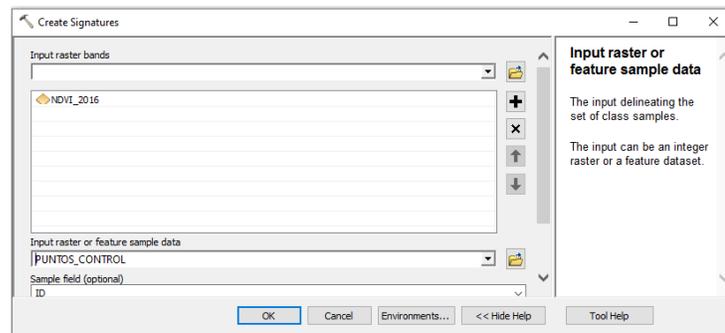


Figura 9-2: Ventana para crear las firmas espectrales.

Fuente: ArcMap, 2021.

Elaborado por: Pinta, 2021

Contando con las firmas espectrales se procedió a realizar la clasificación supervisada del área de estudio, con el empleo del algoritmo *Maximum Likelihood Classification* para la clasificación (figura 10-2). Continuando en la misma caja de herramientas y con la firma espectral antes creada partimos desde *ArcToolbox - Spatial Analyst Tools - Multivariate - Maximum Likelihood Classification*. Seleccionamos en primer lugar el raster sobre el cual se va a trabajar, seguido cargamos el archivo gsg de firmas espectrales.

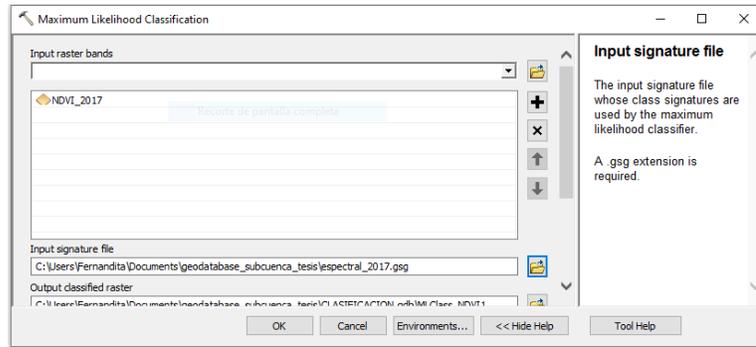


Figura 10-2: Ventana de aplicación de clasificación supervisada

ArcMap 10.5

Fuente: ArcMap, 2021.

Elaborado por: Pinta, 2021

Finalmente con la capa clasificada en función de las clases definidas se transforma a polígonos y conocer los atributos tales como área por cada clase establecida dentro de la subcuenca del río Chambo

2.3.4. Para el tercer objetivo: Generar la matriz de transición de cobertura vegetal de la subcuenca del río Chambo entre el año 2015 y 2020

Para conocer la cantidad de cobertura que ha sufrido cambio, se elaboró la matriz transicional entre el año 2015 y 2020, se trabajó con el uso de las herramientas de geoprocésamiento de Arcgis. Este generara valores para identificar los cambios de cobertura. La matriz de transición está formada por filas y columnas, mediante la cual se asignó valores a cada clase de cobertura.

Así, en las columnas tenemos coberturas correspondiente al año 2020, a cada cobertura se le asignado un valor numérico en este caso a la clase no vegetal se ha colocado el valor de 1; suelo sin vegetación un valor de 2; a vegetación dispersa 3; vegetación media 4 y vegetación densa un valor de 5. En cambio en las filas tenemos las coberturas para el año 2015, del mismo modo se asignó valores a las clase de coberturas, así tenemos para clase no vegetal, suelo sin vegetación, vegetación dispersa, vegetación media y vegetación densa, valores de 1,2,3,4,y 5 respectivamente como podemos ver en la tabla 3-2.

Tabla 3-2: Códigos de transición entre año 2015-2020

MATRIZ DE CAMBIO.		Clase no vegetal	Suelo sin vegetación	Vegetación dispersa	Vegetación media	Vegetación densa
		1	2	3	4	5
Clase no vegetal	10	11	12	13	14	15
Suelo sin vegetación	20	21	22	23	24	25
Vegetación dispersa	30	31	32	33	34	35
Vegetación media	40	41	42	43	44	45
Vegetación densa	50	51	52	53	54	55

Elaborado por: Pinta, 2021

Mediante la suma de los dos valores del año 2015 con el año 2020, se puede conocer la transición de cobertura, de tal manera que los valores que se mantienen o donde no ha existido algún cambio van a ser los valores de 11, 22,33, 44, 55, mientras que los demás valores indicaran el cambio generado.

A partir de la matriz anterior, ingresaremos dentro de arcgis los valores en la tabla de atributos de los polígonos de las diferentes coberturas como indica la figura 11-2.

Figura 11-2: Códigos ingresados por categoría en la tabla de atributos

Fuente: ArcMap, 2021.

Elaborado por: Pinta, 2021

Posteriormente se aplicó la herramienta de geoprocresamiento *Intersect*, para unir los polígonos que se corten y mantengan los valores de los dos años analizado, esta herramienta calculó la intersección geométrica de características de entrada. Esta herramienta combina los polígonos del año 2015 con el año del 2020 sin que se pierda los atributos que se generó. A continuación, agregamos un campo

en la tabla de atributos para aplicar la suma de los dos valores así obtendremos los código del 11 hasta el 55 (figura 12-2).

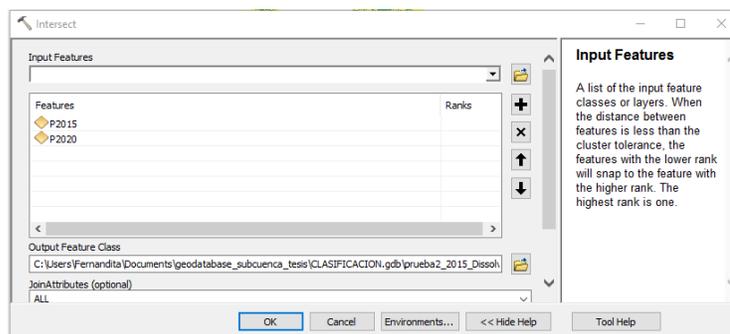


Figura 12-2: Ventana de herramienta de geoprocésamiento Intersect ArcMap 10.5

Fuente: ArcMap, 2021.

Elaborado por: Pinta, 2021

Finalmente el cambio generado podemos cuantificar calculando el área de cada polígono creando una columna en la tabla de atributo, mediante *Calculate Geometry* (figura 13-2)

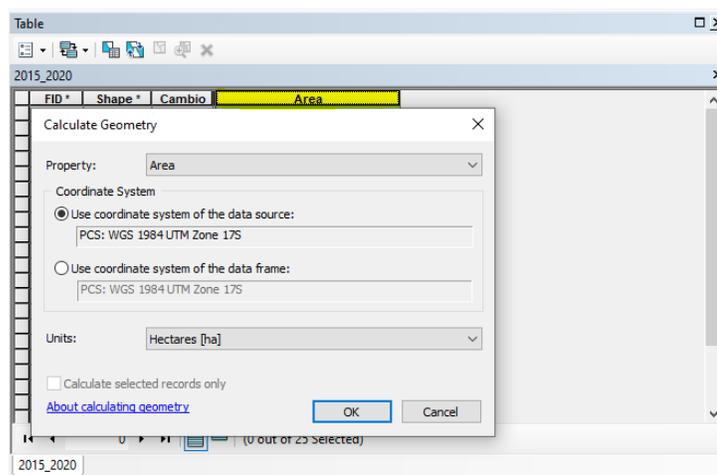


Figura 13-2: Ventana cálculo de área de cambio ArcMap

Fuente: ArcMap, 2021.

Elaborado por: Pinta, 2021

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como producto de la metodología aplicada a imágenes satelitales y utilizando herramientas de teledetección además del software del conjunto arcgis, se obtuvo información del estado y cambios de la cobertura vegetal de la subcuenca del río Chambo, dicha información representada en mapas de cobertura vegetal y valores cuantitativos del área ocupada por clase establecida y su transición. A continuación se presentan los resultados:

3.1. Cálculo del índice espectral NDVI de las imágenes satelitales en el periodo de tiempo 2015 -2020.

En este capítulo dando cumplimiento al primer objetivo se presenta los resultados del análisis de información de imágenes satelitales, georreferenciación de la zona de estudio y los cálculos respectivos del índice espectral NDVI, para identificar la presencia de vegetación en la superficie y observar su distribución espacial. Obteniendo valores estadísticos para el periodo 2015 al 2020, comprendidos en un rango de -1 a +1.

Tras la aplicación del índice espectral en imágenes landsat se verificó la presencia de vegetación y otras cubiertas dentro de la subcuenca del río Chambo. De esta manera hacemos mención a Cartaya et al. (2014, p. 16) que indica que el índice espectral NDVI en su estudio fue la técnica que mejor sirvió para diferenciar coberturas y usos del suelo de las zonas de interés ecológicos en la provincia de Manabí, permitiendo determinar las posibles áreas de muestreo de especies cinegéticas, además de considerar variables físico naturales y antrópicas que estén determinando el comportamiento de la superficie vegetal.

Ariza et al (2018: p. 112) indica en su estudio que el valor del índice varía en un rango de -1 a +1 permitiendo identificar la presencia de vegetación verde y especificar su distribución espacial además,

evaluar su evolución en el transcurso del tiempo. De esta manera clasifica al el índice espectral, con valores cercanos a 0,1 indican zonas desérticas o con vegetación escasa y los valores cercanos a 0,9 caracterizan las zonas con vegetación densa. De tal modo, que en nuestra investigación se puede apreciar en la subcuenca que las zonas representadas por verde corresponden a NDVI positivos próximos a +1 los cuales pertenecen a las zonas con abundante vegetación o vegetación vigorosa, reflejando mayor salud de la cobertura y en color rojo valores negativos representando clases no vegetales como cuerpos de agua, presencia de nubosidad o la inexistencia de reflectividad (figura 1-3).

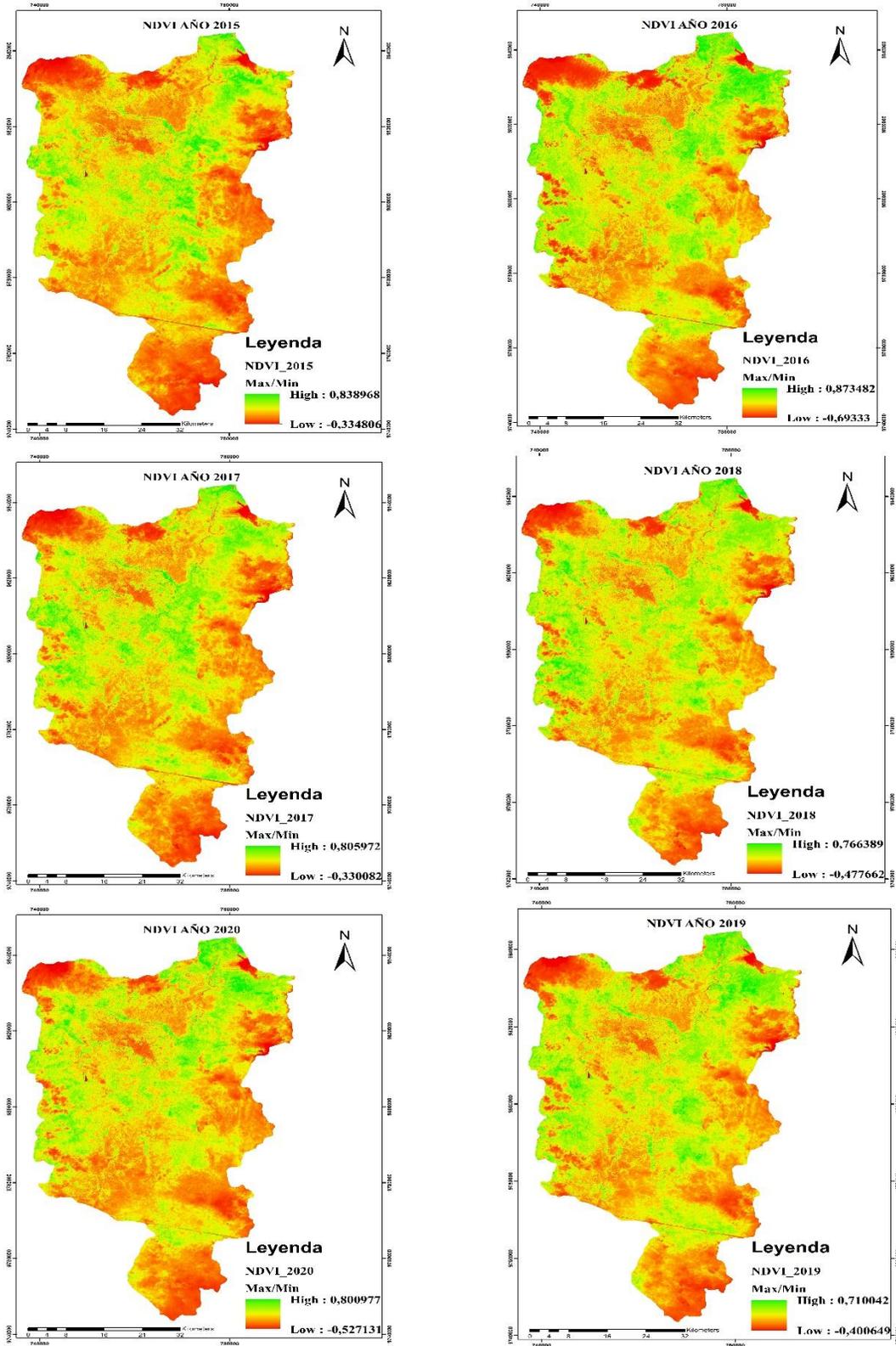


Figura 1-3: Índice espectral NDVI periodo 2015-2020.

Elaborado por: Pinta, 2021

Tras el cálculo del índice espectral NDVI obtenemos los siguientes valores para el año 2015 tenemos un máximo de 0,839 y un mínimo de -0,335; dentro del año 2016 tenemos un máximo de 0,873 y mínimo -0,693; en el año 2017 un valor máximo 0,806 de y un mínimo -0,330; para el año 2018 como máximo 0,766 y mínimo -0,478; en el 2019 el máximo llega a un valor de 0,710 y un mínimo -0,401 finalmente para el año 2020 tenemos un máximo de 0,801 y un mínimo -0,527 (tabla 1.3).

Tabla 1-3: Estadística descriptiva de los valores de NDVI para los años de estudio.

AÑO	MAX	MIN	MEDIA	DES. EST
2015	0,839	-0,335	0,296	0,145
2016	0,873	-0,693	0,350	0,176
2017	0,806	-0,330	0,276	0,127
2018	0,766	-0,478	0,277	0,124
2019	0,710	-0,401	0,258	0,115
2020	0,801	-0,527	0,296	0,139

Elaborado por: Pinta, 2021

Al analizar comparativamente los valores máximos y mínimos varían entre +1 y -1 se observó para el año 2016 una baja reflectancia en el rojo obteniendo así un próximo a +1, con un valor máximo de NDVI 0,873 aproximándose a +1 representando mayor vigorosidad en comparación a los demás años. También se destaca una disminución de vigorosidad de la vegetación para el año 2019 con un valor máximo de 0,71 calculado el índice espectral NDVI, para el año 2016 una baja reflectividad con un valor mínimo de -0,69 (gráfico 1-3)



Gráfico 1-3: Valores máximos y mínimos por año de estudio

Elaborado por: Pinta, 2021

Atribuyendo los cambios a los valores del índice a datos climáticos de los anuarios climatológicos, de acuerdo a la Estación Agrometeorológica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo para el año 2016 que resulto el valor máximo más alto, en este año existió una precipitación promedio anual de 544,1 mm y una temperatura de 24,6°C. Al realizar la comparación con el año 2019 que hubo una baja en su reflectividad, con un valor de 0,710 para este año como datos climáticos tenemos 491,3mm de precipitación y una temperatura 24,1°C; mostrando con esto que si existe variación en el índice espectral debido a la influencia del clima. Como menciona Alcazar et al. (2008: p.114), los cambios analizados en el índice espectral NDVI se deberían a los cambios o influencia de precipitación, temperatura o influencia del cambio climático, además las variaciones en el clima en zonas de estudio tenderían a bajar o subir los valores del índice espectral. Ver gráfico 2-3

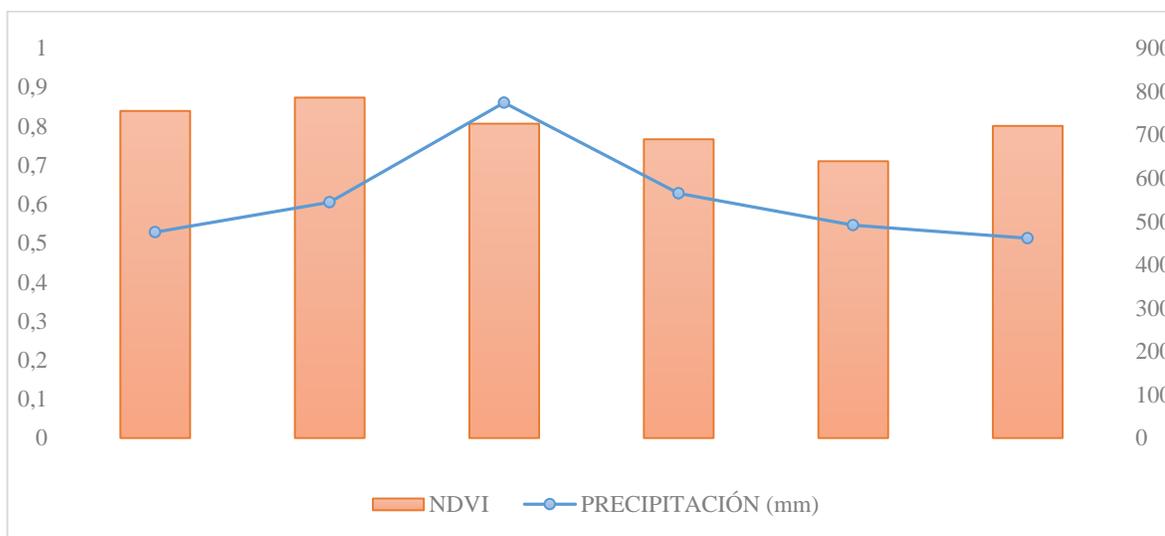


Gráfico 2-3: NDVI y precipitación

Elaborado por: Pinta, 2021

También, Paula et al. (2018: p. 131), indica que el cambio climático, altera la temperatura haciendo muy extremos, siendo este, un factor que afecta a la frágil estabilidad de las formaciones vegetales andinas en la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo. Cabe recalcar que existen otros factores que inciden en el desarrollo de la vegetación por ende la energía absorbida y reflejada por ellas, tendrá una variación a lo largo del espectro electromagnético.

