

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS



**“ALMACENAMIENTO DE CARBONO DE UN BOSQUE RIBEREÑO
COSTERO, ASOCIADO A CULTIVOS VITIVINÍCOLAS, DE LA
CUENCA MEDIA DEL RIO CARAVELÍ, AREQUIPA”**

Presentada por:

DANIELA ELIZABETH AQUINO RENTERÍA

Tesis para Optar el Título Profesional de:

BIÓLOGA

Lima – Perú

2024

**La UNALM es la titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación
(Art. 24. Reglamento de Propiedad Intelectual)**

ALMACENAMIENTO DE CARBONO DE UN BOSQUE RIBEREÑO COSTERO, ASOCIADO A CULTIVOS VITIVINÍCOLAS, DE LA CUENCA MEDIA DEL RIO CARAVELÍ, AREQUIPA

INFORME DE ORIGINALIDAD

3%

INDICE DE SIMILITUD

3%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

0%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

www.keneamazon.net

Fuente de Internet

1%

2

dntdt.pcm.gob.pe

Fuente de Internet

1%

3

bvpad.indeci.gob.pe

Fuente de Internet

1%

4

sired.udenar.edu.co

Fuente de Internet

1%

5

www.municaraveli.gob.pe

Fuente de Internet

1%

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Activo

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE CIENCIAS

**“ALMACENAMIENTO DE CARBONO DE UN BOSQUE RIBEREÑO
COSTERO, ASOCIADO A CULTIVOS VITIVINÍCOLAS, DE LA
CUENCA MEDIA DEL RIO CARAVELÍ, AREQUIPA”**

Presentada por:

DANIELA ELIZABETH AQUINO RENTERÍA

Tesis para Optar el Título Profesional de:

BIÓLOGA

Sustentada y aprobada por el siguiente jurado:

Dra. Claudia Cecilia Caro Vera
PRESIDENTE

M.Sc. Ayling Wetzell Canales-Springett
MIEMBRO

Dr. Alexis Nicolas Ibañez Blancas
MIEMBRO

Maest.Cs. Juan Jesús Torres Guevara
ASESOR

Ing. Jhoan Chávez Suazo
CO-ASESORA

DEDICATORIA

A Caravelí, las espinas y al monte ribereño en medio del desierto.

*A la memoria de mis abuelas, Chepita y Clara, mujeres guerreras que lucharon por
que tengamos educación y podamos salir adelante.*

*A Santiago Illari, el rayito de luz de mi vida y el sol de cada día. Gracias por
compartir la vida conmigo.*

AGRADECIMIENTOS

A la familia García-Díaz y a la familia Valdivia-Díaz; dueños y administradores del fundo Huachipa y del fundo. Al profesor Juan Torres Guevara, por sus enseñanzas y conocimientos tanto en clases como en la vida misma y por las reuniones, los cafés y las charlas para poder lograr esta tesis. A Jhoan Chávez por su paciencia y compañía, las reuniones virtuales y el apoyo con sus conocimientos sobre carbono y bosques secos. A Merelyn Valdivia, por permitirme conocer Caravelí, los fundos aledaños, la vegetación ribereña y a su familia que siempre me recibió con mucho cariño y atención.

A Ursula Cockburn, por la paciencia y tiempo en mis primeros lineamientos e ideas para empezar el camino de la tesis. A los profesores Viviana Castro Cepero, Liz Castañeda, Gladys Tello y Aldo Ceroni y a la profesora Claudia Caro por apoyarme y acompañarme en la búsqueda de información y apoyo con la tesis. Al Centro de Investigaciones de Zonas Áridas de la Universidad Nacional Agraria La Molina (CIZA-UNALM) y el Herbario MOL Augusto Weberbauer (MOL-UNALM) y a la Universidad Nacional Agraria La Molina por el apoyo con la XII Subvención de Tesis de Pregrado del 2022. A Ángela Melgar, Alejandro López, Renzo Elejalde, por su apoyo incondicional.

A mi familia por el apoyo, cariño y comprensión, en especial a mi hijo Santiago, por entender mi profesión y mis viajes de campo, dejarme redactar, inspirarme y acompañarme con “su tesis” de crear un libro en el día a día. A Jean Marco, por acompañarme en la travesía de la toma de datos y por apoyarme en cada sueño. A mis papás, Alda y Beto, por todo el cariño, el amor incondicional y el apoyo que me brindaron para poder cumplir mis metas profesionales. A mis hermanas Laura y Gaby, y a mi hermano Marcelo, por su cariño y amor. A mis padrinos, Lalo y Yova, por siempre creer en mí. A todos mis amigos(as) que fueron parte de este proceso, y que fueron mi soporte y apoyo durante alguna etapa de mi vida universitaria. Los quiero mucho.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|-----|
| RESUMEN..... | xi |
| ABSTRACT | xii |
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1. OBJETIVO GENERAL | 3 |
| 1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 3 |
| II. REVISIÓN DE LITERATURA | 4 |
| 2.1. BOSQUES RIBEREÑOS..... | 4 |
| 2.1.1. Bosques secos de Huarango de Ica Perú | 5 |
| 2.1.2. <i>Vachellia macracantha</i> (Ex <i>Acacia macracantha</i>) “Huarango” | 7 |
| 2.2. BOSQUE TROPICAL ESTACIONALMENTE SECO | 8 |
| 2.3. SUCESIÓN VEGETAL..... | 9 |
| 2.3.1 Sucesión vegetal secundaria- Bosques secundarios | 9 |
| 2.4. SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE BOSQUES RIBEREÑOS..... | 9 |
| 2.4.1 Definición de servicio ecosistémico..... | 9 |
| 2.4.2 Servicios ecosistémicos de bosques ribereños..... | 11 |
| 2.5. LA AGRICULTURA Y LOS BOSQUES | 13 |
| 2.5.1 estrategias de viticultura sostenibles asociada al bosque | 13 |
| 2.6. CAMBIO CLIMÁTICO..... | 14 |
| 2.7. CICLO DEL CARBONO..... | 17 |
| 2.8. ESTRATEGIAS DE LUCHA CONTRA EL CAMBIO CLIMÁTICO RELACIONADA A LOS BOSQUES | 18 |
| 2.9. ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN BOSQUES | 19 |
| 2.10. METODOLOGÍAS PARA CUANTIFICACIÓN DE ALMACENAMIENTO DE CARBONO..... | 19 |

| | | |
|--------|--|----|
| 2.10.1 | Muestreo piloto para determinación de parcelas y tamaño de muestra..... | 19 |
| 2.10.2 | Establecimiento de parcelas del muestreo oficial | 20 |
| 2.10.3 | Métodos directos | 20 |
| 2.10.4 | Métodos indirectos..... | 20 |
| III. | MATERIALES Y MÉTODOS..... | 22 |
| 3.1 | MATERIALES | 22 |
| 3.2 | MÉTODOS..... | 23 |
| 3.2.1 | Descripción del área de estudio | 23 |
| 3.2.2 | Muestreo estratificado y descripción de estratos en estudio..... | 25 |
| 3.2.3 | Etapa I: Inventario Forestal..... | 27 |
| 3.2.4 | Etapa II: Almacenamiento de Carbono | 35 |
| 3.2.5 | Descripción de la Cuenca Caravelí- Pescadores..... | 40 |
| 3.2.6 | Caracterización del área de estudio mediante imágenes LANDSAT-8..... | 44 |
| 3.2.7 | Análisis de datos | 48 |
| IV. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 49 |
| 4.1. | INVENTARIO FORESTAL | 49 |
| 4.1.1 | Determinación Taxonómica..... | 50 |
| 4.2. | Etapa II: Almacenamiento de carbono en biomasa aérea y en el suelo | 51 |
| 4.2.1 | Carbono almacenado en biomasa aérea..... | 51 |
| 4.2.2 | Estimación de biomasa aérea y carbono almacenado sobre el suelo | 58 |
| 4.2.3 | Estimación del carbono orgánico en el suelo..... | 68 |
| 4.3. | Reseña histórica 1955-2023 de la sucesión y cambios del área del área de estudio, actualmente un bosque secundario colindante al fundo Huachipa..... | 78 |
| 4.3.1 | Historia del bosque a través de mapas parlantes, imágenes LANDSAT e imágenes aéreas | 78 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 4.3.2 | Imagen área del año 1955 del valle de Caravelí | 86 |
| 4.3.3 | Imágenes satelitales del área de estudio a través del tiempo (2009-2023) | 87 |
| 4.3.4 | Propuesta denominación Bosque Tropical Estacionalmente Seco | 89 |
| V. | CONCLUSIONES | 92 |
| VI. | RECOMENDACIONES | 93 |
| VII. | BIBLIOGRAFÍA | 94 |
| VIII. | ANEXOS | 104 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Instrumentos utilizados para el presente estudio..... | 22 |
| Tabla 2. Tabla del porcentaje del área total y cantidad de hectáreas por estrato del bosque en estudio. | 26 |
| Tabla 3. Parcelas en estudio de cada uno de los estratos (E1,E2, E3) con las coordenadas de los centroides de cada parcela, la altitud, pendiente y descripción..... | 26 |
| Tabla 4. Número de individuos por parcela registrados en el pre-muestreo del bosque colindante a fincas de viticultura en el fundo Huachipa. | 30 |
| Tabla 5. Parámetros estadísticos del pre-muestreo..... | 30 |
| Tabla 6. Dominancia de especies arbóreas del bosque en estudio con DAP > o igual a 5 cm. | 50 |
| Tabla 7. Estadísticos Descriptivos de biomasa aérea..... | 55 |
| Tabla 8. Frecuencia de clases diamétricas de la especie <i>Vachellia macracantha</i> en el bosque en estudio. | 55 |
| Tabla 9. N° de individuos por parcela y porcentaje acumulado total de los 168 individuos. | 58 |
| Tabla 10. Reporte del número de individuos, la biomasa aérea, carbono almacenado, altura y N.A por parcela. | 59 |
| Tabla 11. Pruebas de normalidad de las variables de biomasa aérea. | 63 |
| Tabla 12. Correlación de Spearman entre el DAP y la Biomasa aérea estimada | 63 |
| Tabla 13. Resumen del modelo y estimaciones de parámetros de diferentes regresiones (logarítmica, cuadrática, cúbica,potencia,etc) para analizar la relación entra la biomasa y el DAP..... | 63 |
| Tabla 14. Resumen del modelo, ANOVA y Coeficientes..... | 64 |
| Tabla 15. Resumen del modelo y estimaciones de parámetros con diferentes regresiones para el análisis de la relación entre biomasa y altura. | 66 |
| Tabla 16. Resultados de carbono orgánico (%C), densidad aparente y COS a un nivel de 30cm del suelo. | 69 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 17. Estadísticos descriptivos de las variables de carbono orgánico en el suelo en el bosque en estudio..... | 70 |
| Tabla 18. Prueba de normalidad de las variables de carbono orgánico en el suelo en el bosque en estudio. | 70 |
| Tabla 19. Correlación de Pearson entre las variables %Carbono orgánico y COS. | 71 |
| Tabla 20. Correlación de Pearson de las variables densidad aparente (D.A.) y COS(Mg/ha). | 72 |
| Tabla 21. COS(Mg/ha) y D.A. (densidad aparente) por parcela del bosque en estudio. | 75 |
| Tabla 22. Coordenadas del polígono del bosque en estudio colindante al Fundo Huachipa, en coordenadas UTM WGS 84 (18S) y en coordenadas sexagesimales (latitud y longitud). | 105 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Ilustración de la distribución y composición del bosque de Huarango en Ica, Perú.. | 6 |
| Figura 2. Ilustración de la distribución de especies en los bosques ribereño de Ica..... | 6 |
| Figura 3. Modelo conceptual para el vínculo de los ecosistemas y el bienestar humano..... | 11 |
| Figura 4. Principales servicios ecosistémicos proporcionados por los ríos, las zonas ribereñas y las llanuras aluviales/humedales en Europa (Harrison et al., 2010). | 12 |
| Figura 5. Contribución del IPCC a la ciencia climática y la formulación de políticas. | 16 |
| Figura 6. Imagen del área de estudio y alrededores donde se observan cultivos agrícolas y monte ribereño | 23 |
| Figura 7. Estratos del bosque en estudio en el año 2022. | 25 |
| Figura 8. Mapa del bosque en estudio con las parcelas de pre-muestreo (14) establecidas para la toma de datos de DAP..... | 29 |
| Figura 9. Imágenes en el proceso de establecimiento de las parcelas. | 32 |
| Figura 10. Forma y tamaño de la parcela. | 32 |
| Figura 11. Establecimiento de las parcelas oficiales para la toma de datos de biomasa aérea y carbono orgánico en el suelo. | 33 |
| Figura 12. Mapa de ubicación de parcelas oficiales realizado en ArcGIS 10.6.1. | 34 |
| Figura 13. Irregularidad superficial y DAP promedio. | 36 |
| Figura 14. Uso del clinómetro Hope 5 ¼ para la toma de datos de altura total de los árboles inventariados en las parcelas establecidas en el área de estudio. | 37 |
| Figura 15. Flujo de actividades realizadas en la etapa de campo y etapa de gabinete de acuerdo con la metodología del presente estudio. | 40 |
| Figura 16. Mapa de la Cuenca Caravelí-Pescadores y el área de estudio (bosque del fundo Huachipa colindante a cultivos de vid), en la región Arequipa, el año 2022..... | 41 |

