



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“Evaluación del almacenamiento de carbono de la especie forestal
“*Eucalyptus Globulus Lamill*” y su relación con los índices de vegetación en
el bosque de Pallasca - Ancash, 2018”

TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Ambiental

AUTOR:

Araujo Estrada, Ingrit Lucero

Díaz Abal, José Luis Emanuel

ASESOR:

M. Sc. Ing. Herrera Díaz, Marco Antonio

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y gestión de los recursos naturales

LIMA – PERÚ

2018

El Jurado encargado de evaluar la tesis presentada por don
(a)..... Jose Luis Emanuel Díaz Abal
cuyo título es: "Evaluación del almacenamiento de carbono de la
especie forestal "Eucalyptus Globulus Lamill" y su relación
con los índices de vegetación en el bosque de Pallasca - Ancash
2018."

Reunido en la fecha, escuchó la sustentación y la resolución de preguntas por
el estudiante, otorgándole el calificativo de: 1.7.....
(Número)..... Diecisiete..... (letras).

Lima..... 10de 12 del 2018



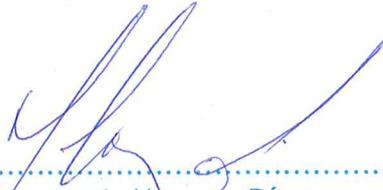
.....
Mg. Fernando A. Sernaqué Aucchuasi

PRESIDENTE



.....
Mg. Rita J. Cabello Torres

SECRETARIO



.....
Mg. Marco A. Herrera Díaz

VOCAL

Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Representante de la Dirección / Vicerrectorado de Investigación y Calidad	Aprobó	Rectorado
---------	----------------------------	--------	---	--------	-----------

Dedicatoria

A mis padres Arístides Araujo y Flor Estrada, los cual son el motivo de mi existir y razón de salir adelante. A mis hermanos Florencia, Rodrigo y Carlos, los cuales son los complementos de vida, amigos y compañeros con la cual Dios me bendijo para toda la vida. A mi sobrino Stefano Haziél, el más pequeño y engreído de casa. A mi cuñado Ángel Tocas, el nuevo integrante de la familia. A mis abuelos Cirilo, Ursulina, Florencia y a mi angelito Agustín Araujo desde cielo. Finalmente, a todos mis familiares, docentes, compañeros y amigos, los cuales han son mi mayor motivo y motor para emprender la lucha, han estado acompañándome en este largo camino desde que decidí emprenderlo mediante su apoyo incondicional, confianza y fuerzas, además han formado en mí, una mujer luchadora y con ganas de lograrlo todo, agradezco la confianza puesta en mí, mi inteligencia y capacidad en todo momento.

A mis padres Manuel Mesías Díaz Díaz y Eulogia Inocenta Abal Alejandro, a mi querido hermano, Zahir Mesias Díaz Abal y a mis abuelos, quienes han sido el principal motivo por el cual emprendí el camino del aprendizaje; agradecer también, a todos mis familiares, docentes, compañeros y amigos por su apoyo incondicional y muestras de confianza.

Agradecimiento

A Dios y al Señor de las Ánimas por todos los días de vida que han concedido y poder lograr y culminar esta etapa de mi vida,

A la Universidad Cesar Vallejo, por confiar en cada uno de los jóvenes que ponen a su servicio, a sus docentes, las cuales nos han acompañado en estos 5 años de carrera, nutriéndonos de conocimientos, experiencias y valores en beneficio de nuestra vida profesional y personal.

En especial a mis asesores, al Dc. Ing. Milton Cesar Tullume, Mg. Ing. Marco Herrera Díaz y al metodólogo Ing. Marco Sánchez Alvarado quienes me han apoyado durante la realización de la tesis.

A Dios por los días de vida concedidos y poner culminar la primera etapa de mi desarrollo profesional en la Universidad Cesar Vallejo, a sus docentes y asesores en especial al Dc. Ing. Milton Cesar Tullume, Mg. Ing. Marco Herrera Díaz y al metodólogo Dc. Ing. Marco Sánchez, Agradecido por su constante apoyo en cada una de las etapas de la tesis.

Declaratoria de autenticidad

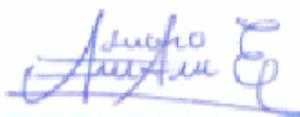
Yo, Araujo Estrada Ingrid Lucero, identificada con DNI N° 70330347, en efecto de cumplir con las disposiciones legales y vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Cesar Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Ambiental, uno de los autores de la investigación titulada: “Evaluación del almacenamiento de carbono de la especie forestal *Eucalyptus globulus Lamill*” y su relación con los índices de vegetación en el bosque de Pallasca - Ancash, 2018”, declaro bajo juramento que la tesis realizada es de mi autoría, la cual es veraz y auténtica.

Se ha respetado las normas internacionales de citado y referenciado para las fuentes consultadas, de los libros, artículos, etc. Por lo tanto, reafirmamos que la tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente durante el proceso de elaboración. Además, la realización de la tesis no ha sido autoplagiada; es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional con anterioridad ni en nuestra casa de estudios u otra entidad pública y privada.

Cada uno de los datos presentados en los resultados son reales y veraces, no han sido falseados o modificados a beneficio propio, ni copiados y por lo tanto los resultados que se presenten en la tesis se constituirán en aporte a la realidad investigada.

En tal sentido, de identificarse la falta de fraude (datos o resultados falsificados), plagio (información obtenida de libros sin citar a autores), autoplagio (presentar como nuevo algún trabajo de investigación propio que ya ha sido publicado), piratería (uso ilegal de información ajena) o falsificación (representar falsamente las ideas de otros), asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Lima, 10 de diciembre del 2018



Ingrid Lucero Araujo Estrada

DNI: 70330347

Declaratoria de autenticidad

Yo, Díaz Abal, José Luis Emanuel, identificada con DNI N° 75229046, en efecto de cumplir con las disposiciones legales y vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Cesar Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Ambiental, uno de los autores de la investigación titulada: “Evaluación del almacenamiento de carbono de la especie forestal *Eucalyptus globulus Lamill*” y su relación con los índices de vegetación en el bosque de Pallasca - Ancash, 2018”, declaro bajo juramento que la tesis realizada es de mi autoría, la cual es veraz y auténtica.

Se ha respetado las normas internacionales de citado y referenciado para las fuentes consultadas, de los libros, artículos, etc. Por lo tanto, reafirmamos que la tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente durante el proceso de elaboración. Además, la realización de la tesis no ha sido autoplagiada; es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional con anterioridad ni en nuestra casa de estudios u otra entidad pública y privada.

Cada uno de los datos presentados en los resultados son reales y veraces, no han sido falseados o modificados a beneficio propio, ni copiados y por lo tanto los resultados que se presenten en la tesis se constituirán en aporte a la realidad investigada.

En tal sentido, de identificarse la falta de fraude (datos o resultados falsificados), plagio (información obtenida de libros sin citar a autores), autoplagio (presentar como nuevo algún trabajo de investigación propio que ya ha sido publicado), piratería (uso ilegal de información ajena) o falsificación (representar falsamente las ideas de otros), asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Lima, 10 de diciembre de 2018



.....
José Luis Emanuel Díaz Abal

DNI: 75229046

Presentación

Señores miembros del Jurado calificador:

En cumpliendo con las disposiciones establecidas en el reglamento de grado y títulos de la Universidad César Vallejo; pongo a vuestra consideración y evaluación la presente investigación titulada “Evaluación del almacenamiento de carbono de la especie forestal “*Eucalyptus Globulus Lamill*” y su relación con los índices de vegetación en el bosque de Pallasca - Ancash, 2018”, con la finalidad de cumplir los requerimientos de aprobación para optar título de Ingenieros Ambientales.

La presente investigación está dividida en 7 partes:

Parte I. Introducción. Se considera la realidad problemática, trabajos previos, teorías relacionadas al tema, formulación del problema, justificación del estudio, hipótesis y objetivos de la investigación.

Parte II. Método. Se menciona el diseño de investigación, variables, operacionalización, población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad, métodos de análisis de datos y aspectos éticos de la investigación.

Parte III. Resultados. En esta parte se menciona las consecuencias del procesamiento de la información.

Parte IV. Discusión. Se presenta el análisis y discusión de los resultados encontrados durante la tesis.

Parte V. Conclusiones. Se considera en enunciados cortos a lo que se ha llegado en esta investigación, teniendo en cuenta los objetivos planteados.

Parte VI. Recomendaciones. Se precisa en base a los hallazgos encontrados.

Parte VII. Referencias. Se consigna todos los autores citados en la investigación.

Resumen

El presente trabajo de investigación se desarrolló en el departamento de Ancash, provincia y distrito Pallasca, el cual se llevó a cabo dentro de un área de ecosistema Bosque Semi-Montano con presencia de la especie forestal *Eucalyptus Globulus Lamill* en aproximadamente 600 hectáreas, considerado también un bosque homogéneo mixto por la presencia de especie forestal *Pinus sp.* El objetivo del trabajo fue evaluar la relación que existe entre la productividad primaria bruta de la especie forestal Eucalipto (*Eucalyptus Globulus Lamill*) y los índices de vegetación obtenidos a partir del uso de las imágenes satelitales del Bosque de Pallasca en el año 2018. Está basada en la metodología de nivel de estudio *descriptivo-correlacional* y de diseño de investigación *no experimental – transversal*, con muestreo indirecto (no destructivo) e instrumentos de recolección de datos como fichas de observación, la cual consiste en dos métodos de recolección de datos, trabajo de campo y gabinete para el cálculo del almacenamiento de carbono y trabajo de gabinete para la recolección de las imágenes satelitales. En donde, se utilizaron ecuaciones alométricas para calcular la biomasa aérea y posteriormente determinar el carbono almacenado y para el caso de las imágenes satelitales, se utilizaron fórmulas de los siguientes índices NDVI, NDWI, NDRE y MSI. Se realizó una serie de procesamientos y geoprocamos en el Software QGis para el cálculo de los índices de vegetación y el almacenamiento de carbono del área de estudio, para posteriormente relacionarlos con los valores del índices de vegetación y conocer la relación existente entre ellos y el porcentaje de aceptación de los valores, es por ello, que se calculó el Coeficiente de Regresión de Pearson, en donde se obtuvo un R^2 de 84.22% de aceptación en el gráfico de Dispersión de la relación entre la Masa de Carbono y el índice NDRE, y un R^2 de 85.43% de aceptación en el gráfico de Dispersión de la relación entre la Masa de Carbono y el índice NDVI. Concluyendo que la relación entre los valores de los índices de vegetación con la masa de carbono es directamente proporcional, teniendo una relación positiva ascendente, es decir, mientras haya una mayor valoración del índice de vegetación (NDRE y/o NDVI), habrá un mayor almacenamiento de carbono. Finalmente, se realizó el análisis de costo por el Servicio Ambiental de pago por bono de carbono, teniendo un total de 538.3992 toneladas de carbono almacenado en el área de estudio que representa un pago por servicio ambiental ascendente a los 1884.397 dólares, equivalente a 6350.419 soles aproximadamente.

.Palabras claves: Carbono almacenado, Ecuaciones alométricos. Indices de Vegetacion.

Abstract

The present research work was developed in the department of Ancash, province and Pallasca district, which was carried out within an ecosystem area Semi-Montane Forest with presence of the forest species *Eucalyptus Globulus Lamill* in approximately 600 hectares, considered also a homogeneous forest mixed by the presence of forest species *Pinus sp.* The objective of the work was to evaluate the relationship between the gross primary productivity of the *Eucalyptus* forest species (*Eucalyptus Globulus Lamill*) and the vegetation indexes obtained from the use of Pallasca Forest satellite images in 2018. It is based on in the descriptive-correlational study design methodology and non-experimental transversal research design, with indirect sampling (non-destructive) and data collection instruments such as observation cards, which consists of two methods of data collection, work of field and cabinet for the calculation of carbon storage and cabinet work for the collection of satellite images. Where, allometric equations were used to calculate the aerial biomass and later to determine the stored carbon and for the case of the satellite images, formulas of the following NDVI, NDWI, NDRE and MSI indices were used. A series of processing and geoprocessing was carried out. in the QGIS Software for the calculation of the vegetation indexes and the carbon storage of the study area, to later relate them to the values of the vegetation indexes and to know the relationship between them and the percentage of acceptance of the values, is for Therefore, the Pearson Regression Coefficient was calculated, where an R2 of 84.22% acceptance was obtained in the Dispersion chart of the relationship between the Carbon Mass and the NDRE index, and an R2 of 85.43% acceptance in the Dispersion chart of the relationship between the Carbon Mass and the NDVI index. Concluding that the relationship between the values of the vegetation indexes with the carbon mass is directly proportional, having a positive ascending relation, that is, while there is a higher valuation of the vegetation index (NDRE and / or NDVI), there will be a greater carbon storage. Finally, the cost analysis by the Environmental Service of payment by carbon bond was made, having a total of 538.3992 tons of carbon stored in the study area that represents a payment for environmental service up to 1884.397 dollars, equivalent to 6350.419 soles approximately.

.Chairs: Stored carbon, Allometric equations. Vegetation Indices

Índice General

Caratula.....	I
Página del jurado.....	II
Dedicatoria.....	III
Agradecimiento.....	V
Declaratoria de autenticidad.....	VII
Presentación.....	IX
Resumen.....	X
Abstract.....	XII
Anexos.....	15
Índice de gráficos.....	16
Índice de fórmulas.....	18
Índice de imágenes	29
Índice de tablas.....	21
I.INTRODUCCION.....	22
1.1 Realidad problemática.....	26
1.2 Trabajos previos.....	28
1.3 Teorías relacionadas al tema.....	34
1.3.1 Aspectos generales de los bosques en el Perú.....	34
• Hechos históricos: números y cifras.....	34
• Protocolo de Kioto.....	35
1.3.2 Estimación del almacenamiento de carbono en los bosques de Perú	36
• Bosques en el Perú.....	36
• El dióxido de carbono.....	37
• La biomasa de carbono y su relación con el metabolismo arbóreo	38
1.3.3 Uso de la Teledetección para la estimación de carbono fotosintético.	39
• Historia de la Teledetección.....	41
• Sensores remotos a utilizar.....	42
• Análisis digital de las imágenes y medición del almacenamiento de carbono – Descripción de los Índices de Vegetación.....	44
1.3.4 El bosque de Pallasca.....	49
• Eucalipto (Eucalyptus Globulus)	49
• Descripción de la zona de estudio.....	50
• Diagnóstico y clasificación arbórea.....	52
• Recopilación de datos.....	52
1.3.5 Ecuaciones Alométricos	53
• Métodos: Directo e Indirecto.....	53
• Ubicación de las parcelas.....	55
• Tiempos de medición.....	55
• Establecimientos de parcelas.....	55
• Estimación del número de parcelas.....	53
• Medición de árboles.....	56
• Fase de gabinete: Formulas Alométricas.....	56
• Modelos alométricos planteados.....	59

• Otros estudios similares.....	62
1.3.6 Valoración Económica Ecológica.....	63
• Alcances y definiciones generales.....	63
• Mercado de Carbono en América.....	67
1.4 Formulación del problema.....	69
1.5 Justificación de estudio.....	70
1.6 Hipótesis.....	73
1.7 Objetivos.....	74
II. METODO.....	75
2.1 Diseño de la investigación.....	75
2.2 Variables, Operacionalización.....	76
2.2.1 Variables.....	76
2.2.2 Operacionalización de las variables.....	76
2.2.3 Matriz de Operacionalización de variables.....	78
2.3 Población y muestra.....	19
2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.....	84
2.5 Métodos de análisis de datos.....	85
2.6 Aspectos éticos.....	91
III. RESULTADOS.....	92
3.1 Procesamiento de Imágenes Landsat 8 (Área de Estudio).....	93
3.2 Procesamiento de Imágenes Sentinel 2A (Área de Estudio).....	97
3.3 Obtención de la Masa de Carbono	110
3.4 Calculo de los Indices de Vegetación por Imagen Satelital	114
3.4.1 Imagen Satelital 06/28/18	115
3.4.2 Imagen Satelital 07/08/18	118
3.4.3 Imagen Satelital 08/07/18	121
3.4.4 Imagen Satelital 08/17/18	124
3.5 Calculo de los índices de Vegetación de la 5° y 6° imagen satelital – Distorsión atmosférica	127
3.6 Obtención de los valores promedios de los índices de vegetación ...	129
3.6.1 Evaluación de los resultados de la masa de carbono en factor índices de vegetación	132
3.7 Calculo monetario del Servicio Ambiental en factor al pago por Bono de Carbono	150
IV. DISCUSION.....	151
V. CONCLUSIONES.....	153
VI. RECOMENDACIONES	157
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	158
ANEXOS.....	169

ANEXOS

Anexo 1:	Imagen de la localización del área de estudio – Pallasca	169
Anexo 2:	Ficha de Observación de Imágenes Satelitales	170
Anexo 3:	Fichas de Recolección de Datos en Campo	171
Anexo 4:	Fichas de Coordenadas de Ubicación de las Parcelas de Estudio	172
Anexo 5:	Fichas de Imagen LANDSAT – OLI	173
Anexo 6:	Fichas de Imagen SENTINEL 2A- MSI	174
Anexo 7:	Ficha de Medición de la Biomasa de Carbono	175
Anexo 8:	Fichas de Validación	176
Anexo 9:	Matriz de consistencia	180
Anexo	Fotografías	181
10:		

Índice de gráficos

Grafico 1:	Proceso fotosintético de la planta	38
Grafico 2:	Ciclo de carbono de los arboles	39
Grafico 3:	Zona de estudio	52
Grafico 4:	Organización de un área de medición de biomasa con 7 pasos	55
Grafico 5:	Ilustración de la altura total, altura de fuste y diámetro a la altura del pecho	57
Grafico 6:	Servicios ecosistémicos	67
Grafico 7:	Diseño de la Investigación	76
Grafico 8:	Procesamiento Sentinel 2A	90
Grafico 9:	Procesamiento Landsat 8 OLI/TIRS	38
Grafico 10:	Gráfico de dispersión entre la masa de carbono y el NDRE.	91
Grafico 11:	Gráfico de dispersión entre la DAP y el NDRE	138
Grafico 12:	Gráfico de dispersión entre la altura del árbol y el NDRE	139
Grafico 13:	Gráfico de dispersión entre la masa de carbono y el NDVI	139
Grafico 14:	Gráfico de dispersión entre la DAP y el NDVI	140
Grafico 15:	Gráfico de dispersión entre la altura del árbol y el NDVI	141
Grafico 16:	Gráfico de dispersión entre la masa de carbono y la altura del árbol	141
Grafico 17:	Gráfico de dispersión entre la masa de carbono y la DAP (1ra imagen)	142 143
Grafico 18:	Gráfico de dispersión entre la DAP y la altura del árbol.	143
Grafico 19:	Gráfico de dispersión entre la masa de carbono y el NDRE	149
Grafico 20:	Gráfico de dispersión entre la masa de carbono y el NDVI	149

Índice de fórmulas

Fórmula 1:	Fórmula del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada	46
Fórmula 2:	Fórmula del Índice de Diferencia Normalizada al Borde Rojo	46
Fórmula 3:	Fórmula del Índice de estrés hídrico	47
Fórmula 4:	Fórmula del Índice de agua de Diferencia Normalizada	47
Fórmula 5:	Fórmula del Índice de estrés hídrico de los cultivos	48
Fórmula 6:	Fórmula del Índice de Vegetación de Suelo Ajustado	48
Fórmula 7:	Estimación del número de parcelas	56
Fórmula 8:	Densidad Básica	60
Fórmula 9:	Volumen Húmedo o Saturado	60
Fórmula 10:	Masa Seca	60
Fórmula 11:	Masa de Carbono	61
Fórmula 12:	Formula de biomasa aérea	62
Fórmula 13:	Coeficiente de Pearson	91

Índice de imágenes

Imagen 1:	Imagen Landsat – Normalized Difference Vegetation Index – 06/21/18	93
Imagen 2:	Imagen Landsat – Mousture Stress Index – 06/21/18	93
Imagen 3:	Imagen Landsat – Normalized Difference Water Index – 06/21/18	94
Imagen 4:	Imagen Landsat – Normalized Difference Vegetation Index – 07/07/18	94
Imagen 5:	Imagen Landsat – Mousture Stress Index – 07/07/18	94
Imagen 6:	Imagen Landsat – Normalized Difference Water Index – 07/07/18	95
Imagen 7:	Imagen Landsat – Normalized Difference Vegetation Index – 07/23/18	95
Imagen 8:	Imagen Landsat – Mousture Stress Index – 07/23/18	95
Imagen 9:	Imagen Landsat – Normalized Difference Water Index – 07/23/18	95
Imagen 10:	Imagen Landsat – Normalized Difference Vegetation Index – 08/24/18	96
Imagen 11:	Imagen Landsat – Mousture Stress Index – 08/24/18	96
Imagen 12:	Imagen Landsat – Normalized Difference Water Index – 08/24/18	96
Imagen 13:	Imagen Landsat – Normalized Difference Vegetation Index – 09/09/18	96
Imagen 14:	Imagen Landsat – Mousture Stress Index – 09/09/18	97
Imagen 15:	Normalized Difference Water Index – 09/09/18	97
Imagen 16:	Imagen Sentinel – Imagen satelital del area de estudio – 06/28/18	97
Imagen 17:	Imagen Sentinel – Normalized Difference Vegetation Index – 06/28/18	98
Imagen 18:	Imagen Sentinel – Mousture Stress Index – 06/28/18	98
Imagen 19:	Imagen Sentinel – Normalized Difference Water Index – 06/28/18	99
Imagen 20:	Imagen Sentinel – Normalized Difference Red Edge – 06/28/18	99
Imagen 21:	Imagen Sentinel – Imagen satelital del área de estudio – 07/08/18	100
Imagen 22:	Imagen Sentinel – Normalized Difference Vegetation Index – 07/08/18	100
Imagen 23:	Imagen Sentinel – Mousture Stress Index – 07/08/18	101
Imagen 24:	Imagen Sentinel – Normalized Difference Water Index – 07/08/18	101
Imagen 25:	Imagen Sentinel – Normalized Difference Red Edge – 07/08/18	102
Imagen 26:	Imagen Sentinel – Imagen satelital del área de estudio – 08/07/18	102
Imagen 27:	Imagen Sentinel – Normalized Difference Vegetation Index – 08/07/18	103
Imagen 28:	Imagen Sentinel – Mousture Stress Index – 08/07/18	103
Imagen 29:	Imagen Sentinel – Normalized Difference Water Index – 08/07/18	104

Imagen 30:	Imagen Sentinel – Normalized Difference Red Edge – 08/07/18	104
Imagen 31:	Imagen Sentinel – Normalized Difference Vegetation Index – 08/17/18	105
Imagen 32:	Imagen Sentinel – Mousture Stress Index – 08/17/18	105
Imagen 33:	Imagen Sentinel – Normalized Difference Water Index – 08/17/18	106
Imagen 34:	Imagen Sentinel – Normalized Difference Red Edge – 08/17/18	106
Imagen 35:	Imagen Sentinel – Imagen satelital del área de estudio – 08/27/18	107
Imagen 36:	Imagen Sentinel – Normalized Difference Vegetation Index – 08/27/18	107
Imagen 37:	Imagen Sentinel – Mousture Stress Index – 08/27/18	108
Imagen 38:	Imagen Sentinel – Normalized Difference Water Index – 08/27/18	108
Imagen 39:	Imagen Sentinel – Normalized Difference Red Edge – 08/27/18	109

Índice de tablas

Tabla 1:	Diferencias entre los sensores Landsat 8 y Sentinel 2A	44
Tabla 2:	Clasificación taxonómica del <i>Eucalyptus</i>	49
Tabla 3:	Densidad básica de la madera de <i>Eucalyptus globulus</i>	59
Tabla 4:	Modelos alométricos basados en la determinación de biomasa aérea o masa de carbono	62
Tabla 5:	Precios actuales de los fondos de carbono en América Latina	68
Tabla 6:	Imágenes satelitales utilizadas	80
Tabla 7:	Materiales y equipos para el cálculo del carbono en campo	81
Tabla 8:	Datos y resultados de la validación	85
Tabla 9:	Información de las imágenes satelitales de LANDSAT 8 OLI/TIRS	87
Tabla 10:	Información de las imágenes satelitales de SENTINEL 2A	87
Tabla 11:	Resultados de los Índices de vegetación – LANDSAT 8 OLI/TIRS	89
Tabla 12:	Obtención de la Masa de Carbono	110
Tabla 13:	Cálculo de los Índices de la 1° IMAGEN – Fecha: 28 de junio del 2018	115
Tabla 16:	Valores máximos y mínimos de los índices (1ra imagen)	117
Tabla 15:	Calculo de los Índices de la 2° IMAGEN – Fecha: 08 de julio del 2018	118
Tabla 16:	Valores máximos y mínimos de los índices (2da imagen)	120
Tabla 17:	Cálculo de los Índices de la 3° IMAGEN – Fecha: 07 de agosto del 2018	121
Tabla 18:	Valores máximos y mínimos de los índices (3ra imagen)	123
Tabla 19:	Cálculo de los Índices de la 4° IMAGEN – Fecha: 17 de agosto del 2018	124
Tabla 20:	Valores máximos y mínimos de los índices (4ta imagen)	126
Tabla 21:	Valores de los índices que presentan distorsión atmosférica.	127
Tabla 22:	Valores de los índices sin distorsión atmosférica.	129
Tabla 23:	Relación de los índices promedios con la masa de carbono.	132
Tabla 24:	Relación de los índices promedios con la masa de carbono en imágenes con presencia de nubosidad.	143
Tabla 25:	Calculo del pago por el Servicio Ambiental	150

I. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas forestales cumplen un papel fundamental en la regulación térmica a nivel mundial; además tienen como función almacenar el carbono, producto del secuestro del CO₂ presente en la atmosfera, generando una alternativa natural de como poder mitigar el cambio climático y asimismo evitar que los seres humanos se vean afectados por dicho fenómeno en el futuro. Según el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2016) “nos menciona que los beneficios más valiosos que se obtienen de los bosques son los servicios de los ecosistemas, que incluyen la regulación del clima, la protección del suelo de los efectos del agua, el viento y la temperatura, así como el mantenimiento de la humedad y su aporte al ciclo del agua” (p.13). Además de estas importantes funciones se tiene otros beneficios referida principalmente al almacenamiento del carbono, tal como lo afirma Morales y Tullume (2015) “la capacidad de los ecosistemas forestales para almacenar carbono en forma de biomasa aérea varía en función de la composición florística, la edad y la densidad”. (p.17)

El dióxido de carbono (CO₂) es el gas de efecto invernadero antropogénico más importante generado a partir de las actividades humanas, por ejemplo, de la deforestación. En los últimos años los niveles de CO₂ se han incrementado a raíz de la Revolución Industrial que tuvo sus inicios en el siglo XVIII, desde entonces hasta la actualidad viene aportando grandes cantidades hacia la atmosfera.

En la actualidad la destrucción de bosques es producto de la deforestación o el cambio de uso de suelo con nuevas plantaciones. En algunas zonas tropicales la explotación de la madera tiene origen en la producción agrícola, la población tumba y quema los bosques con el objetivo de ampliar la frontera agrícola y generar hectáreas de cultivos ilícitos y potreros, la cual genera pérdidas de biodiversidad. En la búsqueda de una solución para controlar a los generadores del cambio climático, se han planteado un sin número de estrategias, planes, políticas, entre otros, que solo generan que la preocupación a nivel mundial aumente; los estragos de la naturaleza cada vez son notorios y sin duda nosotros no somos ajenos que los cambios del planeta se están manifestando.

Según el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), el calentamiento en el sistema climático es inequívoco y desde 1950 muchos de los cambios observados no tienen precedentes en los últimos decenios a milenios. La atmósfera y el océano se han calentado, los volúmenes de nieve y hielo han disminuido, el nivel del mar se ha elevado y las concentraciones de gases de efecto invernadero han aumentado.

Unas de las mejores estrategias de prevenir y contribuir al medio ambiente, es mediante reservas naturales de carbono llamados “sumideros”, que consiste en absorber el CO₂ de la atmósfera y quede retenido en la biomasa viva de los ecosistemas forestales. Es ahí donde nace la importancia de poder estudiar la vegetación como almacenes naturales del principal contribuidor al cambio climático, a partir de ello Morales y Tullume (2015) nos menciona que los ecosistemas forestales tienen 5 formas de como capturar el CO₂ del ambiente, mediante biomasa aérea (tallos, ramas y hojas) y biomasa subterránea (raíces y suelo).

Por otro lado, la falta de cuidado en los ecosistemas forestales puede invertir este proceso generando que se conviertan en un importante emisor de gases, según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2013) los bosques desempeñan una función importante en la mitigación del cambio climático; sin embargo, cuando se desbrozan o se degradan, también son una fuente importante de emisiones de gases de efecto invernadero (p. 4). Con respecto al cambio climático, los bosques tienen diferentes partes de la problemática: al mismo tiempo, son parte del problema y parte de la solución, pero al sufrir los efectos de cambio climático se convierten en víctimas. (MINAM, 2015 p. 15).

A raíz de ello se empleará la forma adecuada de poder evitar los daños colaterales por la falta de cuidado, protección y preservación del medio ambiente, entonces surgirá la inquietud de establecer planes y políticas trascendentales en la investigación, sin embargo, durante el desarrollo se presentan limitaciones por resultar los estudios de muy alto costo. Es así que las nuevas formas de realizar investigación se iniciaron, tomando como base principal las imágenes satelitales siendo un medio mucho más económico y rentable que los demás.

La teledetección, una forma más rentable de realizar estudios de los recursos naturales y tomar decisiones para la gestión adecuada. Este método se basa netamente en algunas propiedades que tienen las plantas al momento de interactuar con la radiación solar, tal como lo afirma Pérez y Muñoz (2006) la vegetación a través de los pigmentos da respuesta espectral en el visible, en donde la clorofila controla las absorciones que se producen entre las bandas (p.122)

La siguiente tesis de investigación consta de 7 partes fundamentales las cuales abordan las etapas de realización y avance de la investigación; la 1º parte del trabajo es la *introducción* en donde el lector entrará a conocer el tema la cual es objeto de investigación y así conocerá los motivos principales del estudio, además esta parte de la tesis considera la realidad problemática, en donde se busca los antecedentes a través del tiempo para lograr entender los cambios del lugar de estudio en diferentes perspectivas, también se recopilaron trabajos realizados acerca del tema las cuales serán de ámbito nacional e internacional y las bases principales de formulación del problema, justificación del estudio, hipótesis y objetivos principales de la investigación.

La 2º parte de la investigación es la *metodología*, en donde se menciona el diseño de investigación, las variables que serán motivo de evaluación, el lugar de estudio, población y muestra del objeto de estudio, las técnicas e instrumentos que ayudaron en la recolección y obtención de los datos, los expertos que validaron la investigación y dieron la opción de confiabilidad a la investigación, además del método de análisis y aspectos éticos de la investigación.

La 3º parte de la investigación son los *resultados* las cuales han sido obtenidos en concordancia a los datos recolectados en campo y gabinete, determinados con el procesamiento de cada uno de los valores.

La 4º parte de la investigación es la *discusión* en donde se discutieron y evaluaron los datos obtenidos en la etapa de resultados.

La 5º parte de la investigación son las *conclusiones* en donde respondimos a los objetivos e hipótesis planteados al inicio de la investigación.

La 6º parte de la investigación son las *Recomendaciones* en donde se precisaron algunos hallazgos en concordancia a todo lo planteado durante la

investigación y finalmente la 7^o parte de la investigación son las *referencias* en donde se consiga cada uno de los artículos, trabajos, revistas, entre otras, que han sido consultados durante la investigación.

A partir de ello, el presente trabajo tiene como objeto, evaluar la relación que existe entre el almacenamiento de carbono de la especie forestal Eucalipto (*Eucalyptus globulus* Lamill) y los índices de vegetación obtenidos a partir del uso de las imágenes satelitales en el Bosque de Pallasca – Ancash en el año 2018, buscando cuantificar la línea de tiempo de almacenamiento del carbono de ambas especies, proponiendo nuevas metodologías de comparación de toma de muestras campos y laboratorio, las cuales nos permitirán valorar económica el recurso forestal.

1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA

Las investigaciones realizadas acerca de la estimación de carbono en ecosistemas forestales deberían ser consideradas un instrumento de gestión, porque establecen sistemas que te permitan saber el estado actual del planeta con relación a las emisiones generadas en las últimas décadas. Las imágenes satelitales juegan un papel importante a partir del siglo XXI, porque generan puertas a la investigación, siendo más rentables y menos costosas su realización.

El interés por estudiar el estado actual de la tierra incrementa a partir de que el ser humano se ve afectado con los llamados fenómenos climáticos que tienen el origen en el incremento de los Gases de Efecto Invernadero (GEI), Orellana (2012) menciona que el CO₂ está considerado como el más importante GEI en la actualidad y que en el último año incremento de 389 a 391.05 ppm (p.1).

Según Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) mencionan que de los 29 millones de toneladas al año que se producen de GEI, 23 millones son producto de la industrialización y quema de combustibles fósiles, además agrega también que se han visto incrementadas a partir del año 1970 a 2010 donde supera los rangos considerándose los decenales absolutos de mayores aumentos (2014, p.6). Las cantidades varían de acuerdo a cada año y lugar, porque una forma influyente a que se desarrolle todos los cambios de planeta se los debemos a los factores medioambientales.

Se tiene números crecientes en cuanto a contaminantes, pero los números caen cuando se hablan de alternativas de solución, las diferencias varían a razón de que el incremento población es exponencialmente y la demanda de bienes y servicios a consumir hace que los recursos se degraden, se generen contaminantes para obtener una imagen contradictoria a lo que se llama una buena vida. Se tiene que recalcar que los estudios se centran en los ecosistemas forestales por ser considerados grandes almacenes de carbono, después del mar y que sin duda con la ayuda de la teledetección hará que la investigación sea fructífera ya que se necesita acciones para la solución de una problemática global.

Al respecto de la problemática desatada a nivel mundial, IPCC sostiene:

Las emisiones antropogénicas de CO₂ realizadas a la atmósfera entre 1750 y 2011 fueron de 2040 ± 310 Gt de CO₂. Alrededor del 40% de estas emisiones se han mantenido en la atmósfera (880 ± 35 Gt de CO₂); el resto ha pasado a ser absorbido por la tierra (plantas y suelos) y por los océanos. El océano ha absorbido alrededor del 30% del CO₂ antropogénico emitido, lo que ha provocado su acidificación. Aproximadamente la mitad de las emisiones antropogénicas de CO₂ entre 1750 y 2011 se han producido en los últimos 40 años. Si se consideran los diferentes sectores de actividad, en 2010 el 35% de las emisiones de GEI fueron originadas por el sector de la energía, el 24% por la silvicultura – fundamentalmente por deforestación- y otros cambios en el uso de suelo, el 21% por la industria, el 14% por el transporte y el 6,4% por el sector de la construcción. (2016, p. 11).

Es sumamente crítico el aumento de los GEI en un periodo de tiempo tan corto, pero sin duda no podemos contar con el único responsable al CO₂ porque existe otros GEI's que también han incrementado, la Organización Meteorológica Mundial (OMM) en la publicación de su boletín sobre los gases de efecto invernadero realizó una cuantificación del porcentaje de calentamiento de cada uno de los gases para los cuales se obtuvo los siguientes resultados: 278 ppm (partes por millón) para el CO₂, de 722 ppb (partes por billón) para el CH₄ y de 270 ppb (partes por billón) para el N₂O, las cuales han incrementado en el último periodo preindustrial (2015, p. 2).

Se ha identificado cuales son las raíces de los incrementos de las emisiones a la atmósfera, la cual se desencadena en la sobrepoblación considerándola una variable exponencial a lo largo de los años, hemos superado tres veces el incremento de lo normal y la población sigue en aumento. Mayores volúmenes de personas necesitan como satisfacer necesidades básicas y con ello se genera la depresión de los recursos naturales para generar insumos y productos que puedan cubrir la necesidad actual. Menciona la OCDE (2015) que las emisiones de carbono que se han registrado significa que, si la población de un país aumenta, sus emisiones totales pueden incrementarse, aunque se reduzcan los niveles per cápita, independiente del lugar de origen de las emisiones (p. 126).

Para el caso de Perú no es distinta, aunque es considerado uno de los países menos contaminantes, las cifras han ido en aumento. Según Expansión (2017) “las

emisiones de CO₂ en 2016 han sido de 57.693 kilotoneladas; con respecto al 2015 las concentraciones han crecido 4.355 kilotoneladas, es decir un 8,16%. Además, el Perú, está considerado el país número 131 del ranking de países generadores de emisiones de CO₂ de una lista de 181 países”. A raíz de las estadísticas expuestas se demuestra que ningún lugar, espacio, terreno no está expuesto a la problemática global y que por ms pequeña sea la concentración las consecuencias serán las mismas.

1.2. TRABAJOS PREVIOS

JURADO, Daniela y LOZANO, Diego (2014), realizaron un estudio en donde se plantío como objetivo estimar y comparar la estimación de biomasa aérea y carbón almacenado en la nano cuenca Arroyo El Calabozo, en Nuevo León, México, combinando tecnología LIDAR e imágenes de alta resolución WorldView-2. Para ello se utilizó la metodología cuantitativa, las imágenes satelitales contienen información 2D mientras que la tecnología LIDAR permite visualizar la estructura vertical del bosque y así facilita la medición de la altura del árbol. Se filtraron los datos LIDAR y se realizó el modelo digital de copas basado en los modelos digitales de terreno y superficie. Se segmentaron las copas individuales de la vegetación arbórea utilizando segmentación de multiresolución y se estimó la biomasa aérea utilizando factores de expansión a partir de volumen. Las alturas y el diámetro de copa fueron calculadas a partir de los datos LIDAR y el diámetro a la altura del pecho fue estimado a través de un modelo de regresión lineal con el diámetro de copa de datos medidos en campo. La segmentación tuvo una precisión del 87% comparado con los árboles medidos en campo. La relación entre el diámetro a la altura del pecho y el diámetro de copa para todas las especies identificadas fue de $R^2=0.37$ y para la especie dominante resulto un incremento en la relación con $R^2=0.55$. La comparación de alturas calculadas con LIDAR y medidas en campo muestra una $R^2=0.88$. Se estimó aproximadamente que el almacenamiento de carbono es de 104 tc/ha y comparado con las estimaciones en campo tiene un ajuste de $R^2=0.76$. En conclusión, el trabajo de investigación propuso una metodología para poder realizar estimaciones de carbono en un bosque combinando dos metodologías de satélite y LIDAR, se demostró que los trabajos individuales de campo y gabinete ayudaron a la determinación de carbono en áreas

extensas a través de la percepción remota, la cual permitió estimar el almacenamiento de carbono y las características (altura, diámetro de copa, diámetro a la altura del pecho) de los 83,618 árboles segmentados.

GONZAGA, Carlos (2014), realizó un estudio de la estimación de la calidad y tipo de cobertura vegetal de la zona centro de la provincia de Loja – Ecuador mediante el procesamiento de imágenes satelitales multisensores. En tal sentido, el trabajo de investigación consistió en el estudio y evaluación de tres índices de vegetación, como estimadores de cambios de diferentes tipos de cobertura vegetal. Los índices empleados para este fueron: el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada NDVI, Índice de Estrés Hídrico MSI y el Índice de Vegetación Ajustado al Suelo SAVI, aplicados a imágenes provenientes de dos sensores, Landsat 7 ETM+ y ASTER. Los resultados obtenidos de los tres índices de vegetación permitieron discriminar los diferentes tipos de cobertura vegetal analizadas, no hubo diferencias significativas entre los tres. En cuanto a la capacidad para estimar el estado de las coberturas el MSI fue el índice que tuvo ligeramente mejor correspondencia entre sus valores y los estados de las coberturas vegetales en las dos imágenes. Las insuficiencias y vacíos de datos climáticos en el área de estudio, no permitieron obtener superficies de precipitación y temperatura adecuada; finalmente, se empleó una técnica de análisis espacial, a partir de una red de elevaciones contenidas en un modelo de elevación digital, la cual permitió determinar las diferencias entre el área real y el área proyectada. En contraste, los índices de vegetación evaluados MSI, SAVI y NDVI derivados de imágenes de ASTER y Landsat 7 ETM+ permitió estimar el estado de la calidad o vigor vegetal de las coberturas vegetales en la zona centro de la provincia de Loja – Ecuador.

ORELLANA, Omar (2012), estimó la cantidad de biomasa y carbono almacenado en la zona núcleo del Parque Nacional Montaña de Celaque (PNMC), utilizando como herramientas la teledetección y los sistemas de información geográfica. Para lo cual, el trabajo se realizó en 15, 821.82 ha, en siete tipos de cobertura del suelo donde se realizó un inventario estratificado con selección sistemática de las parcelas siguiendo la metodología de REDD-GIZ. Para ello se elaboró un mapa de tipos de cobertura del suelo mediante una clasificación supervisada de una imagen satelital Landsat TM 2011, con el software Erdas

Imagine. Fueron distribuidas 367 parcelas, en los 7 tipos de cobertura encontrados en la zona núcleo del PNMC; en las cuales se obtuvo los siguientes resultados para la estimación de biomasa: bosque conífero denso 1,198.5 TM/ha, conífera ralo 116.4 TM/ha, guamil 114 TM/ha, latifoliado 285.8 TM/ha, mixto denso 932.3 TM/ha, mixto ralo 105.8 TM/ha y para pastizales y/o agricultura 46.5 TM/ha, así mismo, para el carbono almacenado los resultados estimados fueron: bosque conífera denso 619.3 TM/ha, conífera ralo 60 TM/ha, guamil 58 TM/ha, latifoliado 142.9 TM/ha, mixto denso 479.6 TM/ha, mixto ralo 54.3 TM/ha y para pastizales y/o cultivos agrícolas 23.5 TM/ha; para un total estimado de 9,742,895.9 TM y 5,009,886 TM de biomasa y carbono, respectivamente. El carbono almacenado en el suelo a una profundidad de 30 cm fue estimado en 61.8 TM/ha para un total estimado de 977,053.3 TM. En conclusión, la cantidad total estimada de biomasa y carbono almacenado en la zona núcleo del Parque Nacional Montaña de Celaque fue de 9, 742,895.9 TM y 5, 986,939.3 TM, respectivamente.

SANCHEZ, Aida (2016), realizó un estudio sobre la estimación de la captura de carbono orgánico sobre el suelo del Bosque Ceja Andina de la Comunidad Indígena Huangras, a partir de imágenes satelitales LANDSAT 7 ETM+ y datos registrados en campo; se utilizó información dasométrica registrada en parcelas permanentes de muestreo instaladas por el proyecto; el procedimiento del trabajo se basó en la división de 5 fases: trabajo de campo que consiste en la determinación de las parcelas de estudio y monitoreo, cálculo de la cantidad de biomasa en base a todos los datos recolectados en campo, pre-procesamiento de la imagen de satélite Landsat 7, análisis de correlación de datos de campo vs datos espectrales, estimación de la cantidad de biomasa mediante el modelo de interpolación K-nn y la validación de los datos obtenidos a través de un método estadístico. En conclusión, los resultados que se obtuvieron fueron la comunidad Huangras posee una cantidad de 988.366,30 toneladas de biomasa de las cuales 82,57% se encuentra contenido en el bosque sin intervención, el 13,08% se encuentra capturado en el bosque intervenido, 4,18% en páramo y 0,16% en pastos y cultivos. Además, este compuesto por 11 especies, 10 géneros y 10 familias y presento un diámetro promedio a la altura del pecho de 26.36 cm, altura total promedio de 7.84 m y un área basal de 20, 19 m²/ha. Para finalmente, que la cantidad de biomasa almacenada y carbono sobre el suelo, 200,58 y 100,41 t/ha, respectivamente, en

comparación con el bosque intervenido que presento 70,50 t/ha, respectivamente, en comparación con el bosque intervenido que presento 70,50 t/ha de biomasa.

Según DIAZ Garcia-Cervigon, Juan (2015) realizó un estudio donde se planteó como objetivo realizar de monitoreo en agricultura de precisión a partir de imágenes áreas tomadas con cámara multiespectrales montadas sobre UAS/RPAS, donde analizaran la variabilidad agronómica según diferentes índices de vegetación y se realizó un estudio estadístico entre estos índices (NDVI, GNDVI, RVI, GVI, NGRDI, RG), viendo cuál de estos índices tienen mayor correlación con el NDVI, haciendo un análisis de regresión entre ellos.

LOPEZ, Amado (2012), determinó cuál de las dos fuentes de datos LiDAR aerotransportados o imágenes de satélite GeoEye VHR puede proporcionar una información más precisa para la estimación de la biomasa/carbono en el bosque subtropical de Chitwan, Nepal. Una imagen de satélite GeoEye de muy alta resolución proporciona información solamente en dos dimensiones mientras que los datos LiDAR proporcionan información en tres dimensiones. Los datos LiDAR requieren más análisis porque la información original del sensor se adquiere en una nube de puntos. A continuación, un modelo digital de superficie (DSM) y un modelo digital del terreno (DTM) se derivaron de la nube de puntos Canopy Modelo Altura (CHM), que es la altura de los árboles, se calculó como la diferencia entre DSM y DTM. La altura de los árboles derivados de los datos LiDAR se comparó con la altura de los árboles medidos en el campo. Lidar CHM e imágenes GeoEye fueron segmentados utilizando la técnica de análisis orientado a objetos (OOA) para delinear copas de los árboles individuales y los resultados se compararon con la delineación manual de deriva de campo. A continuación, se utilizaron los segmentos derivados de las dos imágenes para desarrollar modelos para estimar el diámetro en la altura del pecho (DBH). Con la DAP estimada más precisa, la biomasa por encima del suelo (AGB) se calculó usando una ecuación alométrica que considera DAP, Altura (H) y gravedad específica de la madera (ρ). Los resultados muestran que no hay diferencia significativa entre la altura de los árboles derivados de los datos LiDAR y la altura de los árboles medidos en el campo. Sin embargo, el error cuadrático medio (RMSE) muestra un valor relativo del 27%. El resultado de la segmentación implica que los objetos de GeoEye se compararon

con las derivadas de datos LiDAR con una diferencia de 14%. Se utilizaron segmentos derivados de GeoEye y LiDAR imágenes para desarrollar modelos y muestra que el modelo de alimentación y de datos LiDAR es más preciso para predecir DBH de CPA. Por último, la estimación de las existencias de carbono dio como resultado un valor medio de 1.894,08 kg C / árbol, que es equivalente a 181,34 MgC ha⁻¹. Por lo tanto, la biomasa / estimación del carbono y la cartografía en el bosque subtropical es factible la utilización de datos LiDAR.

ARICAK, Burak; BULUT, Alper; ALTUNEL, Arif y SAKICI, Oytun (2015), realizaron una estimación del carbono en la biomasa por encima del suelo usando valores de reflexión imágenes de satélite en un caso de en la Dirección de los bosques CamYazi, Turquía. Esta investigación proporciona una ecuación de regresión entre los valores de reflexión imagen de satélite de alta resolución RapidEye desde diferentes áreas de muestra donde terrestre biomasa aérea (AGB) Capacidad de carbono se calculó por el método directo mensurable. Como se concluyó en los resultados de los cálculos realizados, $R^2 = 0,71$ dependiendo de los datos de Erzurum Camyazi Dirección Forestal área de estudio que abarca 9.917 hectáreas, se encontró que la cantidad de carbono almacenado en las masas 285,208 toneladas. A partir de este valor, podemos concluir que promedie las reservas de carbono de la zona de estudio es de 28,8 toneladas/ha.

PARETA, Kuldeep y PARETA, Upasana (2011), realizaron un estudio sobre la creación de datos de referencia, preparación de uso de la tierra y mapa de cobertura terrestre, identificación de clases de bosques dinámicos y clases no forestales dinámicos, densidad de la vegetación para poder producir mapas a través del análisis del NDVI de los datos de teledetección, crear bases de datos para el mapeo de reserva de carbono, realizar evaluación del uso de la tierra y la cubierta terrestre impactos sobre el carbono del suelo por encima de stock. En contexto el trabajo cuenta con una metodología cuantitativa porque se propone estimar las reservas de carbono usando sensores remotos para el distrito de SAGAR, además que los datos obtenidos del satélite se han utilizado como fuente primaria de datos de clasificación de bosque, uso de la tierra, mapeo de la cobertura de la tierra, la gestión de carbono de los bosques, la estimación de la biomasa, la teledetección de cambio de uso de la tierra-bosque-carbono y cartografía de la

ecología. Desde el punto de vista forestal, es importante estar alerta de que el Protocolo de Kyoto considera explícitamente la forestación, la reforestación y las actividades de deforestación con el fin de tener en cuenta el carbono capturado. Elevadas reservas de carbono en el distrito de Sagar se distribuye en Behrol, Baraitha, Dalpatpur, Jaisinghnagar, Jalandhar, Madanpur, Rahatgarh y Rajuwa respectivamente; mientras que, Khurai, Parsoriya son los más bajos. La reserva de carbono estimada en el distrito de SAGAR es 220,04 millones de Mg para el año 2010.

SHENDRYK, Lurii (2013), desarrolló un método simplificado para la evaluación de AGB de árboles individuales utilizando la teledetección en el bosque dominado por coníferas en el suroeste de Suecia, donde se realizó una clasificación de la vegetación mediante imágenes SPOT-5, con el fin de mejorar las estimaciones de AGB en base a la dependencia de la biomasa en los tipos de vegetación. Tanto algoritmo máximo local que se utilizó tuvo una ventana de evaluación tamaño constante y métodos de segmentación de cuencas inversos se usaron para inventario forestal de extracción de parámetros de un modelo de la altura del dosel LiDAR-derivado, así es como la estimación final de AGB se llevó a cabo usando modelos de regresión derivados de parámetros de árboles medidos en el campo. Las mediciones de campo se llevaron a cabo más de 83 parcelas mediante el registro de los árboles especies, altura y diámetro a la altura del pecho (1.3 m). Para concluir la investigación se obtuvieron los resultados que mostraron que AGB puede variar de menos de 1 kg / m² en los bosques muy jóvenes hasta 94 kg/m² en los bosques maduros con RMSE de 2kg/m² y 4,7Kg/m², respectivamente. Donde los modelos de regresión lineal mostraron que la introducción de la segmentación de cuencas no mejora los resultados ($R^2=0,79$) en comparación con los resultados derivados de algoritmo máximo local utilizando una ventana de evaluación tamaño constante ($R_2=0,83$). Para finalizar la disponibilidad de estimaciones AGB permite estudios adicionales de las reservas de carbono, así como el seguimiento de este ecosistema forestal para la perturbación y el cambio.