3.2. Resultados obtenidos de la clasificación supervisada

Se identificaron coberturas vegetales a partir de raster calculados el índice espectral. En cada uno de los años estudiados se identificó cinco clases, las mismas que corresponden a clase no vegetal, suelo sin vegetación, vegetación dispersa, vegetación media, y vegetación densa. El área total de la subcuenca en la cual se trabajó es de 358.922,32 ha. A continuación se presenta los resultados de la metodología aplicada para la clasificación de coberturas, además las cuantificaciones obtenidas de cada categoría y los mapas correspondientes a cada uno de los años estudiados.

Aplicando la técnica de clasificación nos brindó una visión más amplia de conocimiento de la subcuenca, a partir de dicha clasificación se obtuvo cartografías e inventarios de las categorías establecidas que son objetos de estudio. Dicho método de clasificación conjuntamente con el algoritmo utilizado en nuestro estudio representó una de las técnicas adecuada para identificar las distintas coberturas vegetales y realizar un análisis estadístico por cada año partiendo del 2015 al 2020. De esta manera podemos discutir con el estudio denominado *Sistema multi-algoritmo para la clasificación de coberturas de la tierra en el bosque seco tropical del Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica*, realizado por (Vargas y Campos, 2018: p. 59) en el que considera al método supervisado el más preciso; no obstante, indica que su precisión además depende de la capacidad del algoritmo empleado para diferenciar las categorías.

3.2.1. Coberturas identificadas

Las imágenes clasificadas se obtuvieron después del procesamiento y clasificación supervisada, se conoce la cobertura vegetal de la subcuenca del río Chambo en 5 clases: clase no vegetal (NV), suelo sin vegetación (SV), vegetación dispersa (VD), vegetación media (VM), vegetación densa (VDe) de acuerdo a las clases establecidas en la tabla 2-2.

3.2.2. Resultados por año de estudio

Posterior a los procesos ejecutados mediante sistemas de información geográficas a partir de las imágenes satelitales calculado el índice espectral, mediante la metodología aplicada para la clasificación supervisada se obtiene capas de coberturas y un análisis estadístico por año y un análisis general del periodo 2015-2020.

3.2.2.1. Año 2015.

Para el año 2015 mediante la clasificación de coberturas se pudo obtener las siguientes áreas correspondientes a las 5 clases de cobertura (tabla 2-3), para la clase no vegetal con un área de 26.266,92 ha; suelo sin vegetación un área de 82.743,76 ha; vegetación dispersa 129.080,48 ocupando más del 35 % del área de la subcuenca; vegetación media con 89.117,64 ha correspondiente a (24,83%). Finalmente el tipo vegetación densa con (8,84%) de la extensión total del área estudiada en hectáreas con un valor de 31.713,52.

Tabla 2-3: Datos en hectáreas y porcentajes de la cobertura vegetal del año 2015.

CLASE	COBERTURA	ÁREA	%
1	Clase no vegetal	26.266,92	7,32
2	Suelo sin vegetación	82.743,76	23,05
3	Vegetación dispersa	129.080,48	35,96
4	Vegetación media	89.117,64	24,83
5	Vegetación densa	31.713,52	8,84
	TOTAL	358.922,32	100

Elaborado por: Pinta, 2021

También se puede ver gráficamente la vegetación dispersa supera en superficie a las demás clases vegetales y el suelo sin vegetación que va igual creciendo debido al aumento de la zona urbana (gráfico 3-3).

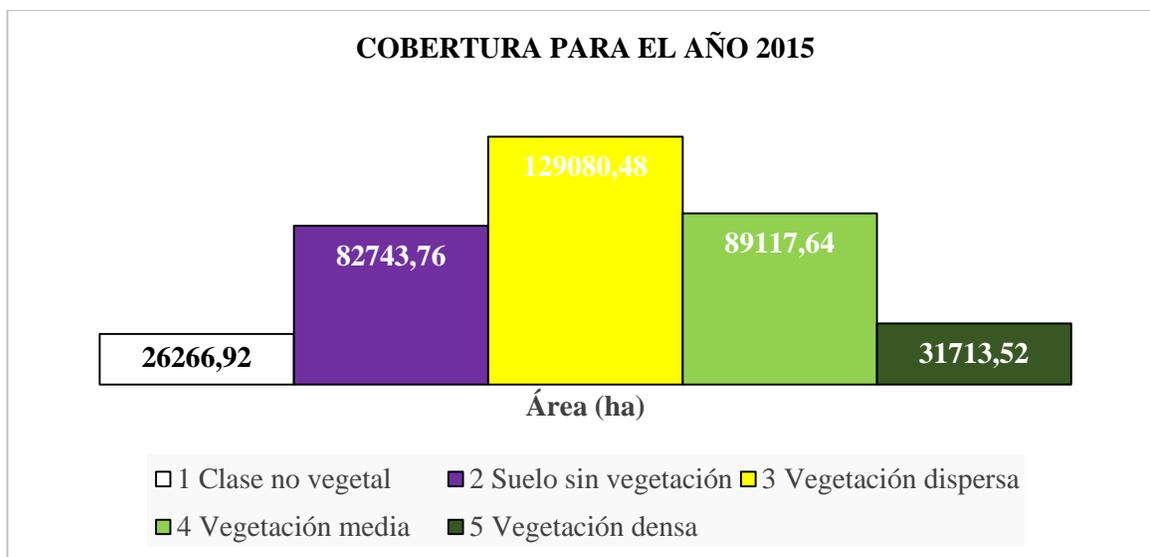


Gráfico 3-3: Distribución de coberturas para el año 2015

Elaborado por: Pinta, 2021

La distribución espacial de la cobertura se muestra en el gráfico 3-3 y anexo A, el mapa que ilustra las distintas clases de vegetación, representada por un color verde encontramos en mayor cantidad en la zona central de la subcuenca. Además, se puede evidenciar espacialmente en el cantón Penipe y Guaranda existe una cantidad considerable de vegetación verde. También se muestra lo correspondiente al cantón Guamote límite con Alausí un color lila representado suelo sin vegetación por la presencia de nubosidad o presencia de neblina comúnmente en el sector de las lagunas de Atillo.

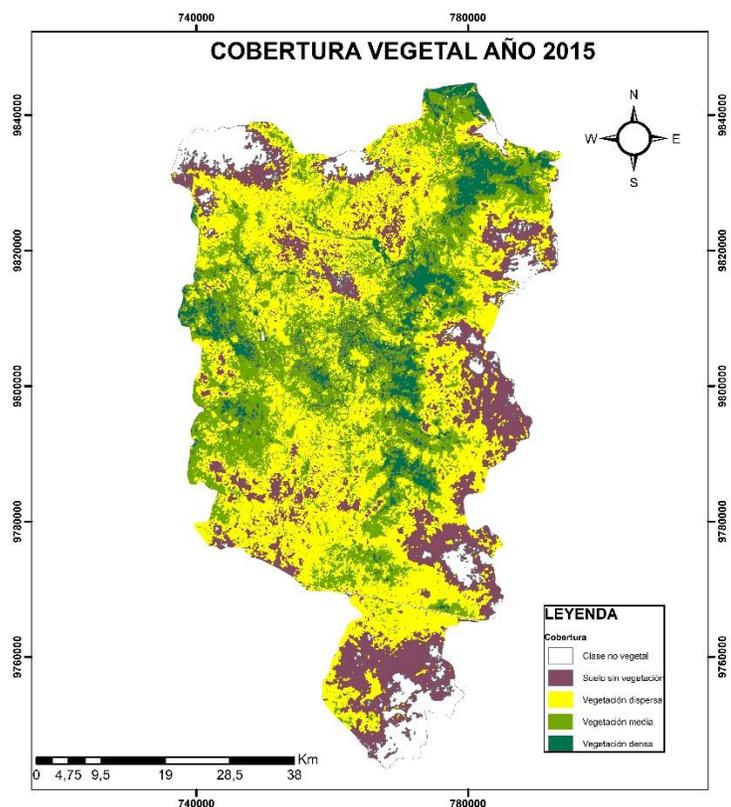


Figura 2-3: Cobertura para el año 2015 subcuenca río Chambo.

Realizado por: Pinta, 2021

3.2.2.2. Año 2016

La tabla 3-3 indica que, en el año 2016 la clase de tipo clase no vegetal fue de 28.108,64 ha suelo sin vegetación ocupa una extensión de 66.412,5463 ha., la vegetación dispersa ocupó la mayor extensión de superficie con 148.488,214 ha representado el 41% del área total de la subcuenca, seguida de vegetación media con 98.290,8 ha (27,38%) y por último en menor proporción de superficie con (4,91%) correspondiente a la vegetación densa con 17.622,12. La cobertura dispersa ocupa un mayor porcentaje de superficie (gráfico 4-3).

Tabla 3-3: Datos en hectáreas y porcentajes de la cobertura vegetal del año 2016.

CLASE	COBERTURA	ÁREA	%
1	Clase no vegetal	28.108,64	7,83

2	Suelo sin vegetación	66.412,5463	18,50
3	Vegetación dispersa	148.488,214	41,37
4	Vegetación media	98.290,8	27,38
5	Vegetación densa	17.622,12	4,91
	TOTAL	358.922,32	100

Realizado por: Pinta, 2021

Podemos destacar que del año 2015 al 2016 de vegetación dispersa existe un aumento de 5,41%, en cambio a lo que corresponde a vegetación densa existe una disminución de 3,93% de año a año.

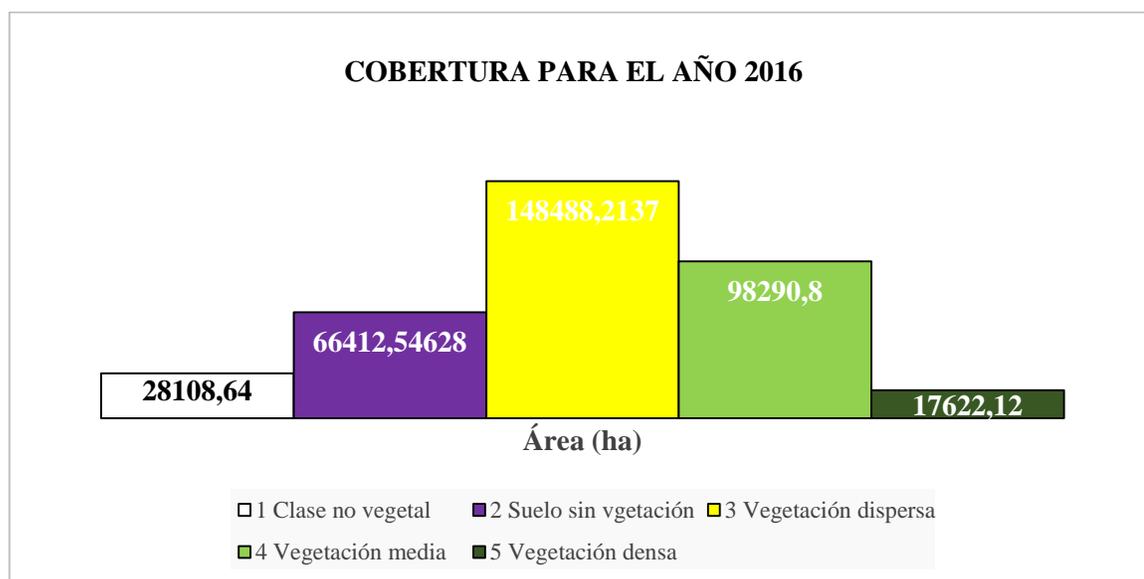


Gráfico 4-3: Distribución de coberturas para el año 2016.

Realizado por: Pinta, 2021

En la figura 3-3 y anexo B, el mapa ilustra los diferentes tipos de vegetación, el color verde representando la vegetación media y densa pudiendo así de esta manera diferenciar espacialmente vegetación mayor densidad de vegetación en la zona noreste de la subcuenca cerca del volcán Tungurahua, también se puede diferenciar mayor cantidad en la parte central y en los cantones de Penipe, Chambo, Guaranda y Pallatanga.

También se muestra lo correspondiente al cantón Guamate límite con Alausí un color lila representado suelo sin vegetación. En este año en particular comparando con los estudios

desarrollados por Fernández (2019: p. 62) indica que para el año 2016, pertenece a (90.75%) de cobertura entre bosque y páramo y únicamente un (9.24%) al suelo agrícola y pastizales asimismo para suelo sin cobertura de (3.31%), de esta manera podemos identificar en la zona noroeste cerca mayor verdor indicando vegetación media y densa que sobresale en el sector.

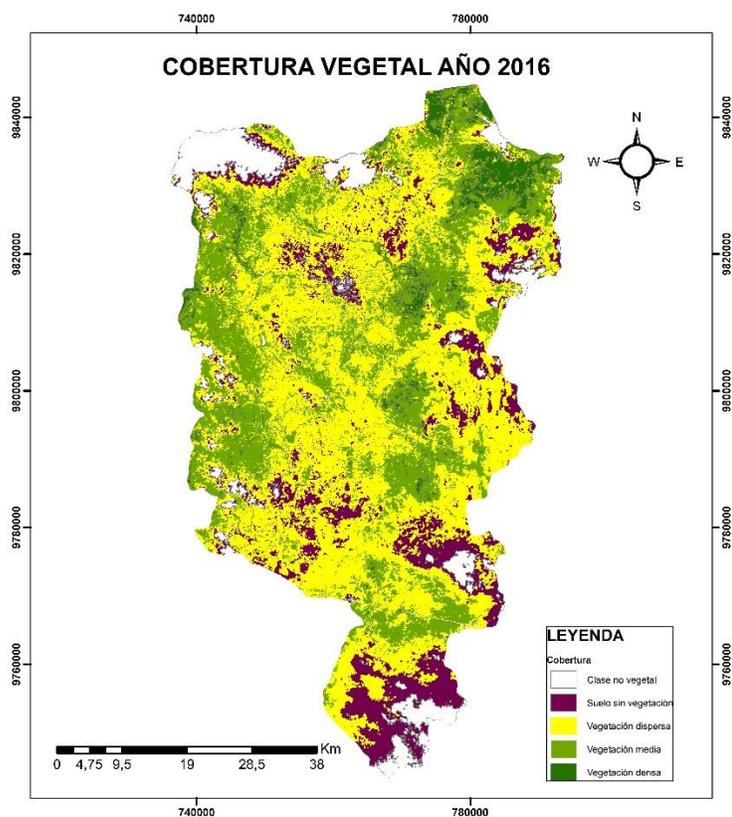


Figura 3-3: Cobertura para el año 2016 subcuenca río Chambo.

Elaborado por: Pinta, 2021

3.2.2.3. Año 2017

La tabla 4-3 indica que el año 2017 la clase no vegetal ocupó 24.232,44 ha correspondiente al (6,75%), seguido de suelo sin vegetación con 74.191,64, vegetación dispersa ocupando el (38.72%) para este año, la vegetación media con (26,35%) equivalente a 94.570,36 ha, en la clase cinco tenemos el tipo de vegetación densa con 26.938,92 ha.

Tabla 4-3: Datos en hectáreas y porcentajes de la cobertura vegetal del año 2017.

CLASE	COBERTURA	ÁREA	%
1	Clase no vegetal	24.232,44	6,75
2	Suelo sin vegetación	74.191,64	20,67
3	Vegetación dispersa	138.988,96	38,72
4	Vegetación media	94.570,36	26,35
5	Vegetación densa	26.938,92	7,51
	TOTAL	358.922,32	100

Realizado por: Pinta, 2021

En este año podemos considerar un cambio considerable de aumento de suelo sin vegetación del año 2016 al 2017 con un porcentaje de 2.17% de superficie.

