



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES**  
**CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL**

**ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA EVOLUCIÓN DE  
PLANTACIONES DE PINO ESTABLECIDAS EN LA PARROQUIA  
PALMIRA, CANTÓN GUAMOTE, MEDIANTE LA APLICACIÓN  
DE TECNOLOGÍAS GEOESPACIALES**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO FORESTAL**

**AUTOR: JOFRE DANILO ROBALINO MORA**

**DIRECTORA: Ing. VILMA FERNANDA NOBOA SILVA MSc.**

Riobamba - Ecuador

2021

**© 2021, Jofre Danilo Robalino Mora**

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

Yo, Jofre Danilo Robalino Mora, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos que constan en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 31 de agosto del 2021

Jofre Danilo Robalino Mora

185024940-8

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES**  
**CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL**

El Tribunal de trabajo de Titulación certifica que: el trabajo de titulación; Tipo: Proyecto de Investigación. “ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA EVOLUCIÓN DE PLANTACIONES DE PINO ESTABLECIDAS EN LA PARROQUIA PALMIRA, CANTÓN GUAMOTE, MEDIANTE LA APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS GEOESPACIALES”, realizado por el señor **JOFRE DANILO ROBALINO MORA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Hernán Eriberto Chamorro Sevilla MSc. <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>	 Firmado electrónicamente por: <b>HERNAN ERIBERTO CHAMORRO SEVILLA</b> _____	31 de agosto de 2021
Ing. Vilma Fernanda Noboa Silva MSc. <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	 Firmado electrónicamente por: <b>VILMA FERNANDA NOBOA SILVA</b> _____	31 de agosto de 2021
Ing. Julia Desiree Velastegui Cáceres MSc. <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>	 Firmado electrónicamente por: <b>JULIA DESIREE VELASTEGUI CACERES</b> _____	31 de agosto de 2021

## DEDICATORIA

En el transcurso de mi carrera, cada día al despertar muchos sentimientos me invadían, a veces el cansancio la nostalgia, la tristeza y la alegría; aprendí de todos quienes me brindaron palabras de ánimo, de perseverancia, para no desmayar ante nada. Quiero dedicar el presente trabajo:

A mis padres por su sacrificio, su infinito amor que me han brindado durante toda mi vida, por sus consejos, enseñanzas que han hecho de mí un hombre fuerte, decidido a cumplir mis metas, por inculcarme las cosas de Dios desde pequeño y saber que sin él no somos nada en este mundo, por su confianza puesta en mi desde el momento que tuve que salir de casa para ir a otra ciudad en busca de mi sueño.

A mis hermanas Daniela y Monserrat, por ayudarme en cada fase de mi vida y estar conmigo en cualquier situación, por sus consejos, palabras de ánimo, amor y su apoyo incondicional en cada paso que he dado, gracias son lo mejor de todo el mundo.

A mis abuelitos Mesías, Lucila, Carmen y Eloy por sus sabios consejos y amor que me han dado a partir de que llegué al mundo, por demostrarme que no fui solamente un nieto si no un hijo más para ustedes. A mi abuelito Eloy, que, aunque hoy no está aquí para ser testigo de este logro sé que desde el cielo estará orgulloso de lo que he conseguido.

A mis tíos, tías, primos y primas por darme palabras de aliento para seguir adelante, por siempre me enseñaron que todo es posible con la dedicación adecuada.

A Lissette Rugel, una persona increíble de excelentes cualidades, siempre fue mi apoyo en los momentos de mucha oscuridad, sin ella y sus palabras de aliento nada de esto hubiera sido posible.

A mis amigos con los que he compartido locuras, momentos de risas y llantos, por haberse convertido en mi familia en especial mi amigo Jimmy Ocles, que hizo que mi estadía en la ESPOCH sea más alegre y divertida, por haberme brindado su amistad incondicional.

Jofre Danilo Robalino Mora

## **AGRADECIMIENTOS**

Con profunda nostalgia al culminar esta gran etapa de mi vida, tengo que agradecer en primer lugar:

A Dios por su enorme amor y misericordia que me ha tenido a lo largo de toda mi vida, por ser mi guía y fortaleza en los instantes más difíciles que he atravesado. Por darme unos padres ejemplares, luchadores que han sabido sacar adelante a su familia de cualquier problema que se ha presentado en la vida.

A cada persona que me supo brindar apoyo, amistad, confianza y su respeto. A los maestros de la Carrera de Ingeniera Forestal por sus enseñanzas compartidas en todos los salones, por enseñarnos el fundamental costo que tiene el medio ambiente y sus beneficios a la sociedad, de esta forma convirtiendo buenos expertos.

A mi tribunal formado por las ingenieras Vilma (Directora) y Julia Desiree (Miembro), por su tiempo, educación y recomendaciones para la ejecución de mi trabajo de titulación.

Jofre Danilo Robalino Mora

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	xv	
ABSTRACT .....	xvi	
INTRODUCCIÓN.....	1	
<b>CAPÍTULO I</b>		
<b>1</b>	<b>MARCO TEÓRICO REFERENCIAL .....</b>	<b>6</b>
<b>1.1</b>	<b>Tecnologías geoespaciales .....</b>	<b>6</b>
<b>1.2</b>	<b>Sensores remotos .....</b>	<b>6</b>
<b>1.2.1</b>	<i>Tipos de sensores.....</i>	<i>7</i>
<b>1.2.1.1</b>	<i>Sensores pasivos .....</i>	<i>7</i>
<b>1.2.2</b>	<i>Resolución de los sensores remotos .....</i>	<i>7</i>
<b>1.2.2.1</b>	<i>Resolución espacial .....</i>	<i>7</i>
<b>1.2.2.2</b>	<i>Resolución espectral .....</i>	<i>8</i>
<b>1.2.2.3</b>	<i>Resolución radiométrica.....</i>	<i>9</i>
<b>1.2.2.4</b>	<i>Resolución temporal .....</i>	<i>10</i>
<b>1.2.3</b>	<i>Firmas espectrales.....</i>	<i>10</i>
<b>1.2.3.1</b>	<i>Tipos de firmas espectrales.....</i>	<i>10</i>
<b>1.2.4</b>	<i>Respuestas espectrales.....</i>	<i>10</i>
<b>1.2.5</b>	<i>Sistema de información geográfica .....</i>	<i>11</i>
<b>1.2.6</b>	<i>Estudio multitemporal.....</i>	<i>11</i>
<b>1.2.7</b>	<i>Análisis visual de imágenes (RGB).....</i>	<i>12</i>
<b>1.2.8</b>	<i>Selección y evaluación de áreas de entrenamiento .....</i>	<i>12</i>
<b>1.2.9</b>	<i>Clasificación de imágenes satelitales.....</i>	<i>13</i>
<b>1.2.9.1</b>	<i>Clasificación supervisada.....</i>	<i>13</i>
<b>1.2.10</b>	<i>Índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI).....</i>	<i>13</i>
<b>1.2.11</b>	<i>Índice de Humedad de Diferencia Normalizada (NDMI).....</i>	<i>14</i>
<b>1.3</b>	<b>Satélites.....</b>	<b>15</b>

1.3.1	<i>Satélite Landsat</i> .....	15
1.3.1.1	<i>Thematic Mapper (TM) – Landsat 4 y 5</i> .....	16
1.3.1.2	<i>Imagen operacional de la tierra (OLI) y (TIRS) – Landsat 8</i> .....	17
1.4	<b>Descripción de la herramienta Google Earth Engine (GEE)</b> .....	17
1.4.1	<i>Principales usos de Google Earth Engine</i> .....	18
1.5	<b>Desertificación</b> .....	18
1.5.1	<i>Causas y efectos de la desertificación a nivel mundial</i> .....	19
1.6	<b>Familia Pinaceae</b> .....	19
1.6.1	<i>Características botánicas</i> .....	20
1.6.2	<i>Usos</i> .....	20

## CAPÍTULO II

2	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	21
2.1	<b>Características del lugar</b> .....	21
2.1.1	<i>Características generales</i> .....	21
2.1.2	<i>Limites cantonales y parroquiales</i> .....	21
2.1.3	<i>Localización</i> .....	21
2.1.3.1	<i>Ubicación geográfica y características climáticas</i> .....	21
2.2	<b>Materiales y equipos</b> .....	23
2.2.1	<i>Materiales de campo e informáticos</i> .....	23
2.2.2	<i>Materiales y equipo de oficina</i> .....	23
2.3	<b>Metodología</b> .....	23
2.3.1	<i>Recopilación de imágenes satelitales Landsat 5 Y 8</i> .....	24
2.3.2	<i>Procesamiento digital de las imágenes</i> .....	24
2.3.2.1	<i>Correcciones Básicas</i> .....	24
2.3.2.2	<i>Escala de trabajo</i> .....	24
2.3.2.3	<i>Combinaciones de bandas</i> .....	25
2.3.2.4	<i>Aplicación Random Forest</i> .....	25

2.3.2.5	<i>Clasificación supervisada</i> .....	25
2.3.2.6	<i>Determinación cobertura vegetal (pino)</i> .....	26
2.3.2.7	<i>Post procesamiento de imágenes satelitales</i> .....	26
2.3.2.8	<i>Índice de vegetación normalizada (NDVI)</i> .....	26
2.3.2.9	<i>Post procesamiento aplicación NDVI</i> .....	26
2.3.2.10	<i>Índice de humedad de vegetación normalizada (NDMI)</i> .....	27
2.3.2.11	<i>Post procesamiento de la aplicación NDMI</i> .....	27
2.3.3	<i>Validación</i> .....	27

### CAPÍTULO III

3	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	28
3.1	<b>Delimitación zona de estudio por año</b> .....	28
3.2	<b>Análisis del Índice de vegetación de diferencia Normalizada (NDVI)</b> .....	36
3.2.1	<i>Análisis NDVI parroquia Palmira</i> .....	36
3.2.2	<i>Análisis NDVI zonas determinadas como plantaciones</i> .....	37
3.2.3	<i>Comparación de análisis del (NDVI)</i> .....	38
3.3	<b>Análisis NDMI parroquia Palmira</b> .....	41
3.3.1	<i>Análisis NDMI en zonas determinadas como plantaciones</i> .....	43
3.3.2	<i>Comparación de análisis del (NDMI)</i> .....	44
3.4	<b>Validación de datos</b> .....	47

	<b>CONCLUSIONES</b> .....	48
--	---------------------------	----

	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	49
--	------------------------------	----

### GLOSARIO

### BIBLIOGRAFÍA

### ANEXOS

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b>	Escala del mapa mediante la resolución espacial (m).....	8
<b>Tabla 2-1:</b>	Bandas espectrales para el cálculo del NDVI.....	14
<b>Tabla 3-1:</b>	Rangos establecidos para la interpretación del NDVI.....	14
<b>Tabla 4-1:</b>	Bandas espectrales para el cálculo del NDMI.....	15
<b>Tabla 5-1:</b>	Rangos establecidos para la interpretación del NDMI.....	15
<b>Tabla 6-1:</b>	Características imagen Landsat 4 y 5.....	16
<b>Tabla 7-1:</b>	Características imagen Landsat 8.....	17
<b>Tabla 8-1:</b>	Características botánicas.....	20
<b>Tabla 1-2:</b>	Imágenes Landsat para el estudio.....	24
<b>Tabla 2-2:</b>	Combinaciones bandas espectrales.....	25
<b>Tabla 3-2:</b>	Categorías utilizadas en la clasificación.....	25
<b>Tabla 1-3:</b>	Datos obtenidos de la delimitación de plantaciones de pino.....	28
<b>Tabla 2-3:</b>	NDVI obtenido de la parroquia Palmira.....	36
<b>Tabla 3-3:</b>	NDVI aplicado a las plantaciones de pino.....	37
<b>Tabla 4-3:</b>	Comparación de datos obtenidos del análisis del NDVI.....	38
<b>Tabla 5-3:</b>	Datos obtenidos del análisis NDMI en la parroquia Palmira.....	41
<b>Tabla 6-3:</b>	Datos obtenidos del análisis NDMI en plantaciones de pino.....	43
<b>Tabla 7-3:</b>	Comparación de datos obtenidos de la aplicación del NDMI.....	44

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1:</b> Imágenes con distinta resolución espacial .....	8
<b>Figura 2-1:</b> Imagen corregida del efecto atmosférico .....	9
<b>Figura 1-2:</b> Mapa de ubicación de la zona de estudio.....	22
<b>Figura 2-2:</b> Proceso recopilación de información .....	23
<b>Figura 1-3:</b> Mapa delimitación de la zona de estudio parroquia Palmira .....	35
<b>Figura 2-3:</b> Mapa Variación del (NDVI) .....	40
<b>Figura 3-3:</b> Mapa índice de humedad de diferencia normalizada .....	46
<b>Figura 4-3:</b> Validación de datos en el Plug in Acatama.....	47

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-3:</b> Áreas de la Parroquia Palmira .....	34
<b>Gráfico 2-3:</b> Comparación de datos obtenidos del análisis NDVI .....	39
<b>Gráfico 3-3:</b> Datos obtenidos aplicación NDMI parroquia Palmira.....	42
<b>Gráfico 4-3:</b> Datos obtenidos de la aplicación del NDMI en áreas plantaciones .....	44
<b>Gráfico 5-3:</b> Comparación de datos obtenidos de la aplicación del NDMI.....	45

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

- ANEXO A:** SCRIPTS UTILIZADOS PARA CORRECCIONES ATMOSFÉRICAS.
- ANEXO B:** SCRIPTS UTILIZADOS EN LA COMBINACIÓN DE BANDAS
- ANEXO C:** SCRIPTS UTILIZADOS EN LA APLICACION RANDOM FOREST
- ANEXO D:** SCRIPTSUTILIZADOS PARA LA CLASIFICACIÓN SUPERVISADA
- ANEXO E:** SCRIPT UTILIZADO PARA DEFINIR AREAS DE ENTREMAMIENTO
- ANEXO F:** SCRIPTS UTILIZADOS PARA LA APLICACIÓN DEL NDVI
- ANEXO G:** SCRIPTS UTILIZADOS PARA LA APLICACIÓN DEL NDWI
- ANEXO H:** VEGETACIÓN DISPERSA
- ANEXO I:** MANEJO SILVICULTURAL EN LAS PLANTACIONES DE PINO
- ANEXO J:** DESIERTO EN LA PARROQUIA PALMIRA
- ANEXO K:** COSECHA PLANTACIONES DE PINO
- ANEXO L:** PLANTACIONES DE PINO ESTABLECIDAS
- ANEXO M:** PLANTACIONES DE PINO PRESENTES ALREDEDOR DEL DESIERTO
- ANEXO N:** PLANTA DE PINO, LA CUAL PRESENTA POCO DESARROLLO
- ANEXO O:** BAJA DENSIDAD EN LAS PLANTACIONES DE PINO
- ANEXO P:** INGRESO COMUNITARIO AL DESIERTO DE PALMIRA
- ANEXO Q:** PLANTA DE PINO CON NOTORIO DEFICIT NUTRICIONAL
- ANEXO R:** VÍA DE ACCESO A DIFERENTES PLANTACIONES DE PINO
- ANEXO S:** SUELO CON POCO PRESENCIA DE MATERIA ORGÁNICA
- ANEXO T:** PERDIDA DE ACICULAS EN PLANTACIONES DE PINO
- ANEXO U:** PLANTACIONES DE PINO PRESENTES EN LA PARROQUIA.
- ANEXO V:** OTRAS PLANTACIONES FORESTALES EN EL SECTOR
- ANEXO W:** RECONOCIMIENTO DE CAMPO

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>EMM</b>	Espectro Electromagnético
<b>ERTS-1</b>	Earth Resources Tecnology Satellite
<b>ETM+</b>	Enhanced Thematic Mapper Plus
<b>FAO</b>	Food and Agriculture Organization
<b>GAD</b>	Gobierno Autónomo Descentralizado
<b>GPS</b>	Global Position System
<b>GEE</b>	Google Earth Engine
<b>IGM</b>	Instituto Geográfico Militar
<b>LDCM</b>	Landsat Data Continulty Mission
<b>MAE</b>	Ministerio Del Ambiente de Ecuador
<b>MSS</b>	Maximum Segment Size
<b>NASA</b>	National Aeronautics and Space Administration
<b>ND</b>	Digital Number
<b>NDVI</b>	Normalized Difference Vegetation Index
<b>NDWI</b>	Normalized Difference Water Index
<b>NIR</b>	Near Infrared
<b>OLI</b>	Operational Land Imager
<b>PDOT</b>	Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial
<b>REM</b>	Radiación Electromagnética
<b>RGB</b>	Red, Green y Blue
<b>SIG</b>	Sistema de Información Geográfica
<b>SWIR</b>	Short Wave Infrared
<b>TIRS</b>	Thermal Infrared Sensor
<b>TM</b>	Thematic Mapper
<b>USGS</b>	United States Geological Survey

## RESUMEN

La presente investigación tiene como propósito realizar un análisis multitemporal de la evolución de las plantaciones de *Pinus radiata* D. Don y *Pinus patula* Schiede presente en la parroquia Palmira a través de imágenes satelitales Landsat 5 y 8 por medio de la plataforma Google Earth Engine. Para lo cual se realizó la clasificación supervisada de las imágenes correspondientes a la parroquia en los años 1986, 1991, 2014 y 2019. Se determinó las categorías en base a zonas que contengan plantaciones de pino y áreas en donde no estén presentes, con la finalidad de analizar los cambios en las plantaciones. En el presente estudio se obtuvieron valores máximos y mínimos, para el año 1986 se obtuvo 0.44% del territorio equivalente a 110,18 hectáreas, mientras que en el año 2019 tuvo un incremento a 4,45% del territorio el cual presenta mayor extensión de plantaciones con 1104,18 hectáreas. Con respecto a la cobertura de pino se evaluó los cambios mediante el análisis del índice de vegetación de diferencia normalizada obteniendo los mejores resultados en el año 2019 con valores entre 0,063 a 0,897 en donde presentan valores positivos cercanos a 1 con los cuales se puede concluir la presencia de vegetación densa y bien desarrollada. En cuanto al análisis del índice de humedad de diferencia normalizada en el año 1986 presentó 579,69 hectáreas con presencia de vegetación con humedad alta, mientras que en el año 2019 presentó 2550,13 hectáreas las cuales se clasifican como vegetación con humedad alta. Por lo que se aprecia un incremento en el contenido de humedad en la parroquia Palmira, partiendo de este análisis se evidencia una relación al aumento de la cobertura vegetal. Debido a la presencia de nubes en la zona de estudio, se recomienda procesar imágenes satelitales con porcentajes de nubosidad menores al 15%.

**Palabras claves:** <ÍNDICE DE VEGETACIÓN DE DIFERENCIA NORMALIZADA>, <ÍNDICE DE HUMEDAD DE DIFERENCIA NORMALIZADA>, <PLANTACIONES DE PINO>, <ANÁLISIS MULTITEMPORAL>.

LUIS  
ALBERTO  
CAMINOS  
VARGAS

Firmado digitalmente por  
LUIS ALBERTO CAMINOS  
VARGAS  
Nombre de reconocimiento  
(DN): c=EC, o=IBD BAMBUSA,  
serialNumber=0602766974,  
cn=LUIS ALBERTO  
CAMINOS VARGAS  
Fecha: 2021.09.15 12:03:05  
-05'00'



1794-DBRA-UTP-2021

## ABSTRACT

This research aims to carry out a multi-temporal analysis of the evolution of the *Pinus radiata* D. Don and *Pinus patula* Schiede plantations present in the Palmira parish through Landsat 5 and 8 satellite images via the Google Earth Engine platform. To this end, the supervised classification of the images corresponding to the parish in 1986, 1991, 2014, and 2019 was performed. To analyze changes in plantations, the categories were determined based on areas that contain pine plantations and zones where they are not present. In the current study, maximum and minimum values were scored. For 1986, 0.44% of the territory was obtained, which is equivalent to 110.18 hectares, while in 2019, there was an increase to 4.45%, which presents a vaster extension of plantations with 1,104.18 area units. Regarding the pine cover, the changes were evaluated through the analysis of the normalized difference vegetation index, getting the most impressive results in 2019 with values between 0.063 and 0.897, which show positive benefits close to 1 with dense and well-developed vegetation. Concerning the analysis of the normalized difference humidity index in 1986, it presented 579.69 hectares with high humidity vegetation, while in 2019 it presented 2550.13 hectares which are classified as vegetation with high humidity. Therefore, an increase in moisture content is appreciated in the Palmira parish. Based on this analysis, a relationship to the growth in plant coverage is evidenced. Because of the presence of clouds in the study area, it is recommended to process satellite images with a percentage of cloud cover of less than 15%.