| | |
|---|----|
| Figura 17. Uso Actual de la tierra en el año 1972 en el Valle del Río Caravelí. | 42 |
| Figura 18. Modelo de caracterización de un área clasificada en biomas terrestres. | 45 |
| Figura 19. Código utilizado en Google Engine para la Clasificación de una imagen satelital (LANDSAT-8) en la zona de estudio. | 46 |
| Figura 20. En la imagen A se observa el mapa de clasificación y en la imagen B se observa el mapa en color verdadero. | 47 |
| Figura 21. Árbol de la especie <i>Vachellia macracantha</i> con fustes múltiples (5) con diámetros a la altura del pecho >5cm, identificados mediante cinta y/o pintura roja con el código correlativo correspondiente. | 50 |
| Figura 22. Muestras colectadas colocadas en la estufa del Herbario Augusto Weberbauer "MOL" (UNALM) en una prensa botánica. | 51 |
| Figura 23. En la imagen A (izquierda) se identifica un árbol con fuste único. La imagen B (derecha) muestra un árbol bifurcado; mientras que en la Imagen C (abajo) registra un individuo con fustes múltiples con DAP > 5cm. Todos los árboles en mención son de la especie <i>Vachellia macracantha</i> | 53 |
| Figura 24. Frecuencia de clases diamétricas de la especie <i>Vachellia macracantha</i> del bosque en estudio. | 56 |
| Figura 25. Número de individuos en clases diamétricas por estrato. | 56 |
| Figura 26. Porcentaje de número de individuos por estrato en el bosque en estudio. | 57 |
| Figura 27. Clases diamétricas por estrato en el bosque en estudio. | 58 |
| Figura 28. Carbono almacenado (Mg/ha) por parcela del bosque en estudio. | 60 |
| Figura 29. Frecuencia de individuos por parcela por clase diamétrica en el bosque en estudio. | 61 |
| Figura 30. Diagrama de dispersión de Biomasa aérea por DAP (cm) | 62 |
| Figura 31. Gráfico de dispersión de regresiones no lineales (logarítmica, cuadrática, cúbica, potencia, etc.); donde la regresión de potencia obtiene el mayor coeficiente de determinación ($R^2 = 0,873$). | 64 |
| Figura 32. El gráfico representa la relación entre el DAP y la biomasa aérea con un $R^2 = 0,847$ y $p < 0,001$ | 65 |

| | |
|--|----|
| Figura 33. El gráfico representa la relación entre la altura y la Biomasa aérea con un $R^2=0,244$ siendo estadísticamente no significativo..... | 66 |
| Figura 34. Gráfico de regresión lineal entre %C y COS(Mg/ha) con un $R^2= 0,939$ | 71 |
| Figura 35. Gráfico de densidad aparente (g/m ³) en suelos por cada parcela (P1-P7) en el bosque en estudio. | 72 |
| Figura 36. Gráfico de %C por parcela del bosque en estudio. | 73 |
| Figura 37. Gráfico de %C por estrato del bosque en estudio. | 74 |
| Figura 38. Gráfico de COS(Mg/ha) por parcela del bosque en estudio. | 75 |
| Figura 39. Gráfico de COS (Mg/ha) por estrato del bosque en estudio..... | 76 |
| Figura 40. COS(Mg/ha) en las distintas altitudes de las 7 parcelas en estudio. | 77 |
| Figura 41. Mapa parlante del fundo Huachipa y sus cultivos en el año 1980..... | 79 |
| Figura 42 .Mapa parlante del año 1990-2000 donde se evidencia la formación del bosque secundario con predominancia de <i>Vachellia macracantha</i> a raíz de la sequía y la muerte de cultivos. | 80 |
| Figura 43. Mapa del Uso Actual de la Tierra de Caravelí en el año 1972. | 81 |
| Figura 44. Mapa del Uso Actual de la tierra en 1972 georreferenciado. El sector de color amarillo representa el bosque en estudio y se encuentra en las zonas de cultivos diversos y alfalfa para ONERN (1972). | 81 |
| Figura 45. Imagen área del año 1955 georreferenciada para el área actual de estudio. | 82 |
| Figura 46. Bosque secundario de aproximadamente 76 hectáreas en el año 2023, regenerado debido a abandono de cultivos. | 83 |
| Figura 47. Imagen del área de estudio actual (2022), con presencia de cobertura boscosa indicando un bosque secundario a partir de regeneración natural. | 83 |
| Figura 48. Imagen área del valle de Caravelí donde se encuentra el bosque en estudio, tomada el año 1955..... | 86 |
| Figura 49. Imágenes satelitales del área de estudio a través del tiempo (2009-2018)..... | 87 |

| | |
|---|-----|
| Figura 50. Imágenes satelitales del área de estudio a través del tiempo (2020-2022)..... | 88 |
| Figura 51. Ilustración de los casos particulares para la medición de DAP de individuos con fuste único y fuste doble..... | 116 |
| Figura 52. Guía para la medición a 30 cm y a 130 cm de árboles complejos, según el Protocolo de establecimiento de parcelas en bosque seco (DRYFLOR, 2020). | 117 |
| Figura 53. Colecta de <i>Vachellia macracantha</i> en el fundo Huachipa, distrito de Caravelí, en setiembre de 2022. | 118 |
| Figura 54. Datos de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima de la Estación Caravelí del MINAMHI para el año 2023. | 119 |
| Figura 55. Mapa de cobertura vegetal según MINAM 2015 donde se observa que el área de estudio se encuentra en la clasificación "Agricultura costera y andina". | 120 |
| Figura 56. Mapa de Capacidad de Uso Mayor de Tierra-ONERN. En el mapa se puede observar que el área de estudio se encuentra en la clasificación X (Tierra de protección). | 121 |
| Figura 57. Formaciones vegetales del EIA de la Línea de Transmisión 500 Kv Mantaro-Caravelí-Montalv (2009). Se observa que el área de estudio se encuentra en Monte Ribereño..... | 121 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | |
|--|-----|
| Anexo 1. Delimitación geográfica del bosque en estudio | 105 |
| Anexo 2. Resultados de densidad poblacional (árboles/hectárea) por parcela:..... | 106 |
| Anexo 3. Número de individuos de <i>Schinus molle</i> y <i>Vachellia macracantha</i> por parcela..... | 106 |
| Anexo 4. Resultados de número de parcelas oficiales por estrato a partir del pre- muestreo con un 20% de error estándar. | 106 |
| Anexo 5. Resultados de la estimación de biomasa por árbol del inventario forestal, clasificado por estrato y por parcela..... | 107 |
| Anexo 6. Resultados de carbono orgánico (c%) de las 21 muestras de suelo obtenidas del LASPAF-UNALM..... | 111 |
| Anexo 7. Registros fotográficos | 112 |
| Anexo 8. Clasificación de fustes. | 116 |
| Anexo 9. Colecta de <i>Vachellia macracantha</i> en el fundo Huachipa, distrito de Caravelí, el año 2022..... | 118 |
| Anexo 10. Datos de SENAMHI para el año 2023..... | 119 |
| Anexo 11. MAPAS | 120 |

RESUMEN

La especie *Vachellia macracantha* conocida como “Huarango” en el departamento de Arequipa, Perú, crece por la costa peruana desde el nivel del mar hasta los 2200 msnm y es una especie que resiste periodos largos de sequías. En el valle de Caravelí, crece naturalmente en el monte ribereño y forma parte del paisaje entre cultivos agrícolas y bosque a lo largo del valle. La presente investigación se justifica en la evaluación del potencial de esta especie como estrategia de mitigación al cambio climático a través del servicio ecosistémico de almacenamiento de carbono. En ese sentido, se plantearon los objetivos de estimación de la biomasa aérea y carbono almacenado en el suelo de un bosque secundario colindante a fincas de viticultura del Fundo Huachipa, ubicado en el distrito de Caravelí a partir de un método no destructivo utilizando ecuaciones alométricas y ecuaciones de carbono orgánico almacenado a partir de %Carbono orgánico y densidad aparente. Se establecieron siete parcelas distribuidas en tres estratos con diferencia en su altitud (2 a 3m) y en su cercanía al río. La estimación de almacenamiento de carbono promedio (t C/ha) de biomasa aérea es de 42,55 t C /ha con una desviación estándar entre parcelas de 26,80 t C/ha para el mes de setiembre del año 2022. El número total de individuos encontrados en el bosque fueron 168 individuos, donde 3 pertenecieron a la especie *Schinus molle* y 165 a la especie *Vachellia macracantha*. Se encontró que el bosque presenta una distribución de J invertida debido a que el mayor número de individuos se encuentran en las clases diamétricas menores (el 64,8% de los individuos se encuentran entre 05-15 cm de DAP). Además, se encontró un coeficiente de correlación alto (+0.947) entre el DAP y la biomasa aérea. La estimación de almacenamiento de carbono (t C /ha) como materia orgánica del suelo en el bosque en estudio es de 32,77 Mg/ha. El estrato que presentó mayor COS(Mg/ha) fue el E2. Esto puede ser explicado por la presencia de cultivos en esa área entre los años 1980-1990 y la presencia de ganado algunas semanas del año. Se propone el estudio a mayor profundidad del bosque para poder analizar los múltiples servicios ecosistémicos que ofrece, favoreciendo los sistemas productivos colindantes y ayudando con la conservación de los bosques ribereños.

Palabras claves: *Vachellia macracantha*, almacenamiento de carbono, monte ribereño, Acacia, carbono orgánico, biomasa aérea, servicios ecosistémicos.

ABSTRACT

Vachellia macracantha, known as “Huarango” in the department of Arequipa, Peru, grows along the Peruvian coast from sea level to 2,200 meters above sea level and is a species that resists long periods of drought. In the Caravelí valley, it grows naturally on the riverside mountain and is part of the landscape between agricultural crops and forests along the valley. The present research is justified in the evaluation of the potential of this species as a climate change mitigation strategy through the ecosystem service of carbon storage. In this sense, the objectives of estimating the aerial biomass and carbon stored in the soil of a secondary forest adjacent to viticulture farms of the Huachipa Farm, located in the district of Caravelí, were raised using a non-destructive method based on equations allometric. with field data of: diameter at chest height (DAP) and total height (H); and stored organic carbon equations from %Organic Carbon and bulk density. Seven plots were established distributed in three strata with differences in their altitude (2 to 3 m) and their proximity to the river. The estimate of average carbon storage (t C/ha) of aboveground biomass is 42.55 t C/ha with a standard deviation between plots of 26.80 t C/ha for the month of September 2022. The total number of individuals found in the forest was 168 individuals, where 3 belonged to the species *Schinus molle* and 165 to the species *Vachellia macracantha*. It was found that the forest presents an inverted J distribution because the largest number of individuals are found in the smaller diameter classes (64.8% of the individuals are between 05-15 cm DBH). In addition, a high correlation coefficient (+0.947) was found between DAP and aerial biomass. The estimate of carbon storage (t C /ha) as soil organic matter in the forest under study is 32.77 Mg/ha. The stratum that presented the highest SOC (Mg/ha) was E2. This can be explained by the presence of crops in that area between the years 1980-1990 and the presence of livestock some weeks of the year. A deeper study of the forest is proposed to be able to analyze the multiple ecosystem services it offers, favoring adjacent productive systems and helping with the conservation of riparian forests.

Keywords: *Vachellia macracantha*, carbon storage, riparian forest, Acacia, organic carbon, aboveground biomass, aboveground biomass, ecosystem services.

I. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas del Valle de Caravelí, en específico los bosques ribereños, han sido transformados a un paisaje de varios fragmentos de bosque a lo largo del cauce del río. La agricultura en la provincia de Caravelí se caracteriza por su producción frutícola, donde se destacan el palto, el olivo y la vid (Arata y Toro,2005). La viticultura para la producción de pisco se desarrolla principalmente en el sur del Perú (Ministerio de Cultura, 2019) y en el distrito de Caravelí (Arequipa-Perú) existe producción agroecológica y orgánica (fincas pequeñas) y producción intensiva (Municipalidad Provincial de Caravelí,2012). En el sector Ananta, principalmente en el fundo Ananta y Huachipa la producción de vid realiza actividades agroecológicas como diversificación de cultivos, biocontroladores y la conservación de bosques ribereños colindantes a sus fincas.

La especie *Vachellia macracantha* (Huarango) se caracteriza por ser un árbol espinoso de la familia Fabaceae y a nivel nacional se distribuye en las zonas costeras y andinas del Perú, alcanzando su límite superior hasta 2550 msnm. El monte ribereño en Perú alberga especies arbóreas con resistencia y adaptación a condiciones áridas como *Vachellia macracantha* “Huarango” y *Schinus molle* “Molle” (Casana y Mathez, 2011), que conforman bosques ribereños; y presta una serie de servicios ecosistémicos como: abastecimiento de agua, provisión de sombra y leña, servicios de regulación (control de la erosión y fertilización de suelos, prevención de inundaciones y almacenamiento de carbono), dinámica de nutrientes, mantenimiento de procesos ecológicos, servicios culturales, entre otros; desempeñando un rol importante en la agricultura tradicional de la cuenca del Río Caravelí (Montesinos et al.,2019, Casana y Mathez, 2011; Masuno, 2001, Rostworowski, 1981; Little, 2001; Little et al., 2004; Cuevas et al., 2004; Wetzell,1992; Guevara, 2008; Guevara,2010; MINAM, 2016,Harvey, 2011; Montagnini y Neir, 2004).

Los servicios ecosistémicos brindados por los bosques ribereños disminuirían en un escenario de pérdida de estos bosques, que ya viene ocurriendo debido a la fragmentación ribereña por acciones antrópicas que modifican su estructura y funciones (Moreno et al., 2017). Además, el aumento de la temperatura a raíz del cambio climático. Adicional a ello, existen evidencias sobre

los impactos negativos del cambio climático en la viticultura y la posibilidad de poner en peligro la viabilidad de la vid en el futuro (Droulia & Charalampopoulos,2021); por lo que se está estudiando el desarrollo de diversas alternativas para limitar las emisiones de gases de efecto invernadero para contribuir a la mitigación del cambio climático por parte del sector vitivinícola (Sotés, 2018).