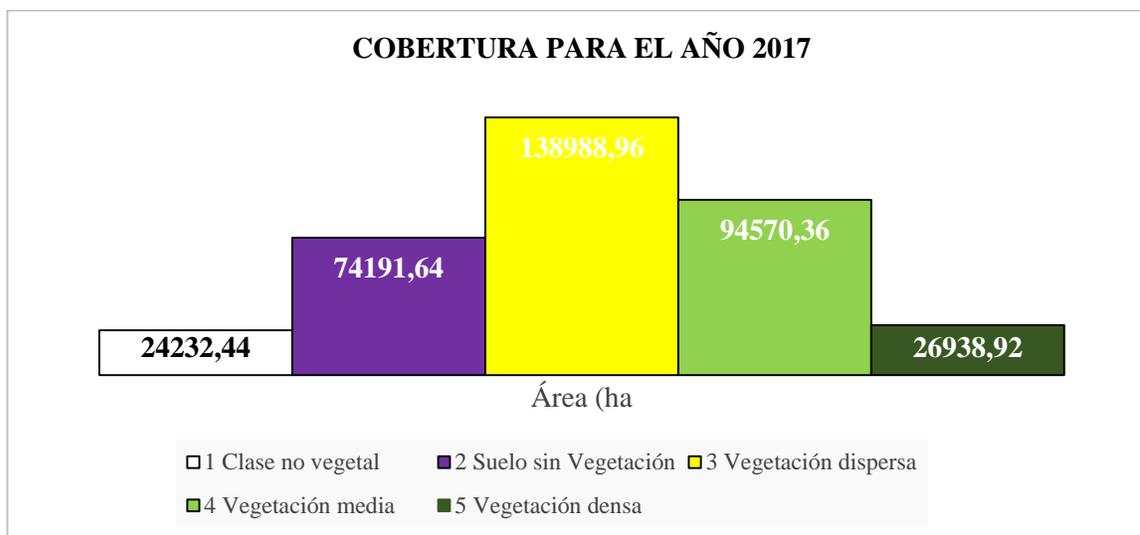


Gráfico 5-3: Distribución de coberturas para el año 2017.

Elaborado por: Pinta, 2021

En la figura 4-3 y anexo C, el mapa ilustra los diferentes tipos de vegetación, la clase no vegetal ilustrado con un color blanco representando nubes, agua, hielo como podemos ver en la zona de la reserva de Producción Faunística de Chimborazo; así también tenemos el color verde representando la vegetación media y densa pudiendo así de esta manera diferenciar espacialmente vegetación mayor vegetación en la parte central y en los cantones de Penipe, Chambo, Guaranda y Pallatanga.

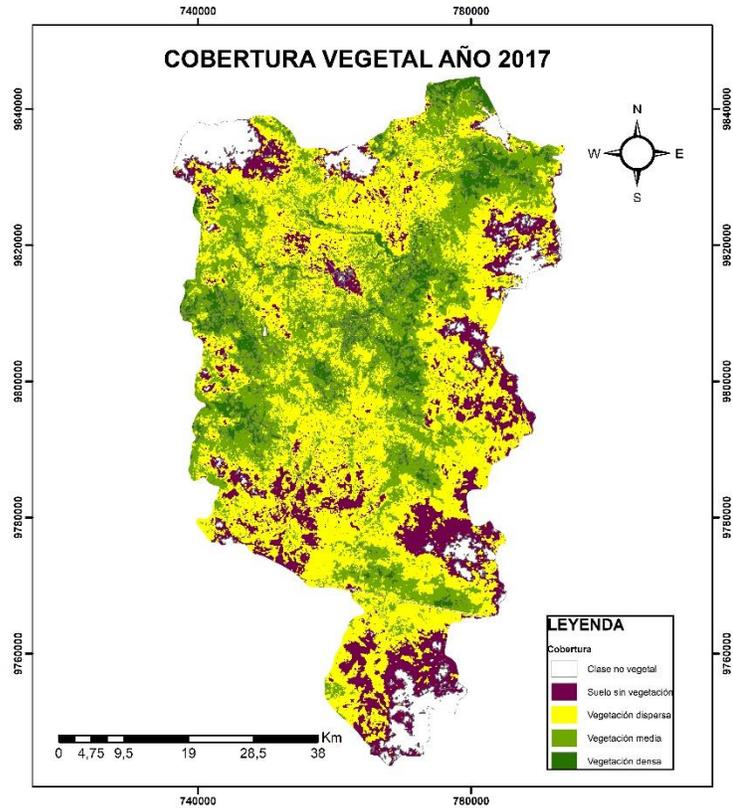


Figura 4-3: Cobertura para el año 2017 subcuenca río Chambo.

Elaborado por: Pinta, 2021

3.2.2.4. Año 2018

Con respecto al año 2018, se muestra en la tabla 5-3 las coberturas vegetales con mayor extensión es la vegetación dispersa con 132.846,894 ha (37.01%), seguido de vegetación media con un 109.537,68 ha representado el (30,52%) y la clase de tipo suelo sin vegetación con 77.430,6263 (21,57%). Las coberturas con menores porcentajes son clase no vegetal con 23.542,16 ha y la vegetación densa con 15.564,96 ha (4,34) %.

Tabla 5-3: Datos en hectáreas y porcentajes de la cobertura vegetal del año 2018.

CLASE	COBERTURA	ÁREA	%
1	Clase no vegetal	23.542,16	6,56
2	Suelo sin vegetación	77.430,6263	21,57

3	Vegetación dispersa	132.846,894	37,01
4	Vegetación media	109.537,68	30,52
5	Vegetación densa	15.564,96	4,34
	TOTAL	358.922,32	100

Elaborado por: Pinta, 2021

De una manera más didáctica se puede apreciar la distribución de las coberturas, en el cual predomina la vegetación dispersa para el año 2018 representado por un color amarillo (gráfico 6-3).

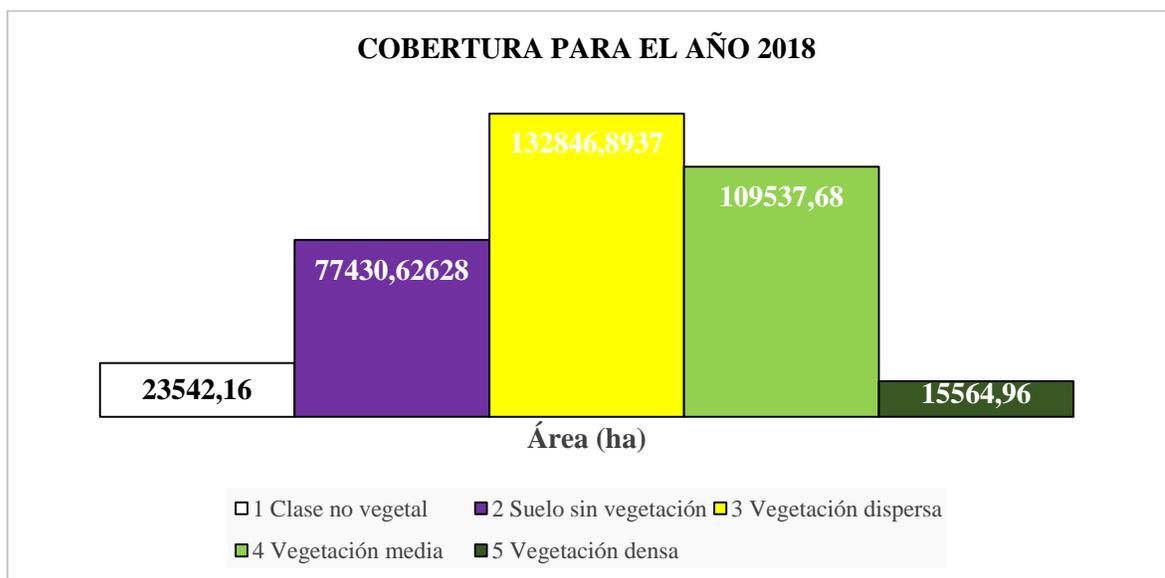


Gráfico 6-3: Distribución de coberturas para el año 2018.

Elaborado por: Pinta, 2021

En la figura 5-3, muestra el mapa que modela la distribución espacial de cobertura para el año 2018, de las clase definidas la clase no vegetal ilustrado con un color blanco representando nubes, agua, hielo esto podemos ver en la zona norte de la subcuenca; así también tenemos el color verde claro representando la vegetación media y detectando una disminución de la vegetación.

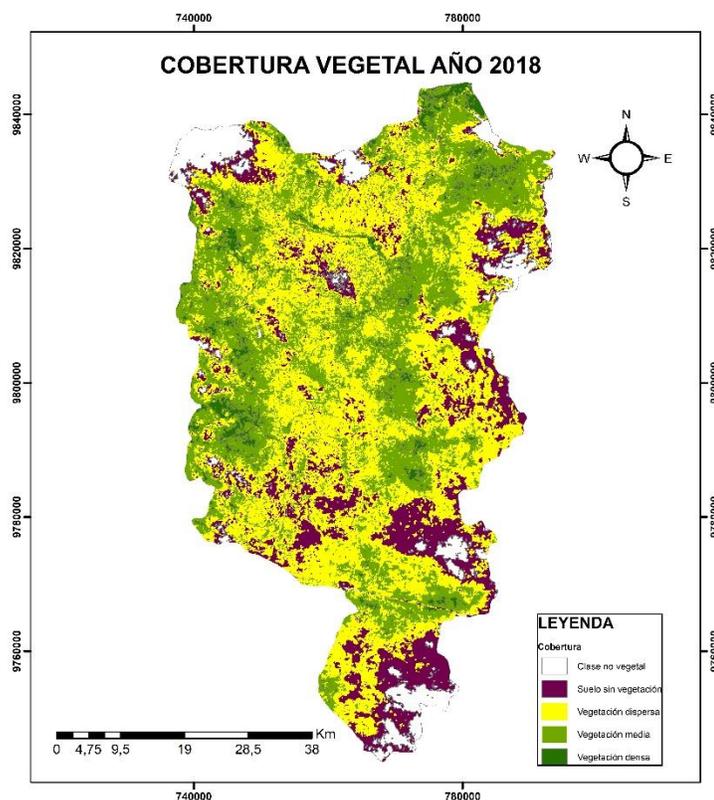


Figura 5-3: Cobertura para el año 2018 subcuenca río Chambo.

Elaborado por: Pinta, 2021

3.2.2.5. Año 2019

Para el año del 2019, la clase no vegetal ocupó un área de 22.733,36 ha (6,33%), suelo sin vegetación corresponde a 73.612,0896 ha, igualmente con las demás coberturas permanece la misma tendencia, la mayor cobertura es la de manera semejante con las demás coberturas se mantiene la misma tendencia vegetación dispersa 136.471,11 ha (38,02%) ocupando mayor superficie, seguido por vegetación media con 10.493,52 (30,78%) y un (4,35%) de vegetación densa representado el 15612,24 ha (tabla 6-3 y gráfico 7-3).

Tabla 6-3: Datos en hectáreas y porcentajes de la cobertura vegetal del año 2019.

CLASE	COBERTURA	ÁREA	%
1	Clase no vegetal	22.733,36	6,33

2	Suelo sin vegetación	73.612,0896	20,51
3	Vegetación dispersa	136.471,11	38,02
4	Vegetación media	110.493,52	30,78
5	Vegetación densa	15.612,24	4,35
	TOTAL	358.922,32	100

Elaborado por: Pinta, 2021

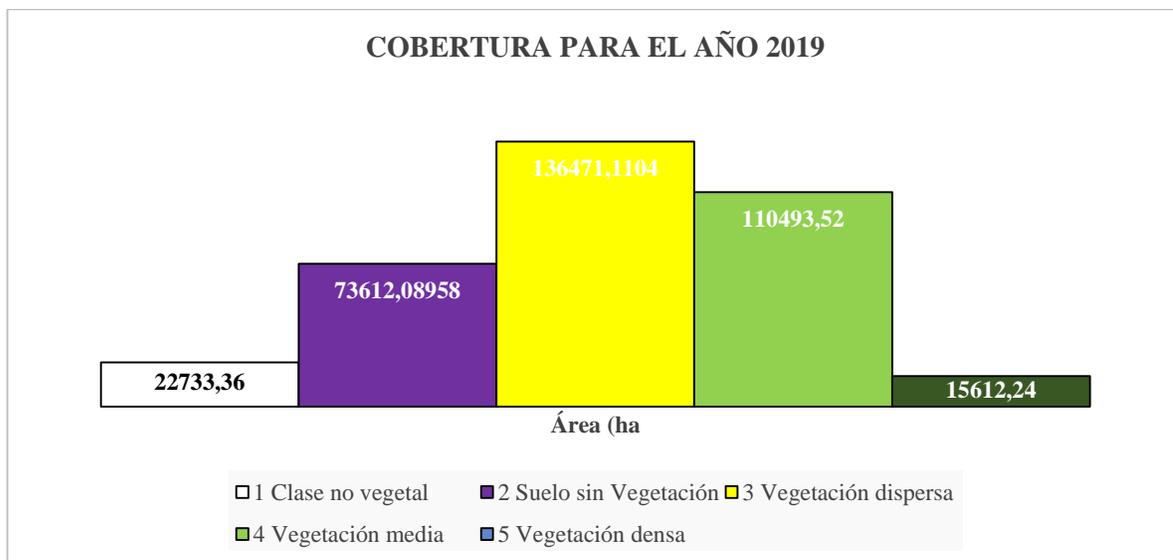


Gráfico 7-3: Distribución de coberturas para el año 2019.

Elaborado por: Pinta, 2021

Realizando un análisis espacial de coberturas en la subcuenca para el año 2019, la clase no vegetal ilustrado con un color blanco representando nubes, agua, hielo como podemos ver en la zona de la reserva de Producción Faunística de Chimborazo como también por el sector de lagunas de Atillo; así también tenemos el color verde claro representando la vegetación media y un verde oscuro para la vegetación densa pudiendo así de esta manera diferenciar espacialmente vegetación mayor vegetación en la parte central, en Penipe y parte de límites con Baños y Pelileo, además se puede ver en los cantones de Chambo, Guaranda y Pallatanga. La vegetación dispersa representada en el mapa por un color amarillo se puede ver distribuida por toda la subcuenca atribuyendo que el área de estudio es una zona agropecuaria como indica el (Comité de la Subcuenca del Río Chambo, 2015: pp.37-39) (figura 6-3 y anexo E).

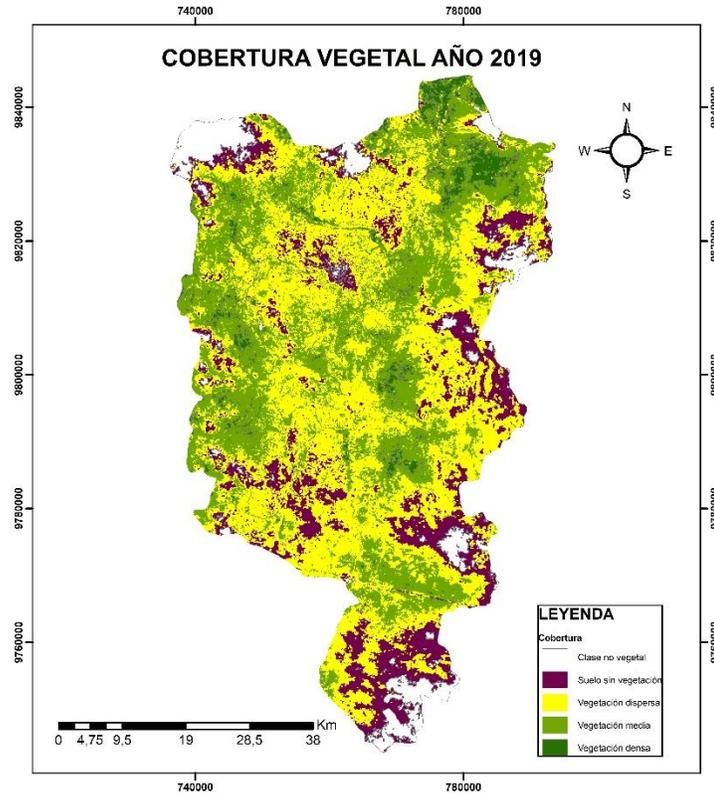


Figura 6-3: Cobertura para el año 2019 subcuenca río Chambo.

Elaborado por: Pinta, 2021

3.2.2.6. Año 2020

En la tabla 7-3 muestra que para el año 2020 como resultado de las clases estudiadas contamos con mayor extensión para vegetación dispersa con 152.619,419 ha, seguido de vegetación media el cual corresponde a una extensión de 89.463,36 ha, suelo sin vegetación con 74.515,1014 ha equivalente a (20,76%). Con menor área la vegetación densa con 19.799,52 representando el 5,52% del total de área estudiada, finalmente la clase no vegetal con 22.524,92. Se puede evidenciar gráficamente las coberturas analizadas en este año (grafico 7-3).

Tabla 7-3: Datos en hectáreas y porcentajes de la cobertura vegetal del año 2020.

CLASE	COBERTURA	ÁREA	%
1	Clase no vegetal	22.524,92	6,28
2	Suelo sin vegetación	74.515,1014	20,76

3	Vegetación dispersa	152.619,419	42,52
4	Vegetación media	89.463,36	24,93
5	Vegetación densa	19.799,52	5,52
	TOTAL	358.922,32	100

Elaborado por: Pinta, 2021

Llegando al fin del periodo establecido para este estudio podemos ver el aumento de la clase vegetación dispersa, representada por zona agropecuaria por aumento de obtener beneficios económicos aprovechando recurso natural o usos de suelo para la agricultura del año 2015 al 2020 (gráfico 8-3). También tenemos un cambio no favorable de pérdida de vegetación densa correspondiente en su cobertura nativa y vegetación media y el aumento de vegetación dispersa. INEC (2017: pp.5-8) menciona un cambio considerable en la cobertura natural con pérdidas de 121.929 ha de paramo y 54.397 ha de arbustales.