**Keywords:** <NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX>, <NORMALIZED DIFFERENCE HUMIDITY INDEX>, <PINE PLANTATIONS>, <MULTI-TEMPORAL ANALYSIS>.

MARIENN  
Y  
BARROS  
O LEYVA

Firmado digitalmente  
por MARIENN Y BARROS  
LEYVA.  
DN: cn=MARIENN Y BARROS  
LEYVA, o=ECI-PROBAMBA,  
ou=ESPOCH DTIC,  
ou=AUTORIDAD DE  
CERTIFICACION ESPOCH  
DTIC  
Método de revisión de este  
documento:  
Ubicación:  
Fecha: 2023-09-17 14:50:05-05

## INTRODUCCIÓN

El cambio climático, la degradación y la desertificación de la tierra actúan simultáneamente y tienden a incrementar sus causas y efectos a medida que el tiempo transcurre, debido a cambios en la cobertura vegetal natural para transformarla en espacios de uso para la agricultura, ganadería, centros poblados, zonas industriales, entre otros. Es por eso que en la actualidad surge la necesidad de generar soluciones a los problemas generados por estas importantes amenazas ambientales debido a los impactos sociales y económicos que se generan (FAO, 2017).

En la investigación realizada por Sanchez, et al. (2011) nos indica que los procesos de desertificación y degradación son de importancia internacional en los años 90, cuando se los identifica su presencia a nivel global, debido a los prejuicios económicos por la pérdida de la capacidad productiva y degradación de grandes extensiones de tierras secas.

El Ecuador ha sido afectado por diversos procesos erosivos, de todo el territorio ecuatoriano se estima que aproximadamente el 50% presenta problemas de degradación del suelo (Noni y Trujillo, 1986: p.5).

Debido a diferentes procesos erosivos que se han presentado en la comunidad de Palmira, además de una época prolongada de sequía y con recursos limitados para abastecerse de productos de primera necesidad, los moradores hace aproximadamente 25 años empezaron a migrar a las ciudades cercanas. Todo comenzó a cambiar con la ayuda de un proyecto de reforestación y recuperación ambiental implantado en la zona, con el cual se plantaron pinos en los alrededores del desierto, para que actúen como barrera natural e impedir que avance y afecte a los sectores aledaños (Diario La Prensa, 2021).

El uso de tecnologías geoespaciales, se ha convertido en una herramienta informática de gran importancia en el conocimiento del medio ambiente. Todo esto con el fin de presentar una información adecuada para la toma de decisiones en el manejo y ordenamiento territorial de los Recursos Naturales, las imágenes satelitales se han convertido en una opción adecuada para la entrega de información eficaz y eficiente además de nos permiten conocer los continuos cambios del entorno en el que vivimos en un periodo de tiempo (Sarría, 2015: p.5).

En este estudio, se utilizarán técnicas de teledetección mediante el empleo de imágenes satelitales Landsat 5 y 8 para realizar un análisis multitemporal, utilizando tecnologías geoespaciales.

## A. IMPORTANCIA

El presente trabajo investigativo pretende generar información completa y actualizada sobre la evolución que han presentado las plantaciones de pino y el contenido de humedad presente en dichas áreas en los últimos años, en la parroquia Palmira. A su vez la disponibilidad de información puede contribuir a la toma de decisiones para mejorar las condiciones del sector en distintos aspectos como ambiental, social y económico productivo ya que el 52% de la población mencionada se dedica a actividades relacionadas con agricultura y ganadería, pero se ha visto afectada debido a diferentes procesos erosivos (PDOT Palmira, 2019: p.87).

Los suelos que presenta la parroquia Palmira están comprometidos ante la erosión por sus condiciones topográficas, la gran parte de los suelos se encuentran en áreas con elevaciones fuertes que varía entre 15-30% y el alta de 40 a 75%, en las épocas de lluvia puede presentar derrumbes, que pueden afectar directamente a la población. Otro problema que presenta la parroquia es la sequía la cual ha provocado alteraciones en el ecosistema como es la pérdida de flora y fauna, así como la captación de agua (PDOT Palmira, 2019: p.116-117).

La información que se generará en el presente proyecto servirá como base, para un mejor manejo de la zona, así como para el desarrollo de futuras investigaciones sobre la evaluación de plantaciones forestales en otros lugares de nuestro país.

## B. PROBLEMA

En la actualidad la degradación y desertificación son efectos negativos provocados principalmente por actividades antrópicas lo cual afecta a: las propiedades físicas del suelo, disminuyendo potencialmente la productividad del lugar y dificultando el desarrollo económico. La erosión eólica es uno de los problemas ambientales en la parroquia Palmira, ya que el golpe de los vientos se vuelve más fuerte a mayor grado de pendiente, el 50% del territorio de la parroquia posee pendientes mayores a 40 – 50°, en donde se produce mayor erosión, donde es complicado restaurar el suelo (PDOT Palmira, 2019: p.31)

Lo mencionado anteriormente es una de las causas para que en la parroquia Palmira los moradores hayan implementado plantaciones de *Pinus radiata* D. Don y *Pinus patula* Schiede, debido a la adaptabilidad de estas especies a condiciones adversas, así como para su beneficio económico además de mejorar el recurso paisajístico y mantener sus principales fuentes de agua. De dichas plantaciones no hay estudios de seguimiento por lo que con el presente proyecto de investigación se pretende evaluar la evolución de las plantaciones en el sector en un periodo de tiempo comprendido en los años: 1986, 1991, 2014 y 2019 mediante el uso de tecnologías geoespaciales.

## C. JUSTIFICACIÓN

Según el MAE (s.f.) se considera que en el Ecuador un 11% del total de su territorio está compuesto de tierras áridas, semiáridas y subhúmedas secas que se encuentran propensas a procesos acelerados de desertificación de la tierra, el 47% del territorio a nivel nacional se encuentra atravesando procesos de degradación. Las zonas más expuestas están ubicadas en las provincias de Azuay, Chimborazo, Guayas, El Oro, Manabí, Pichincha, Santa Elena y Tungurahua.

Realizar el estudio multitemporal de la evolución de plantaciones de pino en la parroquia de Palmira al momento de la investigación se considera un proyecto pionero, sin embargo, se han realizado estudios a diferentes niveles como es el caso del de Toapanta (2019) que llevo a cabo un análisis multitemporal la cobertura vegetal en la zona Sur de la provincia de Chimborazo a través de imágenes satelitales Landsat 8 y Morocho (2018) quien ejecuto una investigación espacio temporal en respuesta al sistema de riego presurizado Atapo –Palmira. Es por eso que se ha realizado la presente investigación para obtener datos a nivel parroquial y contribuir con el GAD de la parroquia.

Una de las principales áreas de influencia turística en la actualidad es el desierto de dunas de la parroquia Palmira que atrae a diversos turistas, incrementando los ingresos económicos del sector Diario La Prensa (2021).

Bajo estas consideraciones se pretende realizar una evaluación multitemporal para determinar el desarrollo de las plantaciones de pino; ayudándonos a generar respuestas a los diversos problemas presentes en la localidad, mediante la aplicación de tecnologías geoespaciales las cuales facilitan la visualización de los cambios o alteraciones que la zona de estudio pueda presentar durante los años de investigación.

## D. OBJETIVOS

### GENERAL

- Analizar la evolución en plantaciones de Pino establecidas en la parroquia Palmira, cantón Guamote, mediante la aplicación de tecnologías geoespaciales.

### ESPECÍFICOS

- Delimitar el área de las plantaciones de Pino utilizando imágenes Landsat, y cuantificar el área plantada en el periodo de tiempo 1986, 1991, 2014 y 2019.
- Evaluar la evolución de la cubierta vegetal de pino utilizando índices espectrales derivados de imágenes Landsat.
- Determinar la evolución de la humedad del suelo y la vegetación de pino mediante índices espectrales derivados de imágenes Landsat.

## E. HIPÓTESIS

### **ALTERNATIVA**

Es posible determinar la evolución de las plantaciones de pino establecidas en la parroquia Palmira, mediante tecnologías geoespaciales.

### **NULA**

No es posible determinar la evolución de las plantaciones de pino establecidas en la parroquia Palmira, mediante tecnologías geoespaciales.

## CAPÍTULO I

### 1 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

#### 1.1 Tecnologías geoespaciales

El uso de las tecnologías geoespaciales nos proporciona grandes oportunidades al momento de realizar distintos procesos que nos lleven a comprender los cambios que se producen en la naturaleza (Romero, 2005: p.41). Para el estudio de los recursos naturales se basa en la recolección de información a distancia sobre todo el planeta, esto se debe a las características de los objetos para emitir radiación electromagnética y la interacción que con los distintos elementos de la naturaleza (Romero, 2005: p.44).

Durante los últimos años, la existencia de información espacial que presenten excelente calidad a nivel mundial, ha presenciado como resultado el adelanto de la tecnología, en particular las que se pueden desarrollar a través de la web. Tomando en cuenta el nivel educativo, el avance de las tecnologías geoespaciales presenta una gran posibilidad para la enseñanza de diferentes materias para el conocimiento de la Tierra (Gutiérrez, et al., 2014: p.239).

#### 1.2 Sensores remotos

Se puede definir a los sensores remotos como la ciencia para compilar información de un objeto y superficie, mediante el estudio de datos obtenidos a través de imágenes satelitales mediante un instrumento tecnológico, debido a lo cual, no se encuentra en contacto con la superficie que se pretende investigar. La obtención información involucra el uso de herramientas llamados sensores remotos, con la capacidad de percibir las relaciones espectrales y espaciales de los elementos y los componentes materiales que se pueden observar a una distancia considerable (Pérez, 2007: p.1).

Existen diversas aplicaciones en las que se puede utilizar los sensores remotos para originar información con un nivel de precisión alto ya sea sobre materiales y objetos que se encuentran en toda la superficie de la Tierra. Puede utilizarse para diferentes ámbitos profesionales como se nombran a continuación: agricultura, medioambiente, minería, geología, dar seguimiento a desastres naturales, deforestación e incendios (Pérez, 2007: p.1).

Las herramientas de los sensores remotos tienen como función para revelar distintos tipos de energía, los principales son: radiación electromagnética, ondas de radio, magnetismo y gravedad. Pero en particular la fundamental fuente de energía que utilizan la mayoría de las herramientas o sensores remotos, para recopilar información de la superficie terrestre, es a partir del espectro electromagnético (EEM). Los presentes sensores pueden obtener información a través de la radiación electromagnética (REM) (Pérez, 2007: p.1).

## **1.2.1 Tipos de sensores**

### **1.2.1.1 Sensores pasivos**

Los presentes sensores presentan un elevado uso al realizar aplicaciones de la percepción remota para la valoración de los recursos naturales. Los sensores pasivos solamente perciben señales que son producidas naturalmente y son reflejadas por los objetos que los pueden captar. Estas señales, producidas por la irradiación solar, puede suministrar abundante información sobre los objetos que se pueden observar (Bravo, 2017: p.11).

## **1.2.2 Resolución de los sensores remotos**

La resolución de los sensores remotos que se encuentran instalados en los satélites para la teledetección presentan algunas singularidades, que señalan todas las características de las imágenes satelitales. Estas propiedades vienen establecidas prácticamente por diversos tipos de resolución de los píxeles que nos facilitan las imágenes satelitales (Labrador, et al., 2012: p.16).

### **1.2.2.1 Resolución espacial**

La resolución espacial se la puede definir con una unidad de medida tanto de manera oblicua o de manera lineal, es la información mínima que se puede percibir, un sensor remoto sobre áreas heterogéneas de la superficie de la Terrestre, y es simbolizada por un píxel. Un píxel se lo puede calificar como la unidad más pequeña que forma parte de las imágenes satelitales (Labrador, et al., 2012: p.16).

El píxel presenta generalmente una forma cuadrada, por lo tanto, la distancia medida sobre la superficie del terreno referente a un costado del píxel se lo conoce como la resolución espacial. Son distintos los componentes que decretan la resolución espacial de los sensores remotos. En el caso de los sensores que se localizan a bordo de satélites, esta circunstancia por la que son prácticamente fijos, por lo que la resolución espacial puede reconocer como constante, siempre y cuando el ángulo no varié el tamaño de visión (Labrador, et al., 2012: p.17).

Para cualquier investigación es de suma importancia tener en cuenta al utilizar la resolución espacial de los sensores con categorías óptico-electrónicas, por lo que, se debe tomar en cuenta distintos factores como son: la distancia orbital, el tiempo de exploración y la cantidad de detectores. Existe además sensores de antena, los cuales dependen del campo de acción para la resolución, de la altura a la que se encuentra ubicada y el tamaño de la onda. La resolución de los sensores de monitoreo de la Tierra que se encuentran activos recopilan información con un rango amplio (Chuvieco, 1990: p.91).



**Figura 1-1:** Imágenes con distinta resolución espacial

**Fuente:** Labrador, et al., 2012: p.16.

Mediante la resolución espacial podemos aplicar la escala topográfica (Tabla 1-1) para la presentación de mapas (Bravo, 2017: p.13).

**Tabla 1-1:** Escala del mapa mediante la resolución espacial (m)

<b>Resolución espacial (metros)</b>	<b>Escala</b>
1000	1: 1500000
30	1: 80000
20	1: 50000
1	1: 2000

**Fuente:** Bravo, 2017: p.13.

#### 1.2.2.2 *Resolución espectral*

Las diferentes zonas reaccionan de diversas maneras a la radiación electromagnética. Esto quiere decir que se puede obtener una firma espectral en concreto para cada área. Los distintos tipos de áreas, estas sean naturales o no, se pueden reconocer en un principio gracias a sus firmas espectrales, sin embargo, es de suma importancia que el espectro sea bastante preciso en términos de intervalos de longitud de onda y que cubra un rango espectral amplio. Los instrumentos de teledetección habitualmente sólo indican el espectro electromagnético determinado la radiación en diferentes longitudes de onda (Labrador, et al., 2012: p.18).

La resolución espacial nos permite conocer el número y el espesor de diferentes bandas espectrales que se pueden distinguir con la ayuda de los sensores. De tal manera, los sensores podrán ser ideales en cuanto nos pueda suministrar un considerable número de bandas, ya que nos

permite identificar y clasificar el contenido espectral de diferentes cubiertas presentes en la superficie terrestre. Esta resolución adicional implica además un costo en cuanto a volumen de información y aumento del precio de procesamiento (Chuvieco, 1990: p.93)

### 1.2.2.3 Resolución radiométrica

La resolución radiométrica de la información obtenida mediante sensores remotos se la puede determinar como una porción de energía solicitada para aumentar el valor de un píxel en un nivel digital con sus siglas en inglés (ND). De igual manera, la resolución radiométrica se define como el rango de anchura o extensión como el intervalo dinámico, o mayor número de ND, que tienen la posibilidad de ser identificados por un sensor. En los sensores que sean investigado actualmente lo habitual es que los niveles que oscilen entre 0 a 2047. En esta situación se puede hablar de 11 bits de resolución, debido a que todos los valores de aquel rango tienen la posibilidad de ser representados por medio de 11 bits en un sistema. La resolución radiométrica que se puede descubrir en las imágenes satelitales se compara al número de tonalidades grises presentes en una fotografía en blanco y negro, ya que ambos se relacionan con el contraste (Labrador, et al., 2012: p.19).

De igual manera en los diferentes tipos de resolución, es importante que presente mayor exactitud radiométrica, podrá ser más fácil el analizar las imágenes satelitales. Para realizar una interpretación visual, se debe tomar en cuenta que el ojo humano no puede determinar más de 64 tonalidades de grises. Para que se pueda garantizar un análisis visual apropiado es necesario que se pueda apreciar al menos 16 niveles por los distintos colores que se pueda presentar en las imágenes satelitales (Chuvieco, 1990: p.95).



**Figura 2-1:** Imagen corregida del efecto atmosférico

**Fuente:** Labrador, et al., 2012: p.19.

#### 1.2.2.4 *Resolución temporal*

La resolución temporal se la puede interpretar como un periodo de tiempo, entre distintas investigaciones en las cuales se muestran imágenes periódicas de un mismo territorio, y depende, de las particularidades que presentan los satélites en cuanto a sus orbitas. No obstante, diversos satélites que se encuentran en órbita presentan la posibilidad de redirigir la posición de los sensores, por lo que aumentar el periodo para un nuevo reconocimiento para una determinada zona, muy significativo para el rastreo de desastres naturales o para localizar procesos que tienen poco tiempo de duración (Labrador, et al., 2012: p.20).

#### 1.2.3 *Firmas espectrales*

La firma espectral no es más que la cualidad de los objetos de absorber, reflejar o producir la energía electromagnética la misma que es diferente y exclusiva para cada objeto de la naturaleza, el cual nos posibilita identificarlos por medio de capturas de las distintas porciones del espectro electromagnético con la utilización de sensores remotos (Karszenbaum y Barraza, 2008).

##### 1.2.3.1 *Tipos de firmas espectrales*

De acuerdo a Corrales (2013: p.3) las características de captura de la información por parte del sensor tenemos la posibilidad de clasificarlos en los siguientes tipos de firmas espectrales:

- **Firmas monobandas:** la firma espectral del objeto solamente es la respuesta espectral dentro de un solo canal disponible.
- **Firmas multibandas:** las firmas están englobadas en múltiples canales que los caracteriza uno de otros por el rango de espesor de onda total. Distintos satélites que se encuentran en órbita tienen la capacidad de brindar más canales, incluso existen casos extremos los cuales pueden alcanzar más de cien canales.
- **Firmas de origen opcional:** estas firmas son de origen multitemporal, lo que genera una respuesta a los cambios que han sufrido diferentes elementos geográficos. Uno de los casos que se suelen estudiar es el cambio de la cobertura vegetal.

#### 1.2.4 *Respuestas espectrales*

Una característica principal de una firma espectral es que puede estar conformada por señales registradas por los sensores remotos en diferentes porciones del espectro electromagnético, es de esta forma que cada objeto dentro de los recursos naturales emite una energía electromagnética que posibilita distinguir unos objetos de otros de los distintos recursos presentes en la Tierra (Cede, et al., 2011).

### **1.2.5 Sistema de información geográfica**

Los sistemas de información geográfica (SIG), se lo aplica a instrumentos electrónicos que van dirigidos a la administración de datos espaciales en la cuales se la puede denominar como herramienta informática para el estudio y el trabajo en Ciencias de la Tierra. Se las puede denominar como herramientas complejas, ya que depende del objeto de la investigación a realizarse, dicha complejidad encaminó a que surja una nueva disciplina de análisis, conocida como ciencia de la información geográfica (Sarría, 2015: p.5).

Desde otro punto de vista los datos obtenidos de los SIG se basan en una serie de capas de diferente información espacial en un formato obtenido de manera digital, que en su contenido se encuentran diversas variables o elementos que simbolizan varias entidades de manera que pueden analizarse en conjunto. De tal modo que los datos obtenidos se puedan combinar, en un mismo sistema, información espacial y de manera temática con formatos y orígenes distintos. Además, los SIG puede representar una visión cartográfica de todo el mundo las cuales tendrán coordenadas a partir de un sistema de proyecciones (Sarría, 2015: p.5).