Es por ello que se considera relevante el estudio de los bosques colindantes a parcelas agrícolas, en especial de vid en el distrito de Caravelí, para resaltar la importancia que tienen dentro del agroecosistema entorno a la capacidad de carbono que pueden albergar, y en aras de la búsqueda de la sostenibilidad para el sistema vitícola, al incorporar la conservación de hectáreas de bosque como parte de su territorio, identificando estrategias efectivas de mitigación por parte del sector vitícola para potenciar la sostenibilidad futura de la viticultura (Droulia & Charalampopoulos,2021). La sostenibilidad de un sistema de producción agropecuaria y forestal depende mayormente en la capacidad de provisión de servicios ecosistémicos del sistema, entre ellos, la capacidad de almacenamiento de carbono. (Casanova et al., 2016; Balvanera 2013; Chazdon,2008). Asimismo, El Programa Nacional de Conservación de Bosques para la Mitigación del Cambio Climático (PNCBMCC) y el Plan Nacional de Adaptación (NAP) en Perú incluye como enfoque la adaptación basada en la conservación de reservas de carbono y tienen la acción estratégica de implementar medidas de gestión y conservación de ecosistemas forestales. Para ello es necesario contar con la información básica sobre el contenido de carbono en distintos espacios que puede tener un ecosistema (Fernández,2017). Por ello, la presente investigación será clave para la obtención de información en relación al almacenamiento de carbono en bosques nativos asociados a cultivos, contribuyendo a crear estrategias para la conservación de los bosques con la finalidad de almacenar más carbono y desarrollar resiliencia frente a la naturaleza y los riesgos relacionados con el clima, adicional a la búsqueda de alternativas de contribución para la mitigación de emisiones; de modo tal que las empresas adopten un enfoque innovador para hallar soluciones positivas para la naturaleza junto a una rápida descarbonización. (STBN,2021). En resumen, debido a la coyuntura agrícola de la zona y su relación estrecha con bosques secos ribereños, y a la importancia sobre el estudio de la relación entre el paisaje, los factores ambientales y las actividades antrópicas (Montesinos et al., 2019), la presente investigación tuvo como objetivos la estimación del almacenamiento de carbono de la biomasa aérea y el carbono orgánico en suelo en un parche de bosque (2,98 hectáreas de bosque nativo ribereño) asociado a campos de vid con el fin de reforzar las estrategias de conservación de bosque nativo ribereño seco por parte del sector privado de bebidas alcohólicas ya que la producción de pisco en el país es de gran importancia económica.

1.1. OBJETIVO GENERAL

- Evaluar la capacidad de almacenamiento de carbono en un bosque ribereño colindante a fincas de viticultura con dominancia de “Huarango” *Vachellia macracantha* en la cuenca baja del Río Caravelí, distrito de Caravelí, Arequipa.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar un mapa de cobertura y uso de suelo del bosque ribereño costero en estudio, colindante a fincas viticultoras, en la cuenca baja del Río Caravelí, distrito de Caravelí, Arequipa.
- Estimar el almacenamiento de carbono en un estrato arbóreo de un bosque ribereño de Huarango (*Vachellia macracantha*).
- Estimar el almacenamiento de carbono en el estrato suelo de un bosque ribereño de Huarango (*Vachellia macracantha*).

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. BOSQUES RIBEREÑOS

La vegetación ribereña es uno de los ecosistemas más diversos y dinámicos (Guevara et al., 2008), forma un ecotono entre ecosistemas terrestres y acuáticos (Granados-Sánchez, Hernández- García y López-Ríos, 2006) y desempeña diversas funciones como: estabilidad en los márgenes de los ríos, creación de hábitats para organismos acuáticos y terrestres (Camacho, Trejo y Bonfil, 2006). El ecosistema se caracteriza por desarrollarse en las orillas de los ríos, arroyos y lagos (Díaz, Ruega, Acosta, Martínez y Castellanos, 2010; Sunil et al., 2010), sus propiedades estructurales y funcionales varían a través del gradiente altitudinal (Acosta, Mondragón y Alvarado, 2008). Además, estos sistemas pueden ser una fuente de suministro de leña, forraje y otros productos para las poblaciones locales (FAO, 2003).

Los sistemas ribereños se explotan debido a su proximidad al agua y a su gran productividad para pastoreo y actividades agrícolas, por lo que no es realista tratar de impedir todas las formas de uso. Es necesario llevar a cabo una ordenación adecuada de los bosques ribereños ya que los sistemas agro-silvícolas próximos a las masas de agua pueden mitigar los efectos de la descarga de nutrientes, sustancias químicas y desechos humanos (FAO, 2003). Los bosques proporcionan servicios ecosistémicos importantes a nivel mundial. Actualmente, debido a las actividades antrópicas de las últimas décadas, estos ecosistemas se encuentran amenazados, y con ello la biodiversidad y procesos regulativos (Chávez, 2018). El área mundial de los bosques se encuentra en disminución aproximadamente entre 12-15 millones de hectáreas anuales, considerándose el cambio de uso de suelo una de las principales causas (Chávez, 2018).

El bosque ribereño puede actuar como agente transformador cuando los procesos químicos y biológicos cambian la composición de los nutrientes. En el caso de suelos bien oxigenados, las bacterias y los hongos del bosque convierten el nitrógeno del escurrimiento y la materia orgánica del piso del bosque en formas minerales (nitratos) que pueden ser aprovechados por las plantas y bacterias (Ceccon, 2003).

La vegetación ribereña tiene la capacidad de interactuar con el agua subterránea porque el manto freático en estas áreas está muy cerca de la superficie del suelo, lo cual permite la interacción de las raíces y los microorganismos con los contaminantes transportados por el agua subterránea. En las áreas de bosques ribereños naturales los niveles de materia orgánica en el suelo son altos, lo que aumenta los procesos de adsorción química (Ceccon, 2003). Además de estas ventajas, la vegetación ribereña puede tener un papel importante en el manejo integrado de plagas en las zonas aledañas. Ceccon (2003) menciona un estudio en el Riparian Habitat Workgroup, en California, donde las aves que anidan en los bosques ribereños son depredadores de roedores e insectos que atacan los viñedos cercanos.

A pesar de todas las características mencionadas, ha sido uno de los ecosistemas más afectados por acciones humanas, generando cambios en la estructura y composición florística, favoreciendo así la pérdida de la diversidad biológica (Ede y Hunt, 2009).

A nivel mundial, los estudios sobre la relación entre el paisaje, factores ambientales, actividades antrópicas y comunidades vegetales son de gran importancia, en especial a la vegetación asociada a ríos (Malvarez, 1997; Moll, 1981). En las regiones de montes ribereños, es frecuente la tala, quema de los bosques y cambio de uso de suelo para el establecimiento de cultivos y posteriormente pasturas, lo que trae consigo que los suelos desnudos pierdan su calidad, productividad y diversidad, dado que quedan susceptibles a procesos erosivos (Oliva, 2016).

2.1.1. Bosques secos de Huarango de Ica Perú

Whaley *et al.*, (2011) menciona que las especies *Prosopis limensis* (conocida en Ica como “Huarango”, *vac* (conocida en Ica como “Espino”) e *Inga feuillei* (conocida en Ica como “Pacay”) son importantes para la captura de nitrógeno de la atmósfera y con ello, para la fertilidad del suelo. Según Whaley *et al.*, (2011), Ica es uno de los lugares más secos del mundo con escasa humedad disponible (menos de 8 mm de lluvia al año). La falta de lluvia ocasiona que la regeneración de la vegetación se dificulte. Además, la desertificación y deforestación de la región tienen relación con la pérdida de estos recursos.

El bosque seco de Huarango en Ica tiene como especies claves a: *Prosopis limensis* (Huarango), *Acacia macracantha* (Espino), *Schinus molle* (Molle) y *Parkinsonia acuelata* (Uña de gato). Se puede observar que para Ica el nombre común de *Prosopis limensis* es “Huarango”, mientras que para el distrito de Caravelí, se le suele decir “Huarango” a la especie *Vachellia macracantha* (ex *Acacia macracantha*). Sin embargo, por la similitud

taxonómica y pertenecer a la misma familia (Fabaceae), su diversidad funcional es similar. En la ciudad de Ica, Whaley *et al.* (2011) describe la importancia de los Bosques de Huarango debido a que proveen suelo fértil y refugio para la diversidad y forman parte del oasis ribereño de la zona que se clasifica como un corredor para la vida silvestre.

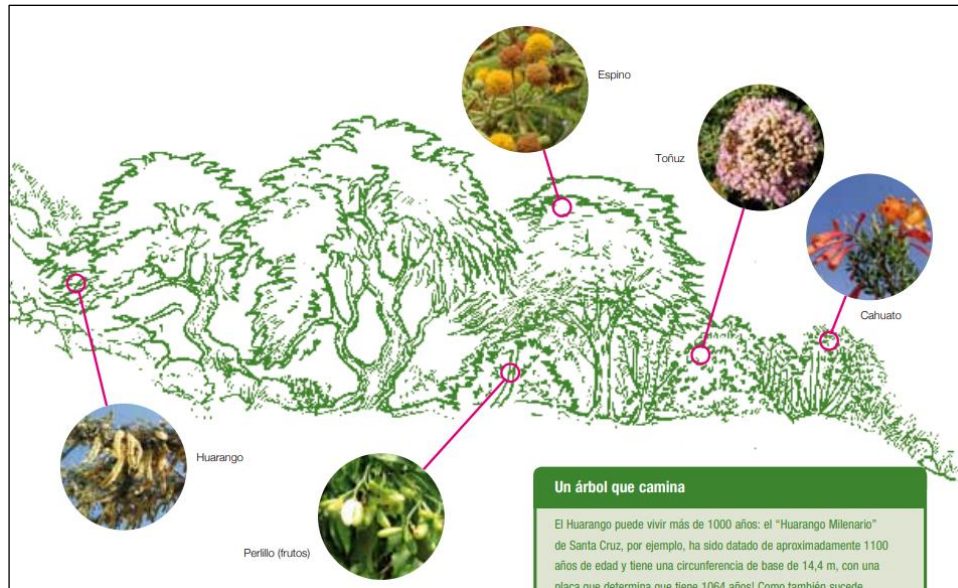


Figura 1. Ilustración de la distribución y composición del bosque de Huarango en Ica, Perú. **FUENTE:** Tomada de Whaley *et al.*, (2010). Plantas y vegetación de Ica,Perú-Un Recurso para su restauración y conservación.p.22.

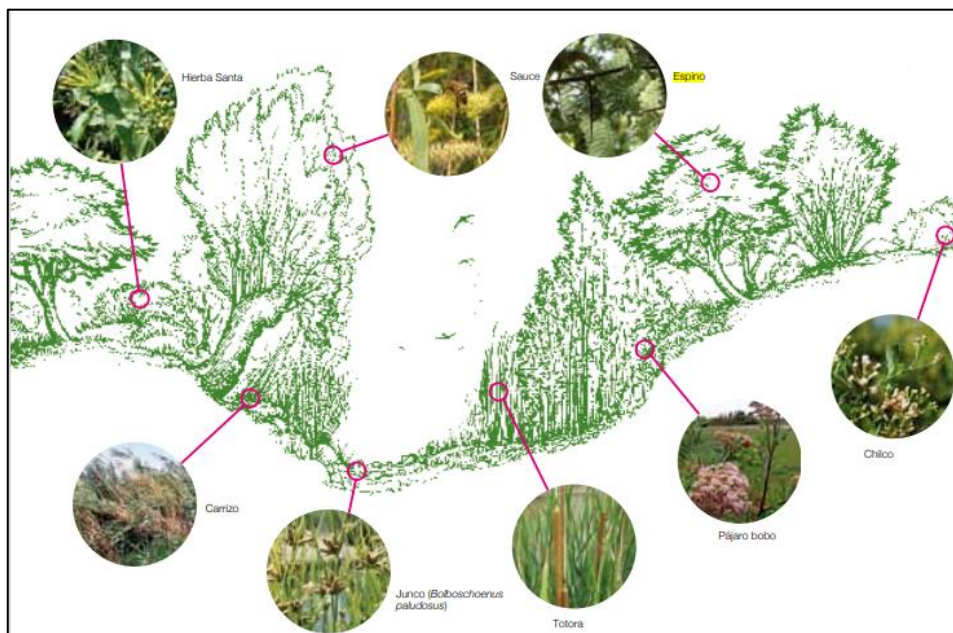


Figura 2. Ilustración de la distribución de especies en los bosques ribereños de Ica. **FUENTE:** Tomada de Whaley *et al.*, (2010). Plantas y vegetación de Ica,Perú-Un Recurso para su restauración y conservación.p.26.

Además, Whaley *et al.*, (2011) describe el rol de los bosques ribereños como defensa ribereña para la ciudad, además de otros beneficios como la estabilización de los bancos de

los ríos, la disminución de la velocidad del flujo de agua, prevención de erosión, aumento de la penetración del agua, entre otros.