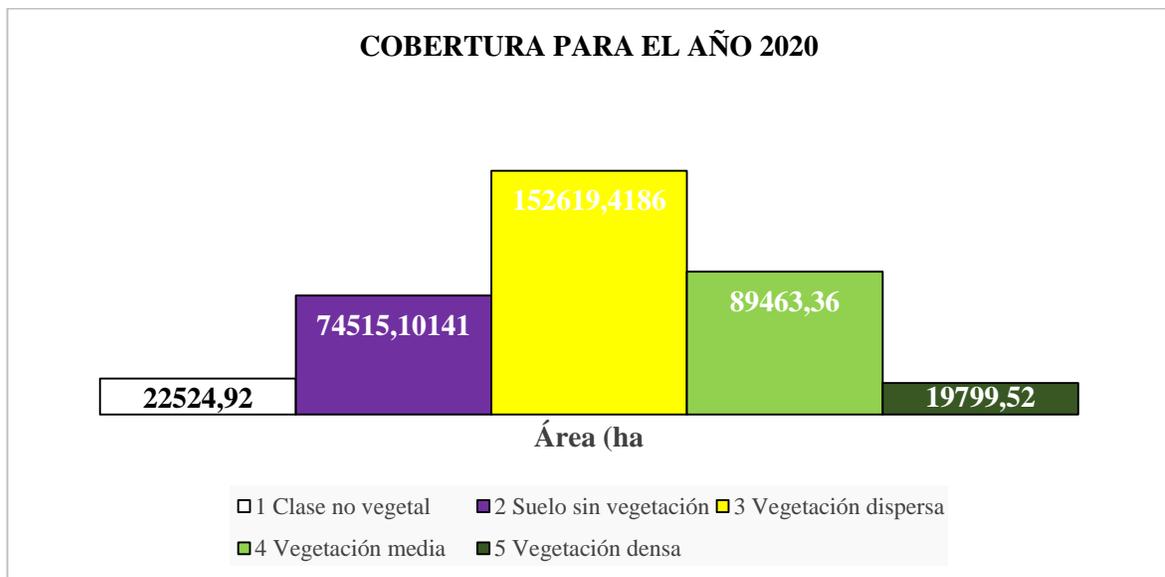


Gráfico 8-3: Distribución de coberturas para el año 2020.

Elaborado por: Pinta, 2021

En la figura 7-3 observamos el mapa que ilustra diferentes clases de vegetación, el área de clase no vegetal representado por un color blanco, especialmente podemos observar la parte de la Reserva de Producción Chimborazo, además tenemos mayor de concentración de vegetación marcado por un color verde que se encuentra en el centro de la subcuenca.

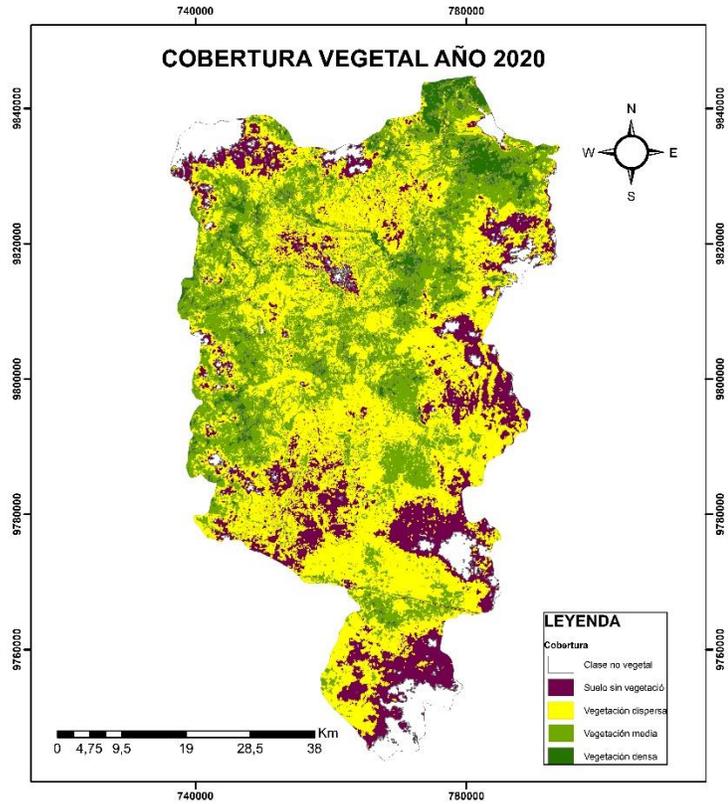


Figura 7-3: Cobertura para el año 2020 subcuenca río Chambo.

Elaborado por: Pinta, 2021

3.2.2.7. Análisis multitemporal general del año 2015 al 2020.

Los resultados obtenidos de la clasificación supervisada por año nos permitieron realizar el análisis correspondiente a las variaciones de las categorías en el tiempo, así mediante el análisis multitemporal de 5 años del periodo 2015 al 2020. Mediante esta investigación podemos presentar datos significativos de las tendencias de cobertura y presentar porcentajes de aumento o disminución de tipo de categorías conforme pasan los años. De tal modo concordando con (Rivas, 2020: p.91) en su estudio de *Determinación de cultivos agrícolas y firmas espectrales mediante el procesamiento de imágenes satelitales utilizando el método de clasificación supervisada*, señala que al realizar trabajos en imágenes satelitales por medio de la clasificación supervisada le permitió observar la diversificación de coberturas, también de crear datos de tendencia de uso de suelo y, análisis de cultivos de un área geográfica de interés, mediante el cual aplicar multitemporalidad y mediante cartografía temática observar los comportamientos y cambios de la zona analizada.

Tabla 8-3: Área de cobertura vegetal del periodo 2015-2020.

CLASE	TIPO COBERTURA	2015 (ha)	2016 (ha)	2017 (ha)	2018 (ha)	2019 (ha)	2020 (ha)
1	Clase no vegetal	26.266,92	28.108,64	24.232,44	23.542,16	22.733,36	22.524,92
2	Suelo sin vegetación	82.743,76	66.412,5	74.191,64	77.430,62	73.612,08	74.515,10
3	Vegetación dispersa	129.080,48	148.488,21	138.988,96	132.846,89	136.471,11	152.619,41
4	Vegetación media	89.117,64	98.290,8	94.570,36	109.537,68	110.493,52	89.463,36
5	Vegetación densa	31.713,52	17.622,12	26.938,92	15.564,96	15.612,24	19.799,52

Elaborado por: Pinta, 2021

En la tabla 8-3 indican un análisis general del periodo 2015 al 2020. Así indica que para el año 2015 la clase con mayor cobertura fue la 3 correspondiente vegetación dispersa con un total 129.080,48 (ha); en el año 2016 ocupa 148.488,214 (ha) de cobertura de tipo vegetación dispersa; de igual forma para el año 2017 la clase 3 correspondiente a vegetación dispersa tiene su valor máximo de área con 138.988,96 (ha); hablando del año 2018 encontramos un área de 132.846,894 (ha) para la vegetación dispersa correspondiente a la clase numero 3; para el penúltimo año se puede evidenciar que mayor número de hectáreas corresponde a vegetación dispersa siendo 136.471,11 hectáreas mayor a otras coberturas. Finalmente para el último año de estudio 2020 la cobertura de tipo vegetación dispersa llega a un valor de 152.619,419 (ha).

Por lo tanto, las áreas que mostraron mayores cambios con respecto a su extensión en todos los años estudiados, fueron la clase de vegetación dispersa y vegetación media (figura 9-3).

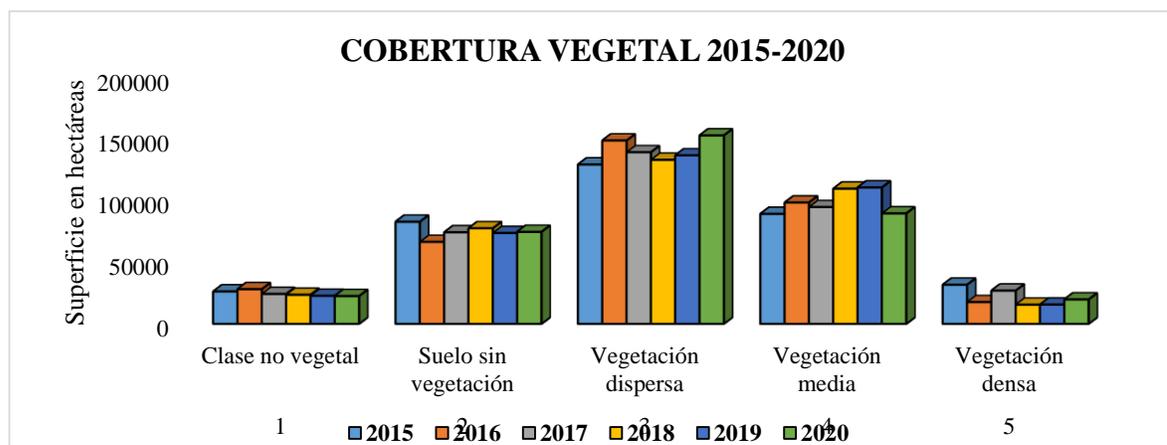


Gráfico 9-3: Cambio de cobertura en el periodo de estudio.

Elaborado por: Pinta, 2021

3.2.2.8. Cambio de cobertura vegetal del 2015 al 2020.

El cambio de la cobertura vegetal, se produjo en la clase de vegetación dispersa, con un incremento de 23.538,939 ha también se puede apreciar que existió un aumento lo que respecta a la clase de vegetación media con un aumento de superficie 345,72 ha, en el tipo de cobertura de vegetación densa existió una disminución de 11.914 ha (tabla 9-3).

Tabla 9-3: Cambio de cobertura vegetal en la subcuenca del río Chambo 2015-2020.

COBERTURA	SUPERFICIE				CAMBIO ABSOLUTO
	2015		2020		
	ha	%	ha	%	
Clase no vegetal	26.266,92	7,32	22.524,92	6,28	-3742
Suelo sin vegetación	82.743,76	23,05	74.515,1014	20,76	-8.228,6586
Vegetación dispersa	129.080,48	35,96	152.619,419	42,52	23.538,939
Vegetación media	89.117,64	24,83	89.463,36	24,93	345,72
Vegetación densa	31.713,52	8,84	19.799,52	5,52	-11914
TOTAL	358.922,32	100	358.922,32	100	

Elaborado por: Pinta, 2021

Según el resultado de la clasificación supervisada nos indica que en los años de análisis, existieron alteraciones en todos los tipos de cobertura vegetal. De esta manera se puede demostrar que las coberturas de la subcuenca son muy frágiles y propensas a la destrucción y al cambio, en particular el aumento de vegetación dispersa que paso de tener 129.080,48 ha en 2015 a 152.619,419 ha en 2020 (tabla 9-3). Esto indica que hubo un aumento de 23.538,939 ha dentro de los 6 años, del área total de la subcuenca del río Chambo que son 358.922,32 ha, este tipo de cobertura representada por zona agropecuaria, en el año 2015 representaba (35,96%) y paso a tener en 2020 el (42,52%), entonces en el periodo de estudio existió un aumento de 6,56% de cambio.

Con los resultados obtenidos en nuestro estudio del aumento de vegetación dispersa hacemos referencias a otro estudio que presentan resultados similares. Camacho et al. (2015: p.109) al igual en su estudio desarrollado en México las zonas agrícolas del territorio incrementaron su superficie en un periodo de 1993 y 2002, mientras que las áreas cubiertas por vegetación natural decrecieron considerablemente. También podemos concordar con Zambrano (2016: p.44) en su estudio realizado en la Reserva de Producción Faunística de Chimborazo indica que por los cambios de temperatura cada vez más extremos, indican que el cambio climático sería un factor que afectaría a la frágil estabilidad de las coberturas vegetales andinas.

3.2.3. *Matriz de transición*

Con la matriz se obtuvo datos de cambio de la cobertura de que tipo a que tipo se dio la transición o si existió o no el cambio de cobertura de la subcuenca del río Chambo entre el año 2015 y 2020. En la matriz diagonal de la matriz, representa la superficie de cada categoría de vegetación que permaneció sin cambios durante el periodo considerado, mientras que en el resto de las celdas muestra la superficie que experimentó un cambio, además mediante la matriz se identificó las ganancias y pérdidas por cada clase (tabla 10-3).

Tabla 10-3: Matriz de transición de cobertura vegetal entre año 2015 y 2020.

MATRIZ DE CAMBIO		Clase no vegetal	Suelo sin vegetación	Vegetación dispersa	Vegetación media	Vegetación densa	Total	Pérdidas	Pérdidas %
		1	2	3	4	5			
Clase no vegetal	10	18.299,76	7.347,48	597,84	18,96	2,88	26.266,92	7.967,16	30,33
Suelo sin vegetación	20	3.836,12	51.932,14	26.682,82	288	4,68	82.743,76	30.811,62	37,24
Vegetación dispersa	30	367,8	14.585,20	91.058,44	22.026,48	1.042,56	129.080,48	38.022,04	29,46
Vegetación media	40	19,44	643,44	32.211,40	47.864,48	8.378,88	89.117,64	41.253,16	46,29
Vegetación densa	50	1,8	6,84	2.068,92	19.265,44	10.370,52	31.713,52	21.343,00	67,30
Total		22.524,92	74.515,10	152.619,42	89.463,36	19.799,52			
Ganancias		4.225,16	22.582,96	61.560,98	41.598,88	9.429,00			
Ganancias %		18,76	30,31	40,34	46,50	47,62			

Elaborado por: Pinta, 2021

Se ha determinado mediante el análisis de transición las contribuciones y cambios de cada categoría de esta manera indica que las ganancias de vegetación dispersa 40,34% representada por zona agropecuaria se deben a las contribuciones de la vegetación media. También podemos ver la pérdidas de vegetación densa en un 67,30% (gráfico 10-3). Comparando con el estudio realizado por Damian et al. (2018: p.8) indica que en ganancias las transiciones más significativas son las que resultan cuando el cultivo gana cobertura y reemplaza a vegetación boscosa y en términos de pérdidas el ecosistema páramo pierde cobertura, tomando un reemplazo el cultivo.

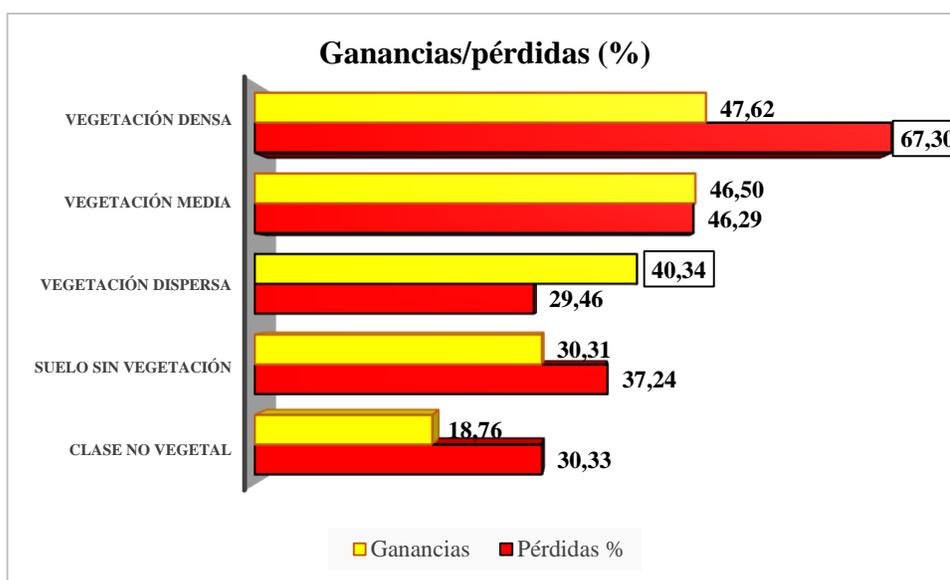


Gráfico 10-3: Ganancias y pérdidas de cobertura.

Elaborado por: Pinta, 2021

Por otro lado tenemos como la vegetación natural en nuestro estudio la vegetación densa baja de categoría con un 5,37% de cambio (tabla 11-3). En relación al estudio realizado por Fernández (2019: p. 62) en la cuenca baja del río Chambo indica en cuanto a las transiciones de los suelos a cultivo determina que el uso de suelo bosque y páramo son las principales categorías afectadas, especialmente se atribuye a las actividades como la deforestación de 889,61 ha de bosque y 860,7 ha de vegetación arbustiva y herbácea.

3.2.3.1. Transición de Cobertura.

Clase no vegetal a:

Suelo sin vegetación 7.347,48 ha

Vegetación dispersa 597,84 ha

Vegetación media 18,96 ha

Vegetación densa 2,88 ha

Suelo sin vegetación a:

Clase no vegetal 3.836,12 ha

Vegetación dispersa 26.682,82 ha

Vegetación media 288 ha

Vegetación densa 4,68 ha

Vegetación dispersa a:

Clase no vegetal 367,8 ha

Suelo sin vegetación 14.585,2 ha

Vegetación media 22.026,48 ha

Vegetación densa 1.042,56 ha

Vegetación media a:

Clase no vegetal 19,44 ha

Suelo sin vegetación 643,44 ha

Vegetación dispersa 32.211,4 ha

Vegetación densa 8.378,88 ha

Vegetación densa a:

Clase no vegetal 1,8 ha

Suelo sin vegetación 6,84 ha

Vegetación dispersa 2.068,92 ha

Vegetación media 19.265,44ha

Tabla 11-3: Estado de cambio de cobertura vegetal en la subcuenca del río Chambo 2015-2020.