Según Sendra y Garcia (2000: p.49) los sistemas de información geográfica se han convertido en un instrumento para el estudio geográfico de mucha trascendencia al instante de analizar los recursos naturales. La causa primordial de esto se debe a la cantidad de actividades en las que pueden ser aprovechados, se las clasificar en dos grandes grupos:

- Gestión y descripción del territorio
- Ordenación y planificación del territorio

### **1.2.6 Estudio multitemporal**

El propósito primordial de los análisis multitemporales es descubrir una manera de acoplar y comparar el proceso de numerosas imágenes que corresponden a distintas fechas, con diversos estados fenológicos en la vegetación, necesarios para obtener un mayor nivel de exactitud en las clasificaciones (Romero, 2005: p.49).

La recopilación de imágenes satelitales referente a una misma superficie de estudio, pero con fechas continuas, se puede realizar por medio de los estudios multitemporales de las imágenes recopiladas. El presente proceso se lo puede realizar al conseguir la ubicación de una imagen satelital con relación a otra, pero que tengan similitud en el espacio de los datos radiométricos. Los resultados obtenidos es la diferencia que presentan las dos imágenes satelitales en el periodo establecido del análisis multitemporal (Romero, 2005: p.49).

Según Romero (2005: p.49) para llevar a cabo análisis multitemporales se puede emplear distintas metodologías, pero se debe considerar algunas recomendaciones:

- La correlación de las imágenes las cuales pertenecen a diferentes fechas disminuye los errores en las clasificaciones, ya que si un objeto no posee alguna cierta cualidad se pueda clasificar como poseedor de la misma.
- La clasificación de las imágenes de manera separada, por lo regular proporciona resultados sobresalientes.

El análisis multitemporal es un punto clave para la comprensión de las imágenes satelitales, se puede clasificar en dos clases como son: análisis multitemporales de manera anual, los cuales presentan como objetivo detectar la transición de una superficie entre diferentes fechas y análisis multitemporales estacionales, en la cual se emplea imágenes con distintas fechas con la finalidad de optimizar la información acerca de las cubiertas vegetales (Chuvieco, 1990: p.366).

### **1.2.7 *Análisis visual de imágenes (RGB).***

La comparación de manera visual de imágenes satelitales se desarrolla utilizando tres bandas presentes en los sensores, que concuerdan con el potencial de los diferentes monitores, que suelen usarse en informática. Las pantallas disponen una suma de tres cañones, rojo, verde, azul con sus siglas en inglés (RGB), en consecuencia, por conjunción de estos tres colores, se forman los colores restantes. Los colores obtenidos se utilizan para analizar de manera visual las imágenes satelitales, combinando las bandas, de esta forma se puede apreciar de mejor manera el contenido de las imágenes satelitales. Las combinaciones de bandas se utilizan para diferenciar los distintos estratos presentes en las imágenes (Fernández y Herrero, 2001).

### **1.2.8 *Selección y evaluación de áreas de entrenamiento***

Según Chuvieco, (2010) para los distintos estratos vegetales presente en una zona determinada, se realiza una secuencia de áreas de entrenamiento, las que se clasificaran en distintas categorías de interés, de tal manera que la plataforma utilizada nos genere automáticamente la clasificación de las imágenes satelitales. El número de áreas de entrenamiento recomendables para cobertura vegetal depende del nivel de uniformidad que se requiera:

- **Coberturas homogéneas:** Lagunas, lagos, bosque denso y paramo, para esta cobertura se necesita un menor número de áreas de entrenamiento, de esta manera presenta una gran posibilidad de seleccionar áreas sin muchas diferencias en la tonalidad de los pixeles.
- **Coberturas con mayor grado de heterogeneidad:** zonas urbanas, pastos y cultivos presentan mayor dificultad al momento de realizar áreas de entrenamiento debido al cambio en la tonalidad que presentan los pixeles, de tal manera, se necesita un mayor número de áreas de clasificación.

### 1.2.9 Clasificación de imágenes satelitales

Existen dos tipos de clasificación temática: supervisada y no supervisado, para la clasificación supervisada, los píxeles se los clasifica según las áreas de interés que se las denomina superficie de entrenamiento. En las presentes áreas de entrenamiento la plataforma se encarga de calcular las estadísticas espectrales según las clases identificadas, al determinar áreas de entrenamiento se debe considerar no ubicarlas en zonas de transición entre cubiertas ya que aumentaría el nivel de error en las estadísticas obtenidas (Macedo, et al., 2010).

#### 1.2.9.1 Clasificación supervisada

La clasificación supervisada inicia con un pequeño entendimiento acerca de la superficie de investigación, el reconocimiento del sector nos permite delimitar en las imágenes satelitales las diferentes áreas de entrenamiento. Existen herramientas de teledetección que realizan la clasificación de forma automática. Se requiere también que el operador esté familiarizado con el área de interés, además la clasificación supervisada ha sido aplicada en numerosas investigaciones en las que se puede resaltar las de ámbito ambiental (Chuvieco, 1990: p.333).

### 1.2.10 Índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI)

Para corroborar la información obtenida de la clasificación supervisada se obtuvo el Índice de Diferencia de Vegetación Normalizado, con sus siglas en inglés (NDVI) (Rouse et al., 1974). El presente índice es utilizado con la finalidad de calcular la diferencia normalizada que contengan reflectancias del rojo y del infrarrojo cercano, al realizar esta combinación nos brinda una medida sobre la cantidad, calidad y desarrollo de la cobertura vegetal (Bravo, 2017: p.75).

Según (Bravo, 2017: p.75) para el cálculo del NDVI se utiliza las siguientes ecuaciones para los diferentes satélites:

$$\text{Ecuación 1. } (NDVI = ((IR4 - R3) / (IR4 + R3))) \dots\dots \text{Landsat 5}$$

$$\text{Ecuación 2. } (NDVI = ((IR5 - R4) / (IR5 + R4))) \dots\dots \text{Landsat 8}$$

Donde:

**NDVI:** Índice de vegetación de diferencia normalizado

**IR:** Valores de píxel de la banda infrarroja

**R:** Valores de píxel de la banda roja

Para el cálculo del NDVI es necesario conocer las bandas que serán usadas con los distintos satélites lo cual se da a conocer en la (Tabla 2-1).

**Tabla 2-1:** Bandas espectrales para el cálculo del NDVI

Satélite	Variable (R)	Infrarrojo (IR)
Landsat 5	3	4
Landsat 8	4	5

Fuente: Bravo, 2017: p.75.

Para interpretar los resultados se utilizó rangos establecidos para el análisis del NDVI los cuales se pueden observar en la (Tabla 3-1), la cual está basada en la tabla de índices de vegetación de (Merg, et al., 2011 citado en Paula, et al., 2018).

**Tabla 3-1:** Rangos establecidos para la interpretación del NDVI

N°	Rango	Interpretación
1	<-0,3 a 0	Suelo desnudo, agua, construcciones, roca o nieve
2	0,01 - 0,1	Vegetación dispersa (Poca Vegetación)
3	0,11 - 0,2	Vegetación moderada (Arbustos, prados)
4	0,21 - 0,4	Paramo (Húmedo)
5	0,41 - 1	Vegetación densa o vigorosa (alta humedad)

Fuente: Paula, et al., 2011.

### 1.2.11 Índice de Humedad de Diferencia Normalizada (NDMI)

El Índice de Diferencia Normalizada de Humedad, con sus siglas en inglés (NDMI) se utiliza para determinar el contenido de agua o humedad de la vegetación. Se calcula como una relación entre los valores NIR y SWIR de forma tradicional (United States Geological Survey, 2019).

Según (United States Geological Survey, 2019) para el cálculo del NDMI se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{Ecuación 3. } (NDMI = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR)) \dots\dots \text{Landsat 5/8}$$

Donde:

**NDMI:** Índice de Humedad de Diferenciación Normalizado

**NIR:** Banda infrarroja cercano

**SWIR:** Banda infrarroja de onda corta

Para el cálculo del NDMI es necesario conocer las bandas que serán usadas con los distintos satélites lo cual se da a conocer en la (tabla 4-1).

**Tabla 4-1:** Bandas espectrales para el cálculo del NDMI

Satélite	Variable (NIR)	Variable (SWIR)
Landsat 5	5	6
Landsat 8	4	5

Fuente: United States Geological Survey, 2019.

Realizado por: Robalino Mora, Jofre, 2021.

Para interpretar los cambios del contenido de humedad presente en la zona de estudio, se utilizó rangos establecidos según Baquero y Lozano (2019) para el análisis del NDMI los cuales se pueden observar en la (Tabla 5-1).

**Tabla 5-1:** Rangos establecidos para la interpretación del NDMI

N°	Rango	Interpretación
1	Valores negativos hasta -0,01	Vegetación con humedad baja a nula
2	"-0,01 - 0,2	Vegetación con humedad media
2	0,2 - 0,6	Vegetación con humedad alta

Fuente: Baquero y Lozano, 2019.

### 1.3 Satélites

La relevancia de utilizar datos satelitales para monitorear la Tierra, con fines de investigación era la idea más relevante. Lo que dio comienzo al programa Landsat, el cual está conformado por diversas misiones para la observar la Tierra por los distintos satélites que están coordinados entre la NASA y el servicio geológico de Estados Unidos, con sus siglas en inglés (USGS). La recolección de información se inició en 1972, la cual fue la más larga de la historia que ha registrado los cambios de la Tierra (Ariza, 2013).

En el tiempo actual el proyecto presenta la octava versión la cual ya se encuentra en órbita terrestre denominada misión de continuidad de datos Landsat, con sus siglas en inglés (LDCM) el cual fue renombrado como Landsat 8 de esta forma convertirá en el futuro de los satélites para la observación del planeta Tierra. Como los Landsat 1 a 3, en estos se colocaron sensores MSS; en el Landsat 5, el sensor TM 5, en el Landsat 7 el sensor ETM +7 y en el Landsat 8 el sensor TIRS (Ariza, 2013).

#### 1.3.1 *Satélite Landsat*

El proyecto Landsat tienen diversos satélites de monitoreo de la Tierra que se encuentran a cargo por el USGS y la NASA y con los cuales se puede obtener el registro de información más largo y constante existe en la Tierra. Los satélites Landsat tienen la capacidad de ser operado y permite visualizar a la superficie terrestre en repetidas ocasiones con un alto nivel de resolución, de tal

manera que recorren el planeta y recopilan información primordial para apoyar a los gestores de los recursos naturales y el medio ambiente (Ariza, 2013).

En 1972, todavía era ambigua la creencia de utilizar la información proveniente de los satélites que inspeccionan el planeta, pero el proyecto espacial Landsat ha transformado la manera de apreciar e investigar la superficie terrestre. Después del lanzamiento del último satélite denominado (LDCM), los datos adquiridos por los sensores OLI y TIRS serán conservados en el satélite para ampliar el repositorio para los usuarios de en todo el mundo (Ariza, 2013).

#### 1.3.1.1 *Thematic Mapper (TM) – Landsat 4 y 5*

El satélite Landsat 4 y 5 se pusieron en órbita el 16 de junio y el 7 de marzo de 1984 respectivamente, los cuales las imágenes obtenidas constan de siete bandas espectrales con una resolución espacial de 30 metros para las siguientes bandas 1 a 5 y 7. La resolución espacial para la banda 6 (infrarrojo térmico) es de 120 metros, pero se puede muestrear a píxeles de 30 metros. El tamaño aproximado de la escena es de 170 km de norte a sur por 183km de este a oeste (Tabla 6-1) (United States Geological Survey, s.f.).

**Tabla 6-1:** Características imagen Landsat 4 y 5

N°	LANDSAT 4 y 5 Bandas	Sensor	Longitud de onda (µm)	Resolución Espacial (m)	Resolución Radiométrica
1	Verde	MSS	0,50 - 0,60	60	8 Bits
2	Rojo	MSS	0,60 - 0,70	60	9 Bits
3	Infrarrojo Cercano (NIR1)	MSS	0,70 - 0,80	60	10 Bits
4	Infrarrojo Cercano (NIR2)	MSS	0,80 - 1,10	60	11 Bits
1	Azul	TM	0,45 - 0,52	30	12 Bits
2	Verde	TM	0,52 - 0,60	30	13 Bits
3	Rojo	TM	0,63 - 0,69	30	14 Bits
4	Infrarrojo Cercano (NIR)	TM	0,76 - 0,90	30	15 Bits
5	Onda corta INFRARROJA (SWIR) 1	TM	1,55 - 1,75	30	16 Bits
6	Thermal	TM	10,40 - 12,50	120*(30)	17 Bits
7	Onda corta infrarroja (SWIR) 2	TM	2,08 - 2,35	30	18 Bits

**Fuente:** United States Geological Survey, s.f.

### 1.3.1.2 Imagen operacional de la tierra (OLI) y (TIRS) – Landsat 8

El programa Landsat 8, fue puesto en órbita el 11 de febrero de 2013, el cual es un satélite óptico que presenta una resolución media, de tal manera, las imágenes constan de nueve bandas espectrales con una resolución espacial de 30 metros para las siguientes bandas 1 a 7 y 9. La nueva banda 1 (ultra-azul) es utilizado para investigaciones en zonas costeras y de aerosoles. La banda 9 en diferentes estudios se la utilizada para la detección de nubes cirros. La resolución para la banda 8 conocida como (pancromática) es de 15 metros (Tabla 7-1) (United States Geological Survey, s.f.).

Las bandas térmicas 10 y 11 son útiles por que proporciona temperaturas de la superficie más exactas y se lo realiza a 100 metros. El tamaño aproximado de la imagen satelital es de 170 km de norte a sur por 183 km de este a oeste (United States Geological Survey, s.f.).

**Tabla 7-1:** Características imagen Landsat 8

N°	LANDSAT 8 Bandas	Sensor	Longitud de onda (µm)	Resolución espacial (m)	Resolución Radiométrica
1	Ultra azul (costero / aerosol)	OLI	0,43 - 0,45	30	16 bits
2	Azul	OLI	0,45 - 0,51	30	16 bits
3	Verde	OLI	0,53 - 0,59	30	16 bits
4	Rojo	OLI	0,64 - 0,67	30	16 bits
5	Infrarrojo Cercano (NIR)	OLI	0,85 - 0,88	30	16 bits
6	Onda corta infrarroja (SWIR)1	OLI	1,57 - 1,65	30	16 bits
7	Onda corta infrarroja (SWIR)2	OLI	2,11 - 2,29	15	16 bits
8	Pancromática	OLI	0,52 - 0,90	30	16 bits
9	Cirrus	OLI	1,36 - 1,38	30	16 bits
10	Infrarrojo térmico 1	OLI	10,60 - 11,19	100*(30)	16 bits
11	Infrarrojo térmico 2	OLI	11,50 - 12,51	100*(30)	16 bits

**Fuente:** United States Geological Survey, s.f.

## 1.4 Descripción de la herramienta Google Earth Engine (GEE)

La rápida variación de la biosfera a causa de las actividades realizadas por el ser humano, promueve a las compañías Google y Mountain View a fundar en el año 2007 una plataforma digital de manera online llamada Google Earth Engine, una versión más sofisticada, avanzada y vigorosa que Google Earth (Vasconcelos, 2015).

Google Earth Engine (GEE) es una herramienta tecnológica gratuita la cual se basa en tecnología “nube” para la interpretación de datos ambientales (Schmid, 2017). Permite investigar cambios que

se presentan en la superficie de la Tierra y cuenta con una amplia cobertura de información actual e histórica. Su principal objetivo es la conservación de los recursos naturales (Cabrera, 2014: p.1).

Por otra parte, la presente plataforma agrupa más de 40 años de imágenes satelitales a nivel mundial y proporciona desde los instrumentos hasta la calidad computacional que se necesita para la interpretación de vasto almacén de datos (Google, s.f).

Principalmente, GEE se orienta en el ingreso de comandos o algoritmos, por lo que, se necesita de conocimiento del manejo hábil de la plataforma, así como en la identificación de los diferentes estratos a nivel global lo que involucran extensos conjuntos de información geoespacial (Anaya, et al., 2018).

#### **1.4.1 Principales usos de Google Earth Engine**

La compañía de Google origino la presente plataforma digital con el proposito de captar las alteraciones que se han ocasionado en la superficie de la Tierra en los últimos años (Schmid, 2017), por este motivo, diferentes investigadores de todo el mundo se han unido para aprovechar todo su potencial a través de distintos proyectos (Kumar y Mutanga, 2018). Google apuesta a que todos los datos almacenados serán importantes para su posterior análisis y monitoreo a los desafíos climáticos en la actualidad (Hormazábal y Valencia, 2018).

Hace poco tiempo, Google ha trabajado principalmente con tres científicos: Greg Asner, Carlos Souza y Matt Hansen, quienes se encuentran a la avanzada del análisis de los recursos naturales para incorporar la información obtenida con el potencial computacional de la compañía (Diario El Economista, 2010).

#### **1.5 Desertificación**

La desertificación se la puede definir como la transformación que sufren las tierras en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, es la causa por la cual se pierde el rendimiento del suelo o deterioro de la capa fértil. Además, presenta una disminución de la cubierta vegetal como consecuencia de distintas actividades antrópicas y diferentes alteraciones climáticas, tales como sequías e inundaciones, con fundamentales implicaciones sobre la economía y el medio ambiente (Ruiz y Febles, 2004: p.2-3).

Según (Ruiz y Febles, 2004: p.3) para tomar acciones en contra de la desertificación se puede interpretar que algunas actividades están formando parte para el uso sostenible del suelo tanto de las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas que tiene como objetivo:

- La disminución de la degradación de las tierras.
- La recuperación parcial de tierras degradadas.

- La restauración de las tierras desertificadas.

A la sequía se lo define como el fenómeno que se produce de manera natural cuando la lluvia ha sido escasa o inferior a los niveles normales, pueden causar inestabilidad hídrica que afecta a diferentes sistemas de producción de recursos en las tierras (Ruiz y Febles, 2004: p.3).

### **1.5.1 Causas y efectos de la desertificación a nivel mundial.**

Dentro de las principales causas humanas de la desertificación se pueden destacar: el uso inapropiado de tecnologías, el sobre pastoreo, deforestación y las prácticas de regadío imperfecto, de igual manera, la sobreexplotación suele estar causada por la presión económica y social, la ignorancia, las guerras o las sequías (Ruiz y Febles, 2004: p.3).

La pobreza es un factor que obliga a los pobladores quienes viven de la productividad de la tierra a sobreexplotar a la misma para obtener diversos productos como: artículos de primera necesidad y se convierte en la principal fuente de ingresos para los agricultores, la desertificación al mismo tiempo se la puede definir como la causa y efecto de la pobreza. De tal manera, toda estrategia para ser efectiva debe afrontar a la pobreza. Se deberá tomar en cuenta las diferentes estructuras sociales, la propiedad de la tierra y dedicar una consideración adecuada a la educación con el objetivo de diseñar un plan plenamente integral que se conformará como la única manera de luchar contra la desertificación (Ruiz y Febles, 2004: p.3).

## **1.6 Familia Pinaceae**

Al Ecuador el pino se introdujo en el año 1925, el cual después del eucalipto se considera la especie forestal que es plantada con mayor frecuencia en la Sierra. Se realizó ensayos en la provincia de Cotopaxi con la finalidad que se pueda adaptar a los páramos y desde ese instante se empezó a difundir por toda la zona Interandina, las cuales se encuentran hasta altitudes hasta de 3750 msnm (Cormadera, 1997).