2.1.2. *Vachellia macracantha* (Ex *Acacia macracantha*) “Huarango”

Las especies de la familia Fabaceae son plantas leñosas que crecen entre la vegetación siempre verde de las riberas fluviales, o dentro de formaciones marcadamente periódicas, o en ambas condiciones. *Acacia macracantha* (denominada actualmente como *Vachellia macracantha*) es un arbolillo espinoso de hojas bipinnadas, hojuelas diminutas y flores amarillas unidas en cabezuelas esféricas; pertenece a las partes occidental e interandina, figurando entre los elementos principales del monte ribereño, alcanzando su límite superior hasta 2550 msnm (Weberbauer, 1964). La especie *Vachellia macracantha* crece de forma favorable en las siguientes formaciones ecológicas: estepa espinosa Montano bajo que puede variar de 2,100 a 3,100 metros sobre el nivel del mar y bosque seco Montano bajo de 2.800 a 3.000 sobre el nivel del mar (Pretell *et al.*, 1985).

El Huarango (llamada así al individuo en las regiones de la sierra sur del Perú), posee un tronco agrietado gris y su diámetro puede variar entre 60-80 centímetros, sin embargo, en árboles muy longevos de esta especie, pueden llegar a medir hasta dos metros. Mientras más longevidad posea la especie, mayor será su diámetro. (Vásquez, 2021).

Sus hojas son compuestas bipinnadas (los folios se ubican a cada lado del peciolo), las cuales pueden llegar a medir 3 mm de largo, con un color verdoso oscuro en su haz y en su envés de color verde claro. Entre sus características podemos observar las espinas en forma de “V”, cuya medida es de aproximadamente 6 cm de largo. El ejemplar pierde sus hojas en las épocas de verano, por efectos del viento, el granizo o los insectos, y las recupera en invierno. Tiene capacidad de adaptación en zonas calurosas o desérticas, denominándose especie “decidua” (Pretell, Ocaña, Jon y Barahona, 1985).

Sus flores son de color amarillo llamativo, permitiendo así el acercamiento de insectos como abejas y avispa para que puedan aprovechar y dispersar su alto contenido de polen. Su inflorescencia es de capítulo esférico vistoso con una gran fragancia, con racimos compuestos o simples. La floración se evidencia en los meses de septiembre a noviembre (Pretell *et al.*, 1985).

El Huarango puede dar frutos en los meses de enero a febrero. Para que la fructificación sea posible debe estar a temperaturas de 20° a 29° centígrados. Entre sus características más

evidentes podemos mencionar que al pertenecer a la familia de las fabáceas, su fruto es una vaina que está cubierta por pelos finos y cortos cuando está sin madurar. Su forma es semicilíndrica, en ocasiones son rectos o ligeramente curvos con un tamaño de 5 a 10 cm de largo y de 6 a 12 de grosor, su textura es rígida cuando están maduros o secos (Vásquez, 2021). En cuanto a sus raíces, poseen dos formas de crecimiento: de forma lateral que pueden llegar a medir hasta 30 metros de largo, mientras que otras se desarrollan de manera vertical, las cuales son de gran importancia ya que mediante este sistema de crecimiento pueden llegar a encontrar aguas subterráneas, mismas que ayudan a que esta especie se desarrolle y logre vivir en condiciones climáticas fuertes. Esta segunda forma de crecimiento puede llegar a extenderse hasta una profundidad de 25 metros (Díaz, 2018).

La germinación de *Vachellia macracantha* debe ser en suelos arenosos o en suelos que no presenten características rocosas, las cuales impidan su crecimiento (Vásquez, 2021). Además, se encontró que las precipitaciones no son el factor principal que influye en el crecimiento anual de *Vachellia macracantha* y los períodos de sequía de cuatro meses con precipitaciones anuales menores a los 677 mm/año no limitan su crecimiento, lo que la hace una especie muy resistente a las sequías (Chalán, 2019). Además, Romero *et al.*, (2021) encontró que *Acacia macracantha* (ex *Vachellia macracantha*) mejora la humedad, materia orgánica, niveles de fósforo y potasio en el suelo, sin embargo, debido a la acumulación de materia orgánica, el pH disminuye ligeramente.

Según Pretell *et al* (1985), *Vachellia macracantha* (Ex *Acacia macracantha*), puede llegar a tener un DAP (diámetro a la altura del pecho) de 35 cm y una altura de 3 a 4 m. Sin embargo, según las alturas medidas en la investigación de Padilla (2019) las alturas de los individuos de la especie *Vachellia macracantha* oscilan entre 4 y 12 metros.

2.2. BOSQUE TROPICAL ESTACIONALMENTE SECO

Los bosques tropicales estacionalmente secos (BTES) en el Perú han sido identificados por diferentes sistemas de clasificación, pero nunca en su totalidad (Linares-Palomino, 2004). Se han propuesto sistemas de clasificación mediante análisis multivariados tomando datos florísticos, composición florística, distribución y gradientes ambientales como humedad, precipitación, calidad del suelo, entre otros. (Gauch, 1982; Linares-Palomino, 2004).

Los bosques tropicales estacionalmente secos están sujetos a procesos de degradación crónica que ponen en riesgo su diversidad. La ganadería intensiva dentro de los parches y remanentes de

bosque se plantea como una de las principales causas de estos procesos de degradación; sin embargo; el ganado también podría estar cumpliendo el rol de dispersor de semillas para algunas especies de los BTES. (Espinosa, Reyes y Jara-Guerrero,2021).

2.3. SUCESIÓN VEGETAL

2.3.1 Sucesión vegetal secundaria- Bosques secundarios

La sucesión vegetal es un proceso ecológico mediante el cual se restablece la cobertura boscosa en lugares que previamente han sido afectados por intervenciones antrópicas o disturbios naturales. (Yepes *et al.*,2010). Aunque existen características comunes en la sucesión secundaria en regiones tropicales, esta puede presentar variaciones dependiendo de las condiciones del sitio como el tipo de intensidad o perturbación, distancia al bosque primario original, flora, fauna, topografía y climatología que determinan la velocidad de la recuperación del bosque (Finegan 1997; Guariguata & Ostertag 2001; Kennard 2001).

Los bosques secundarios brindan innumerables servicios ecológicos y económicos; radicando en ello la importancia del manejo de estos. En cuanto a la importancia ecológica, los bosques secundarios permiten la recuperación de la productividad de los suelos, reducción de poblaciones de malezas y plagas, acumulación de carbono, ecosistemas para el establecimiento de la biodiversidad, rehabilitación de tierras degradadas, hábitat para agroecosistemas de multipósitos, reducción de la erosión del suelo y protección contra el viento, regulación de flujos del agua, reducción de la presión sobre los bosques primarios, entre otros (OTCA,2021). Si bien en las últimas décadas muchas áreas de cultivo han sido abandonadas por diversos factores socioeconómicos dando oportunidad a recuperación del bosque, el proceso de forma pasiva puede tomar hasta varios años o nunca lograrse. Por ello, es necesaria la intervención o restauración activa para acelerar el proceso de recuperación (Castro,2008).

2.4. SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE BOSQUES RIBEREÑOS

2.4.1 Definición de servicio ecosistémico

La definición de servicios ecosistémicos ha pasado por una serie de interpretaciones y aplicaciones a través del tiempo. Los servicios de los ecosistemas se definen como las contribuciones que los ecosistemas hacen al bienestar humano, y se diferencian de los bienes y servicios que las personas obtienen posteriormente. Estas contribuciones se enmarcan en

“lo que hacen los ecosistemas” por las personas (Haines-Young, 2018). El sistema de clasificación más reciente es la Clasificación Internacional Común de Servicios Ecosistémicos (CICES en sus siglas en inglés), desarrollada por la Agencia Europea del Medio Ambiente (EMA). La versión más reciente es CICES V5.1 (Avedaño *et al.*, 2020) y tiene como objetivo clasificar las contribuciones que los ecosistemas hacen al bienestar humano que surgen de los procesos biológicos. Además, CICES también fue concebida como una clasificación de referencia que permitirá la traducción entre diferentes sistemas de clasificación de servicios ecosistémicos, como los utilizados por la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (EEM), la Economía de los Ecosistemas y la Biodiversidad (TEEB), entre otros.

El modelo de cascada propuesto por Haines-Young y Potshchin (2010) y De Groot *et al.*, (2010) es de gran utilidad para realizar el resumen que subyace el paradigma de los Servicios Ecosistémicos, debido a que es un modelo conceptual que vincula al ecosistema con sus estructuras en un primer bloque, y al elemento del bienestar humano en otro bloque. En el caso expuesto por Becerra-Rodas (2016), la estructura y composición de la vegetación ribereña y sus funciones de interceptación de precipitaciones y la retención de partículas y nutrientes disueltos en agua, otorgan SE como la provisión de agua de calidad, que al utilizar este SE, otorga bienestar humano (agua potable consumible). Es importante la comprensión de los mecanismos que enlazan los ecosistemas con el bienestar humano, identificando funciones ecológicas, servicios ecosistémicos y beneficios socioeconómicos, para la posterior utilización de estos conceptos en actividades como manejo, conservación y restauración ecológica de la vegetación ribereña. (Becerra- Rodas, 2016). En la siguiente imagen extraída de Haines-Young & Postin (2010) y De Groot (2010), se grafican los conceptos de ecosistema y biodiversidad, servicios ecosistémicos y bienestar socioeconómico.

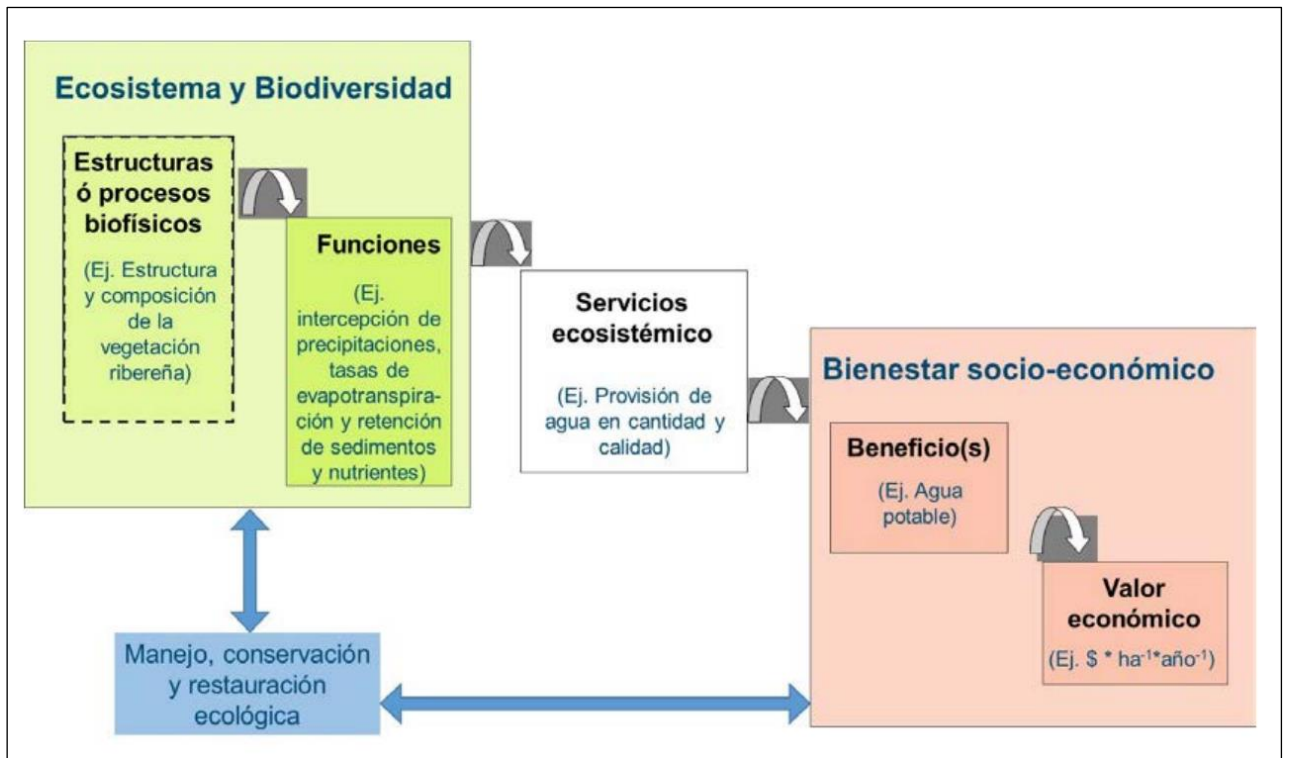


Figura 3. Modelo conceptual para el vínculo de los ecosistemas y el bienestar humano. Diagrama adaptado de Haines-Young & Potshin (2010) y De Groot (2010) citado por Becerra-Rodas (2016). Servicios ecosistémicos y rol funcional de los bosques nativos ribereños en cuencas silvoagropecuarias del centro-sur de Chile. p.13.

2.4.2 Servicios ecosistémicos de bosques ribereños

Los bosques ribereños son fundamentales para la provisión de servicios ecosistémicos como la provisión de agua en mayor cantidad y calidad de otros ecosistemas de ribera. A la vez, al ser zonas de interfase entre un ecosistema acuático y terrestre, cumplen un rol fundamental en la mitigación de fenómenos naturales como crecidas e inundaciones (Becerra-Rodas *et al.*, 2019).

Para un mejor entendimiento de cómo se enlazan los bosques nativos ribereños con el bienestar humano, es posible vincularlos a través del concepto de servicio ecosistémico (SE). Desde el enfoque de servicios ecosistémicos, pueden proporcionarse servicios de provisión como: madera, fibra, leña, y productos forestales no maderables como: resinas, semillas para artesanías, etc; servicios de regulación como regulación del clima terrestre y acuático, aportando energía alóctona a las comunidades faunísticas de los ríos, secuestra y almacena carbono atmosférico, alberga fauna asociada, incrementa nutrientes en el suelo y agua, forma microambientes, entre otros; y como servicios con importancia social podemos indicar la regulación o filtro de calidad de agua para sus diferentes usos, la capacidad de generar espacios eco-turísticos, la reducción de los efectos negativos en las crecidas del río, entre otros (Gutierrez, 2009).