	Valores de cambio	Área (ha)	Porcentaje (%)	Estado
1	11	18.299,76	5,10	NO CAMBIO
2	12	7.347,48	2,05	SI CAMBIO
3	13	597,84	0,17	SI CAMBIO
4	14	18,96	0,01	SI CAMBIO
5	15	2,88	0,00	SI CAMBIO
6	21	3.836,12	1,07	SI CAMBIO
7	22	51.932,14	14,47	NO CAMBIO
8	23	26.682,82	7,43	SI CAMBIO
9	24	288	0,08	SI CAMBIO
10	25	4,68	0,00	SI CAMBIO
11	31	367,8	0,10	SI CAMBIO
12	32	14.585,2	4,06	SI CAMBIO
13	33	91.058,44	25,37	NO CAMBIO
14	34	22.026,48	6,14	SI CAMBIO
15	35	1.042,56	0,29	SI CAMBIO
16	41	19,44	0,01	SI CAMBIO
17	42	643,44	0,18	SI CAMBIO
18	43	32.211,4	8,97	SI CAMBIO
19	44	47.864,48	13,34	NO CAMBIO
20	45	8.378,88	2,33	SI CAMBIO
21	51	1,8	0,00	SI CAMBIO
22	52	6,84	0,00	SI CAMBIO

23	53	2.068,92	0,58	SI CAMBIO
24	54	19.265,44	5,37	SI CAMBIO
25	55	10.370,52	2,89	NO CAMBIO
	TOTAL	358.922,32	100,00	

Elaborado por: Pinta, 2021

De la clase suelo sin vegetación el cambio más representativo del 2015 al 2020 fue a vegetación dispersa con 26682,82 ha, también podemos ver el cambio de vegetación dispersa a suelo sin vegetación que representa zonas urbanas, calles, suelo desnudo fue una superficie de 14585,2 ha. La transición de cobertura con mayor superficie fue de vegetación media representada por arbustos, herbazales o plantación forestal a vegetación dispersa correspondiente a zona agropecuaria con un total de cambio 32.211,4 ha. De tal modo concordando con (Pinos, 2016: p.8) que el avance de la frontera agrícola va creciendo al igual que aumento de zonas urbanas.

Además con la matriz de transición se obtuvo una superficie de 139.397 ha equivalente a 39% que sufrió cambio en el periodo establecido y un 61% de la cobertura que permaneció intacta sin cambios correspondiente a una superficie de 219.525,3 ha (gráfico 11-3).

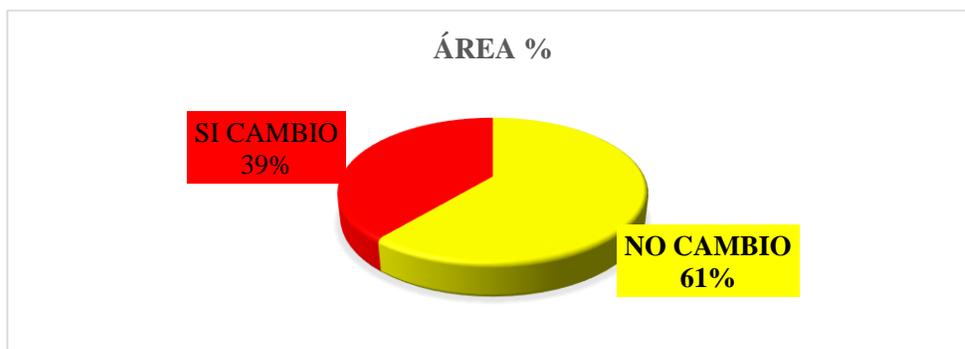


Gráfico 11-3: Porcentaje de cambio del año 2015 al 2020.

Elaborado por: Pinta, 2021

(Fernández, 2019, p. 62) en su estudio realizado en la cuenca baja del río Chambo menciona en cuanto a las transiciones de los suelos a cultivo se puede ver como el uso de suelo bosque y páramo son los principales afectados. Tal como en nuestro estudio la vegetación media y densa representada por vegetación nativa sufrieron cambios representativos a tipo de vegetación dispersa representada por zona agropecuaria con superficies de 32211,4 ha y 2068,92 ha respectivamente

Atribuyendo en nuestro estudio a los factores climáticos como ocasionales de alteración en el manto terrestre, así como se observó la variación del índice espectral por ende estos influyen también en la cobertura vegetal de la subcuenca del río Chambo. De esta manera podemos ratificar con un estudio llevado a cabo en Colombia por (Tiria et.al., 2018: p.299) dice: el calentamiento global tiene incidencia en la transformación ecológica del paisaje debido a la emisión de gases de efecto invernadero que afecta al aumento de temperatura, causando cambio de cobertura, también las variables climáticas, como precipitación y temperatura influyen en estos cambios.

CONCLUSIONES.

Mediante el cálculo del índice espectral NDVI se evidenció que es un buen indicador para diferenciar la distintas clases vegetales además mediante este índice se puede separar coberturas de interés de la subcuenca del río Chambo, mediante los valores estadísticos de máximos y mínimos permitiendo analizar los cambios existentes de cobertura en el transcurso del tiempo 2015-2020. Atribuyendo a los datos climáticos se pudo determinar que tuvieron una incidencia en los valores del NDVI con una variación, aunque existen otros factores influyentes sobre la cobertura vegetal para su desarrollo y por ende cambiara su reflectividad.

Dentro del periodo estudiado el año 2016 fue el año con mayor reflectancia de la vegetación, debido a que el valor máximo se aproxima a +1, indicando mayor vigorosidad y presencia de densidad alta vegetación, que nos ayudó a identificar las categorías vegetales.

Mediante la clasificación supervisada de imágenes landsat con el algoritmo de máxima verosimilitud permitió identificar la cobertura vegetal, identificando cinco clases expresadas en la leyenda temática: Clase no vegetal, suelo sin vegetación, vegetación dispersa, vegetación media y vegetación densa correspondiente al periodo 2015 al 2020. Evidenciando cambios en todas las coberturas mediante un análisis de espacio multitemporal, de tal modo que la vegetación dispersa gano cobertura pasando de 129.080,48 ha en 2015 a 152.619,419 ha en 2020 existiendo un aumento de 23.538,939 ha dentro del periodo establecido 2015 al 2020. La vegetación dispersa que comprende en su mayor parte zonas agrícolas y pastizales en el año 2015 representaba 35,96% representaba del área de estudio y paso a tener en 2020 el 42,52%, entonces en el periodo de estudio hubo un aumento de 6,56% de cambio.

Con la matriz de transición se ha logrado identificar el cambio de coberturas de una clase a otra en un espacio entre el año 2015 y 2020. De esta manera se pudo apreciar la superficie que sufrió transición, siendo vulnerable al cambio la vegetación media y vegetación densa que son susceptibles de perder superficie por el avance de zona agropecuaria representada por vegetación dispersa. Se concluye que existió un cambio de 139.397 ha equivalente a 39% que sufrió alteración y un 61% de la cobertura que permaneció sin cambios correspondiente a una superficie de 219.525,3 ha dentro la subcuenca del río Chambo.

Mediante el estudio de análisis de la cobertura vegetal y su transición, podemos llegar a la afirmación de la hipótesis alternante que la cobertura vegetal presenta cambios en el transcurso del tiempo en la subcuenca del río Chambo.

Con el uso de varias herramientas y algoritmos mediante los sistemas de información geográfica, herramientas de clasificación y a su vez los índices espectrales han permitido realizar la evaluación multitemporal de la superficie en un área determinada en nuestro estudio la subcuenca del río Chambo.

RECOMENDACIONES

Trabajar en comparación con imágenes satelitales de sensores diferentes para validación de datos y buscar grado de compatibilidad, además se puede trabajar con otros índices espectrales, que nos ayuden a medir otros aspectos tales como biofísicos y climáticos de la zona de estudio. De esta manera estos índices podrán brindar información para estudios de la zona para la identificación de problemas ambientales, naturales o de variables de origen climáticas y antrópicas.

Es importante el uso de registro a largo plazo para el análisis multitemporal de la tendencia de la vegetación a lo largo del tiempo, así tener una visión más amplia de cambio y la relación con patrones climáticos como influencia de cambio de coberturas vegetales y también las implicaciones que tiene las acciones antrópicas para la implementación de medidas de conservación de coberturas nativas.

Es recomendable para el análisis de coberturas vegetales mediante la clasificación supervisada con el uso de algoritmos de clasificación, realizar una evaluación de la exactitud para evaluar la calidad de selección de las zonas de entrenamiento para evitar errores de comisión y omisión.

Continuar con la investigación aplicando otras metodologías y herramientas para determinar la transición de coberturas dentro de la zonas de interés ya sean hídrica u otras ya que con todos los aspectos estudiados dentro de la subcuenca del río Chambo es importante desarrollar diagnósticos a nivel de ecosistemas, de esta manera proponer acciones que involucre la protección de los ecosistemas naturales.

REFERENCIAS

ACHICANOY, J; et al. "Análisis y proyección de las coberturas vegetales mediante el uso de sensores remotos y Sistemas de Información Geográfica en la localidad de Suba, Bogotá-Colombia". *Gestión y Ambiente* [en línea], 2018, (Colombia) vol. 21, no. 1, pp. 41-58. [Consulta: 26 marzo 2021]. ISSN 0124-177X. DOI 10.15446/ga.v21n1.68285. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/68285>.

ACOSTA RIVERA, K.N. & SUÁREZ RAMÍREZ, E.F. Análisis multitemporal de la cobertura vegetal del municipio de Samacá, generado por actividades socioeconómicas [en línea] (Trabajo de titulación). Universidad Santo Tomás. Colombia, 2020. pp. 1-107. [Consulta: 4 mayo 2021]. Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/28390?show=full>.

ADEVA, R., GPS: qué es, utilidades y sistemas de navegación por satélite GNSS. *Adslzone* [en línea]. 2021. [Consulta: 21 mayo 2021]. Disponible en: <https://www.adslzone.net/reportajes/tecnologia/gps-que-es-redes/>.

ALCAZAR, D; et al. "Análisis de la dinámica temporal del NDVI en áreas protegidas: tres casos de estudio a distintas escalas espaciales, temporales y de gestión". *Ecosistemas* [en línea], 2008, vol. 17, no. 3, pp. 108-117. [Consulta: 12 abril 2021]. ISSN 1697-2473. DOI 10.7818/re.2014.17-3.00. Disponible en: <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/82>.

ALZATE ALVAREZ, A.M; et al. "Análisis multitemporal de las coberturas vegetales en el área de influencia de las minas de oro ubicadas en la parte alta del sector de Maltería en Manizales, Colombia". *DYNA*, 2017, (Colombia), vol. 84, no. 201, pp. 95-101. [Consulta: 10 octubre 2020]. ISSN 00127353. DOI [10.15446/dyna.v84n201.55759](https://doi.org/10.15446/dyna.v84n201.55759).

AMADO GUEVARA, E.A. Estudio de información geográfica para apoyar la elaboración de planes de implantación, utilizando arcgis [en línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad de Manizales. 2016 [Consulta: 16 marzo 2021]. Disponible en: http://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/bitstream/handle/20.500.12746/2996/Amado_Edgar_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

ANDRADE VALDOSPINOS, A.F. Recarga Potencial Del Acuífero De La Sub-Cuenca Del Río Chambo Bajo Una Perspectiva De La Hidrología Física [en línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría) Escuela Politécnica Nacional, Ecuador. 2019. pp 1-179 [Consulta: 11 junio 2021]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21034>.

ARIZA, A. "Descripción y Corrección de Productos Landsat 8 LDCM (Landsat Data Continuity Mission)". *Centro de Investigación y Desarrollo en información Geográfica del IGAC -CIAF*, 2013, (Colombia), pp. 1- 46. [Consulta: 29 marzo 2021]. Disponible en: <https://www.un-spider.org/sites/default/files/LDCM-L8.R1.pdf>

ARIZA ORTIZ, A., et al. Uso de índices espectrales derivados de sensores remotos para la caracterización geomorfológica en zonas insulares del Caribe colombiano. *Perspectiva Geográfica* [en línea], 2018, vol. 23, no. 1, pp. 105-122. [Consulta: 26 marzo 2021]. ISSN 0123-3769. DOI 10.19053/01233769.5863. Disponible en: <https://revistas.uptc.edu.co/index.php/perspectiva/article/view/5863/6520>.

ÁVILA PÉREZ, I.D., et al. "Evaluación de cuatro algoritmos de clasificación de imágenes satelitales Landsat-8 y Sentinel-2 para la identificación de cobertura boscosa en paisajes altamente fragmentados en Costa Rica". *Revista de Teledetección* [en línea], 2020, (Costa Rica) no. 57, pp. 37-49. [Consulta: 01 abril 2021]. ISSN 1133-0953. DOI 10.4995/raet.2020.13340. Disponible en: [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/159574/Ávila-Pérez%3BOrtiz%3BMalavassi%3BSoto-Montoya - Evaluación de cuatro algoritmos de clasificación de im....pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/159574/Ávila-Pérez%3BOrtiz%3BMalavassi%3BSoto-Montoya%20-%20Evaluación%20de%20cuatro%20algoritmos%20de%20clasificación%20de%20imágenes%20satelitales%20Landsat-8%20y%20Sentinel-2%20para%20la%20identificación%20de%20cobertura%20boscosa%20en%20paisajes%20altamente%20fragmentados%20en%20Costa%20Rica.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

BORRÀS, J; et al. "Clasificación de usos del suelo a partir de imágenes sentinel-2". *Revista de Teledeteccion* [en línea], 2017, no. 48, pp. 55-66. [Consulta: 01 abril 2021]. ISSN 19888740. DOI 10.4995/raet.2017.7133. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/83604/7133-28392-1-PB.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

BRAVO MORALES, N.F. Teoría – Teledetección Espacial LANDSAT, SENTINEL-2, ASTER L1T y MODIS. *Geomática ambiental* [en línea], 2017, (Perú) vol. 1, pp. 105. [Consulta: 29 marzo 2021]. Disponible en: <https://sites.google.com/view/geomatica-ambiental-srl/>.

CAMACHO SANABRIA JOSÉ MANUEL; et al. Cambios de cobertura/uso del suelo en una porción

de la Zona de Transición Mexicana de Montaña. Madera y Bosques [en línea], 2015, (México) vol. 21, no. 1, pp. 93-112. [Consulta: 03 junio 2021]. ISSN 1405-0471. DOI 10.21829/myb.2015.211435. Disponible en: <https://myb.ojs.inecol.mx/index.php/myb/article/view/435>

CAMPOS-VARGAS, C. & VARGAS-SANABRIA, D. "Sistema multi-algoritmo para la clasificación de coberturas de la tierra en el bosque seco tropical del Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica". *Revista Tecnología en Marcha* [en línea], 2018, (Costa Rica) vol. 31, no. 1, pp. 58-69. [Consulta: 01 abril 2021]. ISSN 0379-3982. DOI 10.18845/tm.v31i1.3497. Disponible en: <https://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v31n1/0379-3982-tem-31-01-58.pdf>.

CARPINTERO et al. Aplicación de imágenes ASTER y ETM+ para el estudio de la susceptibilidad a la erosión en una zona semiárida (SE España). *Revista de teledetección: Revista de la Asociación Española de Teledetección* [en línea], 2007 no. 28, pp. 13-23. [Consulta: 25 agosto 2021]. ISSN 1133-0953. Disponible en: [7-103-Carpintero_revisado.pdf \(aet.org.es\)](#)

CARTAYA RÍOS, S; et al. "Comparación de técnicas para determinar cobertura vegetal y usos de la tierra en áreas de interés ecológico , Manabí , Ecuador". *Revista Ud Y La Geomática* [en línea], 2014, (Ecuador) no. 9, pp. 5-17. [Consulta: 20 enero 2021]. DOI <http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.udgeo.2014.9.a01>. Disponible en: <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/UDGeo/index>.

CARTAYA, S; et al. Clasificación supervisada para la selección de zonas de muestreo de especies cinegéticas en el Refugio de Vida Silvestre , Marino y Costero Pacoche , provincia de Manabí , Ecuador". *Sistema de Información Científica Redalyc* [en línea], 2015, (Venezuela) vol. 39, no. 85, pp. 51-62. [Consulta: 28 mayo 2021]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/3761/376143541004.pdf>.

CHUVIECO, E. *Fundamentos de teledetección espacial* [en línea]. Segunda ed. Madrid: s.n. 1995, ISBN 8432126802. [Consulta: 26 octubre 2020]. Disponible en: <http://cursosihlla.bdh.org.ar/Sist.Cart.yTeledet./Bibliografia/FUNDAMENTOS-DE-TELEDETECCION-EMILIO-CHUVIECO.pdf>.

COMITÉ DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CHAMBO,. Aportes a la planificación para la gestión

integral de los recursos hídricos. [en línea]. 2015 [Consulta: 26 octubre 2020]. Disponible en: www.avsf.org.

CONDORI LUNA, I.J; et al. "Análisis multitemporal de la cobertura boscosa empleando la metodología de teledetección espacial y SIG en la sub-cuenca del río Coroico - provincia Caranavi en los años 1989 - 2014". *Journal of the Selva Andina Research Society* [en línea], 2018, (Bolivia) vol. 9, no. 1, pp. 25-44. [Consulta: 12 abril 2021]. ISSN 2072-9294. DOI 10.36610/j.jsars.2018.090100025. Disponible en: http://www.scielo.org.bo/pdf/jsars/v9n1/v9n1_a03.pdf.

CONSEJO DE CUENCA. Subcuenca Chambo. *Agua Chambo* [en línea], 2016. [Consulta: 12 abril 2021]. Disponible en: <https://subcuencachambo.wordpress.com/about/#:~:text=La subcuenca del río Chambo,Andes ecuatorianas%2C zona muy encajonada>.

CÓRDOVA, M. *Determinación de la firma espectral del estrato herbazal - arbustal del páramo en la subcuenca del río Chambo, Provincia de Chimborazo* [en línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Ecuador. 2018. pp.1-80. [Consulta: 12 abril 2021]. Disponible en: <http://dspace.espech.edu.ec/bitstream/123456789/8767/1/33T0189.pdf>.