Las especies de pinos se plantan más en la Sierra se encuentra *Pinus radiata* D. Don y el *Pinus patula* Schiede. Estas especies se utilizan con frecuencia en diferentes programas de reforestación ya que poseen mayor adaptación a climas y suelos que presentan condiciones adversas además que presenta incremento en volumen bajo circunstancias desfavorables para su desarrollo. Por otro lado, se conoce la silvicultura que se aplica a dichas especies, existe disponibilidad de plantas y se encuentra en el mercado gracias a las características que presenta la madera como es el color y las características en su veteado (Cormadera, 1997).

### 1.6.1 Características botánicas

**Tabla 8-1:** Características botánicas

<b>Especies</b>	<b>Flores</b>	<b>Hojas</b>	<b>Frutos</b>	<b>Semilla</b>	<b>Tronco</b>
<i>Pinus radiata</i> <i>D. DON</i>	Flores masculinas con estambres peltados y en las femeninas en conos	Aciculares en fascículos de tres	Cono leñoso similar a una piña	Aladas	Cónico y recto
<i>Pinus patula</i> <i>Schiede</i>	En inflorescencias, femeninas muy vistosas de color cremoso anaranjado	Aciculares en fascículos de tres, cuatro, delgadas y verticalmente caídas	Cónico y oblicuos	Aladas	Recto y cilíndrico

**Fuente:** Ecuador Forestal, 2013 y Ecuador Forestal, 2013.

**Realizado por:** Robalino Mora, Jofre, 2021.

### 1.6.2 Usos

Según Cormadera (1997) la madera de pino se lo considera de gran consumo a nivel nacional e internacional por lo que se lo utiliza de diversas formas:

De la madera aserrada se realizan diversas partes y piezas, paredes, muebles, tableros decorativos, aglomerados y MDF, de igual manera se lo considera material de construcción que se pueden utilizar como, postes, pulpa, carbón. Además, se puede aprovechar los productos forestales no maderables ya que es fuente de aceites esenciales y resina. Finalmente, también se lo puede considerar como beneficios que son intocables como lo son aquellos que se encuentran relacionados con la conservación del medio ambiente.

## CAPÍTULO II

### 2 MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1 Características del lugar

##### 2.1.1 *Características generales*

Este territorio fue llamado Palmira en el año de 1836, la cual cuenta con una población total para el año 2019 de 16022 habitantes y una extensión de territorio aproximada de 24160,96 hectáreas. En el territorio se encuentran plantaciones dispersas de Pino (PDOT Palmira, 2019).

##### 2.1.2 *Limites cantonales y parroquiales*

De acuerdo al PDOT Palmira (2019) nos da a conocer que los límites cantonales y parroquiales son los siguientes:

**Norte:** Parroquia Cebadas y cantón Guamote.

**Sur:** Parroquia Tixán.

**Este:** Parroquia Cebadas.

**Oeste:** Cantón Pallatanga y Guamote.

##### 2.1.3 *Localización*

La presente investigación se realizó en todo el territorio de la parroquia Palmira, cantón Guamote, Provincia de Chimborazo. Se seleccionaron 4 años 1986, 1991, 2014 y 2019, para los cuales se buscó imágenes satelitales del área de estudio que presenten condiciones ambientales adecuadas para determinar NDVI y NDMI.

##### 2.1.3.1 *Ubicación geográfica y características climáticas*

Según el PDOT Palmira (2019) la parroquia Palmira presenta las siguientes características geográficas y climáticas:

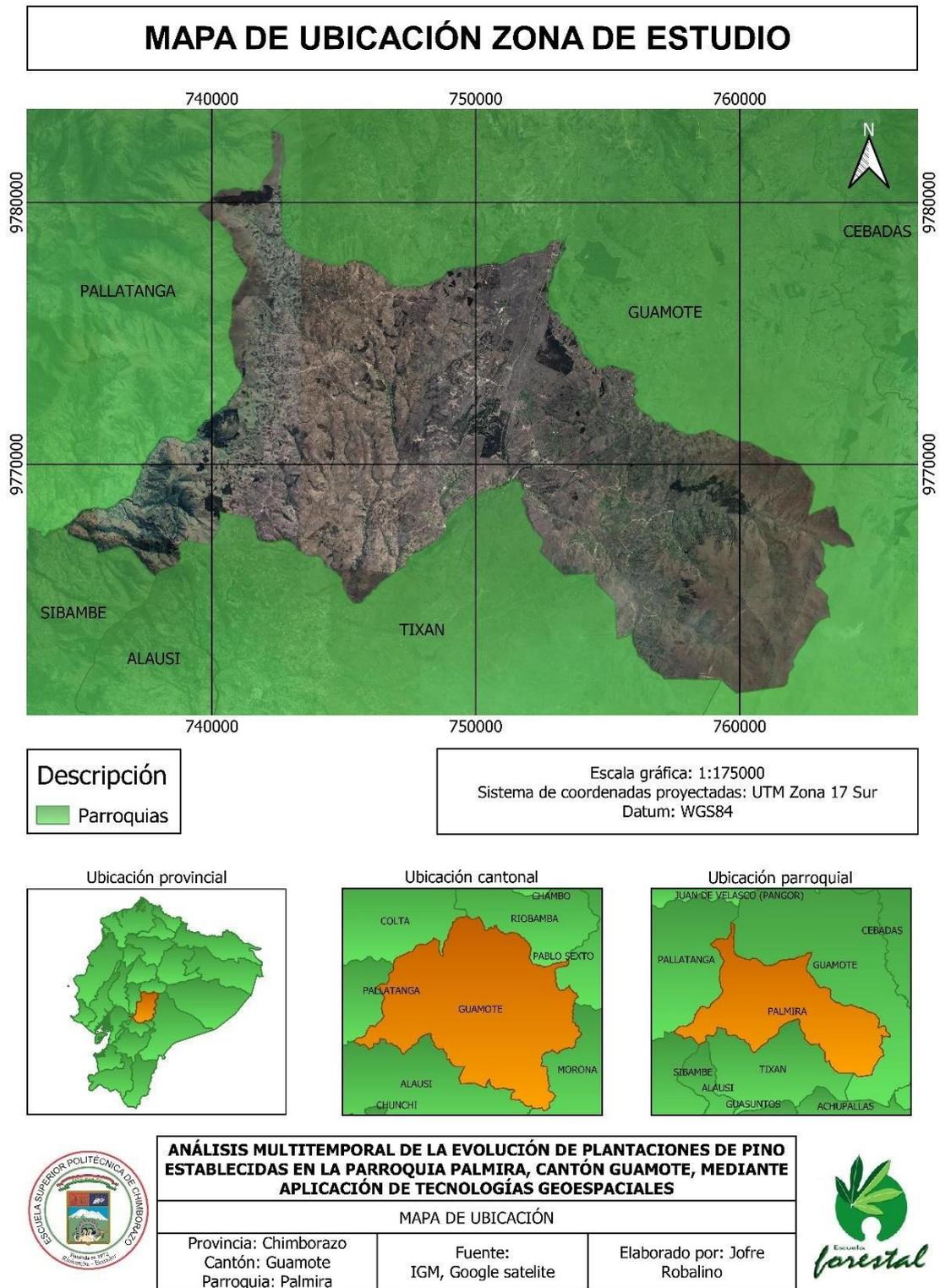
**Latitud:** 1° 73' 30"

**Longitud:** 78° 46' 49"

**Altitud:** 2560 – 4200 metros sobre el nivel del mar (msnm).

**Clima:** invierno húmedo frío en los meses de octubre a mayo, verano cálido seco y ventoso de junio a septiembre.

**Topografía:** La mayor parte del área presenta pendientes pronunciadas las que en algunos casos sobrepasan el 50%. Los territorios de las comunidades tienen pendientes superiores al 10%.



**Figura 1-2:** Mapa de ubicación de la zona de estudio

Realizado por: Robalino, Mora, Jofre 2021

## 2.2 Materiales y equipos

### 2.2.1 Materiales de campo e informáticos

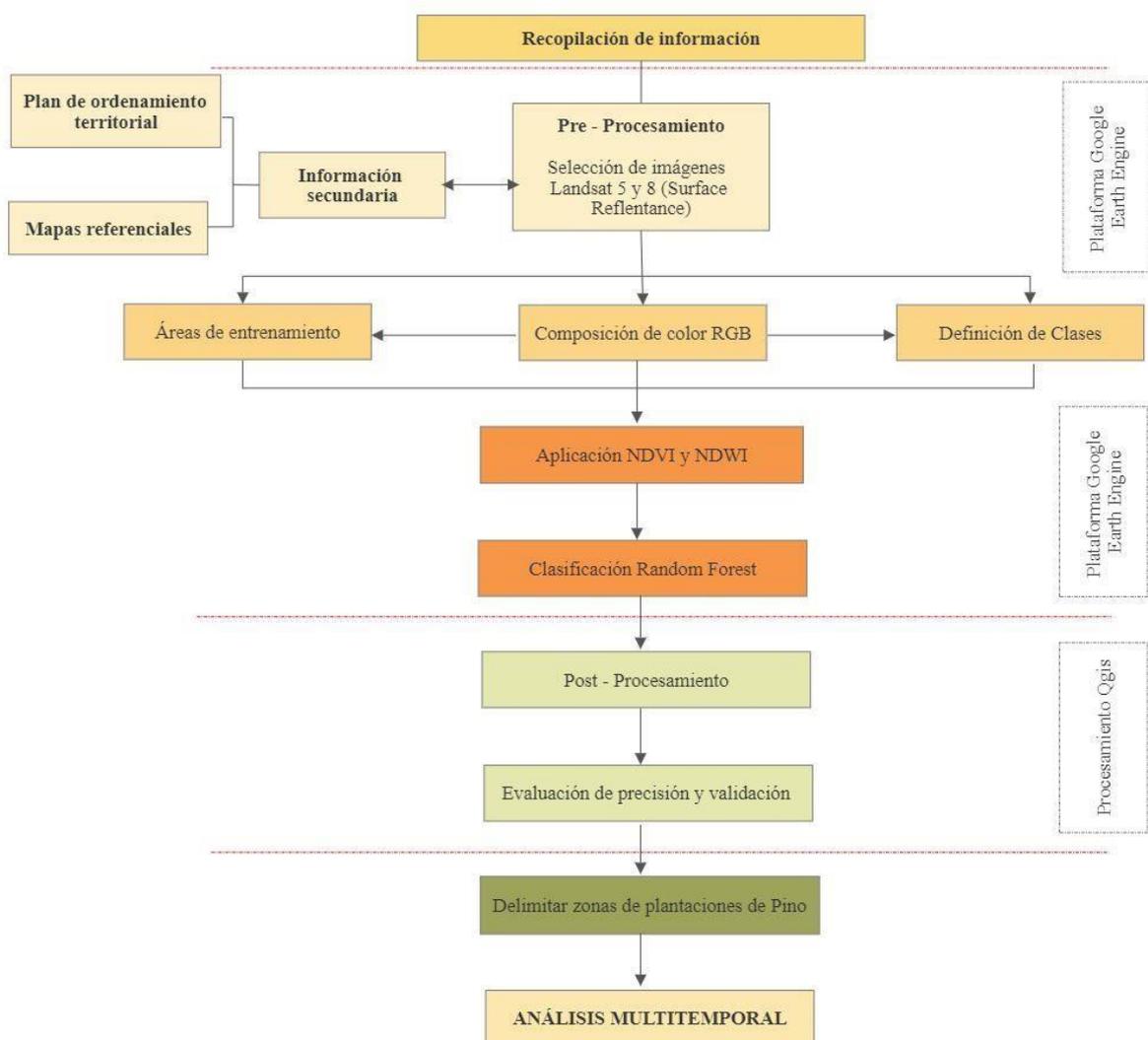
Imágenes Satelitales Landsat 5 y 8, GPS (Garmin), Google Earth Engine, Qgis 3.10, paquete office 2016, cámara fotográfica (iPhone 11) y vehículo para movilización.

### 2.2.2 Materiales y equipo de oficina

Computadora, impresora, Google Earth Engine, Qgis 3.10.

## 2.3 Metodología

En la (Figura 2-2), se muestra el mapa mental del trabajo y la planificación detallada de las actividades realizadas en el presente proyecto de investigación para la obtención de los objetivos planeados.



**Figura 2-2:** Proceso recopilación de información

Realizado por: Robalino Mora, Jofre, 2021.

**Para cumplir con el primer objetivo: Delimitar el área de las plantaciones de Pino utilizando imágenes Landsat, y cuantificar el área plantada en el periodo de tiempo 1986, 1991, 2014 y 2019, se realizó las siguientes actividades:**

Al no existir estudios previos relacionados a la presente investigación, fue necesario la revisión de información secundaria para poder complementarla, facilitando el reconocimiento del área de estudio y sus principales características.

### **2.3.1 Recopilación de imágenes satelitales Landsat 5 Y 8**

Las imágenes Landsat 5 y 8 fueron seleccionadas a través de la plataforma Google Earth Engine. Las cuales se seleccionaron en base a que no presenten distorsiones geométrica o atmosférica y que tenga un máximo de 15% de nubosidad en los lugares donde registramos plantaciones de pino. El proyecto de investigación abarca toda la extensión de la Parroquia Palmira, las presentes imágenes se detallan en la (Tabla 1-2).

**Tabla 1-2:** Imágenes Landsat para el estudio

<b>Satélite</b>	<b>Sensor</b>	<b>Año</b>
Landsat 5	TM	1986
Landsat 5	TM	1991
Landsat 8	8 OLI	2014
Landsat 8	8 OLI	2019

**Realizado por:** Robalino Mora, Jofre, 2021.

### **2.3.2 Procesamiento digital de las imágenes**

#### **2.3.2.1 Correcciones Básicas**

Para las correcciones que se realizaron en las imágenes satelitales se utilizó la plataforma Google Earth Engine, la cual nos permite seleccionar imágenes de todo un año de acuerdo a la zona de estudio combinando las mismas para formar una sola. Para enmascarar las nubes de las imágenes satelitales se realizó mediante un script como se puede ver en el (ANEXO A), que presenta una configuración el cual elimina la nubosidad presente en las imágenes de la zona de estudio.

#### **2.3.2.2 Escala de trabajo**

Según Lencinas y Siebert (2009) la escala en la que se trabajo es 1:100 000 con una unidad mínima cartografiable de 0,5 hectáreas para las imágenes satelitales derivadas del satélite Landsat como se puede observar en la. Para lo cual se elaboró mapas de cobertura de plantaciones de pino para

cada año de estudio (1986, 1991, 2014 y 2019) donde se trabajó en la plataforma Google Earth Engine y el software Qgis 3.10.

### 2.3.2.3 Combinaciones de bandas

Para el presente proyecto de investigación al momento de determinar las áreas de interés se requiere una composición de bandas espectrales que facilite una correcta interpretación de la cobertura de pino. La composición de bandas se basó en la cobertura vegetal existente de acuerdo a las imágenes satelitales para los años de estudio, para lo cual se realizó scripts como se puede observar en el (ANEXO B), los cuales presentan las combinaciones necesarias para la identificación de plantaciones de pino de acuerdo a cada satélite.

En la (Tabla 2-2) se detalla las combinaciones de bandas espectrales para los años de estudio.

**Tabla 2-2:** Combinaciones bandas espectrales

Sensor	Años	Bandas espectrales
Landsat 5 ETM	1986	7-5-3
Landsat 5 ETM	1991	7-5-3
Landsat 8 OLI	2014	7-6-4
Landsat 8 OLI	2019	7-6-4

**Realizado por:** Robalino Mora, Jofre, 2021.

### 2.3.2.4 Aplicación Random Forest

Para la clasificación de imágenes satelitales en base a la combinación de píxeles se utilizó el algoritmo de Random forest (ANEXO C), este proceso se realizó en la plataforma Google Earth Engine.

### 2.3.2.5 Clasificación supervisada

Para lograr determinar áreas de entrenamiento de acuerdo al tipo de vegetación que se quiere clasificar (Tabla 3-2), se desarrollaron cuatro scripts (ANEXO E). El programa busca las diferentes zonas de acuerdo a la tonalidad de los píxeles que se encuentran en las imágenes satelitales (ANEXO D).

**Tabla 3-2:** Categorías utilizadas en la clasificación

N°	CATEGORIA
1	Pino
2	No Pino

**Realizado por:** Robalino Mora, Jofre, 2021.

### 2.3.2.6 *Determinación cobertura vegetal (pino).*

Para determinar y clasificar la cobertura de pino para los años 1986, 1991, 2014 y 2019, en este caso la cantidad de territorio ocupada por las diferentes plantaciones ubicadas en la parroquia Palmira, se utilizaron imágenes satelitales obtenidas mediante la plataforma Google Earth Engine. Las categorías a identificar se las puede observar en la (Tabla 3-2).

### 2.3.2.7 *Post procesamiento de imágenes satelitales*

Finalmente, después de haber procesado las imágenes satelitales en Google Earth Engine, se procedió a realizar el post procesamiento en el software Qgis 3.10. Para la edición se procedió a exportar los archivos ráster obtenidos del procesamiento en GEE, los cuales fueron convertidos a polígonos para el cálculo del área de plantaciones de pino que se encuentran en la parroquia Palmira para cada uno de los años 1986, 1991, 2014 y 2019.

**Para cumplir con el segundo objetivo: Evaluar la evolución de la cubierta vegetal de pino utilizando índices espectrales derivados de imágenes Landsat, se realizó las siguientes actividades:**

### 2.3.2.8 *Índice de vegetación normalizada (NDVI)*

Para la obtención de datos sobre el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) el cual corresponde a los años (1986, 1991, 2014 y 2019) fue necesario la generación de cuatro scripts. Dos fueron utilizados a partir de las imágenes satelitales Landsat 5 para el NDVI de los años (1986 y 1991) y los dos siguientes a partir de Landsat 8 para el NDVI de los años (2014 y 2019) como se puede observar en el (ANEXO F). Por lo tanto, para el análisis de coberturas vegetales se usó las combinaciones, falso color 7-6-4 (Landsat 8) y la 7-5-3 (Landsat 5) utilizada para geología en donde la vegetación se muestra en tonos verdes.

### 2.3.2.9 *Post procesamiento aplicación NDVI*

El producto ráster que se obtendrá después del análisis presenta una tonalidad de escala de grises, cuyos valores que oscilan entre -1 y 1, para los diferentes niveles de vegetación que estén presentes en las imágenes satelitales.

Una vez realizado el análisis de las imágenes satelitales en GEE se realizó el post procesamiento de la evolución de plantaciones de pino para lo cual se trabajó con el software Qgis 3.10, al cual se exportaron los archivos ráster, para realizar la reclasificación de las imágenes satelitales, vectorizar y obtener los análisis estadísticos necesarias de todos los años de estudio (1986, 1991, 2014 y 2019) para su posterior interpretación.

**Para cumplir con el tercer objetivo: Determinar la evolución de la humedad del suelo y la vegetación de pino mediante índices espectrales derivados de imágenes Landsat.**

#### *2.3.2.10 Índice de humedad de vegetación normalizada (NDMI)*

Para obtener resultados sobre el índice de humedad de diferencia normalizada (NDMI) en los años 1986, 1991, 2014 y 2019 fue necesario la generación de 4 scripts. Para los dos primeros años de estudio (1986 y 1991) se lo hizo a través de imágenes satelitales Landsat 5, mientras que para los siguientes años (2014 y 2019) se utilizó a partir de Landsat 8 (ANEXO G).

#### *2.3.2.11 Post procesamiento de la aplicación NDMI*

Finalmente, una vez realizado el análisis NDMI en las imágenes satelitales realizado en GEE se llevó a cabo el post procesamiento del contenido de humedad que presentan las plantaciones de pino, para lo cual se trabajó con el software Qgis 3.10, al cual se exportaron los archivos finales, a fin de ejecutar una reclasificación de las imágenes satelitales, vectorizar las áreas obtenidas y adquirir las estadísticas necesarias de todos los años de estudio (1986, 1991, 2014 y 2019) para su posterior interpretación.