Los bosques ribereños han sido reportados como reguladores de la dinámica de nutrientes y sólidos en suspensión, regulando la provisión de agua en calidad como servicio ecosistémico, reguladores de aportes de producción primaria terrestre (materia orgánica o detritus) que fluyen hacia los sistemas fluviales (Wetzell, 1992). La naturaleza, estructura y composición de los bosques nativos ribereños, influyen en el aporte y dinámica de la materia orgánica (Guevara, 2008; Hoover *et al.*, 2010; Guevara, 2010), ayudando a prevenir la eutrofización del agua en la cuenca baja, influenciada principalmente por los ciclos biogeoquímicos del carbono disuelto (Becerra-Rodas, 2016).

Además, la biomasa forestal es uno de los sumideros de carbono más grandes y dinámicos y es esencial poder conocer la magnitud de los servicios ecosistémicos que nos pueden brindar los bosques. (Andrade *et al.*, 2017). Se ha estudiado que la vegetación alledaña a los cursos de agua ejerce un rol importante en la regulación del ciclo de nutrientes y el control de la escorrentía. La vegetación ribereña reduce la erosión y filtra la parte de los fertilizantes y contaminantes provenientes de los cultivos, antes que estos lleguen al río (Anbumozhi *et al.*, 2005, Olley *et al.*, 2010). En la siguiente imagen se describen los servicios ecosistémicos del área ribereña, incluyendo los servicios de regulación mediante el secuestro y almacenamiento de carbono. (Ver Figura 4).

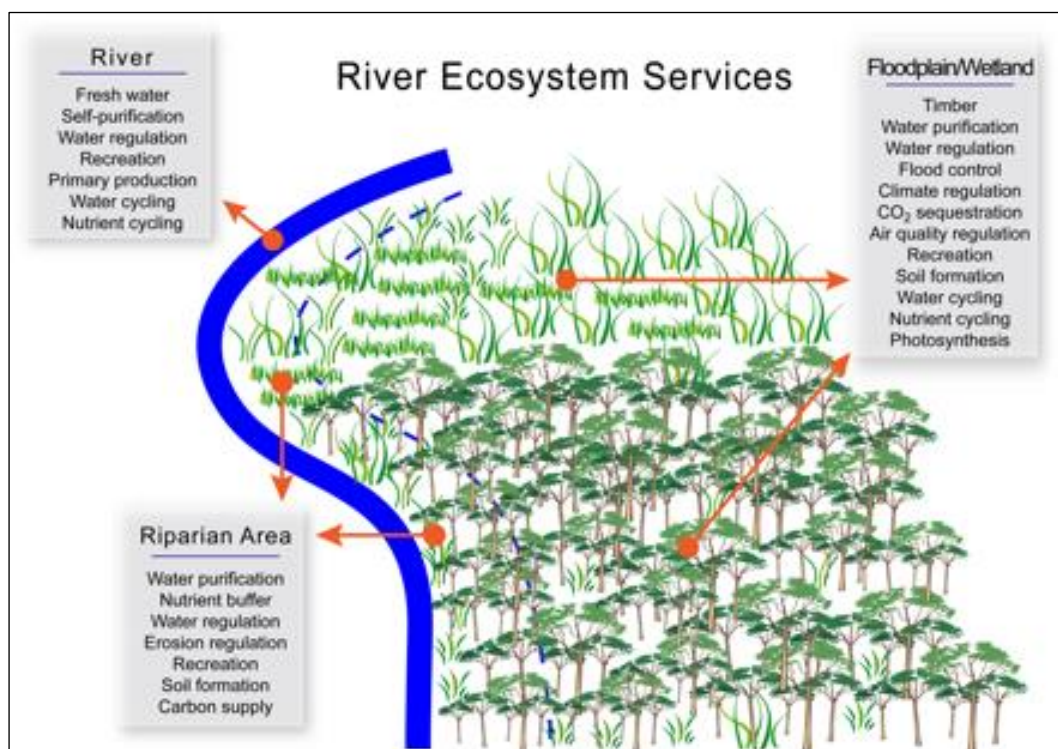


Figura 4. Principales servicios ecosistémicos proporcionados por los ríos, las zonas ribereñas y las llanuras aluviales/humedales en Europa (Harrison *et al.*, 2010). Atlas of Biodiversity Risk, pp 8-9.

2.5. LA AGRICULTURA Y LOS BOSQUES

Se ha comprobado que de los 22 millones de km² intervenidos por el ser humano para uso agrícola, más de un millón es superficie forestal, según el estudio presentado en la última Cumbre Mundial Agroforestal (Nairobi, Kenia, 2009). La agricultura ha sido un factor de destrucción de los bosques desde que la humanidad inició su vida sedentaria, sin embargo, los árboles siguen siendo componentes importantes en los agroecosistemas (Restrepo, 2011).

En numerosos sistemas de producción agraria, los árboles se utilizan como barreras vivas o cultivos perennes, así como también en la ganadería debido al abastecimiento de sombra en tierras de pastura y de recursos muy útiles para las familias agricultoras como: madera, frutos, leña, forraje (Altieri y Nicholls, 2004).

Sin embargo, los bosques proveen más servicios que sólo los de abastecimiento para la agricultura y para el consumidor de los productos agrarios. Son una fuente importante de biodiversidad al brindar refugio y alimento a innumerables especies de la fauna silvestre, propiciando la conservación y expansión de la flora local a través de la polinización y diseminación de sus semillas (Gamboa y Criollo, 2011). Además, si son árboles fijadores de nitrógeno, cumplen un papel esencial en la fertilización natural del suelo. La resiliencia de los sistemas de cultivos con bosques, son singularmente apropiados para enfrentar los efectos del cambio climático, ofreciendo a la vez alternativas para mejorar los ingresos y la seguridad alimentaria de las familias campesinas (Oxfam, 2015).

2.5.1 Estrategias de viticultura sostenibles asociada al bosque

Un viñedo que maneja de manera adecuada la biodiversidad podría aprovechar los servicios ecosistémicos, obteniendo un mejor control biológico de plagas, aumentando el valor estético dentro de los cuarteles al incorporar una mayor diversidad botánica, permitiéndole realizar actividades relacionadas al ecoturismo y proveer de un atractivo ambiente laboral (Sotés, 2011).

La biodiversidad es el estudio de la variedad de organismos (flora, fauna y microorganismos) que interactúan y confluyen en un determinado ambiente; siendo un componente regulador de las funciones como la polinización, degradación de la materia orgánica y equilibrio de agentes fitófagos (Curkovic, Arraztio y Solís, 2020).

Un viñedo con un manejo adecuado de la biodiversidad puede acceder a distintos servicios ecosistémicos como el control biológico de plagas aumentando el valor estético al incorporar una mayor biodiversidad botánica, lo que permitiría, por ejemplo, la ejecución de actividades

relacionadas al ecoturismo y proveer de un atractivo ambiente laboral. Se han identificado acciones clave al momento de realizar un plan de conservación en un viñedo: aquellas que disminuyen la presión negativa sobre la biodiversidad y acciones que aumentan su resiliencia (Curkovic *et al.*, 2020).

Una alta biodiversidad es resiliente a presiones externas y provee de servicios ecosistémicos, sin embargo, cuando esta se ve reducida significativamente (usualmente por la acción antrópica), y supera un punto de inflexión, la biodiversidad difícilmente se recupera. En consecuencia, ocurre una degradación en el tiempo del bienestar humano y de la productividad, por ello es importante realizar acciones destinadas a conservar y recuperar la biodiversidad (Curkovic *et al.*, 2020).

La incorporación del componente arbóreo en un sistema agrícola contribuye a la productividad del sistema proporcionando beneficios tales como: mejora de las condiciones del suelo (por ejemplo, secuestro de carbono orgánico), madera, fruta, forraje y un hábitat para la fauna silvestre (Andrade *et al.*, 2008)

El cambio climático posiblemente puede poner en peligro la viabilidad de la vid en el futuro. La creciente evidencia sobre los impactos significativos del cambio climático en la viticultura insta a la comunidad científica a investigar la evolución potencial de estos impactos en las próximas décadas (Droulia & Charalampopoulos, 2021).

El cambio climático afecta al viñedo en varios aspectos con posibles consecuencias económicas y tecnológicas, por lo que muchos productores son conscientes de la problemática y están estudiando el desarrollo de diversas alternativas. Es indudable que el sector vitivinícola debe limitar sus emisiones de gases de efecto invernadero para contribuir a la mitigación del cambio climático (Sotés, 2018).

La productividad de la vid será afectada negativamente teniendo consecuencias como reducción del rendimiento y degradación de la calidad del vino, considerando el aumento potencial en la frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos debidos al cambio climático. Por ello, es importante facilitar y delinear medidas proactivas adecuadas tales como la identificación de estrategias efectivas de adaptación y mitigación por parte del sector vitícola para potenciar la sostenibilidad futura de la viticultura (Droulia & Charalampopoulos, 2021).

2.6. CAMBIO CLIMÁTICO

La variación del clima en el mundo ocasiona un gran impacto sobre diversos ecosistemas, hábitats y organismos, además de ocasionar impacto sobre los seres humanos, por lo tanto, si no se toman

medidas en el corto plazo para reducir las emisiones, los efectos no podrán evitarse (Neef y Henders, 2007). Existe evidencia que la actividad humana está afectando a la temperatura del planeta, debido al incremento en la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, por lo que las organizaciones internacionales han realizado propuestas a través del tiempo desde el año 1988 con el programa de Medio Ambiente y la Organización Meteorológica Mundial, logrando el establecimiento del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), continuando con el Comité Intergubernamental de Negociación con el encargo de elaborar una Convención Marco Sobre Cambio Climático (Synergy, 2005), y estableciendo en el año 1992 el Protocolo de Kyoto (PK), por medio del cual tanto los países desarrollados como las economías en desarrollo, se comprometen a la reducción de las emisiones del GEI (FONAM, 2010). En Río de Janeiro en 1992, se celebró la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo “Cumbre de la Tierra”, donde el objetivo fue establecer una alianza mundial para lograr alcanzar los acuerdos internacionales en los que exista respeto entre todos los países y además se proteja la integridad del sistema ambiental y el desarrollo mundial, logrando el reconocimiento de la naturaleza integral e interdependiente de la Tierra, nuestro hogar (Naciones Unidas, 1992). Posterior a la Cumbre de Río, se establecieron los siguientes documentos: Agenda 21, Declaración de Principios Forestales, Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), Convención de las Naciones Unidas sobre la diversidad biológica y la Declaración de Río sobre Medioambiente y Desarrollo (FONAM, 2010). Sin embargo, la iniciativa internacional vigente para combatir el cambio climático es el Acuerdo de París. Esta fue adoptada por 196 partes de la CMNUCC en la COP21 en París el año 2015 y su objetivo es limitar el calentamiento mundial por debajo de los 2°C, preferiblemente a 1,5°C, en comparación con los niveles preindustriales. Además, se reconoce como un acuerdo histórico debido a que, por primera vez, se estableció que todos los países tengan una causa común a través de contribuciones determinadas a nivel nacional (conocidas como NDC por sus siglas en inglés) (UNFCC,2015). Según UNFCC (2015), a pesar de la necesidad de aumentar significativamente las acciones relacionadas al cambio climático para lograr los objetivos del Acuerdo de París, desde su implementación se ha observado que cada vez más países, regiones, ciudades y empresas están fijando metas de neutralidad de carbono. Además, se prevé que para el año 2030 las soluciones de cero emisiones de carbono podrían ser competitivas en sectores que representan el 70% de las emisiones mundiales.

El IPCC, órgano de las Naciones Unidas, tras décadas de estudios, confirma la influencia de las actividades humanas en el cambio climático a través de los Informes de Evaluación del Panel

Intergubernamental del Cambio Climático, cuyo objetivo es la evaluación periódica del conocimiento sobre el cambio climático y sus consecuencias (Vilches *et al.*, 2014). Desde su creación, el IPCC ha preparado informes técnicos y de evaluación para el conocimiento científico sobre el cambio climático, donde el más actual es del año 2022 (IV Informe IPCC) y el quinto informe de evaluación se realizó entre 2013 y 2014. Las conclusiones del quinto informe fueron las siguientes: a) la influencia humana en el sistema climático es clara, b) cuanto más perturbemos el clima, mayores serán los riesgos de impactos graves y c) disponemos de los medios para limitar el cambio climático y construir un futuro sostenible (IPCC,2020). Adicional a ello, el informe de síntesis del Sexto Informe reporta sobre: la temperatura media global sigue en aumento; en el período 2011-2020 se ha aumentado en aproximadamente 1,1 °C superior al período 1850-1900; los escenarios en los próximos años según las emisiones de gases de efecto invernadero y la necesidad de establecer medidas inmediatas para acelerar la mitigación y la adaptación frente al cambio climático, junto al aumento de recursos financieros para ello ya que siguen siendo insuficientes y se distribuyen de manera desigual entre regiones (IPCC,2020).