CRUZ GUERRERO, R; et al. "Estudio del comportamiento de algoritmos de clasificación según la naturaleza de los datos". *Revista de Tecnología Informática* [en línea], 2017, (México) vol. 1, no. 2, pp. 9-18. [Consulta: 01 abril 2021]. Disponible en: <https://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Tecnologia Informatica/vol1num2/Revista de Tecnologia Informatica V1 N2.pdf#page=16>.

DAMIAN, D; et al. "Transiciones sistemáticas en el uso y la cobertura del suelo en una microcuenca alto andina, Ecuador 1991-2011". *Revista Espacios* [en línea], 2018. (Ecuador) vol. 39, no. 32, pp. 1-8. [Consulta: 27 agosto 2021]. Disponible en: <https://www.revistaespacios.com/a18v39n32/a18v39n32p08.pdf>.

DE LA CRUZ, J. & MUÑOZ, G. Análisis multitemporal de la cobertura vegetal y cambio de uso del suelo del área de influencia del programa de reforestación de la federacion nacional de cafeteros en el municipio de Popayán, Cauca. Jenni [en línea]. (Trabajo de titulación). (Maestría), S.l.: Universidad de Manizales. 2016. pp. 11-55. [Consulta: 07 abril 2021]. Disponible en:

https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/bitstream/handle/20.500.12746/2807/DeLaCruz_Burgos_Jenni_2016.pdf.pdf?sequence=3&isAllowed=y#:~:text=Análisis multitemporal%3A este proceso implica,de las coberturas vegetales%2C dando.

DELLEPIANE, J. "Uso de imágenes satelitales para el reconocimiento de parapetos en el centro-oeste de Patagonia meridional". *Arqueología* [en línea], 2018, (Argentina) vol. 24, no. 2, pp. 259-269. [Consulta: 25 marzo 2021]. ISSN 0327-5159. DOI 10.34096/arqueologia.t24.n2.5009. Disponible en: https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/101024/CONICET_Digital_Nro.ac5b49f3-188c-4d14-907f-5fc89c314525_s.pdf?sequence=5&isAllowed=y.

DELPINO AGUAYO, M.A; et al. "Evaluación de índices espectrales derivados de sensores remotos para la caracterización de ambientes de humedales". *7º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal* [en línea]. 2018, (Paraguay) [Consulta: 26 mayo 2021]. Disponible en: <https://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br/Anais-Geopantanal/pdfs/p15.pdf>.

DÍAZ GARCÍA-CERVIGÓN, J. Estudio de índices de vegetación a partir de imágenes aéreas tomadas desde UAS/RPAS y aplicaciones de estos a la agricultura de precisión [en línea]. (Trabajo de titulación). (Maestría). UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID. 2015. [Consulta: 27 mayo 2021]. Disponible en: https://eprints.ucm.es/id/eprint/31423/1/TFM_Juan_Diaz_Cervignon.pdf.

ESCANDÓN CALDERÓN, J; et al. "Cambio en la cobertura vegetal y uso del suelo del 2000 al 2009 en Morelos, México". *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* [en línea], 2018, (México) vol. 9, no. 46, pp. 27-53. [Consulta: 27 abril 2021]. ISSN 2448-6671. DOI 10.29298/rmcf.v9i46.135. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v9n46/2007-1132-remcf-9-46-27.pdf>.

FANDOS, C; et al. "Uso de Teledetección y SIG para la detección de frecuencias de rotación soja/maíz en el departamento Burruyacu, provincia de Tucumán, Argentina". *Revista industrial y agrícola de Tucumán* [en línea], 2019, (Argentina) vol. 96, no. 1, pp. 07-16. [Consulta: 25 marzo 2021]. ISSN 1851-3018. Disponible en: <https://www.eeaoc.gob.ar/wp-content/uploads/2020/01/02-Uso-de-teledeteccion-y-SIG-7-16.pdf>.

FERNÁNDEZ FIERRO, A.A. Evaluación multitemporal del cambio de cobertura y uso del suelo en

la cuenca baja del Río Chambo [en línea]. (Trabajo de titulación). (Grado) Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, Ecuador. 2019 [Consulta: 26 octubre 2020]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/11161>.

FRAGOSO CAMPÓN, L. & QUIRÓS, E. "Sentinel Toolbox Application (SNAP) aplicado a la clasificación supervisada de imágenes PNOA". *Teledetección: hacia una visión global del cambio climático* [en línea].2019, (España) ISBN: 978-84-1320-038-5Sentinel, pp. 263-266. [Consulta: 31 marzo 2021]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/336134184_Sentinel_Toolbox_Application_SNAP_aplicado_a_la_clasificacion_supervisada_de_imagenes_PNOA

FUNDACIÓN CONAMA. "Teledetección y sensores medioambientales". *Congreso Nacional de Medio Ambiente. CONAMA 2016* [en línea], 2016, pp. 1-102. [Consulta: 26 marzo 2021]. Disponible en: http://www.conama.org/conama/download/files/conama2016//GTs_2016/14_final.pdf.

GEOMÁTICA, H., Tutorial de Teledetección, procesamiento en ArcGIS usando Landsat 8.(video) – HONDURAS GEOMÁTICA. *HONDURAS GEOMÁTICA INGENIERÍA GEOMÁTICA EN HONDURAS* [en línea]. 2020. [Consulta: 21 abril 2021]. Disponible en: <https://geociencias.wordpress.com/2020/04/26/tutorial-de-teledeteccion-procesamiento-en-arcgis-usandolandsat-8-video/>.

GORELICK, N; et al. "Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone". *Remote Sensing of Environment* [en línea], 2017, vol. 202, pp. 18-27. [Consulta: 29 marzo 2021]. ISSN 00344257. DOI 10.1016/j.rse.2017.06.031. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>.

INEC. Encuesta de producción Agropecuaria. [en línea]. 2017, Ecuador. [Consulta: 17 abril 2021]. Disponible en: http://https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/webinec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac_2017/Informe_Ejecutivo_ESPAC_2017.pdfmingaonline.uach.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0304-88021974000200009&lng=es&nrm=iso&tlng=es.

LARA VÁSCONEZ, N.X et al. Identificación de zonas potenciales de recarga y descarga de agua subterránea en la subcuenca del Río Chambo mediante los sistemas de información geográfica y el análisis multicriterio. *Polo del Conocimiento* [en línea], 2021, (Ecuador).vol. 6, no. 6, pp. 122-148. [Consulta: 28 julio 2021]. DOI 10.23857/pc.v6i6.2745. Disponible en: <http://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es>.

LEE, J., CARDILLE, J.A. & COE, M.T. "BULC-U: Sharpening resolution and improving accuracy of land-use/land-cover classifications in Google Earth Engine". *Remote Sensing* [en línea], 2018, (Canada) vol. 10, no. 9, pp. 1-21. [Consulta: 29 marzo 2021].ISSN 20724292. DOI 10.3390/rs10091455.: s.n. Disponible en: <chrome-extension://dagcmkpagilhakfdhnbomgmjdpkdklff/enhancedreader.html?pdf=https%3A%2F%2Fbrx.t.mendeley.com%2Fdocument%2Fcontent%2F7c22633-dae5-3bb1-8970-fbfde3c1baf1>.

LÓPEZ, C. Fundamentos Básicos para la Teledetección Ambiental [en línea]Universidad Católica del Norte, Chile. 2020. [Consulta: 25 marzo 2021]. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/CristianLopezMontecinos/publication/343295557_Fundamentos_Basicos_para_la_Teledeteccion_Ambiental/links/5f21e3c692851cd302c87695/Fundamentos-Basicos-para-laTeledeteccion-Ambiental.pdf.

MAE & MAGAP. Protocolo metodológico para la elaboración del mapa de cobertura y uso de la tierra del Ecuador Continental. *Ministerio del Ambiente del Ecuador y Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca* [en línea], 2015, (Ecuador) pp. 1-49. [Consulta: 05 abril 2021]. Disponible en: http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PortalSNI_2014/USO_DE_LA_TIERRA/01-METODOLOGIA_MAPA_COBERTURA_USO.pdf.

MARTÍNEZ BARRÓN, R.A; et al. "Modelación de biomasa y carbono arbóreo aéreo en bosques del estado de Durango". *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* [en línea], 2017, (México) vol. 7, no. 35, pp. 091-105. [Consulta: 26 marzo 2021]. ISSN 2007-1132. DOI 10.29298/rmcf.v7i35.77. Disponible en: <http://cienciasforestales.inifap.gob.mx/editorial/index.php/forestales/article/view/77/143>.

MATEO GARCÍA, G; et al. "Multitemporal cloud masking in the Google Earth Engine". *Remote Sensing*, [en línea]. 2018, (España) vol. 10, no. 7, pp. 1-18. [Consulta: 29 marzo 2021]. ISSN 20724292. DOI 10.3390/rs10071079. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2072-4292/10/7/1079>

MATUS HERNÁNDEZ, M.Á. Detección remota de proliferaciones algales en baja California sur, México [en línea]. (Trabajo de titulación). (Doctorado) Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, (La Paz, Baja California Sur) 2019. pp. 1-77. [Consulta: 29 marzo 2021]. Disponible en: https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1001/1575/1/matus_m_TESIS.pdf.

MINISTERIO DEL AMBIENTE. Registro Oficial. *Registro oficial órgano del gobierno del Ecuador* [en línea]. 2007, (Ecuador) [Consulta: 5 octubre 2020]. Disponible en: http://www.obraspublicas.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2012/09/SPTMF_resol_carga_gye-galapagos.pdf%0Ahttps://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018_09/Documento_Acuerdo-Ministerial-091_0.pdf.

MIRANDOLA, P; et al. "Integrated management of river basins: Possibilities and advances in the analysis of land use and land cover". *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía* [en línea], 2020, vol. 29, no. 1, pp. 69-85. [Consulta: 14 abril 2021]. ISSN 22565442. DOI 10.15446/rcdg.v29n1.76232. Disponible en: <http://aqua-lac.org/index.php/Aqua-LAC/article/view/223/195>.

MORENO COBO, A.V. Análisis de las transiciones de los cambios de uso y cobertura del suelo mediante técnicas estadísticas y sistemas de información geográfica de los años (2001-2016) en el cantón Chambo, provincia de Chimborazo. [en línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Universidad Nacional de Chimborazo, Ecuador. 2017. pp.1-42. [Consulta: 03 junio 2021]. Disponible en: <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/4206/1/UNACH-EC-ING-AMB-20170007.pdf>.

MOROCHO CASTILLO, A; et al. "Deforestación y cambios en la cobertura vegetal del archipiélago de Jambelí, mediante el uso de imágenes satelitales Landsat-8". *Manglar* [en línea], 2020, (Ecuador) vol. 17, no. 2, pp. 153-157. [Consulta: 14 mayo 2021]. ISSN 00067431. DOI : <http://dx.doi.org/10.17268/manglar.2020.023>. Disponible en: <http://erp.untumbes.edu.pe/revistas/index.php/manglar/article/view/160/294#>.

MUÑOZ AGUAYO, P.. Apuntes de Teledetección: Índices de vegetación. Centro de Información de Recursos Naturales. (Chile), 2013. pp: 1-15. [Consulta: 06 octubre 2021]. Disponible en: <http://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/123456789/26389/Tema%20Indices%20de%20vegetaci%C3%B3n%20Pedro%20Mu%C3%B1oz%20A.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

NARANJO, L. *Caracterización hidrogeológica de la subcuenca del río Chambo* [en línea]. (Trabajo de titulación). (Grado), Universidad central del Ecuador. Ecuador. 2013. pp.1-174. [Consulta: 12 abril 2021]. Disponible en: <https://1library.co/document/zgrdedvq-caracterizacion-hidrogeologica-de-la-subcuenca-del-rio-chambo.html>

NIÑO MARTINEZ, Y.M.N. Análisis Multitemporal Mediante Imágenes De Sensores Remotos Para La Determinación De Los Cambios De Uso De Suelo En El Municipio De San Francisco De Sales, Cundinamarca (Colombia) Entre Los Años 90'S Y 2018" [en línea]. (Trabajo de titulación). (Posgrado), Universidad Nacional de La Plata. Colombia. 2020. pp.1-103. [Consulta: 26 agosto 2021]. Disponible en: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/111198/Documento_completo.pdfPDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

ORELLANA SALAS, J.A. & LALVAY PORTILLA. "Uso y valoración de los recursos naturales y su incidencia en el desarrollo turístico: Caso Casacay, cantón Pasaje, El Oro-Ecuador". *Revista interamericana de ambiente y turismo* [en línea], 2018, (Ecuador) vol. 14, no. 1, pp. 65-79. [Consulta: 21 abril 2021]. ISSN 0718-235X. DOI 10.4067/s0718-235x2018000100080. Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/riat/v14n1/0718-235X-riat-14-01-00065.pdf>.

ORMEÑO VILLAJOS, S. *TELEDETECCION FUNDAMENTAL 3ª Edición* [en línea]. 3ª Edición. Madrid: Universidad Politecnica. 2006, [Consulta: 26 octubre 2020]. Disponible en: <http://pdi.topografia.upm.es/santi/download/FunTeled.PDF>.

OSUNA OSUNA, A; et al. "Evaluación de cambio de cobertura vegetal y uso de suelo en la cuenca del río Tecolutla, Veracruz, México; periodo 1994-2010". *Revista Ambiente e Agua* [en línea], 2015, (México) vol. 10, no. 2, pp. 350-362. [Consulta: 21 enero 2021]. ISSN 1980993X. DOI 10.4136/1980-993X. Disponible en: <https://www.scielo.br/pdf/ambiagua/v10n2/1980-993X-ambiagua-10-02-00350.pdf>.

PAULA, P., ZAMBRANO, L. & PAULINA, P. "Análisis Multitemporal de los cambios de la vegetación, en la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo como consecuencia del cambio climático ". *Enfoque Ute* [en línea], 2018, (Ecuador) vol. 9, no. 2, pp. 125-137. [Consulta: 21 abril

2021]. ISSN 1390-9363. Disponible en: <http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/>.

PERRY CÁCERES, V.A. Diseño del proceso de clasificación supervisada de cubiertas de suelo en imágenes satelitales [en línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad de Chile, Chile 2017. pp. 1-83. [Consulta: 31 marzo 2021]. Disponible en: <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/145336/Diseño-del-proceso-de-clasificacion-supervisada-de-cubiertas-de-suelo-en-imagenes-satelitales.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

PINEDA PASTRANA, O. Análisis de cambio de uso de suelo mediante percepción remota en el municipio de Valle de Santiago. [en línea] (Trabajo de titulación) (Maestría). Centro de investigación en geografía y geomática, México. 2011. pp. 1-88. [Consulta: 05 octubre 2020]. Disponible en: [https://centrogeo.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1012/41/1/21-2011-Tesis-PinedaPastrana%2C%20Oliva-Maestra en Geomática.pdf](https://centrogeo.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1012/41/1/21-2011-Tesis-PinedaPastrana%2C%20Oliva-Maestra%20en%20Geomática.pdf).

PINOS ARÉVALO, N. "Prospective land use and vegetation cover on land management - Case canton Cuenca". *Estoa* [en línea], 2016, (Ecuador) vol. 5, no. 9, pp. 7-19. [Consulta: 12 abril 2021]. ISSN 13907263. DOI 10.18537/est.v005.n009.02. Disponible en: <file:///C:/Users/Fernandita/Downloads/acalle-9vf1.pdf>.

¿Qué es el NDVI (índice de vegetación de diferencia normalizada)? - Geografía GIS. *Gis Geography* [en línea], 2020. [Consulta: 29 marzo 2021]. Disponible en: <https://gisgeography.com/ndvi-normalized-difference-vegetation-index/>.

QUISHPE, A. Caracterización Hidrometeorológica y Estimación del Balance Hídrico de la Cuenca del Río Chambo. [en línea] (Trabajo de titulación) (Grado). Escuela Politecnica nacional, Ecuador. 2017. pp. 1-109. [Consulta: 14 abril 2021]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17317>

RAMÍREZ ZAPATA, A. Análisis Multitemporal Mediante Sensores Remotos De Cobertura De La Tierra Para El Periodo De Tiempo 1999 - 2011 En El Municipio De San Jacinto, Bolívar [en línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Militar Nueva Granada, Colombia. 2015. pp. 1-20. [Consulta: 31 marzo 2021]. Disponible en: <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/6318/An%20El%20Análisis%20Multitemporal%20San%20Jacinto%201999-2011.pdf;jsessionid=030AEF54C74F1AAD063386EF31EF9F6E?sequence=3>.

RAMOS LÓPEZ, B. ¿Qué es Google Earth Engine? *TYC GIS Formación* [en línea]. 2018 [Consulta: 27 octubre 2020]. Disponible en: <https://www.cursosgis.com/que-es-google-earth-engine/>.

RÍOS, E; et al. *Cuencas hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión* Primera edici. México: Red Mexicana de Cuencas Hidrográficas. [en línea]. 2013. [Consulta: 14 abril 2021]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/280938710_Cuencas_hidrograficas_Fundamentos_y_perspectivas_para_su_manejo_y_gestion.