### **2.3.3 Validación**

Para la validación de la clasificación de las imágenes satelitales se utilizó el Plug in Acatama el cual es un complemento compatible con Qgis 3,10. Para verificar los datos obtenidos se utilizó la clasificación generada a partir de imágenes Landsat por medio de la plataforma GEE. Para la validación se empleó una imagen del satélite Landsat obtenida mediante el programa Sas Planet de la clasificación se utilizaron 50 puntos de muestro que fueron generados de manera aleatoria y colocados en toda la zona de estudio, por el Plug in Acatama.

## CAPITULO III

### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Resultados obtenidos con el primer objetivo: Delimitar el área de las plantaciones de Pino utilizando imágenes Landsat, y cuantificar el área plantada en el periodo de tiempo 1986, 1991, 2014 y 2019.**

Para la realización del análisis multitemporal ejecutado para la determinación de áreas que presenten plantaciones de pino para los siguientes años 1986, 1991, 2014 y 2019. En el cual se refleja cambios de cobertura vegetal en cuanto superficies con plantaciones, Mediante el análisis multitemporal, se logró identificar zonas con menor o mayor porcentaje de plantaciones. En la parroquia Palmira, se obtuvo como resultado de la delimitación de plantaciones de pino para el periodo de tiempo desde 1986 al 2019 que presentó un aumento considerable de aproximadamente 1000 hectáreas en un periodo de tiempo de 33 años.

#### 3.1 Delimitación zona de estudio por año

A continuación, se presenta la tabla y gráfico explicativo donde se puede observar el avance de las plantaciones de pino: para esto partimos desde el año 1986 en el cual se obtuvieron los resultados más bajos en cuanto a superficies con presencia de plantaciones con un total de 110,18 hectáreas, en el segundo año de estudio 1991 se observa un aumento de plantación con 154,56 hectáreas, para el 2014 se obtuvo un aumento en áreas de plantaciones con 309,81 hectáreas y para el último año 2019 se observa un aumento considerable de superficie con presencia de pino con un total de 1104,18 hectáreas, por lo que se puede apreciar en el (Figura 1-3).

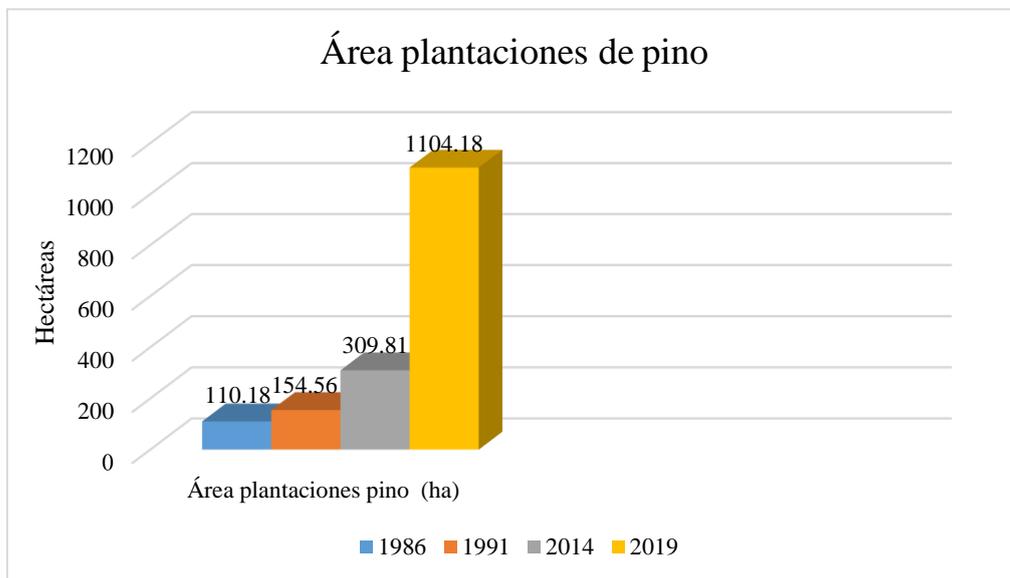
En la (Tabla 1-3), se muestra la superficie en hectáreas de cada año para la cobertura de plantaciones de pino; en donde se obtuvo una menor área con 110,18 hectáreas para el año 1986 y en el 2019 con 1104,18 hectáreas siendo el año con mayor presencia de plantaciones en la parroquia Palmira, además se calculó la proporción con relación al total de la superficie del área para los cuatro periodos.

**Tabla 1-3:** Datos obtenidos de la delimitación de plantaciones de pino

<b>Delimitación Plantaciones de Pino</b>			
<b>Años</b>	<b>Área plantaciones Pino (ha)</b>	<b>Área parroquia Palmira (ha)</b>	<b>% Territorio</b>
1986	110,18	24799,678	0,44
1991	154,56		0,62
2014	309,81		1,24
2019	1104,18		4,45

Realizado por: Robalino Mora, Jofre, 2021.

En el (Gráfico 1-3) se puede observar la interpretación realizada mediante un gráfico de barras, en el cual se obtuvo para el año 1986 un total de 110,18 hectáreas siendo el que presentó resultados más bajos y en el 2019 con un área de 1104,18 hectáreas, donde se ve reflejado el aumento de plantaciones de pino presentes en la parroquia Palmira.

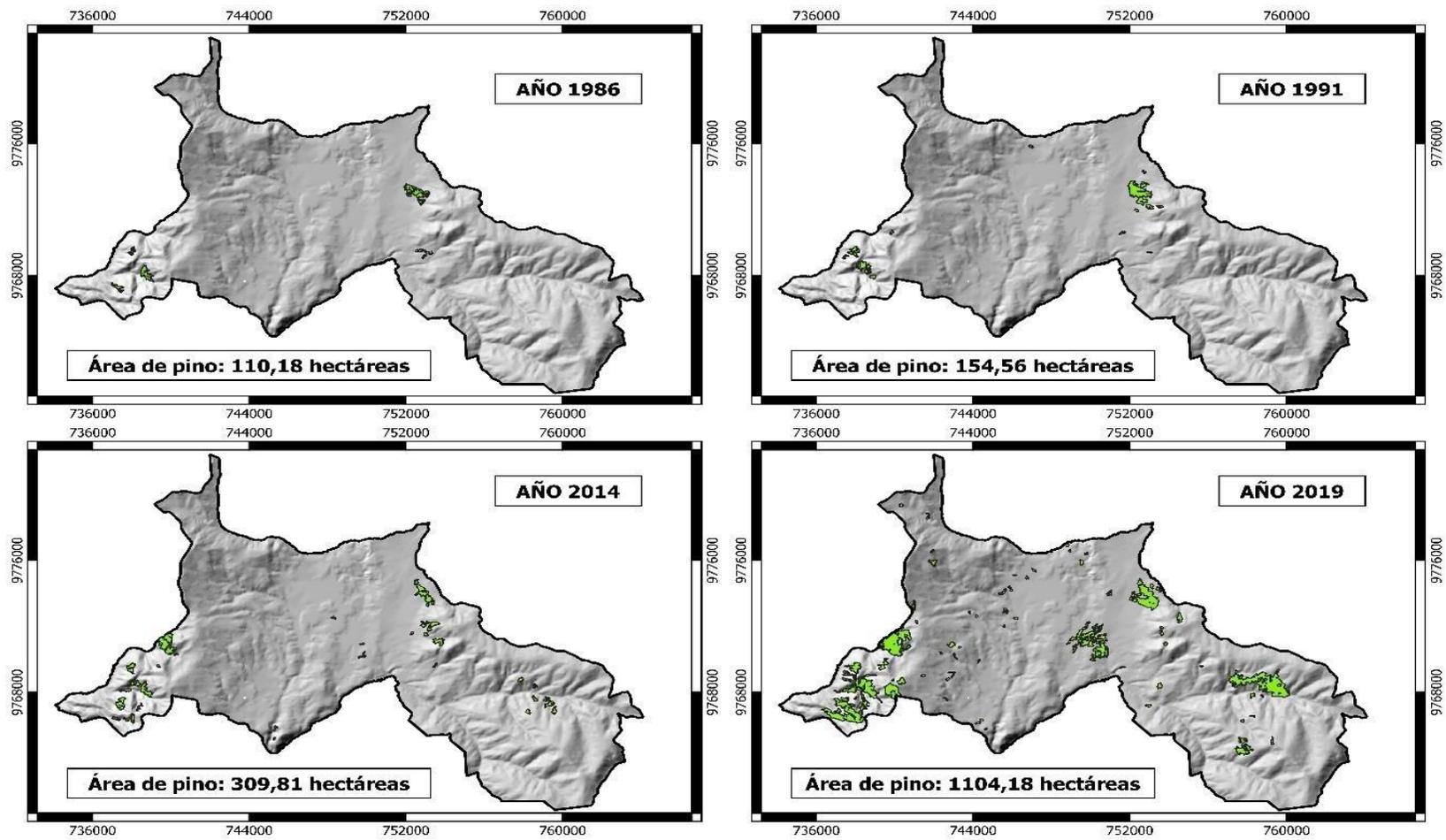


**Gráfico 1-3:** Áreas de la Parroquia Palmira

Realizado por: Robalino Mora, Jofre, 2021.

Como se puede observar en el (Figura 1-3) se muestran las zonas que presentan plantaciones de pino para todos los años de estudio (1986, 1991, 2014 y 2019). Para el año 1986 se puede observar polígonos de tonalidad verde la cual representa 110,18 hectáreas, en el año 1991 se observa un aumento la cual asciende a 154,56 hectáreas, para el 2014 existe plantaciones de pino distribuidas por toda la parroquia la cual presenta 309,81 hectáreas y para el último año (2019) se observa mayor incremento de plantaciones distribuidas por toda la localidad con 1104,18 hectáreas.

De acuerdo al mapeo de cobertura vegetal realizado en la parroquia Palmira para el año 2019 presenta como resultado un porcentaje del 15,56% correspondiente a plantaciones forestales, mientras en la investigación se obtuvo el 4,45% correspondiente a plantaciones de pino lo que implicaría que ocupa un tercio de todas las plantaciones presentes en la parroquia Palmira (PDOT Palmira, 2019)



**Figura 1-3:** Mapa delimitación de la zona de estudio parroquia Palmira

Realizado por: Robalino Mora, Jofre, 2021.

**Datos obtenidos con el segundo objetivo: Evaluar la evolución de la cubierta vegetal de pino utilizando índices espectrales derivados de imágenes Landsat, se realizó las siguientes actividades:**

### **3.2 Análisis del Índice de vegetación de diferencia Normalizada (NDVI)**

Para evaluar los cambios de la cobertura de plantaciones de pino se realizó en dos localizaciones, en donde se evaluó el índice de diferencia normalizada (NDVI), tanto para la parroquia Palmira como en las zonas determinadas como plantaciones, para su posterior análisis visual.

#### **3.2.1 Análisis NDVI parroquia Palmira.**

En la (Tabla 2-3) se puede observar los resultados obtenidos de la aplicación del índice de vegetación de diferencia normalizada, con cuyas siglas en inglés son (NDVI), donde se obtuvo para el año 1986 valores que oscilan entre 0,039 a 0,726 siendo los porcentajes más bajos y para el 2019 se extrajo datos entre 0,063 a 0,897 presentando los valores más altos que se pudo observar en la investigación en la parroquia Palmira.

**Tabla 2-3:** NDVI obtenido de la parroquia Palmira

NDVI Parroquia Palmira		
Años	Área (ha)	NDVI
1986	24799,678	0,039 – 0,726
1991		0,069 – 0,673
2014		0,082 – 0,864
2019		0,063 – 0,897

**Realizado por:** Robalino Mora, Jofre, 2021.

#### **Año 1986**

Para el año 1986 se obtuvo un valor que oscila entre 0,039 a 0,726, el cual está representado por el porcentaje mayor de la zona, se puede observar según los datos positivos obtenidos no son muy altos, esto se debe a la existencia de suelo descubierto y con vegetación dispersa. Además, presenta valores altos cercanos a 1 en diferentes secciones de mapa, debido a la existencia de vegetación densa bien desarrollada para este caso consideradas plantaciones forestales.

#### **Año 1991**

Para el año 1991 se obtuvo un valor que oscila entre 0,069 a 0,673, igual que en el caso anterior, se puede observar según los datos obtenidos, no son muy altos, esto se debe a la existencia de suelo descubierto y con vegetación dispersa. El mapa presenta fragmentos con valores altos, esto

se debe a la existencia de vegetación densa bien desarrollada consideradas como plantaciones forestales.

#### **Año 2014**

Para el año 2014 se obtuvo un valor que oscila entre 0,082 a 0,864, se puede observar según los datos obtenidos, son valores altos cercanos al 1 y se encuentran en mayor cantidad a los años anteriores, con valores dispersos en toda el área de la zona representada por la existencia de vegetación densa.

#### **Año 2019**

Para el año 2019 se obtuvo un valor que oscila entre 0,063 a 0,897, igual que en el caso anterior se puede observar según datos positivos obtenidos son valores altos cercanos al 1, con valores dispersos en toda el área de la zona representada por la existencia de vegetación densa.

Según Morocho (2018) en el análisis espacio temporal en Atapo – Palmira en el periodo del 2001 al 2017, se obtuvo valores máximos para el NDVI en el año 2017, los cuales oscilan entre 0,025 a 0,538, mientras que para la presente investigación se recabo datos máximos en el año 2019, entre 0,063 a 0,897, de tal modo los datos comparados no presentan similitud, esto se debería a la presencia de una temporada invernal al momento de la selección de imágenes satelitales, lo que aumenta el NDVI de la cobertura vegetal.

### **3.2.2 Análisis NDVI zonas determinadas como plantaciones**

En la (Tabla 3-3) se puede observar los resultados obtenidos para el análisis de la variación del (NDVI), para las zonas determinadas como plantaciones. Se realizó una media para los años de estudio y con ello se obtuvo como resultado para el año 1986 un valor de 0,527, para el año 1991 presento 0,465, en el 2014 se extrajo un valor 0,678 y para el último año 2019 un dato de 0,698. Lo cual podemos interpretar que existen valores positivos los cuales no son muy altos, esto se debe a que existen zonas desérticas y, además, en ciertos fragmentos presentan vegetación densa.

**Tabla 3-3:** NDVI aplicado a las plantaciones de pino

(NDVI) Zonas Plantaciones.		
Años	Área (ha)	Media
1986	110,18	0,527
1991	154,56	0,465
2014	309,81	0,678
2019	1104,18	0,698

Realizado por: Robalino Mora, Jofre, 2021.

### 3.2.3 Comparación de análisis del (NDVI)

En la presente (Tabla 4-3) se puede observar estadísticas obtenidas de imágenes satelitales aplicadas el (NDVI), en las cuales se aplicó a toda la parroquia Palmira tomando en cuenta la delimitación de las zonas de estudio, en las cuales el valor máximo que se obtuvo es una media de (0,462) correspondiente al año (1991) en la parroquia Palmira y con un valor de (0,678) para plantaciones de pino lo cual presenta una interpretación de vegetación densa.

**Tabla 4-3:** Comparación de datos obtenidos del análisis del NDVI

NDVI				
Parroquia Palmira			Plantaciones de pino	
Años	Área (ha)	Media	Área (ha)	Media
1986	24799,678	0,315	110,18	0,527
1991		0,286	154,56	0,465
2014		0,462	309,81	0,678
2019		0,434	1104,18	0,628

Realizado por: Robalino Mora, Jofre, 2021.

Al realizar una comparación de los valores medios anuales del NDVI del presente estudio (Gráfico 2-3), se puede observar los datos que corresponden a las escenas del 1986. Por lo tanto, se puede deducir que la superficie de la parroquia Palmira se encontraba con plantaciones de pinos saludables, aunque no presentaba grandes superficies de las mismas.

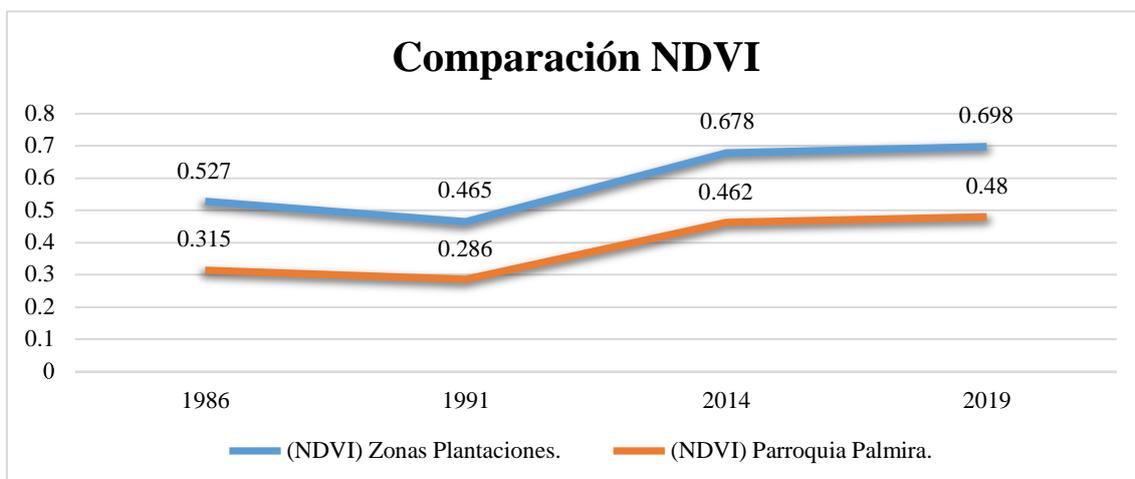
Por otra parte, se puede observar una disminución de los valores medios del NDVI en el año 1991, el cual denota una cobertura vegetal más estresada y el aumento de zonas degradadas, y con poca cobertura de plantaciones de pino cuyos valores de NDVI son bajos, aunque ninguno menor a cero.

Para el año 2014, se puede observar que la cobertura vegetal es más vigorosa, y los valores medios del NDVI son los más altos que los otros años analizados, logrando determinar que la cobertura vegetal de pino, presenta menor cantidad de zonas degradadas y se encuentra en menor proporción la vegetación dispersa en la zona de estudio.

En el último año de estudio del presente proyecto de investigación, se pudo observar una disminución de los valores medios del NDVI, en el año 2019 denota una vegetación menos vigorosa y el aumento de zonas degradadas.