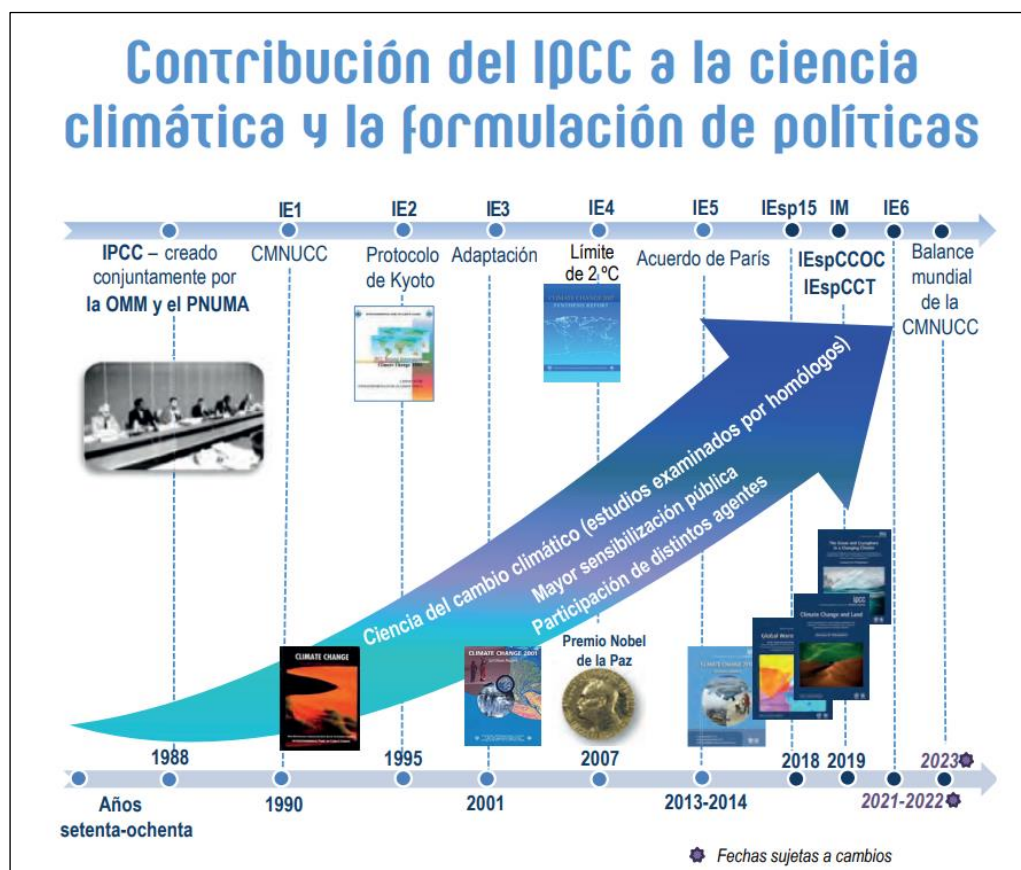


Figura 5. Contribución del IPCC a la ciencia climática y la formulación de políticas.
FUENTE: Tomada de IPCC (2020). El IPCC y el sexto ciclo de evaluación. p.3.

2.7. CICLO DEL CARBONO

El ciclo de carbono es conocido como el proceso biogeoquímico de intercambio de materia (en particular de compuestos que contienen carbono). El carbono es el elemento químico crucial en los compuestos orgánicos (Orjuela, 2019), que circula entre la atmósfera, el suelo, los océanos y el subsuelo. El intercambio de carbono entre los ecosistemas terrestres y la atmósfera es el resultado de las dinámicas naturales como la fotosíntesis y la respiración, así como de la emisión de gases emitidos por las actividades antrópicas (Rügnitz *et al.*, 2009).

El ciclo de carbono comienza con la fijación de CO₂ mediante fotosíntesis, en la fotosíntesis el dióxido de carbono y el agua reaccionan para liberar carbohidratos y oxígeno, que se transportan hacia la atmósfera. Parte de los carbohidratos se consumen directamente y otros son consumidos por animales, que también liberan dióxido de carbono en sus procesos metabólicos. Finalmente, las plantas y los animales muertos son descompuestos por microorganismos del suelo, donde el carbono de su tejido pasa por procesos de oxidación, forma dióxido de carbono y retorna a la atmósfera (Orjuela, 2019).

Se considera que el ciclo global del carbono se divide en dos ciclos: el biogeoquímico a corto plazo y el biogeoquímico a largo plazo. Las medidas muestran que las actividades antropogénicas afectan los dos ciclos con la emisión de 8,6 Pg de carbono, estimándose que en los últimos 150 años se ha incrementado las emisiones del 31% de dióxido de carbono a la atmósfera (Orjuela, 2019).

El contenido de CO₂ en la atmósfera aumenta cada año, y según los estudios y análisis de expertos mundiales, seguirá subiendo en el futuro (Jandl, 2005). En los últimos 800,000 años, las concentraciones de CO₂ en la atmósfera nunca habían alcanzado las 300 ppm, pero este número se superó por primera vez en 1950 y desde entonces ha aumentado constantemente (Planelles, 2021). Esto puede explicarse por el creciente impacto humano sobre las fuentes naturales de dióxido de carbono, donde se ha ido agregando cada vez más la quema de combustibles fósiles, procesos de deforestación y otros, ocasionando los aumentos de emisiones de CO₂, y trayendo como consecuencias directas los aumentos sin precedentes de las temperaturas (Planelles, 2021).

2.8. ESTRATEGIAS DE LUCHA CONTRA EL CAMBIO CLIMÁTICO RELACIONADA A LOS BOSQUES

El cambio climático, provocado por el incremento de los gases de efecto invernadero, en particular el CO₂, es uno de los retos más grandes que enfrentamos como sociedad (González-Ávalos *et al.*, 2006), y tendrá consecuencias como la modificación del patrón de precipitaciones, incremento de sequías, nivel de los océanos, modificación de la distribución geográfica, impactos en el rendimiento de cultivos, pérdida de bosques y biodiversidad, entre otros (Useros, 2013). La gran cantidad de efectos negativos sobre el bioma terrestre trae como reflexión y discusión posibles estrategias para mitigar los daños que puede provocar su alta concentración en la atmósfera (Rodríguez *et al.*, 2021).

Dentro de estas estrategias, los bosques juegan un papel fundamental, ya que a través de la fotosíntesis los árboles capturan el CO₂, siendo este proceso parte fundamental del ciclo de carbono, en el cual el carbono tiene sus dinámicas de movimiento entre la atmósfera y los sistemas naturales (Dávalos Sotelo, Rodríguez Morato & Martínez Pillino- Cueto, 2008). El principal lugar donde se almacena carbono en las plantas es la biomasa (Jiménez *et al.*, 2018). El quinto informe de Evaluación del IPCC, estima que la cantidad de carbono presente en la biomasa viva de la vegetación oscila entre 440 y 650 gigatoneladas. Además, les brinda importancia a los suelos de los bosques debido a su capacidad de almacenamiento entre 1,500 y 2,400 Gt. Sin embargo, sabemos que el balance entre entradas y salidas de carbono en los ecosistemas terrestres no siempre ocurre en equilibrio (Rubio y Calama, 2021).

En el marco de la importancia de los bosques en la lucha contra el cambio climático, uno de los acuerdos más comentados en la última COP 26, ha sido la “Declaración de Glasgow sobre los Bosques y el Uso de la Tierra”, donde más de 100 líderes globales se han comprometido a poner fin a la deforestación para el año 2030 (PROFONANPE, 2021). Perú está incluido dentro de los países comprometidos en el acuerdo, donde la importancia de los bosques radica en su capacidad para ayudar a absorber las cantidades necesarias de CO₂ para frenar el cambio climático (PROFONANPE, 2021). Además, el suelo y sus componentes orgánicos pueden contribuir en medida que se racionalice el uso del suelo y se exista preservación del carbono orgánico del mismo, mediante prácticas de manejo que promuevan la conservación de los bosques (Orjuela, 2019).

2.9. ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN BOSQUES

El carbono del planeta se almacena en cinco grandes compartimientos: las reservas geológicas, los océanos, la atmósfera, los suelos, y la biomasa vegetal (Gallardo & Merino, 2007). En los ecosistemas terrestres el carbono puede encontrarse incluido en la biomasa vegetal, o en el suelo; donde aproximadamente el 50% del total del carbono contenido en los ecosistemas terrestres se encuentra en los suelos y en la biomasa de los ecosistemas forestales (Gallardo & Merino, 2007). Según Ordoñez (1999) los bosques, a través de la fotosíntesis, absorben 110 Gt C/año, ya que, a diferencia de las especies anuales, los árboles almacenan carbono en sus estructuras leñosas durante periodos prolongados, por lo que son consideradas reservas naturales de carbono. Por lo tanto, el elevado porcentaje de carbono acumulado en los bosques demuestra la importancia del estudio de esta variable en los ecosistemas (Gallardo y Merino, 2007).

La mayor cantidad de carbono que se almacena en los árboles es fijada mediante el proceso de la fotosíntesis y se acumula en la biomasa aérea (Roy & Ravan, 1997; Rodríguez-Veiga *et al.*, 2017). Gallardo y Merino (2005) proponen estrategias de los ecosistemas terrestres como alternativa para la contribución a la mitigación de las concentraciones de GEI a través de estrategias generales, entre las cuales está la conservación o mantenimiento de las cantidades de carbono existentes en la biomasa y suelo de los ecosistemas, evitando las emisiones a la atmósfera. En ella se encuentra la conservación de los bosques naturales, tuberías y humedales, donde para poder conservarlos debemos conocer el potencial de carbono que pueden almacenar.

2.10. METODOLOGÍAS PARA CUANTIFICACIÓN DE ALMACENAMIENTO DE CARBONO

2.10.1 Muestreo piloto para determinación de parcelas y tamaño de muestra

El tamaño óptimo de la unidad de muestreo depende de factores estadísticos y económicos. En estudios sobre ecología o biología, lo ideal es que se realicen muestras del mayor número de unidades muestrales, donde los criterios que generalmente se utilizan para determinar el tamaño de muestra pueden ser: la relación entre la superficie a muestrear y la superficie total, y la homogeneidad espacial de la variable o población en estudio (BOLFORD, 1995). Para ello, se necesita conocer el coeficiente de variación (depende de la homogeneidad del bosque y tamaño de las unidades de muestreo) y la desviación estándar, que de antemano en el área de estudio se desconoce debido a que no hay muestreos ni monitoreos previos del área de estudio en botánica, ciencias forestales y/o agroforestales (BOLFORD, 1995). La descripción más precisa de una

población es el resultado de mediciones detalladas de todos y cada uno sus miembros (lo que comúnmente se conoce como censo). Sin embargo, realizar un censo suele ser en la mayoría de los casos casi imposible debido a su alto costo y a los problemas logísticos asociados. Por lo tanto, una muestra mide una parte de la población y los cálculos basados en los datos recopilados a partir de una muestra medida se extrapolan al conjunto de la población, cuya mayor parte no se ha analizado (Carvajal, 2021).

2.10.2 Establecimiento de parcelas del muestreo oficial

La configuración de la parcela viene definida por el tamaño y la forma y determina las variables que se van a medir en cada ubicación de la parcela de muestra (FAO,2015). Las parcelas de área variable que utilizan el muestreo de Bitterlich son particularmente efectivas a la hora de obtener cálculos precisos de los atributos forestales relacionado con el tamaño de los árboles. El tamaño y la forma óptimos se pueden determinar utilizando una simulación de muestreo y antes de obtener la información, aunque las parcelas circulares a menudo se emplean en los inventarios forestales. (FAO,2015).

2.10.3 Métodos directos

Los métodos para la estimación directa de biomasa aérea (AGB) en campo presentan buenos resultados, sin embargo, son de un costo muy elevado y requieren de un gran despliegue logístico, además de ser un método destructivo debido a la cosecha de árboles para el desarrollo de modelos alométricos locales, lo que se traduce en la destrucción del bosque (Zhu & Liu, 2015).

Si bien los métodos directos son necesarios y de importancia para calibrar las ecuaciones alométricas, pueden llegar a ser de alto costo y muy demorados, además de destructivos (Watzlawick *et al.*, 2001). Los métodos indirectos son utilizados generalmente cuando la disponibilidad de recursos y tiempo es limitada y en casos de que no se requiera o exista la posibilidad de cortar o talar árboles (González, 2008).

2.10.4 Métodos indirectos

Consiste en utilizar ecuaciones o factores de expansión para establecer relaciones entre algunas dimensiones básicas obtenidas en campo (de fácil medición como la altura y el diámetro a la altura del pecho), con características de interés, de manera que no exista necesidad de medir estas últimas. Uno de los métodos indirectos más usados es la estimación de biomasa sobre el suelo de especies arbóreas y no arbóreas, considerando ecuaciones

alométricas ya existentes (Rügnitz, 2009). Por ejemplo, según Brown (1997); Brown y Schroeder (1997) y Schroeder *et al.*, (1997), las ecuaciones alométricas para estimar la biomasa sobre el suelo en bosques naturales y barbechos serían las siguientes (Rügnitz, 2009).

$Y = \exp [-2,289 + 2,649 * \ln(\text{dap}) - 0,021 * (\ln(\text{dap}))^2]$ Para intervalos de dap medidos 5-48 y tipo de bosque: Maderas duras de zonas tropicales húmedas.

$$Y = 21,297 - 6,953 * (\text{dap}) + 0,740 * (\text{dap})^2.$$

Donde:

Y: materia seca sobre el suelo, en kg de materia seca por alcohol

Dap: diámetro a la altura de pecho, en cm

Ln= logaritmo natural; exp= “elevado a la potencia de”

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 MATERIALES

La siguiente tabla contiene los instrumentos utilizados en el presente estudio. Se detalla la descripción y la etapa en la que fueron utilizados.