RIVAS AQUINO, PATRICIA DENIS & TORRE PILLPA, M.I. "Análisis temporal de la pérdida de cobertura vegetal mediante teledetección en el distrito de Satipo-Satipo-Junín, durante los años 2015 – 2018". [en línea]. (Trabajo de titulación) (Grado) Universidad Cesar Vallejo, Perú. 2019.pp.13-70. [Consulta: 21 enero 2021]. Disponible en: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/39901/TORRE_PM.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

RIVAS LEÓN, J.H. "Determinación de cultivos agrícolas y firmas espectrales mediante el procesamiento de imágenes satelitales utilizando el método de clasificación supervisada". *PERFILES DE INGENIERÍA* [en línea], 2020, vol. 16, pp. 85-92. [Consulta: 01 abril 2021]. DOI https://doi.org/10.31381/perfiles_ingenieria.v20i15.3548 85. Disponible en: http://revistas.urp.edu.pe/index.php/Perfiles_Ingenieria/article/view/3548/4610.

ROJAS BRICEÑO, N.B; et al. "Deforestación en la Amazonía peruana: índices de cambios de cobertura y uso del suelo basado en SIG". *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, [en línea], 2019, (Perú) no. 81, pp. 1-34. [Consulta: 03 junio 2021]. ISSN 0212-9426. DOI 10.21138/bage.2538a. Disponible en: <https://bage.age-geografia.es/ojs/index.php/bage/article/view/2538>

ROSETO, M. Análisis Multitemporal del Uso del Suelo y Cobertura Vegetal de la Cuenca del Río Tahuando y Proyección de Cambios al Año 2031, en el Cantón Ibarra, Provincia de Imbabura [en línea]. (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Técnica del Norte, Ecuador. 2017. pp. 1-66. [Consulta: 05 abril 2021]. Disponible en: <https://mail.ambiente.gob.ec/service/home/~/?auth=co&loc=es&id=12757&part=2>.

SÁNCHEZ DÍAZ, B. "La teledetección en investigaciones ecológicas como apoyo a la conservación de la biodiversidad: una revisión". *Revista científica* [en línea], 2018, (México) vol. 3, no. 33, pp. 243-253. [Consulta: 25 marzo 2021]. ISSN 0124-2253. DOI 10.14483/23448350.13370. Disponible en: <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/revcie/article/view/13370/pdf>.

SHEN, H; et al. "A comparison of multiple classifier combinations using different voting-weights for remote sensing image classification". *International Journal of Remote Sensing* [en línea], 2018, (China) vol. 39, no. 11, pp. 3705-3722. [Consulta: 01 abril 2021]. ISSN 13665901. DOI 10.1080/01431161.2018.1446566. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1446566>.

SUBIA, Y. Análisis multitemporal de cambio de cobertura vegetal y uso de suelos en el parque nacional Bahuaja Sonene y su zona de amortiguamiento [en línea]. (Trabajo de titulación). (Grado) Universidad Nacional del Altiplano, Perú. 2020. pp. 13-119. [Consulta: 31 marzo 2021]. Disponible en: http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/14781/Subia_Tito_Yakeline.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

TIRIA FORERO, L.N; et al. "Transformación de las coberturas vegetales y uso del suelo en la llanura amazónica colombiana: el caso de Puerto Leguízamo, Putumayo (Colombia)". *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía* [en línea], 2018, (Colombia) vol. 27, no. 2, pp. 286-300. [Consulta: 27 abril 2021]. ISSN 0121-215X. DOI 10.15446/rcdg.v27n2.70441. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rcdg/v27n2/0121-215X-rcdg-27-02-286.pdf>.

VASCONCELOS, Y. "Nascida no Brasil, a plataforma Google Earth Engine é utilizada na elaboração de mapas sobre vários temas a partir de imagens de satélite". *Revista Pesquisa Fapesp. Revista Pesquisa Fapesp* [en línea]. 2015 [Consulta: 29 marzo 2021]. Disponible en: <https://revistapesquisa.fapesp.br/colaboracao-do-ceu/>.

VÁZQUEZ, R. "Uso de sistemas de información geográfica libres para la protección del medio ambiente. caso de estudio: manipulación de mapas ráster con datos climáticos". *Universidad y Sociedad* [en línea], 2017, (Ecuador) vol. 10, no. 2, pp. 158-164. [Consulta: 03 junio 2021]. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/rus/v10n2/2218-3620-rus-10-02-158.pdf>.

VIVANCO PÉREZ, N.S. & TORRES SAQUINGA, V.L. Comparación en la estimación de material

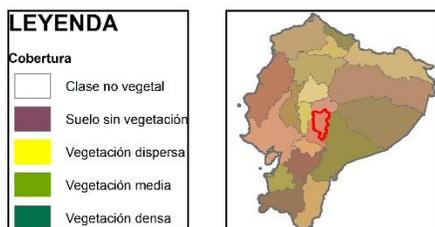
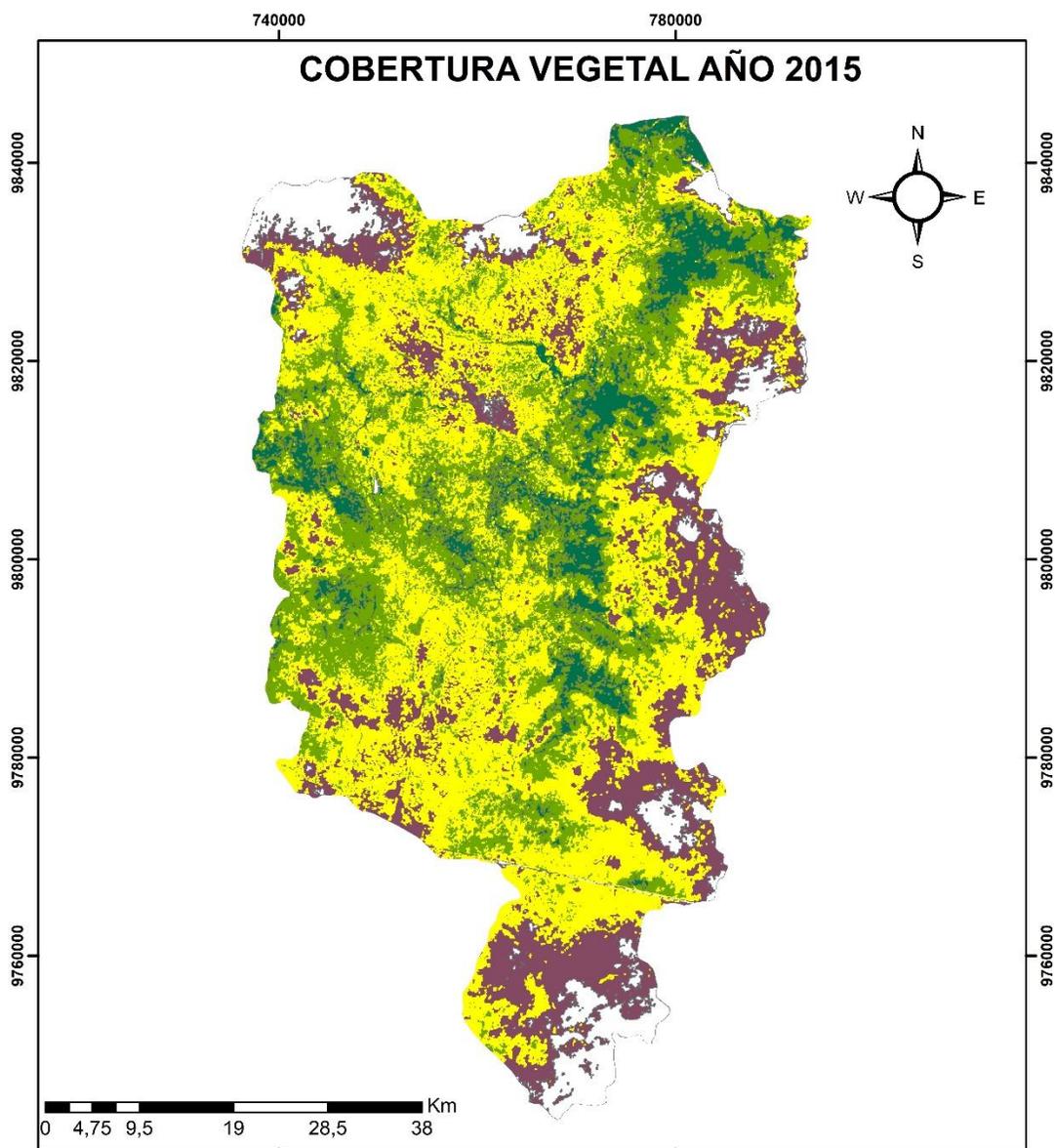
particulado pm10 usando imágenes satelitales landsat 7, landsat 8 y modis en Quito [en línea]. (Trabajo de titulación). (Grado) Universidad Politécnica Salesiana sede Quito, Ecuador. 2018. pp. 1-129 [Consulta: 29 marzo 2021]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf>.

XUE, J. & SU, B. "Significant remote sensing vegetation indices: A review of developments and applications". *Journal of Sensors* [en línea], 2017, (China) vol. 2017, pp. 1-18. [Consulta: 25 marzo 2021]. ISSN 16877268. DOI 10.1155/2017/1353691. Disponible en: <https://www.hindawi.com/journals/js/2017/1353691/>.

ZAMBRANO, L. Estudio multitemporal de la cobertura vegetal y uso de suelo de la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo [en línea]. (Trabajo de titulación). (Grado). Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, Ecuador. 2016. pp. 1-59. [Consulta: 20 abril 2021]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/5753/3/33T0160.pdf>.

ZANTER, K. "LANDSAT 8 (L8) DATA USERS HANDBOOK LSDS-1574" Department of the Interior U.S. Geological Survey. [en línea], 2016, vol. 8. pp. 1-90. [Consulta: 29 marzo 2021]. Disponible en: http://dl.icdst.org/pdfs/files/2512b7ec8c34f3a7330e7fa339792e5e.pdf?_cf_chl_captcha_tk__=1a3e5681d1ecfd28aa932285c2a14b056146469e-1616790038-0-AZtx_QTHDjnqiK4QIwB1prwbv_yk74VhCxhK7lyRcEiN56D8yNnR1y5HzM3L2PZ110mgcNgavQuNDq-Cy6mmKFeh79rO8Yb2Pr5EZguxX7fXIji.

ANEXO A: MAPA DE COBERTURA VEGETAL SUBCUENCA DEL RÍO CHAMBO 2015



CLASE COBERTURA	ÁREA	%
1 Clase no vegetal	28108,64	7,83
2 Suelo sin vegetación	66412,55	18,5
3 Vegetación dispersa	148488,21	41,37
4 Vegetación media	98290,80	27,38
5 Vegetación densa	17622,12	4,91

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA COBERTURA VEGETAL EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CHAMBO

MAPA DE COBERTURA VEGETAL - SUBCUENCA DEL RÍO CHAMBO

Sistema de Referencia:

DATUM WGS 1984, ZONA 17 SUR

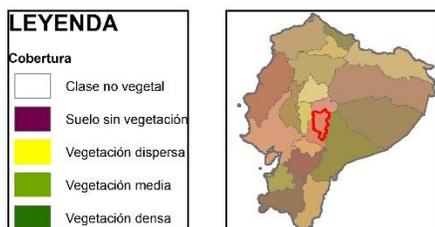
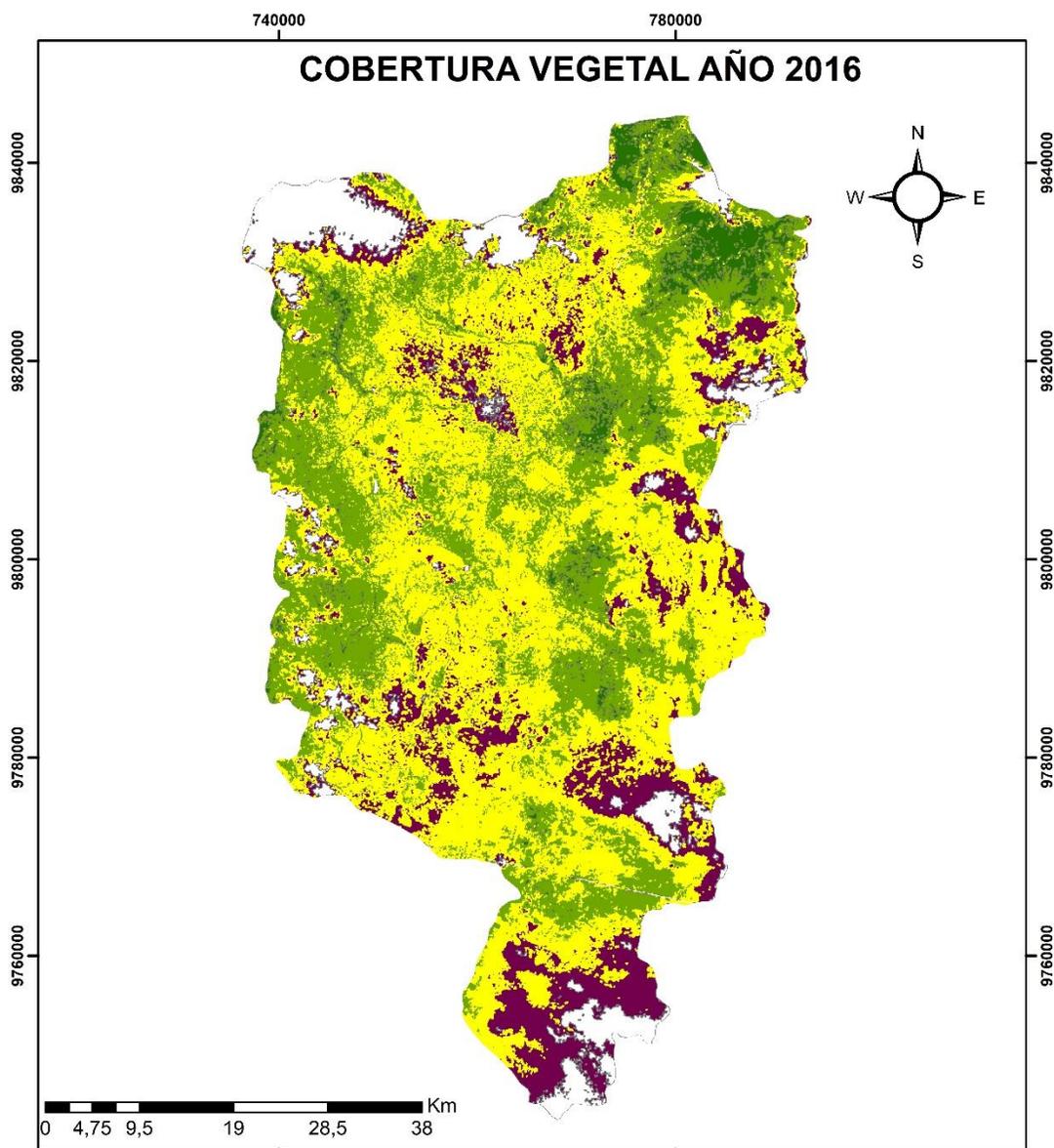
Elaborado por:

Fernanda Pinta

PROYECTO DIMATEZ

Escala: 1:550.000

ANEXO B: MAPA DE COBERTURA VEGETAL SUBCUENCA DEL RÍO CHAMBO 2016



CLASE COBERTURA	ÁREA	%
1 Clase no vegetal	28108,64	7,83
2 Suelo sin vegetación	66412,55	18,5
3 Vegetación dispersa	148488,21	41,37
4 Vegetación media	98290,8	27,38
5 Vegetación densa	17622,12	4,91

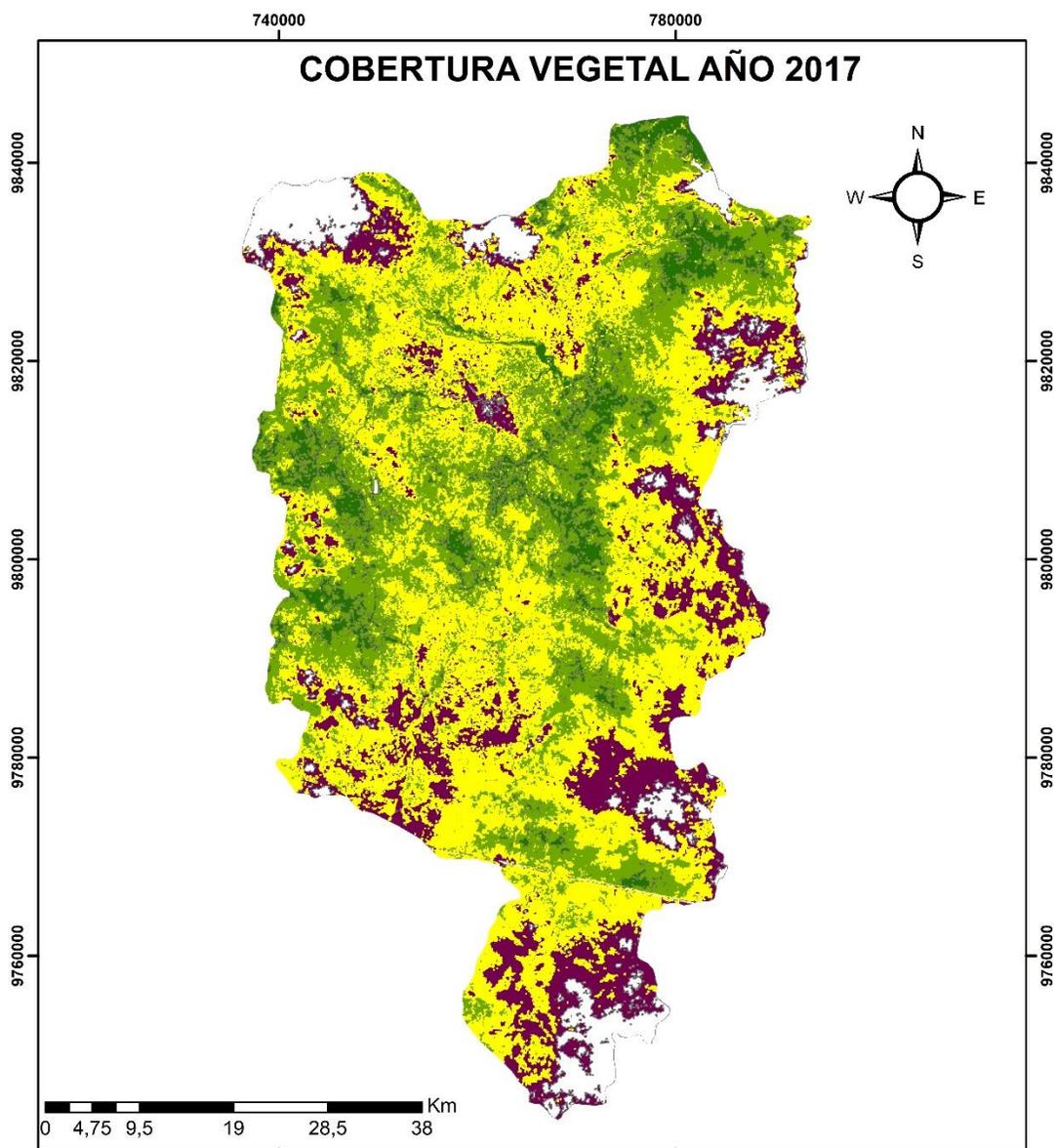
**ESCUELA SUPERIOR
POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**ANÁLISIS MULTITEMPORAL
DE LA COBERTURA VEGETAL
EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CHAMBO**