Una vez analizado los resultados, se pudo observar que los valores positivos cercanos a cero nos indican la presencia de áreas desérticas o no cuenta con la presencia de vegetación, suelo desnudo y surgiendo la actividad de la deforestación, por lo tanto, se puede, expresar que la parroquia

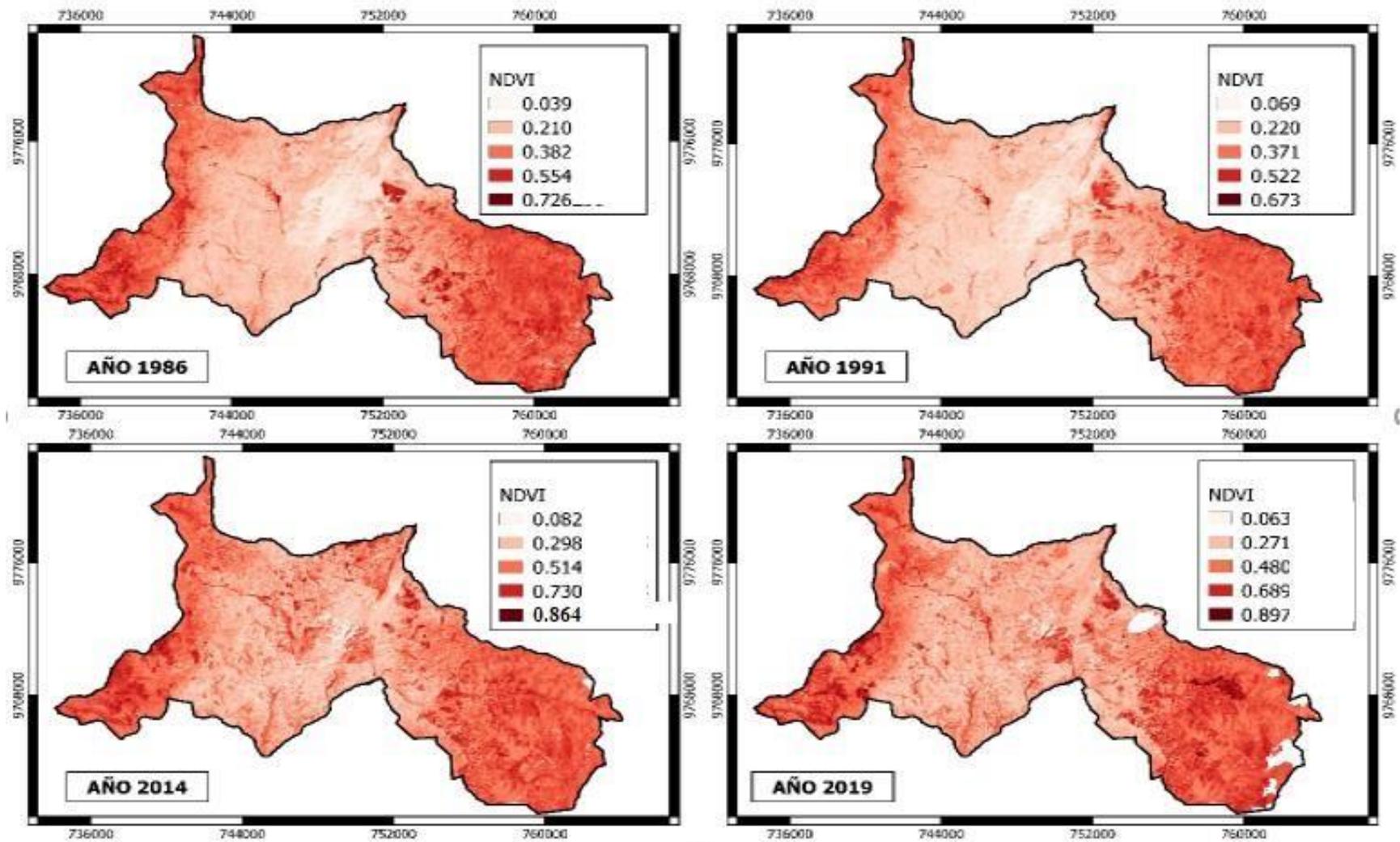
Palmira ha sido afectada por diversas actividades antrópicas y naturales (PDOT Palmira, 2019: p.41-46).



**Gráfico 2-3:** Comparación de datos obtenidos del análisis NDVI

**Realizado por:** Robalino Mora, Jofre, 2021.

Como se puede observar en el (Figura 2-3) los datos obtenidos del análisis del índice de vegetación normalizada (NDVI) en el cual se lo representa con tonalidades de blancas a rojas en los cuales las tonalidades claras presentan zonas desérticas mientras que las zonas con tonalidades más rojizas nos dan a conocer que son zonas con vegetación densa. Para el año 1986 se puede observar que presenta gran cantidad de zonas desérticas con presencia de vegetación densa, para el año 1991 existe una ligera disminución de zonas desérticas y zonas densas, en el año 2014 claramente se puede apreciar que existe una disminución de zonas desérticas y un aumento de vegetación densa, mientras que para el último año estudio 2019 presenta una disminución en zonas desérticas y aumento de vegetación densa, esto se debe al aumento de las plantaciones presentes en la parroquia.



**Figura 2-3:** Mapa Variación del (NDVI)  
 Realizado por: Robalino Mora, Jofre, 2021.

**Resultados obtenidos con el tercer objetivo: Determinar la evolución de la humedad del suelo y la vegetación de pino mediante índices espectrales derivados de imágenes Landsat.**

### 3.3 Análisis NDMI parroquia Palmira.

En la (Tabla 5-3) se puede observar los resultados obtenidos para el análisis de la variación del (NDMI) en toda la Parroquia Palmira, en donde se obtuvo el área y el nivel de humedad de toda la zona de estudio y en el rango temporal establecido.

**Tabla 5-3:** Datos obtenidos del análisis NDMI en la parroquia Palmira

Tipo	Área de contenido de Humedad por año en hectareas			
	1986	1991	2014	2019
<b>Vegetación con humedad baja, nula</b>	10260,003	6188	7463,505	9877,633
<b>Vegetación con humedad media</b>	13951,395	18024	14769,327	11863,02
<b>Vegetación con humedad alta</b>	579,69	588	2540,68	2550,13

Realizado por: Robalino Mora, Jofre, 2021.

#### **Año 1986**

Para el año 1986, se obtuvo un área de 10260,003 hectáreas la cual presenta una vegetación con humedad baja, con 13951,395 hectáreas muestra una vegetación con humedad media y por último se obtuvo 579,69 hectáreas las cuales presentan una vegetación con humedad alta. Debido a que en el año 1986 no presentaba una gran cantidad de plantaciones de pino la humedad presente no es muy elevada.

#### **Año 1991**

En el año 1991 se logró obtener un área de 6188 hectáreas las cuales presentan una vegetación con humedad baja, con 18024 hectáreas muestran una vegetación con humedad media y por último se obtuvo 588 hectáreas las cuales presentan una vegetación con humedad alta. Al comparar los resultados obtenidos con el año anterior, existe una disminución en el área con presencia de vegetación con humedad baja, un aumento en vegetación con humedad media y vegetación con humedad alta.

#### **Año 2014**

Para el año 2014 se obtuvo un área de 7463,505 hectáreas las cuales presentan una vegetación con humedad baja, con 14769,327 hectáreas muestra una vegetación con humedad media y por último se obtuvo 2540,68 hectáreas la cuales presentan una vegetación con humedad alta. Comparando con los resultados del año anterior, existe un aumento en áreas que presentan una

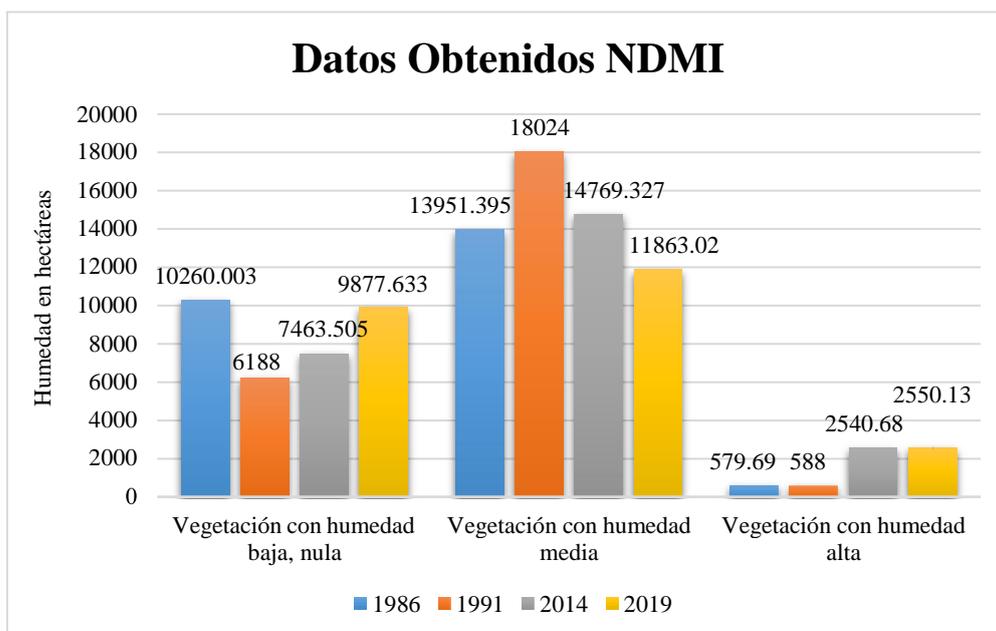
vegetación con humedad baja y vegetación con humedad alta, mientras que existe una disminución en áreas que presentan una vegetación con humedad media.

### Año 2019

Para el último año de estudio 2019, se obtuvo un área de 9877,633 hectáreas las cuales presentan una vegetación con humedad baja, con 11863,02 hectáreas muestra una vegetación con humedad media y por último se obtuvo 2550,13 hectáreas las cuales presentan una vegetación con humedad alta. En este último año de estudio se obtuvo el nivel más alto en cuanto a áreas que presenta una vegetación con humedad alta comparado con los demás años.

Según Mejía (2020) en el estudio de análisis de susceptibilidad de la cobertura vegetal a incendios mediante (NDMI) en Córdoba, Colombia, se determinó la presencia de humedad de la vegetación en época de sequía, en el cual se menciona que se obtuvo un total de 35457,6 hectáreas las cuales presentan vegetación con humedad alta o un índice bajo de susceptibilidad a incendios forestales. Con lo cual se corrobora los datos obtenidos en la presente investigación con un área de 2550,13 hectáreas con presencia de vegetación con humedad alta.

En el (Gráfico 3-3) se puede observar los datos obtenidos de la aplicación del (NDMI) para el periodo de tiempo comprendido entre los años 1986, 1991, 2014 y 2019 obteniendo como resultado que el año 1986 se obtuvo el nivel más bajo en cuanto a vegetación con humedad alta con 579,69 hectáreas, mientras que en el año 2019 la vegetación con humedad alta presentó un total de 2550,13 hectáreas las cuales se pueden asociar a la extensión de plantaciones de pino presentes en dicho año.



**Gráfico 3-3:** Datos obtenidos aplicación NDMI parroquia Palmira

Realizado por: Robalino Mora, Jofre, 2021.

### 3.3.1 Análisis NDMI en zonas determinadas como plantaciones

En la (Tabla 6-3) se puede observar los resultados obtenidos del análisis de la variación del (NDMI), para las zonas determinadas como plantaciones. Se lo realizó mediante el software Qgis 3,10 en el cual mediante las herramientas del programa se procedió a calcular el NDMI para dichas zonas los cuales están expresadas en hectáreas.

**Tabla 6-3:** Datos obtenidos del análisis NDMI en plantaciones de pino

Tipo	Área de contenido de Humedad por año en hectareas			
	1986	1991	2014	2019
<b>Vegetación con humedad baja, nula</b>	0	0	9,392	78,488
<b>Vegetación con humedad media</b>	10,453	16	92,376	531,042
<b>Vegetación con humedad alta</b>	99,818	139	370,626	704,181

Realizado por: Robalino Mora, Jofre, 2021.

#### **Año 1986**

Para el año 1986 se obtuvo 10,453 hectáreas las cuales presentan una vegetación con humedad media y con 99,818 hectáreas con presencia de vegetación con humedad alta. Tomando en cuenta que los resultados fueron analizados en las zonas determinadas como plantaciones de pino, se puede deducir de manera visual que no existe vegetación con humedad baja o nula para el presente año.

#### **Año 1991**

Para el año 1991 se obtuvo 16 hectáreas las cuales presentan una vegetación con humedad media y con 139 hectáreas las cuales presentan vegetación con humedad alta. Al igual que para el año anterior no presenta vegetación con humedad baja o nula.

#### **Año 2014**

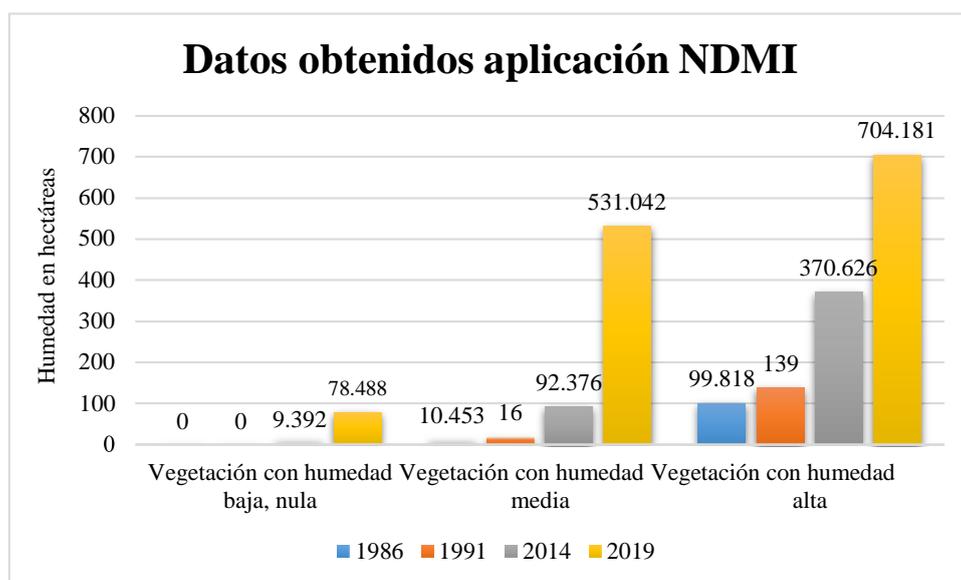
Al momento de analizar el año 2014 se obtuvo 9,392 hectáreas las cuales presentan vegetación con humedad baja, con 92,376 hectáreas se obtuvo que existe la presencia de vegetación con humedad media y por último con 370,626 hectáreas las cuales presentan vegetación con humedad alta. Al analizar los resultados se puede deducir que la delimitación de plantaciones de pino se encuentra en sus etapas iniciales por lo cual existe la presencia de vegetación con humedad baja.

#### **Año 2019**

Para el año 2019 se obtuvo 78,488 hectáreas en donde se encuentra vegetación con humedad baja, con 531,042 se muestra que existe la presencia de vegetación con humedad media y por último con 704,181 hectáreas las cuales presenta una vegetación con humedad alta. Al igual que en el

año anterior se pudo deducir que la delimitación de plantaciones de pino se encuentra en sus etapas iniciales por lo cual existe la presencia de vegetación con humedad baja.

En el (Gráfico 4-3) se presentan los datos obtenidos de la aplicación del (NDMI) para los años de estudio 1986, 1991, 2014 y 2019. Para el año 1986 se obtuvo el nivel más bajo en cuanto a vegetación con humedad alta con 99,818 hectáreas, mientras que en el año 2019 fue el que más vegetación con humedad alta presento con un total de 704,181 hectáreas las cuales se pueden asociar a la extensión de plantaciones de pino presentes en dicho año.



**Gráfico 4-3:** Datos obtenidos de la aplicación del NDMI en áreas plantaciones  
Realizado por: Robalino Mora, Jofre, 2021.

### 3.3.2 Comparación de análisis del (NDMI)

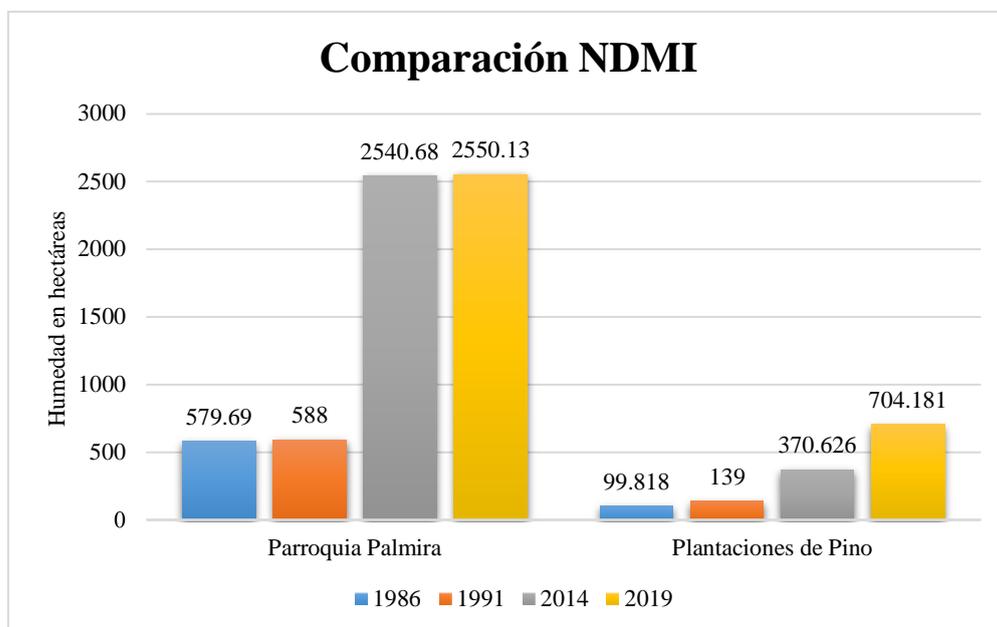
En la (Tabla 7-3) se presenta los datos obtenidos de las imágenes satelitales aplicadas el (NDMI), en las cuales se aplicó a toda la parroquia Palmira tomando en cuenta la delimitación de las zonas de estudio, en las cuales el valor máximo que se obtuvo fue en el año 2014.

**Tabla 7-3:** Comparación de datos obtenidos de la aplicación del NDMI

Comparación NDMI				
Tipo	Área de contenido de Humedad por año en hectáreas			
	1986	1991	2014	2019
<b>Parroquia Palmira</b>	579,69	588	2540,68	2550,13
<b>Plantaciones de pino</b>	99,818	139	370,626	704,181

Realizado por: Robalino Mora, Jofre, 2021.

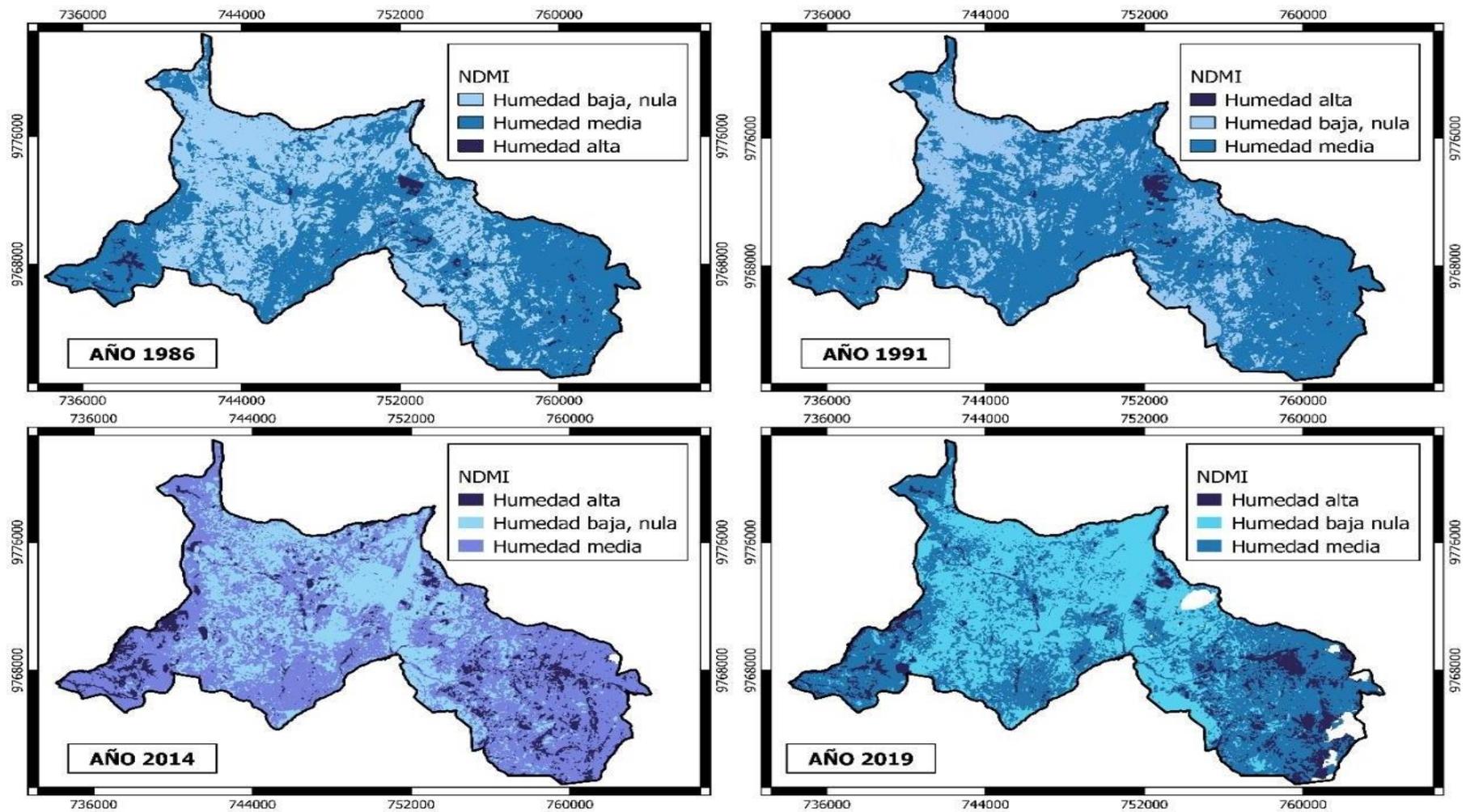
Al realizar una comparación de los valores obtenidos de la aplicación del NDMI para el presente estudio (Gráfico 5-3), se puede observar los datos que corresponden al periodo temporal comprendido desde el año 1986 al 2019. Por lo tanto, se puede deducir que la extensión de vegetación con humedad alta se ha ido incrementado conforme pasan los años, esto estaría relacionado a la cantidad de hectáreas de plantaciones de pino que se presentan hasta el año 2019.