LAOSUAN, Teerawong y UTTARUK, Yannawut (2016), realizaron un estudio donde estimaron por encima del suelo uso de secuestro de carbono de los huertos en el momento preciso cuando de Landsat 8 OLI recoge información. Para lo cual, se elaboraron las ecuaciones de regresión para estudiar la relación entre la

cantidad de secuestro de carbono y índices de vegetación por encima del suelo mediante Landsat 8 OLI. La toma de muestras fue recogida en el 2015 con tres tipos de métodos: 1) Índice de vegetación diferenciado (DVI), 2) Índice de vegetación verde (GVI), y 3) Relación de simple (SR). Los resultados fueron los siguientes: 1) por el método DVI, da lugar a la ecuación $y=0.314e^{0.0482x}$ y el coeficiente de determinación $R^2= 0.8457$. La cantidad del cálculo de secuestro por encima del suelo es de 213 176 toneladas por hectárea. 2) por el método de GVI, da lugar a la ecuación $y=0.2619e^{0.0489x}$ y el coeficiente de determinación $R^2= 0.8763$. La cantidad del cálculo de secuestro por encima del suelo es de 220510 toneladas por hectárea y 3) por el método de SR, da lugar a la ecuación $y=0.8900e^{0.0469x}$ y el coeficiente de determinación $R^2= 0.7748$. La cantidad del cálculo de secuestro por encima del suelo es de 234229 toneladas por hectárea. En conclusión, el estudio del secuestro de carbono sobre el suelo utilizando los datos recopilados de Landsat 8 OLI y los índices de vegetación, incluyendo DVI, GVI y SR de huertos en el sub distrito de Sang Kho, distrito de Phu Phan, provincia de Sakon Nakhon en el noreste de Tailandia para determinar la relación entre las cantidades de almacenamiento de carbono sobre el suelo (variable dependiente) y los índices de vegetación como DVI, GVI y SR a partir de los datos recopilados de Landsat 8 OLI (variable independiente) aplicando 3 ecuaciones de regresión para calcular la relación entre las variables resultó que el mejor método fue GVI con la ecuación $y = 0.2619e^{0.0489x}$ y el coeficiente de determinación $R^2 = 0.8763$.

1.3. TEORÍAS RELACIONADAS CON EL TEMA

MARCO TEORICO

1.3.1. Capítulo I: Aspectos Generales de los Bosques en el Perú

- Hechos Históricos: Números y Cifras

El Perú es considerado entre uno de los países más rico en biodiversidad y ecosistemas forestales; la cual a través del tiempo la demanda de estos recursos para satisfacer las necesidades, ha generado que la población los someta a depredación continua de forma indiscriminada. La cobertura vegetal en el Perú es alrededor de 73 millones de hectáreas, las cuales albergan una gran cantidad de biodiversidad, además esto cumplen con un papel muy importante en la mitigación y adaptación al

cambio climático al proporcionar una gran variedad de servicios ambientales de gran importancia. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) menciona que aproximadamente el 89% de los bosques del Perú son primarios, ubicándose como el quinto país con mayor extensión de bosques primarios y asimismo como el cuarto país en bosques tropicales (2017, p. 20). Por otro lado, según Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos Naturales (UICN) en su estudio acerca de la caracterización de los recursos naturales concluye lo siguiente: (2012, p.18)

- ❖ Las políticas de Estado entre los años 1940 y 1970 promovieron la deforestación o migración de la selva con fines de ampliar frontera agrícola.
- ❖ La construcción de carreteras o vías de acceso sumaron grandes áreas deforestadas dentro de la selva.
- ❖ Extracción forestal selectiva (legal e ilegal).
- ❖ La minería aluvial, la explotación de hidrocarburos y las plantaciones ilegales de coca.
- ❖ La superficie deforestada acumulada al año 2000 fue de 7 172 554 hectáreas, el cual representa el 9,25% de la superficie de los bosques amazónicos y el 5,58% del territorio peruano.
- ❖ El crecimiento poblacional en las regiones y los altos índices de pobreza.

Ha quedado evidenciado que durante el tiempo la gestión y administración de los recursos no han sido promovidos de forma adecuada, la falta de conocimientos en las decisiones de pasadas genera pérdidas económicas en el futuro.

- Protocolo de Kioto

El Protocolo de Kioto es un instrumento y/o un acuerdo internacional de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, cuyo es finalidad es minimizar los gases de efecto invernadero (GEI's) que provocan el calentamiento global. Este protocolo involucra y compromete a

que los países que se encuentran involucrados en este acuerdo, regulen sus emisiones de gases de efecto invernadero para contribuir con el desarrollo sostenible del planeta. (Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, 1998) La justificación de implementar el Protocolo de Kioto es que, la atmosfera tiene una composición mixta de gases que juegan un papel fundamental para brindar un ambiente saludable en donde se desarrolle la vida; sin embargo, a raíz de los diferentes tipos de contaminación que afecta directa o indirectamente la atmósfera, ya sea de manera antropogénica o natural, en especial las emisiones de fuentes industriales están degradando en un porcentaje alto nuestro medio atmosférico, dentro dichas emisiones los componentes más abundantes son el Dióxido de Azufre (SO₂), Dióxido de Carbono (CO₂) y Óxidos de Nitrógeno (NO_x), partículas sólidas y metales pesados. Estos contaminantes desencadenan impactos secundarios como la Lluvia Ácida, deterioro de la capa de Ozono y el Efecto Invernadero (Tapia, s.f., p. 33 – 35).

1.3.2. Capítulo II: Estimación del almacenamiento de carbono en los bosques de Perú.

- Bosques en el Perú

El Perú es un país multidiverso, ya que alberga una gran cantidad de especies y ecosistemas naturales a nivel mundial. Tal como afirma Che y Mentón (2013, p. 2), la superficie peruana cuenta con un sistema forestal de 73 millones de hectáreas, la cual representa aproximadamente el 60% del territorio peruano; además MINAM menciona que los áreas forestales son ecosistemas protectores porque evitan impacto directo de la lluvia, erosión y derrumbamientos, también regulan el clima, aseguran el agua que necesitamos, aportan alimentos, curan enfermedades y lo más importante secuestran carbono de la atmosfera (2016, p. 4). Entonces, más de la mitad de nuestro país alberga ecosistemas forestales, las cuales contribuyen al bienestar del planeta. Los bosques son ecosistemas variados que albergan una gran cantidad de seres vivos bióticos y abióticos, MINAN (2016, p. 5)

define que los bosques “son complejos ecosistemas de seres vivos que incluyen microorganismos, vegetales y animales”.

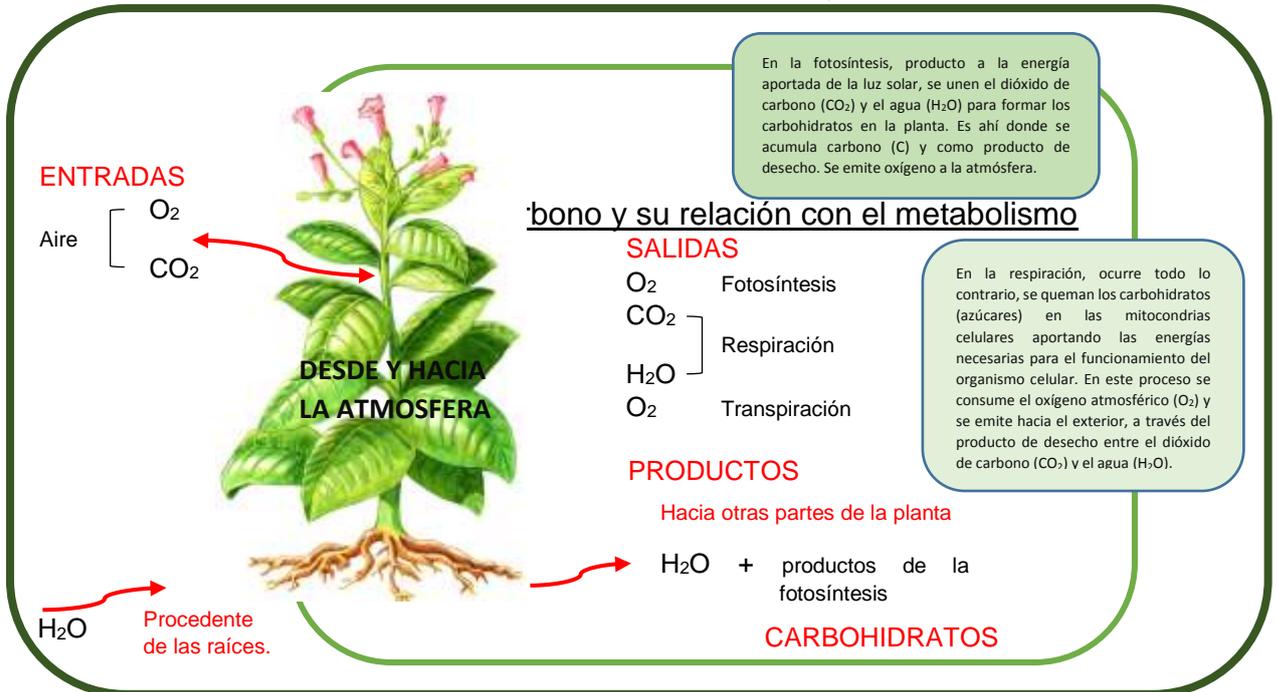
Somos el segundo país rico en cobertura vegetal en Latinoamérica y el noveno a nivel mundial (MINAN, 2013, p.13) y tenemos:

- ✓ 73 294 958 ha de bosques desde Tumbes a Tacna.
- ✓ 53 432 618 ha de bosques de Selva Baja.
- ✓ 15 736 030 ha de bosques de Selva Alta.
- ✓ 3 235 012 ha de bosques secos de la Costa Norte.
- ✓ 385 005 ha de bosques Andinos.
- ✓ 372 915 ha de bosques secos del Marañón.
- ✓ 133 378 ha de bosques montanos Occidentales del Norte.
- ❖ Rol e importancia de los bosques en el Perú.
- ❖ Áreas naturales protegidas en el Perú.
- ❖ Almacenamiento de carbono fotosintético.
- ❖ Matriz de fijación de la productividad primaria bruta.
- ❖ Clasificación arbórea en factor al almacenamiento de carbón.

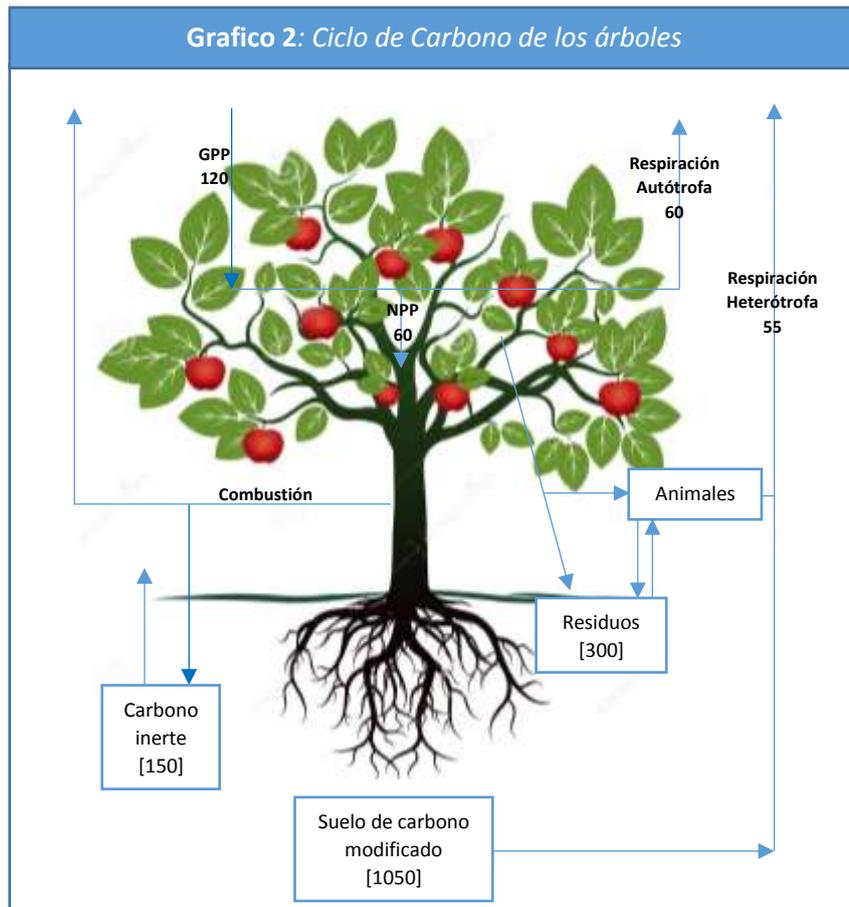
- El Dióxido de Carbono

El Dióxido de Carbono (CO₂), es el gas de Efecto Invernadero más abundante en nuestra atmosfera; dicho gas interactúa en diversos procesos y/o ciclos geo-dinámicos de nuestro sistema. Al interactuar el CO₂ con diversos sistemas, tiende a cambiar su estructura. En el caso de la fotosíntesis, las plantas absorben el Dióxido de Carbono presente en la atmosfera y lo acumulan en su estructura; cabe recalcar que cada árbol asimila el CO₂ en diferentes dimensiones, unas en más cantidad que otras. Por otro lado, los arboles jóvenes tienden a fijar mayor cantidad de CO₂ en su etapa de crecimiento en comparación que los arboles leñosos y maduros (Grafico 1). Además, el carbono excedente de la actividad fotosintética de la planta ha sido almacenado desde épocas remotas a través de depósitos naturales como en forma de petróleo, gas natural y carbón vegetal, estos tipos de depósitos son llamados “Combustibles Fósiles” (Amésquita et al., 2005, p. 20 - 22).

Grafico 1: Proceso Fotosintético de la planta



El metabolismo arbóreo se basa en una serie de procesos químicos que permiten que la planta se desarrolle en sus diferentes etapas de crecimiento y reproducción. Para ello, existen una variedad de procesos que se efectúan en el interior de la planta, entre ellos se encuentran: la fotosíntesis, respiración, asimilación de nutrientes, formación de proteínas, aminoácidos y vitaminas, etcétera (Grafico 2). Dentro de estos procesos, el carbono adquirido del exterior de la planta cumple un rol fundamental en él, facilitando el desarrollo de cada uno de los procesos mencionados. El ciclo del carbono en la planta, es un sistema de transformaciones químicas que surge a partir de la asimilación del dióxido de carbono por parte de la planta, en la cual la planta a través de sus procesos de metabolismo, utilizando el carbono para su desarrollo (Pitelka y Ramirez, p. 188).



- ❖ **GPP:** Productividad Primaria Bruta o también llamada Fotosíntesis Total, es la asimilación total de la energía por la planta, transformada en materia orgánica utilizada para la respiración; se expresa en $\text{gr/m}^2/\text{año}$ (Monge, Gómez y Rivas, 2002, p. 420).
- ❖ **NPP:** Productividad Primaria Neta o también denominada Fotosíntesis Aparente, es la asimilación de la energía por la planta luego de haber realizado la respiración, ella se encuentra almacenada en su estructura; se expresa en $\text{gr/m}^2/\text{año}$ (Fournier, 1983, p. 15).

1.3.3. Capítulo III: Uso de la teledetección para la estimación de carbono fotosintético.

Hoy en día, el uso de la teledetección para desarrollar investigaciones relacionadas a los Recursos Naturales y/o tipos de Ecosistemas, está

incrementando; debido a que la intervención de la herramienta trae una serie de ventajas, entre ellos se tiene el ahorro de tiempo y costo de inversión en el desarrollo de investigaciones y/o metodologías. Las aplicaciones de la teledetección en factor de la vegetación son finitas; sin embargo, el presente trabajo se basará en la importancia de la estimación de CO₂ a través del sensor Sentinel II. Pérez y Muñoz (2006, p. 193 – 194), menciona que la Teledetección tiene una serie de aplicaciones dentro de la estimación indirecta de la vegetación, tales como:

- ❖ Cartografía de masas y asociaciones de vegetales, naturales y agrícolas.
- ❖ Estimación de superficies cultivadas o naturales y el tipo de especie – Seguimiento Agrónomo.
- ❖ Agricultura de precisión: seguimiento, modelamiento y control de cultivos.
- ❖ Seguimiento de Fenología de la planta en serie multitemporales.
- ❖ Estimación del llamado “Factor C” o factor vegetación en la ecuación de erosión y pérdida del suelo.
- ❖ Estimación de la humedad del suelo.
- ❖ Estimación del Balance Hídrico y Evapotranspiración.
- ❖ Evaluación y gestión del uso de agua dedicada a los cultivos.
- ❖ Estimación de la biomasa vegetal

Dentro de los cuales, Pérez y Muñoz (2006) detalló que la Estimación de la biomasa vegetal se basa en el estudio del ciclo del carbono y el intercambio de CO₂ con la atmósfera, en relación de la protección, conservación y preservación de los humedales, como áreas de almacenamiento de carbono, y la gestión de los bosques y pastos; en donde los factores evaluativos se encuentran en los indicadores presentes de la biomasa vegetal, es decir, se encuentran presentes en los parámetros biofísicos directos de la fenología de la planta a partir de las características del follaje, biomasa y producción, entre dichos parámetros se encuentran: tipo de especie de árbol, el estado fenológico y medidas alométricas,

número y densidad de plantas, cobertura vegetal, peso seco y húmedo, área foliar, biomasa y cantidad de agua (p. 191 - 192).

- Historia de la teledetección

La teledetección, más que un instrumento tecnológico es una disciplina que ha evolucionado a lo largo del tiempo. Tal como describe Sobrino (2000, p. 20), la teledetección surge en el siglo XX, a partir de la aparición de la fotografía, principios propuestos por Niépce y Daguerre; en donde es clasificado en:

- ✚ *Teledetección aérea (1920 – 1960)*

Luego de las excelentes aportaciones realizadas por Graham y Read en 1990, surgen publicaciones científicas acerca de la lectura, interpretación, método y estereoscopia de la fotografía aérea. Y es ahí en donde se incrementa la importancia en la teledetección y se empiezan a efectuar sus primeras aplicaciones, siendo ellas la prospección geológica y minera, realización de inventarios forestales, cartografías de territorios del planeta que son poco o nulamente conocidas, levantamientos topográficos de difícil accesibilidad, entre otros. Hasta la aparición de la Segunda Guerra Mundial, en donde se le da una mayor consideración al uso de la teledetección en asuntos bélicos, para la adquisición de información de los grupos enemigos; sin embargo, ello sirvió para el progreso de la investigación, pues se intensificaron los estudios en dicha tecnología y se desarrollaron lentes, películas, nuevos sensores como el radar y perfeccionamiento en la estabilidad de los aviones. Años posteriores de la Segunda Guerra Mundial, diferentes naciones como los Estados Unidos, la LURSS y Japón, empezaron a profundizar las investigaciones de la Teledetección. A partir de ello se creó en Holanda el International Training Center for Aerial Survey (ITC), actualmente el International Institute for Aerospace Survey and Earth Science con base en Enschede – Países Bajos (Sobrino, 2000, p. 21).

- ✚ *Teledetección espacial (1960 – 1972)*

El principal hecho que impulsó esta época es el enfrentamiento entre las naciones de EEUU y URSS, también denominada “Guerra

Fría”. La primera fotografía espacial que se capturó fue en 1946, a bordo de la nave espacial V – 2, el espacio fue dentro de la atmosfera, la fotografía presentó resultados no muy buenos. Luego, se realizaron una serie de pruebas espacial con la finalidad de mejorar la óptica espacial. En 1960, la NASA lanza el primer satélite cuyo nombre es TIROS 1 (Television and Infrared Observation Satellite), con una cobertura limitada en donde se obtuvo un total de 23 000 imágenes satelitales de distintos territorios del planeta. Continuamente se realizaron una serie de lanzamientos, entre ellos se tiene el proyecto Mercury (1960), misiones Gemini (1965) y Apolo (1969). Dichos lanzamientos suministraron fotografías de superficies terrestres y espaciales (Sobrino, 2000, p. 22).

Panorama actual y futuro (siglo XXI)

Se empezó a desarrollar una diversidad de programas, tal como el Landsat, NOAA, SPOT, IRS, ERS y RADARSAT. Actualmente los datos proporcionados por los satélites presentan una mejor calidad de detección, cartografía, modelización y seguimiento en su resolución. Sin embargo, los nuevos sistemas planteados y ya lanzados se encuentran con mejoras en la resolución espacial y espectral para resaltar la calidad de imagen resultante. Un claro ejemplo se aprecia en el satélite IKONOS – 2, lanzado el 24 de septiembre de 1999, presentando un sensor pancromático de 1 m de resolución y visible – infrarrojo próximo de 4 m (Sobrino, 2000, p. 23 - 24).

- Sensores remotos a utilizar

Hoy en día, existen una serie de sensores que se pueden utilizar para la extracción de imágenes satélites, cada sensor presenta características únicas (Tabla 1). A continuación, detallaremos los sensores a utilizar:

a) Landsat 8 – OLI/TIRS

Con la finalidad de implementar nuevas mejoras en el tipo de data, Landsat 8 (anteriormente llamado Landsat Data Continuity Mission, LDCM) se lanzó en 2013 con la misma órbita que Landsat-4, -5, -6. En este último, Landsat 8, cambió y mejoro la tecnología de imágenes, de un escáner de

línea opto-mecánico a un escáner de línea de barrido, siendo este mas aerodinámico y eficiente en la detección solar y detección de IR térmico. El Landsat 8 se caracteriza por tener dos tipos de sensores: (Gupta, 2018, p. 70)

- Operational Land Imager – OLI, este sensor usa una matriz de 7 000 detectores por banda espectral
- Thermal Infrared Sensor – TIRS (Sensor de Infrarrojo Térmico), este sensor tiene una matriz de 2 000 detectores por banda espectral. Además, TIRS fue diseñados específicamente para tener 2 bandas térmicas, las bandas 10 y 11; sin embargo, la banda 11 fue descartado por fallos inesperados.

b) Sentinel 2 – MSI

Se caracteriza por llevar una cámara u instrumento multiespectral (MSI) de alta resolución (10 metros de altitud) con 13 canales que le brindan una mejor perspectiva de la superficie y la cobertura vegetal. Presenta un sistema de barrido a lo largo de toda su trayectoria; ello le trae mejorías como, la generación de una imagen de 290 kilómetros de ancho, brindándole una mejor representación geométrica y espectral en su data. Además, este sensor cuenta con bandas en el lado visible (VIS), infrarrojo próximo (NIR), infrarrojo medio (SWIR) y cada una de las bandas tiene una matriz de 12 detectores con un aproximado de 450 000 pixeles en total por imagen. Cabe mencionar que, la estructura del telescopio y los espejos de este tipo de sensor se encuentra hecho de un material especial, llamado “Carburo de Silicio”, se construyó con este material debido a que permite la minimización de la deformación térmica y brinda una mejor calidad de imagen (Young et al, p. 30).

Fletcher compara los satélites Landsat 8 y Sentinel 2, a través de la siguiente tabla: (2012, p. 10)

Tabla 1: *Diferencias entre los sensores Landsat 8 y Sentinel 2*

Características	Sensores	
Tipos de sensores	Landsat	Sentinel
Número de serie	7 + 1* \cong 8	2
Principio de medición	Scanner (Escaneo)	Pushbroom (sistema de barrido)
Cobertura de la tierra (tiempo en días)	16 días	5 días
Muestreo territorial (distancia en kilómetros)	185 km	290 km
Bandas multiespectrales	7(8*)	13
Muestreo espacial (distancia en metros)	30, 60 m	10, 20 y 60 m

- Análisis digital de las imágenes y medición del almacenamiento del carbono – Descripción de los índices de Vegetación

El análisis de las imágenes procesadas se basa en la combinación de bandas con respecto a sus valores espectrales resultantes y calibrados radiométricamente (reflectancia) o no (niveles digitales). Para ello, se necesita la presencia de sensores más sofisticados que brinden información con una mayor resolución tanto temporal como espectral; para ello se utilizará los sensores Sentinel 2A y Landsat 8 OLI/TIRS. Por otro lado, estos procedimientos a base de imágenes satelitales brindan resultados eco-eficientes, en comparación a muestreos y metodologías de campo que tienen que usar métodos destructivos en la vegetación (Pérez y Muñoz, 2006, p. 198).

Pérez y Muñoz (2006, p. 198 - 199) clasifican a los índices en:

- ❖ Índices Espectrales
 - Bright Index (BI)
 - Green vegetation Index (GVI)
 - Wetness Index (WI)

- ❑ Normalized Difference Water Index (NDWI), etc.
- ❖ Índices de Vegetación
 - ❑ Ratio Vegetation Index (RVI)
 - ❑ Difference Vegetation Index (DVI)
 - ❑ Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)
 - ❑ Environmental Vegetation Index (EVI), etc.
- ❖ Índices de Vegetación Ajustados a los Efectos del Suelo
 - ❑ Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)
 - ❑ Transformed Soil Adjusted Vegetation Index (TSAVI)
 - ❑ Soil Adjusted Ratio Vegetation Index (SARVI), etc.
- ❖ Índices de Vegetación Ajustados a los Efectos Atmosféricos
 - ❑ Atmospherically Resistant Index (ARVI)
 - ❑ Global Environmental Monitoring Index (GEMI), etc.
- ❖ Índices de clorofila y Actividad Fotosintética
 - ❑ Photochemical Reflectance Index (PRI)
 - ❑ Chlorophyll Absorption Integral (CAI)
 - ❑ Chlorophyll Absorption Ratio Index (CARI), etc.

Los Índices de Vegetación (IV) son medidas cuantitativas que indican el valor de un determinado pixel; estos valores se encuentran a partir de la combinación y/o interacción de bandas espectrales, siendo estos valores sumados, multiplicados y/o divididos, para obtener un valor final dentro de un pixel específico. Todos los estos valores encontrados en los pixeles de una imagen satelital son producto de radiación absorbida y emitida por la cobertura vegetal. Cabe recalcar, que mientras se tenga un valor alto en Índices de Vegetación, se tendrá una óptima calidad en vegetación (vegetación saludable); por otro lado, los Índices de Vegetación fueron creados para ayudar en el monitoreo de calidad de la vegetación, utilizando las bandas del espectro rojo e infrarrojo en factor a la interacción de la vegetación y la energía electromagnética (Díaz, 2015, p. 42).

Los índices de vegetación utilizados en el presente trabajo son:

➤ **NDVI**

Normalized Difference Vegetation Index (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada), es el índice más usado en el

procesamiento de imágenes; este índice indica el tipo de suelo presente en la imagen espectral, abarco valores desde - 1 a + 1. Detallando que los valores bajos a - 1 indica zonas rocosas o nevadas, los valores de 0.2 – 0.3, indican zonas pobres de vegetación, presenciándose arbustos o pasturas naturales, los valores de 0.7 – 1, indican la presencia de áreas boscosas o abundante forestación. Se representa mediante la siguiente fórmula:

(Muñoz, 2013, p. 4):

Fórmula 1

$$NDVI = \frac{IRC - R}{IRC + R}$$

Siendo: IRC: Banda del infrarrojo cercano.
 R: Banda del lado Visible, Roja.

➤ **NDRE**

Normalized Difference Red Edge Index (Índice de Diferencia Normalizada al Borde Rojo), este índice está basado en la medición de la clorofila presente en la vegetación y puede verse modificado en factor al estrés hídrico. El NDRE se encuentra ubicado entre los valores de - 1 a + 1 (similar al NDVI). Cabe recalcar que el NDRE, es un índice que incluye la interacción de los índices de NDVI y CWSI, y sirve también para determinar el estudio del estrés hídrico. Se representa mediante la siguiente formula (Fonseca, s.f., p. 15 – 16):

Fórmula 2

$$NDRE = \frac{(IRC - Rojo Extremo)}{(IRC + Rojo Extremo)}$$

Siendo: IRC: Banda del infrarrojo cercano.
 Rojo Extremo: Banda del borde rojo extremo.

➤ **MSI**

Moisture Stress Index (Índice de estrés hídrico), este índice permite conocer el estado de la cobertura vegetal con respecto al

estrés hídrico; en donde utiliza las propiedades de la temperatura de la planta y la humedad aprovechable del suelo. Para llevar a cabo dicho índice, se debe interactuar las bandas pertenecientes al infrarrojo cercano e infrarrojo medio. El MSI se representa mediante la siguiente fórmula (Laurentino, 2014, p.15):

Fórmula 3

$$MSI = \frac{SWIR}{NIR}$$

Siendo: SWIR: Banda del infrarrojo medio (MIR)
NIR: Banda del infrarrojo cercano (IRC)

➤ **NDWI**

Normalized Difference Water Index (Índice de agua de Diferencia Normalizada), este índice fue propuesto por McFeeters en 1996, con la finalidad de detectar y medir la extensión superficial de cuerpos acuáticos. El NDWI fue creado a partir de datos espectrales del escaneo multiespectral del sensor MSS (Landsat). El análisis de los valores del NDWI representan: si los valores son menores y/o inferiores a 0, representan superficies no acuáticas y si los valores son mayores que 0, representan cuerpos de agua. (McFeeters, 2013, p. 3549). Laurentino representa al NDWI, a través de la siguiente fórmula (2014, p.15):

Fórmula 4

$$NDWI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$$

Siendo: NIR: Banda del infrarrojo cercano (IRC)
SWIR: Banda del infrarrojo medio.

➤ **CWSI**

Crop Water Stress Index (Índice de Estrés Hídrico de los cultivos), este índice representa la tasa de transpiración anual de un

cultivo a través de la medición de la temperatura del dosel y el déficit de presión de vapor. El CWSI se encuentre entre los valores de 0 a 1, detallando que 0, representan áreas en buenas condiciones (es decir, zonas bien regadas) y los valores más cercanos a 1, representan áreas estresadas (es decir, zonas con predominante estrés hídrico). Se representa mediante la siguiente formula (López et al, 2009, p. 99):

Fórmula 5

$$CWSI = \frac{[(T_c - T_a)_m - (T_c - T_a)_{li}]}{[(T_c - T_a)_{ls} - (T_c - T_a)_{li}]}$$

Siendo: Tc: Temperatura del cultivo.

Ta: Temperatura del aire.

m: Diferencia medida entre las dos temperaturas.

li (límite inferior): Diferencia entre las dos temperaturas cuando la evapotranspiración no está registrada en el agua. Tc es mínima.

ls (límite superior): Diferencia hipotética entre las dos temperaturas cuando la evapotranspiración es 0.

➤ **SAVI**

Soil Adjusted Vegetation Index (Índice de Vegetación de Suelo Ajustado), este índice desprecia la reflectividad del suelo y permite aislar la data aportada por la vegetación, basándose netamente en la reflectividad emitida por la vegetación. Este índice es muy utilizado en el procesamiento de áreas en donde la vegetación no es muy abundante, para uniformizar el valor de los pixeles en factor a la reflectividad solamente de la vegetación. Se representa mediante la siguiente formula (Muñoz, 2013, p. 7 - 8):

Fórmula 6

$$SAVI = \left[\frac{IRC - R}{IRC + R} \right] x (1 + L)$$

Siendo: IRC: Banda del infrarrojo cercano.
 R: Banda del lado Visible, Roja.
 L: Constante de compensación promedio, 0.5.

1.3.4. Capítulo IV: El Bosque Pallasca - Ancash

a. Eucalipto (*Eucalyptus sp*)

APG II – 2003 citado por Ocho, Maria y Salinas, Dayana (2009) realizan la clasificación taxonómica del Eucalipto:

Tabla 2: Clasificación taxonómica del <i>Eucalyptus</i>	
Reino	Plantae
División	Plantas con semillas
Sub división	Angiospermae
Clase	Rosids
Orden	Myrtales
Familia	Myrtaceae
Genero	<i>Eucalyptus</i>

Características de la especie (FAO, 1981 y Brooker, 2000 *citado por* Valverde, 2017):

Nombre Científico: *Eucalyptus globulus*

Nombre Común: Perú: eucalipto

Bolivia: eucalipto macho

Ecuador: eucalipto común

Familia: Myrtaceae

Altitudes: 1500 a 3100 m.s.n.m para Perú y Ecuador

Zonas de vida: Bosque Montano bajo (b-MB) y presenta un buen comportamiento en zonas tropicales.

Es una especie forestal original de Australia, por su naturaleza ha sido introducido en diferentes lugares de mundo en el cual se ha adaptado a condiciones climáticas y edáficas. Considerada también una de las plantaciones forestales más grandes en territorio peruano, el eucalipto tiene creciente relieve en la provisión de madera aserrada, fibra, energía y otros productos para satisfacer las crecientes demandas globales de madera, reduciendo así la presión sobre los bosques naturales (Quispe, 2012, p. 5).

En el Perú, existen alrededor 10 especies de eucaliptos, entre ellos el más conocido es el *Eucalyptus globulus*, plantado en mayor parte de la sierra; se 500 mil ha (GIT y CSIRO, 2009 *citado por* Quispe, 2012).

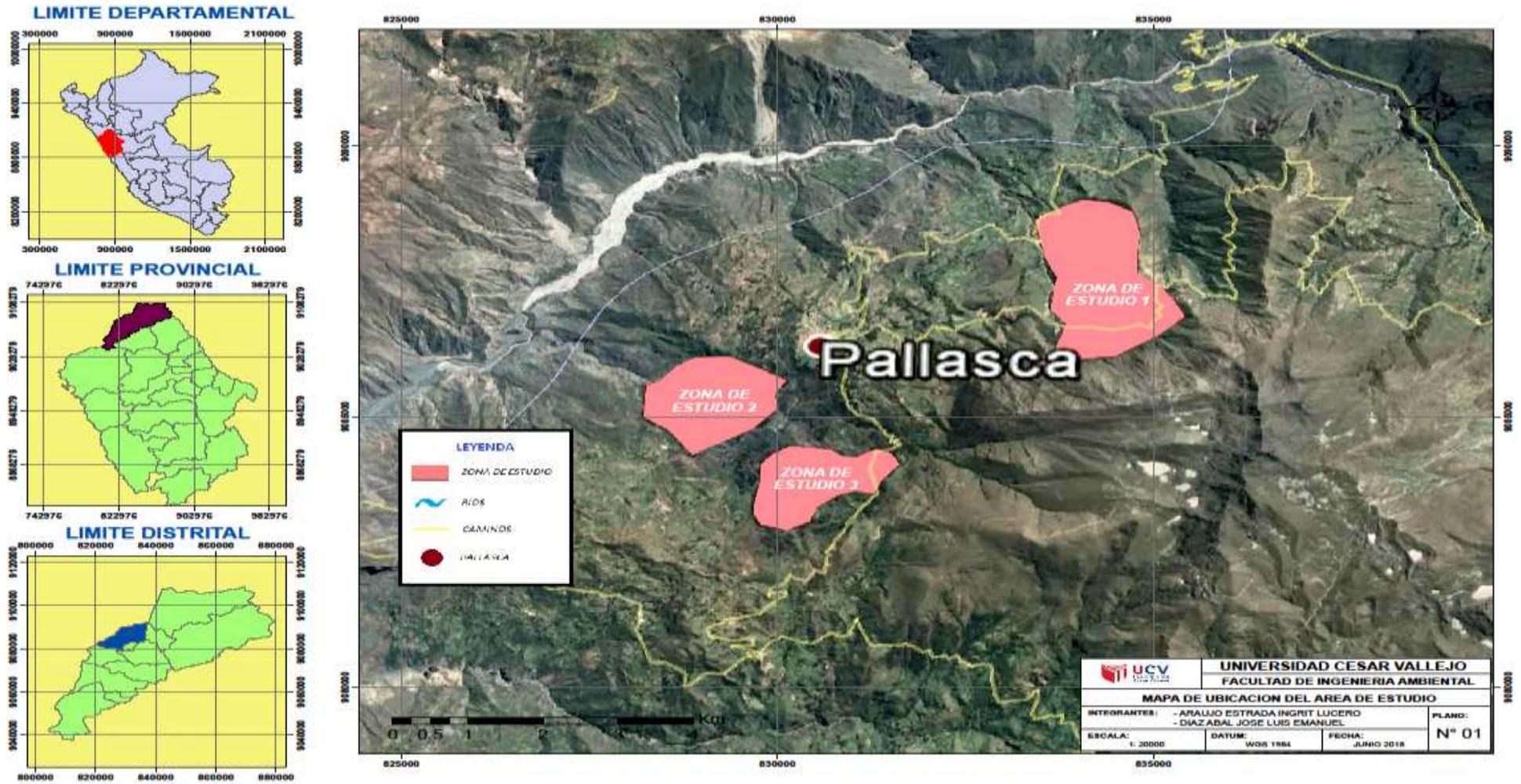
En el año 1991 la Municipalidad Distrital de Pallasca, obtuvo una propuesta de realizar una reforestación de la zona peñosa del Nor-Este de su territorio, tras desistir de este proyecto otros distritos similares a este. El proyecto fue aprobado por la Alcaldía Provincial y las especies forestales fueron proporcionadas por el Vivero Forestal de Pashas ubicado en la Capital de la Provincia.

El Vivero Forestal de Pashas se encuentra ubicada en el distrito de Cabana y produce especies tales como: pino, eucalipto y ciprés, las cuales son proporcionadas en envases con bolsas polietileno y tubetes. Alcanza una producción anual de 270 000 especies y en los últimos años ha servido para reforestar gran parte de la provincia de Pallasca. La especie más utilizada es el Eucalipto en su versión es *Eucalyptus globulus*.

b. Descripción de la zona de estudio

El Bosque de Pallasca se encuentra ubicado al sur-este y sur-oeste del distrito de Pallasca, ubicado a 3 131 msnm. Según Rojas, el distrito de Pallasca tiene una población de aproximadamente 2447 habitantes (2016). El distrito de Pallasca se encuentra ubicado al extremo norte de la sierra de Ancash, dentro de la Provincia de Pallasca. La provincia de Pallasca cuenta con una superficie territorial de 2 101 km², de los cuales se destacan 11 distritos entre ellos se encuentra teniendo como capital el distrito de Cabana (INEI, 2017).

Grafico 3: Zona de estudio



Fuente: Elaboración propio

c. Diagnóstico y clasificación arbórea

La zona en donde se realizó el estudio contiene en su mayoría las especies forestales de Eucalipto y Pino, para este estudio se utilizó la especie forestal Eucalipto, la cual se extrajo muestra para su análisis a nivel de laboratorio y resultados en gabinete.

Las áreas de estudio no se encuentran presente en una determinada área, sino que se encuentra delimitadas en 3 zonas:

- **Zona 1:** Ubicada al sur-este del distrito de Pallasca, un bosque homogéneo de Eucalipto con un área de aproximadamente 273 hectáreas.
- **Zona 2:** Ubicadas al sur-oeste del distrito de Pallasca, un bosque homogéneo de Eucalipto con un área de aproximadamente 150 hectáreas.
- **Zona 3:** Ubicadas al nor-oeste del distrito de Pallasca otro bosque homogéneo de Eucalipto con un área de aproximadamente 194 hectáreas.

d. Recopilación de datos

Los datos son recopilados a través de una metodología observacional usando como instrumentos o herramientas las fichas de campo, para ello serán direccionadas en base a un criterio en específico.

Algunas de las fichas que se utilizaron son:

- Ficha de coordenadas de ubicaciones de las parcelas de estudio (Eucalipto)
- Ficha de imágenes satelitales (para los satélites de Landsat 8 OLI/TIRS y Sentinel 2A MSI).
- Ficha de medición de la biomasa de carbono (Eucalipto).
- Ficha de Observación.
- Ficha recolección de datos en campo (Eucalipto).

1.3.5. Capítulo V: Ecuaciones Alométricas

a. Métodos: Directo e Indirecto

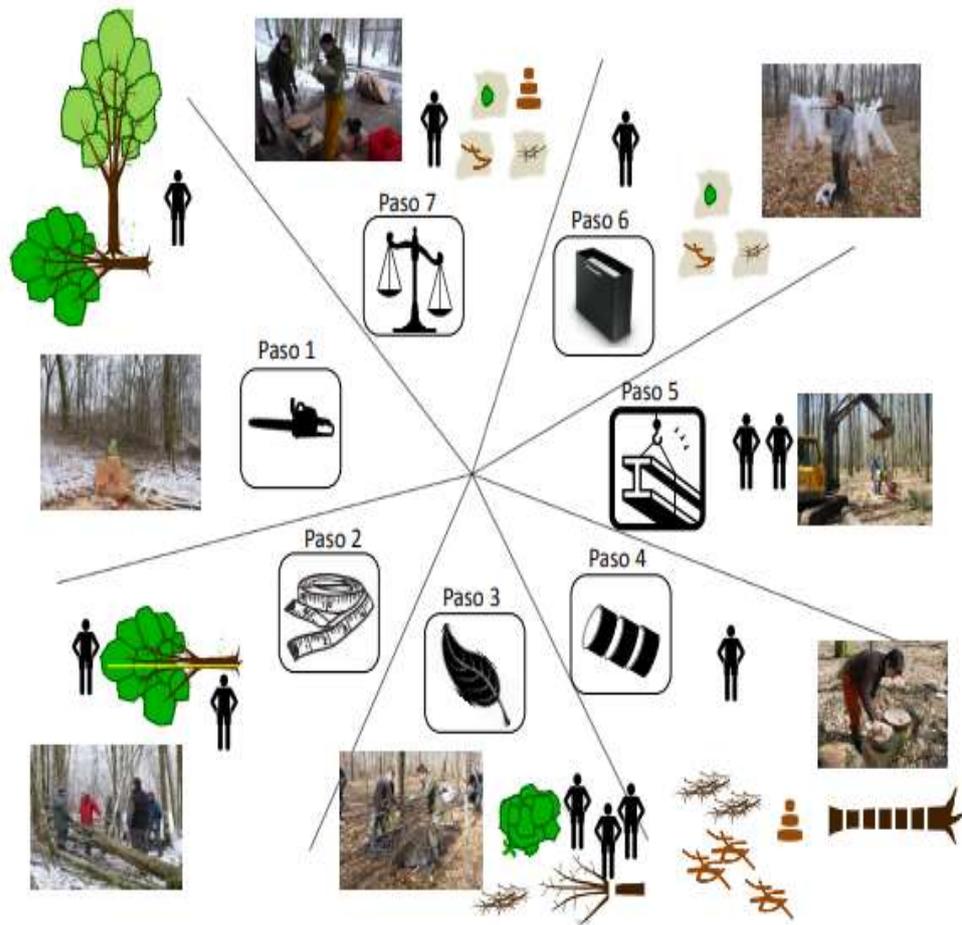
Las partes de un árbol en las metodologías planteadas de determinación de carbono siempre juegan un papel fundamental, porque es ahí donde recaerá las mediciones planteadas que se han propuesto a nivel nacional e internacional, en diferentes organizaciones para la medición del carbono almacenado en especies forestales, algunas con altos costos de inversión, otras más prácticas y rentables, pero no menos costosas a la determinación del carbono.

Según las metodologías propuestas por el Ministerio del Ambiente para la estimación de la biomasa, existen dos métodos para la determinación de biomasa en plantas, estos se indican a continuación (MINAM, 2009 *citado por* VILCA, 2017):

Método Directo: Consiste en el apeo de los árboles para realizar el pesado en fresco tanto de ramas, troncos, frutos y a las ves estimar su volumen; luego se toma muestras las cuales serán llevadas a laboratorio para determinar el carbono en peso seco (Grafico 3). El método es más costoso y requiere más tiempo para realiza el trabajo.

Método Indirecto: Consiste en realizar observaciones en campo y medir las alturas y diámetros de los árboles, para luego insertarlas en formulas y a través de ellas, estimar la biomasa de una especie forestal de manera no destructiva. Este método requiere mediana inversión y demanda mucho tiempo.

Gráfico 4: Organización de un área de medición de biomasa con 7 pasos



Fuente: *Manual de construcción de ecuaciones alométricas para estimar el volumen y la biomasa de los árboles, 2012, 56 p.*

La estimación del carbono acumulado en un bosque o una especie forestal específica, se realiza a través de la cuantificación de la biomasa, primero conociendo la cantidad de materia orgánica viva de la parte aérea de la especie forestal, expresada en toneladas de masa seca por unidad de área. La estimación se puede realizar por el método no destructivo o indirecto, el cual determina la biomasa aérea por medio del análisis de regresión según indica Riofrio *et al* (2015).

Aquino R., Velázquez M. y Castellanos B. (2014), mencionan que parte de la estimación de la cantidad y la variación espacial de la biomasa en los bosques se deben establecer ecuaciones alométricas, en efecto, la

aplicación de las ecuaciones es importante para mejorar la precisión en la estimación indirecta o no destructiva de la biomasa en la vegetación de los árboles. Estas relaciones alométricas con mucha frecuencia incorporan variables dasométricas en: el diámetro y la altura total de árbol, consideradas como variables predictoras porque presentan una correlación alta con la biomasa y son fáciles de medir, es decir son calculables directamente en campo.

b. Ubicación de las parcelas

Las parcelas de estudio deberán ser ubicadas aleatoriamente dentro de los estratos geomorfológicos cumpliendo con ciertos criterios logísticos, las cuales deben cumplir las siguientes características: el terreno debe ser razonablemente homogéneo con un solo tipo de suelo, tener acceso adecuado, suficiente seguridad durante el proceso de recolección de datos y tener suficiente apoyo de la población (RAINFOR, 2009, p.4).

c. Tiempos de medición

Es importante elegir el mejor intervalo de medición para minimizar los errores causados por la variación del contenido de agua en los troncos de los árboles, para las parcelas elegidas deben ser medidas en un intervalo medio del año, es decir donde la variación de agua se mínima y más en aquellas zonas que pueden ser afectadas con los fenómenos naturales (RAINFOR, 2009, p.4).

d. Establecimientos de parcelas

Según RAINFOR (2009, p. 4), las parcelas deben ser ubicadas aleatoriamente para evitar el sesgo, este procedimiento se obtiene a partir de la visita de campo y la utilización de mapas de ubicación de la zona de estudio, para considerar las parcelas de características buenas o malas, además con mapas disponibles, la posición de los puntos de inicio de cada parcela será colocado de forma aleatoria, considerando > a 20 metros.

e. Estimación del número de parcelas

La estimación del número de parcelas o número de muestreo dependerá de la variación que se encuentre los datos y el nivel de precisión o error que se desea obtener, para los estudios de cuantificación de carbono se considera el adecuado el uso de un error de 10 a 20% (Pearson et al., 2005 *citado por* Honorio & Baker, 2010)

La siguiente formula determina el número de muestreo:

Formula 7

$$n = \frac{(t^2 \times CV^2)}{E^2}$$

Donde:

n: número de unidades de muestreo

t: valor estadístico de T de Student ($\alpha=0.05$)

E: error deseado

CV: coeficiente de variación

Desarrollada:

$$n = \frac{(1.96^2 \times 20^2)}{20^2}$$

$$n = 10 \text{ parcelas}$$

f. Medición de arboles

➤ **Altura total (HT):**

Es la distancia entre el suelo y la punta de la copa o corona del árbol (MINAM, 2015, p. 29).

➤ **Altura del fuste (HF):**

MINAM (2015), afirma que la altura del fuste es la distancia del árbol desde el suelo hasta el inicio de la ramificación y es utilizado para estimar el volumen maderable, biomasa y carbono del suelo (p.29).

➤ **Diámetro del fuste:**

Los diámetros del fuste fueron medidos al milímetro, para lo cual se utilizaron cintas diamétricas estables y resistentes, las cuales se aproximan al inferior, ya que se considera como un error sistemático que puede ser ignorado (Synnott,1990).

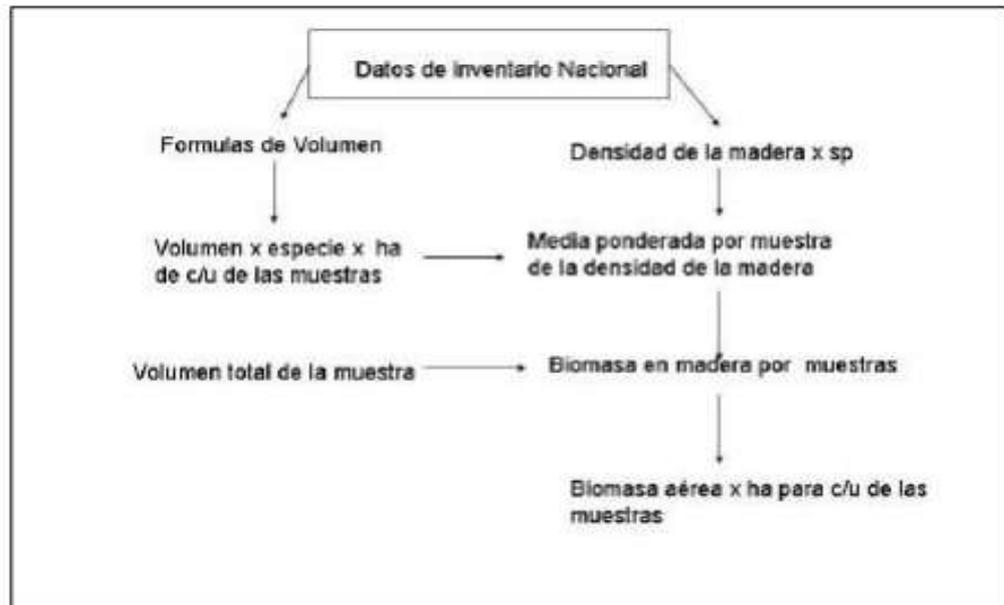
➤ **Diámetro a la altura del pecho (DAP):**

Según RAINFOR (2010), la altura de diámetro estándar considerable es de 1.3 m, donde se puede utilizar un poste o vara marcada presionando firmemente el suelo cerca del árbol (p. 7). Consiste determinar la longitud de la recta que pasa por el centro del círculo y termina en los puntos en que toca la circunferencia circunscrita al hacer un corte horizontal en el tronco (MINAM, 2015, p. 29).

Villareal, *et al.* (2004) menciona que la medida de 1.30 m es igual para cada uno de los individuos, ya que con la cinta métrica flexible se obtendrá el perímetro o circunferencia (CAP) que fue convertido en DAP a partir de una fórmula generada en su campo.

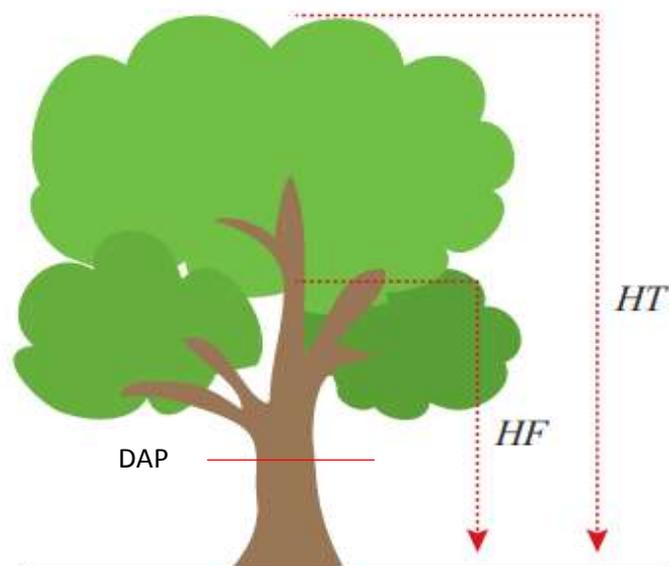
Para la cuantificación de la biomasa área del bosque se utilizó la metodología sugerida por Brown (1997), donde la biomasa de cada una de las parcelas se estimó multiplicando el volumen total de la unidad por la densidad promedio de la madera (Grafico 4). La densidad promedio de la parcela es una medida que ha sido promediada con respecto al volumen, de tal manera que las especies con mayor proporción de volumen tienen mayor masa relativa en la densidad.

Grafico 4: Esquema metodológico utilizado para la estimación de biomasa aérea



Fuente: Brown, 1997.