Tabla 1. Instrumentos utilizados para el presente estudio.

| ETAPA | INSTRUMENTO | DESCRIPCIÓN |
|------------------------------------|--|---|
| Pre-muestreo e inventario forestal | Libreta de campo, lapicero | Anotación de medidas y árboles seleccionados en cada parcela de estudio (pre-muestreo y muestreo) |
| Pre-muestreo e inventario forestal | Cinta aislante roja y amarilla, spray rojo (4) | Identificación de árboles en cada parcela delimitada |
| Pre-muestreo e inventario forestal | Forcípula, clinómetro hope 5 1/4 | Medición de altura y diámetro a la altura del pecho de árboles |
| Inventario forestal | GPS Etrex 21X | Ubicación espacial de las parcelas en estudio y del área delimitada en estudio |
| Inventario forestal | Prensa botánica, papel periódico, rafia | Muestreo de especies para ser identificadas en Herbario MOL UNALM |
| Carbono orgánico en suelo | Bolsas ziploc (21), base de rafia para muestreo de suelo | Medición del % carbono orgánico en suelo en tres puntos de cada parcela en estudio |
| Densidad aparente en suelo | Bolsas ziploc pequeñas (7), cilindro de PVC de 2x2' (100cm ³ aproximadamente) | Medición de la densidad aparente en cada parcela de estudio |
| Carbono orgánico en suelo | Carrito con ruedas (de compras) o algún instrumento para llevar muestras | Traslado vía terrestre de 21kg de suelo* |

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Descripción del área de estudio

El ámbito de estudio comprendió un bosque ribereño de 2,98 Ha del distrito de Caravelí de la provincia de Caravelí – Arequipa – Perú. Se realizó la delimitación de toda el área de estudio utilizando la herramienta cálculo del área del GPS Etrex Garmin 32X, obteniendo 2,98 hectáreas de bosque ribereño seco. (Ver Anexo 1). Los bosques de la cuenca media del distrito de Caravelí se caracterizan por establecerse en condiciones hiperáridas, con una temperatura que oscila entre 18 a 21 °C (Hatta y Tonietto, 2012). Se visualizó en toda la cuenca, incluyendo todos los sectores del distrito, la dominancia de la especie *Vachellia macracantha*, seguida de la especie *Schinus molle*. Algunas comunidades de estas especies se encuentran establecidas alrededor de los cultivos de viñedos y paltos, mientras que otras constituyen un bosque primario alrededor de la cuenca. El área de estudio se encuentra en el distrito de Caravelí, provincia de Caravelí, departamento Arequipa, país Perú. Su ubicación geográfica es: 15° 45'47'' S 73° 21'20''W y su altitud es de 1779 msnm.



Figura 6. Imagen del área de estudio y alrededores donde se observan cultivos agrícolas y monte ribereño

Según la Memoria Descriptiva de la Zonificación Ecológica Económica (ZEE) de Arequipa del año 2018 y CESEL INGENIEROS (2009), se clasifica el área de estudio como “Monte ribereño” y aledaño al Monte Ribereño se encuentra la cobertura vegetal “Cultivos Agrícolas”. (ver Figura 57). Además, según el Mapa de cobertura vegetal del MINAM

(2015), el área de estudio se encuentra en la clasificación de “Agricultura costera y andina” (ver Figura 55); según el Mapa de Capacidad de Uso Mayor (ONERN, 1984) se encuentra como “Tierra de protección (X)” y en el Mapa de Patrimonio Forestal Nacional (2010) se ubica en “otras áreas” específicamente en “Agricultura” colindante a “Matorrales en tierras de protección”. Para la determinación de la zona de vida, se caracterizó como Desierto desecado premontano tropical (dd-S), abarcando la ciudad y zonas aledañas; esta zona de vida se extiende desde el nivel del mar hasta los 1800 msnm y tiene una temperatura media anual de 18 y 19°C. El tipo de suelo es oxisol, la textura es franco arenoso y tiene un pH aproximado de 3. (ZEE, 2018). Si bien la literatura afirma que en esta zona de vida no existe cobertura vegetal a excepción del afloramiento de especies halófitas en pequeñas manchas verdes dentro de extenso y monótono arenal grisáceo eólico (CESEL Ingenieros, 2009), la presencia del Río Caravelí en esta zona de vida provee los componentes necesarios para la formación de Monte Ribereño alrededor del mismo. Se tiene registros por CESEL Ingenieros (2009) en lugares cercanos a los ríos, donde se evidencian especies como “Huarango” (*Vachellia macracantha*), la “caña brava” (*Gynerium sagittatum*), “pájaro bobo” (*Tessaria integrifolia*) y el “chilco” (*Baccharis lanceolata*).

3.2.1.1 Monte Ribereño

Este tipo de formación vegetal es típico de las riberas fluviales, el cual contrasta fuertemente con los pisos de vegetación vecinos. Está formado por comunidades perennifolias de árboles y arbustos. Muchas áreas del monte ribereño se encuentran alteradas por actividades agrícolas. Según Weberbauer (1964), los montes de *Acacia macracantha* acompañan, desde los últimos sitios habitados, al río seco, llegando hasta la cercanía del mar, en el pueblo de Caravelí a 1687 m. Además, menciona la presencia de un valle escaso de agua, donde pasa la línea donde se tocan el desierto y el piso de las cactáceas. La ZEE (2018) menciona que la vegetación de monte ribereño se caracteriza por ser una zona muy dinámica debido a la acción del río por lo cual su tamaño puede variar. Además, la extracción de leña y pastoreo conlleva a la pérdida de diversidad vegetal y disminución de la protección o defensa ribereña de esta cobertura vegetal. Se describe al monte ribereño como un monte siempre verde, que presenta árboles y arbustos adaptados a sequías y a obtener agua de fuentes de agua cercanas o de la napa freática. Entre las especies que predominan en el monte ribereño se encuentra *Salix chilensis* “Sauce”, *Acacia macracantha* “Huarango”, *Caesalpinia spinosa* “Tara” y *Baccharis scandens* “Chilco” y *Schinus molle* “Molle” (ZEE, 2018).

3.2.2 Muestreo estratificado y descripción de estratos en estudio

Se utilizó el diseño de muestreo estratificado; el bosque en estudio se dividió en tres (3) estratos (E): Estrato 1 (E1), Estrato 2 (E2) y Estrato 3 (E3). Se tomaron como criterios para esta clasificación la diferencia de alturas entre 2 a 3 metros entre cada estrato, además de las diferencias de DAP que cada estrato obtuvo en el pre-muestreo (muestreo previo del área de estudio realizado por la tesista en abril-mayo del año 2022). En la Figura 7 podemos observar que P1, P2 y P3 (parcelas con simbología circular amarilla en la leyenda del mapa) pertenecen al Estrato 1 (E1); las parcelas P4 y P5 (parcelas con simbología circular celeste en la leyenda) pertenecen al Estrato 2 (E2) y las parcelas P6 y P7 (con simbología circular morada en la leyenda) pertenecen al Estrato 3.

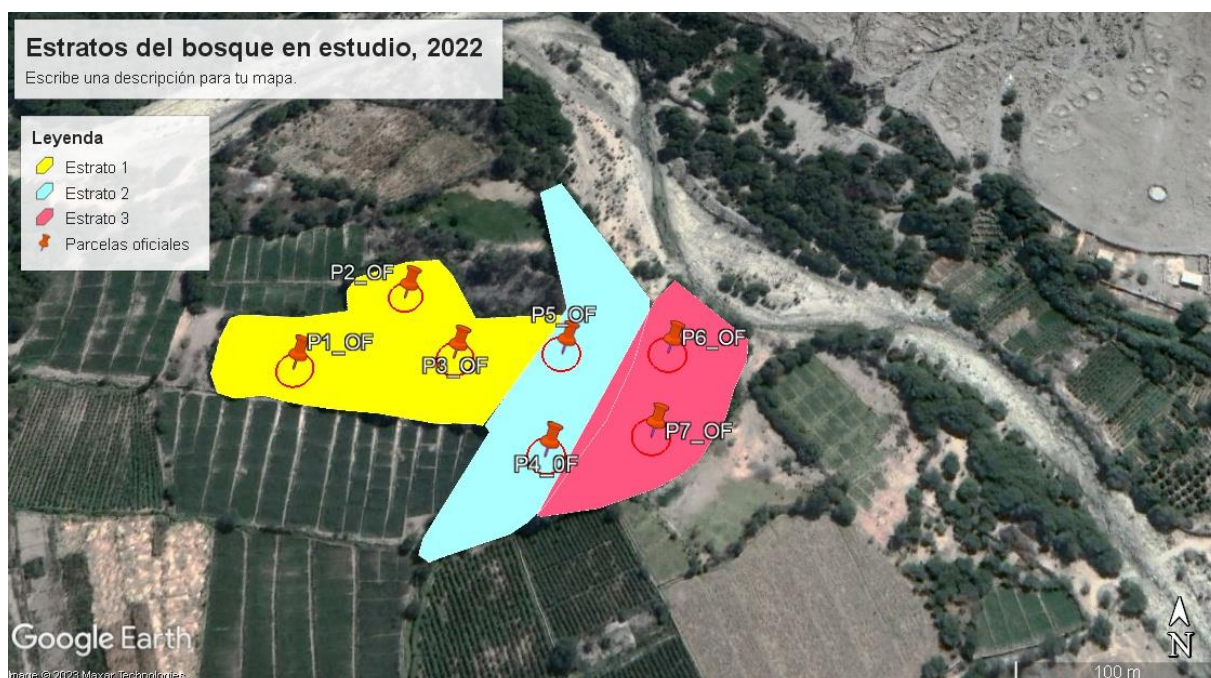


Figura 7. Estratos del bosque en estudio en el año 2022.

El Estrato 1 (E1) tiene una extensión de 1,2 Ha abarcando el 40,27% del área total del bosque. Este estrato tiene un rango de altitud entre 1700-1697 msnm y es el estrato más alto del área en estudio. En este estrato hay presencia de individuos de *Vachellia macracantha* con numerosas espinas y un individuo con 11 bifurcaciones (número máximo de fustes múltiples en el bosque en estudio. Además, se evidencia presencia de brotes a partir de árboles muertos y/o talados. Alrededor del Estrato 1 se observan cultivos de alfalfa.

El estrato 2 (E2) tiene una extensión de 1,0 Ha abarcando el 33,56% del área total del bosque en estudio. Este estrato tiene un rango de altitud entre 1697-1695 msnm. En este estrato en los meses de agosto-setiembre 2022 durante la toma de datos de las variables para

la estimación de carbono de las parcelas oficiales, se evidenció presencia de ganado vacuno debido al servicio de alimentación por día en los cultivos de alfalfa del Fundo Huachipa. Además, Krinwer García (persona local y parte de la familia del Fundo Huachipa) evidencia mediante testimonio en una conversación informal que el área que se conoce como Estrato 2 para el presente estudio es utilizado como dormitorio por el ganado vacuno. La presencia de ganado vacuno de otros fundos es temporal (solo cuando se brinda el servicio de alimento directo del alfalfar por 5-6 días); sin embargo, también a lo largo del pre-muestreo y muestreo en las salidas de campo de mayo, agosto, setiembre y noviembre del año 2022, se evidenció presencia de ganado vacuno caminando y/o bebiendo agua del cauce del río cercano a las parcelas.

El estrato 3 (E3) tiene una extensión de 0,78 Ha abarcando el 26,17% del área total del bosque en estudio. Este estrato tiene un rango de altitud entre 1693 y 1691 msnm. El estrato 3, en especial la parcela 6 (P6) es el área estudiada más cercana al cauce actual del río. En el estrato se observó presencia de individuos pequeños (DAP >5cm) de la especie *Schinus molle*.

Tabla 2. Tabla del porcentaje del área total y cantidad de hectáreas por estrato del bosque en estudio.

| Estrato | Hectáreas (Ha) | Porcentaje del área total |
|------------|----------------|---------------------------|
| E1 | 1,2 | 0,4027 |
| E2 | 1 | 0,3356 |
| E3 | 0,78 | 0,2617 |
| Área total | 2,98 | 1 |

Tabla 3. Parcelas en estudio de cada uno de los estratos (E1,E2, E3) con las coordenadas de los centroides de cada parcela, la altitud, pendiente y descripción.

| Parcela | Estrato | Este | Norte | Altitud (msnm) | Pendiente (%) | Descripción |
|---------|---------|--------|---------|----------------|---------------|--|
| P1 | E1 | 678137 | 8254225 | 1700 | 10 | Cerca de la salida al oeste de cultivos de alfalfa |
| P2 | E1 | 678194 | 8254269 | 1699 | 20 | Cerca a la entrada desde cultivos de alfalfa |
| P3 | E1 | 678224 | 8254232 | 1697 | 10 | En el medio del "rectángulo" de la flecha |
| P4 | E2 | 678276 | 8254176 | 1695 | 20 | Cerca de la zona quemada de huarangos |
| P5 | E2 | 678283 | 8254236 | 1695 | 20 | Cerca a los cultivos (punta de la flecha) |
| P6 | E3 | 678342 | 8254237 | 1693 | 10 | Cerca al río donde se encuentra ganado |
| P5 | E2 | 678283 | 8254236 | 1692 | 20 | Cerca a los cultivos (punta de la flecha) |

3.2.3 Etapa I: Inventario Forestal

3.2.3.1 Muestreo piloto o pre-muestreo

Se realizó un pre-muestreo de poca intensidad, para la estimación de la desviación estándar y el coeficiente de variación. Con ello, se obtuvo el tipo de muestreo a realizar y observar (muestreo estratificado) y las características del terreno para posteriormente realizar el muestro oficial. Además, se realizó la identificación de riqueza de especies de interés; donde se encontró presencia de *Vachellia macracantha* y *Schinus molle* como especies arbóreas. Además, el pre-muestreo es recomendado cuando no existe información previa del área de estudio. Para la aleatoriedad del establecimiento de parcelas para el pre-muestreo, se utilizó la herramienta de Puntos Aleatorios del programa ArcGIS 10.8 para tomar puntos sin sesgo dentro del polígono establecido como el área de estudio (Bosque de monte ribereño propuesto como Bosque Tropical Estacionalmente Seco), con el objetivo de determinar el número de parcelas que se deben construir para la correcta comprensión de las dinámicas del bosque (Tapasco *et al.*, 2020). Las parcelas deben ser de una medida que entren al menos 10-15 pies mayores(árboles) por parcela. Del N° pies/ parcela del muestreo piloto se podrá obtener información del área basimétrica y de la densidad de cada parcela (Martínez Millán, 1971).