**Gráfico 5-3:** Comparación de datos obtenidos de la aplicación del NDMI

Realizado por: Robalino Mora, Jofre, 2021.

Como se puede observar en el (Figura 3-3), para el año 1986 se puede observar pequeñas porciones del territorio que presenta humedad alta, a continuación, el año 1991 existe un aumento de dichas zonas, en el año 2014 la zona con vegetación es más notable, y en el 2019 las zonas con presencia de vegetación con humedad alta son más notorios y se encuentran dispersas por todo el territorio de la parroquia Palmira.

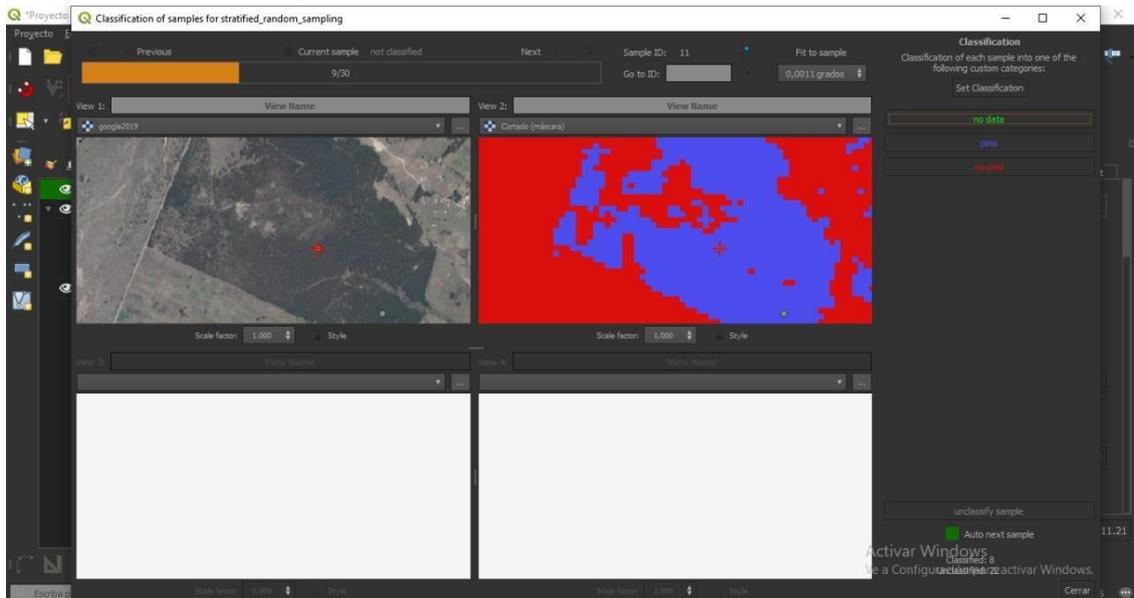


**Figura 3-3:** Mapa índice de humedad de diferencia normalizada

Realizado por: Robalino Mora, Jofre, 2021.

### 3.4 Validación de datos

La validación de los datos se realizó en el en el plug in Acatama (Figura 4-3), en el cual, al finalizar con el análisis se obtuvo un nivel de precisión general de 0,991 en la clasificación, de acuerdo a rangos establecidos se la establece como una clasificación casi perfecta.



**Figura 4-3:** Validación de datos en el Plug in Acatama

Realizado por: Robalino Mora, Jofre, 2021.

## CONCLUSIONES

- Por medio de tecnologías geoespaciales se logró delimitar el área de plantaciones de pino para todos los años de estudio (1986, 1991, 2014 y 2019), para esto partimos desde el año 1986, en el cual se obtuvieron los resultados más bajos en cuanto a superficies con presencia de plantaciones de pino con 0,44% de territorio, en el segundo año de estudio 1991 se observa un aumento del 0,18%, para el tercer año del presente estudio 2014 se obtuvo un aumento en las áreas de plantaciones con 0,62% y para el último año se observa un aumento considerable de superficie con presencia de pino con un total de 4,45%. Esto se debe a la demanda que ha presentado el sector maderero en los últimos años, empresas locales y de otras provincias han visto la necesidad de realizar convenios con los propietarios con la finalidad de contribuir en su economía y mejorar las características ambientales de la parroquia.
- A través del cálculo del NDVI se obtuvo estadísticas con valores mínimos 0,039; 0,069; 0,082; 0,063; y como valores máximos 0,726; 0,673; 0,864; 0,8978 respectivamente de los años 1986, 1991, 2014 y 2019. En donde los valores cercanos a cero corresponden a rocas y a terreno con poca vegetación, mientras que los valores altos o cercanos a 1 indican zonas con vegetación densa. Lo que significa que, la cobertura vegetal ha presentado alteraciones ecosistémicas en el transcurso del tiempo.
- Por medio del uso adecuado del NDMI se consiguió observar cambios en el contenido de humedad para todos los años de estudio, presentando para el año (1986) un área de 579,69 hectáreas con vegetación con humedad alta, mientras que en el año (2019) se obtuvo 2550,13 hectáreas con presencia de vegetación con humedad alta. Por lo que se evidencia un aumento en el contenido de humedad que presenta la parroquia Palmira esto tendría relación al incremento de la cobertura vegetal.
- Al realizar un análisis multitemporal, nos permitió obtener información acerca del comportamiento de la cobertura vegetal en el territorio de investigación, de igual manera se puede identificar los factores como: lluvia, sequía, temperaturas y erosión eólica los cuales producen efectos dañinos en el sector, a través de esto proponer recomendaciones para la planificación territorial.
- Al finalizar con el trabajo de investigación se acepta la hipótesis alternante y se rechaza la hipótesis nula, por lo cual, es posible determinar la evolución de plantaciones de pino establecidas en la parroquia Palmira, mediante tecnologías geoespaciales.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda seguir la línea de investigación planteada utilizando tecnologías geoespaciales para la gestión y uso sostenible de los recursos naturales como lo realizan en otros países. Con la finalidad de seguir probando nuevas metodologías y así poder determinar las que se ajusten mejor a las diferentes zonas de nuestro país.
- Para complementar el presente estudio, se sugiere realizar entrevistas, encuestas a los pobladores de la zona y diferentes actores locales de la parroquia Palmira con la finalidad de conocer su percepción respecto a la influencia que presentan las plantaciones de pino en cuanto a la formación del desierto del sector.
- Debido a la presencia de nubes en la zona de estudio, se recomienda procesar imágenes satelitales de periodos de tiempo en donde el porcentaje de nubosidad no sea mayor al 15%, así como utilizar datos provenientes de los mismos sensores para incrementar la confiabilidad de los datos.

## GLOSARIO

**Banda.** - Intervalo de longitud de onda dentro del espectro electromagnético. Por extensión, se denomina banda a cada uno de los canales de adquisición de datos de un sistema (González 2000).

**Bit.** – Abreviatura de binary digit, unidad de información binaria utilizada por los sistemas informáticos (Gonzales, 2000).

**Clasificador.** – Operador que asigna el vector de características de una celda a una determinada, en función de los criterios de similitud establecidos (Gonzales, 2000).

**Corrección atmosférica.** – Procedimiento de desplazamiento de los histogramas de las bandas de una imagen para eliminar el efecto producido por la radiación difusa de la atmósfera (Gonzales, 2000).

**Firma espectral.** – Cada tipo de superficie interacciona con la radiación de manera diferente, absorbiendo unas longitudes de onda concretas y reflejando otras diferentes en unas proporciones determinadas (Gonzales, 2000).

**NDVI.** – Sigla de Normalized Difference Vegetation Index, Índice de vegetación de diferencia normalizada (Gonzales, 2000).

**NDMI.** - Sigla de Normalized Moisture Difference Index, Índice de vegetación de diferencia normalizada (Gonzales, 2000).

**Píxel.** – Abreviatura de picture element, cada una de los elementos que componen una imagen dispuestos matricialmente en filas y columnas (Gonzales, 2000).

**Puntos de control.** – Son una serie de puntos utilizados en la búsqueda de las funciones de transformación que permitan la corrección de las distorsiones de una imagen (Gonzales, 2000).

**Reflectancia.** – Medida de la capacidad de una superficie para reflejar energía electromagnética en una determinada longitud de onda. Es la razón existente entre el flujo reflejado y el incidente sobre dicha superficie. Aplicando al espectro visible (Gonzales, 2000).

**Resolución.** – Capacidad de un sistema sensor para distinguir información de detalle en un objeto. En teledetección se habla de distintos tipos de resolución (Gonzales, 2000).

**RGB.** – Sigla de rojo, verde, azul. Se trata de un sistema de especificación del color basado en una propiedad aditiva de los tonos primarios que es el comúnmente falso color de las imágenes satelitales (Gonzales, 2000).

**Tono.** – Percepción diferencial por parte del ojo humano de las distintas longitudes de onda del espectro visible. Es lo que coloquialmente se designa por color (Gonzales, 2000).

## BIBLIOGRAFÍA

**ANAYA, J.A., SIONE, W., & RODRIGUEZ, A.M.** “Identificación de áreas quemadas +mediante el análisis de series de tiempo en el ámbito de computación en la nube”. *Revista de Teledetección*, n° 51 (2000), pp. 61. ISSN 1133-0953.DOI 10.4995/raet.2018.8618.

**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* [en línea], 2013, pp. 46. [Consulta: 27 febrero 2021]. Disponible en: <https://www.un-spider.org/sites/default/files/LDCM-L8.R1.pdf>.

**BAQUERO CARVAJAL, Loren Sptefannie, & LOZANO RAMÍREZ, Diego Alberto.** Plugin para la zonificación de amenaza por movimientos en masa implementando el uso de imágenes Sentinel 2, en el municipio de Chíquiza (Boyacá) [en línea] (Trabajo de Titulación). (Grado) Centro de investigación y desarrollo en información geográfica – Ciaf, Bogotá. 2019. [Consulta: 2021-02-14]. Disponible en: <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/22645/BaqueroCarvajalLorenSptefannie2019.pdf?sequence=1>

**BOSQUE, J., & GARCÍA, R.** “El uso de los sistemas de Información Geográfica en la planificación territorial”. *Anales de Geografía de la Universidad complutense* [en línea], 2000, vol. 20, pp.49-67. [Consulta: 21 noviembre 2020]. Disponible en: <http://revistas.ucm.es/index.php/AGUC/article/viewFile/AGUC0000110049A/31281>

**BRAVO, N.** “TEORIA – Teledetección Espacial LANDSAT, SENTINEL-2, ASTER L1T y MODIS”. *Geomática ambiental* [en línea], 2017, vol. 1, pp. 105. [Consulta: 1 diciembre 2020]. Disponible en: <https://sites.google.com/view/geomatica-ambiental-srl/>

**CABRERA, C.H.A.** “Respuesta temprana a emergencias google earth engine an analysis and control tool Tutorial”. [en línea], 2014. [Consulta: 21 noviembre 2020]. Disponible en: <https://docplayer.es/8587894-Google-earth-engine-an-analysis-and-control-tool.html>

**CEDE, R., & otros.** “Fundamentos de la teledetección”. *Introducción a la percepción remota y sus aplicaciones Geológicas* [en línea], 2011, no. 4, pp. 181-218. [Consulta: 14 febrero 2021]. ISSN 0716-078X. Disponible en: [http://www.um.es/geograf/sigmur/%0Ahttp://www.ideam.gov.co/documents/13257/13817/Protocolo\\_para\\_la\\_cuantificación\\_Deforestación\\_Nivel\\_Nacional.pdf](http://www.um.es/geograf/sigmur/%0Ahttp://www.ideam.gov.co/documents/13257/13817/Protocolo_para_la_cuantificación_Deforestación_Nivel_Nacional.pdf).

**CORMADERA.** “Manual para la producción de: Pino”. *Organización Internacional de las Maderas Tropicales* [en línea], 1997, pp. 199-205. [Consulta: 15 enero 2021]. ISSN 0026-8984.

Disponible en: [http://www.itto.int/files/user/pdf/publications/Other\\_Publications/op-14\\_s\\_pino.pdf](http://www.itto.int/files/user/pdf/publications/Other_Publications/op-14_s_pino.pdf).

**CORRALES, R.** “Catálogo de firmas espectrales de especies florales, en la ciudad universitaria, Tegucigalpa, fase 1”. *Ciencias Espaciales* [en línea], 2013, vol. 1. [Consulta: 4 noviembre 2020]. ISSN 2225-5249. Disponible en: <https://www.lamjol.info/index.php/CE/article/view/610>

**CHUVIECO, E.** *Teledetección Ambiental La observación de la Tierra desde el espacio*. Barcelona: Ariel Ciencia, Nueva edición actualizada, 1990. [Consulta: 15 febrero 2021]. Disponible en: <http://cursosihlla.bdh.org.ar/Sist.Cart.yTeledet./Bibliografia/FUNDAMENTOS-DE-TELEDETECCION-EMILIO-CHUVIECO.pdf>.

**CHUVIECO, E.** *Fundamentos de teledetección.pdf* [en línea]. España: s.n, 2009.

**DIARIO EL ECONOMISTA.** “Google lanzó Google Earth Engine”. *Diario el economista* [en línea], 2010. [Consulta: 1 diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.economista.com.mx/tecnologia/Google-lanzo-Google-Earth-Engine-20101202-0143.html>

**ECUADOR FORESTAL.** “Ficha Técnica N° 13 pino (*Pinus radiata*) [en línea], 2013. [Consulta: 5 febrero 2021]. Disponible en: <https://ecuadorforestal.org/fichas-tecnicas-de-especies-forestales/ficha-tecnica-no-13-pino-pinus-radiata/>

**ECUADOR FORESTAL.** “Ficha Técnica N° 14 pino (*Pinus patula*) [en línea], 2013. [Consulta: 5 febrero 2021]. Disponible en: <https://ecuadorforestal.org/fichas-tecnicas-de-especies-forestales/ficha-tecnica-no-14-pino-pinus-patula/>

**DIARIO LA PRENSA.** “Desierto de Palmira”. *Diario la prensa* [en línea], 2021. [Consulta: 1 diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.laprensa.com.ec/desierto-de-palmira/>

**FAO.** “Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: Los efectos de la desertificación se vinculan con la migración, la pobreza y la inseguridad alimentaria”. [en línea], 2017. [Consulta: 1 diciembre 2020]. Disponible en: <http://www.fao.org/ecuador/noticias/detail-events/es/c/895853>

**FERNÁNDEZ, I., & HERRERO, E.** “El satélite LANDSAT: análisis visual de imágenes obtenidas del sensor ETM+ Satelite LANDSAT. *Universidad de Valladolid* [en línea], 2001, pp. 37. [Consulta: 1 diciembre 2020]. Disponible en: <http://www.cartesia.org/data/apuntes/teledeteccion/landsat-analisis-visual.pdf>

**GOOGLE.** “Análisis a nivel planetario en la nube de google”. [en línea], s.f. [Consulta: 10 enero 2021]. Disponible en: [https://www.google.com/intl/es\\_ALL/earth/education/tools/google-aerth-engine/](https://www.google.com/intl/es_ALL/earth/education/tools/google-aerth-engine/)

**GONZÁLEZ, R.** “Diccionario de Términos”. [en línea], 2000, pp.106. [Consulta: 11 enero 2021]. Disponible en: [https://www.fcnym.unlp.edu.ar/catedras/geofoto/geo\\_html/informacion/pdf/diccionario\\_sig.pdf](https://www.fcnym.unlp.edu.ar/catedras/geofoto/geo_html/informacion/pdf/diccionario_sig.pdf)

**GUTIÉRREZ, A., PEÑA, J. & ROSÚA, J.** Integración de las Tecnologías Geoespaciales como herramientas docentes de Ciencias de la Tierra para Educación Secundaria. *Revista de la Asociación Española para la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* [en línea], 2014, vol. 22, no. 2385-3484, pp. 239-250. [Consulta: 5 de enero 2021]. ISSN 1132-9157. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/286448574\\_Integracion\\_de\\_las\\_Tecnologias\\_Geoespaciales\\_como\\_herramientas\\_docentes\\_en\\_Ciencias\\_de\\_la\\_Tierra](https://www.researchgate.net/publication/286448574_Integracion_de_las_Tecnologias_Geoespaciales_como_herramientas_docentes_en_Ciencias_de_la_Tierra).

**HORMAZÁBAL, I., & VALENCIA, D.** “Geomática en la nube, oportunidades y desafíos para el monitoreo de ecosistemas en el Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE)”. [en línea], 2018. [Consulta: 20 noviembre 2020]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/329217056\\_Geomatica\\_en\\_la\\_nube\\_oportunidades\\_y\\_desafios\\_para\\_el\\_monitoreo\\_de\\_ecosistemas\\_en\\_el\\_Sistema\\_Nacional\\_de\\_Areas\\_Silvestres\\_Protegidas\\_del\\_Estado\\_SNASPE\\_Cloud-based\\_Geomatics\\_opportunities\\_and\\_challenge](https://www.researchgate.net/publication/329217056_Geomatica_en_la_nube_oportunidades_y_desafios_para_el_monitoreo_de_ecosistemas_en_el_Sistema_Nacional_de_Areas_Silvestres_Protegidas_del_Estado_SNASPE_Cloud-based_Geomatics_opportunities_and_challenge)

**KARSZENBAUM, H., & BARRAZZA, V.** “Introducción a la teledetección cuantitativa”. *Iafe* [en línea], 2008, vol. 25, n°. 3, pp. 1-11. [Consulta: 20 noviembre 2020]. ISSN 1067-6079. Disponible en: <http://files.especializacion-tig.webnode.com/200000032-25950268dd/5.-Firmas%20espectrales.pdf>

**KUMAR, L., & MUTANGA, O.** “Gogle Earth Engine applications since incoetion: Usage, trends, and potential”. *Remote sensing* [en línea], 2018, vol. 10, n°. 10, pp. 1-15. [Consulta: 15 noviembre 2020]. ISSN 20724292. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2072-4292/10/10/1509/htm>

**LABRADOR, M., ÉVORA, J., & PÉREZ, M.** *Satélites de teledetección para la gestión del territorio* [en línea]. Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Aguas del Gobierno de Canarias, 2012. [Consulta: 10 noviembre 2020]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/259230060\\_Satelites\\_de\\_teledeteccion\\_para\\_la\\_gestion\\_del\\_territorio](https://www.researchgate.net/publication/259230060_Satelites_de_teledeteccion_para_la_gestion_del_territorio)

**LENCINAS, J., & SIEBERT, A.** “Relevamiento de bosques con información satelital: Resolución espacial y escala”. *Quebracho – Revista de Ciencias Forestales* [en línea], 2009, vol.