Grafico 5: Ilustración de la altura total, altura del fuste y diámetro a la altura del pecho



Fuente: MINAM, 2015, p. 29

La cantidad de carbono almacenado de cada árbol se determina en sus diferentes variaciones de acuerdo con el Panel Intergubernamental de

Cambio Climático (IPCC) y RUGNITZ TITO (2009) mencionan que una tonelada de biomasa seca forestal posee aproximadamente 0.5 toneladas de carbono teniendo en cuenta la variación entre las diferentes especies, características de árbol y edad según Lam R. (2011).

g. Fase de gabinete: Formulas Alométricas

➤ **Densidad básica:**

La relación que existe entre la masa y el volumen de un cuerpo. El estado verde de la madera mantiene el volumen constante, el volumen disminuye cuando la concentración de agua es menor que peso y vuelve a ser constante cuando alcanzo estado seco. En simples palabras la densidad depende de los vasos y de la cantidad de los mismos que se encuentran en la madera.

Monteoliva *et al.* (2002) citado por Valverde (2017) menciona que los valores promedios de densidad básica del *Eucalyptus Globulus* es de 0,549 Kg/dm³ con rangos entre 0,490 Kg/dm³ y 0,608 Kg/dm³. Además, afirman que la densidad básica aumenta a medida que la altura del fuste incrementa. Peredo 1999 y Barahona 2005 citado por De la O (2016) realizo estudios en rodales de *Eucalyptus Globulus*, los resultados fueron:

Tabla 3: Densidad básica de la madera de <i>Eucalyptus Globulus</i>					
Especie	Edad (años)	Densidad (Kg/m ³)	Especie	Edad (años)	Densidad (Kg/m ³)
<i>E.globulus</i>	5-7	466	<i>E. globulus</i>	-	-
	8-10	492		8-10	464
	11-13	522		11-13	488
	14-16	544		14-16	508

Fuente: Peredo, 1999 citado De la O, 2016

Para el cálculo de la densidad básica de la madera del fuste de los árboles y ramas, se utilizó la siguiente formula:

Formula 8

$$D_b = \frac{M_s}{V_H} \times 100$$

Fuente: Norma Técnica Peruana NTP 251.011

Donde:

Db: densidad básica

Ms: masa seca

Vh: húmedo saturado

➤ **Volumen Húmedo o Saturado:**

Formula 9

$$V = \left(\frac{\pi \times D^2 \times h}{4} \right) \times F_c$$

Fuente: Tullume, 2013

Donde:

V: volumen húmedo o saturado

D: diámetro promedio

h: altura

Fc: factor de conversión

➤ **Masa Seca o Anhidra:**

De acuerdo al inventario forestal se calculó la masa anhidra con la siguiente formula:

Formula 10

$$M_s = V \times D_b$$

Fuente: Tullume, 2013

Donde:

Ms: masa seca

V: volumen húmedo o saturado

Db: densidad básica

➤ **Masa de carbono:**

La estimación de la biomasa aérea por hectárea del contenido de carbono de un bosque o plantación forestal, es aproximadamente el 50% de

biomasa vegetal seca o anhidra, por lo cual el carbono almacenado tiene como factor el 0,5. El cálculo de acumulación de carbono va acorde con el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) mencionado por (Rügnitz et al., 2009, p.3) y Pearson et al., (2005).

Formula 11

$$M_c = (0,5) M_s$$

Fuente: IPCC

Donde:

Ms: masa seca

h. Modelos alométricos planteados

La estimación de la biomasa en ecosistemas forestales ha generado en los investigadores motivo de interés de estudios en determinación de biomasa; en tal caso queremos resaltar a la investigadora Sandra Brown la cual con sus aportes en metodologías para la estimación de biomasa forestal ha realizado varios estudios en diferentes tipos de bosque en los diferentes ecosistemas o zonas de vida, generando ecuaciones alométricas y varios modelos para la cuantificación de carbono de forma directa e indirecta, centrándose en el estudios de volúmenes de carbono forestales (Brown & Lugo, 1984; Brown, 1997).

Los datos más utilizados en los modelos alométricos son: el diámetro a la altura del pecho, altura total, entre otras. Comúnmente los modelos realizados de biomasa se utilizan en áreas conocidas, las cuales han sido provenientes de una metodología de obtención directa de carbono.

Las formulas alométricas son la mejor aproximación a la cuantificación del carbono y se usan en la mayoría de investigaciones en almacenamiento de carbono en biomasa de los bosques tropicales según Zapata et al., (2003) y Vázquez A. et al (2012).

Brown et al., (1997) manifiesto que el mecanismo más factible de determinación de biomasa de carbono se realiza con variables de fácil

medición como el diámetro a la altura del pecho y la altura, desarrollando ecuaciones en la bibliografía.

Tabla 4: Modelos alométricos basados en la determinación de biomasa aérea o masa de carbono	
Berkhout	$B \text{ ó } C = a + b \cdot dap$
Kopesky	$B \text{ ó } C = a + b \cdot dap^2$
Hohenadl-Krenn	$B \text{ ó } C = a + b \cdot dap + dap^2$
Hush	$\ln B \text{ ó } C = a + b \cdot \ln dap$
Spurr	$B \text{ ó } C = a + b \cdot dap^2 \cdot h$
Meyer	$B \text{ ó } C = a + b \cdot dap^2 + c \cdot dap^2 \cdot h + d \cdot h$
Schumacher – Hall	$\ln B \text{ ó } C = a + b \cdot \ln dap + c \cdot \ln h$
B: Biomasa C: Masa de carbono H: altura Dap: Diámetro a la altura del pecho	

Fuente: Brown et al., (1997)

Se usó el coeficiente de determinación (r^2) y el coeficiente de correlación (r) para analizar las relaciones de las variables del trabajo de investigación y así poder desarrollar modelos más precisos, según especie, diámetro y altura.

i. Otros estudios similares

Simbaña (2011) citado por Valverde (2017), realizó una ecuación que estima la biomasa aérea de la especie *Eucalyptus globulus Lamill*, la investigación fue realizada en las provincias de Pomabamba y Mariscal Luzuriaga, en donde mediante análisis destructivo con una muestra de 40 árboles, basado en análisis de regresión con el método de mínimos cuadrados, se determinó los modelos de biomasa y carbono; para ello se seleccionó combinaciones de datos de las variables dap y altura, las cuales fueron seleccionada aleatoriamente, la cual dio como resultado la siguiente fórmula:

Formula 12

$$Biomasa\ aérea = 39,8643 - 3,51885dap + 0,02138dap^2h$$

1.3.6. Capítulo VI: Valoración Económica Ecológica

- Alcance y definiciones generales

Hoy en día la metodología de Valoración Económica Ecológica es utilizada con la finalidad de solucionar distintas problemáticas naturales, sociales y económicas; esta herramienta es de suma importancia, ya que trae consigo una serie de beneficios dirigidas tanto para la población aledaña como también para la preservación y/o conservación del ecosistema, entre dichas ventajas se encuentran (Manual de Valoración Económica del Patrimonio Natural, 2015, p. 12):

- Aumentar la conciencia ambiental
- Análisis costo – beneficio
- Planificación y diseño de políticas
- Regulación ambiental
- Mecanismos de financiamiento
- Contabilidad nacional

La valoración económica ecológica es un instrumento que tiene como finalidad estimar en dinero real el valor de los bienes y/o servicios ambientales, independientemente de su precio en el mercado. Por otro lado, una valoración tiene como objeto, hacer visible todos aquellos beneficios que puede proveer los ecosistemas de manera natural como también los cambios antrópicos que son sometidos los hábitats en factor a las actividades humanas; es por ello, que es de suma importancia tomar en cuenta toda anomalía presente en un determinado medio ecosistémicos para costear un valor económico equivalente a través de una toma de decisiones (Guía Nacional de Valoración Económica del Patrimonio Natural, 2016, p. 12).

Por otro lado, el Manual de Valoración Económica del Patrimonio Natural (2015, p. 37 – 39) detalla que, los bienes y servicios ecosistémicos pueden tener diferente valor en el mercado; pues el Valor Económico Total (VET) comprende al Valor de Uso (VU) y Valor de No Uso (VNO); en donde el VU se subdivide en Valor de Uso Directo (VUD) y Valor de Uso Indirecto

(VUI) y el VNU se subdivide en Valor de Existencia (VE) y Valor de Legado (VL).

- **VU:** Uso directo o indirecto de los bienes y servicios ecosistémicos por parte de un determinado grupo de individuos.
- **VUD:** Ventajas que adquiere un individuo de manera directa por el uso y/o consumo de un bien o servicio ambiental. Por ejemplo, el uso de la madera, el uso de las semillas, etc.
- **VUI:** Beneficio no exclusivo que adquiere un grupo de individuos en su totalidad por la baja exclusión y rivalidad de su consumo. Un claro ejemplo, regulación del recurso hídrico, regulación de la erosión, etc.
- **VNU:** Es aquel valor atribuido naturalmente, debido a la simple existencia de los ecosistemas o del deseo de legar los beneficios presentes de dichos ecosistemas para las futuras generaciones.
- **VL:** Este valor deja los beneficios de los ecosistemas de manera directa o indirecta para las generaciones. Por ejemplo, la protección de los hábitats naturales para el goce de nuestras futuras generaciones.
- **VE:** El valor que los individuos atribuyen a los ecosistemas por el simple hecho de su existencia. Por ejemplo, conservación de especies en peligro de extinción u especies en amenaza, como el gallito de las rocas o el oso panda, etc.

Para poder una valoración económica ecológica se debe de tener en cuenta la clasificación de los recursos naturales presentes en un ecosistema específico. Por ello, Orrego (1997, p. 5) clasifica en tres categorías a los recursos naturales:

- **Recursos Naturales Renovables**

Dentro de esta categoría se incluye la energía solar, los ciclos biológicos y bio-geoquímicos; además, han sido incluidos los bosques en sus procesos de tala y reforestación, las poblaciones de animales y de plantas que han tenido un buen manejo ambiental (como la caza y la pesca) y las aguas con vertimientos que pueden ser fácilmente tratadas y reutilizadas.

- **Recursos Naturales No Renovables**

En esta clasificación está conformado por los combustibles fósiles, los minerales, los bosques tropicales talados sin reposición (tala indiscriminada).

- **Recursos Naturales Abstractos**

En este ámbito se encuentran las especies de flora y fauna, el paisaje natural (en factor al aspecto turístico), las Áreas Naturales Protegidas (ANPs).

- Valoración Económica Ecológica y su influencia en la preservación y conservación de bosques.

Tal como cita DANCÉ: Los servicios ecosistémicos son beneficios directos y/o indirectos que las poblaciones rurales pueden conseguir debido al buen funcionamiento de los ecosistemas naturales; dichos servicios también son llamados servicios ambientales, pues traen consigo ventajas en los factores ambientales, económicos y sociales dirigidos hacia un desarrollo sostenible. Claros ejemplos de servicios ecosistémicos son (s.f., p.4):

- La regulación hídrica en cuencas
- El mantenimiento de la biodiversidad.
- El secuestro de carbono.
- La belleza paisajística.
- La formación de los suelos.
- La provisión de los recursos genéticos, entre otros.

Pues, debido a esta serie de servicios que brindan los ecosistemas es como nace la valoración económica ecológica, con el único fin de cuantificar monetariamente la alteración y/o degradación del hábitat natural producto a las actividades antropogénicas. Es por ello, que la relación existente entre la valoración económica ecológica y la preservación y/o conservación de los bosques es de costo – beneficio.

DANCÉ, menciona que actualmente el Perú tiene 22 tipos servicios ecosistémicos de las cual estos están agrupados en 4 tipos y lo representa a través del siguiente cuadro (Grafico 4)



- Mercado de Carbono en América

A partir del Convenio de Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático del año 1992, se plantearon bases para la reducción de las emisiones de carbono con el propósito de contrarrestar los cambios al medio ambiente global. Esta idea fue consolidada en el año 1997 con el Protocolo de Kioto, en el cual se establecen y definen los mercados de carbono con el objetivo de cuantificar las emisiones de GEI y desarrollar un mercado libre de aminorar el impacto del cambio climático. (Eguren, 2004, p. 9)

Los encargados de dar luz verde a la propuesta serían los países desarrollados en función a proyectos de inversión en los cuales se puedan obtener ingresos económicos adicionales a través de la venta de créditos de carbonos denominados "Certificados de Emisiones Reducidas (CER)". Este proyecto se implementó con uno de los mecanismos más conocidos a nivel mundial, el cual es el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) (Eguren, 2004, pp. 16-18).

Eguren (2004), menciona que Latinoamérica en el contexto de mercado de carbonos entro en vigor debido a que ha demostrado ser un mercado emergente por la cantidad de recursos naturales que alberga cada uno de los países pertenecientes, entre ellos, Brasil, Colombia y Perú, generando US\$ 10,6 millones de créditos de carbono en negociación en el marco de MDL.

Teniendo en cuenta los países con potenciales para desarrollar el mecanismo de reducción de carbono, se establecieron precios de acuerdo con cada uno de los representantes de países anfitriones llamando la atención de los denominados compradores, siendo algunos de los más grandes el Gobierno Holandés y el Banco Mundial, ellos están pagando un precio justo y módico, considerando que todavía es un mercado sumamente riesgoso ya que sus reglas están desarrollo y su avance en intercambio todavía no está en vigor.

Los precios del Banco Mundial a través de su mecanismo del Fondo Prototipo de Carbono (PCF) han establecido un precio de US\$ 3,5 por tonelada de carbono reducida y un premio de medio dólar adicional si el proyecto genero bienes sociales. El Gobierno Holandés a través de sus mecanismos de Oferta

de Compra de Certificado de Reducción de emisiones (CERUPT) establece un precio de 4,7 euros en promedio, asimismo, con el convenio con el Banco Mundial a través Netherlands Clean Development Facility (NCDF) estuvieron dispuestos a pagar 5,5 euros por tCO₂ reducida, pero al final la información de dicho proyecto estaría dispuesto a pagar 3,5 euros por tCO₂ reducida.

IFC Netherlands Carbon Facility (INCaF) es un mecanismo público de información disponible y su precio por tCO₂ reducida es de 3 euros y los precios de MGM International estaría por los 3,5 dólares por tCO₂ reducida (p. 40)

Tabla N° 5: Precios actuales de los fondos de carbono en América Latina

Fondos de Carbono	Precio por TCO ₂
Fondo Prototipo de Carbono (PCF)	3,5 dólares
Oferta de Compra de Certificado de Reducción de emisiones (CERUPT)	4,7 euros
Netherlands Clean Development Facility (NCDF)	3,5 dólares
IFC Netherlands Carbon Facility (INCaF)	3 euros
MGM International	3,5 dólares

Fuente: Eguren, L (2004)

Otro mecanismo que estaría dispuesto a pagar por encima de los valores ya propuestos es el CAEMA la cual estaría pagando 7 dólares por tCO₂ reducida, mediante contratos de venta de emisiones reducidas automáticamente después que el proyecto del Protocolo de Kioto entre en vigor, tomando en cuenta que los precios serian muchos más significativos si las dos grandes potencias mundiales Estados Unidos y Rusia fueron parte del convenio (Eguren, 2004, p. 57).

1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.4.1. Problema General

- ✓ ¿Cuál es la relación que existe entre el almacenamiento de carbono de la especie forestal Eucalipto (*Eucalyptus globulus Lamill*) y los índices de vegetación obtenidos a partir del uso de las imágenes satelitales en el Bosque de Pallasca – Ancash en el año 2018?

1.4.2. Problemas Específicos

- ✓ ¿Cuáles son las principales semejanzas y diferencias encontradas entre el almacenamiento de carbono y los índices de vegetación presentes en el Bosque de Pallasca de la especie forestal "*Eucalyptus globulus Lamill*", a partir del uso de las imágenes satelitales obtenidas de los sensores Landsat y Sentinel 2A y datos obtenidos en campo?
- ✓ ¿Cuáles son las ecuaciones que se generan a partir de los resultados encontrados del almacenamiento de carbono de la especie forestal "*Eucalyptus globulus Lamill*" y los índices de vegetación de las imágenes satelitales?
- ✓ ¿Cuántos de los índices de vegetación hallados son necesarios para encontrar relación entre el almacenamiento de carbono de la especie forestal "*Eucalyptus globulus Lamill*" y los índices de vegetación obtenidas a partir de las imágenes satelitales?
- ✓ ¿Cuánto es el pago el pago por servicio ambiental (bono de carbono) del almacenamiento de carbono de la especie forestal "*Eucalyptus glubulus Lamill*" a partir de los resultados encontrados en campo?
- ✓ ¿Cuál de los dos sensores Landsat y Sentinel 2A utilizados es el mejor en la obtención de resultados?
- ✓ ¿Cuántas toneladas por hectárea de carbono fotosintético ha sido almacenado por el Bosque de Pallasca?

1.5. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

El bosque de Pallasca , se encuentra ubicado en la provincia de Pallasca y departamento de Ancash, es un área natural caracterizada por presentar plantaciones forestales de bosques homogéneos en grandes dimensiones perteneciente a las especies forestales de Eucalipto y Pino, uno de los objetos de estudio es que actualmente el área viene siendo deforestada de forma indiscriminada, a razón del desconocimiento y falta de gestión de las autoridades competentes; de tal motivo la presente investigación busca evaluar la relación existente entre el almacenamiento de carbono (biomasa aérea) con los índices de vegetación, mediante el uso de la teledetección y en factor de modelos alométricos. Cabe recalcar lo mencionado por Orellana (2012, p. 56), en la actualidad existen modelos alométricos que pueden ser utilizados para la medición de la biomasa de especies forestales; sin embargo, existe la necesidad de plantear y estructurar nuevas ecuaciones alométricos en donde se relacionen diferentes variables para poder estimar sencillamente el carbono fotosintético y así no tener que emplear las mismas fórmulas para la estimación de la biomasa de una misma especie arbórea ubicada en diferentes países.

Además, a partir de la evaluación de la biomasa de la especie *Eucalyptus globulus Lamill* se podrá determinar el almacenamiento de carbono y determinar su valor en costo por el pago de servicios ambientales, es decir pago por bono de carbono. Ortiz y Riascos (2006, p. 81), indican que las investigaciones en donde se muestra en explícito el potencial de stock de carbono dentro de los sistemas agroforestales generan un plus adicional para futuras negociaciones, ya que a partir de ello se pueden generar divisas a través de pagos de servicios ambientales.

1.5.1 Justificación Teórica

La presente investigación pretende emplear la Teledetección en fines medioambientales, pues a través de su intervención no solo brinda mejoría y rapidez en la accesibilidad y/o eficacia de las investigaciones, sino también permite que los estudiantes emprendan metodologías pocas veces utilizadas actualmente. Tal es el caso de la estimación del almacenamiento de carbono a través de sensores remotos, en específico Sentinel II. Pues a partir de las imágenes

satelitales se puede realizar una serie de análisis a la cobertura de cada una de las capas de un área determinada. En el presente caso, se utilizará la cobertura vegetal, en donde se analizarán los índices de vegetación, para luego realizar su correspondiente comparación y valorización a través de la exportación de imágenes satelitales. Pues, afirmo lo mencionado por Martínez (2014, p. 44), en donde especifica que cada uno de los resultados extraídos a nivel satelital representan una información esencial; pues los sensores remotos brindan en su totalidad información valiosa que permite interactuarse con datos extraídos de campo para desarrollar nuevas metodologías que enfoquen directamente hacia variables forestales y ambientales, en donde el carbono fotosintético y la biomasa cumplen un cargo fundamental en el secuestro y las emisiones de carbono de los bosques tanto primarios como secundarios.

1.5.2 Justificación Metodológica

Para cumplir con los objetivos trazados, se evaluó y cuantifico el carbono almacenado dentro de la especie forestal *Eucalyptus Globulus Lamill*, en el cual se desarrolló una serie de metodologías con fines teledidácticos en factor a muestreos de campo. A continuación, se detallarán los pasos a desarrollar:

- Se realizó la delimitación del área en campo, utilizando la herramienta de geoposicionamiento, el GPS.
- Se introdujeron las coordenadas UTM hacia la página web de Sentinel II con la finalidad de delimitar y extraer la imagen satelital.
- Dichas imágenes satelitales se introdujeron en el SOTWARE ENVI, para realizar algunas correcciones temporales y atmosféricas.
- En el mismo programa se realizó el procedimiento que permitió determinar las dimensiones de las variables, es decir, se calculó los índices de vegetación.
- Luego, se analizó las imágenes satelitales resultantes con los índices de vegetación calculados.
- Finalmente se cuantifico a partir de las imágenes satelitales, el pago por servicio ambiental en factor al pago de bono de carbono.

1.5.3 Justificación Tecnológica

A medida que se desarrolla la investigación, quedará comprobado que los estudios mediante la teledetección son más eficientes; ya que con ello se podrá evaluar el almacenamiento de carbono de los ecosistemas forestales en el Perú, teniendo en cuenta características de calidad y buen estado de la vegetación. Hoy en día, las más usadas metodologías empleadas en la medición del carbono se realizan a través de métodos de campo y gabinete, planteando una serie de ecuaciones matemáticas para determinarlas. Sin embargo, Escobar (2016, 58-59 p.), comenta que todo tipo de observaciones realizadas en campo son consideradas pocas prácticas para la medición de biomasa, pues el planteamiento de metodologías planteadas desde fines teledidácticos son mejores; ya que requiere un mínimo número de muestras para calibrar la biomasa de una determinada área seleccionada satelitalmente, pues a partir de ello, también se permitirá efectuar cálculos con similares características, pero en superficies más extensas. Por otro lado, la resolución espacial y la escala de medición cumplen un rol esencial en la estimación del secuestro de carbono; ya que la tasa de CO₂ y otros componentes emitidos hacia el medio atmosférico producto de diferentes actividades antropogénicas, en específico la deforestación, requieren datos puntuales para su rápida y constante medición. En síntesis, la presente investigación pretende brindar una alternativa idónea para estimar el carbono almacenado teniendo en cuenta los valores de pixeles de imágenes satelitales.

1.5.4 Justificación Económica

El siguiente estudio pretende dar realce a la investigación de los ecosistemas forestales y como se cuantifica los bonos de carbono en bosques homogéneos a través de programas basados en la Teledetección. Los estudios sobre almacenamiento, secuestro o acumulación de carbono en el Perú son escasos, debido a que la realización y sus metodologías demanda de tiempo y dinero, variables que determinan la viabilidad de una investigación. Una de las alternativas más utilizadas a nivel mundial es la cuantificación del carbono mediante el análisis de imágenes satelitales, las cuales son consideradas metodologías más rentables y factibles. Pues, tal como menciona ORELLANA, Omar: “La interrelación entre la teledetección y los Sistemas de información geográfica contienen una gran ventaja

para el desarrollo y manejo de los estudios de recursos naturales; pues ello le brinda una serie de aspectos positivos a la efectividad y eficacia del estudio. Tal es el caso que en países mesoamericanos el uso de estos programas está siendo desarrollado con fines para el manejo racional de los recursos naturales y ecosistemas en sí; es por ello, que la incorporación de dicha tecnología facilita no solo el trabajo en mano de obra, sino también en el ámbito económico y temporal. (2012, p. 100).

1.6 HIPÓTESIS

1.6.1 Hipótesis General

- ✓ El almacenamiento de carbono (biomasa aérea) de la especie forestal "*Eucalyptus Globulus Lamill*" se relaciona de *manera directamente proporcional* con los índices de vegetación; porque los valores obtenidos de los píxeles en el cálculo de los índices reflejan rangos de buena calidad de vegetación, deduciéndose que el almacenamiento de carbono de la especie forestal viene siendo óptimo y va en el aumento durante el ciclo de vida.

1.6.2 Hipótesis alternativa

- ✓ El almacenamiento de carbono (biomasa aérea) de la especie forestal "*Eucalyptus Globulus Lamill*" se relaciona de *manera inversamente proporcional* con los índices de vegetación; porque los valores obtenidos de los píxeles en el cálculo de los índices reflejan rangos de mala calidad de vegetación, deduciéndose que el almacenamiento de carbono de la especie forestal viene siendo óptimo y va en el aumento durante el ciclo de vida.

1.7 OBJETIVOS

1.7.1 Objetivo General

- ✓ Evaluar la relación que existe entre el almacenamiento de carbono de la especie forestal Eucalipto (*Eucalyptus Globulus Lamill*) y los índices de vegetación obtenidos a partir del uso de las imágenes satelitales en el Bosque de Pallasca – Ancash en el año 2018.

1.7.2. Objetivos Específicos

- ✓ Determinar las principales semejanzas y diferencias encontradas entre el almacenamiento de carbono y los índices de vegetación presentes en el Bosque de Pallasca de la especie forestal “*Eucalyptus Globulus Lamill*”, a partir del uso de las imágenes satelitales obtenidas de los sensores Landsat y Sentinel 2A y datos obtenidos en campo.
- ✓ Conocer las ecuaciones que se generan a partir de los resultados encontrados del almacenamiento de carbono de la especie forestal “*Eucalyptus Globulus Lamill*” y los índices de vegetación de las imágenes satelitales.
- ✓ Enumerar los principales índices de vegetación que son necesarios para encontrar relación entre el carbono fotosintético almacenado de la especie forestal “*Eucalyptus Globulus Lamill*” y los índices de vegetación.
- ✓ Determinar el pago por servicio ambiental (bono de carbono) del almacenamiento de carbono de la especie forestal “*Eucalyptus Globulus Lamill*” a partir de los resultados encontrados en campo.
- ✓ Mencionar cuál de los sensores Landsat y Sentinel 2A utilizados es el mejor en la obtención de resultados
- ✓ Cuantificar las toneladas por hectárea de almacenamiento de carbono que han sido almacenado por el Bosque de Pallasca.

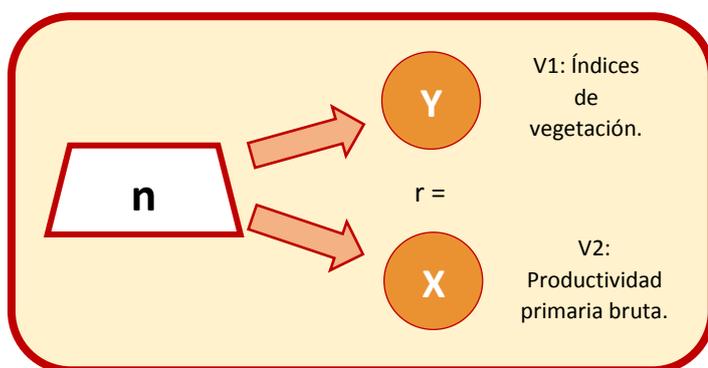
II. MÉTODO

2.1. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

NIVEL DE ESTUDIO ES DESCRIPTIVO – CORRELACION Y EL DISEÑO DE INVESTIGACION ES NO EXPERIMENTAL Y TRANSVERSAL

El presente proyecto es una Investigación Cuantitativa de nivel Correlacional, debido a que se desea conocer la medida del grado en que se encuentran relacionadas las dos variables (V 1 y V 2). Pues, a través de las técnicas a emplear, que son la observación y experimentación, se determinó si la relación encontrada es positiva o negativa, a una escala de -1 a +1, dependiendo del resultado del coeficiente de correlación de Pearson (p. 2 – 3). Por otro lado, lo mencionado por Namakforoosh, que detalla que el diseño de investigación es un plan sistemático, o una serie de instrucciones para realizar un proyecto de investigación; es por ello que el diseño de investigación empleado es Descriptivo – Correlacional (2007, p. 86).

Grafico 7: *Diseño de investigación*



La metodología de la investigación obtuvo muestras en campo para cuantificar in-situ la cantidad carbono (biomasa aérea) que almacenan la especie forestal *Eucalyptus globulus Lamill* (10 parcelas c/u) para el cual se desarrolló en 4 fases: trabajo en campo que tuvo como objetivo la determinación de parcelas permanentes en el monitoreo, además de la estimación de la cantidad de carbono en base a los datos recolectados en campo, pre-procesamiento de las imágenes satelitales utilizando el Software ENVI y QGis, donde se determinó los índices de vegetación con la ayuda del sensor MSI del Satélite Sentinel 2 y Landsat 8, para

obtener el resultado final de la estimación, después se realizó el análisis de correlación de datos de campo vs datos espectrales. Este último paso se realizó con la finalidad de contrastar si las cantidades expuestas por cada metodología de campo guardan relación con los resultados de la metodología satelital. Luego, ya teniendo las cantidades, se realizó la evaluación y comparación del almacenamiento de carbono de la especie forestal "*Eucalyptus globulus Lamill*" y los índices de vegetación para determinar la relación existente entre sí. Finalmente se realizó una valoración económica de parcela para valorar monetariamente a cuanto equivale su servicio ambiental por pago de bono de carbono. En base a esta metodología se logró alcanzar los objetivos planteados.

2.2. VARIABLES, OPERACIONALIZACIÓN

2.2.1. Variables, Dimensiones e Indicadores

Las variables de investigación están conformadas por una variable independiente y una dependiente, para Namakforoosh (2007) menciona que una variable dependiente es la variable que el investigador quiere explicar y la variable dependiente es la que explicara el cambio de los valores de la variable dependiente (p. 66).

Variable 1: Variables Independiente

V1: Almacenamiento de Carbono (Biomasa aérea)

Variable 2: Variable Dependiente

V2: Índices de vegetación (VI)

2.2.2. Operacionalización de Variables

Variable 1:

V1: Almacenamiento de Carbono

IPPC (2001, citado por Gonzales, 2008) define al almacenamiento de carbono como la masa total en un volumen determinado, incluyendo cada organismos vivo o muerto, encima o debajo del suelo (p. 7).

Además, el IPPC (2006, citado por MINAM, 2014) menciona que los reservorios de carbono se encuentran en 6 diferentes biomásas: biomasa aérea o arriba del suelo, biomasa subterránea, madera muerta en pie,

madera muerta yacente, hojarasca y materia orgánica del suelo; las cuales componen a la biomasa total de un individuo en una aérea determinada (p. 23).

Según Martínez (2011, citado por Apolinario y Carmen, 2015) define a la biomasa aérea como el estrato arbóreo que constituye uno de los principales almacenes de biomasa, compuesto por variables como: diámetro normal de la corteza y altura total del árbol; donde el porcentaje de la biomasa total del árbol varía entre 86% y 90% (p. 16).

Variable 2:

V2: Índices de vegetación (VI)

Al hablar de índices nos referimos a un conjunto de operaciones algebraicas efectuadas sobre los valores numéricos de los píxeles, usando dos o más bandas pertenecientes a la misma escena (Muñoz, 2013, p, 2).

2.2.3. Matriz de Operacionalización de variables

		DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS	ESCALA
VARIABLE 1	V1: ALMACENAMIENTO DE CARBONO	IPPC (2001, citado por Gonzales, 2008) define al almacenamiento de carbono como la masa total en un volumen determinado, incluyendo cada organismos vivo o muerto, encima o debajo del suelo (p. 7).	Mediciones en campo a través del GPS, tomando puntos de referencia para determinar zona de estudio, las cuales están divididas en parcelas. Por otro lado, se determinaran las características de la productividad primaria bruta, carbono acumulado y los indicadores tales como; productividad primaria bruta, densidad básica, peso seco, peso húmedo, número de árboles, altura, diámetro y temperatura, las cuales algunos serán medidos en campo y otros a través de uso del Software Excel.	Características de biomasa aérea	Almacenamiento de carbono	Matriz	Tn/ha
				Fórmulas de medición de masa	Densidad Básica	Formulas	Tn/ha
					Masa Seca		Kg/ha
					Masa de Carbono		Kg/ha
					Volumen saturado		C/ha
				Parámetros Físicos de la especie forestal	Números de arboles	Fichas	Numérico
					Altura del árbol		Métricas
					Diámetro a la altura del pecho		Métricas
					Temperatura		C°
				VARIABLE 2	V2: INDICES DE VEGETACION NN	Al hablar de índices nos referimos a un conjunto de operaciones algebraicas efectuadas sobre los valores numéricos de los pixeles, usando dos o más bandas pertenecientes a la misma escena (Muñoz, 2013, p, 2).	El procesamiento de imágenes se realiza a través de los Software ENVI y QGIS de las cuales se evaluará la calidad, cantidad y estado de la vegetación y sobretodo las características de los índices de vegetación en relación con la productividad primaria bruta. Luego, los resultados generados en el programa estadístico EXCEL para la construcción de las formulas.
Índice de Borde Rojo de Diferencia Normalizada NDRE	Adimensional						
Características de Vegetación	Índice de Agua de Diferencia Normalizada NDWI	Imágenes Satelitales	Adimensional				
	Índice de Estrés Hídrico MSI		Adimensional				

2.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

2.3.1. Localización del área de estudio

El área de estudio seleccionada se encuentra ubicada en la Departamento de Ancash, Provincia y Distrito de Pallasca entre las coordenadas 8°15'00'S y 78°01'01'O, el punto exacto de estudio es el Bosque Pallasca que cuenta con alrededor de 600 hectáreas pertenecientes a la especie Eucalipto (*Eucalyptus globulus Lamill*), llamado también bosque homogéneo mixto por la presencia de Pino.

2.3.2. Población forestal

A la población se le denomina al conjunto de elementos que comparten una o más características comunes, que se encuentran delimitadas en mismo espacio y tiempo, de las cuales podrían estar sujetas a evaluación (Hernández, Zapata y Mendoza, 2013). El Bosque Pallasca está comprendida por alrededor de 600 hectáreas de bosque perteneciente a las especies de Eucalipto y Pino, dividido en tres zonas, la cual serán el lugar de estudio y toma de muestras. **(Figura 1)**

2.3.3. Muestra

Se le denomina muestra a la porción perteneciente de un universo la cual es representativa porque conserva las características comunes, es decir, la muestra de datos elegida proporciona a los métodos estadísticos elementos que serán únicas de una población (Hernández, Zapata y Mendoza, 2013). Para el caso del presente trabajo de investigación se utilizó el muestreo por conglomerado, el cual consistió en dividir el área de estudio en parcelas proporcionalmente iguales, después realizamos el muestreo aleatorio simple, el cual consistió en seleccionar las parcelas en forma aleatoria. Las parcelas fueron seleccionadas y muestreadas a nivel de gabinete y campo cada uno con sus respectivos instrumentos. El proceso de selección de parcelas, cálculo del tamaño de muestra y el diseño de muestreo por conglomerado fue recomendado por el Marco Metodológico del Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre – Perú

elaborado por el Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR) perteneciente al Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI).

2.3.4. Materiales y métodos

La investigación es aplicada, de enfoque cuantitativo y de nivel correlacional, para el cual se emplearon instrumentos cuantitativos y cualitativos para llegar al cumplimiento de los objetivos planteados. Se decidió trabajar con las imágenes satelitales LANDSAT y SENTINEL en las diferentes bandas de los sensores de los satélites, Landsat 8 OLI (Operational Land Imager) y Sentinel 2A para el año 2018. Las características de las imágenes se detallan en la siguiente Tabla 2.

Tabla 6: *Imágenes de satélite utilizadas*

N°	Fecha	Satélite	Sensor	Resolución espacial
1	28-Jun	Landsat	OLI	30 m
2	14-Jul	Landsat	OLI	30 m
3	30-Jul	Landsat	OLI	30 m
4	15-Ago	Landsat	OLI	30 m
5	31-Ago	Landsat	OLI	30 m
6	16-Set	Landsat	OLI	30 m
7	28-Jun	Sentinel	2A	20 m
8	18-Jul	Sentinel	2A	20 m
9	28-Jul	Sentinel	2A	20 m
10	17-Ago	Sentinel	2A	20 m
11	27-Ago	Sentinel	2A	20 m
12	16-Set	Sentinel	2A	20 m

Las imágenes de los ambos satélites, pasaron por un procedimiento de conversión de Números Digitales (ND) a valores de reflectancia, pasando por la calibración en radiancia y corrección atmosférica por el Método de Chávez. Este Pre – procesamiento será detallado en el Gráfico 6 y 7.

De manera simultánea, se realizó el muestreo del bosque tomando en cuenta los días de las imágenes del satélite, en donde se utilizó materiales y equipos que fueron relevantes para la investigación y toma de muestras de campo. En el siguiente Tabla 3 se detalla los materiales y equipos a utilizar.

Tabla 7: *Materiales y equipos para el cálculo del carbono en campo*

N°	Materiales	Descripción	Unidad de medida
1	Sistema de posicionamiento global (GPS)	Nos permite determinar la posición actual de cualquier objeto alrededor del todo el mundo.	Grados sexagesimales Longitud Latitud
2	Balanza portátil	Tipo romana de 100 kg, instrumento que servirá para pesar las ramas, hojas, fuste y todas partes de los árboles.	Kilogramos
3	Cinta métrica	Sirve para medir la parcela y la distancia de cada árbol.	Metros
4	Bolsas Ziplot	Material de plástico que sirve para las muestras recolectadas en campo.	No aplica
5	Cooler Mediano	Instrumento que servirá para transportar las muestras recolectadas en campo.	No aplica
6	Clinómetro	Es un instrumento para medir la superficie de la inclinación del terreno.	Grados
7	Palas, machetes y Zapapicos.	Herramienta para trabajar el suelo.	No aplica

Se debe tener en cuenta que es necesario la visita técnica de campo, para determinar con precisión los datos obtenidos a nivel satelital, teniendo solo el criterio de precisión y exactitud de resultados. Si es cierto los dos métodos de recolección serán alternados, ninguno de ellos será deficiente en cuanto al cálculo y resultados entregados

2.3.5. Metodología para determinar la biomasa de carbono

La investigación se basó en el método indirecto de determinación de la biomasa, es decir, fue rentable porque evaluó factores cuantificables de naturaleza sin comprometer al medio ambiente de ninguna forma, además la obtención de resultados fue precisa porque nos apoyaremos en los resultados de los índices generados por las imágenes de satélite, para verificar la calidad y cantidad de vegetación del área de estudio.

El muestreo indirecto se utilizará como herramientas las ecuaciones alométricas, para lo cual, según RUGNITZ *et al.* (2009, citado por VILCA, 2017) señala que una ecuación alométrica de biomasa es una herramienta matemática que permitirá conocer de forma simple, la cantidad de biomasa de un árbol por medio de la medición de la altura, diámetro y tamaño de la copa del árbol. Una ecuación alométrica es una fórmula que formaliza cuantitativamente dicha relación.

La recolección de los datos in situ se realizó en 4 etapas:

1º Etapa:

La toma de muestras in-situ se centra netamente en las características de los árboles, para lo cual los datos obtenidos se tomaron dos veces al mes y teniendo en cuenta los días que ambos satélites realizaban su recorrido. Para lo cual era necesario realizar el cálculo del número de parcelas que se iba muestrear considerando 10 parcelas de 20x50. Como lo indicado en la bibliografía las parcelas son elegidas aleatoriamente dependiendo de la zona de influencia del bosque, a partir de ello se puede considerar la estimación de la productividad primaria bruta a nivel de campo y poder unir los resultados con la siguiente etapa de procesamiento de imágenes.

2º Etapa:

En esta etapa se realizó la descarga de las imágenes satelitales considerando los días que se tomaron en cuenta en la tabla (Tabla 2), este proceso demora algunas horas porque la información que fue descargada contiene un sin número de bandas y pixeles, que mantienen la información necesaria para nuestra investigación. Una vez descargada todas las imágenes (Landsat y Sentinel) se continuó con el cálculo de los índices de vegetación propuestos anteriormente, donde el pre-procesamiento de las imágenes satelitales se realizó en el Software ENVI y QGIS.

3º Etapa:

Después de obtener los resultados se realizó el análisis de correlación de datos de campo vs datos espectrales. En esta etapa se sujeta la parte fundamental de la investigación ya que la comparación de dichos resultados nos proporcionó la similitud y diferencias entre dos tecnologías diferentes pero a la vez precisas en su campo. Los resultados serán guiados al Software Excel para realizar una fórmula que se ajuste a las características encontradas en el bosque y en donde se determinó que tan cercana puede ser la información de los Satélites para el monitoreo, cuidado y protección de recursos forestales.

4º Etapa:

Teniendo en cuenta las cantidades de carbono almacenado encontrado en la biomasa aérea, se realizó la valoración económica ecológica de la especie *Eucalyptus globulus Lamill* con el objeto de calcular monetariamente el valor de servicio ambiental por pago de bono de carbono el cual ha sido almacenado en los últimos años. En base a esta metodología se logró alcanzar los objetivos planteados en la investigación, el cual logro calcular la productividad primaria bruta a nivel satelital a partir de los datos recolectados en campo.

2.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS, VALIDEZ Y CONFIABILIDAD

2.4.1. Técnicas e instrumentos de medición de datos

Como técnicas utilizaremos la observación o exploración visual, los cuales serán los instrumentos más importantes para el desarrollo del proyecto de investigación, ya que registrara procesos, comportamientos, eventos o cualquier fenómeno que se encuentran sujetos a evaluación y que además permitirá la obtención de datos y conductas observables que serán importante al momento de cuantificar y evaluar los resultados. En ambos tipos de metodologías se aplica esta técnica, debido a que se recogió los datos obtenidos (diámetro y altura de los arboles) en campo de las especies *Eucaliptus* sp y *Pinus* sp. Se debe tener en cuenta que para esta fase se elaborara fichas de observación, recolección, coordenadas, medición e imágenes las cuales evidenciara el procedimiento a seguir de cada una de las fases de recolección de datos. Se utilizó los protocolos de RAINFOR (PHILIPS et al., 2016) y HONORIO y BEKER (2010) que contienen la metodología para determinar la biomasa y el almacenamiento de carbono en árboles (VILCA, 2017). Las fichas que serán los instrumentos de evaluación para este trabajo de investigación son:

- **ANEXO 2:** Ficha de Observación de Imágenes Satelitales
- **ANEXO 3:** Fichas de Recolección de Datos en Campo
- **ANEXO 4:** Fichas de Coordenadas de Ubicación de las Parcelas de Estudio
- **ANEXO 5:** Fichas de Imagen LANDSAT – OLI
- **ANEXO 6:** Fichas de Imagen SENTINEL 2A- MSI
- **ANEXO 7:** Ficha de Medición de la Biomasa de Carbono

2.4.2. Validez y Confiabilidad

El trabajo de investigación elaborado será validado y obtendrá confiabilidad a través de las fichas de evaluación o los formatos de observación, las cuales serán evaluadas y validadas por expertos y/o

profesionales con conocimientos y experiencia en la materia. Para más conformidad observar **ANEXO 11**.

El resultado de la siguiente validación fue analizado por el juicio, sapiencia y parcialidad de los siguientes expertos:

Tabla 8: Datos y resultados de la validación

Nombre del experto	Grado	DNI	Puntaje de Validación
1. SERNAQUE AUCCAHUASI, Fernando Antonio	Maestro	07268863	93.5 %
2. SÁNCHEZ ALVARADO, Marco Antonio	Maestro	06188280	95 %
3. TULLUME CHAVESTA, Milton Cesar	Doctor	07482588	95 %
4. VALDIVIEZO GONZALES, Lorgio	Maestro	40323063	90 %
5. SUAREZ ALVITES, Alejandro	Doctor	07106495	81 %

2.5 MÉTODOS DE ANÁLISIS DE DATOS

2.5.1. Método de Recojo de datos

Se utilizó la tecnología como base para el recojo de imágenes, con la finalidad de medir la calidad y cantidad de la vegetación en números que oscilan del -1 al +1 perteneciente a la área de estudio de la especie *Eucalyptus globulus Lamill*, para lo cual se usó la teledetección como herramienta principal, en donde se empleó los índices tales como: el NDVI (Índice de Vegetación de Diferenciada Normalizada), el MSI (Índice de Estrés Hídrico), el NDRE (Índice de Borde del Rojo Normalizada y Estandarizada), el NDWI (Índice de Agua de Diferenciada Normalizada) y

la temperatura, los cuales serán aplicados a las imágenes satelitales adquiridas de los sensores Landsat 8 OLI y Sentinel 2A - MSI.

Para realizar el procedimiento del recojo de datos, se utilizó la Ficha de Observación de Imágenes Satelitales, en la cual se ingresó todas las observaciones realizadas de las imágenes descargadas y seleccionadas anteriormente, para el cual se tomó en cuenta las siguientes características: ámbito, ubicación de la zona de estudio, periodos de análisis, fuente de adquisición de las imágenes, ancho de barrido de la escena, resolución espacial y temporal, fechas de imagen, tipo de sensor, satélite, coordenadas geográficas, órbita, proyección y zona.

Para el registro de los datos de campo obtenidos se elaborará la Ficha de Recolección de datos en Campo (*Eucalyptus globulus Lamill*) para datos generales tales como: tamaño y número de parcela, fecha de muestreo, hora de inicio, hora fin, tipo de ecosistema, coordenadas, etiqueta, diámetro a la altura de pecho, altura y todo lo necesario utilizado en el momento de llenado de información y también la Ficha de Coordenadas de Ubicación de las Parcelas de Estudio, en el cual se registró las coordenadas de medición (geográficas y/o UTM) para cada uno de los árboles que han sido objeto de estudio. La siguiente ficha es la Ficha de Medición de la Biomasa de aérea (*Eucalyptus globulus Lamill*) la cual contó con los siguientes puntos: números de árboles, familia, nombre científico, DAP, AB, volumen, densidad, biomasa, cantidad de carbono, entre otros.

2.5.2. Obtención y procesamiento de las imágenes

2.5.2.1. Obtención

En la metodología se trabajó con el satélite Landsat 8 OLI/TIRS, la última versión actualizada y sobretodo uno de los satélites más utilizados en el mundo, ofrece un mayor número de bandas y a la vez sus imágenes son de fácil acceso. De igual manera se utilizará el satélite Sentinel, en su sensor 2A, en donde serán trabajadas un total de 12 imágenes Landsat 8 OLI y Sentinel 2A correspondiente al año 2018, considerando la frecuencia de paso del satélite en el área de estudio. Para esta parte del trabajo se

utilizará las Fichas de Imagen (Landsat – OLI y Sentinel 2A- MSI) en las cuales se obtuvo la información general de la imagen (lugar, área, coordenadas, nombre de la imagen y fecha de la imagen), necesarios en los cálculos de los índices.

Tabla 9: *Información de las imágenes satelitales de LANDSAT 8 OLI/TIRS*

	Fecha de la imagen	Nombre
1	21-Jun	ML1
2	07-Jul	ML2
3	23- Jul	ML3
4	08-Ago	ML4
5	24-Ago	ML5
6	09-Set	ML6

Tabla 10: *Información de las imágenes satelitales de SENTINEL 2A*

	Fecha de la imagen	Nombre
1	28-Jun	MS1
2	08-Jul	MS2
3	28-Jul	MS3
4	07-Ago	MS4
5	17-Ago	MS5
6	27-Ago	MS6

2.5.2.2. Procesamiento de imágenes satelitales

El procesamiento se realizó después de haber adquirido las imágenes, dependiendo que sensor vamos a utilizar el procedimiento variará en el caso de los índices que se van a calcular. De forma general, de una vez que tenemos las imágenes se procedió a observar su composición de bandas y posteriormente se realiza su corrección radiométrica y atmosférica, con el objetivo de eliminar cualquier distorsión o anomalía en la imagen, ya sea por la presencia de nubes, fallas en su

localización o radiometría de los píxeles, así como producto tendremos imágenes corregidas siendo lo más próximo posible a las características espaciales del área de estudio. Para ello, se utilizó el software QGIS 2.18, el cual cuenta con todas las herramientas para el procedimiento y encuentro de resultados.

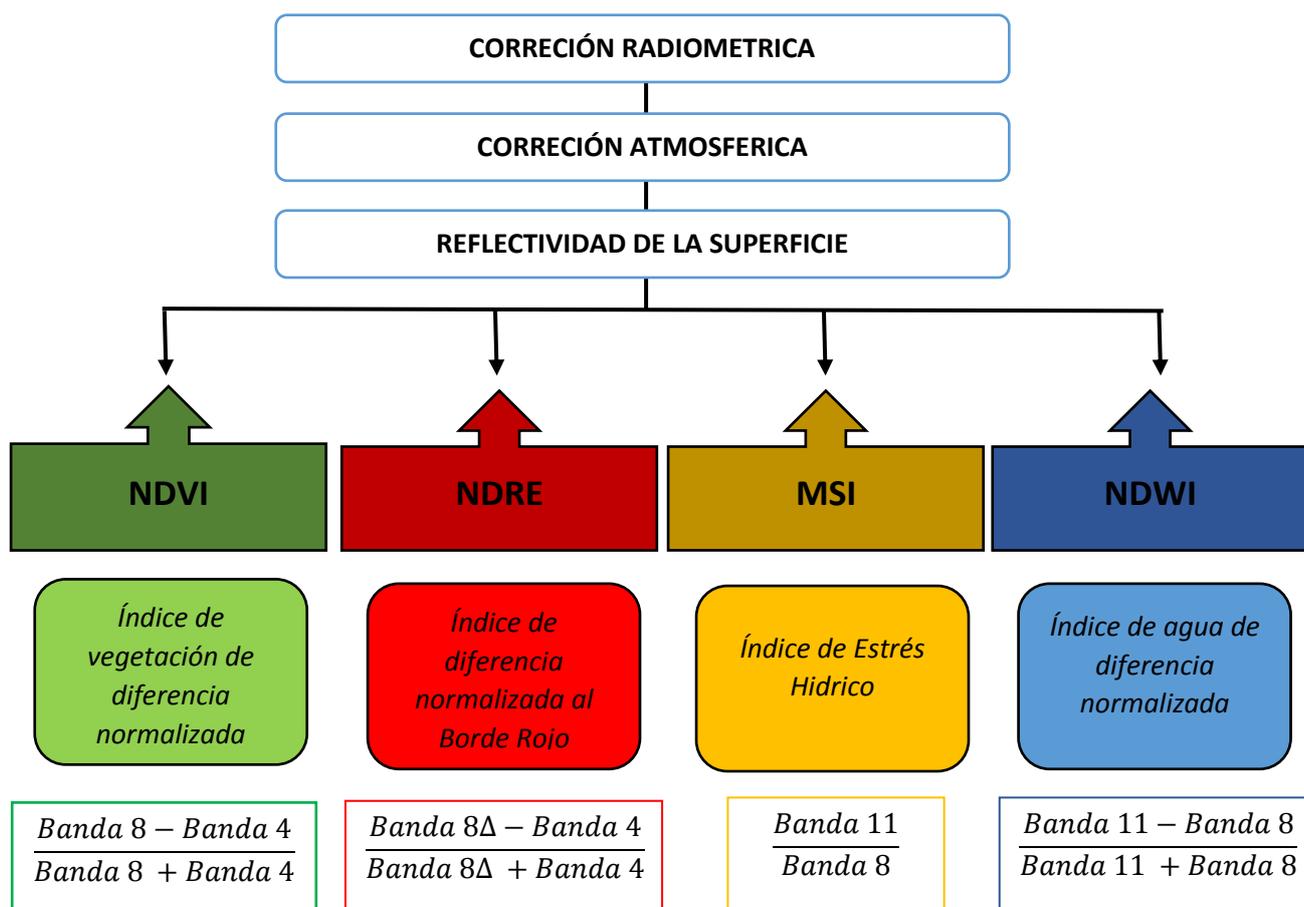
Las correcciones radiométricas son importantes porque la radiación electromagnética generada se propaga, interactuando con la atmósfera, por ello puede afectar la radiación en su longitud de onda, intensidad, dirección o distribución espacial. Hay dos tipos de efectos que produce la atmósfera: absorción y dispersión. El ruido introducido por la atmósfera tiene efectos importantes en la teledetección y su remoción, es necesaria corregirla (APN, 2005; citado en Gonzaga Aguilar, 2014).