MAPA DE COBERTURA VEGETAL - SUBCUENCA DEL RÍO CHAMBO

Sistema de Referencia:	 PROYECTO DIMATEZ
DATUM WGS 1984, ZONA 17 SUR	
Elaborado por:	
Fernanda Pinta	Escala: 1:550.000

ANEXO C: MAPA DE COBERTURA VEGETAL SUBCUENCA DEL RÍO CHAMBO 2017



LEYENDA

Cobertura

- Clase no vegetal
- Suelo sin vegetación
- Vegetación dispersa
- Vegetación media
- Vegetación densa



CLASE COBERTURA	ÁREA	%
1 Clase no vegetal	24232,44	6,75
2 Suelo sin Vegetación	74191,64	20,67
3 Vegetación dispersa	138988,96	38,72
4 Vegetación media	94570,36	26,35
5 Vegetación densa	26938,92	7,51



**ESCUELA SUPERIOR
POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

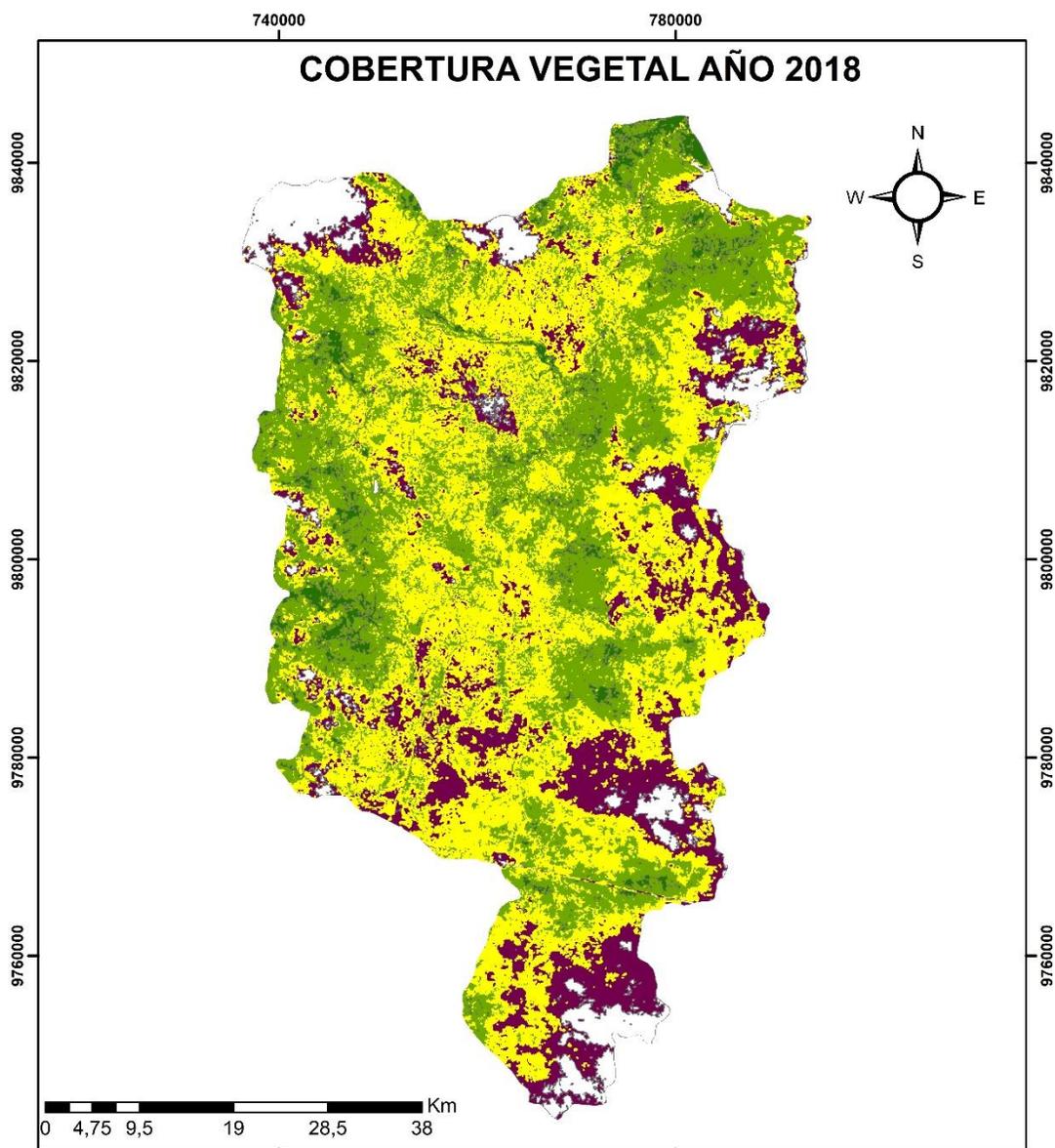


**ANÁLISIS MULTITEMPORAL
DE LA COBERTURA VEGETAL
EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CHAMBO**

MAPA DE COBERTURA VEGETAL - SUBCUENCA DEL RÍO CHAMBO

Sistema de Referencia:	 PROYECTO DIMATEZ
DATUM WGS 1984, ZONA 17 SUR	
Elaborado por:	
Fernanda Pinta	Escala: 1:550.000

ANEXO D: MAPA DE COBERTURA VEGETAL SUBCUENCA DEL RÍO CHAMBO 2018



LEYENDA

Cobertura

- Clase no vegetal
- Suelo sin vegetación
- Vegetación dispersa
- Vegetación media
- Vegetación densa



CLASE COBERTURA	ÁREA	%
1 Clase no vegetal	23542,16	6,56
2 Suelo sin vegetación	77430,63	21,57
3 Vegetación dispersa	132846,89	37,01
4 Vegetación media	109537,68	30,52
5 Vegetación densa	15564,96	4,34



**ESCUELA SUPERIOR
POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

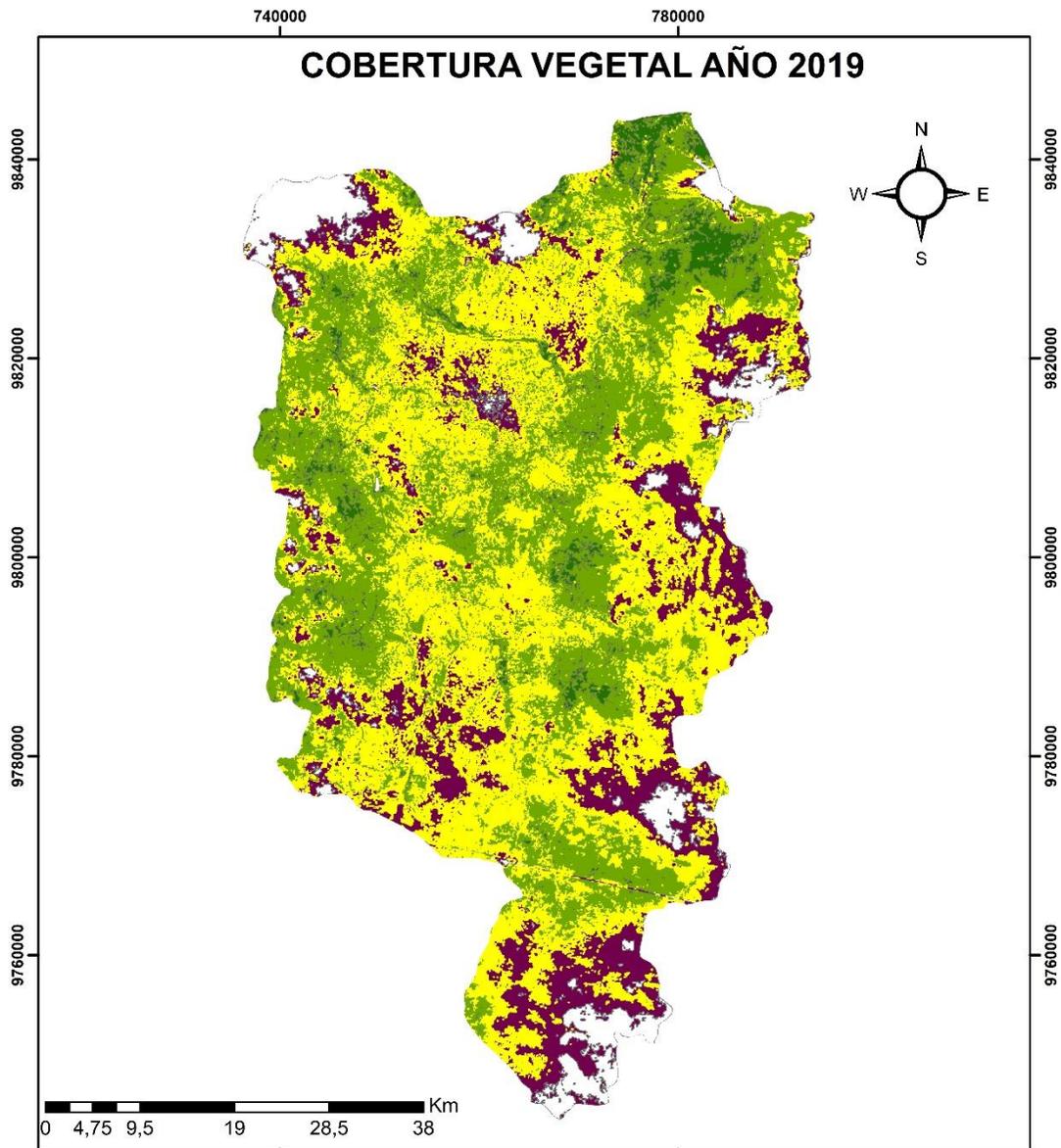


**ANÁLISIS MULTITEMPORAL
DE LA COBERTURA VEGETAL
EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CHAMBO**

MAPA DE COBERTURA VEGETAL - SUBCUENCA DEL RÍO CHAMBO

Sistema de Referencia:	 PROYECTO DIMATEZ
DATUM WGS 1984, ZONA 17 SUR	
Elaborado por:	
Fernanda Pinta	Escala: 1:550.000

ANEXO E: MAPA DE COBERTURA VEGETAL SUBCUENCA DEL RÍO CHAMBO 2019



LEYENDA

Cobertura

- Clase no vegetal
- Suelo sin vegetación
- Vegetación dispersa
- Vegetación media
- Vegetación densa

CLASE COBERTURA	ÁREA	%
1 Clase no vegetal	22733,36	6,33
2 Suelo sin Vegetación	73612,09	20,51
3 Vegetación dispersa	136471,11	38,02
4 Vegetación media	110493,52	30,78
5 Vegetación densa	15612,24	4,35

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA COBERTURA VEGETAL EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CHAMBO

MAPA DE COBERTURA VEGETAL - SUBCUENCA DEL RÍO CHAMBO

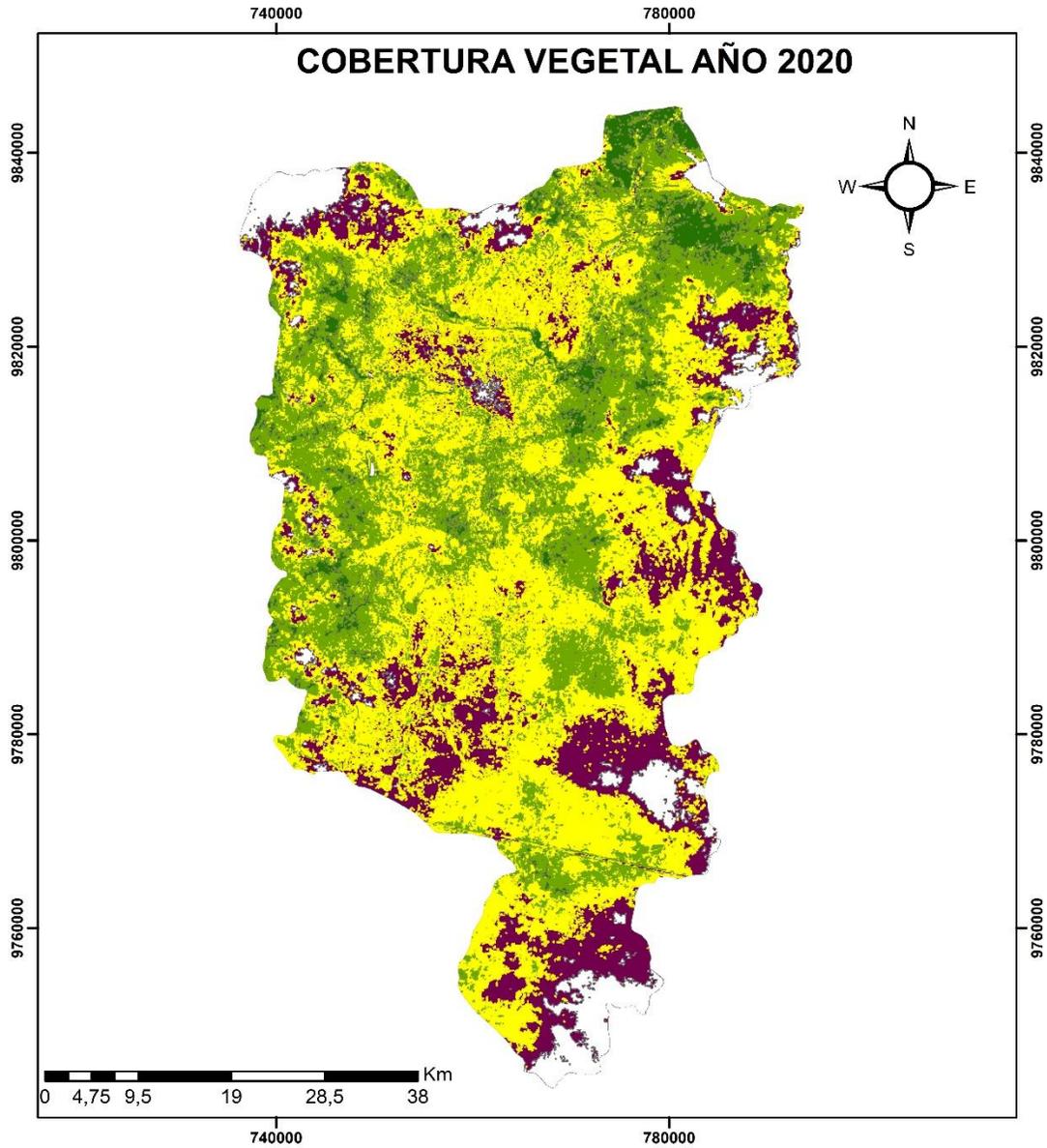
Sistema de Referencia:
DATUM WGS 1984, ZONA 17 SUR

Elaborado por:
Fernanda Pinta

Proyecto DIMATEZ

Escala: 1:550.000

ANEXO F: MAPA DE COBERTURA VEGETAL SUBCUENCA DEL RÍO CHAMBO 2020



LEYENDA

Cobertura

- Clase no vegetal
- Suelo sin vegetación
- Vegetación dispersa
- Vegetación media
- Vegetación densa



CLASE	COBERTURA	ÁREA	%
1	Clase no vegetal	22524,92	6,28
2	Suelo sin vegetación	74515,10	20,76
3	Vegetación dispersa	152619,42	42,52
4	Vegetación media	89463,36	24,93
5	Vegetación densa	19799,52	5,52

**ESCUELA SUPERIOR
POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**ANÁLISIS MULTITEMPORAL
DE LA COBERTURA VEGETAL
EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CHAMBO**

MAPA DE COBERTURA VEGETAL - SUBCUENCA DEL RÍO CHAMBO

Sistema de Referencia:

DATUM WGS 1984, ZONA 17 SUR

Elaborado por:

Fernanda Pinta

**PROYECTO
DIMATEZ**

Escala: 1:550.000



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL APRENDIZAJE
UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y DOCUMENTAL**

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 04 / 11 / 2021

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: <i>María Fernanda Pinta Escobar</i>
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: <i>Recursos Naturales</i>
Carrera: <i>Ingeniería Forestal</i>
Título a optar: <i>Ingeniera Forestal</i>
f. Analista de Biblioteca responsable: <i>Lic. Luis Caminos Vargas Mgs.</i>



1888-DBRA-UTP-2021