17, n° 1-2, pp.101-105. [Consulta: 9 noviembre 2020]. ISSN 14053195. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/481/48113035010.pdf>

**MACEDO, A., MARTINSANZ, G., & PEÑAS, M.** “Clasificación no supervisada con imágenes a color de cobertura terrestre”. *Agrociencia* [en línea], 2010, vol. 44, n°.6, pp. 711-722.[Consulta: 8 noviembre 2020]. ISSN 14053195. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v44n6/v44n6a10.pdf>

**MAE.** “Lineas de acción del Ecuador para la lucha contra la desertificación fueron presentadas”. [en línea], s.f. [Consulta: 8 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.ambiente.gob.ec/lineas-de-accion-del-ecuador-para-la-lucha-contra-la-desertificacion-fueron-presentadas/#:~:text=Se%20estima%20que%20en%20el,extremos%3B%20sin%20embargo%2C%20a%20nivel>

**MEJÍA, J.** “Análisis de la susceptibilidad de la cobertura vegetal a incendios mediante índice de diferencia normalizada de humedad (NDMI) y clasificación del IDEAM: caso de estudio sub region Bajo Sinú – Córdoba”. [en línea], 2020, pp. 1-23. [Consulta: 20 febrero 2021]. Disponible en: <https://repositorio.unicordoba.edu.co/handle/ucordoba/3452>.

**MOROCHO GUALÁN, Rut Noemí.** Análisis espacio-temporal de la dinámica de cambio del uso de suelo y cobertura vegetal en respuesta al sistema de riego presurizado Atapo-Palmira (2010-2017) [en línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2018. [Consulta: 2021-02-21]. Disponible en: <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/4937/1/UNACH-EC-ING-AMBT-2018-0014.pdf>.

**NONI, G., & TRUJILLO, G.** “La erosión en el Ecuador”. *Centro Ecuatoriano de investigación geográfica* [en línea], 1986, (Quito – Ecuador), vol. 6, n°.14, pp. 5-14. [Consulta: 20 noviembre 2020]. Disponible en: [https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/divers08-01/23658.pdf](https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers08-01/23658.pdf)

**PAULA, P., ZAMBRANO, L., & PAULA, P.** “Análisis multitemporal de los cambios de la vegetación, en la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo como consecuencia del cambio climático”. *Revista EnfoqueUTE* [en línea], 2018, vol. 9, pp. 125-137. [Consulta: 3 enero 2021]. ISSN 1390-6542. Disponible en: [http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/public/journals/1/html\\_v9n2/art012.html](http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/public/journals/1/html_v9n2/art012.html)

**PDOT PALMIRA.** “Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia Palmira 2019 – 2023”. [en línea], 2019. [Consulta: 25 noviembre 2020]. Disponible en: <http://www.palmira.gob.ec/images/pdf/PDOTPALMIRA.pdf>.

**PEREZ, D.** *Introducción a los sensores Remotos-Aplicaciones en Geología* [en línea]. Laboratorio de tectónica Andina, Ciudad Universitaria, Pabellón 2, C1428EGA, Buenos Aires, Argentina, 2007. vol. 09. [Consulta: 10 enero 2021]. Disponible en: [http://aviris.gl.fcen.uba.ar/Curso\\_SR/Guia\\_Curso\\_sr\\_2007.pdf](http://aviris.gl.fcen.uba.ar/Curso_SR/Guia_Curso_sr_2007.pdf).

**ROJAS, A., & IBARRA, J.** “La degradación del suelo y sus efectos sobre la población”. *Población y Desarrollo* [en línea], 2003, n°. 25, pp. 5-10. [Consulta: 9 de noviembre 2020]. ISSN 2076-0531. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5654360>

**ROMERO, F.** “La teledetección satelital y los sistemas de protección ambiental”. *Revista Ingeniería industrial* [en línea], 2005, (Madrid – España) vol. 5, n°. 9, pp. 1. [Consulta: 24 noviembre 2020]. ISSN 0717-9103. Disponible en: [https://www.academia.edu/8957318/LA\\_TELEDETECCION\\_SATELITAL\\_Y\\_LOS\\_SISTEMAS\\_DE\\_PROTECCION\\_AMBIENTAL](https://www.academia.edu/8957318/LA_TELEDETECCION_SATELITAL_Y_LOS_SISTEMAS_DE_PROTECCION_AMBIENTAL)

**ROUSE, J., & otros.** *Monitoring the vernal advancement and retrogradation (Greenwave effect) of natural vegetation* [en línea]. Remote Sensing Center Texas A&M University College Station, Texas, 1974, pp. 371. [Consulta: 10 enero 2020]. Disponible en: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19750020419/downloads/19750020419.pdf>

**RUIZ, T., & FEBLES, G.** “La desertificación y la sequía en el mundo”. *Avances en Investigación Agropecuaria* [en línea], 2004, (Colima-México), vol. 8, n°. 2. [Consulta: 16 diciembre 2020]. ISSN 0188-7890. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/837/83780201.pdf>

**SANCHEZ, D., & otros.** “Los procesos de desertificación y las regiones áridas”. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del ambiente* [en línea], DOI 10.5154/r.rhscfa, 2011. (México). [Consulta: 20 noviembre 2020]. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rcscfa/v19n1/v19n1a5.pdf>

**SARRÍA, F.** *Sistemas de Información Geográfica* [en línea]. 2015, pp. 239. [Consulta: 19 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.um.es/geograf/sigmur/sigpdf/temario.pdf>

**SCHMID, Jan Niklas.** Using Google Earth Engine for Landsat NDVI time series analysis to indicate the present status of forest stands [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad de Gottingen, Basilea, Suiza. 2017. pp. 38. [Consulta: 2020-12-22]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/320708352\\_Using\\_Google\\_Earth\\_Engine\\_for\\_Landsat\\_NDVI\\_time\\_series\\_analysis\\_to\\_indicate\\_the\\_present\\_status\\_of\\_forest\\_stands](https://www.researchgate.net/publication/320708352_Using_Google_Earth_Engine_for_Landsat_NDVI_time_series_analysis_to_indicate_the_present_status_of_forest_stands)

**SEGURA HERRERA, Maricruz.** Correlacion entre la humedad del suelo y los indices NDVI y NDWI como indicativo del estrés hidrico en el cultivo de caña de azucar (*Saccharum officinarum*) en la variedad Bc 001220, Ingenio Taboga [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad Tecnica

Nacional, Cañas, Guanacaste. 2019. pp. 150. [Consulta: 2020-12-22]. Disponible en: <http://repositorio.utn.ac.cr/handle/123456789/453>

**TOAPANTA MORENO, Zuleima Gabriela.** Estudio multitemporal de la cobertura vegetal de los ecosistemas de la zona sur de la provincia de Chimborazo a través de imágenes satelitales “Landsat 8” [en línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2019. [Consulta: 20-12-12]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/10758/1/33T0223.pdf>.

**UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY.** “What are the band designations for the Landsat satellites?”. [en línea], S.F. [Consulta: 10 enero 2021]. Disponible en: [https://www.usgs.gov/faqs/what-are-band-designations-landsat-satellites?qt-news\\_science\\_products=0#qt-news\\_science\\_products](https://www.usgs.gov/faqs/what-are-band-designations-landsat-satellites?qt-news_science_products=0#qt-news_science_products)

**UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY.** “Landsat Surface Reflectance-Derived Spectral Indices (Normalized Difference Moisture Index). [en línea]. Disponible en: <https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/normalized-difference-moisture-index>

**VASCONCELOS, Y.** “Con la colaboración del cielo. La plataforma Google Earth Engine-nacisa en Brazil-se utiliza en la elaboraion de mapas tematicos a partir de imágenes satelitales”. *Revista Pesquisa Fapesp* [en línea], 2015. [Consulta: 23 diciembre 2020]. Disponible en: <https://revistapesquisa.fapesp.br/es/con-la-colaboracion-del-cielo/>

## ANEXOS

### ANEXO A: SCRIPTS UTILIZADOS PARA CORRECCIONES ATMOSFÉRICAS.

#### Enmascarar nubes para satélite Landsat 5

```
var cloudMaskL457 = function(image) {
```

```
    var qa = image.select('pixel_qa');
```

*Si el bit de nube (5) está configurado y la confianza de la nube (7) es alta o el bit de sombra de nube está configurado (3), entonces es un píxel defectuoso.*

```
    var cloud = qa.bitwiseAnd(1 << 5)
        .and(qa.bitwiseAnd(1 << 7))
        .or(qa.bitwiseAnd(1 << 3));
```

*Elimina los píxeles de borde que no aparecen en todas las bandas*

```
    var mask2 = image.mask().reduce(ee.Reducer.min());
    return image.updateMask(cloud.not()).updateMask(mask2);
```

#### Enmascarar nubes para satélite Landsat 8

*Los bits 3 y 5 son sombra de nube y nube, respectivamente*

```
    var cloudShadowBitMask = (1 << 3);
    var cloudsBitMask = (1 << 5);
```

*Obtener la banda de control de calidad de píxeles*

```
    var qa = image.select('pixel_qa');
```

*Ambos indicadores deben ponerse a cero, lo que indica condiciones claras.*

```
    var mask = qa.bitwiseAnd(cloudShadowBitMask).eq(0)
        .and(qa.bitwiseAnd(cloudsBitMask).eq(0));
```

```
    return image.updateMask(mask);
```

```
}
```

## **ANEXO B: SCRIPTS UTILIZADOS EN LA COMBINACIÓN DE BANDAS**

### **Año 1986**

```
var visParams = {  
  
  bands: ['B7', 'B5', 'B3'],  
  
  min: 0,  
  
  max: 3000,  
  
  gamma: 1.4,  
  
};
```

### **Año 1991**

```
var visParams = {  
  
  bands: ['B7', 'B5', 'B3'],  
  
  min: 0,  
  
  max: 3000,  
  
  gamma: 1.4,  
  
};
```

### **Año 2014**

```
var visParams = {  
  
  bands: ['B7', 'B6', 'B4'],  
  
  min: 0,  
  
  max: 3000,  
  
  gamma: 1.4,  
  
};
```

### **Año 2019**

```
var visParams = {  
  
  bands: ['B7', 'B6', 'B4'],  
  
  min: 0,
```

```
max: 3000,  
gamma: 1.4,  
};
```

## **ANEXO C: SCRIPTS UTILIZADOS EN LA APLICACION RANDOM FOREST**

### **Entrenar el clasificador Landsat 5**

```
var classifier15 =  
ee.Classifier.randomForest().train({  
features: training15,  
classProperty: 'cobertura',  
inputProperties: bands15  
});
```

*Ejecutar clasificador Random Forest*

```
classified15 = composite.select(bands15).classify(classifier15);  
Map.addLayer(classified15,  
{min: 1, max: 2, palette: ['1667fa', 'c9270d']},  
'Optical Classification');
```

### **Entrenar el clasificador Landsat 8**

```
var classifier18 =  
ee.Classifier.randomForest().train({  
features: training18,  
classProperty: 'cobertura',  
inputProperties: bands18  
});
```

*Ejecutar clasificador Random Forest*

```
var classified18 = composite.select(bands18).classify(classifier18);  
Map.addLayer(classified18,
```

```
{min: 1, max: 2, palette: ['1667fa', 'c9270d']},  
Optical Classification');
```

## **ANEXO D: SCRIPTS UTILIZADOS PARA LA CLASIFICACIÓN SUPERVISADA**

### **Definir bandas para la clasificación supervisada 1986**

```
var bands15 = ['B1', 'B2', 'B3', 'B4', 'B5', 'B6', 'B7', 'NDVI'];  
var training15 = composite.select(bands15).sampleRegions({  
  collection: newfc,  
  properties: ['cobertura'],  
  scale: 30  
});
```

### **Definir bandas para la clasificación supervisada 1991**

```
var bands15 = ['B1', 'B2', 'B3', 'B4', 'B5', 'B6', 'B7', 'NDVI'];  
var training15 = composite.select(bands15).sampleRegions({  
  collection: newfc,  
  properties: ['cobertura'],  
  scale: 30  
});
```

### **Definir bandas para la clasificación supervisada 2014**

```
var bands18 = ['B1', 'B2', 'B3', 'B4', 'B5', 'B6', 'B7', 'B10', 'B11', 'NDVI'];  
var training18 = composite.select(bands18).sampleRegions({  
  collection: newfc,  
  properties: ['cobertura'],  
  scale: 30  
});
```

## **Definir bandas para la clasificación supervisada 2019**

```
var bandsl8 = ['B1', 'B2', 'B3', 'B4', 'B5', 'B6', 'B7', 'B10', 'B11', 'NDVI'];  
  
//var trainingl8 = composite.select(bandsl8).sampleRegions({  
  
//collection: newfc,  
  
//properties: ['cobertura'],  
  
//scale: 30  
  
//});
```

## **ANEXO E: SCRIPT UTILIZADO PARA DEFINIR AREAS DE ENTRENAMIENTO**

### **Definir variable para las áreas de entrenamiento**

```
var newfc = pino.merge(no_pino);
```

## **ANEXO F: SCRIPTS UTILIZADOS PARA LA APLICACIÓN DEL NDVI**

- **NDVI año 1986**

```
var landsat1986 = ee.ImageCollection('LANDSAT/LT05/C01/T1_SR')  
  
.filterDate('1986-01-01', '1986-12-31')  
  
var ndvi = media.normalizedDifference(['B4', 'B3']).rename('NDVI');  
  
print(ndvi)  
  
Map.addLayer(media, visParams);  
  
Map.addLayer(ndvi)
```

- **NDVI año 1991**

```
var landsat1991 = ee.ImageCollection('LANDSAT/LT05/C01/T1_SR')  
  
.filterDate('1991-01-01', '1991-12-31')  
  
var ndvi = media.normalizedDifference(['B4', 'B3']).rename('NDVI');  
  
print(ndvi)  
  
Map.addLayer(media, visParams);  
  
Map.addLayer(ndvi)
```

- **NDVI año 2014**

```
var landsat2014 = ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C01/T1_SR')  
  
.filterDate('2014-01-01', '2014-12-31')  
  
var ndvi = media.normalizedDifference(['B5', 'B4']).rename('NDVI');  
  
Map.addLayer(media, visParams);  
  
Map.addLayer(ndvi)
```

- **NDVI año 2019**

```
var landsat2019 = ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C01/T1_SR')  
  
.filterDate('2019-01-01', '2019-12-31')  
  
var ndvi = media.normalizedDifference(['B5', 'B4']).rename('NDVI');  
  
Map.addLayer(media, visParams);  
  
Map.addLayer(ndvi)
```

## **ANEXO G: SCRIPTS UTILIZADOS PARA LA APLICACIÓN DEL NDWI**

- **Aplicación NDMI para el año 1986**

```
var NDMI = media.normalizedDifference (['B4','B5'] ) ;  
  
Map.addLayer (NDMI, {  
  
max: 1.0,  
  
min: -0.5,  
  
'palette': ['1A3678', '2955BC', '5699FF','8DBAE9', 'ACD1FF', 'CAEBFF', 'E5F9FF',  
'FDFFB4', 'FFE6A2', 'FFC969', 'FFA12D', 'FF7C1F', 'CA531A', 'FF0000', 'AB0000']},  
'Índice NDMI');  
  
print (NDMI, 'valores NDMI');
```

- **Aplicación NDMI para el año 1991**

```
var NDMI = media.normalizedDifference (['B4','B5'] ) ;  
  
Map.addLayer (NDMI, {
```

```
max: 1.0,  
min: -0.5,  
  
'palette': ['1A3678', '2955BC', '5699FF', '8DBAE9', 'ACD1FF', 'CAEBFF', 'E5F9FF',  
'FDFFB4', 'FFE6A2', 'FFC969', 'FFA12D', 'FF7C1F', 'CA531A', 'FF0000', 'AB0000']},  
  
'Índice NDMI');  
  
print (NDMI, 'valores NDMI');
```

- **Aplicación NDMI para el año 2014**

```
var NDMI = media.normalizedDifference(['B5', 'B6']);  
  
Map.addLayer (NDMI, {  
  
max: 1.0,  
min: -0.5,  
  
'palette': ['1A3678', '2955BC', '5699FF', '8DBAE9', 'ACD1FF', 'CAEBFF', 'E5F9FF',  
'FDFFB4', 'FFE6A2', 'FFC969', 'FFA12D', 'FF7C1F', 'CA531A', 'FF0000', 'AB0000']},  
  
'Índice NDMI');  
  
print (NDMI, 'valores NDMI');
```

- **Aplicación NDMI para el año 2019**

```
var NDMI = media.normalizedDifference(['B5', 'B6']);  
  
Map.addLayer (NDWM, {  
  
max: 1.0,  
min: -0.5,  
  
'palette': ['1A3678', '2955BC', '5699FF', '8DBAE9', 'ACD1FF', 'CAEBFF', 'E5F9FF',  
'FDFFB4', 'FFE6A2', 'FFC969', 'FFA12D', 'FF7C1F', 'CA531A', 'FF0000', 'AB0000']},  
  
'Índice NDMI');  
  
print (NDMI, 'valores NDMI');
```

## **ANEXO H: VEGETACIÓN DISPERSA**



## **ANEXO I: MANEJO SILVICULTURAL EN LAS PLANTACIONES DE PINO**



**ANEXO J: DESIERTO EN LA PARROQUIA PALMIRA**



**ANEXO K: COSECHA PLANTACIONES DE PINO**



**ANEXO L: PLANTACIONES DE PINO ESTABLECIDAS**



**ANEXO M: PLANTACIONES DE PINO PRESENTES ALREDEDOR DEL DESIERTO**



**ANEXO N: PLANTA DE PINO, LA CUAL PRESENTA POCO DESARROLLO**



**ANEXO O: BAJA DENSIDAD EN LAS PLANTACIONES DE PINO**



**ANEXO P: INGRESO COMUNITARIO AL DESIERTO DE PALMIRA**



**ANEXO Q: PLANTA DE PINO CON NOTORIO DEFICIT NUTRICIONAL**



**ANEXO R: VÍA DE ACCESO A DIFERENTES PLANTACIONES DE PINO**



**ANEXO S: SUELO CON POCO PRESENCIA DE MATERIA ORGÁNICA**



**ANEXO T: PERDIDA DE ACICULAS EN PLANTACIONES DE PINO**



**ANEXO U: PLANTACIONES DE PINO PRESENTES EN LA PARROQUIA.**



**ANEXO V: OTRAS PLANTACIONES FORESTALES EN EL SECTOR**



**ANEXO W: RECONOCIMIENTO DE CAMPO**







**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:** 28 / 10 / 2021

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> <i>Jofre Danilo Robalino Mora</i>
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> <i>Recursos Naturales</i>
<b>Carrera:</b> <i>Ingeniería Forestal</i>
<b>Título a optar:</b> <i>Ingeniero Forestal</i>
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> <i>Lic. Luis Caminos Vargas Mgs.</i>

**LUIS  
ALBERTO  
CAMINOS  
VARGAS**

Firmado digitalmente  
por LUIS ALBERTO  
CAMINOS VARGAS  
Nombre de  
reconocimiento (DN):  
c=EC, l=RIOBAMBA,  
serialNumber=06027669  
74, cn=LUIS ALBERTO  
CAMINOS VARGAS  
Fecha: 2021.10.28  
08:11:07 -05'00'



1794-DBRA-UTP-2021