2.5.2.3. Procesamiento de imágenes del sensor SENTINEL 2A

Para el procesamiento con el satélite Sentinel, se seguirá los siguientes pasos:

- a. Se seleccionó cada imagen satelital descargada.
- b. Se realizó la corrección radiométrica.
- c. Se realizó la corrección atmosférica.
- d. Se realizó la determinación de la reflectividad de superficie
- e. Finalmente se determinarán los siguientes índices:
 - ✓ NDVI
 - ✓ NDRE
 - ✓ MSI
 - ✓ NDWI

Grafico 8: Procesamiento Sentinel 2A

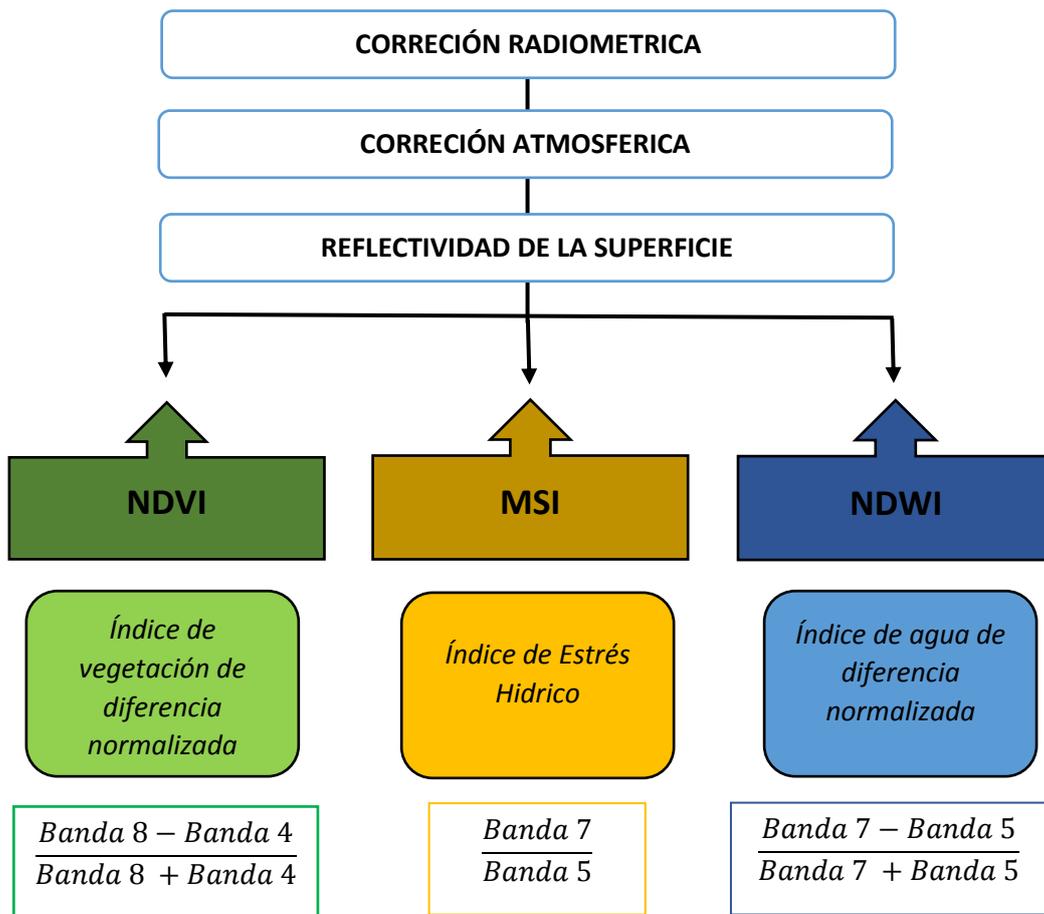


2.5.2.4. Procesamiento de imágenes del sensor LANDSAT 8 OLI/TIRS

Para el procesamiento con el satélite Sentinel, se siguió los siguientes pasos:

- Se seleccionó cada imagen satelital descargada.
- Se realizó la corrección radiométrica.
- Se realizó la corrección atmosférica.
- Se realizó la determinación de la reflectividad de superficie
- Finalmente se determinarán los siguientes índices:
 - ✓ NDVI
 - ✓ MSI
 - ✓ NDWI
 - ✓ TEMPERATURA

Grafico 9: Procesamiento Landsat 8 OLI/TIRS



2.5.3. Análisis de datos

En el siguiente trabajo de investigación el análisis estadístico estuvo a cargo del programa Excel para procesar los datos obtenidos en cada uno de las fichas, el cual facilitó el procedimiento de obtención de resultados, también se utilizó el programa SPSS para realizar la prueba de hipótesis y así poder cumplir con los objetivos a través de la obtención de conclusiones.

El conocido coeficiente de Pearson (r) evaluará la medida de relación de ambas hipótesis planteadas, las cuales son objeto de estudio. El coeficiente de Pearson es una medida que indica el grado de relación que existe entre dos variables, la cual varía entre +1 y -1; si el valor de $r=0$, quiere decir que no existe relación entre ambas variables (Suárez et al., 2014 citado por Herrera, 2015, p. 34).

El coeficiente de Pearson se puede determinar con la siguiente fórmula:

Formula 13

$$\rho = \frac{Cov(X, Y)}{\sigma(X)\sigma(Y)}$$

Donde:

Cov (X, Y) = Es la covarianza de (X, Y)

$\sigma(X)$ = Es la desviación típica de la variable de X.

$\sigma(Y)$ = Es la desviación típica de la variable de Y.

2.6 ASPECTOS ÉTICOS

La evaluación de la productividad primaria bruta y la relación con los índices de vegetación, utilizando la teledetección cuenta con autenticidad y el consentimiento de todas las personas involucradas en la realización y desarrollo, además el trabajo de investigación contó con la aprobación de los profesionales que se encargaron de la validación. También durante el desarrollo, se aseguró no comprometer ningún componente del medio ambiente, es más, con el trabajo se contribuye al cuidado y preservación del área.

La investigación realizada se compromete a ser fiel y veraz con los resultados, además de desarrollar mecanismos que promuevan la preservación del ambiente. Finalmente, el trabajo tendrá de libre acceso a la comunidad perteneciente de la zona de estudio, para que sirva como base para siguientes futuras investigación.

III. RESULTADOS

El NDVI, Normalized Difference Vegetation Index, es el índice de vegetación más utilizado en el procesamiento de imágenes satelitales para estudios de clasificación de tipos de vegetación; en las cuales, varía entre los valores de - 1 a + 1, en donde, los valores que se encuentran debajo de 0 y/o más cercanas a - 1, representan zonas cuya vegetación es nula y hacen referencia a territorios desnudos, áridos, en algunos casos desiertos y/o cuerpos de agua. Los valores que son mayores a 0, representan algún tipo de vegetación. Las zonas que tienen valores de 0.2 a 0.34, hacen referencia a zonas de vegetación pobre, de 0.35 a 0.64, representan bosques y/o plantaciones forestales jóvenes, de 0.65 a 1, representan área boscosas y abundante forestación.

El MSI, Moisture Stress Index, este índice es muy utilizado pues permite conocer el estado del estrés hídrico de una determinada cobertura vegetal, plantación o cultivo. Se encuentran representando en valores entre 0 y + 1, clasificando a los valores entre 0 a 0.6, como zonas donde la vegetación no representa estrés hídrico, 0.61 a 0.8, zonas de

cultivo o áridas en donde se presencia poca disponibilidad hídrica y los valores de 0.81 a + 1, áreas con problemas de disponibilidad hídrica, usualmente estos terrenos representan áreas sin vegetación.

El NDRE, Normalized Difference Red Index, este índice está relacionado con la medición de la clorofila en la vegetación en factor al estrés hídrico. El índice brinda una mejor información a través de sus valores debido a que al ser procesadas, exporta valores del nivel de vegetación existente corrigiendo automáticamente el estrés hídrico presente en una superficie. Se encuentra ubicado dentro de los valores - 1 a + 1, en donde los valores mayores a 0 y más cercanos a 1, representación áreas, superficies, cultivos, plantaciones o bosques sin problemas de estrés hídrico, y los valores menores a 0, representación problemas de disponibilidad hídrico y dependiendo al rango este problema se vuelve más riguroso.

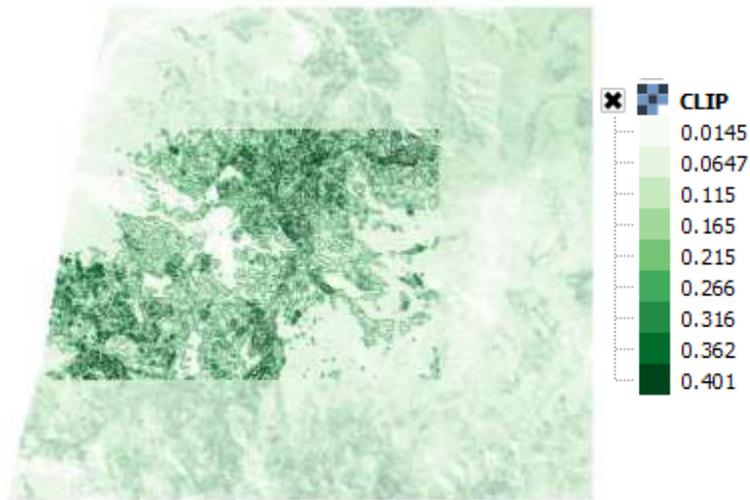
NDWI, Normalized Difference Water Index, es un índice que, a través de su procesamiento, clasifica los tipos de superficie

y lo relación con el recurso hídrico. Se representa entre los valores -1 a $+1$, en donde los valores menores a 0 y más cercanos a -1 , representan áreas no acuáticas.

3.1 PROCESAMIENTO DE IMÁGENES LANDSAT 8 **(AREA DE ESTUDIO)**

FECHA: 21 DE JUNIO DE 2018

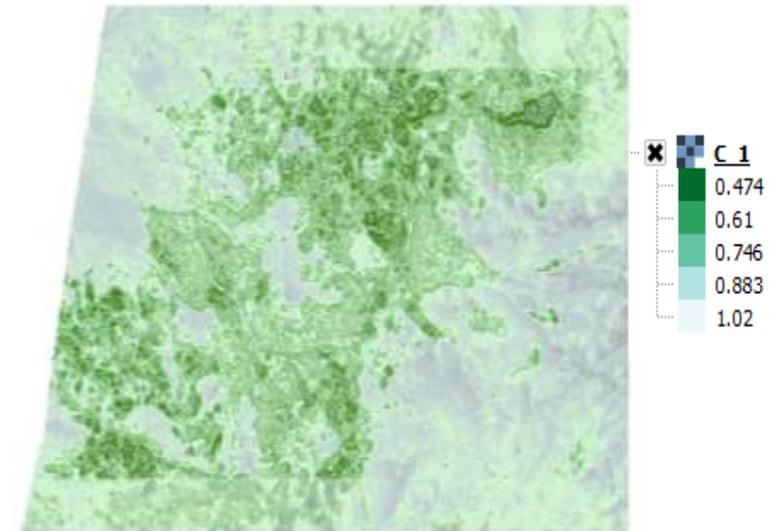
IMAGEN 1: NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX



El procesamiento de la imagen y los valores resultantes del NDVI en el área de estudio, se ubica dentro de los valores

entre 0.316 a 0.401 , la cual hace referencia a que existe vegetación, en específico área boscosa. La intensidad de la coloración se relaciona directamente proporcional con el aumento del valor del índice y la vegetación existente. Las zonas cuyos valores son de 0.266 a 0.0145 , representan áreas de pobre vegetación, lo usualmente estas áreas son pastizales.

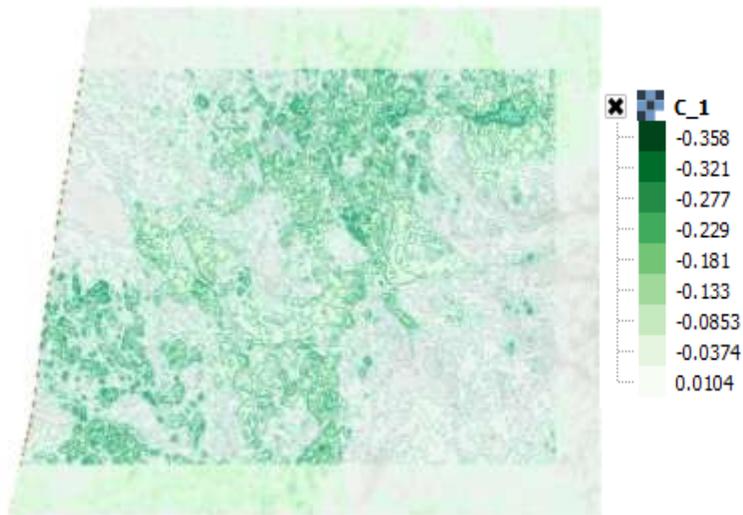
IMAGEN 2: MOUSTURE STRESS INDEX – MSI



El procesamiento de la imagen y los valores resultantes del MSI en el área de estudio, se ubica dentro de los valores entre 0.474 a 0.1 , el área de estudio se encuentra dentro de los

valores de 0.474 a 0.61; representando que la vegetación perteneciente al lugar no presenta problemas de estrés hídrico; sin embargo, las áreas cuyo valores colinda entre 0.883 a 1, hace referencia a suelos desnudos en donde no hay uso del recurso hídrico o áreas con presencia de vegetación que existen problemas con la disponibilidad hídrica.

IMAGEN 3: NORMALIZED DIFFERENCE WATER INDEX – NDWI



El procesamiento de la imagen y los valores resultantes del NDWI en el área de estudio, se ubica dentro de los valores –

0.299 a – 0.358, la cual hace referencia a que la superficie se clasifica como un área no acuática, es decir, la zona de estudio representa a áreas vegetativas o boscosas.

FECHA: 07 DE JULIO DE 2018

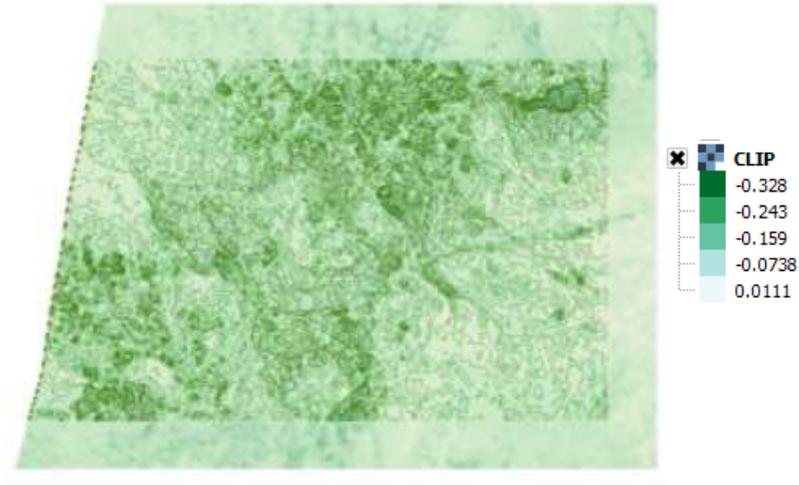
IMAGEN 4: NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX – NDVI



IMAGEN 5: MOUSTURE STRESS INDEX – MSI



IMAGEN 6: NORMALIZED DIFFERENCE WATER INDEX – NDWI



FECHA: 23 DE JULIO DE 2018

IMAGEN 7: NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX – NDVI

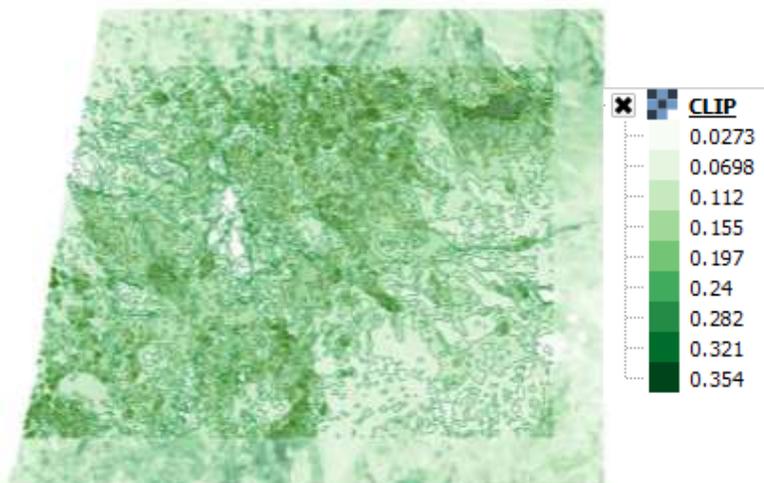


IMAGEN 8: MOUSTURE STRESS INDEX – MSI

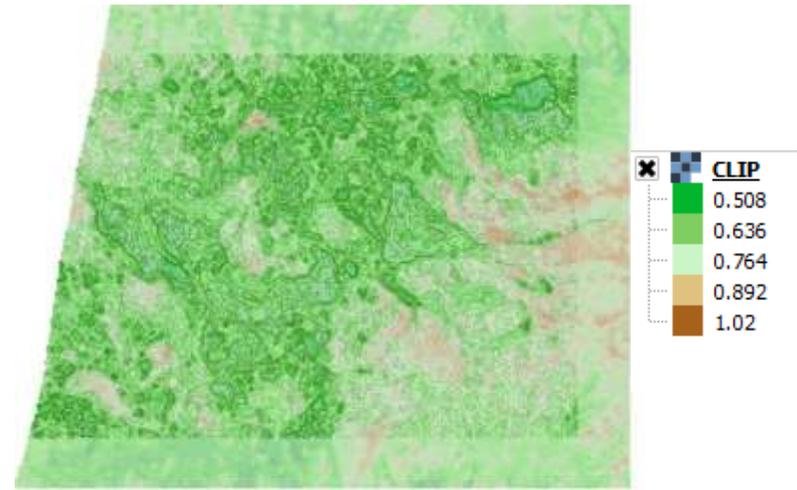


IMAGEN 9: NORMALIZED DIFFERENCE WATER INDEX – NDWI

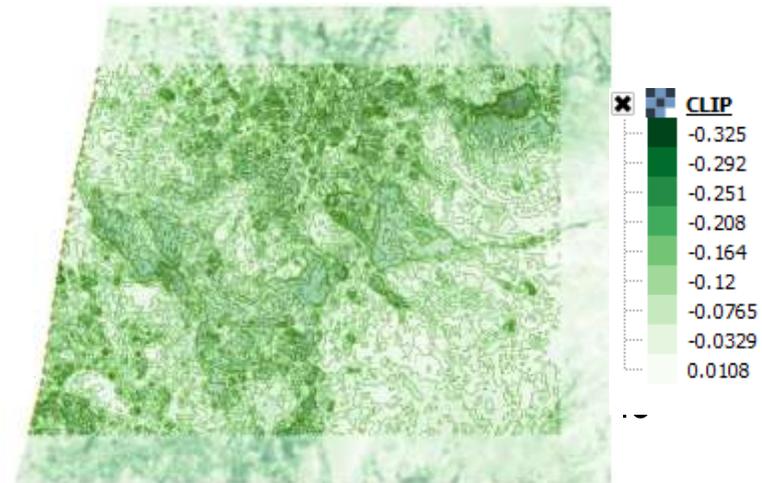


IMAGEN 10: NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX – NDVI

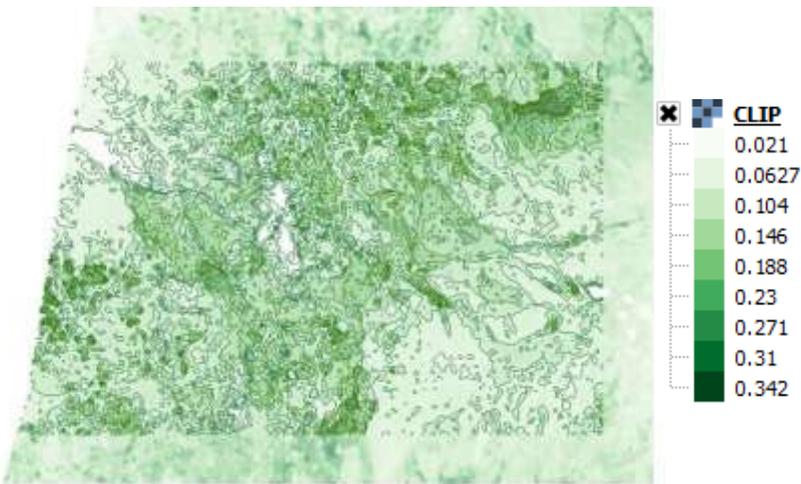


IMAGEN 12: NORMALIZED DIFFERENCE WATER INDEX – NDWI

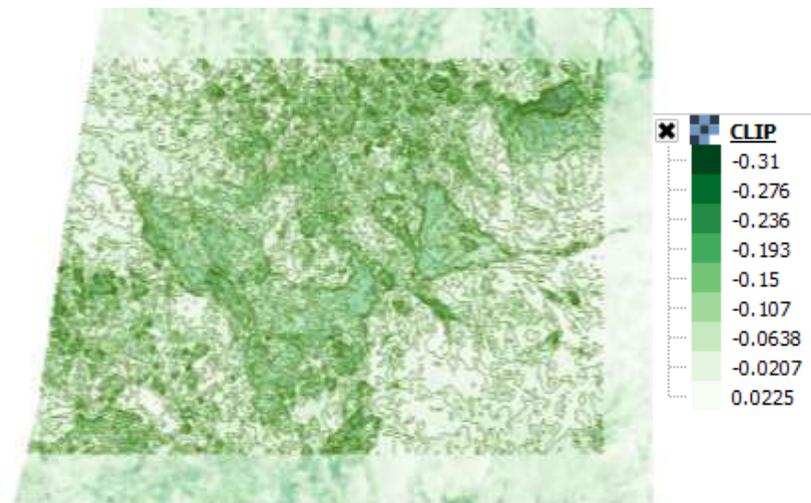
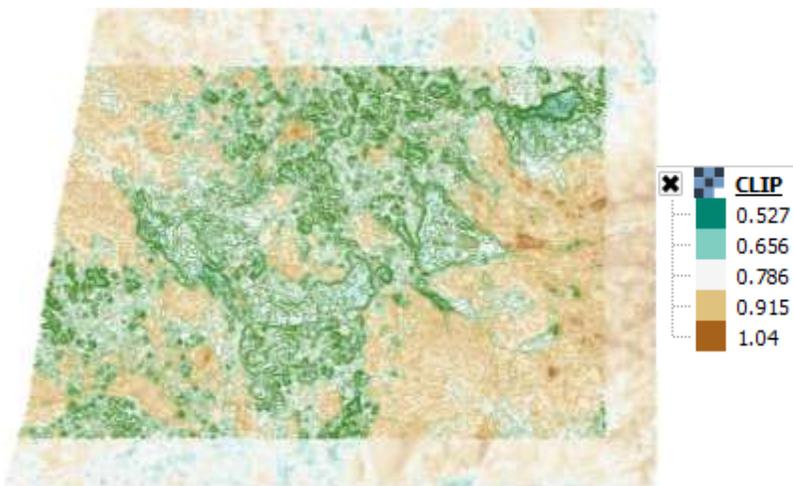


IMAGEN 11: MOUSTURE STRESS INDEX – MSI



FECHA: 09 DE SETIEMBRE DE 2018

IMAGEN 13: NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX – NDVI



IMAGEN 14: MOUSTURE STRESS INDEX – MSI

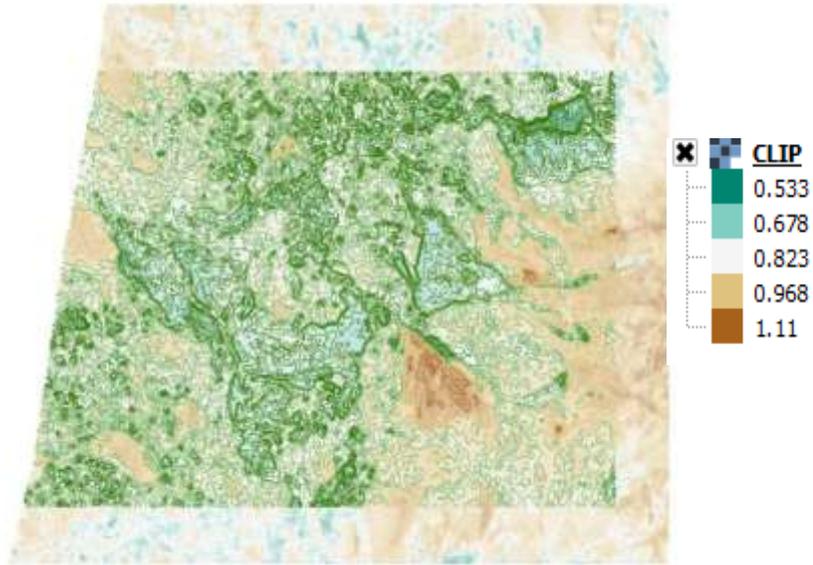
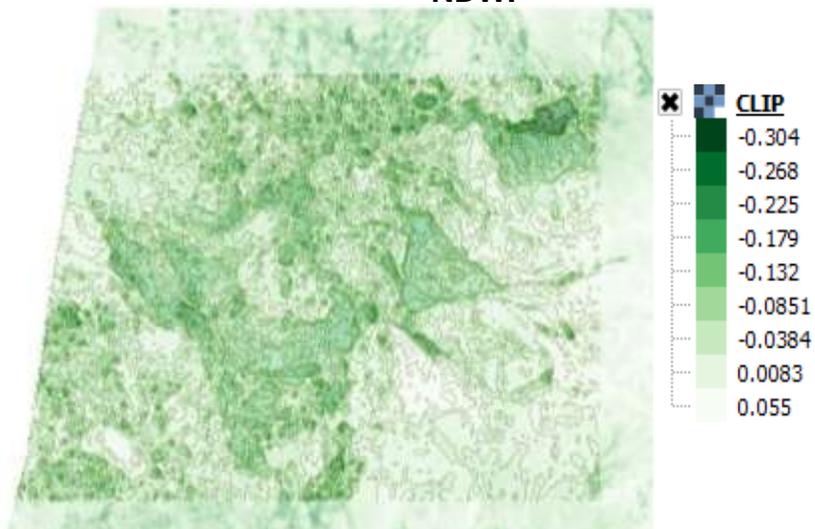


IMAGEN 15: NORMALIZED DIFFERENCE WATER INDEX – NDWI



**3.2 PROCESAMIENTO DE IMAGENES SENTINEL 2A
(AREA DE ESTUDIO)**

FECHA: 28 DE JUNIO DE 2018

IMAGEN 16: IMAGEN SATELITAL DEL AREA DE ESTUDIO

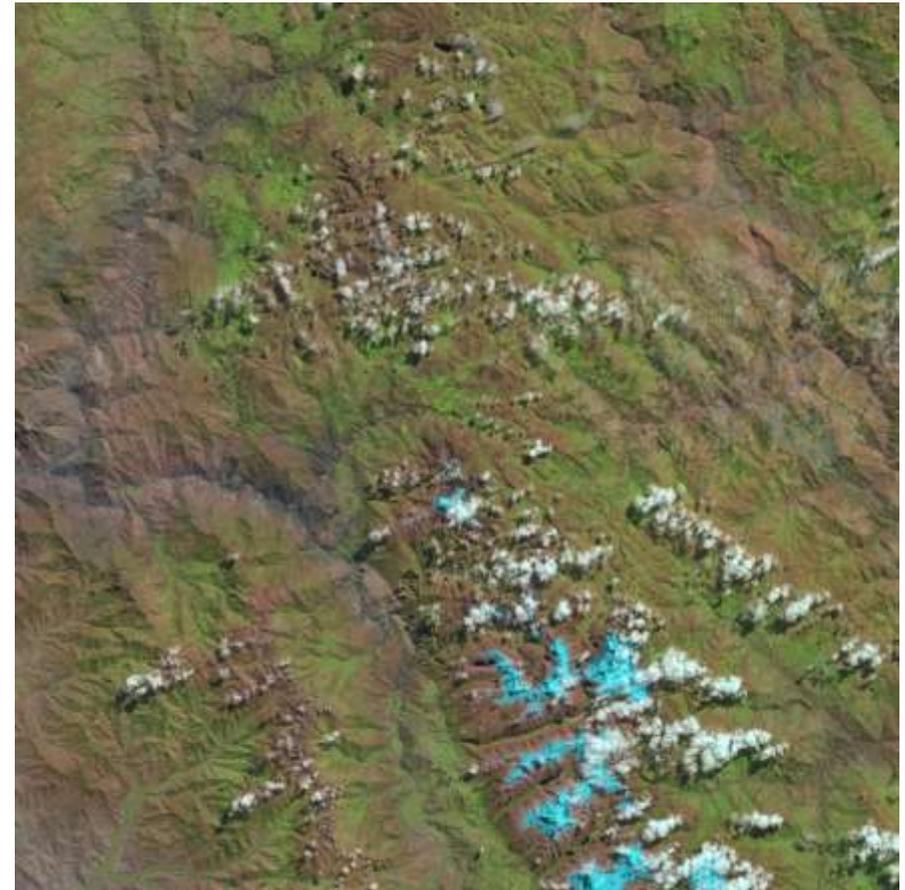
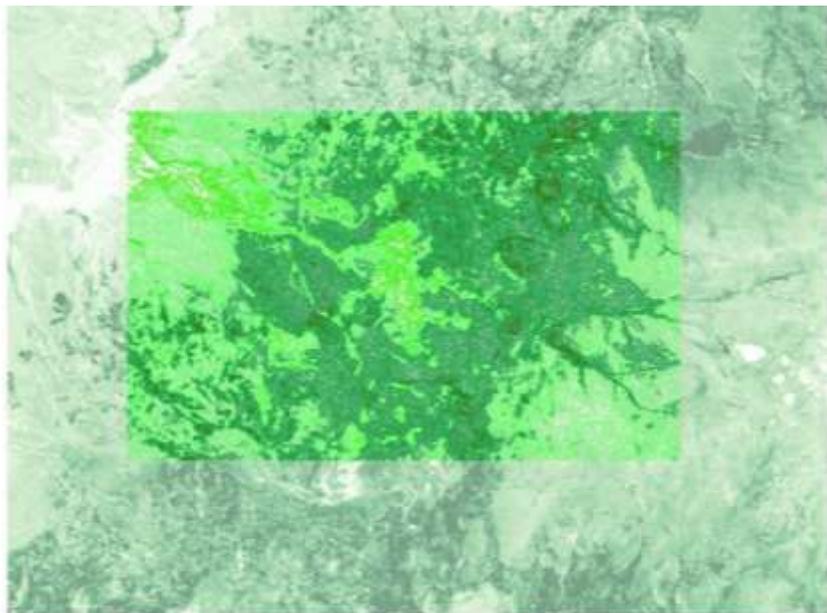


IMAGEN 17: NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX – NDVI



El procesamiento de la imagen y los valores resultantes del NDVI en el área de estudio, se ubica dentro de los valores entre 0.334 a 0.67; la cual hace referencia a que existe vegetación, en específico el área de estudio es área boscosas (plantacion forestal). La intensidad de la coloración se relaciona directamente proporcional con el aumento del valor del indice y la vegetación existente. Las zonas cuyos valores son de 0.243 a 0.0611, representan áreas de pobre vegetación, lo usualmente estas áreas son pastizales.

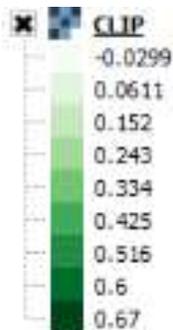
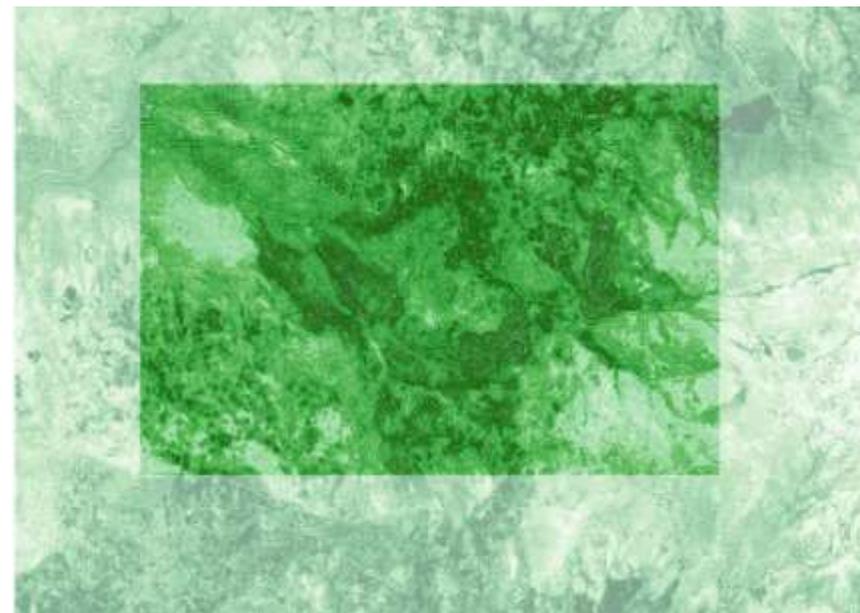
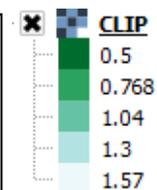


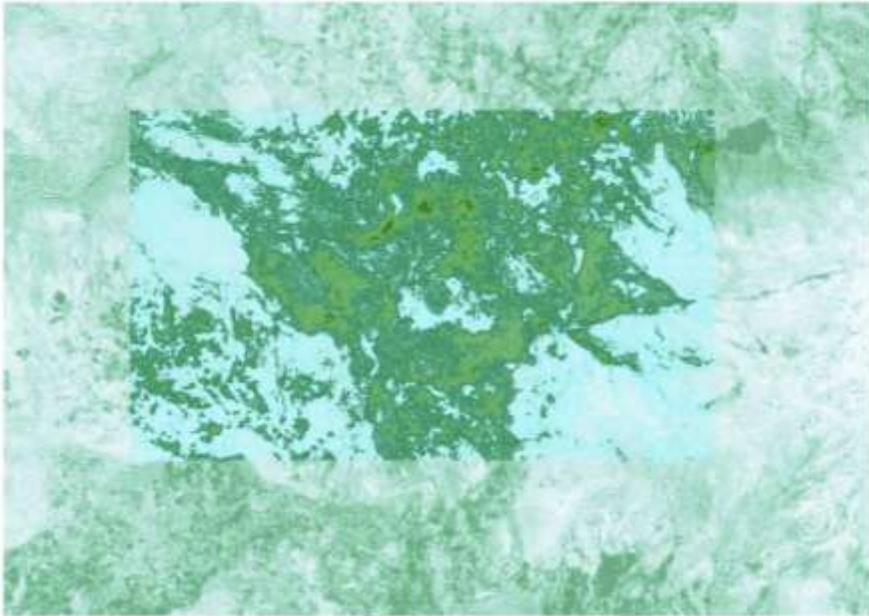
IMAGEN 18: MOUSTURE STRESS INDEX – MSI



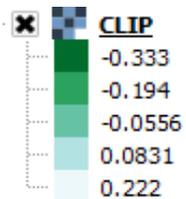
El procesamiento de la imagen y los valores resultantes del MSI en el área de estudio, se ubica dentro de los valores entre 0.5; representando que la vegetación perteneciente al lugar no presenta problemas de estrés hídrico; sin embargo, las áreas cuyos valores colinda entre 1.04 a 1.57, áreas con presencia de vegetación que existen problemas con la disponibilidad hídrica.



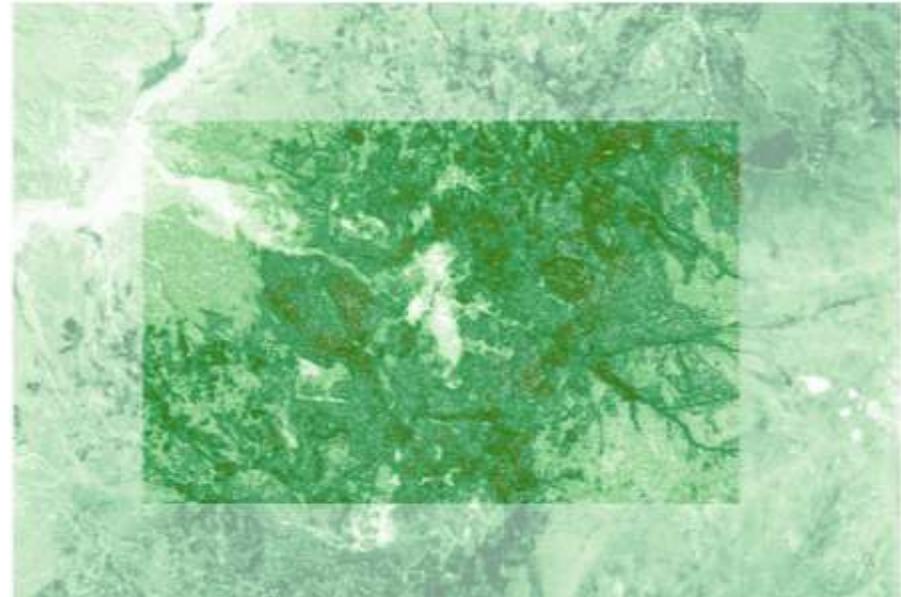
**IMAGEN 19: NORMALIZED DIFFERENCE WATER INDEX
– NDWI**



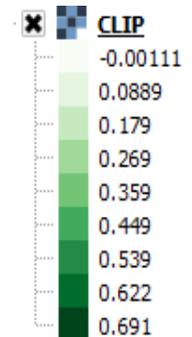
El procesamiento de la imagen y los valores resultantes del NDWI en el área de estudio, se ubica dentro de los valores -0.194 a -0.333 , la cual hace referencia a que la superficie se clasifica como un área no acuática, es decir, la zona de estudio representa a áreas vegetativas o boscosas



**IMAGEN 20: NORMALIZED DIFFERENCE RED EDGE
INDEX – NDRE**



El procesamiento de la imagen y los valores resultantes del NDRE en el área de estudio, se ubica dentro de los valores entre 0.359 a 0.691 ; la cual hace referencia a que existe vegetación, en específico el área de estudio es área boscosas (plantación forestal) que no representa estrés hídrico. Las zonas colindantes al área de estudio se encuentran dentro de los valores 0.269 a 0.0889 y se afirma que dichas áreas son superficies con vegetación pobre y con un ligero estrés hídrico.



FECHA: 08 DE JULIO DE 2018

IMAGEN 21: IMAGEN SATELITAL DEL AREA DE ESTUDIO

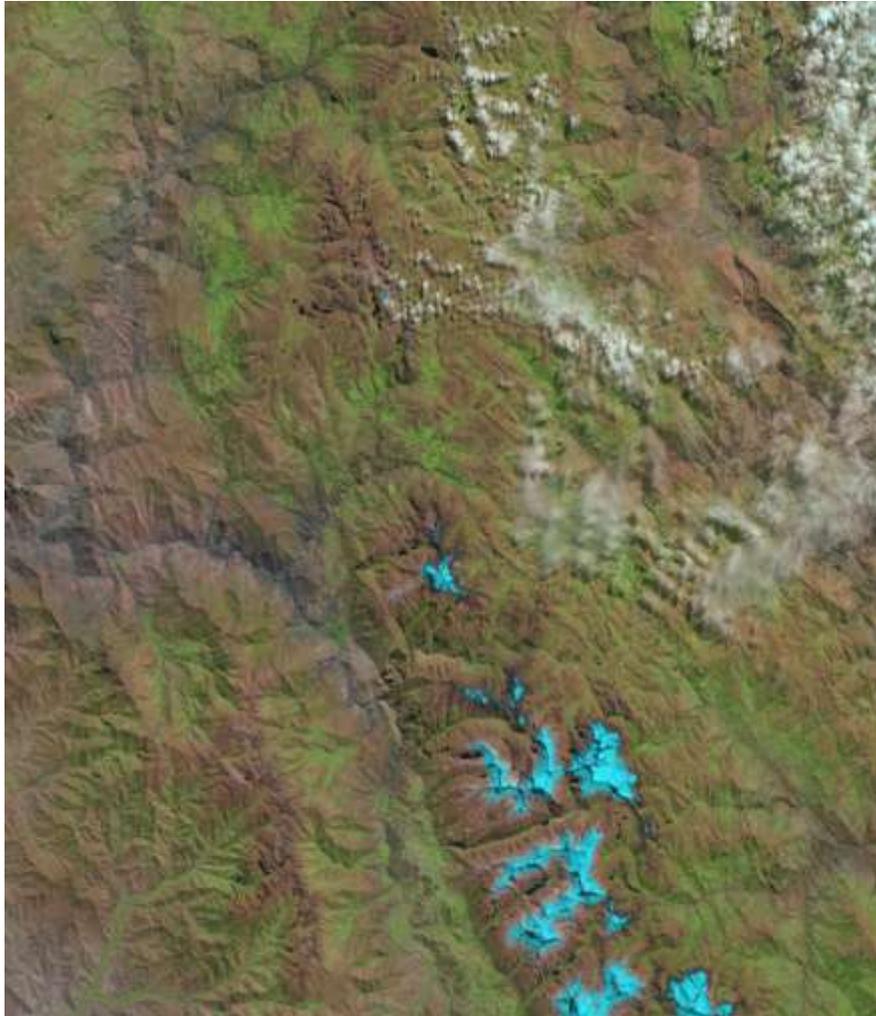
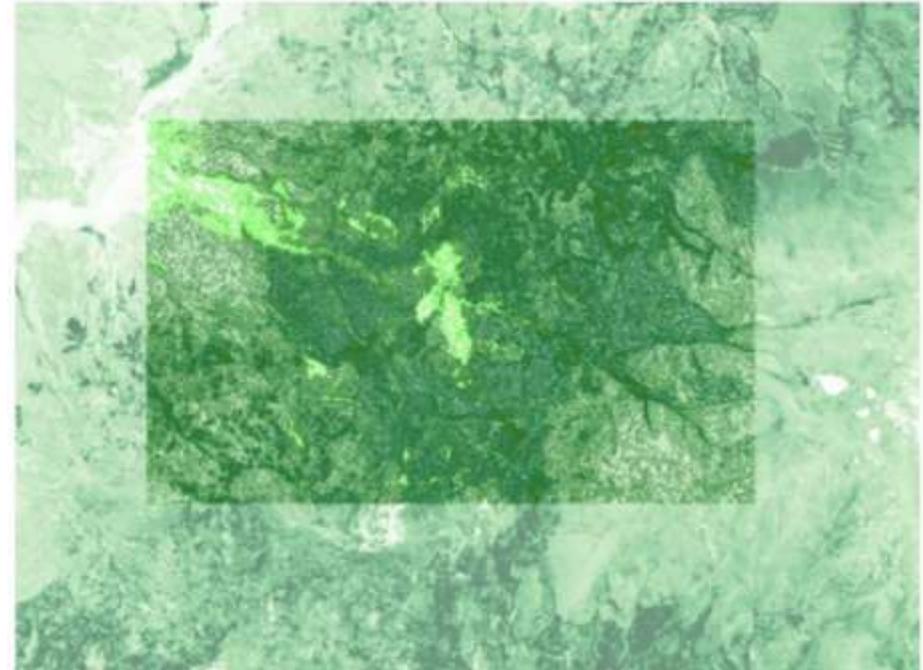


IMAGEN 22: NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX – NDVI



El procesamiento de la imagen y los valores resultantes del NDVI en el área de estudio, se ubica dentro de los valores entre 0.32 a 0.643; la cual hace referencia a que existe vegetación, en específico el área de estudio es área boscosa (plantación forestal). La intensidad de la coloración se relaciona directamente proporcional con el aumento del valor del índice y la vegetación existente. Las zonas cuyos valores son de 0.232 a 0.0572, representan áreas de pobre vegetación, lo usualmente estas áreas son pastizales.

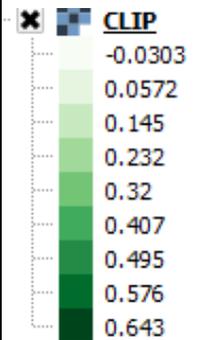
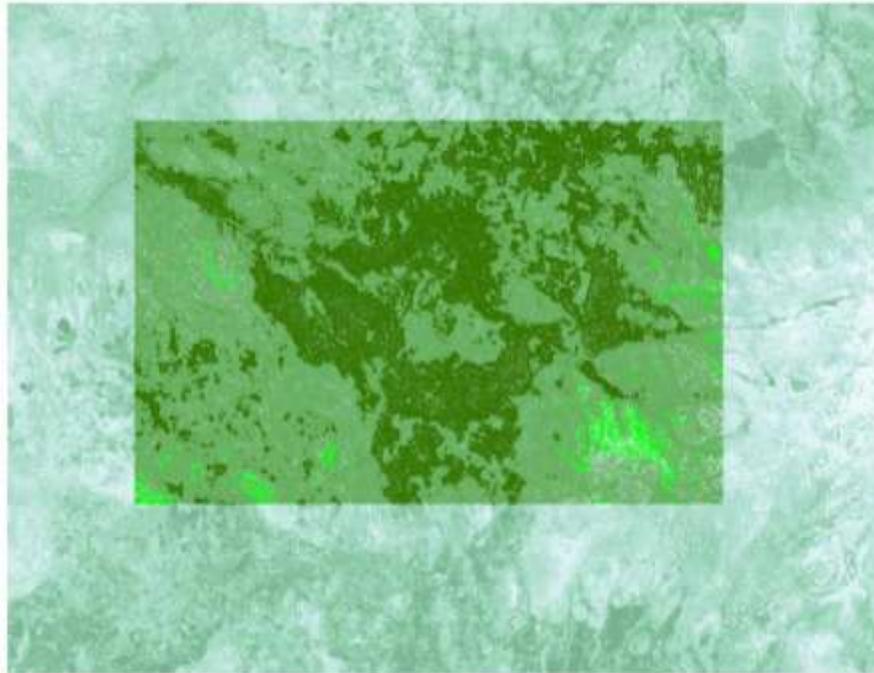


IMAGEN 23: MOUSTURE STRESS INDEX – MSI



El procesamiento de la imagen y los valores resultantes del MSI en el área de estudio, se ubica dentro de los valores entre 0.515; representando que la vegetación perteneciente al lugar no presenta problemas de estrés hídrico; sin embargo, las áreas cuyos valores colinda entre 0.785 a 1.05, áreas con presencia de vegetación que existen problemas con la disponibilidad hídrica.

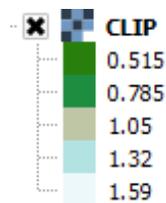
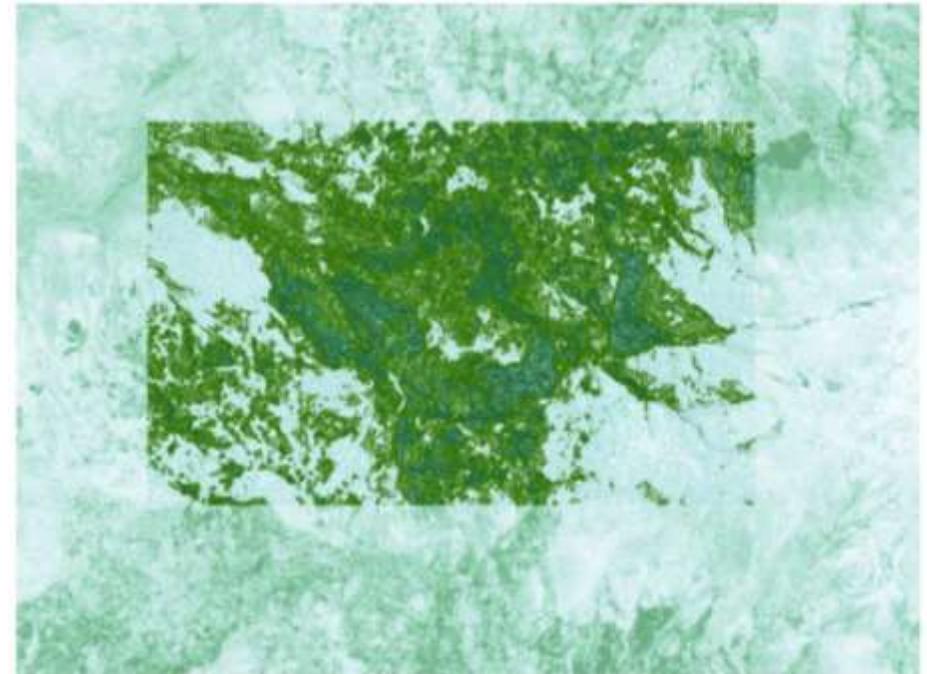


IMAGEN 24: NORMALIZED DIFFERENCE WATER INDEX – NDWI



El procesamiento de la imagen y los valores resultantes del NDWI en el área de estudio, se ubica dentro de los valores -0.32 a -0.0455 , la cual hace referencia a que la superficie se clasifica como un área no acuática, es decir, la zona de estudio representa a áreas vegetativas o boscosas.

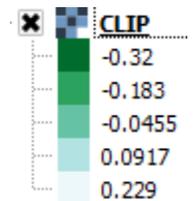
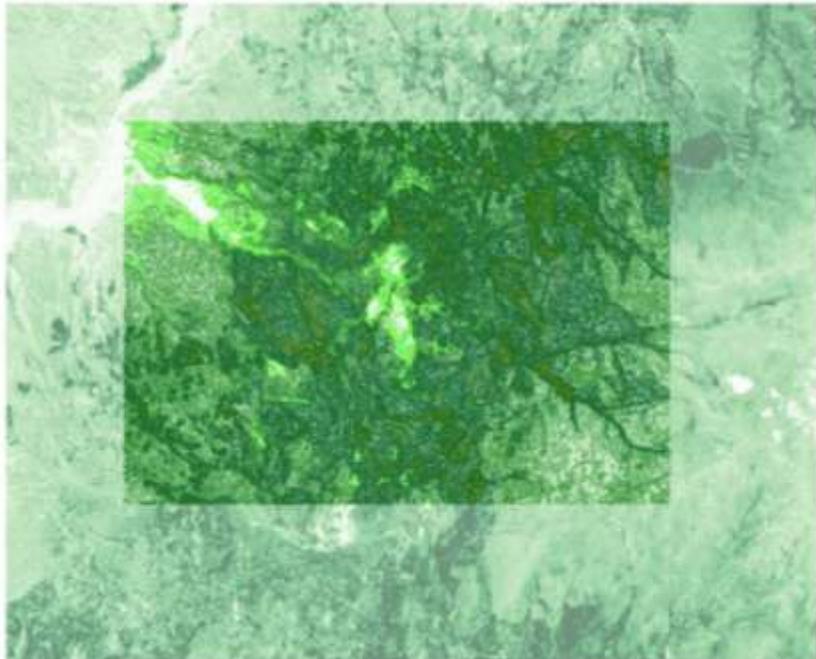
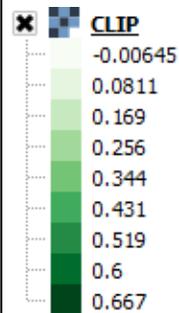


IMAGEN 25: NORMALIZED DIFFERENCE RED EDGE INDEX – NDRE



El procesamiento de la imagen y los valores resultantes del NDRE en el área de estudio, se ubica dentro de los valores entre 0.344 a 0.667; la cual hace referencia a que existe vegetación, en específico el área de estudio es áreas boscosas (plantación forestal) que no representa estrés hídrico. Las zonas colindantes al área de estudio se encuentran dentro de los valores 0.256 a 0.0811 y se afirma que dichas áreas son superficies con vegetación pobre y con un ligero estrés hídrico.



FECHA: 07 DE AGOSTO DE 2018

IMAGEN 26: IMAGEN SATELITAL DEL AREA DE ESTUDIO

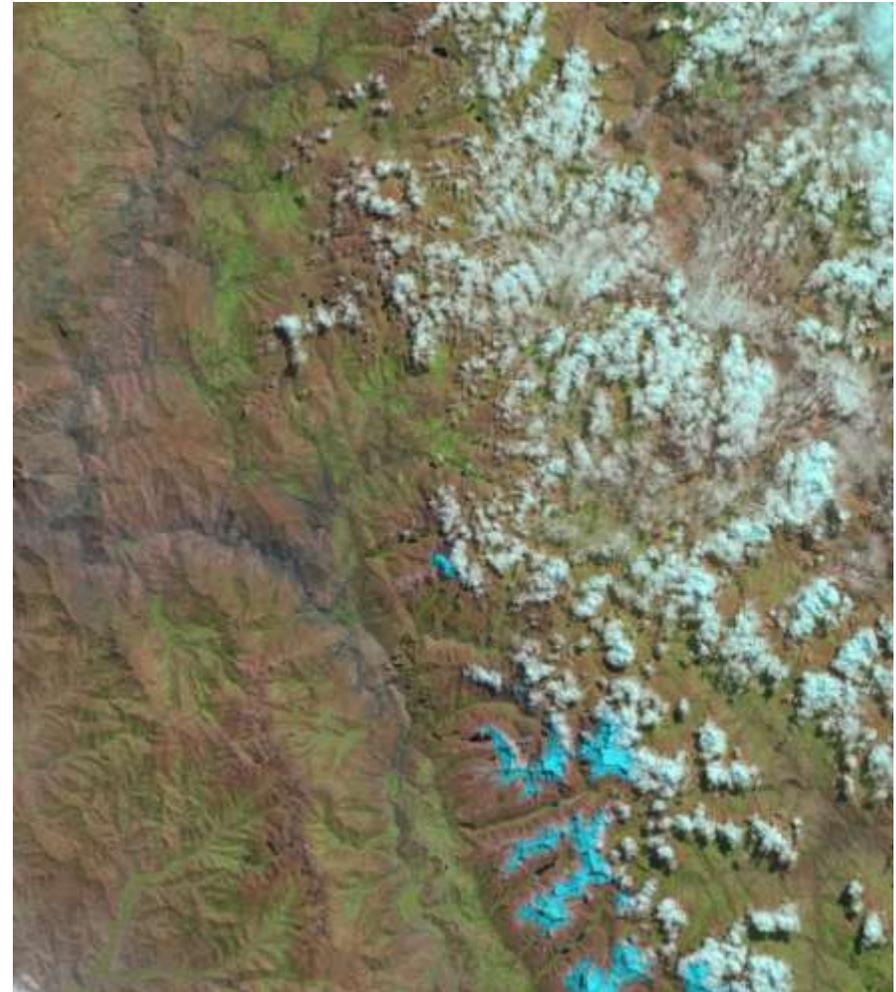
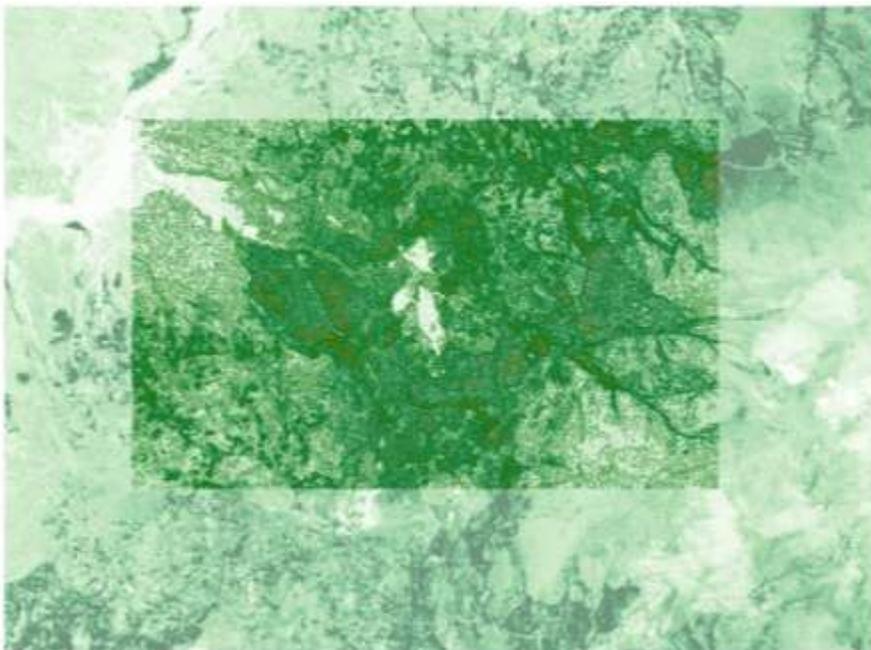


IMAGEN 27: NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX – NDVI



El procesamiento de la imagen y los valores resultantes del NDVI en el área de estudio, se ubica dentro de los valores entre 0.387 a 0.615; la cual hace referencia a que existe vegetación, en específico el área de estudio es área boscosa (plantación forestal). La intensidad de la coloración se relaciona directamente proporcional con el aumento del valor del índice y la vegetación existente. Las zonas cuyos valores son de 0.216 a 0.0464, representan áreas de pobre vegetación, lo usualmente estas áreas son pastizales.

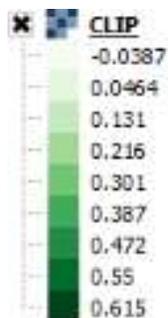
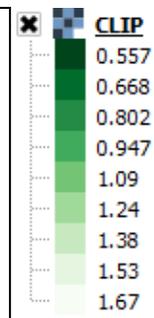


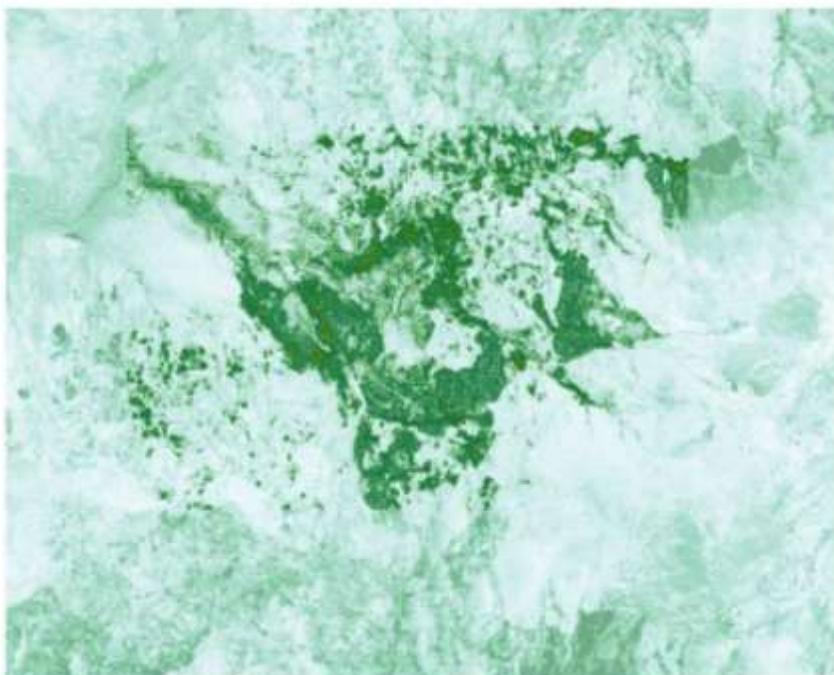
IMAGEN 28: MOUSTURE STRESS INDEX – MSI



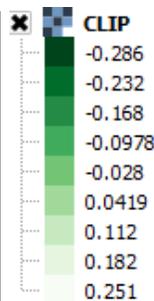
El procesamiento de la imagen y los valores resultantes del MSI en el área de estudio, se ubica dentro de los valores entre 0.557; representando que la vegetación perteneciente al lugar no presenta problemas de estrés hídrico; sin embargo, las áreas cuyos valores colinda entre 0.947 a 1.67, áreas con presencia de vegetación que existen problemas con la disponibilidad hídrica.



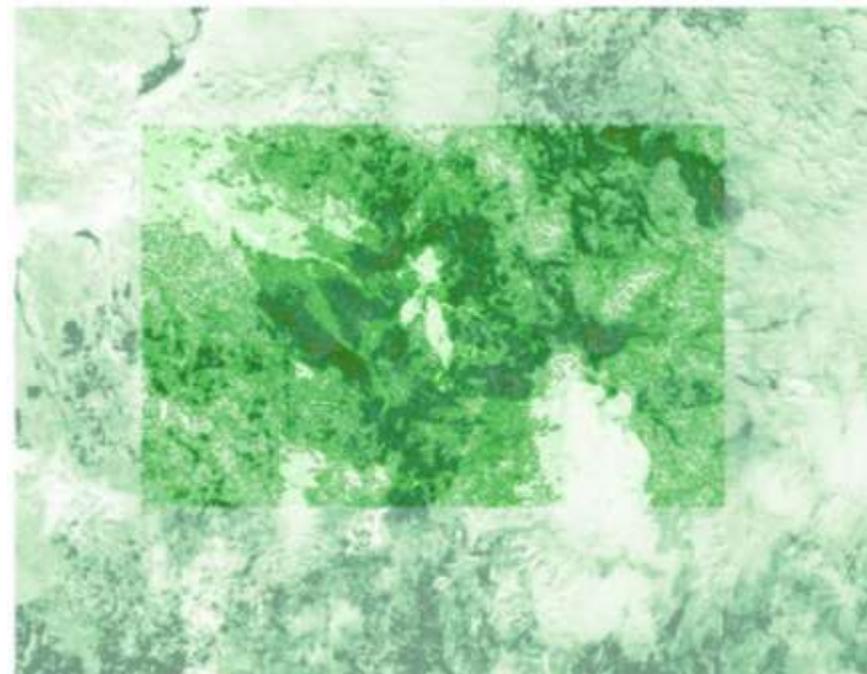
**IMAGEN 29: NORMALIZED DIFFERENCE WATER INDEX
– NDWI**



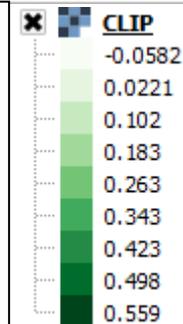
El procesamiento de la imagen y los valores resultantes del NDWI en el área de estudio, se ubica dentro de los valores -0.028 a -0.286 , la cual hace referencia a que la superficie se clasifica como un área no acuática, es decir, la zona de estudio representa a áreas vegetativas o boscosas. De acuerdo a la presencia de nubosidad en las imágenes, los valores del índice aumentan y produce un error dentro de la valoración del índice.



**IMAGEN 30: NORMALIZED DIFFERENCE RED EDGE
INDEX – NDRE**

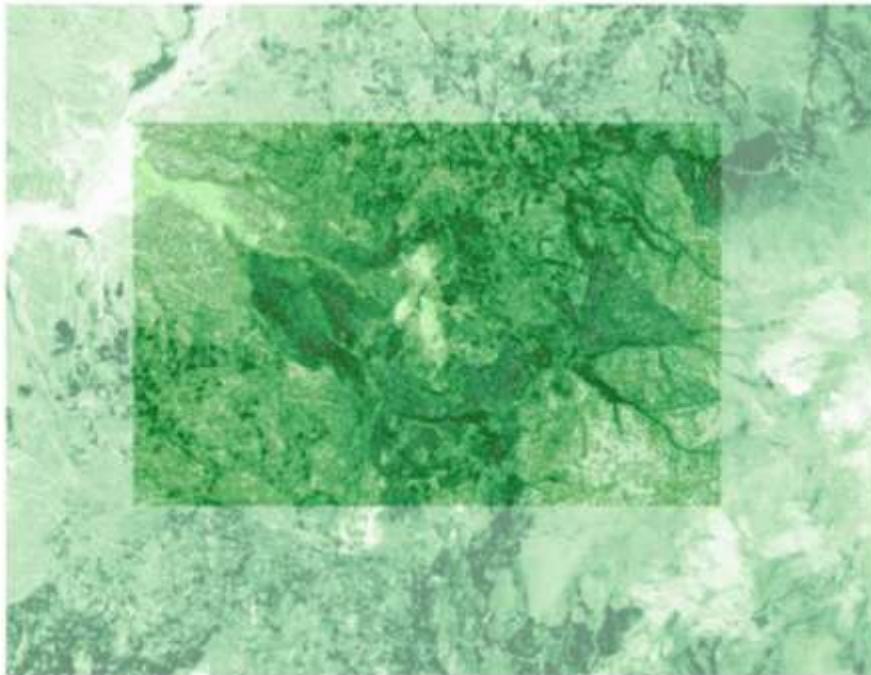


El procesamiento de la imagen y los valores resultantes del NDRE en el área de estudio, se ubica dentro de los valores entre 0.343 a 0.559 ; la cual hace referencia a que existe vegetación, en específico el área de estudio es área boscosa (plantación forestal). La intensidad de la coloración se relaciona directamente proporcional con el aumento del valor del índice y la vegetación existente. Las zonas cuyos valores son de 0.263 a 0.0221 , representan áreas de pobre vegetación, lo usualmente estas áreas son pastizales.



FECHA: 17 DE AGOSTO DE 2018

IMAGEN 31: NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX – NDVI



El procesamiento de la imagen y los valores resultantes del NDVI en el área de estudio, se ubica dentro de los valores entre 0.328 a 0.642; la cual hace referencia a que existe vegetación, en específico el área de estudio es área boscosa (plantación forestal) que no representa estrés hídrico. Las zonas colindantes al área de estudio se encuentran dentro de los valores 0.244 a 0.074 y se afirma que dichas áreas son superficies con vegetación pobre y con un ligero estrés hídrico.

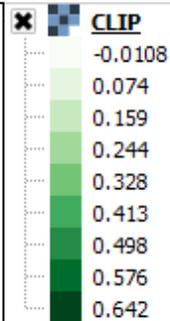
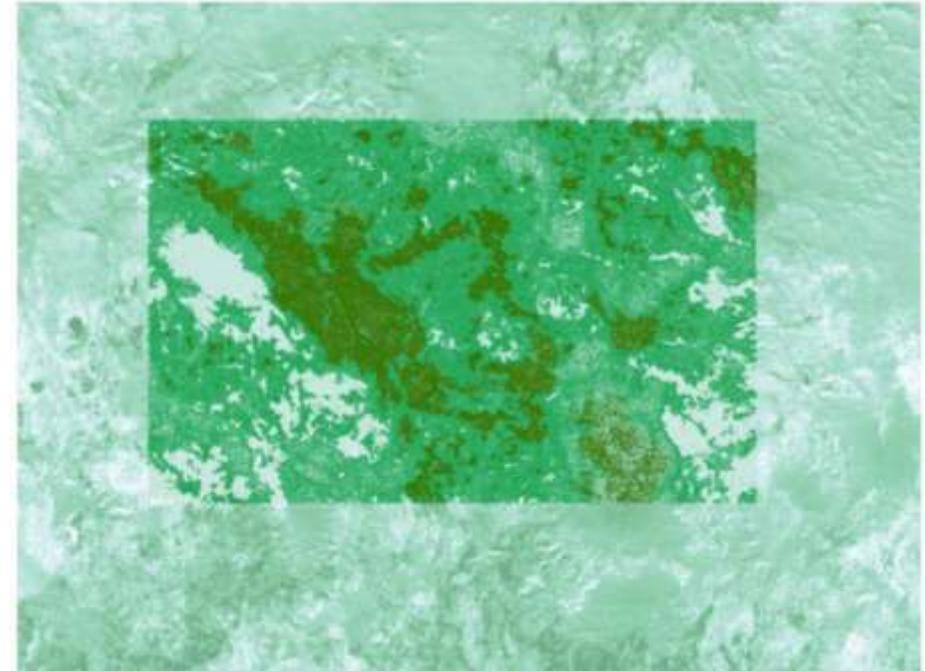
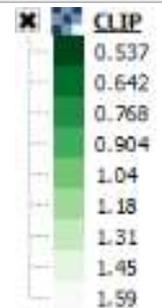


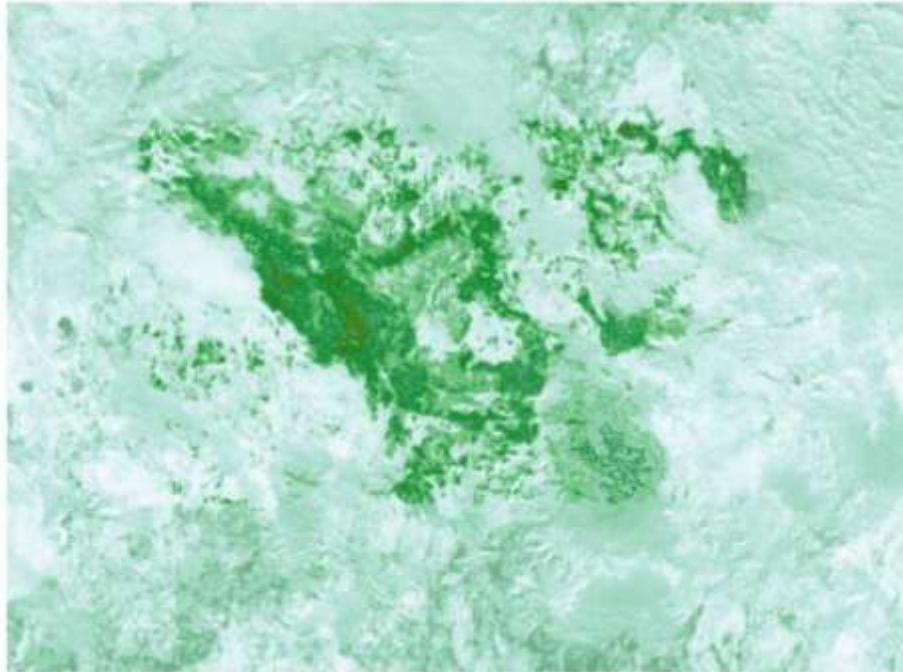
IMAGEN 32: MOUSTURE STRESS INDEX – MSI



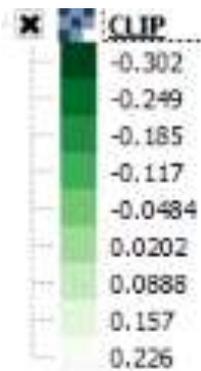
El procesamiento de la imagen y los valores resultantes del MSI en el área de estudio, se ubica dentro de los valores entre 0.537 a 0.642; representando que la vegetación perteneciente al lugar no presenta problemas de estrés hídrico; sin embargo, las áreas cuyos valores colinda entre 0.904 a 1.59, áreas con presencia de vegetación que existen problemas con la disoonibilidad hídrica.



**IMAGEN 33: NORMALIZED DIFFERENCE WATER INDEX
– NDWI**



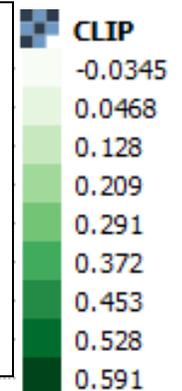
El procesamiento de la imagen y los valores resultantes del NDWI en el área de estudio, se ubica dentro de los valores -0.0484 a -0.302 , la cual hace referencia a que la superficie se clasifica como un área no acuática, es decir, la zona de estudio representa a áreas vegetativas o boscosas. De acuerdo a la presencia de nubosidad en las imágenes, los valores del índice aumentan y produce un error dentro de la valoración del índice.



**IMAGEN 34: NORMALIZED DIFFERENCE RED EDGE INDEX
INDEX – NDRE**



El procesamiento de la imagen y los valores resultantes del NDRE en el área de estudio, se ubica dentro de los valores entre 0.372 a 0.591 ; la cual hace referencia a que existe vegetación, en específico el área de estudio es área boscosa (plantación forestal) que no representa estrés hídrico. Las zonas colindantes al área de estudio se encuentran dentro de los valores 0.269 a 0.0889 y se afirma que dichas áreas son superficies con vegetación pobre y con un ligero estrés hídrico.



FECHA: 27 DE AGOSTO DE 2018

IMAGEN 35: IMAGEN SATELITAL.

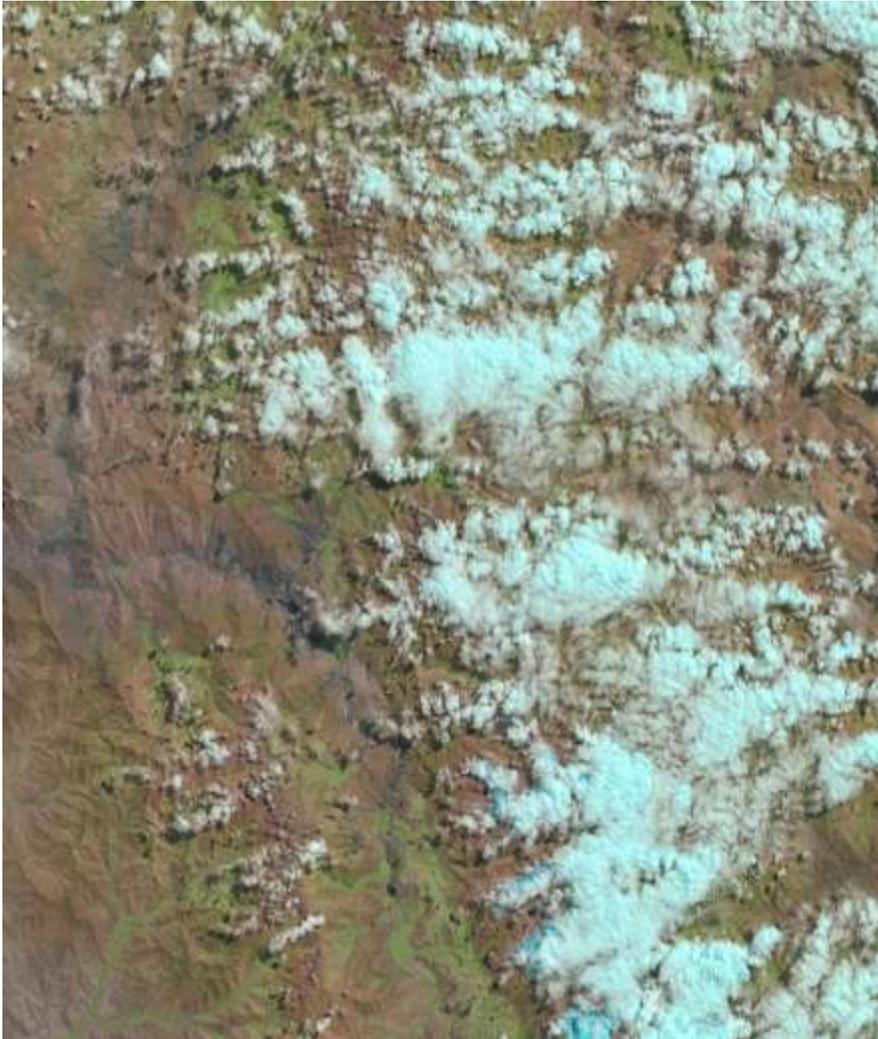
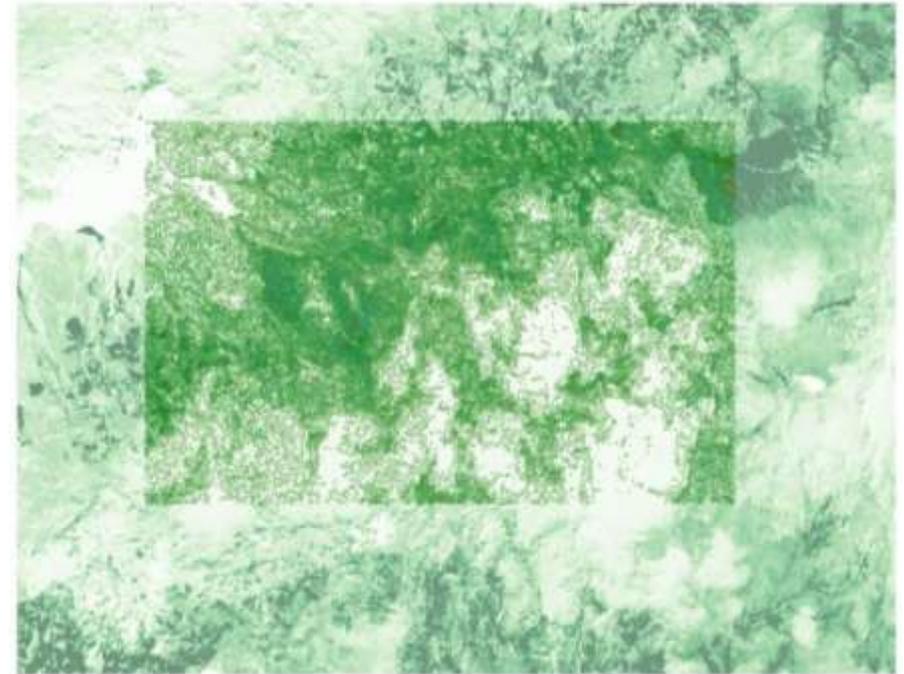


IMAGEN 36: NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX – NDVI



El procesamiento de la imagen y los valores resultantes del NDVI en el área de estudio, se ubica dentro de los valores entre 0.339 a 0.54; la cual hace referencia a que existe vegetación, en específico el área de estudio es área boscosa (plantación forestal). La intensidad de la coloración se relaciona directamente proporcional con el aumento del valor del índice y la vegetación existente. Las zonas cuyos valores son de 0.265 a 0.0406, representan áreas de pobre vegetación, lo usualmente estas áreas son pastizales.

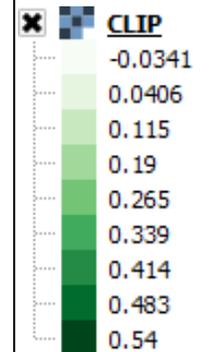
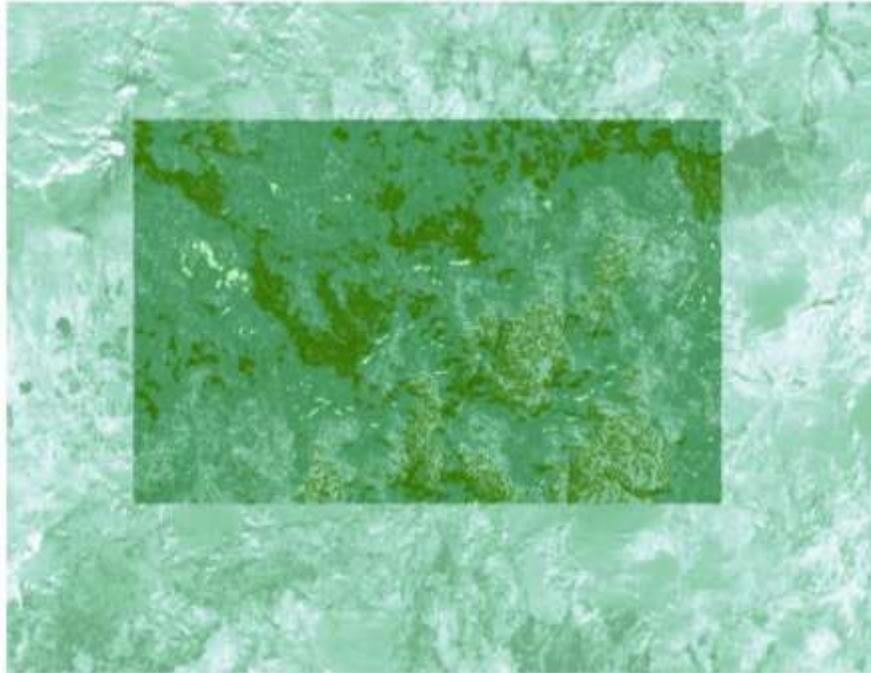


IMAGEN 37: MOUSTURE STRESS INDEX – MSI



El procesamiento de la imagen y los valores resultantes del MSI en el área de estudio, se ubica dentro de los valores entre 0.619; representando que la vegetación perteneciente al lugar no presenta problemas de estrés hídrico; sin embargo, las áreas cuyos valores colinda entre 1.09 a 1.56, áreas con presencia de vegetación que existen problemas con la disponibilidad hídrica.

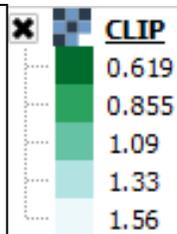


IMAGEN 38: NORMALIZED DIFFERENCE WATER INDEX – NDWI



El procesamiento de la imagen y los valores resultantes del NDWI en el área de estudio, se ubica dentro de los valores -0.135 a -0.234 , la cual hace referencia a que la superficie se clasifica como un área no acuática, es decir, la zona de estudio representa a áreas vegetativas o boscosas. De acuerdo a la presencia de nubosidad en las imágenes, los valores del índice aumentan y produce un error dentro de la valoración del índice.

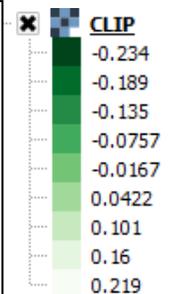
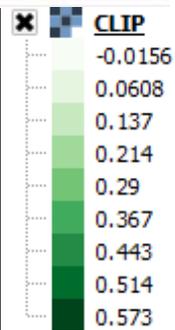


IMAGEN 39: NORMALIZED DIFFERENCE RED EDGE INDEX – NDRE



El procesamiento de la imagen y los valores resultantes del NDRE en el área de estudio, se ubica dentro de los valores entre 0. a 0.691; la cual hace referencia a que existe vegetación, en específico el área de estudio es área boscosa (plantación forestal) que no representa estrés hídrico. Las zonas colindantes al área de estudio se encuentran dentro de los valores 0.269 a 0.0889 y se afirma que dichas áreas son superficies con vegetación pobre y con un ligero estrés hídrico.



3.3 OBTENCION DE LA MASA DE CARBONO

Una vez obtenida la data de los índices de vegetación, se continúa a hallar la Masa de Carbono por árbol a través de la información obtenida en campo; en el siguiente cuadro se detallará el almacenamiento de carbono por árbol de las 197 muestras, en factor a los criterios obtenidos en campo.

TABLA 12: Obtención de la masa de carbono

# ARBOL	ALTURA (m)	DA P (m)	VOLUMEN SATURADO	DENSIDAD BASICA Kg/m3	MASA SECA	MASA DE CARBONO
1	31	0.24	1.42	766	1091.46	545.73
2	35	0.39	4.21	766	3227.74	1613.87
3	30	0.22	1.10	766	845.59	422.79
4	37	0.49	6.37	766	4876.71	2438.35
5	30	0.18	0.65	766	497.86	248.93
6	32	0.26	1.58	766	1209.39	604.70
7	37	0.50	6.45	766	4939.83	2469.92
8	30	0.18	0.65	766	497.86	248.93
9	35	0.36	3.14	766	2408.60	1204.30
10	30	0.21	0.96	766	738.81	369.40
11	36	0.42	4.49	766	3441.21	1720.61
12	36	0.42	4.42	766	3389.27	1694.64
13	32	0.28	1.77	766	1359.49	679.75
14	29	0.16	0.54	766	413.81	206.90
15	30	0.23	1.11	766	853.19	426.60
16	36	0.43	4.77	766	3652.93	1826.47
17	36	0.48	5.96	766	4563.01	2281.50
18	35	0.34	2.82	766	2157.45	1078.73
19	33	0.28	1.87	766	1434.02	717.01
20	32	0.27	1.70	766	1298.40	649.20
21	38	0.60	9.52	766	7290.01	3645.01
22	36	0.44	4.98	766	3815.87	1907.93
23	36	0.41	4.36	766	3337.73	1668.86
24	37	0.53	7.21	766	5526.26	2763.13
25	36	0.49	6.04	766	4623.24	2311.62
26	37	0.53	7.39	766	5661.04	2830.52
27	35	0.39	3.73	766	2857.91	1428.96
28	40	0.68	13.12	766	10049.60	5024.80
29	40	0.74	15.69	766	12015.81	6007.91
30	39	0.66	11.85	766	9079.47	4539.73
31	38	0.55	8.05	766	6167.40	3083.70
32	38	0.57	8.72	766	6679.61	3339.80

33	39	0.60	10.08	766	7723.84	3861.92
34	37	0.49	6.28	766	4813.98	2406.99
35	38	0.55	8.05	766	6167.40	3083.70
36	40	0.68	13.24	766	10143.75	5071.87
37	40	0.68	13.12	766	10049.60	5024.80
38	38	0.58	9.01	766	6905.38	3452.69
39	36	0.45	5.05	766	3870.97	1935.49
40	36	0.44	4.91	766	3761.16	1880.58
41	37	0.53	7.39	766	5661.04	2830.52
42	36	0.46	5.50	766	4209.88	2104.94
43	40	0.69	13.49	766	10333.34	5166.67
44	40	0.74	15.55	766	11913.33	5956.67
45	40	0.69	13.49	766	10333.34	5166.67
46	37	0.50	6.45	766	4939.83	2469.92
47	34	0.33	2.58	766	1978.86	989.43
48	36	0.47	5.65	766	4326.01	2163.00
49	37	0.50	6.53	766	5003.37	2501.68
50	38	0.59	9.21	766	7057.98	3528.99
51	35	0.37	3.32	766	2539.37	1269.68
52	36	0.42	4.49	766	3441.21	1720.61
53	34	0.32	2.44	766	1865.26	932.63
54	35	0.40	3.98	766	3048.39	1524.20
55	34	0.34	2.84	766	2175.64	1087.82
56	40	0.94	24.93	766	19097.01	9548.51
57	34	0.34	2.74	766	2095.81	1047.91
58	34	0.34	2.84	766	2175.64	1087.82
59	35	0.33	2.76	766	2116.94	1058.47
60	37	0.49	6.28	766	4813.98	2406.99
61	36	0.47	5.65	766	4326.01	2163.00
62	36	0.44	4.91	766	3761.16	1880.58
63	36	0.44	4.98	766	3815.87	1907.93
64	38	0.60	9.72	766	7446.78	3723.39
65	40	0.70	13.99	766	10717.81	5358.90
66	37	0.48	6.12	766	4689.76	2344.88
67	38	0.56	8.43	766	6457.59	3228.79
68	35	0.39	3.73	766	2857.91	1428.96
69	39	0.61	10.30	766	7887.30	3943.65
70	38	0.55	8.05	766	6167.40	3083.70
71	36	0.47	5.65	766	4326.01	2163.00
72	39	0.61	10.30	766	7887.30	3943.65
73	39	0.65	11.74	766	8991.53	4495.77
74	39	0.62	10.62	766	8135.71	4067.85
75	40	0.86	20.88	766	15997.38	7998.69
76	34	0.34	2.74	766	2095.81	1047.91
77	40	0.71	14.25	766	10912.67	5456.34

78	37	0.53	7.30	766	5593.44	2796.72
79	36	0.44	4.91	766	3761.16	1880.58
80	38	0.56	8.43	766	6457.59	3228.79
81	36	0.43	4.70	766	3599.41	1799.71
82	40	0.72	14.50	766	11109.29	5554.65
83	37	0.51	6.70	766	5131.65	2565.83
84	36	0.42	4.49	766	3441.21	1720.61
85	37	0.50	6.45	766	4939.83	2469.92
86	36	0.45	5.20	766	3982.36	1991.18
87	40	0.81	18.34	766	14046.32	7023.16
88	36	0.47	5.72	766	4384.67	2192.33
89	37	0.52	7.04	766	5393.10	2696.55
90	38	0.55	8.05	766	6167.40	3083.70
91	39	0.60	9.87	766	7562.09	3781.04
92	37	0.52	7.13	766	5459.47	2729.74
93	37	0.47	5.88	766	4506.46	2253.23
94	36	0.46	5.27	766	4038.65	2019.32
95	35	0.38	3.61	766	2764.98	1382.49
96	38	0.59	9.21	766	7057.98	3528.99
97	36	0.43	4.70	766	3599.41	1799.71
98	35	0.41	4.11	766	3145.93	1572.97
99	36	0.44	4.91	766	3761.16	1880.58
100	37	0.50	6.53	766	5003.37	2501.68
101	32	0.27	1.70	766	1298.40	649.20
102	38	0.60	9.52	766	7290.01	3645.01
103	36	0.44	4.98	766	3815.87	1907.93
104	36	0.42	4.42	766	3389.27	1694.64
105	37	0.53	7.21	766	5526.26	2763.13
106	37	0.49	6.20	766	4751.67	2375.83
107	37	0.52	7.04	766	5393.10	2696.55
108	35	0.39	3.73	766	2857.91	1428.96
109	39	0.65	11.62	766	8904.02	4452.01
110	40	0.74	15.69	766	12015.81	6007.91
111	39	0.66	11.85	766	9079.47	4539.73
112	38	0.55	8.24	766	6311.66	3155.83
113	38	0.56	8.43	766	6457.59	3228.79
114	39	0.60	10.08	766	7723.84	3861.92
115	37	0.49	6.28	766	4813.98	2406.99
116	38	0.55	8.05	766	6167.40	3083.70
117	37	0.50	6.45	766	4939.83	2469.92
118	34	0.33	2.58	766	1978.86	989.43
119	37	0.47	5.80	766	4446.18	2223.09
120	37	0.50	6.53	766	5003.37	2501.68
121	38	0.59	9.21	766	7057.98	3528.99
122	35	0.37	3.32	766	2539.37	1269.68

123	37	0.42	4.62	766	3536.80	1768.40
124	34	0.32	2.44	766	1865.26	932.63
125	35	0.40	3.98	766	3048.39	1524.20
126	34	0.35	2.89	766	2216.12	1108.06
127	40	0.93	24.26	766	18582.64	9291.32
128	34	0.34	2.74	766	2095.81	1047.91
129	35	0.38	3.49	766	2673.58	1336.79
130	37	0.53	7.21	766	5526.26	2763.13
131	38	0.56	8.53	766	6531.18	3265.59
132	37	0.50	6.45	766	4939.83	2469.92
133	37	0.52	7.13	766	5459.47	2729.74
134	37	0.47	5.88	766	4506.46	2253.23
135	36	0.44	4.98	766	3815.87	1907.93
136	36	0.41	4.29	766	3286.57	1643.29
137	38	0.57	8.82	766	6754.45	3377.23
138	36	0.41	4.29	766	3286.57	1643.29
139	36	0.44	4.84	766	3706.85	1853.43
140	38	0.59	9.42	766	7212.25	3606.13
141	40	0.69	13.61	766	10428.80	5214.40
142	37	0.48	6.12	766	4689.76	2344.88
143	38	0.56	8.43	766	6457.59	3228.79
144	36	0.39	3.77	766	2891.58	1445.79
145	39	0.62	10.51	766	8052.48	4026.24
146	38	0.55	8.15	766	6239.32	3119.66
147	36	0.47	5.57	766	4267.75	2133.87
148	39	0.61	10.19	766	7805.36	3902.68
149	39	0.66	12.08	766	9256.63	4628.31
150	39	0.63	11.06	766	8472.90	4236.45
151	37	0.86	19.46	766	14907.39	7453.70
152	34	0.33	2.63	766	2017.47	1008.73
153	40	0.71	14.25	766	10912.67	5456.34
154	37	0.53	7.30	766	5593.44	2796.72
155	36	0.44	4.91	766	3761.16	1880.58
156	38	0.56	8.43	766	6457.59	3228.79
157	36	0.43	4.70	766	3599.41	1799.71
158	39	0.60	10.08	766	7723.84	3861.92
159	37	0.49	6.28	766	4813.98	2406.99
160	38	0.55	8.05	766	6167.40	3083.70
161	37	0.50	6.45	766	4939.83	2469.92
162	34	0.33	2.58	766	1978.86	989.43
163	36	0.42	4.49	766	3441.21	1720.61
164	34	0.32	2.44	766	1865.26	932.63
165	35	0.40	3.98	766	3048.39	1524.20
166	34	0.35	2.89	766	2216.12	1108.06
167	40	0.93	24.26	766	18582.64	9291.32

168	34	0.34	2.74	766	2095.81	1047.91
169	36	0.38	3.59	766	2749.97	1374.98
170	37	0.53	7.21	766	5526.26	2763.13
171	38	0.56	8.53	766	6531.18	3265.59
172	37	0.50	6.45	766	4939.83	2469.92
173	37	0.52	7.13	766	5459.47	2729.74
174	36	0.47	5.72	766	4384.67	2192.33
175	37	0.52	7.04	766	5393.10	2696.55
176	38	0.55	8.05	766	6167.40	3083.70
177	38	0.60	9.62	766	7368.19	3684.09
178	37	0.52	7.13	766	5459.47	2729.74
179	36	0.47	5.72	766	4384.67	2192.33
180	36	0.46	5.27	766	4038.65	2019.32
181	35	0.38	3.61	766	2764.98	1382.49
182	35	0.38	3.61	766	2764.98	1382.49
183	38	0.59	9.21	766	7057.98	3528.99
184	36	0.43	4.70	766	3599.41	1799.71
185	36	0.44	4.98	766	3815.87	1907.93
186	38	0.60	9.72	766	7446.78	3723.39
187	40	0.70	13.99	766	10717.81	5358.90
188	37	0.53	7.21	766	5526.26	2763.13
189	37	0.49	6.20	766	4751.67	2375.83
190	37	0.52	7.04	766	5393.10	2696.55
191	35	0.39	3.73	766	2857.91	1428.96
192	38	0.65	11.33	766	8675.72	4337.86
193	40	0.74	15.69	766	12015.81	6007.91
194	39	0.66	11.85	766	9079.47	4539.73
195	38	0.55	8.24	766	6311.66	3155.83
196	38	0.56	8.43	766	6457.59	3228.79
197	39	0.60	10.08	766	7723.84	3861.92

3.4 Calculo de los índices de vegetación por imagen satelital.

La georreferenciación se realizará en factor a los índices de vegetación (NDVI, NDRE). Además, se determinó juntar todas las parcelas y hacer el análisis por imagen satelital, para obtener un mejor resultado. Finalmente, cada árbol georreferenciado tendrá su índice de vegetación en factor a su almacenamiento de carbono correspondiente.

3.4.1 Cálculo de los índices de la 1° imagen – Fecha: 28 de junio del 2018

TABLA 13

# ARBOL	6/28/2018		39	0.58123	0.54979
	NDRE	NDVI			
1	0.50210	0.50526	41	0.62873	0.59824
2	0.56285	0.53221	42	0.58347	0.54990
3	0.50181	0.50511	43	0.65140	0.62845
4	0.60613	0.58048	44	0.66522	0.63523
5	0.49651	0.47116	45	0.65225	0.63099
6	0.50210	0.50556	46	0.61184	0.58057
7	0.60940	0.58057	47	0.51734	0.51342
8	0.49651	0.50123	48	0.58393	0.56019
9	0.53846	0.52507	49	0.61515	0.58721
10	0.50181	0.50123	50	0.63787	0.60441
11	0.56929	0.53898	51	0.53846	0.52507
12	0.56929	0.53649	52	0.56929	0.53898
13	0.51340	0.50556	53	0.51340	0.51342
14	0.49015	0.47116	54	0.55903	0.53221
15	0.50181	0.50526	55	0.53549	0.52268
16	0.57207	0.54227	56	0.70171	0.69270
17	0.59282	0.57098	57	0.51734	0.51947
18	0.53549	0.52264	58	0.53549	0.52268
19	0.51340	0.51341	59	0.53505	0.51947
20	0.51271	0.50556	60	0.59923	0.57366
21	0.64066	0.60574	61	0.58669	0.56075
22	0.57501	0.54365	62	0.57501	0.54263
23	0.56628	0.53629	63	0.57501	0.54365
24	0.62608	0.59482	64	0.64066	0.60574
25	0.59282	0.57098	65	0.65449	0.63360
26	0.62873	0.59824	66	0.59324	0.57366
27	0.55105	0.53181	67	0.63224	0.60145
28	0.65117	0.62291	68	0.55181	0.53181
29	0.66839	0.63523	69	0.64175	0.61750
30	0.65058	0.61945	70	0.62873	0.59910
31	0.62873	0.59824	71	0.58669	0.56100
32	0.63759	0.60441	72	0.64244	0.61881
33	0.64141	0.61237	73	0.64853	0.61945
34	0.59923	0.57366	74	0.64384	0.61905
35	0.62873	0.59824	75	0.67582	0.64118
36	0.65140	0.62719	76	0.51734	0.51947
37	0.65140	0.62474	77	0.66218	0.63485
38	0.63759	0.60441	78	0.62873	0.59590

79	0.57501	0.54263
80	0.63224	0.60238
81	0.57005	0.53973
82	0.66384	0.63523
83	0.61590	0.58936
84	0.56929	0.53898
85	0.61184	0.58198
86	0.58123	0.54979
87	0.67047	0.64019
88	0.59057	0.56100
89	0.62021	0.59116
90	0.62873	0.59910
91	0.64141	0.61222
92	0.62264	0.59226
93	0.59282	0.56917
94	0.58123	0.54979
95	0.55074	0.52952
96	0.63794	0.60494
97	0.57005	0.54227
98	0.56285	0.53221
99	0.57501	0.54263
100	0.61554	0.58721
101	0.51271	0.50556
102	0.64066	0.60574
103	0.57956	0.54653
104	0.56929	0.53749
105	0.62608	0.59482
106	0.59473	0.57366
107	0.62021	0.59116
108	0.55487	0.53181
109	0.64853	0.61905
110	0.67038	0.63799
111	0.65058	0.62000
112	0.63101	0.60024
113	0.63224	0.60250
114	0.64141	0.61237
115	0.60100	0.58044
116	0.62873	0.59910
117	0.61184	0.58585
118	0.51734	0.51393
119	0.59152	0.56632
120	0.61554	0.58936
121	0.63795	0.60494
122	0.54731	0.52791
123	0.57005	0.53973

124	0.51724	0.51342
125	0.56285	0.53221
126	0.53798	0.52507
127	0.67818	0.64417
128	0.52963	0.51947
129	0.54731	0.52876
130	0.62650	0.59482
131	0.63467	0.60441
132	0.61200	0.58585
133	0.62264	0.59386
134	0.59282	0.56917
135	0.58123	0.54807
136	0.56628	0.53253
137	0.63759	0.60441
138	0.56628	0.53629
139	0.57207	0.54227
140	0.64066	0.60574
141	0.65414	0.63344
142	0.59473	0.57366
143	0.63224	0.60250
144	0.55903	0.53221
145	0.64384	0.61881
146	0.63101	0.59963
147	0.58393	0.55045
148	0.64172	0.61646
149	0.65067	0.62255
150	0.64384	0.61905
151	0.67266	0.64118
152	0.51734	0.51552
153	0.66384	0.63491
154	0.62873	0.59807
155	0.57501	0.54365
156	0.63441	0.60441
157	0.57005	0.54227
158	0.64172	0.61237
159	0.60100	0.58044
160	0.62956	0.59910
161	0.61299	0.58585
162	0.51734	0.51552
163	0.56998	0.53973
164	0.51724	0.51342
165	0.56285	0.53221
166	0.53846	0.52507
167	0.68119	0.66625
168	0.53505	0.51947

169	0.55074	0.52952
170	0.62661	0.59590
171	0.63611	0.60441
172	0.61299	0.58585
173	0.62545	0.59386
174	0.59057	0.56208
175	0.62021	0.59170
176	0.62956	0.59963
177	0.64066	0.60574
178	0.62567	0.59444
179	0.59057	0.56287
180	0.58123	0.54990
181	0.55074	0.52952
182	0.55105	0.52952
183	0.63941	0.60494

184	0.57207	0.54227
185	0.58123	0.54807
186	0.64141	0.61172
187	0.66144	0.63360
188	0.62873	0.59590
189	0.59665	0.57366
190	0.62021	0.59170
191	0.55661	0.53201
192	0.64791	0.61905
193	0.67047	0.64019
194	0.65058	0.62234
195	0.63110	0.60110
196	0.63467	0.60441
197	0.64172	0.61445

La imagen satelital de la fecha de 28/06/2018, obtuvo que el menor valor para el índice de NDRE es de 0.49015, representando al árbol numero 14 conteniendo un almacenamiento de carbono de 206.9044 kg y el mayor valor es de 0.70171, representa al árbol numero 56 conteniendo un almacenamiento de carbono ascendiente a los 9548 kg; estos valores hacen referencia a un alto porcentaje de clorofila en la planta, lo que indica un buen estado de la planta. Por otro lado, se obtuvo también que el menor valor del índice de NDVI es de 0.47116 y el mayor es de 0.6927; correspondientemente con cada uno de los arboles ya mencionados. Este rango de valores hace referencia a que el árbol o la zona en la que se encuentra plantado, representa un área boscosa, y concordando con los datos extraídos en campo, se afirma que la zona es un área boscosa, caracterizada por plantaciones forestales del tipo: Eucalipto Globulus Sp.

TABLA 14: Valores máximos y mínimos de los índices (1ra. imagen)

# ARBOL	M_CARBO	28/06/2018	
		NDRE	NDVI
14	206.90442	0.49015	0.47116
56	9548.50638	0.70171	0.6927

3.4.2 Cálculo de los índices de la 2ª imagen – Fecha: 08 de julio del 2018

TABLA 15

# ARBOL	7/08/2017		39	0.56237	0.54085
	NDRE	NDVI			
1	0.48372	0.49206	40	0.55218	0.52910
2	0.54074	0.52226	41	0.61470	0.58094
3	0.47445	0.49128	42	0.56551	0.54085
4	0.57379	0.55504	43	0.64171	0.61819
5	0.44649	0.48336	44	0.64971	0.63006
6	0.49653	0.49534	45	0.64384	0.61819
7	0.57637	0.55645	46	0.57739	0.55789
8	0.47445	0.48336	47	0.51513	0.50092
9	0.53204	0.51286	48	0.56551	0.54185
10	0.47445	0.48791	49	0.58662	0.56095
11	0.54601	0.52420	50	0.62046	0.59618
12	0.54593	0.52420	51	0.53368	0.51286
13	0.50130	0.50030	52	0.54601	0.52420
14	0.44649	0.48336	53	0.50251	0.50092
15	0.48372	0.49128	54	0.54054	0.52226
16	0.54926	0.52730	55	0.52032	0.50986
17	0.56683	0.54866	56	0.68639	0.67759
18	0.52032	0.50486	57	0.51611	0.50386
19	0.50130	0.50030	58	0.52032	0.50986
20	0.49653	0.49534	59	0.52004	0.50486
21	0.62291	0.59977	60	0.57294	0.55378
22	0.55288	0.53333	61	0.56628	0.54185
23	0.54593	0.52420	62	0.55218	0.52959
24	0.60237	0.57576	63	0.55288	0.53378
25	0.56851	0.55217	64	0.62348	0.60350
26	0.60481	0.58040	65	0.64456	0.61905
27	0.53744	0.51744	66	0.56851	0.55378
28	0.63861	0.61500	67	0.61756	0.59135
29	0.65323	0.63046	68	0.53744	0.51744
30	0.63304	0.61500	69	0.63142	0.60512
31	0.61470	0.58375	70	0.61538	0.58609
32	0.62046	0.59375	71	0.56628	0.54185
33	0.62714	0.60403	72	0.63142	0.60658
34	0.57225	0.55378	73	0.63304	0.61500
35	0.61493	0.58375	74	0.63271	0.60809
36	0.63962	0.61819	75	0.67167	0.63442
37	0.63960	0.61731	76	0.51789	0.50406
38	0.62046	0.59398	77	0.64500	0.62381
			78	0.60464	0.57618

79	0.55218	0.52959
80	0.61846	0.59155
81	0.54762	0.52723
82	0.64625	0.62931
83	0.58806	0.56522
84	0.54721	0.52581
85	0.57778	0.55941
86	0.56551	0.54085
87	0.65843	0.63320
88	0.56654	0.54579
89	0.59267	0.56522
90	0.61747	0.58644
91	0.62596	0.60403
92	0.59833	0.57319
93	0.56654	0.54634
94	0.56551	0.54085
95	0.53640	0.51303
96	0.62059	0.59740
97	0.54762	0.52723
98	0.54074	0.52226
99	0.55218	0.52959
100	0.58662	0.56395
101	0.49653	0.49534
102	0.62291	0.59977
103	0.55288	0.53378
104	0.54593	0.52420
105	0.60237	0.57576
106	0.56940	0.55378
107	0.59267	0.57277
108	0.53744	0.51751
109	0.63288	0.61500
110	0.65588	0.63218
111	0.63304	0.61500
112	0.61756	0.59051
113	0.61849	0.59155
114	0.62714	0.60407
115	0.57379	0.55491
116	0.61747	0.59009
117	0.57951	0.55941
118	0.51513	0.50386
119	0.56654	0.54579
120	0.58662	0.56395
121	0.62087	0.59740
122	0.53368	0.51292
123	0.54762	0.52703

124	0.50401	0.50092
125	0.54054	0.52226
126	0.52181	0.50986
127	0.67260	0.63680
128	0.51949	0.50408
129	0.53525	0.51292
130	0.60296	0.57576
131	0.62046	0.59298
132	0.57951	0.56007
133	0.60176	0.57366
134	0.56654	0.54634
135	0.55288	0.53378
136	0.54074	0.52314
137	0.62046	0.59375
138	0.54593	0.52420
139	0.54926	0.52910
140	0.62103	0.59977
141	0.64456	0.61819
142	0.56940	0.55378
143	0.61849	0.59298
144	0.54054	0.52209
145	0.63175	0.60746
146	0.61756	0.59051
147	0.56551	0.54085
148	0.63142	0.60512
149	0.63462	0.61500
150	0.63288	0.61275
151	0.65843	0.63320
152	0.51611	0.50386
153	0.64509	0.62545
154	0.60464	0.57711
155	0.55220	0.53231
156	0.62046	0.59298
157	0.54762	0.52730
158	0.62714	0.60407
159	0.57379	0.55491
160	0.61747	0.59051
161	0.57975	0.56095
162	0.51611	0.50386
163	0.54754	0.52584
164	0.50761	0.50092
165	0.54054	0.52226
166	0.53204	0.50986
167	0.67553	0.67663
168	0.52004	0.50408

169	0.53640	0.51303
170	0.60336	0.57576
171	0.62046	0.59375
172	0.57975	0.56095
173	0.60237	0.57526
174	0.56654	0.54579
175	0.59494	0.57277
176	0.61756	0.59051
177	0.62348	0.60148
178	0.60237	0.57526
179	0.56654	0.54579
180	0.56551	0.54085
181	0.53744	0.51485
182	0.53744	0.51572
183	0.62087	0.59756

184	0.54762	0.52730
185	0.56234	0.53669
186	0.62596	0.60403
187	0.64456	0.61905
188	0.60336	0.57576
189	0.57225	0.55378
190	0.59569	0.57319
191	0.53744	0.51751
192	0.63288	0.61500
193	0.65717	0.63290
194	0.63304	0.61500
195	0.61756	0.59135
196	0.62046	0.59298
197	0.62714	0.60407

La imagen satelital de la fecha de 07/08/2018, obtuvo que el menor valor para el índice de NDRE es de 0.44649, representando a los arboles número 14 y 5 conteniendo un almacenamiento de carbono de 206.90442 kg y 248.93047 kg correspondientemente, y el mayor valor es de 0.68639, representa al árbol número 157 y 56 conteniendo un almacenamiento de carbono ascendiente a los 9291.319331938 kg y 9548.50638 kg correspondientemente; estos valores hacen referencia a un alto porcentaje de clorofila en la planta, lo que indica un buen estado de la planta. Por otro lado, se obtuvo también que el menor valor del índice de NDVI es de 0.48336 y el mayor es de 0.67759; correspondientemente con cada uno de los arboles ya mencionados. Este rango de valores hace referencia a que el árbol o la zona en la que se encuentra plantado, representa un área boscosa, y concordando con los datos extraídos en campo, se afirma que la zona es un área boscosa, caracterizada por plantaciones forestales del tipo: Eucalipto Globulus Sp.

TABLA 16: Valores máximos y mínimos de los índices (2da. imagen)

# ARBOL	M_CARBO	07/08/2017	
		NDRE	NDVI
5	248.93047	0.44649	0.48336
14	206.90442	0.44649	0.48336
167	9291.31938	0.67553	0.67663
56	9548.50638	0.68639	0.67759

3.4.3 Cálculo de los índices de la 3° imagen – Fecha: 07 de agosto del 2018

TABLA 17

# ARBOL	8/07/2018		39	0.55421	0.53640
	NDRE	NDVI			
1	0.49532	0.48025	40	0.54737	0.53293
2	0.53259	0.52214	41	0.60125	0.57602
3	0.48564	0.47969	42	0.55900	0.54139
4	0.58172	0.56060	43	0.63979	0.60847
5	0.47314	0.46491	44	0.65007	0.61011
6	0.49532	0.48065	45	0.63979	0.60847
7	0.58172	0.56060	46	0.58462	0.56060
8	0.47314	0.46491	47	0.50471	0.48455
9	0.51972	0.49367	48	0.55900	0.54139
10	0.48564	0.47969	49	0.58672	0.56373
11	0.54132	0.52563	50	0.61884	0.59073
12	0.53498	0.52376	51	0.52107	0.49557
13	0.50127	0.48193	52	0.54195	0.52665
14	0.46388	0.42365	53	0.50186	0.48382
15	0.48767	0.48025	54	0.53200	0.51134
16	0.54737	0.53293	55	0.51816	0.49275
17	0.57463	0.55556	56	0.69730	0.64532
18	0.51816	0.49275	57	0.50721	0.49173
19	0.50127	0.48382	58	0.51816	0.49275
20	0.49927	0.48065	59	0.51642	0.49275
21	0.62262	0.59177	60	0.58007	0.55881
22	0.54901	0.53307	61	0.55900	0.54139
23	0.53259	0.52376	62	0.54737	0.53293
24	0.60022	0.57388	63	0.54901	0.53330
25	0.57508	0.55556	64	0.62273	0.59520
26	0.60113	0.57602	65	0.63983	0.60935
27	0.52968	0.49813	66	0.57584	0.55604
28	0.63524	0.60545	67	0.60716	0.58082
29	0.65007	0.61481	68	0.53126	0.49873
30	0.62946	0.60356	69	0.62758	0.59818
31	0.60189	0.57717	70	0.60270	0.57856
32	0.61779	0.58981	71	0.56213	0.54139
33	0.62512	0.59775	72	0.62758	0.59860
34	0.58007	0.55881	73	0.62925	0.60081
35	0.60189	0.57793	74	0.62836	0.59981
36	0.63826	0.60688	75	0.66613	0.61886
37	0.63545	0.60617	76	0.51431	0.49173
38	0.61779	0.59073	77	0.64718	0.61011
			78	0.60022	0.57602

79	0.54737	0.53307
80	0.60716	0.58094
81	0.54195	0.52665
82	0.65007	0.61011
83	0.58987	0.56490
84	0.54195	0.52665
85	0.58595	0.56060
86	0.55421	0.53645
87	0.65126	0.61779
88	0.56213	0.54139
89	0.59130	0.56587
90	0.60270	0.57856
91	0.62488	0.59775
92	0.59358	0.56822
93	0.57401	0.54855
94	0.55434	0.53645
95	0.52968	0.49562
96	0.61884	0.59073
97	0.54195	0.52751
98	0.53200	0.52199
99	0.54737	0.53307
100	0.58672	0.56373
101	0.50127	0.48065
102	0.62273	0.59266
103	0.55066	0.53372
104	0.53498	0.52376
105	0.60022	0.57388
106	0.57958	0.55761
107	0.59329	0.56587
108	0.53126	0.50357
109	0.62925	0.60081
110	0.65007	0.61779
111	0.63055	0.60356
112	0.60576	0.58009
113	0.60859	0.58198
114	0.62512	0.59775
115	0.58155	0.55882
116	0.60438	0.57856
117	0.58672	0.56060
118	0.50471	0.48455
119	0.57302	0.54855
120	0.58925	0.56490
121	0.62235	0.59108
122	0.52107	0.49557
123	0.54195	0.52665

124	0.50186	0.48382
125	0.53200	0.51760
126	0.51816	0.49275
127	0.66621	0.62609
128	0.51642	0.49173
129	0.52730	0.49557
130	0.60022	0.57536
131	0.61640	0.58839
132	0.58672	0.56060
133	0.59723	0.57033
134	0.57441	0.55419
135	0.55171	0.53520
136	0.53259	0.52214
137	0.61779	0.59073
138	0.53259	0.52214
139	0.54737	0.53293
140	0.62262	0.59177
141	0.63983	0.60910
142	0.57958	0.55761
143	0.61588	0.58447
144	0.53200	0.50951
145	0.62761	0.59904
146	0.60576	0.58009
147	0.55900	0.54139
148	0.62758	0.59790
149	0.63440	0.60545
150	0.62836	0.60081
151	0.66334	0.61870
152	0.50721	0.48797
153	0.64778	0.61011
154	0.60022	0.57602
155	0.54746	0.53307
156	0.61640	0.58460
157	0.54207	0.53293
158	0.62758	0.59784
159	0.58155	0.56060
160	0.60576	0.57856
161	0.58672	0.56060
162	0.50471	0.48797
163	0.54195	0.52665
164	0.50186	0.48382
165	0.53200	0.52130
166	0.51972	0.49367
167	0.67129	0.63172
168	0.51642	0.49173

169	0.52730	0.49557
170	0.60022	0.57602
171	0.61640	0.58839
172	0.58672	0.56373
173	0.59723	0.57033
174	0.56213	0.54221
175	0.59329	0.56822
176	0.60576	0.57856
177	0.62273	0.59520
178	0.60022	0.57388
179	0.57302	0.54221
180	0.55721	0.53745
181	0.52968	0.49562
182	0.52968	0.49562
183	0.62262	0.59177

184	0.54510	0.53293
185	0.55171	0.53640
186	0.62428	0.59560
187	0.64716	0.60935
188	0.60022	0.57602
189	0.57958	0.55831
190	0.59358	0.56822
191	0.53126	0.50357
192	0.62925	0.60081
193	0.65116	0.61779
194	0.63167	0.60503
195	0.60698	0.58080
196	0.61640	0.58648
197	0.62758	0.59784

La imagen satelital de la fecha de 08/07/2018, obtuvo que el menor valor para el índice de NDRE es de 0.46388, representando a los arboles número 14 conteniendo un almacenamiento de carbono de 206.90442 kg y el mayor valor es de 0.6973, representa al árbol número 56 conteniendo un almacenamiento de carbono ascendiente a los 9548.50638 kg; estos valores hacen referencia a un alto porcentaje de clorofila en la planta, lo que indica un buen estado de la planta. Por otro lado, se obtuvo también que el menor valor del índice de NDVI es de 0.42365 y el mayor es de 0.64532; correspondientemente con cada uno de los arboles ya mencionados. Este rango de valores hace referencia a que el árbol o la zona en la que se encuentra plantado, representa un área boscosa, y concordando con los datos extraídos en campo, se afirma que la zona es un área boscosa, caracterizada por plantaciones forestales del tipo: Eucalipto Globulus Sp.

TABLA 18: Valores máximos y mínimos de los índices (3RA IMAGEN)

# ARBOL	M_CARBO	NDRE	NDVI
14	206.90442	0.46388	0.42365
56	9548.50638	0.6973	0.64532

3.4.4 Cálculo de los índices de la 4° imagen – Fecha: 17 de agosto del 2018

TABLA 19

# ARBOL	8/17/2018	
	NDRE	NDVI
1	0.43662	0.39504
2	0.48113	0.44835
3	0.41935	0.38410
4	0.52911	0.47957
5	0.41068	0.36069
6	0.43797	0.39504
7	0.53189	0.48102
8	0.41508	0.38410
9	0.46394	0.42857
10	0.41935	0.38410
11	0.48285	0.45230
12	0.48161	0.45215
13	0.44310	0.40780
14	0.41068	0.35830
15	0.41935	0.38410
16	0.48878	0.46279
17	0.51690	0.47560
18	0.46012	0.42726
19	0.44310	0.40780
20	0.44053	0.39504
21	0.57107	0.55646
22	0.49828	0.46306
23	0.48161	0.45215
24	0.54924	0.50309
25	0.51835	0.47560
26	0.55188	0.50899
27	0.46881	0.43810
28	0.60933	0.56868
29	0.63127	0.59471
30	0.59738	0.56746
31	0.55188	0.51041
32	0.56173	0.53525
33	0.57727	0.55823
34	0.52675	0.47593
35	0.55188	0.52174
36	0.61237	0.57408
37	0.61023	0.57134
38	0.56337	0.54648
39	0.50312	0.46998
40	0.49467	0.46279
41	0.55188	0.51041
42	0.50439	0.47290
43	0.61237	0.57408
44	0.62534	0.59016
45	0.61237	0.57429
46	0.53539	0.48223
47	0.44945	0.41002
48	0.50535	0.47290
49	0.53978	0.48306
50	0.56337	0.54871
51	0.46394	0.42974
52	0.48285	0.45230
53	0.44310	0.40945
54	0.47967	0.44722
55	0.46012	0.42726
56	0.66448	0.62836
57	0.45684	0.42056
58	0.46075	0.42769
59	0.46012	0.42726
60	0.52675	0.47593
61	0.50535	0.47290
62	0.49467	0.46279
63	0.50071	0.46466
64	0.57351	0.55646
65	0.61594	0.57429
66	0.51835	0.47560
67	0.56134	0.53054
68	0.47038	0.43810
69	0.58672	0.56006
70	0.55188	0.52174
71	0.50642	0.47290
72	0.59190	0.56329
73	0.59738	0.56746
74	0.59390	0.56424
75	0.64441	0.59967
76	0.45995	0.42056
77	0.61924	0.57770
78	0.55188	0.50899

79	0.49526	0.46279
80	0.56134	0.53054
81	0.48524	0.45389
82	0.61924	0.58621
83	0.53997	0.48742
84	0.48524	0.45230
85	0.53619	0.48296
86	0.50312	0.46998
87	0.64007	0.59471
88	0.50658	0.47291
89	0.54477	0.48905
90	0.55188	0.52174
91	0.57669	0.55823
92	0.54744	0.49781
93	0.51302	0.47521
94	0.50312	0.46998
95	0.46846	0.42995
96	0.56725	0.55230
97	0.48524	0.45530
98	0.48113	0.44824
99	0.49781	0.46279
100	0.53978	0.48325
101	0.44204	0.40535
102	0.57107	0.55646
103	0.50071	0.46466
104	0.48161	0.45230
105	0.54924	0.50468
106	0.51835	0.47560
107	0.54477	0.48991
108	0.47148	0.44170
109	0.59738	0.56746
110	0.63363	0.59471
111	0.59738	0.56746
112	0.56124	0.53054
113	0.56134	0.53126
114	0.57727	0.55912
115	0.52675	0.47933
116	0.55547	0.52174
117	0.53820	0.48296
118	0.45528	0.41590
119	0.50759	0.47353
120	0.53997	0.48742
121	0.57064	0.55376
122	0.46394	0.42974
123	0.48524	0.45389

124	0.44649	0.40945
125	0.48075	0.44780
126	0.46075	0.42769
127	0.64798	0.59967
128	0.45995	0.42085
129	0.46655	0.42974
130	0.54924	0.50468
131	0.56173	0.53480
132	0.53820	0.48296
133	0.54744	0.50193
134	0.51302	0.47560
135	0.50262	0.46466
136	0.48123	0.45073
137	0.56173	0.54082
138	0.48161	0.45073
139	0.49369	0.46279
140	0.57064	0.55646
141	0.61237	0.57429
142	0.51835	0.47560
143	0.56134	0.53126
144	0.47274	0.44550
145	0.59390	0.56329
146	0.56124	0.52975
147	0.50535	0.47290
148	0.58611	0.56006
149	0.60181	0.56746
150	0.59390	0.56746
151	0.64047	0.59932
152	0.45684	0.42054
153	0.61924	0.58570
154	0.55188	0.50899
155	0.49828	0.46306
156	0.56134	0.53126
157	0.48524	0.45722
158	0.58186	0.56006
159	0.52675	0.47933
160	0.55585	0.52174
161	0.53820	0.48306
162	0.45684	0.41942
163	0.48524	0.45389
164	0.44945	0.41002
165	0.48075	0.44824
166	0.46394	0.42802
167	0.65558	0.62427
168	0.45999	0.42726

169	0.46655	0.42995
170	0.54924	0.50695
171	0.56173	0.53525
172	0.53882	0.48306
173	0.54881	0.50193
174	0.50658	0.47291
175	0.54477	0.49781
176	0.55611	0.52174
177	0.57124	0.55646
178	0.54924	0.50309
179	0.50759	0.47353
180	0.50439	0.47251
181	0.46851	0.43549
182	0.46881	0.43609
183	0.57064	0.55620

184	0.48849	0.46220
185	0.50312	0.46466
186	0.57351	0.55823
187	0.61594	0.57728
188	0.54924	0.50695
189	0.52675	0.47562
190	0.54744	0.49781
191	0.47148	0.44549
192	0.59390	0.56746
193	0.64007	0.59471
194	0.59738	0.56746
195	0.56124	0.53054
196	0.56134	0.53480
197	0.58186	0.56006

La imagen satelital de la fecha de 08/17/2018, obtuvo que el menor valor para el índice de NDRE es de 0.41068, representando a los arboles número 14 y 5 conteniendo un almacenamiento de carbono de 206.90442 toneladas y 248.93047 toneladas correspondientemente, y el mayor valor es de 0.66448, representa al árbol número 56 conteniendo un almacenamiento de carbono ascendiente a los 9548.50638 toneladas correspondientemente; estos valores hacen referencia a un alto porcentaje de clorofila en la planta, lo que indica un buen estado de la planta. Por otro lado, se obtuvo también que el menor valor del índice de NDVI es de 0.3583, representando solo al árbol número 14 y el mayor es de 0.62836; correspondientemente con cada uno de los arboles ya mencionados. Este rango de valores hace referencia a que el árbol o la zona en la que se encuentra plantado, representa un área boscosa, y concordando con los datos extraídos en campo, se afirma que la zona es un área boscosa, caracterizada por plantaciones forestales del tipo: Eucalipto Globulus Sp.

TABLA 20: VALORES MÁXIMOS Y MÍNIMOS DE LOS ÍNDICES (4TA IMAGEN)

# ARBOL	M_CARBO	NDRE	NDVI
14	206.90442	0.41068	0.3583
5	248.93047	0.41068	0.36069
56	9548.50638	0.66448	0.62836

3.5 Cálculo de los índices de la 5° y 6° imagen – Fecha: 27 de agosto del 2018 – 09 de Setiembre del 2018

Por otro lado, se presencié la disminución del valor de los índices de vegetación en las dos últimas imágenes satelitales y ello se debe a la presencia de nubosidad que distorsiona el valor verdadero del índice. Es por ello que se decidió no tomar esos valores en el análisis y el procesamiento de resultados, ya que son valores erróneos y poco representativos. Las fechas de esas imágenes satelitales son el 27 de agosto y 06 de setiembre del presente año. Sus valores serán representados a través de la siguiente tabla.

TABLA 21: Valores de los índices que presentan distorsión atmosférica.

8/27/2018		9/06/2018		0.04614	0.07251	0.31796	0.28259
NDRE	NDVI	NDRE	NDVI	0.61431	0.58037	0.54175	0.50716
0.02339	0.01140	0.21998	0.08708	0.62450	0.59719	0.55702	0.51554
0.30401	0.31823	0.34072	0.31190	0.61124	0.57445	0.53828	0.50158
0.02250	0.01060	0.20898	0.08708	0.44158	0.40681	0.50587	0.46433
0.39238	0.37913	0.46238	0.44754	0.51523	0.48107	0.51818	0.47823
0.00037	0.00810	0.17775	0.05330	0.56123	0.54339	0.52750	0.48947
0.02339	0.01242	0.21998	0.08708	0.38803	0.37849	0.45999	0.44102
0.39238	0.38141	0.46238	0.44754	0.44158	0.40681	0.50615	0.46718
0.01093	0.00810	0.20511	0.05330	0.61559	0.58037	0.54505	0.50806
0.04196	0.06694	0.29936	0.26531	0.61431	0.58037	0.54175	0.50806
0.02250	0.01060	0.20511	0.08708	0.51697	0.48510	0.52030	0.47985
0.31423	0.34233	0.38384	0.32925	0.37520	0.36036	0.44486	0.41428
0.31423	0.34213	0.38384	0.32925	0.32159	0.35000	0.44287	0.40610
0.02339	0.01342	0.22690	0.08708	0.44158	0.40681	0.50587	0.46433
0.00037	0.00810	0.17775	0.05330	0.37907	0.36314	0.44536	0.41538
0.02250	0.01140	0.21020	0.08708	0.61930	0.58352	0.54559	0.51011
0.32122	0.34933	0.43057	0.39790	0.62322	0.59444	0.55702	0.51461
0.38759	0.37050	0.45975	0.42943	0.61930	0.58482	0.54617	0.51011
0.03625	0.05653	0.28273	0.18516	0.39238	0.38346	0.46539	0.44754
0.02454	0.01342	0.22690	0.11733	0.02785	0.01371	0.22690	0.15269
0.02339	0.01242	0.21998	0.08708	0.37961	0.36411	0.44536	0.41990
0.55317	0.54339	0.52511	0.48557	0.40466	0.38555	0.48307	0.44922
0.33270	0.35325	0.44342	0.41172	0.53141	0.48732	0.52176	0.48495
0.30401	0.34189	0.38384	0.32925	0.04196	0.06694	0.30593	0.26531
0.42261	0.40201	0.49919	0.45390	0.31423	0.34237	0.40722	0.34514
0.38759	0.37690	0.45975	0.43060	0.02454	0.01342	0.22690	0.11733
0.43163	0.40681	0.50496	0.46293	0.26533	0.29714	0.32090	0.29334

0.03812	0.05653	0.29101	0.18906
0.65443	0.61415	0.56464	0.54770
0.03445	0.01634	0.23520	0.16399
0.03812	0.05843	0.29101	0.19232
0.03625	0.05653	0.24747	0.18516
0.38803	0.37849	0.46112	0.44541
0.38095	0.36412	0.45256	0.42081
0.32757	0.35000	0.44287	0.40610
0.33397	0.35325	0.44342	0.41182
0.55317	0.54339	0.52750	0.48652
0.61930	0.59104	0.54621	0.51011
0.38803	0.37690	0.45975	0.43495
0.47461	0.43906	0.51453	0.47791
0.06009	0.07251	0.31796	0.28259
0.57848	0.56505	0.53321	0.49303
0.44158	0.41088	0.50615	0.46818
0.38166	0.36412	0.45471	0.42081
0.58170	0.56505	0.53388	0.49303
0.61086	0.57360	0.53828	0.49656
0.59602	0.56625	0.53810	0.49446
0.63119	0.60589	0.56423	0.52086
0.03445	0.02310	0.24347	0.16967
0.62050	0.59179	0.54704	0.51307
0.43163	0.40681	0.50496	0.46035
0.32757	0.35320	0.44317	0.40610
0.47498	0.43906	0.51453	0.47791
0.31793	0.34366	0.43026	0.38913
0.62050	0.59444	0.55663	0.51307
0.41580	0.38563	0.48504	0.44924
0.31423	0.34366	0.40722	0.34514
0.40301	0.38346	0.46656	0.44754
0.37553	0.36036	0.44505	0.41503
0.62928	0.60180	0.55822	0.52086
0.38166	0.36412	0.45471	0.42081
0.41580	0.38563	0.48504	0.44924
0.44472	0.41088	0.50851	0.46818
0.56123	0.54339	0.52750	0.48776
0.41580	0.39201	0.48777	0.45226
0.38529	0.36986	0.45975	0.42748
0.37744	0.36114	0.44505	0.41503
0.04341	0.07101	0.31477	0.28259
0.55317	0.52451	0.52177	0.48495
0.31793	0.34366	0.43026	0.38913
0.26533	0.31443	0.33020	0.30902
0.33270	0.35320	0.44317	0.41014

0.40628	0.38563	0.48319	0.44922
0.02339	0.01342	0.21999	0.08708
0.55317	0.54339	0.52737	0.48557
0.33397	0.35472	0.44441	0.41385
0.31423	0.34213	0.38384	0.32925
0.42261	0.40201	0.50494	0.45865
0.38803	0.37797	0.45988	0.43770
0.41580	0.38818	0.48757	0.44924
0.06009	0.07251	0.31796	0.29334
0.60687	0.57360	0.53828	0.49656
0.62645	0.59911	0.55702	0.51633
0.61124	0.57548	0.53828	0.50517
0.47312	0.42786	0.51453	0.47254
0.47498	0.43906	0.51453	0.47791
0.56123	0.54476	0.52750	0.49040
0.39224	0.37913	0.46238	0.44541
0.44563	0.41957	0.51223	0.47003
0.40301	0.38346	0.47499	0.44754
0.02785	0.01371	0.22690	0.16113
0.38529	0.36412	0.45862	0.42599
0.41134	0.38563	0.48493	0.44924
0.55317	0.53306	0.52306	0.48557
0.04196	0.06694	0.30827	0.26923
0.31793	0.34366	0.40826	0.37791
0.02574	0.01371	0.22690	0.11828
0.26533	0.30588	0.33020	0.29702
0.03812	0.05843	0.29101	0.24429
0.63753	0.60729	0.56464	0.52330
0.03604	0.04127	0.24387	0.17023
0.04274	0.07101	0.31477	0.26923
0.42786	0.40468	0.50496	0.45894
0.50827	0.46751	0.51802	0.47823
0.40301	0.38346	0.48061	0.44754
0.41935	0.39344	0.48975	0.45226
0.38567	0.36986	0.45975	0.42748
0.35749	0.35472	0.44441	0.41385
0.30401	0.32981	0.34697	0.31190
0.51523	0.48510	0.51818	0.47985
0.30401	0.32981	0.35165	0.31190
0.32122	0.34935	0.44287	0.40610
0.55317	0.54339	0.52511	0.48557
0.61930	0.59086	0.54617	0.51011
0.38803	0.37782	0.45975	0.43770
0.49261	0.43906	0.51735	0.47823
0.26533	0.29714	0.32090	0.29334

0.59092	0.56505	0.53388	0.49433	0.40348	0.38555	0.48307	0.44831
0.44833	0.42786	0.51453	0.47254	0.41935	0.39344	0.49405	0.45226
0.37961	0.36314	0.44536	0.41701	0.38230	0.36412	0.45471	0.42374
0.56154	0.55010	0.53116	0.49100	0.41580	0.38983	0.48757	0.44924
0.61431	0.58037	0.54175	0.50694	0.44833	0.42786	0.51430	0.47244
0.59602	0.57132	0.53810	0.49521	0.55317	0.54339	0.52737	0.48652
0.63119	0.60382	0.55950	0.52086	0.42183	0.39367	0.49405	0.45226
0.02785	0.01634	0.23029	0.16350	0.38230	0.36412	0.45862	0.42599
0.62050	0.59444	0.54839	0.51307	0.37864	0.36314	0.44536	0.41538
0.43163	0.40681	0.50496	0.46035	0.04341	0.07101	0.31477	0.28259
0.33270	0.35320	0.44317	0.41172	0.04341	0.07251	0.31477	0.28259
0.49453	0.43906	0.51735	0.47823	0.55317	0.54066	0.52306	0.48557
0.31793	0.34579	0.43026	0.39790	0.31793	0.34579	0.43057	0.39790
0.56123	0.54669	0.52855	0.49079	0.37018	0.35792	0.44486	0.41428
0.39224	0.37913	0.46238	0.44541	0.55639	0.54339	0.52750	0.48652
0.44833	0.42612	0.51384	0.47003	0.62001	0.59104	0.54621	0.51066
0.40348	0.38360	0.48061	0.44831	0.43163	0.40468	0.50496	0.46035
0.02785	0.01634	0.22690	0.16179	0.38803	0.37849	0.45999	0.43770
0.31423	0.34366	0.40826	0.37791	0.41580	0.38983	0.48757	0.44924
0.02574	0.01371	0.22690	0.14264	0.06009	0.07251	0.31904	0.29334
0.26533	0.30588	0.33020	0.30362	0.60221	0.57132	0.53810	0.49656
0.03812	0.06311	0.29101	0.26531	0.62828	0.60155	0.55702	0.52086
0.64341	0.61415	0.56464	0.52653	0.61213	0.57611	0.54175	0.50694
0.03625	0.04692	0.24441	0.17647	0.47461	0.42786	0.51453	0.47791
0.04341	0.07101	0.31477	0.27734	0.49453	0.43906	0.51802	0.47823
0.42786	0.40468	0.50496	0.45894	0.56123	0.54827	0.53050	0.49079
0.51440	0.46751	0.51818	0.47823				

3.6 Obtención de los valores promedios de los Índices de Vegetación.

Ya teniendo los valores de los índices de vegetación, se realizó el promedio de todos los índices de vegetación en factor a cada árbol, para poder determinar el grado de aceptación del almacenamiento de carbono de cada árbol en factor a la relación que existe con los índices de vegetación y también con los factores determinantes que llevaron a calcular el mismo.

TABLA 22: Valores promedios de los índices sin distorsión atmosférica.

# ARBOL	PROMEDIO	
	NDRE	NDVI
1	0.47944	0.46815
2	0.52933	0.50624
3	0.47031	0.46505
4	0.57269	0.54392
5	0.45671	0.44503
6	0.48298	0.46915
7	0.57485	0.54466
8	0.4648	0.4584
9	0.51354	0.49004

10	0.47031	0.46323
11	0.53487	0.51028
12	0.53295	0.50915
13	0.48977	0.4739
14	0.4528	0.43412
15	0.47314	0.46522
16	0.53937	0.51632
17	0.5628	0.5377
18	0.50852	0.48688
19	0.48977	0.47633
20	0.48726	0.46915
21	0.61432	0.58844
22	0.5438	0.51828
23	0.5316	0.5091
24	0.59448	0.56189
25	0.56369	0.53858
26	0.59664	0.56591
27	0.52175	0.49637
28	0.63359	0.60301
29	0.65074	0.6188
30	0.62762	0.60137
31	0.5993	0.56739
32	0.60939	0.58081
33	0.61774	0.5931
34	0.56958	0.54055
35	0.59936	0.57042
36	0.63541	0.60659
37	0.63417	0.60489
38	0.6098	0.5839
39	0.55023	0.52426
40	0.54157	0.51677
41	0.59914	0.5664
42	0.55309	0.52626
43	0.63632	0.6073
44	0.64759	0.61639
45	0.63706	0.60799
46	0.57731	0.54532
47	0.49666	0.47723
48	0.55345	0.52908
49	0.58207	0.54874
50	0.61014	0.58501
51	0.51429	0.49081
52	0.53503	0.51053
53	0.49022	0.4769
54	0.52781	0.50326

55	0.50852	0.48814
56	0.68747	0.66099
57	0.49938	0.48391
58	0.50868	0.48825
59	0.50791	0.48609
60	0.56975	0.54055
61	0.55433	0.52922
62	0.54231	0.51699
63	0.5444	0.51885
64	0.6151	0.59023
65	0.63871	0.60907
66	0.56399	0.53977
67	0.60458	0.57604
68	0.52272	0.49652
69	0.62187	0.59522
70	0.59967	0.57137
71	0.55538	0.52929
72	0.62334	0.59682
73	0.62705	0.60068
74	0.6247	0.5978
75	0.66451	0.62353
76	0.50237	0.48396
77	0.6434	0.61162
78	0.59637	0.56427
79	0.54246	0.51702
80	0.6048	0.57635
81	0.53622	0.51188
82	0.64485	0.61522
83	0.58345	0.55173
84	0.53592	0.51094
85	0.57794	0.54624
86	0.55102	0.52427
87	0.65506	0.62147
88	0.55646	0.53027
89	0.58724	0.55283
90	0.6002	0.57146
91	0.61724	0.59306
92	0.5905	0.55787
93	0.5616	0.53482
94	0.55105	0.52427
95	0.52132	0.49203
96	0.61116	0.58634
97	0.53622	0.51308
98	0.52918	0.50618
99	0.54309	0.51702

100	0.58217	0.54954
101	0.48814	0.47173
102	0.61434	0.58866
103	0.54595	0.51967
104	0.53295	0.50944
105	0.59448	0.56229
106	0.56552	0.54016
107	0.58774	0.55493
108	0.52376	0.49865
109	0.62701	0.60058
110	0.65249	0.62067
111	0.62789	0.60151
112	0.60389	0.57535
113	0.60517	0.57682
114	0.61774	0.59333
115	0.57077	0.54338
116	0.60151	0.57237
117	0.57907	0.54721
118	0.49812	0.47956
119	0.55967	0.53355
120	0.58285	0.55141
121	0.61295	0.5868
122	0.5165	0.49154
123	0.53622	0.51183
124	0.4924	0.4769
125	0.52904	0.50497
126	0.50968	0.48884
127	0.66624	0.62668
128	0.50637	0.48403
129	0.5191	0.49175
130	0.59473	0.56266
131	0.60832	0.58015
132	0.57911	0.54737
133	0.59227	0.55995
134	0.5617	0.53633
135	0.54711	0.52043
136	0.53021	0.50714
137	0.60939	0.58243
138	0.5316	0.50834
139	0.5406	0.51677
140	0.61374	0.58844
141	0.63773	0.60876
142	0.56552	0.54016
143	0.60699	0.5778
144	0.52608	0.50233

145	0.62428	0.59715
146	0.60389	0.575
147	0.55345	0.5264
148	0.62171	0.59489
149	0.63038	0.60262
150	0.62475	0.60002
151	0.65873	0.6231
152	0.49938	0.48197
153	0.64399	0.61404
154	0.59637	0.56505
155	0.54324	0.51802
156	0.60815	0.57831
157	0.53625	0.51493
158	0.61958	0.59359
159	0.57077	0.54382
160	0.60216	0.57248
161	0.57942	0.54762
162	0.49875	0.48169
163	0.53618	0.51153
164	0.49404	0.47705
165	0.52904	0.506
166	0.51354	0.48916
167	0.6709	0.64972
168	0.50788	0.48564
169	0.52025	0.49202
170	0.59486	0.56366
171	0.60868	0.58045
172	0.57957	0.5484
173	0.59347	0.56035
174	0.55646	0.53075
175	0.5883	0.55763
176	0.60225	0.57261
177	0.61453	0.58972
178	0.59438	0.56167
179	0.55943	0.5311
180	0.55209	0.52518
181	0.52159	0.49387
182	0.52175	0.49424
183	0.61339	0.58762
184	0.53832	0.51618
185	0.5496	0.52146
186	0.61629	0.5924
187	0.64228	0.60982
188	0.59539	0.56366
189	0.56881	0.54034

190	0.58923	0.55773
191	0.5242	0.49965
192	0.62599	0.60058
193	0.65472	0.6214
194	0.62817	0.60246

195	0.60422	0.57595
196	0.60822	0.57967
197	0.61958	0.59411

3.6.1 Evaluación de resultados de los índices de vegetación en relación con la masa de carbono, altura del árbol y diámetro a la altura de pecho.

Ya teniendo los promedios generales, a través de gráficos de regresión lineal se evaluará la relación existente entre los índices de vegetación y el índice de vegetación, diámetro a la altura de pecho y altura del árbol; además, se evaluará también la relación existente entre la masa de carbono y la altura del árbol y el diámetro a la altura de pecho, posteriormente, el diámetro a la altura del pecho con la altura del árbol.

TABLA 23: Relación de los índices promedios con la masa de carbono.

# ARBOL	NDRE	NDVI	Z	DAP (m)	MASA DE CARBONO
1	0.47944	0.4681525	31	0.24192	545.73123
2	0.5293275	0.50624	35	0.39152	1613.86868
3	0.4703125	0.465045	30	0.21645	422.79419
4	0.5726875	0.5439225	37	0.49338	2438.35278
5	0.456705	0.44503	30	0.17507	248.93047
6	0.48298	0.4691475	32	0.26420	604.69668
7	0.574845	0.54466	37	0.49656	2469.91689
8	0.464795	0.4584	30	0.17507	248.93047
9	0.51354	0.4900425	35	0.35651	1204.30228
10	0.4703125	0.4632325	30	0.21327	369.40458
11	0.5348675	0.5102775	36	0.42017	1720.60739
12	0.5329525	0.50915	36	0.41699	1694.63632
13	0.4897675	0.4738975	32	0.28011	679.74613
14	0.4528	0.4341175	29	0.16234	206.90442
15	0.4731375	0.4652225	30	0.22918	426.59687
16	0.53937	0.5163225	36	0.43290	1826.46661
17	0.562795	0.5377	36	0.48383	2281.50327
18	0.5085225	0.4868775	35	0.33741	1078.72612
19	0.4897675	0.4763325	33	0.28330	717.01026
20	0.48726	0.4691475	32	0.27375	649.19968
21	0.614315	0.588435	38	0.59524	3645.00585

22	0.543795	0.5182775	36	0.44245	1907.93476
23	0.5316025	0.5091	36	0.41380	1668.86276
24	0.5944775	0.5618875	37	0.52521	2763.12818
25	0.56369	0.5385775	36	0.48701	2311.62180
26	0.5966375	0.5659125	37	0.53158	2830.51907
27	0.521745	0.49637	35	0.38834	1428.95688
28	0.6335875	0.60301	40	0.68118	5024.80205
29	0.65074	0.6188025	40	0.74485	6007.90595
30	0.627615	0.6013675	39	0.65572	4539.73463
31	0.5993	0.5673925	38	0.54749	3083.69850
32	0.6093925	0.580805	38	0.56978	3339.80475
33	0.617735	0.593095	39	0.60479	3861.91960
34	0.569575	0.540545	37	0.49020	2406.99166
35	0.5993575	0.570415	38	0.54749	3083.69850
36	0.6354125	0.606585	40	0.68437	5071.87254
37	0.63417	0.60489	40	0.68118	5024.80205
38	0.6098025	0.5839	38	0.57932	3452.69163
39	0.5502325	0.524255	36	0.44563	1935.48581
40	0.5415725	0.5167725	36	0.43927	1880.58121
41	0.59914	0.5664025	37	0.53158	2830.51907
42	0.5530925	0.52626	36	0.46473	2104.93957
43	0.6363175	0.6072975	40	0.69073	5166.67184
44	0.647585	0.61639	40	0.74166	5956.66605
45	0.6370625	0.607985	40	0.69073	5166.67184
46	0.57731	0.5453225	37	0.49656	2469.91689
47	0.4966575	0.4772275	34	0.32786	989.42934
48	0.5534475	0.5290825	36	0.47110	2163.00414
49	0.5820675	0.5487375	37	0.49975	2501.68399
50	0.610135	0.5850075	38	0.58569	3528.99190
51	0.5142875	0.49081	35	0.36606	1269.68253
52	0.535025	0.5105325	36	0.42017	1720.60739
53	0.4902175	0.4769025	34	0.31831	932.63205
54	0.52781	0.5032575	35	0.40107	1524.19508
55	0.5085225	0.4881375	34	0.34378	1087.82202
56	0.68747	0.6609925	40	0.93901	9548.50638
57	0.499375	0.483905	34	0.33741	1047.90537
58	0.50868	0.488245	34	0.34378	1087.82202
59	0.5079075	0.486085	35	0.33423	1058.46880
60	0.5697475	0.540545	37	0.49020	2406.99166
61	0.55433	0.5292225	36	0.47110	2163.00414
62	0.5423075	0.516985	36	0.43927	1880.58121
63	0.5444025	0.5188475	36	0.44245	1907.93476
64	0.615095	0.590225	38	0.60161	3723.39083
65	0.638705	0.6090725	40	0.70347	5358.90377
66	0.563985	0.53977	37	0.48383	2344.87836

67	0.604575	0.57604	38	0.56023	3228.79410
68	0.5227225	0.49652	35	0.38834	1428.95688
69	0.6218675	0.595215	39	0.61116	3943.65109
70	0.5996725	0.5713725	38	0.54749	3083.69850
71	0.55538	0.529285	36	0.47110	2163.00414
72	0.623335	0.59682	39	0.61116	3943.65109
73	0.62705	0.60068	39	0.65254	4495.76652
74	0.6247025	0.5977975	39	0.62070	4067.85299
75	0.6645075	0.6235325	40	0.85944	7998.69135
76	0.5023725	0.483955	34	0.33741	1047.90537
77	0.6434	0.6116175	40	0.70983	5456.33638
78	0.5963675	0.5642725	37	0.52839	2796.72213
79	0.542455	0.51702	36	0.43927	1880.58121
80	0.6048	0.5763525	38	0.56023	3228.79410
81	0.536215	0.511875	36	0.42972	1799.70556
82	0.64485	0.615215	40	0.71620	5554.64677
83	0.58345	0.551725	37	0.50611	2565.82712
84	0.5359225	0.510935	36	0.42017	1720.60739
85	0.57794	0.5462375	37	0.49656	2469.91689
86	0.5510175	0.5242675	36	0.45200	1991.18040
87	0.6550575	0.6214725	40	0.80532	7023.15823
88	0.556455	0.5302725	36	0.47428	2192.33268
89	0.5872375	0.552825	37	0.51885	2696.54922
90	0.600195	0.57146	38	0.54749	3083.69850
91	0.617235	0.5930575	39	0.59842	3781.04394
92	0.5904975	0.55787	37	0.52203	2729.73721
93	0.5615975	0.5348175	37	0.47428	2253.23081
94	0.55105	0.5242675	36	0.45518	2019.32395
95	0.52132	0.49203	35	0.38197	1382.48986
96	0.611155	0.5863425	38	0.58569	3528.99190
97	0.536215	0.5130775	36	0.42972	1799.70556
98	0.52918	0.506175	35	0.40744	1572.96625
99	0.5430925	0.51702	36	0.43927	1880.58121
100	0.582165	0.549535	37	0.49975	2501.68399
101	0.4881375	0.471725	32	0.27375	649.19968
102	0.6143425	0.5886575	38	0.59524	3645.00585
103	0.5459525	0.5196725	36	0.44245	1907.93476
104	0.5329525	0.5094375	36	0.41699	1694.63632
105	0.5944775	0.562285	37	0.52521	2763.12818
106	0.565515	0.5401625	37	0.48701	2375.83352
107	0.587735	0.5549275	37	0.51885	2696.54922
108	0.5237625	0.4986475	35	0.38834	1428.95688
109	0.62701	0.60058	39	0.64935	4452.01236
110	0.65249	0.6206675	40	0.74485	6007.90595
111	0.6278875	0.601505	39	0.65572	4539.73463

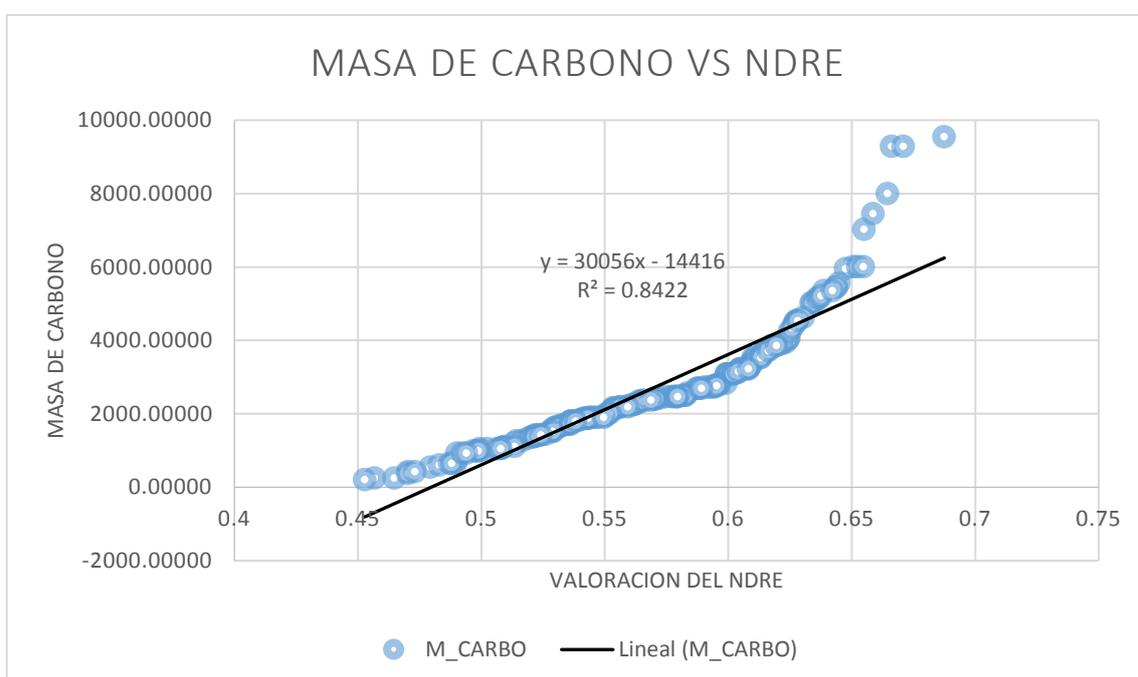
112	0.6038925	0.575345	38	0.55386	3155.82936
113	0.605165	0.5768225	38	0.56023	3228.79410
114	0.617735	0.5933275	39	0.60479	3861.91960
115	0.5707725	0.543375	37	0.49020	2406.99166
116	0.6015125	0.5723725	38	0.54749	3083.69850
117	0.5790675	0.547205	37	0.49656	2469.91689
118	0.498115	0.47956	34	0.32786	989.42934
119	0.5596675	0.5335475	37	0.47110	2223.08759
120	0.582845	0.5514075	37	0.49975	2501.68399
121	0.6129525	0.586795	38	0.58569	3528.99190
122	0.5165	0.491535	35	0.36606	1269.68253
123	0.536215	0.511825	37	0.42017	1768.40203
124	0.4924	0.4769025	34	0.31831	932.63205
125	0.529035	0.5049675	35	0.40107	1524.19508
126	0.509675	0.4888425	34	0.34696	1108.06014
127	0.6662425	0.6266825	40	0.92628	9291.31938
128	0.5063725	0.4840325	34	0.33741	1047.90537
129	0.5191025	0.4917475	35	0.37561	1336.79089
130	0.59473	0.562655	37	0.52521	2763.12818
131	0.608315	0.580145	38	0.56341	3265.58918
132	0.5791075	0.54737	37	0.49656	2469.91689
133	0.5922675	0.559945	37	0.52203	2729.73721
134	0.5616975	0.536325	37	0.47428	2253.23081
135	0.54711	0.5204275	36	0.44245	1907.93476
136	0.53021	0.507135	36	0.41062	1643.28670
137	0.6093925	0.5824275	38	0.57296	3377.22524
138	0.5316025	0.50834	36	0.41062	1643.28670
139	0.5405975	0.5167725	36	0.43609	1853.42516
140	0.6137375	0.588435	38	0.59206	3606.12606
141	0.637725	0.608755	40	0.69392	5214.40066
142	0.565515	0.5401625	37	0.48383	2344.87836
143	0.6069875	0.5778025	38	0.56023	3228.79410
144	0.5260775	0.5023275	36	0.38516	1445.78815
145	0.624275	0.59715	39	0.61752	4026.23840
146	0.6038925	0.574995	38	0.55068	3119.65970
147	0.5534475	0.5263975	36	0.46792	2133.87311
148	0.6217075	0.594885	39	0.60797	3902.67837
149	0.630375	0.602615	39	0.66209	4628.31273
150	0.624745	0.6000175	39	0.63344	4236.45092
151	0.658725	0.6231	37	0.86262	7453.69684
152	0.499375	0.4819725	34	0.33104	1008.73483
153	0.6439875	0.6140425	40	0.70983	5456.33638
154	0.5963675	0.5650475	37	0.52839	2796.72213
155	0.5432375	0.5180225	36	0.43927	1880.58121
156	0.6081525	0.5783125	38	0.56023	3228.79410

157	0.536245	0.51493	36	0.42972	1799.70556
158	0.619575	0.593585	39	0.60479	3861.91960
159	0.5707725	0.54382	37	0.49020	2406.99166
160	0.60216	0.5724775	38	0.54749	3083.69850
161	0.579415	0.547615	37	0.49656	2469.91689
162	0.49875	0.4816925	34	0.32786	989.42934
163	0.5361775	0.5115275	36	0.42017	1720.60739
164	0.49404	0.477045	34	0.31831	932.63205
165	0.529035	0.5060025	35	0.40107	1524.19508
166	0.51354	0.489155	34	0.34696	1108.06014
167	0.6708975	0.6497175	40	0.92628	9291.31938
168	0.507875	0.485635	34	0.33741	1047.90537
169	0.5202475	0.4920175	36	0.37561	1374.98492
170	0.5948575	0.5636575	37	0.52521	2763.12818
171	0.608675	0.58045	38	0.56341	3265.58918
172	0.57957	0.5483975	37	0.49656	2469.91689
173	0.593465	0.560345	37	0.52203	2729.73721
174	0.556455	0.5307475	36	0.47428	2192.33268
175	0.5883025	0.557625	37	0.51885	2696.54922
176	0.6022475	0.57261	38	0.54749	3083.69850
177	0.6145275	0.58972	38	0.59842	3684.09410
178	0.594375	0.5616675	37	0.52203	2729.73721
179	0.55943	0.5311	36	0.47428	2192.33268
180	0.552085	0.5251775	36	0.45518	2019.32395
181	0.5215925	0.49387	35	0.38197	1382.48986
182	0.521745	0.4942375	35	0.38197	1382.48986
183	0.613385	0.5876175	38	0.58569	3528.99190
184	0.53832	0.516175	36	0.42972	1799.70556
185	0.5496	0.521455	36	0.44245	1907.93476
186	0.61629	0.592395	38	0.60161	3723.39083
187	0.642275	0.60982	40	0.70347	5358.90377
188	0.5953875	0.5636575	37	0.52521	2763.12818
189	0.5688075	0.5403425	37	0.48701	2375.83352
190	0.58923	0.55773	37	0.51885	2696.54922
191	0.5241975	0.499645	35	0.38834	1428.95688
192	0.625985	0.60058	38	0.64935	4337.85820
193	0.6547175	0.6213975	40	0.74485	6007.90595
194	0.6281675	0.6024575	39	0.65572	4539.73463
195	0.60422	0.5759475	38	0.55386	3155.82936
196	0.6082175	0.5796675	38	0.56023	3228.79410
197	0.619575	0.594105	39	0.60479	3861.91960

ANÁLISIS DE REGRESIÓN (R²)

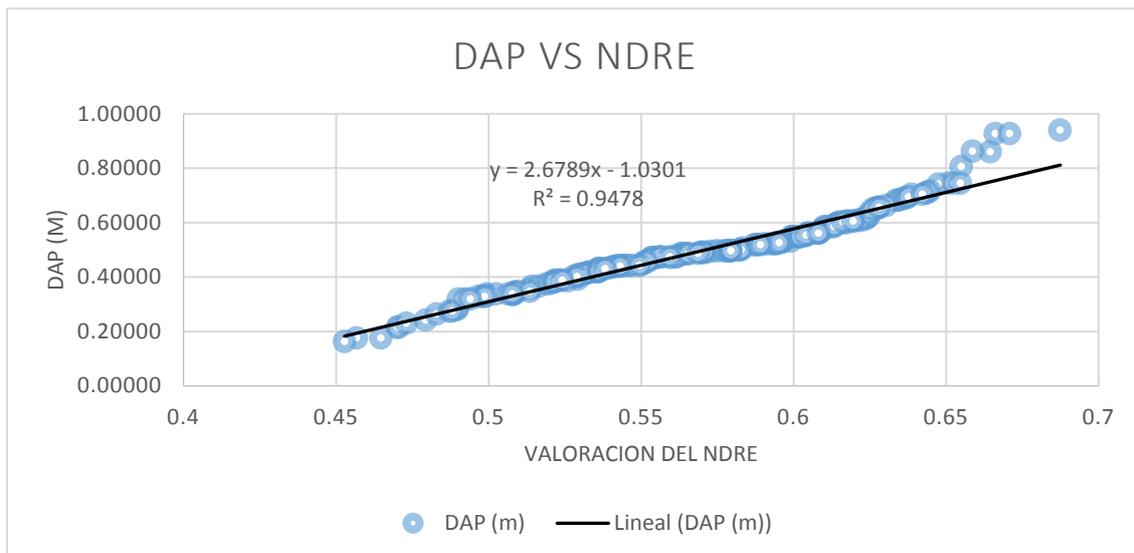
Realizar el análisis de regresión utilizando la herramienta Excel resultó satisfactorio para los objetivos requeridos, brindó resultados confiables y ordenados, fáciles de obtener y de forma inmediata.

GRAFICO 10: GRAFICO DE DISPERSIÓN ENTRE LA MASA DE CARBONO Y EL NDRE



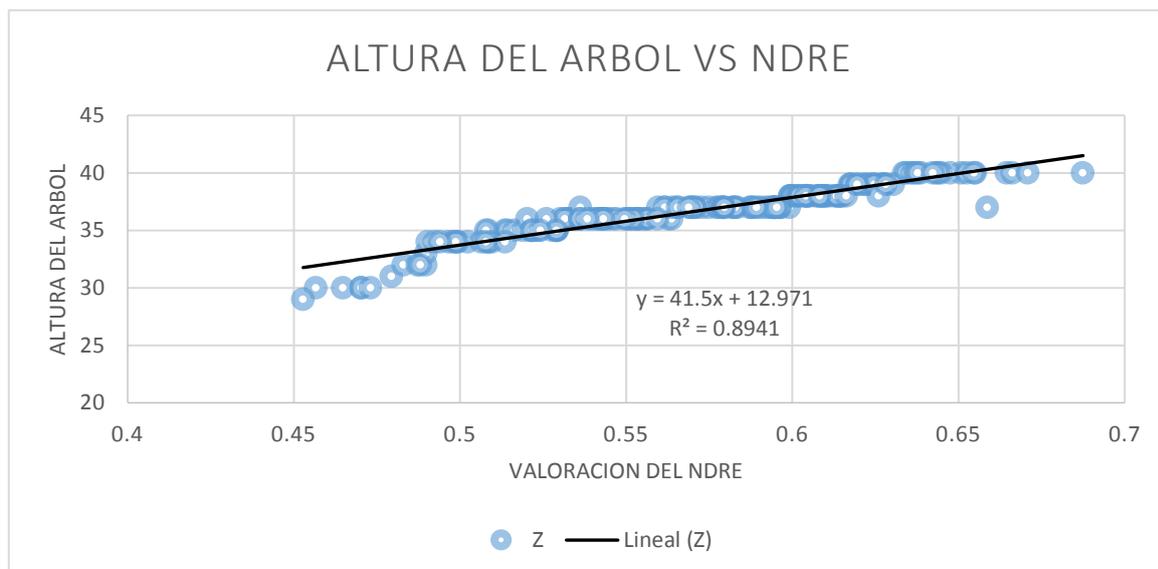
La relación existente entre la masa de carbono y el índice NDRE (Normalized Difference Red Index), es directamente proporcional, pues ello indica, que mientras haya un mayor almacenamiento de carbono, la valoración del índice aumentará, tal y como se representa en la gráfica de correlación. Además, se halló el coeficiente de Correlación de Pearson (R^2) y se obtuvo un valor de 84.22%, lo cual representa una alta aceptación de los datos obtenidos en campos y de la metodología utilizada para la determinación del índice. Además, esta relación nos determina que los valores de la masa de carbono y el índice de NDE, sí se encuentran relacionados y que la alteración de uno de ellos, afecta de manera directa la resultante opuesta.

GRAFICO 11: GRAFICO DE DISPERSIÓN ENTRE LA DAP Y EL NDRE



La relación existente entre el Diámetro a la altura del pecho y el índice NDRE (Normalized Difference Red Index), es directamente proporcional, puesto que los valores guardan relación ascendente o descendente entre sí. Es decir, mientras tenga un mayor diámetro en el tronco de un árbol, mayor índice NDRE tendrá. Además, se calculó el coeficiente de Pearson (R^2) y se obtuvo un valor de 94.78%, este valor representa una alta aceptación de los datos determinados y utilizados para el análisis de los índices de vegetación.

GRAFICO 12: GRÁFICO DE DISPERSIÓN ENTRE LA ALTURA DEL ARBOL Y EL NDRE

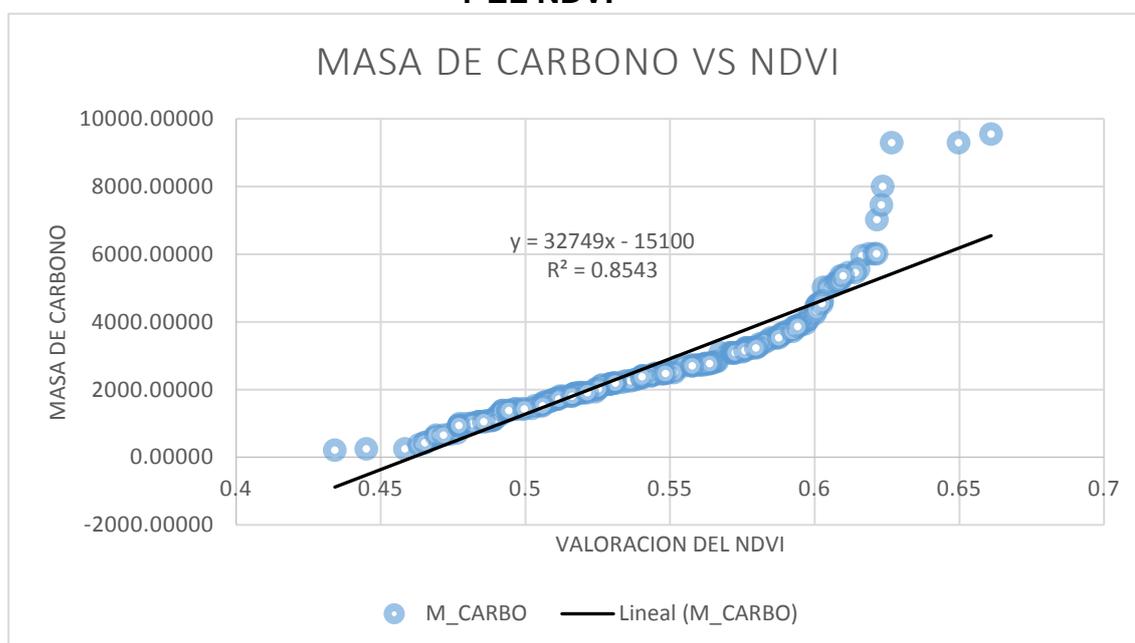


La relación existente entre la Altura del árbol y el índice NDRE (Normalized Difference Red Index), es directamente proporcional; pues mientras el árbol tenga una mayor altura, tendrá una mayor cantidad de clorofila en su estructura,

por ende, la relación es ascendente. Además, se determinó el coeficiente de correlación de Pearson (R^2) y se obtuvo un valor de 89.41%; lo cual indica una alta aceptación de los datos.

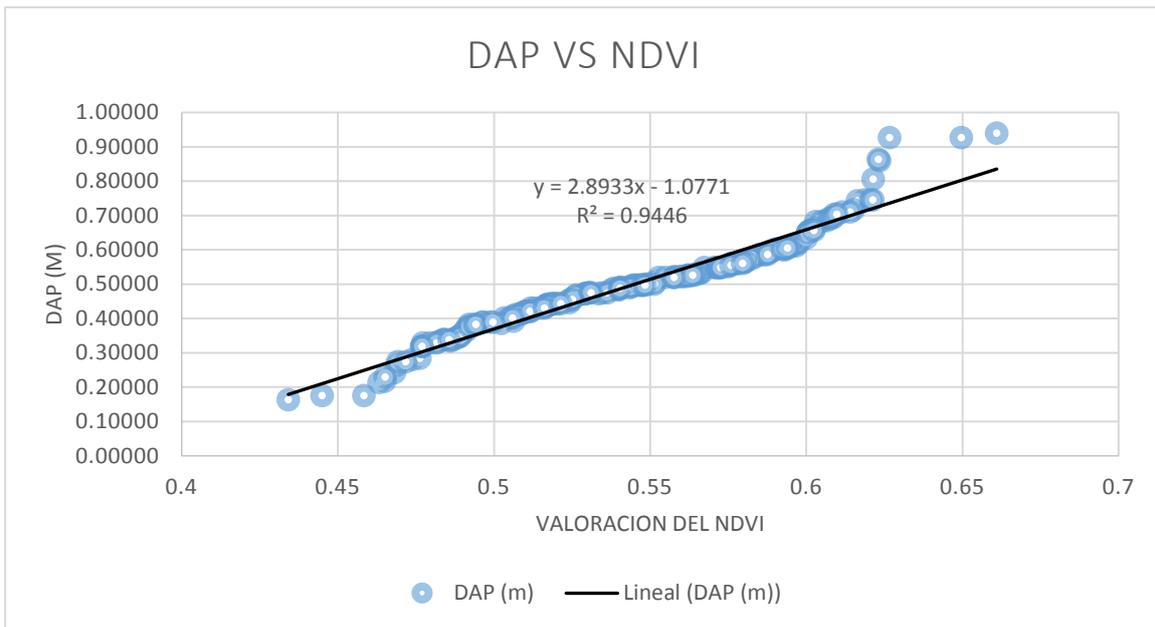
Los factores y/o criterios de Masa de carbono, Diámetro a la altura de pecho y Altura del árbol están relacionados directamente con la clorofila, ya que, a mayor valor de cada uno de los criterios, se tendrá mayor valor de la clorofila; por ende, se tendrá un mayor valor del índice NDRE, ya que este índice se encuentra basado en la captación de clorofila en el infrarrojo cercano.

GRAFICO 13: GRÁFICO DE DISPERSIÓN ENTRE LA MASA DE CARBONO Y EL NDVI



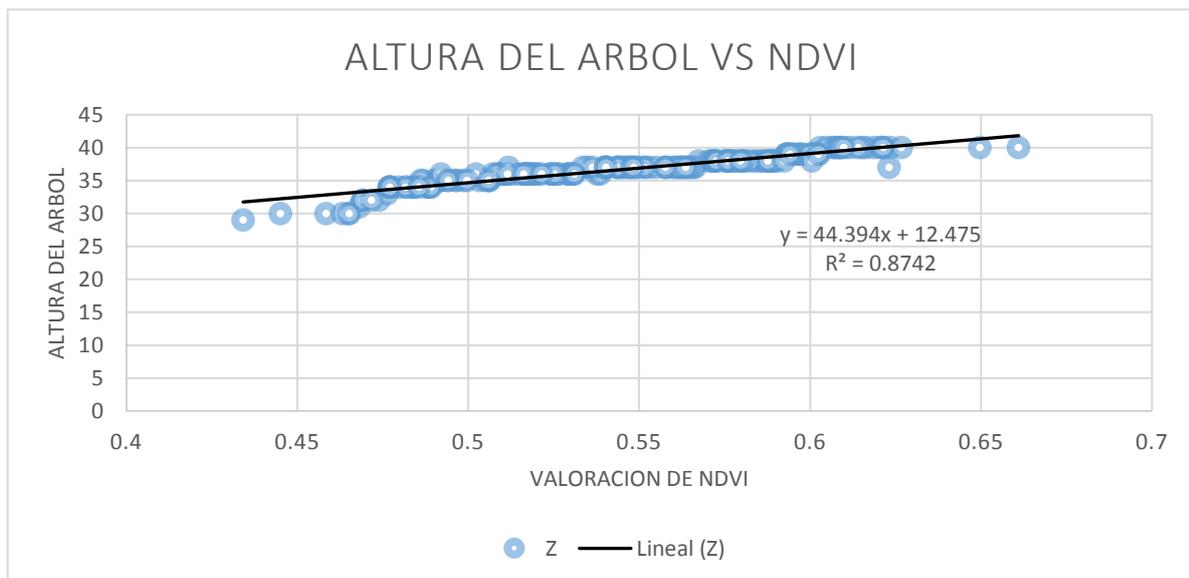
La relación existente entre la masa de carbono y el índice NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), es directamente proporcional, pues ello indica, que mientras haya un mayor almacenamiento de carbono, la valoración del índice aumentará, tal y como se representa en la gráfica de correlación. Además, se halló el coeficiente de correlación de Pearson (R^2) y se obtuvo un valor de 85.43%, lo cual representa una alta aceptación de los datos obtenidos en campos y de la metodología utilizada para la determinación del índice.

GRAFICO 14: GRÁFICO DE DISPERSIÓN ENTRE LA DAP Y EL NDVI



La relación existente entre el Diámetro a la altura del pecho y el índice NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), es directamente proporcional, puesto que los valores guardan relación ascendente o descendente entre sí. Es decir, mientras tenga un mayor diámetro en el tronco de un árbol, mayor índice NDVI tendrá. Además, se calculó el coeficiente de Pearson (R^2) y se obtuvo un valor de 94.46%, este valor representa una alta aceptación de los datos determinados y utilizados para el análisis de los índices de vegetación.

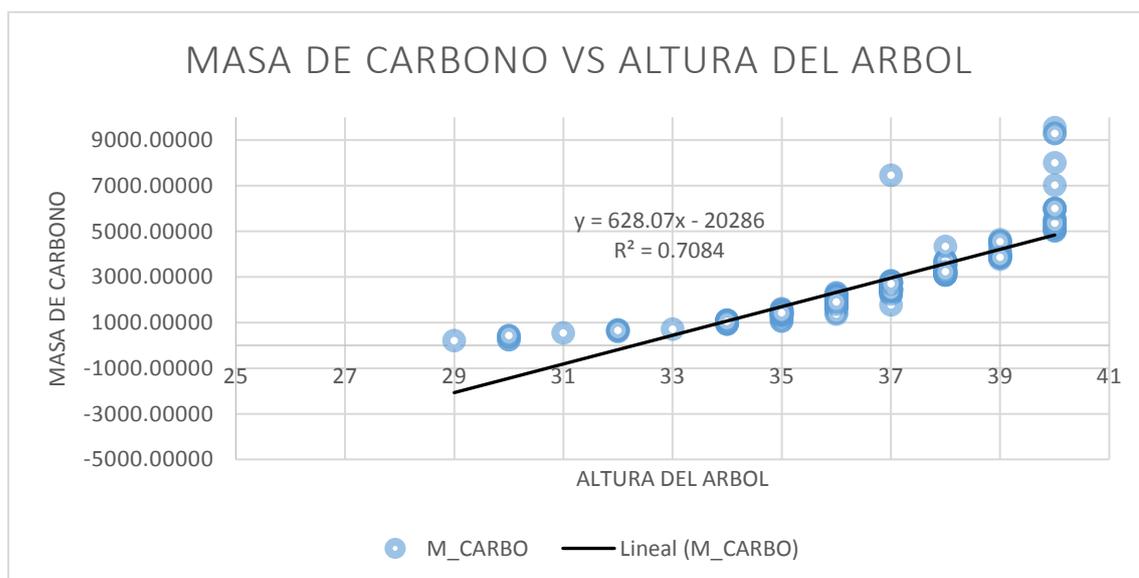
GRAFICO 15: GRÁFICO DE DISPERSIÓN ENTRE LA ALTURA DEL ARBOL Y EL NDVI



La relación existente entre la Altura del árbol y el índice NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), es directamente proporcional; pues mientras el árbol tenga una mayor altura, será representado con mayor crecimiento de la planta y ello hace referencia que la planta tendrá una mayor edad y su vigorosidad será mayor. Además, se determinó el coeficiente de correlación de Pearson (R^2) y se obtuvo un valor de 87.42%; lo cual indica una alta aceptación de los datos.

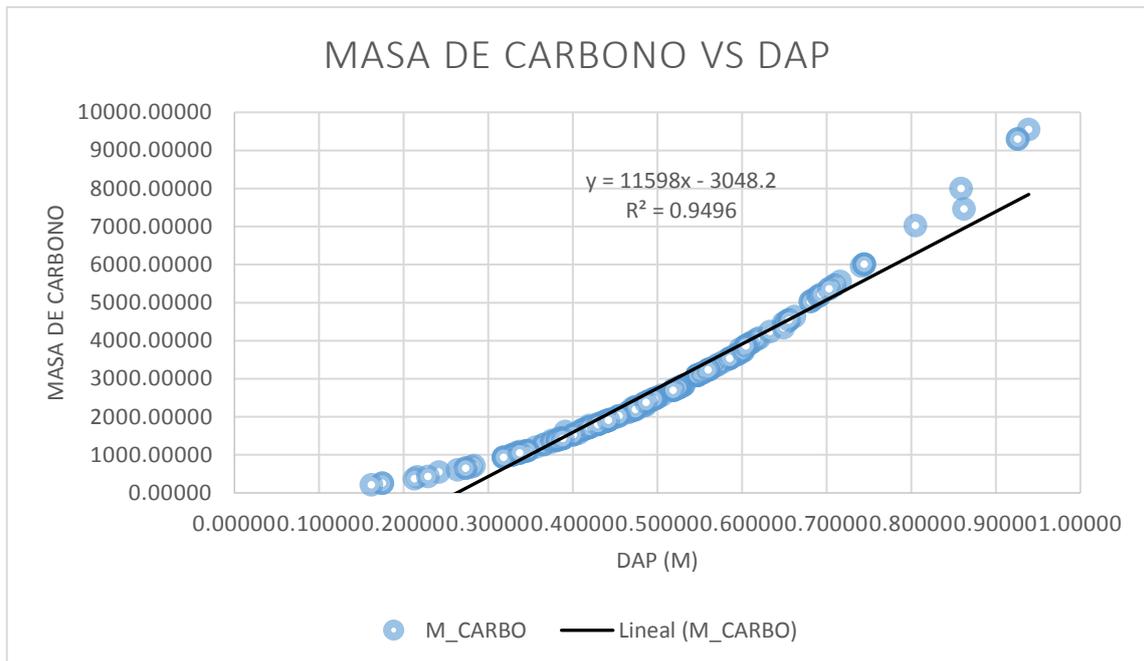
Los factores y/o criterios de Masa de carbono, Diámetro a la altura de pecho y Altura del árbol están se relacionan con la edad, el estado en que se encuentra del árbol; y ello se está directamente ligado con los valores que representa el NDVI, para la clasificación del tipo de superficie o área en la cual se basa el estudio.

GRAFICO 16: GRÁFICO DE DISPERSIÓN ENTRE LA MASA DE CARBONO Y LA ALTURA DEL ARBOL



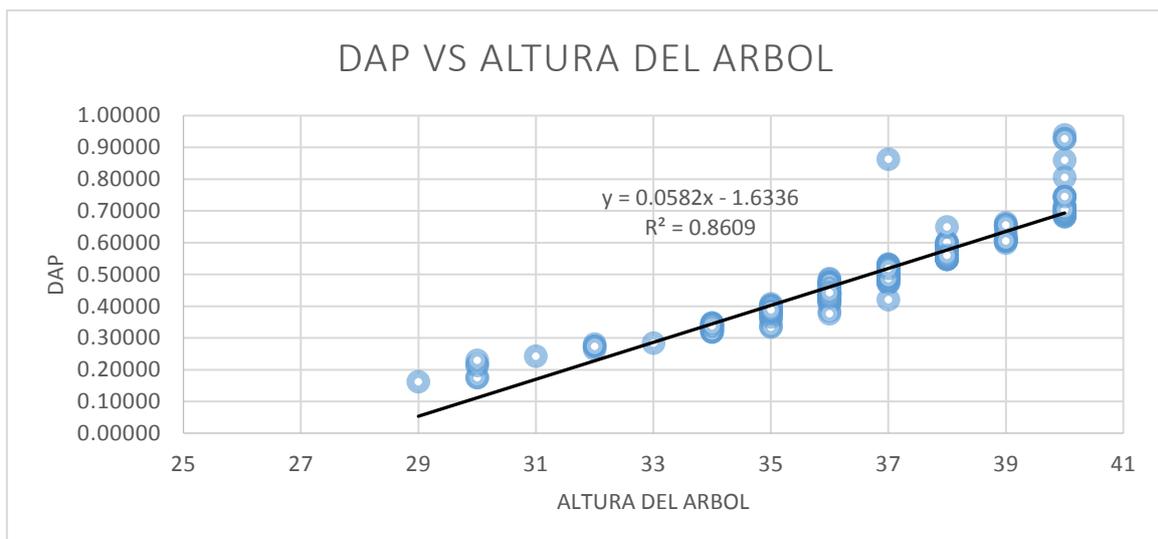
La altura del árbol, es un factor determinante para aumento del almacenamiento de carbono en la planta, pues tiene una relación directamente proporcional, tal como se muestra en el gráfico. Además, se determinó el coeficiente de correlación de Pearson (R^2) y se obtuvo un valor de 70.84%; lo cual indica una alta aceptación de los datos.

GRAFICO 17: GRÁFICO DE DISPERSIÓN ENTRE LA MASA DE CARBONO Y LA DAP



El Diámetro a la altura del pecho, hace referencia al grosor del tallo del árbol y a su vez, ello se encuentra relacionado con la edad del árbol y el almacenamiento de carbono que presenta una determinada especie forestal. Además, se determinó el coeficiente de correlación de Pearson (R^2) y se obtuvo un valor de 94.96%; lo cual indica una alta aceptación de los datos.

GRAFICO 18: GRÁFICO DE DISPERSIÓN ENTRE LA DAP Y LA ALTURA DEL ARBOL



La DAP y la Altura del árbol, son factores de crecimiento del árbol, que viene a estar relacionados directamente con él. Si bien es cierto, el crecimiento de la DAP es directamente proporcional a aumento de la altura del árbol; ello no quiere decir que siempre cumpla esta relación, si no que mientras el árbol se encuentra en la etapa joven y adulta, esta relación se cumplirá, sin embargo, cuando el árbol llega a una etapa de decrecimiento, esta relación se ve distorsionada y la relación se invierte.

3.6.2 RELACIÓN DE LOS ÍNDICES PROMEDIOS CON LA MASA DE CARBONO EN IMÁGENES CON PRESENCIA DE NUBOSIDAD

TABLA 24

# ARBOL	NDRE	NDVI	Z	DAP (m)	M_CARBO
1	0.121685	0.04924	31	0.24192	545.73123
2	0.322365	0.315065	35	0.39152	1613.86868
3	0.11574	0.04884	30	0.21645	422.79419
4	0.42738	0.413335	37	0.49338	2438.35278
5	0.08906	0.0307	30	0.17507	248.93047
6	0.121685	0.04975	32	0.26420	604.69668
7	0.42738	0.414475	37	0.49656	2469.91689
8	0.10802	0.0307	30	0.17507	248.93047
9	0.17066	0.166125	35	0.35651	1204.30228
10	0.113805	0.04884	30	0.21327	369.40458
11	0.349035	0.33579	36	0.42017	1720.60739
12	0.349035	0.33569	36	0.41699	1694.63632
13	0.125145	0.05025	32	0.28011	679.74613
14	0.08906	0.0307	29	0.16234	206.90442
15	0.11635	0.04924	30	0.22918	426.59687
16	0.375895	0.373615	36	0.43290	1826.46661
17	0.42367	0.399965	36	0.48383	2281.50327
18	0.15949	0.120845	35	0.33741	1078.72612
19	0.12572	0.065375	33	0.28330	717.01026
20	0.121685	0.04975	32	0.27375	649.19968
21	0.53914	0.51448	38	0.59524	3645.00585
22	0.38806	0.382485	36	0.44245	1907.93476
23	0.343925	0.33557	36	0.41380	1668.86276
24	0.4609	0.427955	37	0.52521	2763.12818
25	0.42367	0.40375	36	0.48701	2311.62180
26	0.468295	0.43487	37	0.53158	2830.51907
27	0.18205	0.17755	35	0.38834	1428.95688

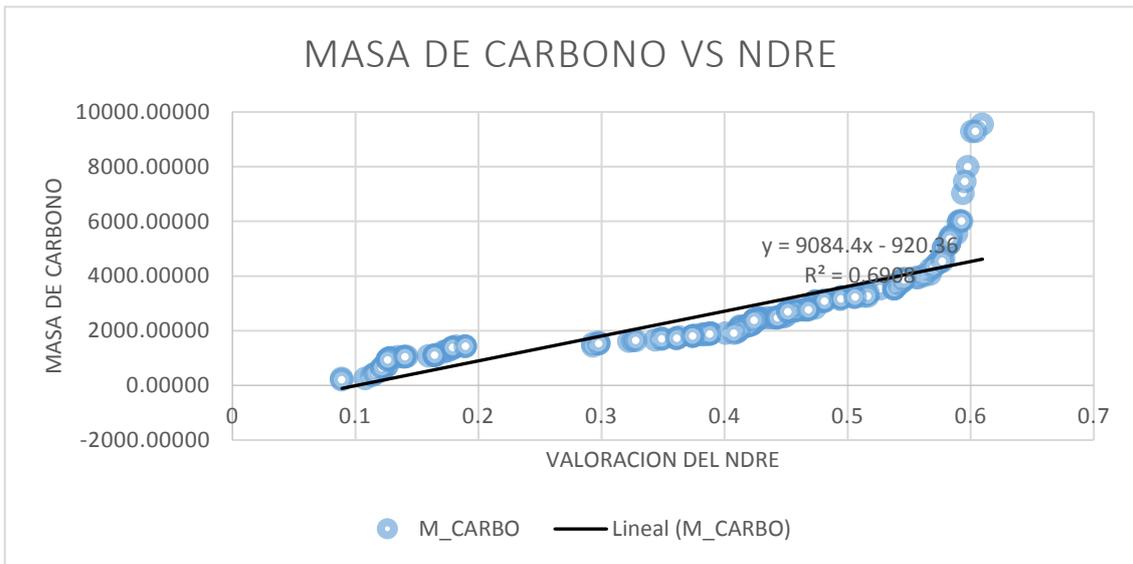
28	0.57803	0.543765	40	0.68118	5024.80205
29	0.59076	0.556365	40	0.74485	6007.90595
30	0.57476	0.538015	39	0.65572	4539.73463
31	0.473725	0.43557	38	0.54749	3083.69850
32	0.516705	0.47965	38	0.56978	3339.80475
33	0.544365	0.51643	39	0.60479	3861.91960
34	0.42401	0.409755	37	0.49020	2406.99166
35	0.473865	0.436995	38	0.54749	3083.69850
36	0.58032	0.544215	40	0.68437	5071.87254
37	0.57803	0.544215	40	0.68118	5024.80205
38	0.518635	0.482475	38	0.57932	3452.69163
39	0.41003	0.38732	36	0.44563	1935.48581
40	0.38223	0.37805	36	0.43927	1880.58121
41	0.473725	0.43557	37	0.53158	2830.51907
42	0.412215	0.38926	36	0.46473	2104.93957
43	0.582445	0.546815	40	0.69073	5166.67184
44	0.59012	0.554525	40	0.74166	5956.66605
45	0.582735	0.547465	40	0.69073	5166.67184
46	0.428885	0.4155	37	0.49656	2469.91689
47	0.127375	0.0832	34	0.32786	989.42934
48	0.412485	0.392005	36	0.47110	2163.00414
49	0.443865	0.417385	37	0.49975	2501.68399
50	0.526585	0.486135	38	0.58569	3528.99190
51	0.173945	0.166125	35	0.36606	1269.68253
52	0.360725	0.343755	36	0.42017	1720.60739
53	0.12572	0.065375	34	0.31831	932.63205
54	0.293115	0.29524	35	0.40107	1524.19508
55	0.164565	0.122795	34	0.34378	1087.82202
56	0.609535	0.580925	40	0.93901	9548.50638
57	0.134825	0.090165	34	0.33741	1047.90537
58	0.164565	0.125375	34	0.34378	1087.82202
59	0.14186	0.120845	35	0.33423	1058.46880
60	0.424575	0.41195	37	0.49020	2406.99166
61	0.416755	0.392465	36	0.47110	2163.00414
62	0.38522	0.37805	36	0.43927	1880.58121
63	0.388695	0.382535	36	0.44245	1907.93476
64	0.540335	0.514955	38	0.60161	3723.39083
65	0.582755	0.550575	40	0.70347	5358.90377
66	0.42389	0.405925	37	0.48383	2344.87836
67	0.49457	0.458485	38	0.56023	3228.79410
68	0.189025	0.17755	35	0.38834	1428.95688
69	0.555845	0.52904	39	0.61116	3943.65109
70	0.473865	0.43953	38	0.54749	3083.69850
71	0.418185	0.392465	36	0.47110	2163.00414
72	0.55779	0.52904	39	0.61116	3943.65109

73	0.57457	0.53508	39	0.65254	4495.76652
74	0.56706	0.530355	39	0.62070	4067.85299
75	0.59771	0.563375	40	0.85944	7998.69135
76	0.13896	0.096385	34	0.33741	1047.90537
77	0.58377	0.55243	40	0.70983	5456.33638
78	0.468295	0.43358	37	0.52839	2796.72213
79	0.38537	0.37965	36	0.43927	1880.58121
80	0.494755	0.458485	38	0.56023	3228.79410
81	0.374095	0.366395	36	0.42972	1799.70556
82	0.588565	0.553755	40	0.71620	5554.64677
83	0.45042	0.417435	37	0.50611	2565.82712
84	0.360725	0.3444	36	0.42017	1720.60739
85	0.434785	0.4155	37	0.49656	2469.91689
86	0.41029	0.387695	36	0.45200	1991.18040
87	0.59375	0.56133	40	0.80532	7023.15823
88	0.418185	0.392465	36	0.47428	2192.33268
89	0.45042	0.417435	37	0.51885	2696.54922
90	0.476615	0.43953	38	0.54749	3083.69850
91	0.544365	0.515575	39	0.59842	3781.04394
92	0.451785	0.422135	37	0.52203	2729.73721
93	0.42252	0.39867	37	0.47428	2253.23081
94	0.411245	0.388085	36	0.45518	2019.32395
95	0.17909	0.1768	35	0.38197	1382.48986
96	0.53747	0.50473	38	0.58569	3528.99190
97	0.374095	0.366395	36	0.42972	1799.70556
98	0.297765	0.311725	35	0.40744	1572.96625
99	0.387935	0.38167	36	0.43927	1880.58121
100	0.444735	0.417425	37	0.49975	2501.68399
101	0.12169	0.05025	32	0.27375	649.19968
102	0.54027	0.51448	38	0.59524	3645.00585
103	0.38919	0.384285	36	0.44245	1907.93476
104	0.349035	0.33569	36	0.41699	1694.63632
105	0.463775	0.43033	37	0.52521	2763.12818
106	0.423955	0.407835	37	0.48701	2375.83352
107	0.451685	0.41871	37	0.51885	2696.54922
108	0.189025	0.182925	35	0.38834	1428.95688
109	0.572575	0.53508	39	0.64935	4452.01236
110	0.591735	0.55772	40	0.74485	6007.90595
111	0.57476	0.540325	39	0.65572	4539.73463
112	0.493825	0.4502	38	0.55386	3155.82936
113	0.494755	0.458485	38	0.56023	3228.79410
114	0.544365	0.51758	39	0.60479	3861.91960
115	0.42731	0.41227	37	0.49020	2406.99166
116	0.47893	0.4448	38	0.54749	3083.69850
117	0.439	0.4155	37	0.49656	2469.91689

118	0.127375	0.08742	34	0.32786	989.42934
119	0.421955	0.395055	37	0.47110	2223.08759
120	0.448135	0.417435	37	0.49975	2501.68399
121	0.538115	0.509315	38	0.58569	3528.99190
122	0.175115	0.168085	35	0.36606	1269.68253
123	0.363095	0.360785	37	0.42017	1768.40203
124	0.12632	0.065995	34	0.31831	932.63205
125	0.297765	0.30145	35	0.40107	1524.19508
126	0.164565	0.15136	34	0.34696	1108.06014
127	0.601085	0.565295	40	0.92628	9291.31938
128	0.139955	0.10575	34	0.33741	1047.90537
129	0.178755	0.17012	35	0.37561	1336.79089
130	0.46641	0.43181	37	0.52521	2763.12818
131	0.513145	0.47287	38	0.56341	3265.58918
132	0.44181	0.4155	37	0.49656	2469.91689
133	0.45455	0.42285	37	0.52203	2729.73721
134	0.42271	0.39867	37	0.47428	2253.23081
135	0.40095	0.384285	36	0.44245	1907.93476
136	0.32549	0.320855	36	0.41062	1643.28670
137	0.516705	0.482475	38	0.57296	3377.22524
138	0.32783	0.320855	36	0.41062	1643.28670
139	0.382045	0.377725	36	0.43609	1853.42516
140	0.53914	0.51448	38	0.59206	3606.12606
141	0.582735	0.550485	40	0.69392	5214.40066
142	0.42389	0.40776	37	0.48383	2344.87836
143	0.50498	0.458645	38	0.56023	3228.79410
144	0.293115	0.29524	36	0.38516	1445.78815
145	0.5624	0.52969	39	0.61752	4026.23840
146	0.48143	0.4502	38	0.55068	3119.65970
147	0.412485	0.390075	36	0.46792	2133.87311
148	0.54635	0.52055	39	0.60797	3902.67837
149	0.57803	0.543655	39	0.66209	4628.31273
150	0.56706	0.533265	39	0.63344	4236.45092
151	0.595345	0.56234	37	0.86262	7453.69684
152	0.12907	0.08992	34	0.33104	1008.73483
153	0.584445	0.553755	40	0.70983	5456.33638
154	0.468295	0.43358	37	0.52839	2796.72213
155	0.387935	0.38246	36	0.43927	1880.58121
156	0.50594	0.458645	38	0.56023	3228.79410
157	0.374095	0.371845	36	0.42972	1799.70556
158	0.54489	0.51874	39	0.60479	3861.91960
159	0.42731	0.41227	37	0.49020	2406.99166
160	0.481085	0.448075	38	0.54749	3083.69850
161	0.442045	0.415955	37	0.49656	2469.91689
162	0.127375	0.089065	34	0.32786	989.42934

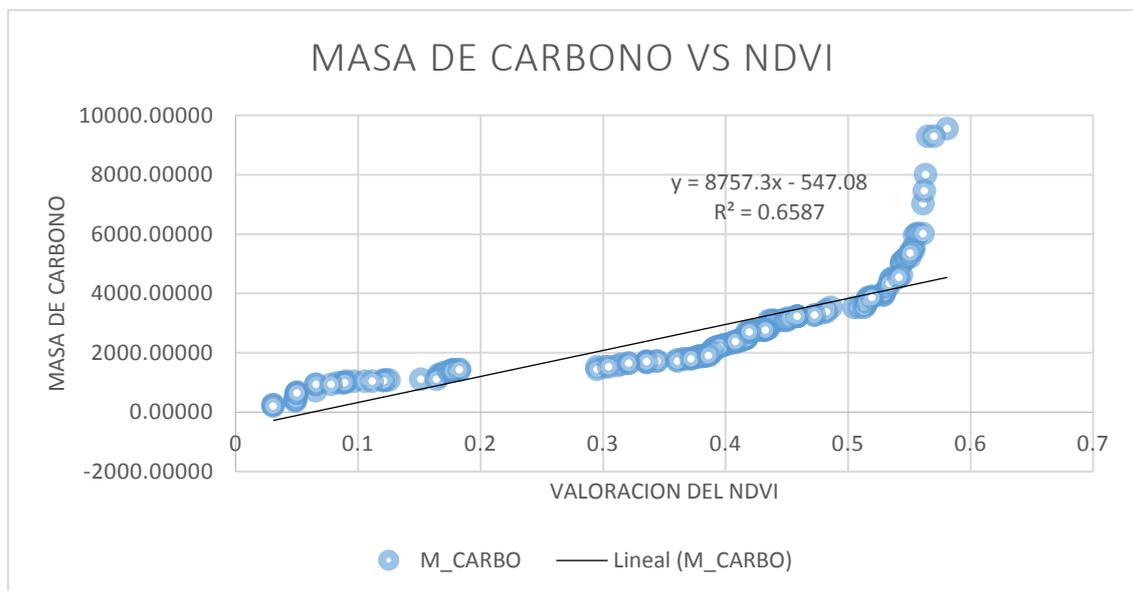
163	0.361245	0.360785	36	0.42017	1720.60739
164	0.12632	0.078175	34	0.31831	932.63205
165	0.297765	0.30475	35	0.40107	1524.19508
166	0.164565	0.16421	34	0.34696	1108.06014
167	0.604025	0.57034	40	0.92628	9291.31938
168	0.14033	0.111695	34	0.33741	1047.90537
169	0.17909	0.174175	36	0.37561	1374.98492
170	0.46641	0.43181	37	0.52521	2763.12818
171	0.51629	0.47287	38	0.56341	3265.58918
172	0.443275	0.41693	37	0.49656	2469.91689
173	0.4567	0.42285	37	0.52203	2729.73721
174	0.418505	0.39393	36	0.47428	2192.33268
175	0.451685	0.419535	37	0.51885	2696.54922
176	0.481315	0.45015	38	0.54749	3083.69850
177	0.54027	0.514955	38	0.59842	3684.09410
178	0.45794	0.422965	37	0.52203	2729.73721
179	0.42046	0.395055	36	0.47428	2192.33268
180	0.412	0.38926	36	0.45518	2019.32395
181	0.17909	0.1768	35	0.38197	1382.48986
182	0.17909	0.17755	35	0.38197	1382.48986
183	0.538115	0.513115	38	0.58569	3528.99190
184	0.37425	0.371845	36	0.42972	1799.70556
185	0.40752	0.3861	36	0.44245	1907.93476
186	0.541945	0.514955	38	0.60161	3723.39083
187	0.58311	0.55085	40	0.70347	5358.90377
188	0.468295	0.432515	37	0.52521	2763.12818
189	0.42401	0.408095	37	0.48701	2375.83352
190	0.451685	0.419535	37	0.51885	2696.54922
191	0.189565	0.182925	35	0.38834	1428.95688
192	0.570155	0.53394	38	0.64935	4337.85820
193	0.59265	0.561205	40	0.74485	6007.90595
194	0.57694	0.541525	39	0.65572	4539.73463
195	0.49457	0.452885	38	0.55386	3155.82936
196	0.506275	0.458645	38	0.56023	3228.79410
197	0.545865	0.51953	39	0.60479	3861.91960

GRAFICO 19: GRÁFICO DE DISPERSIÓN ENTRE LA MASA DE CARBONO Y EL NDRE



La relación entre la Masa de Carbono y el NDRE, es directamente proporcional. Además, se determinó el coeficiente de correlación de Pearson (R^2) y se obtuvo un valor de 69.08%; lo cual indica una aceptación media de los datos utilizados.

GRAFICO 20: GRÁFICO DE DISPERSIÓN ENTRE LA MASA DE CARBONO Y EL NDVI



La relación entre la Masa de Carbono y el NDVI, es directamente proporcional. Además, se determinó el coeficiente de correlación de Pearson (R^2) y se obtuvo un valor de 65.87%; lo cual indica una aceptación media de los datos utilizados.

No se continuó realizando las regresiones debido a que la data presentada es errónea y los valores no son significativos. La data se distorsionó por el factor de presencia nubosidad, modificando el valor de los índices de vegetación y alterando el resultado del análisis, es por ello, se se optó por no tomar la data de las 2 últimas imágenes satelitales, dentro del análisis de la presente investigación.

Luego se realizó el análisis de cada una de las imágenes satelitales en factor a los índices de vegetación y el índice de vegetación, diámetro a la altura de pecho y altura del árbol; además, se evaluará también la relación existente entre la masa de carbono y la altura del árbol y el diámetro a la altura de pecho; obteniendo como productos, gráficos de regresión lineal y cuadros combinados teniendo como base 3 criterios: índice de vegetación (NDVI – NDRE) y masa de carbono.

Finalmente, se calculará el pago por bono de carbono del área de estudio en factor al carbono almacenado. Teniendo en cuenta, el precio de 3.5 dólares por tonelada de CO₂ almacenado.

En el siguiente gráfico calcularemos el precio total por el pago del servicio ambiental por año; se detallará también el almacenamiento de carbono por año de cada una de las parcelas.

3.7 Calculo monetario del Servicio Ambiental, en factor del Pago por Bono de Carbono.

Tabla 25: Calculo del pago por el Servicio Ambiental

NUMERO DE PARCELAS	DIMENSION DE LA PARCELA	AREA TOTAL DE LA PARCELA	CARBONO ALMACENADO POR PARCELA	AREA TOTAL DEL ESTUDIO EN M2	AREA TOTAL DEL ESTUDIO POR HECTAREA	CARBONO ALMACENADO TOTAL (kg)	CARBONO ALMACENADO TOTAL (toneladas)	FACTOR DE PAGO (ton de CO ₂) -	PAGO POR EL BONO DE CARBONO (\$)	CONVERSION DE DOLARES A SOLES	PAGO POR EL BONO DE CARBONO (S/.)
1	20X20	400	25093.3312	8400	8.4	538399.224	538.399224	3.5	1884.39729	3.37	6350.41885
2	20X50	1000	71727.1428								
3	20X50	1000	59494.8122								
4	20X50	1000	76426.6593								
5	20X50	1000	29230.0024								
6	20X50	1000	62649.3249								
7	20X50	1000	72798.4134								
8	20X50	1000	57672.6823								
9	20X50	1000	83306.856								

El área de estudio es una plantación forestal del tipo Mixto, cuenta con una superficie de 8400 m², equivalente a 8.4 hectáreas; tiene un total de 548.399224 toneladas de carbono almacenado, la cual presta un servicio ambiental de regulados ecosistémicos por el sistema de bono de carbono, en donde tonelada de carbono almacenado tiene un precio de 3,5 dólares, siendo este un total de 1884.39729 dólares, equivalente a 6350.418885 soles.

IV. DISCUSION

La investigación tuvo el propósito de evaluar la relación que existe entre el almacenamiento de carbono (biomasa aérea) de la especie forestal Eucalipto (*Eucalyptus Globulus Lamill*) y los índices de vegetación obtenidos a partir del uso de las imágenes satelitales en el Bosque de Pallasca, la cual pretendió darle una nueva alternativa al monitoreo y control de los recursos naturales mediante herramientas de Teledetección.

De los resultados que se obtuvieron en cada uno de las etapas a desarrollada, se puede deducir puntualmente que los resultados obtenidos no se asemejan con otras investigaciones realizadas en almacenamiento de carbono en biomasa aérea y/o carbono almacenado, la diferencia radica en que para la elaboración y obtención de resultados de nuestra investigación se realizó basándose en dos metodologías, la recolección de datos de campo y a nivel gabinete, la cual pudo reducir el margen de error generado en el momento de cálculos numéricos, tales como características físicas y distancias de los árboles, entre otros que fueron los principales objetos del estudio. Tal como lo realizaron JURADO, Daniela y LOZANO, Diego (2014), lo cuales determinaron las alturas y diámetros de los arboles mediante datos LIDAR, la cual tuvo una precisión del 87%, sin embargo, el rango que abarca la tecnología LIDAR supera a una mayor cantidad de árboles monitoreados en un estudio.

La utilización y selección del satélite SENTINEL 2A nos generó buenos resultados en comparación del satélite LANDSAT 8 OLI, la diferencia es que el primero tiene una resolución espacial de 10 a 60 metros en el suelo, la cual permite un acercamiento del Bosque de Pallasca a un nivel sin precedentes, asimismo cuenta con alta resolución temporal, espacial y 3 bandas de borde rojo, la cual permite evaluar bien las características y calidad de la vegetación, teniendo en cuenta que esta banda es fundamental para la investigación.

Por otro lado, los resultados de los índices de vegetación, nos mostraron que los índices necesarios para realizar la evaluación son NDVI, NDRE y NDWI, ya que estos cuentan con las características principales de un ciclo de carbono, en donde la vegetación realiza el proceso de la fotosíntesis y respiración. Esta parte de la investigación se relaciona con el estudio que realizó GONZAGA, Carlos (2014), el

cual tuvo que seleccionar entre los índices de vegetación que le permitieran estimar el estado de la calidad o vigor de la vegetación para lo cual los índices utilizados fueron MSI, SAVI y NDVI.

Para el caso de las imágenes satelitales, se pudo comprobar que antes del procesamiento de obtención de los índices, se requiere realizar la eliminación de cualquier distorsión o anomalía en la imagen debido a la presencia de nubes que tenían algunas de ellas, para lo cual el procedimiento que se debe seguir es que después de descargar las imágenes, se debe realizar la corrección radiométrica y consecutivamente la corrección atmosférica.

De los resultados se dedujo que el análisis de correlación elaborado de los datos de campo y gabinete proporcionan ecuaciones de regresión aplicables en valores de reflexión, la cual son sustituibles con los índices encontrados de la misma área. Además de lo estudiado, queda sobreentendido que las ecuaciones encontradas en la presente investigación son aplicables únicamente para el tipo de especie forestal, área de estudio, características físicas del árbol y años de antigüedad de la plantación.

V. CONCLUSIONES

- En conclusión, la relación que existe entre el almacenamiento de carbono de la especie forestal Eucalipto (*Eucalyptus Globulus Lamill*) y los índices de vegetación es directamente proporcional, es decir, si se presencia una mayor valoración del índice NDRE y/o NDVI, significa que la planta se encuentra en un óptimo estado y buen desarrollo, por ende, el almacenamiento de carbono de la especie forestal será mayor

Los valores obtenidos a partir de las imágenes satelitales de la zona varían, pues dependen del índice utilizado, en el caso de NDRE (Normalized Difference Red Index), sus valores promedios se encuentran en el rango de 0.4528 a 0.6847; en cambio, el índice de NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), se encuentra enmarcado en el rango de 0.434118 a 0.6609.

- Las principales diferencias y semejanzas encontradas de los índices de vegetación de cada imagen de fecha obtenida son:

SEMEJANZAS Y DIFERENCIAS

NDRE	NDVI
Este índice está determinado por un valor que se encuentra en los rangos de -1 a +1.	Este índice está determinado por un valor que se encuentra en los rangos de -1 a +1.
Se relaciona con la clorofila presente en la planta. (Utiliza la banda 8A)	Se relaciona con el crecimiento, vigorosidad y estado de la planta. (Utiliza la Banda 8)
Se basa en la medición de la clorofila en la estructura de la vegetación.	Índice NDVI se enfoca en clasificar un determinado tipo de área en factor al tipo de suelo o vegetación existente en dicha área.
Sus valores pueden ser modificados por la presencia de estrés hídrico.	Los valores encontrados se encuentran en los rangos de 0.434118 a 0.6609; lo cual se presentan un valor menor al NDRE, debido a que este
Los valores encontrados se encuentran entre los rangos de	

<p>0.4528 a 0.6847; representa un valor mayor al NDVI, ya que estos valores están relacionados con la clorofila presente en la planta, es por ello que, mientras el árbol sea de mayor dimensión o más vigoroso, tendrá una mayor clorofila y ello representará que el valor numérico del índice sea mayor</p>	<p>índice solo se relaciona con el crecimiento de la planta.</p>
--	--

Cabe recalcar que el valor del índice, depende mucho también de la presencia de la nubosidad, fuera de haber realizado la corrección atmosférica. La presencia de nubosidad en la zona, afecta la resolución que el sensor satelital captará a través de su barrido; es por ello, que en el presente trabajo solo se enfocará en el procesamiento de las imágenes cuyo porcentaje de nubosidad sea menor a 20%, pues así se obtendrán datos significativos y/o valores con un mínimo porcentaje de error.

- Las ecuaciones y la correlación que se generaron a partir de la obtención de los resultados fueron de los índices de vegetación y el almacenamiento de carbono son:

Imagen Satelital 1 – 6/28/2018

	R ²	Ecuación
NDRE	0.8102	$y = 28896x - 15589$
NDVI	0.835	$y = 34870x - 17263$

Imagen Satelital 2 – 7/08/2017

	R²	Ecuación
NDRE	0.8216	$y = 30623x - 15017$
NDVI	0.8728	$y = 35720x - 17270$

Imagen Satelital 3 – 08/07/2018

	R²	Ecuación
NDRE	0.8348	$y = 31029x - 15166$
NDVI	0.8436	$y = 30950x - 14441$

Imagen Satelital 4 – 08/17/2017

	R²	Ecuación
NDRE	0.9626	$y = 2.3783x - 0.7567$
NDVI	0.8661	$y = 26281x - 10208$

En las 4 primeras imágenes, se presenció que el porcentaje de nubosidad es menor al 20%, lo cual hace referencia a que no hay presencia de distorsión de los valores resultantes de los índices de vegetación. Sin embargo, en las 2 últimas imágenes, se presencia que el porcentaje de nubosidad es cercano al 50%, ello significa que los valores del procesamiento de dichas imágenes satelitales se verán afectados por el factor atmosférico, provocando que la data resultante sea poco confiable y no representativa para el análisis y procesamiento de la investigación. Es por ello, que no se tomaron los datos de las 2 últimas imágenes

- Los índices de vegetación que fueron necesarios para poder evaluar la relación son:
 - NDRE: Relación existente de sus valores entre el crecimiento de la planta y la clorofila vegetal, teniendo como factor correctivo el estrés hídrico.
 - NDVI: Relación existente de sus valores entre el crecimiento de la planta y la vigorosidad existente de las mismas (clasificación de áreas).

Se utilizaron solo estos índices, ya que ellos son los únicos 2 índices que se encuentran directamente relacionados con las características físico y con la estructura interna (clorofila) de la planta en comparación a la MSI y NDWI, que hacen referencia al estado actual de la planta con respecto a su consumo y/o déficit hídrico.

- El sensor utilizado para el cálculo de los índices de vegetación fue Sentinel 2^a, debido a que el sensor presenta una mejor resolución (10 m de altura) y ello permite que al realizar el cálculo de los índices de vegetación, los valores tengan un mejor ajuste, a diferencia de Landsat que por su distancia en el barrido de imágenes (30 m), tiene una baja resolución espacial y temporal, es por ello que el valor que presentan los índices son valores no representativos; por ello que se optó por tomar las imágenes satelitales del sensor Sentinel 2A.
- El almacenamiento carbono de la especie forestal Eucalipto (*Eucalyptus Globulus Lamill*) en el bosque de Pallasca ha sido de 538399.224. Este valor, es el almacenamiento de carbono total de las 9 parcelas que hacen representación a 8 400 m², es decir, 8.4 hectáreas de plantaciones forestales de Eucalipto.
- A partir del cálculo del almacenamiento del carbono se determinó que el pago por servicio ambiental del almacenamiento de carbono de 538.3992 toneladas/ha es de 1884.3973 dólares, equivalente a 6350.419 aproximadamente, teniendo en cuenta que 1 tonelada/ha de carbono de almacenado tiene un valor de 3.5 dólares.

VI. RECOMENDACIONES

- Las investigaciones realizadas a partir de uso de la Teledetección deben ser consideradas herramientas de control y monitoreo en ecosistemas forestales, porque permiten realizar estudios y controles del estado de la vegetación durante diferentes periodos mediante un mapa de cobertura terrestre.
- La realización de modelos dinámicos en ecosistemas forestales permitirá conocer la calidad de la vegetación a lo largo del periodo de vida, además de establecer planes y programas del estado actual de la vegetación basado en metodología cuantitativa.
- La investigación realizada servirá como base para el cálculo de almacenamiento de carbono como en ecosistemas forestales, aplicable a la vez en cultivos agrícolas.
- Realizar investigaciones basados en monitoreo de carbono en especies forestales mediante metodología de campo porque ayudará en la reducción del error y grado de segmentación en el desarrollo de cálculos.
- Se recomienda utilización de la teledetección para la creación de ecuaciones y datos de referencia pertenecientes a una especie específica
- Se recomendaría utilizar imágenes con mayor resolución espacial y espectral para obtener resultados más precisos.
- Para el cálculo y monitoreo de carbono en una especie forestal se recomienda la utilizar del sensor Sentinel 2 que tienen una resolución de 10, 20 y 60 metros, el cual se caracteriza por tener mayor ancho espectral y obtención de imágenes cada 5 días.
- A partir de esta investigación se recomienda incluir la valoración económica ecológica y el pago de los servicios ambientales (bono de carbono) para contribuir con la reducción de TCO₂.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. ALMACENAMIENTO de carbono en ecosistemas terrestres para mitigar el Cambio Climático Global [en línea] por María Amésquita [et al.]. Holanda: Editorial Feriva S. A., 2005 [fecha de consulta: 01 de Junio de 2018] Disponible en:
https://books.google.com.pe/books?id=HNwOAQAAIAAJ&pg=PA20&dq=el+carbono&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjvPqU5efbAhUHvIMKHU_0CCQQ_6AEITTAH#v=onepage&q&f=false
ISBN: 9589386490
2. APOLINARIO Diego, Jaqueline y CARMEN Cárdenas, Kaory. Capacidad de Almacenamiento de Carbono en un Bosque joven y maduro de *Puya raimondii* Harms, Vilcashuaman – Ayacucho. Tesis (Grado de Bachiller). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Ciencias Forestales y del Ambiente, 2015, 105 pp.
3. ARICAK, Burak; BULUT, Alper; ALTUNEL, Arif y SAKICI, Oytun. *Estimating above-ground Carbon Biomass using Satellite Image reflection values: A case study in Camyazi Forest Directorate, Turkey* [en línea]. 2015. [fecha de consulta: 5 de mayo de 2018] Disponible en:
https://hrcak.srce.hr/index.php?show=clanak&id_clanak_jezik=215489
UDK: 630537425001
4. ATMOSPHERIC and Biological Environmental Monitoring [en línea] por Kim Young [et al]. Estados Unidos: London – New York, Editorial Springer, 2009 [fecha de consulta: 10 de junio de 2018] Disponible en:
https://books.google.com.pe/books?id=gilNz_IVOwAC&pg=PA31&dq=Sentinel+2,+sensores++pdf&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwi79_Wp9N3bAhXGuIMKHaL6CGsQ6AEIKjAA#v=onepage&q=Sentinel%20%2C%20sensores%20-%20pdf&f=false
ISBN: 9781402096730
5. AQUINO, R., VELASQUEZ, M. y CASTELLANOS, B. (2014). Partición de la biomasa aérea en tres especies arbóreas tropicales. Extraído de la página web: <http://www.colpos.mx/agrocien/Bimestral/2015/abr-may/art-6.pdf>
6. BLANCO, Juan. Aplicaciones de modelos ecológicos a la gestión de recursos naturales. España: Pamplona, 2013, pp. Disponible en:
<https://books.google.com.pe/books?id=ekGaAgAAQBAJ&pg=PA18&dq=productividad+primaria+bruta+y+neta&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjy0KTV3v7aAhWHmIkKHa1OC0YQ6AEISDAG#v=onepage&q=productividad%20primaria%20bruta%20y%20neta&f=false>
ISSN: 9788494062490

7. BOLETÍN de la OMM sobre los gases de efecto invernadero. Estado de los gases de efecto invernadero en la atmosfera según las observaciones mundiales realizadas en 2015. Recursos Internet. Ginebra: Global Atmosphere Watch. [Fecha de consulta: 4 de mayo de 2018].
Disponible en: https://library.wmo.int/pmb_ged/ghg-bulletin_12_es.pdf
ISSN: 20780818

8. BROWN; S. (1997). Estimación de Biomasa y Biomasa Cambio de los Bosques Tropicales. FAO Roma. Extraído de la página Web: <http://www.fao.org/docrep/w4095e/w4095e00.htm>

9. BROWN, S. (1997). Los bosques y el cambio climático: el papel de los terrenos forestales como sumideros de carbono. Ankara, Turquía: Congreso Forestal Mundial 107- 121 p.

10. BROWN, S. (1997). Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests: Primer. Food and Agriculture Organization. Roma (Italy). FAO Forestry Paper, 134 p.

11. BROWN, S. y LUGO, A. (1984). Biomass of Tropical Forests: A New Estimate Based on Forest Volumes. Science, New Series, 223 (4642): 1290-1293.

12. CENTRO Interamericano de Documentación e Informática Agrícola (CIDIA). Manual de Capacitación Empresarial: Financiamiento en la Empresa Asociativa. Costa Rica: San Jose, Editorial Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), 1993 [fecha de consulta: 29 de Junio de 2018]
Disponible en:
<https://books.google.com.pe/books?id=7YkgAQAAIAAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
ISSN: 10220070

13. CHE Pui, Hugo y MENTON, Mary. Contexto de REDD+ en Perú. Motores, actores e instituciones. Perfil de país que analiza las causas de la deforestación y la degradación forestal, y el contexto económico, institucional y político de REDD+ en el Perú. [en línea]. Perú: CIFOR, 2013. [fecha de consulta: 18 de mayo de 2018].
Disponible en:
http://www.minam.gob.pe/prensa/wpcontent/uploads/sites/44/2013/12/dossier_DA_prensa1.pdf
ISBN: 9786021504086

14. DANCÉ, José. Valoración económica de los servicios ecosistémicos que brindan los bosques y afines en Perú – FCCEF – USMP. Lima.

15. DE LA O Hinostroza, Sandra. Anatomía y propiedades físicas de la madera de primera y tercera corta de *Eucalyptus globulus Labill* Huanchar-

- Concepción. Tesis (Grado de Bachiller). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Ciencias Forestales y del Ambiente, 2016, 90 pp.
16. DIAZ Garcia-Cervigon, Juan. Estudios de Índices de Vegetación a partir de imágenes aéreas tomadas desde UAS/RPAS y aplicaciones de estos a la agricultura de precisión. Tesis (Magister en Tecnologías de la información geográfica). Madrid: Universidad Complutense de Madrid, 2015, 78 pp.
 17. DISEÑO Cuasi-experimentales y longitudinales. En: BONO, Roser. LEER para escribir. España: Universidad de Barcelona, 1-85 pp.
 18. EGUREN, Lorenzo. El mercado de Carbono en América Latina y el Caribe: balance y perspectivas. Santiago de Chile: Serie, 2004. 85 pp.
 19. ESCOBAR Carmona, Regina. Estimación de la biomasa forestal de la sierra San Miguelito por medio de imágenes de satélite. Tesis (Maestra en Geociencias Aplicadas). Bolivia, San Luis de Potosí: Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnología, A.C., 2016, 68 pp.
 20. EXPANSIÓN [Mensaje en un blog]. Polonia: Emisiones de CO2 (Fecha de publicación: 3 de marzo de 2016). [Fecha de consulta: 4 de mayo de 2018]. Recuperado de: <https://www.datosmacro.com/energia-y-medioambiente/emisiones-co2/peru>
 21. FAO (Las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) [en línea]. Manual de construcción de ecuaciones alométricas para estimar el volumen y la biomasa de los árboles. Roma: Estudio FAO, 2012. [Fecha de consulta: 5 de Agosto de 2018]. Disponible: <http://www.fao.org/docrep/018/i3058s/i3058s.pdf>
ISBN: 9789253073474
 22. FAO (Las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) [en línea]. Directrices sobre el cambio climático para los gestores forestales. Roma: Estudio FAO, 2013. [Fecha de consulta: 4 de mayo de 2018]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i3383s.pdf>
ISBN: 9789253078325
 23. FLETCHER, K. Sentinel – 2: ESA’s Optical High – Resolution Mission for GMES Operational Services [en línea]. Holanda: Editorial European Space Agency. 2012 [fecha de consulta: 12 de junio de 2018] Disponible en: https://sentinel.esa.int/documents/247904/349490/S2_SP-1322_2.pdf
ISBN: 9789292214197
 24. FONSECA, José. Ambisens: Cartografía del estado de la vegetación para viñedos. España: Editorial Arbotante e innovación SL Parque Científico de la Universidad de Valladolid, s.f., 20 pp.

25. FOURNIER, Luis. Recursos Naturales. Costa Rica: San José, E Editorial Universidad Estatal a Distancia (EUNED), 1983, [Fecha de consulta: 29 de Junio de 2018].
 Disponible en:
<https://books.google.com.pe/books?id=gar7lpEwuZ0C&pg=PA15&dq=que+es+la+productividad+primaria+bruta&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwixjPX4npHcAhWNslkKHfAHCVMQ6AEILTAB#v=onepage&q=que%20es%20la%20productividad%20primaria%20bruta&f=false>
ISBN: 9977640181
26. GONZAGA Aguilar, Carlos. Aplicación de Índices de Vegetación derivados de imágenes Satelitales Landsat 7 ETM+ y ASTER para la Caracterización de la Cobertura Vegetal en la Zona Centro de la Provincia de Loja, Ecuador. Tesis (Magister en Geomática). La Plata: Universidad Nacional de La Plata, 2014, 120 pp.
27. GONZALEZ Murga, Francesca. Acumulación de carbono en la biomasa aérea de la planta (*Oreopanax oroyanus*) del Bosque de Zarate – Huarochirí para los servicios ecosistémicos 2017. Tesis (Grado de Bachiller). Lima: Universidad Cesar Vallejo, 2017, 93 pp.
28. GONZÁLEZ Zarate, Mequeas. Estimación de la biomasa aérea y la captura de carbono en regeneración natural de *Pinus maximinoi* H. E. Moore, *Pinus oocarpa* var. *Ochoterenai* Mtz. Y Mtz. Y *Quercus* sp. En el norte del Estado de Chiapas, Mexico. Tesis (Grado de Magister en Manejo y Conservación de Bosques Naturales y Biodiversidad) Turrialba: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, 2008, 97 pp.
29. Grupo Intergubernamental de expertos sobre el cambio climático. CAMBIO CLIMÁTICO 2014: Informe de síntesis [en línea]. Suiza: IPCC, 2015 [fecha de consulta: 18 de mayo de 2018].
 Disponible en:
https://www.ipcc.ch/pdf/assessmentreport/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf
ISBN: 9789291693436
30. GUPTA, Ravi. Remote Sensing Geology [en línea]. 3.^a ed. Alemania: Springer, 2018 [fecha de consulta: 16 de junio de 2018].
 Disponible en:
<https://books.google.com.pe/books?id=IERADwAAQBAJ&pg=PA70&dq=que+es+el+sensor+Landsat+8+OLI/TIRS&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwid8d38rdnbAhVQnlkKHfMaBZYQ6AEIRzAD#v=onepage&q=que%20es%20el%20sensor%20Landsat%208%20OLI%20FTIRS&f=false>
ISBN: 9783662558744
31. HERNÁNDEZ, Roberto, ZAPATA, Nancy y MENDOZA, Christian. Metodología de la Investigación para bachillerato. México: INTERAMERICANA EDITORES S.A. DE C.V. 2013. 736 pp.
ISBN: 9786071508294

32. HONORIO Eurídice y BAKER Timothy. Manual para el monitoreo del ciclo del carbono en bosques amazónicos. Peru, Lima: Universidad de Leeds, 2010, 54 pp.
33. ÍNDICE de Estrés Hídrico como un indicador del momento de riego en cultivos agrícolas [en línea] por Rutilo López López [et al]. Enero – Marzo, 2009, n.º 1. [Fecha de consulta: 10 de mayo de 2018]. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/agritm/v35n1/v35n1a10.pdf>
34. INDECOPI (2004). Norma Técnica Peruana 251.011 Lima Perú. 13 p.
35. JURADO Cruz, Daniela y LOZANO García, Diego. Estimación del almacenamiento de carbono en un bosque de encinos combinado LIDAR con imágenes satelitales de alta resolución. Artículo de Investigación. Colombia: Sociedad Latinoamericana en Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial Capitulo Colombia, 2014, 23 pp.
36. LAM R. (2011). Estimación de la cantidad de carbono capturado por el fuste de (*Loxopterigium huasango sprunce*) en el bosque seco de Sullana Piura, Perú. UNALM. Lima Pag.202. (14-16)
37. LAOSUAN, Teerawong y UTTARUK, Yannawut. *Application o geoinformatics and vegetation indices to estimate above-ground carbon sequestration*. [en línea]. Vol. 26. 2016. [fecha de consulta: 8 de Mayo de 2018]. Disponible en <http://www.studiauniversitatis.ro/pdf/26-2016/26-4-2016/8-SUVG26-%20TL-%20449-454.pdf>
38. LAURENTINO, S. Aplicaciones de la teledetección en el análisis de daños en masas de coníferas en la provincia de Burgos – España. Tesis (Máster en Investigación en Ingeniería para la Conservación y Uso Sostenible de Sistemas Forestales). España: Universidad de Valladolid, Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias Instituto Universitario de Investigación Gestión Forestal Sostenible. 2014, 49 pp. Disponible en: <https://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/6649/1/TFM-L187.pdf>
39. LOPEZ Bautista, Amado. Biomass/carbon estimation and mapping in the subtropical forest of Chitwan, Nepal: A comparison between VHR GeoEye satellite images and airborne LiDAR data. Tesis (Master of Science in Geoinformation Science and Earth Observation). 2012, 68 pp.
40. NAMAKFOROOSH, Mohammad. Metodología de la Investigación. 2ª ed. México: Limusa, 2007. 525 pp.
ISBN: 9789681855178
41. MANUAL sobre el Protocolo de Kioto: ¿Cómo puede contribuir la sociedad civil a su cumplimiento? [en línea] por Tapia Raúl [et al]. España: Editorial IBERDROLA, 2005 [fecha de consulta: 26 de Marzo de 2018]

Disponible en: https://fundaciontormeseb.org/images/stories/documentos/materiales_editados/protocolo_kioto.pdf

ISBN: 8468926450

42. MARTÍNEZ Barrón, Rene MINISTERIO del Ambiente. Manual de valoración económica del patrimonio cultural. Perú. Lima, Octubre 2015.
43. MCFEETERS, Stuart. Using the Normalized Difference Water Index (NDWI) within a Geographic Information System to Detect Swimming Pools for Mosquito Abatement: A Practical Approach [en línea]. United States: Remote Sensing, 2013 [Fecha de consulta: 14 de junio de 2018] Disponible en: <file:///C:/Users/JOSE/Downloads/remotesensing-503544.pdf>
ISSN: 20724292
44. MINISTERIO del Ambiente. Guía de valoración económica del patrimonio natural. 2ª ed. Perú. Lima, mayo 2016.
45. MINISTERIO del Ambiente. Guía de inventario de la flora y vegetación. Perú. Lima, mayo 2015.
46. MINISTERIO del Ambiente. Hacia una estrategia nacional sobre bosques y cambio climático. [et al.]. Servicio Forestal y de Fauna Silvestre, Lima, mayo 2015.
47. MINISTERIO del Ambiente. Estimación de los contenidos de carbono de la biomasa aérea en los bosques de Perú. Lima, mayo 2014.
48. Modelación de la dinámica del carbono en bosques del estado de Durango. Tesis (Maestría en Ciencias Forestales). Linares, N.L., México. Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales, 2014, 56 pp.
49. MONGE, Julián; GÓMEZ, Patricia y RIVAS. Marta. Biología General. Costa Rica: San José, Editorial Universidad Estatal a Distancia (EUNED), 2002, [Fecha de consulta: 29 de Junio de 2018] Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=x7Pjp233nJ0C&pg=PA420&dq=que+es+la+productividad+primaria+bruta&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwixjPX4npHcAhWNslkKHfAHCVMQ6AEIMzAC#v=onepage&q=que%20es%20la%20productividad%20primaria%20bruta&f=false>
ISBN: 9968311898
50. MORALES, Ángel y TULLUME, Milton. Gestión de almacenamiento de carbono en la conservación de bosques secundarios del Perú. Perú: Talleres Gráficos, 2015. 188 pp.
ISBN: 201518384
51. MUÑOZ, Pedro. Apuntes de Teledetección: Índices de vegetación [en línea]. Abril 2013. [Fecha de consulta: 5 de mayo de 2018].

Disponible en:

<http://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/123456789/26389/Tema%20Indices%20de%20vegetaci%C3%B3n%2C%20Pedro%20Mu%C3%B1oz%20A.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- 52.** USING water indices (NDWI, MNDWI, NDMI, WRI AND AWEI) to detect physical and chemical parameters by apply remote sensing and Gis techniques por Mustafa T. Mustafa [et al]. Science [en línea]. Octubre 2017. Vol. 5. [fecha de consulta: 13 de junio de 2018]
Disponible en: http://granthaalayah.com/Articles/Vol5Iss10/16_IJRG17_A10_721.pdf
ISSN: 23500530(O)
- 53.** OCDE [en línea]. ¿Cómo va la vida? 2015. Medición del bienestar. Paris: OECD Publishing, 2015. [Fecha de consulta: 4 de mayo de 2018].
Disponible en: https://www.oecd-ilibrary.org/economics/como-va-la-vida-2015_9789264240735-es
ISBN: 97864249735
- 54.** OCHOA Montano, María y SALINAS Anaya, Dayana. Caracterización morfológica y molecular de seis especies del genero *Eucalyptus*. Tesis (Optar al título de Ingeniero Forestal y Ambiental). Huancayo: Universidad Nacional del Centro el Perú, Facultad de Ciencias Forestales y del Ambiente, 2009, 136 pp.
- 55.** ORELLANA Díaz, Omar. Estimación del carbono almacenado en la zona núcleo del Parque Nacional Montaña de Celaque (PNMC) Honduras, utilizando la Teledetección y Sistemas de Información Geográfica. Tesis (Optar al título de Ingeniero Forestal). Siguatepeque: Escuela Nacional de Ciencias Forestales, Departamento de docencia, 2012, 107 pp.
- 56.** ORTIZ Guerrero, Angela y RIASCOS Chalapud. Almacenamiento y fijación de carbono del sistema agroforestal CACAO Theobroma cacao y LAUREL Cordia alliodora (Ruiz & Pavon) Oken En la Reserva Indígena de Talamanca, Costa Rica. Tesis (Ingeniero Agroforestal). San Juan de Pasto: Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, 2012, 111 pp.
- 57.** PARETA, Kuldeep y PARETA, Upasana. Forest Carbon Management using satellite remote sensing techniques a case study of SAGAR DISTRICT (M.P) [en línea]. Artículo de Investigación. New Delhi: E-International Scientific Research Journal, 2011, 14 pp.
Disponible en: <https://s3.amazonaws.com/DForestCarbonManagementusingSatellite.pdf>
ISSN: 20941749
- 58.** PEARSON, T; WALTER, S. y BROWN, S. (2005). Sourcebook for Land use, land-use change and forestry projects. Biocarbon Fund. Winrock International.

59. PEREZ, Carlos y MUÑOZ, Ángel. Teledetección: Nociones y Aplicaciones [en línea]. Salamanca: Universidad de Salamanca, 2006. 378 pp. [Fecha de consulta: 5 de mayo de 2018].
 Disponible en:
<https://mundocartogeo.files.wordpress.com/2015/03/teledeteccionnociones-aplicaciones-2006publico.pdf>
ISBN: 9788461116133
60. PITELKA, L. y RAMIREZ, A. The Carbon Cycle and Atmospheric Carbon Dioxide: [Fecha de consulta: 29 de Junio de 2018]
 Disponible en: <https://www.ipcc.ch/ipccreports/tar/wg1/pdf/TAR-03.PDF>
61. PROTOCOLO de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Estados Unidos: Editorial Naciones Unidas, 1998 [Fecha de consulta: 26 de Marzo de 2018]
 Disponible en: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>
62. QUISPE Santos, Armado. Eucaliptos brasileños de alta productividad en el Perú [en línea]. Lima, Perú: Arborizaciones E.I.R.L, 2012 [fecha de consulta: 18 de agosto del 2018]. Capitulo S/N. Plantaciones Forestales.
 Disponible en:
[arborizaciones.com/.../EUCALIPTOS%20%20BRASILENOS%20%20DE%20ALTA%](http://arborizaciones.com/.../EUCALIPTOS%20%20BRASILENOS%20%20DE%20ALTA%20)
63. RAMIREZ, Carlos y KLEINN, Christoph. Inventario Forestal Global – GFS – Estudio Piloto en Costa Rica. Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, 2001, 34 pp.
64. RAINFOR. Manual de campo para la remediación y establecimiento de parcelas [en línea]. Australia: Natural Environment Research Council, 2009 [Fecha de consulta: 16 de Agosto de 2018]
 Disponible en:
<http://www.rainfor.org/upload/ManualsSpanish/RAINFOR%20manual%20de%20campo%20version%20Junio%202009%20ESP.pdf>
65. RIOFRIO, et al (2015). Ajuste de modelos alométricos para biomasa *Acacia melanoxylum* L. bajo sistema agroforestal en la sierra Ecuatoriana. Extraído de la página web: <http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/14.-Ajustes-de-Modelos.pdf>
66. ROJAS, Jacinto. INEI: Población de Pallasca aumento ligeramente en los últimos 15 años. Distrito de Pampas con 8 502 habitantes, es el más poblado de la provincia de Pallasca, 5 de enero del 2016.
 Disponible en: <https://www.bolognesinoticias.com/2016/01/inei-poblacion-pallasca-aumento-ligeramente-los-ultimos-15-anos/>
67. RUGNTZ, Marcos; CHACON M. y PORRO, R. (2009). Guía para la determinación de Carbono en Pequeñas Propiedades Rurales. 1a. Ed. Centro Mundial Agroforestal (ICRAF) / Consorcio Iniciativa Amazónica (IA). Lima (Perú).

- 68.** SANCHEZ Ocaña, Aida. Estimación del carbono orgánico sobre el suelo, a partir de imágenes satelitales LANDSAT 7 ETM+, en el bosque de Ceja Andina de la comunidad Indígena Huangras – Achupallas – Chimborazo. Tesis (Titulación en Ingeniería Forestal). Riobamba, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Escuela de Ingeniería Forestal, 2016, 73 pp.
- 69.** Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR). Marco metodológico del inventario nacional forestal y de fauna silvestre. Lima, Perú: Dirección General de Información y Ordenamiento Forestal y de Fauna Silvestre, 2016. 61 pp.
- 70.** Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR). Estado situacional de los viveros en los departamentos de Ancash, Junín, Huancayo y Ucayali. La Molina, Perú: Dirección General de Política y Competitividad Forestal y de Fauna Silvestre, 2016. 107 pp.
- 71.** SHENDRYK, Lurii. Integration of LIDAR data and satellite imagery for biomass estimation in conifer-dominated forest. Tesis (Master degree thesis in Physical Geography and Ecosystem Analysis). Sweden: Department of Physical Geography and Ecosystems Science. 2013, 64 pp.
- 72.** SYNNOTT T. J. (1990). Manual de Procedimientos de parcelas permanentes para el Bosque Húmedo Tropical. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Departamento de Ingeniería Forestal. Traducción: Juvenal Valerio y Gabriel Vargas. Cartago (Costa Rica), 103 p.
- 73.** SOBRINO, José. Teledetección. España: Universidad de Valencia, 2000, 469 pp. [Fecha de consulta: 10 de mayo de 2018].
 Disponible en:
<https://books.google.com.pe/books?id=Yb6xllldfoT0C&pg=PA20&dq=evolucion+de+la+teledeteccion&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwj31urbiojbAhUptlkKHVqiAIEQ6AEIJzAA#v=onepage&q=evolucion%20de%20la%20teledeteccion&f=false>
ISBN: 843704428
- 74.** Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos Naturales (UICN) [Mensaje en un blog]. Francia. UICN (14 de enero de 2018). [Fecha de consulta: 23 de mayo de 2018].
 Disponible en: <https://www.iucn.org/es/news/secretariat/201806/segan-informe-de-la-uicn-decir-no-al-aceite-de-palma-podria-desplazar-en-vez-de-detener-la-perdida-de-biodiversidad>
- 75.** VALORACION económica de bienes ambientales por Sergio Orrego [et al.]. Medellín: Editorial Universidad Nacional de Colombia, 1997.
- 76.** VALVERDE Quiroz, Jean. Determinación de la ecuación de biomasa aérea de Eucalyptus globulus de plantaciones en cercos vivos, Distrito de Huertas,

- Junin. Tesis (Titulación Ingeniería Forestal). Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina, 2017.
- 77.** VASQUEZ A. y ARELLANO H. (2012). Estructura, biomasa aérea y carbono almacenado en los bosques del sur y noroccidente de Córdoba. Extraído de la página Web: <http://arxiv.org/abs/1208.0248>
- 78.** VILCA Noriega, Nora. Almacenamiento de CO₂ en biomasa aérea de las familias Arecaceae y Bombacaceae de un ecosistema aguajal en Posic, San Martín – 2017. Tesis (Titulación Ingeniería Ambiental). Lima: Universidad Cesar Vallejo, 2017.
- 79.** VILLAREAL, H., ALVAREZ, M, CORDOVA, S; ESCOBAR, F; FAGUA, G.; GAST, F; MENDOZA, H; OSPINA, M y UMAÑA, A. (2004). Manual de Métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Programa de Inventarios de Biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá D. C. (Colombia), 236 p.
- 80.** TULLUME Chavesta, Milton. Influencia de la gestión de almacenamiento de carbono en la conservación del Bosque Secundario Aéreo de la Microcuenca Quilla-San Alberto, Oxapampa. periodo 2013 – 2014. Tesis (Maestría en Gestión Ambiental). Lima: Universidad Nacional Federico Villareal, 2013.
- 81.** ZAPATA, M., G.J. Colorado & J.I. del Valle. (2003). Ecuaciones de biomasa aérea para bosques primarios intervenidos y secundarios. En: S.A. Orrego, J.I. del Valle & F.H. Moreno. Medición de la captura de carbono en ecosistemas forestales tropicales de Colombia, contribuciones para la mitigación del cambio climático. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 314 pp.

ANEXOS

Anexo 1



Fuente: Elaboración propia

Anexo 2

FICHA DE OBSERVACIÓN		
I. DATOS PERSONALES		
APELLIDOS Y NOMBRES	ARAUJO ESTRADA, Ingrid Lucero DÍAZ ABAL, José Luis Emanuel	
CICLO	IX	
ESCUELA	INGENIERÍA AMBIENTAL	
E-MAIL	luceroaraujo.09@gmail.com – jose17.luda@gmail.com	
II. DATOS GENERALES NOMBRES		
OBJETIVO	Evaluar la relación que existe entre el almacenamiento de carbono de la especie forestal Eucalipto (<i>Eucalyptus globulus Lamill</i>) y los índices de vegetación obtenidos a partir del uso de las imágenes satelitales en el Bosque de Pallasca – Ancash en el año 2018.	
AREA DE ESTUDIO	Bosque Pallasca – Ancash.	
UBICACIÓN	Provincia de Pallasca, Departamento de Áncash.	
PERIODO DE ANÁLISIS	Imágenes satelitales de los años: 2018	
II. DATOS DE IMAGEN SATELITAL		
PROVEEDOR O FUENTE DE ADQUISICIÓN		
ANCHO DE BARRIDO DE LA ESCENA		
RESOLUCIÓN ESPACIAL		
FECHAS DE IMAGEN		
RESOLUCIÓN TEMPORAL		
SATELITE Y SENSOR	LANDSAT 8 OLI/ TIR - SENTINEL 2 MSI	
COORDENADAS GEOGRÁFICAS	LATITUD	X
	LONGITUD	Y
ORBITA		
PROYECCIÓN	UTM, ZONA 17 S – 18 S	
ZONA	WRS2 (WORLD REFERENCE SOUTH AMERICA)	

Anexo 3

FICHAS DE RECOLECCION DE DATOS EN CAMPO				
INVENTARIO DE INDIVIDUOS PRINCIPALES CON DAP \geq 1.3 cm PRESENTE EN EL BOSQUE HOMOGENEEO DE "EUCALYPTUS GLOBULUS LAMILL"				
Parcela:		Equipo:		GPS A:
Fecha:		Araujo Estrada, Ingrit Lucero Díaz Abal, José Luis Emanuel		GPS B:
Hora de Inicio:		Medida de parcela		GPS C:
Hora fin:		Ecosistema tipo		GPS D:
#	Especie	Etiqueta	DAP (cm)	Altura (m)
1	"Eucalyptus globulus Lamill"			
2	"Eucalyptus globulus Lamill"			
3	"Eucalyptus globulus Lamill"			
4	"Eucalyptus globulus Lamill"			
5	"Eucalyptus globulus Lamill"			
6	"Eucalyptus globulus Lamill"			
7	"Eucalyptus globulus Lamill"			
8	"Eucalyptus globulus Lamill"			
9	"Eucalyptus globulus Lamill"			
10	"Eucalyptus globulus Lamill"			
11	"Eucalyptus globulus Lamill"			
12	"Eucalyptus globulus Lamill"			
13	"Eucalyptus globulus Lamill"			
14	"Eucalyptus globulus Lamill"			
15	"Eucalyptus globulus Lamill"			
16	"Eucalyptus globulus Lamill"			
17	"Eucalyptus globulus Lamill"			
18	"Eucalyptus globulus Lamill"			
19	"Eucalyptus globulus Lamill"			
20	"Eucalyptus globulus Lamill"			

Anexo 4

FICHA DE COORDENADAS DE UBICACIONES DE LAS PARCELAS DE ESTUDIO							
ECOSISTEMA HOMOGENEO DE EUCALIPTO– BOSQUE DE PALLASCA							
PARCELAS (20 X 20)m ²	VERTICES	COORDENADAS UTM		PARCELAS (20 X 20)m ²	VERTICES	COORDENADAS UTM	
		ESTE (m)	NORTE (m)			ESTE (m)	NORTE (m)
1	1			2	1		
	2				2		
	3				3		
	4				4		
	5				5		
	6				6		
	7				7		
	8				8		
	9				9		
	10				10		
	11				11		
	12				12		
	13				13		
	14				14		
	15				15		
	16				16		
	17				17		
	18				18		
	19				19		
	20				20		

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 5

IMAGEN LANDSAT – OLI / TIRS – AÑO 2018			
	INDICADOR	PRODUCTO	
BIOMASA	LUGAR		
	AREA		
	COORDENADAS (UTM)		
	NOMBRE DE LA IMAGEN	ML1	
	FECHA DE LA IMAGEN		
	PERIMETRO		
	TEMPERATURA (°C)		
	ALTITUD (msnm)		
	INDICES DE VEGETACION	NDVI	
		MSI	
		MDWI	
BIOMASA AEREA			
OBSERVACIONES:			

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 6

IMAGEN SENTINEL 2A – MSI – AÑO 2018			
	INDICADOR	PRODUCTO	
BIOMASA	LUGAR		
	AREA		
	COORDENADAS (UTM)		
	NOMBRE DE LA IMAGEN	MS1	
	FECHA DE LA IMAGEN		
	PERIMETRO		
	ALTITUD (msnm)		
	INDICES DE VEGETACION	NDVI	
		NDRE	
		MSI	
MDWI			
BIOMASA AEREA			
OBSERVACIONES:			

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 7

FICHA DE MEDICION DE LA BIOMASA DE CARBONO											
TIPO DE ECOSISTEMA: BOSQUE HOMOGENEEO DE EUCALIPTO "EUCALYPTUS GLOBULUS LAMILL"											
# Individuos	Familia	Nombre Científico	DAP (cm)	AB (m ²)	Altura total (m)	Volumen (m ³)	Densidad (Mg/m ³)	Biomasa Vol*1.18*Dmadera (Mg/ha)	Cantidad de carbono C = BA*0.5	CO ₂ CO ₂ = MgC*3.67	PSA =MgCO ₂ /ha*0,5
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 8: Fichas de Validación



INFORME DE OPINIÓN EN RELACIÓN A LA VALIDEZ DEL INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN

I. DATOS GENERALES:

- 1.1. Apellidos y nombres del informante. Dr. (Mg.) Sernagiotto Averchua,
Fernando Antonio
- 1.2. Cargo e Institución donde labora: UCV
- 1.3. Especialidad del experto: Ing Ambiental

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN E INFORME:

INDICADORES	CRITERIOS	Deficiente 0-20%	Regular 21-40%	Buena 41-60%	Muy buena 61-80%	Excelente 81-100%
CLARIDAD	Esta formulado con el lenguaje apropiado.					90%
OBJETIVIDAD	Esta expresado de manera coherente y lógica.					95%
PERTINENCIA	Responde a las necesidades internas y externas de la investigación.					90%
ACTUALIDAD	Esta adecuado para valorar aspectos y estrategias de actualidad.					95%
ORGANIZACIÓN	Comprende los aspectos en calidad y claridad.					95%
SUFICIENCIA	Tiene coherencia entre indicadores y las dimensiones.					95%
INTENCIONALIDAD	Estima las estrategias que responda al propósito de la investigación.					90%
CONSISTENCIA	Considera que los ítems utilizados en este instrumento son todos y cada uno propios del campo que se está investigando.					95%
COHERENCIA	Considera la estructura del presente instrumento adecuado al tipo de usuario a quienes se dirige el instrumento.					95%
METODOLOGÍA	Considera que los ítems miden lo que pretende medir.					95%

III. OPINIÓN DE APLICACIÓN:

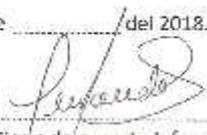
¿Qué aspectos tendría que modificar, incrementar o suprimir en los instrumentos de investigación?

.....

.....

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

San Juan de Lurigancho, de del 2018.


Firma de experto Informante

DNI: 07268863

93.5%

INFORME DE OPINIÓN EN RELACIÓN A LA VALIDEZ DEL INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN
I. DATOS GENERALES:

- 1.1. Apellidos y nombres del informante: Dr./Mg.: Vicente Gonzalo Rojas
- 1.2. Cargo e Institución donde labora: Dr. Dirección de Investigación
- 1.3. Especialidad del experto: Eda. Biología

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN E INFORME:

INDICADORES	CRITERIOS	Deficiente 0-20%	Regular 21-40%	Buena 41-60%	Muy buena 61-80%	Excelente 81-100%
CLARIDAD	Esta formulado con el lenguaje apropiado.					90
OBJETIVIDAD	Esta expresado de manera coherente y lógica.					70
PERTINENCIA	Responde a las necesidades internas y externas de la investigación.					90
ACTUALIDAD	Esta adecuado para valorar aspectos y estrategias de actualidad.					80
ORGANIZACIÓN	Comprende los aspectos en calidad y claridad.					90
SUFICIENCIA	Tiene coherencia entre indicadores y las dimensiones.					90
INTENCIONALIDAD	Estima las estrategias que responda al propósito de la Investigación.					70
CONSISTENCIA	Considera que los ítems utilizados en este instrumento son todos y cada uno propios del campo que se está investigando.					90
COHERENCIA	Considera la estructura del presente instrumento adecuado al tipo de usuario a quienes se dirige el instrumento.					90
METODOLOGÍA	Considera que los ítems miden lo que pretende medir.					90

III. OPINIÓN DE APLICACIÓN:

¿Qué aspectos tendría que modificar, incrementar o suprimir en los instrumentos de investigación?

.....

.....

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

San Juan de Lurigancho, 25 de Julio del 2018.



Firma de experto Informante
 DNI: 50000

90

INFORME DE OPINIÓN EN RELACIÓN A LA VALIDEZ DEL INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN

I. DATOS GENERALES:

1.1. Apellidos y nombres del informante: Dr./Mg.: Alexander Soto Alote
 1.2. Cargo e Institución donde labora: U.C.V. - Lima - EST
 1.3. Especialidad del experto: Exp. Ciencias

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN E INFORME:

INDICADORES	CRITERIOS	Deficiente 0-20%	Regular 21-40%	Buena 41-60%	Muy buena 61-80%	Excelente 81-100%
CLARIDAD	Esta formulado con el lenguaje apropiado.					81
OBJETIVIDAD	Esta expresado de manera coherente y lógica.					81
PERTINENCIA	Responde a las necesidades internas y externas de la investigación.					81
ACTUALIDAD	Esta adecuado para valorar aspectos y estrategias de actualidad.					81
ORGANIZACIÓN	Comprende los aspectos en calidad y claridad.					81
SUFICIENCIA	Tiene coherencia entre indicadores y las dimensiones.					81
INTENCIONALIDAD	Estima las estrategias que responda al propósito de la investigación.					81
CONSISTENCIA	Considera que los ítems utilizados en este instrumento son todos y cada uno propios del campo que se está investigando.					81
COHERENCIA	Considera la estructura del presente instrumento adecuado al tipo de usuario a quienes se dirige el instrumento.					81
METODOLOGÍA	Considera que los ítems miden lo que pretende medir.					81

III. OPINIÓN DE APLICACIÓN:

¿Qué aspectos tendría que modificar, incrementar o suprimir en los instrumentos de investigación?
Ninguno

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

San Juan de Lurigancho, 6 de 6 del 2018.


 Firma de experto Informante
 DNI: 07106495

81%

INFORME DE OPINIÓN EN RELACIÓN A LA VALIDEZ DEL INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN

I. DATOS GENERALES:

- 1.1. Apellidos y nombres del informante, Dr./Mg.: TULLUME CHAVESTA MILTON CESAR
- 1.2. Cargo e Institución donde labora: MINISTERIO PÚBLICO
- 1.3. Especialidad del experto: ING. FORESTAL

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN E INFORME:

INDICADORES	CRITERIOS	Deficiente 0-20%	Regular 21-40%	Buena 41-60%	Muy buena 61-80%	Excelente 81-100%
CLARIDAD	Esta formulado con el lenguaje apropiado.					95
OBJETIVIDAD	Esta expresado de manera coherente y lógica.					95
PERTINENCIA	Responde a las necesidades internas y externas de la investigación.					95
ACTUALIDAD	Esta adecuado para valorar aspectos y estrategias de actualidad.					95
ORGANIZACIÓN	Comprende los aspectos en calidad y claridad.					95
SUFICIENCIA	Tiene coherencia entre indicadores y las dimensiones.					95
INTENCIONALIDAD	Estima las estrategias que responda al propósito de la investigación.					95
CONSISTENCIA	Considera que los ítems utilizados en este instrumento son todos y cada uno propios del campo que se está investigando.					95
COHERENCIA	Considera la estructura del presente instrumento adecuado al tipo de usuario a quienes se dirige el instrumento.					95
METODOLOGÍA	Considera que los ítems miden lo que pretende medir.					95

III. OPINIÓN DE APLICACIÓN:

¿Qué aspectos tendría que modificar, incrementar o suprimir en los instrumentos de investigación?

.....

.....

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

San Juan de Lurigancho, 06 de JULIO del 2018.



 Firma de experto Informante
 DNI: 27482586

95

INFORME DE OPINIÓN EN RELACIÓN A LA VALIDEZ DEL INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN

I. DATOS GENERALES:

1.1. Apellidos y nombres del informante: Dr./Mg.: Mg. Fg. Marco O. Sacolas
Alvarado

1.2. Cargo e Institución donde labora: Docente - Universidad

1.3. Especialidad del experto: Triguero

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN E INFORME:

INDICADORES	CRITERIOS	Deficiente 0-20%	Regular 21-40%	Bueno 41-60%	Muy bueno 61-80%	Excelente 81-100%
CLARIDAD	Esta formulado con el lenguaje apropiado.					95%
OBJETIVIDAD	Esta expresado de manera coherente y lógica.					95%
PERTINENCIA	Responde a las necesidades internas y externas de la investigación.					95%
ACTUALIDAD	Esta adecuado para valorar aspectos y estrategias de actualidad.					95%
ORGANIZACIÓN	Comprende los aspectos en calidad y claridad.					95%
SUFICIENCIA	Tiene coherencia entre indicadores y las dimensiones.					95%
INTENCIONALIDAD	Estima las estrategias que responda al propósito de la investigación.					95%
CONSISTENCIA	Considera que los ítems utilizados en este instrumento son todos y cada uno propios del campo que se está investigando.					95%
COHERENCIA	Considera la estructura del presente instrumento adecuado al tipo de usuario a quienes se dirige el instrumento.					95%
METODOLOGÍA	Considera que los ítems miden lo que pretende medir.					95%

III. OPINIÓN DE APLICACIÓN:

¿Qué aspectos tendría que modificar, incrementar o suprimir en los instrumentos de investigación?

.....

.....

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

San Juan de Lurigancho, 04 de Julio del 2018.


 Firma de experto Informante
 DNI: 60789150

95%

Anexo 9

MATRIZ DE CONSISTENCIA					
FORMULACION DEL PROBLEMA	OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION	HIPOTESIS DE LA INVESTIGACION	JUSTIFICACION	VARIABLES	METODOLOGIA
<p>Problema General ¿Cuál es la relación que existe entre el almacenamiento de carbono de la especie forestal Eucalipto (<i>Eucalyptus globulus Lamill</i>) y los índices de vegetación obtenidos a partir del uso de las imágenes satelitales en el Bosque de Pallasca – Ancash en el año 2018?</p> <p>Problemas Específicos</p> <p>☐ ¿Cuáles son las principales semejanzas y diferencias encontradas entre el almacenamiento de carbono y los índices de vegetación presentes en el Bosque de Pallasca de la especie forestal “<i>Eucalyptus globulus Lamill</i>”, a partir del uso de las imágenes satelitales obtenidas de los sensores Landsat y Sentinel 2A y datos obtenidos en campo?</p> <p>☐ ¿Cuáles son las ecuaciones que se generan a partir de los resultados encontrados del almacenamiento de carbono de la especie forestal “<i>Eucalyptus globulus Lamill</i>” y los índices de vegetación de las imágenes satelitales?</p> <p>☐ ¿Cuántos de los índices de vegetación hallados son necesarios para encontrar relación entre el almacenamiento de carbono de la especie forestal “<i>Eucalyptus globulus Lamill</i>” y los índices de vegetación obtenidas a partir de las imágenes satelitales?</p> <p>☐ ¿Cuánto es el pago por servicio ambiental del almacenamiento de carbono de la especie forestal “<i>Eucalyptus globulus Lamill</i>” a partir de los resultados encontrados en campo?</p> <p>☐ ¿Cuál de los dos sensores Landsat y Sentinel 2A utilizados es el mejor en la obtención de resultados?</p> <p>☐ ¿Cuántas toneladas por hectárea de carbono fotosintético ha sido almacenado por el Bosque de Pallasca?</p>	<p>Objetivo General Evaluar la relación que existe entre el almacenamiento de carbono de la especie forestal Eucalipto (<i>Eucalyptus globulus Lamill</i>) y los índices de vegetación obtenidos a partir del uso de las imágenes satelitales en el Bosque de Pallasca – Ancash en el año 2018.</p> <p>Objetivos Específicos</p> <p>☐ Determinar las principales semejanzas y diferencias encontradas entre el almacenamiento de carbono y los índices de vegetación presentes en el Bosque de Pallasca de la especie forestal “<i>Eucalyptus globulus Lamill</i>”, a partir del uso de las imágenes satelitales obtenidas de los sensores Landsat y Sentinel 2A y datos obtenidos en campo.</p> <p>☐ Conocer las ecuaciones que se generan a partir de los resultados encontrados del almacenamiento de carbono de la especie forestal “<i>Eucalyptus globulus Lamill</i>” y los índices de vegetación de las imágenes satelitales.</p> <p>☐ Enumerar los principales índices de vegetación que son necesarios para encontrar relación entre el carbono fotosintético almacenado de la especie forestal “<i>Eucalyptus globulus Lamill</i>” y los índices de vegetación.</p> <p>☐ Determinar el pago por servicio ambiental del almacenamiento de carbono de la especie forestal “<i>Eucalyptus globulus Lamill</i>” a partir de los resultados encontrados en campo.</p> <p>☐ Mencionar cuál de los sensores Landsat y Sentinel 2A utilizados es el mejor en la obtención de resultados.</p> <p>☐ Cuantificar las toneladas por hectárea de almacenamiento de carbono que han sido almacenado por el Bosque de Pallasca.</p>	<p>Hipótesis General El almacenamiento de carbono (biomasa aérea) de la especie forestal “<i>Eucalyptus globulus Lamill</i>” se relaciona de <i>manera directamente proporcional</i> con los índices de vegetación.</p> <p>Hipótesis alternativa El almacenamiento de carbono (biomasa aérea) de la especie forestal “<i>Eucalyptus globulus Lamill</i>” se relaciona de <i>manera inversamente proporcional</i> con los índices de vegetación.</p>	<p>El bosque de Pallasca, ubicado en la provincia de Pallasca y departamento de Ancash, es un área natural que se encuentra caracterizado por presentar plantaciones de bosques homogéneos, grandes dimensiones de parcelas de las especies forestales de Eucalipto y Pino, la cuales actualmente vienen siendo deforestadas de forma indiscriminada, a razón del desconocimiento y falta de gestión de las autoridades competentes; de tal motivo la presente investigación busca evaluar la relación entre el almacenamiento de carbono y los índices de vegetación, mediante el uso de la teledetección y en factor de modelos alométricos. Cabe recalcar lo mencionado por Orellana (2012, p. 56), en la actualidad existen modelos alométricos que pueden ser utilizados para la medición de la biomasa de especies forestales; sin embargo, existe la necesidad de plantear y estructurar nuevas ecuaciones alométricas en donde se relacionen diferentes variables para poder estimar sencillamente el carbono fotosintético y así no tener que emplear las mismas fórmulas para la estimación de la biomasa de una misma especie arbórea.</p>	<p>Variable 1: Almacenamiento de carbono</p> <p>IPPC (2001, citado por Gonzales, 2008) define al almacenamiento de carbono como la masa total en un volumen determinado, incluyendo cada organismo vivo o muerto, encima o debajo del suelo (p. 7).</p> <p>Variable 2: Índices de Vegetación</p> <p>Al hablar de índices nos referirnos a un conjunto de operaciones algebraicas efectuadas sobre los valores numéricos de los píxeles, usando dos o más bandas pertenecientes a la misma escena (Muñoz, 2013, p. 2).</p>	<p>Nivel de estudio es Descriptivo – Correlacional y el tipo de Investigación es no Experimental y Transversal</p> <p>Población forestal El área de estudio seleccionada se encuentra ubicada en la Departamento de Ancash, Provincia y Distrito de Pallasca entre las coordenadas 8°15'00"S y 78°01'01'O, el punto exacto de estudio es el Bosque Pallasca que cuenta con alrededor de 600 hectáreas pertenecientes a la especie de Eucalipto, llamado también bosque homogéneo mixto por la presencia de Pino.</p> <p>Muestra Para el caso del presente trabajo de investigación se utilizó el <i>muestreo por conglomerado</i>, el cual consistirá dividir el área de estudio en parcelas proporcionalmente iguales, después realizaremos el <i>muestreo aleatorio simple</i>, el cual consiste en seleccionar las parcelas en forma aleatoria. Según</p> <p>Técnica de muestreo Utilizaremos la observación o exploración visual, los cuales serán los instrumentos más importantes para el desarrollo del proyecto de investigación.</p> <p>Instrumento de muestreo Los instrumentos a utilizar serán: Las fichas que serán los instrumentos de evaluación para este trabajo de investigación son: Observación, Recolección, Coordenadas, Imagen LANDSAR – OLI y SENTINEL 2A-MSI y Medición de carbono.</p>

Anexo 10

Fotografía de medición de diámetro a la altura de pecho



Fuente: Elaboración propia

FOTOGRAFIA N° 2:



Fuente: Elaboración propia

Fotografías de la medición del diámetro a la altura del pecho



Fuente: Elaboración propia

Plantación Forestal (Área de Estudio)



Fuente: Elaboración propia

Determinación de parcelas



Fuente: Elaboración propia

Determinación de las alturas del árbol.



Fuente: Elaboración propia

Yo, **Marco Antonio Herrera Díaz** docente de la Facultad Ingeniería y Escuela Profesional Ingeniería Ambiental de la Universidad César Vallejo Lima Este (precisar filial o sede), revisor (a) de la tesis titulada

" *Evaluación del almacenamiento de carbono de la especie forestal "Eucalyptus globulus Lamill" y su relación con los índices de vegetación en el bosque de Pallasca-Ancash, 2018*

.....", del (de la) estudiante *José Luis Emanuel Díaz Abal*, constato que la investigación tiene un índice de similitud de *13*...% verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin.

El/la suscrito (a) analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

Lugar y fecha *San Juan de Lurigancho, 10 de diciembre*
del 2018.



Mg. Marco Antonio Herrera Díaz

DNI: 44553815

Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Representante de la Dirección / Vicerrectorado de Investigación y Calidad	Aprobó	Rectorado
---------	----------------------------	--------	---	--------	-----------



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“Evaluación del almacenamiento de carbono de la especie forestal
“*Eucalyptus Globulus Lamill*” y su relación con los índices de vegetación en
el bosque de Pallasca - Ancash, 2018”

TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Ambiental

AUTOR:

Araujo Estrada, Ingrit Lucero

Díaz Abal, José Luis Emanuel


Mg. Marco Herrera Díaz

10/12/18


Resumen de coincidencias

13 %

1	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de internet	2 %
2	display.es Fuente de internet	1 %
3	orton.catio.ac.cr Fuente de internet	1 %
4	sedes.unip.edu.ar Fuente de internet	1 %
5	Entregado a Universidad... Trabajo del estudiante	1 %
6	repositorio.lamolina.edu... Fuente de internet	<1 %
7	fundacion-biodiversida... Fuente de internet	<1 %
8	lomasul.usaldas.edu.co Fuente de internet	<1 %
9	repositorio.unapiguato... Fuente de internet	<1 %
10	Entregado a Universidad... Trabajo del estudiante	<1 %
11	repositorio.unistral.ed... Fuente de internet	<1 %
12	Entregado a CONACYT Trabajo del estudiante	<1 %



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

AUTORIZACIÓN DE LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

CONSTE POR EL PRESENTE EL VISTO BUENO QUE OTORGA EL ENCARGADO DE INVESTIGACIÓN DE

Mg. Fernando Antonio Sernaqué Auccahuasi

A LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN QUE PRESENTA:

José Luis Emanuel Díaz Abal

INFORME TÍTULADO:

"Evaluación del almacenamiento de carbono de la especie forestal *Eucalyptus*

Globulus Lamill" y su relación con los índices de vegetación en el bosque de

Pallasca - Ancash, 2018"

PARA OBTENER EL TÍTULO O GRADO DE:

Ingeniero Ambiental

SUSTENTADO EN FECHA: 10/12/2018

NOTA O MENCIÓN: DIECISIETE (17)

MG. FERNANDO ANTONIO SERNAQUÉ AUCCAHUASI