Con ello, conseguimos los valores estadísticos como el coeficiente de variación y el error estándar. Se conoce que estadísticamente es mejor obtener la mayor cantidad de parcelas (unidades) en comparación de pocas unidades muestrales con una mayor área (BOLFORD,1995). Para la realización del inventario, es un requisito conocer el número de unidades de muestreo necesarias para alcanzar un cierto error admisible (10%) con cierto nivel de confianza (95%). Se realizaron las siguientes fórmulas:

$$E\% = \frac{t \times s\%}{\sqrt{n}} \quad \text{Ec. (1)}$$

$$n = \frac{t^2 s\%^2}{E\%^2} \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde:

t = valor que define el nivel de confianza

$s\%$ = estimación del coeficiente de variación de la población

$E\%$ = Error admisible

Con el coeficiente de variación calculado mediante el pre-muestreo y el establecimiento de algunas parcelas para lograr la data base, y adicionando el error admisible hallado en la fórmula anterior, se puede calcular el número de parcelas con un nivel de confianza del 95%.

Para la realización del pre-muestreo, se utilizará la fórmula genérica de número de parcelas para un único estrato (diseño aleatorio no estratificado), con el fin de evitar cualquier sesgo en los resultados (Pearson *et al.*, 2005) y, además, tomando en cuenta la aparente homogeneidad del bosque en estudio. Además, se considerará un nivel de precisión de 10-20% y un nivel de confianza del 95% tomando como referencia La Guía para la Determinación de Carbono de Pequeñas Propiedades Rurales (Rügnitz *et al.*, 2009). La fórmula para la determinación del número de parcela para un solo estrato según Rügnitz *et al.*, (2009) se presenta a continuación:

$$n = \frac{(N * s)^2}{\frac{N^2 * E^2}{t^2} + N * S^2} \quad \text{Ec. (3)}$$

Donde:

n = número de parcelas

E = error permitido (promedio por nivel de precisión seleccionado). Como fue visto en el paso anterior, el nivel de precisión recomendado es de $\pm 10\%$ (0,1) del promedio, pero puede llegar a $\pm 20\%$ (0,2).

t = muestra estadística de la distribución t para un nivel de 95% de confianza (generalmente se utiliza 2 como número de muestra)

N = número de parcelas en el área del estrato (área del estrato dividido por el tamaño de la parcela en ha)

s = desviación estándar del estrato h.

Al tener los cálculos establecidos del número de parcelas y el tamaño de cada parcela (evaluada estadísticamente), se tomará la decisión de viabilidad del número de parcelas. Se establecieron 14 parcelas de manera aleatoria en el pre-muestreo del bosque como se muestra en la Si bien el bosque en estudio aparenta ser homogéneo, se demostró con el pre-muestreo que existen tres estratos diferenciados por separaciones de altitud entre 2-3 m entre ellos y de una barrera física (canaleta) entre los estratos definidos como Estrato 2 (E2) y Estrato 3 (E3) (ver Figura 7).



Figura 8. Mapa del bosque en estudio con las parcelas de pre-muestreo (14) establecidas para la toma de datos de DAP.

Además, los resultados de pre-muestreo evidencian diferencia de $DAP > 5\text{cm}$ entre los estratos, teniendo un promedio de 9,26 cm de DAP para el E1, un promedio de 14,05 cm de DAP para el estrato 2 y un promedio de 11,44 cm de DAP para el estrato 3. Además, en el E2 se reportaron árboles con un máximo de 62,39 cm de DAP mientras que en el E1 se reportaron árboles con un máximo de 24,83 de DAP. Por ello, se utilizó la fórmula propuesta por Rüginitz *et al.*, (2009) establecida para uno o más estratos:

$$n = \frac{(\sum_{h=1}^L N_h * S_h)^2}{\frac{N^2 * E^2}{t^2} + (\sum_{h=1}^L N_h * S_h^2)} \quad \text{Ec. (4)}$$

Donde:

n = número de parcelas

E = error permitido (promedio por nivel de precisión seleccionado). Como fue visto en el paso anterior, el nivel de precisión recomendado es de $\pm 10\%$ (0,1) del promedio, pero puede llegar a $\pm 20\%$ (0,2).

t = muestra estadística de la distribución t para un nivel de 95% de confianza (generalmentese utiliza 2 como número de muestra)

N = número de parcelas en el área del estrato (área del estrato dividido por el tamaño de la parcela en ha)

s = desviación estándar del estrato h.

La decisión de realizar el muestreo oficial por estratos se consideró según recomendaciones de Rüginitz *et al.*, (2009), ya que, existe una reducción de la desviación estándar de los datos y por ende del coeficiente de variación; los costos de muestreo se ven reducidos (debido a la cantidad de número de parcelas para que el resultado sea significativo) y se aminora complejidad de análisis.

Se establecieron 14 parcelas de 8 metros de radio, obteniendo un 28,45% de coeficiente de variación (CV) con un error estimado de 15%. Este error está dentro del rango de error admitido por Rüginitz *et al.*, (2009) para la estimación de carbono de bosques en pequeñas comunidades rurales (0-20%). Las 14 parcelas de pre-muestreo se establecieron aleatoriamente con la herramienta de Puntos Aleatorios de ArcGIS 10.8.

Tabla 4. Número de individuos por parcela registrados en el pre-muestreo del bosque colindante a fincas de viticultura en el fundo Huachipa.

| N° parcela | N° pies/parcela | Radio parcela | Superficie parcela | N° pies/ha |
|-------------------|------------------------|----------------------|---------------------------|-------------------|
| 1 | 11 | 8 | 201,6 | 545 |
| 2 | 24 | 8 | 201,6 | 1190 |
| 3 | 27 | 8 | 201,6 | 1339 |
| 4 | 16 | 8 | 201,6 | 793 |
| 5 | 9 | 8 | 201,6 | 446 |
| 6 | 18 | 8 | 201,6 | 892 |
| 7 | 22 | 8 | 201,6 | 1091 |
| 8 | 15 | 8 | 201,6 | 744 |
| 9 | 8 | 8 | 201,6 | 397 |
| 10 | 8 | 8 | 201,6 | 397 |
| 11 | 8 | 8 | 201,6 | 397 |
| 12 | 6 | 8 | 201,6 | 297 |
| 13 | 5 | 8 | 201,6 | 248 |
| 14 | 4 | 8 | 201,6 | 198 |

Tabla 5. Parámetros estadísticos del pre-muestreo.

| Parámetro estadístico | Valor |
|------------------------------|--------------|
| Desviacion estandar | 21,96 |
| CV | 28,45 |
| Error estimado | 15% |
| N° parcelas | 14 |

3.2.3.2 Muestreo oficial

Se tomó en cuenta la información porcentual acerca de los estudios de carbono en bosques, donde se considera adecuado el uso de un error de 10 a 20% (Pearson *et al.*, 2005), para la

decisión del número de parcelas. Se establecerán las parcelas mediante la adaptación del PROTOCOLO DRYFLOR (Red florística de bosques tropicales estacionalmente secos), debido a la particularidad del bosque en estudio en cuanto a la similitud de especies y condiciones climáticas con el bosque seco; en el marco de la necesidad de obtener resultados comparables y relacionables a nivel de bosques ribereños costeros y/o bosques con características similares. Además, se conoce relativamente poco acerca de los bosques secos (DRYFLOR,2020) y la mayoría de los protocolos, manuales y guías para la determinación de parcelas, monitoreo o stock de carbono está basada en bosques tropicales, por lo cual, este protocolo busca la estandarización de las mediciones y datos entre estudios, biomas y continentes facilitados en el protocolo, con el fin de proporcionar información para comprender como estos responden al cambio global. (DRYFLOR, 2020). Las parcelas deben tener una distancia de >20m, y no deben estar a la vista del punto de inicio original, para evitar de esta manera el sesgado. Se midieron los parámetros diámetros y alturas para todos los individuos encontrados dentro de la parcela circular. A partir de esta información se calculan parámetros como densidades que se utilizaran para la extrapolación poblacional. Se realizaron intervalos dependiendo de los datos obtenidos en el pre-muestreo para establecer las clases diamétricas.

3.2.3.3 Establecimiento de parcelas del muestreo oficial

En el área de estudio se establecieron siete (7) parcelas circulares de 10m de radio, obteniendo un área por parcela de 314,16 m² (Recavarren, 2015). Las dimensiones de la parcela dependieron de la cantidad de hectáreas que tiene el área de estudio; al ser un área pequeña (2,98 Ha) y al considerar el área mínima entre parcelas de 65 m establecida según la fórmula de Dauber (1995). El número de parcelas se estableció de acuerdo con el número de muestras por estrato provenientes de la información del pre-muestreo del área de estudio (E1 n=3, E2 n=2, E3 n=2; ver **Anexo 4**). Las parcelas fueron circulares debido a la disminución del efecto de borde con la forma (Melo *et al.*, 2003). Además, según McRoberts *et al.*, (1992) se recomienda el uso de parcelas circulares para un área de parcela determinada debido a que serán necesarias menos decisiones según determinados árboles pertenezcan o no a la parcela, además de tener un solo punto de control (el centroide).

Se ubicaron los centroides de cada parcela usando el Garmin Etrex 22x con el recorrido de puntos que ofrece este instrumento. Una vez ubicado el punto centroide, a partir de él se midió en forma de cruz dos diámetros perpendiculares de 10m de la parcela para poder identificar todos los árboles incluidos dentro de la parcela posteriormente establecida.

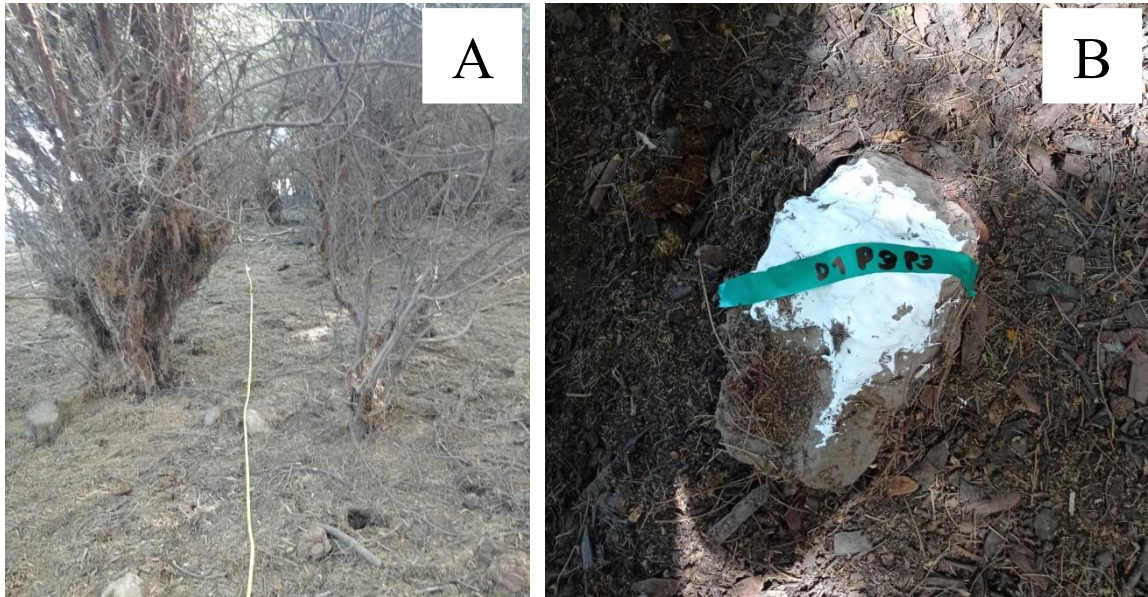


Figura 9. Imágenes en el proceso de establecimiento de las parcelas. Se observa la ubicación de los centroides de la parcela y la medición del diámetro(10m).

Además, con ayuda del GPS se ubicó el norte en cada uno de los centroides. La Figura 9 muestra el proceso de establecimiento de parcelas.

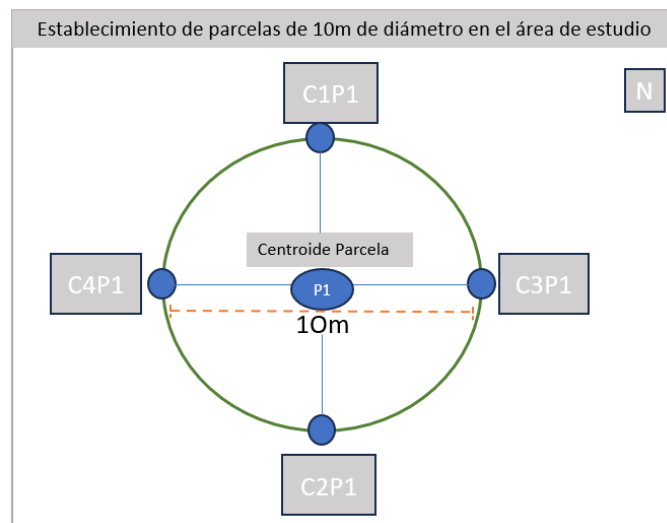


Figura 10. Forma y tamaño de la parcela.

El número total de parcelas a muestrear de acuerdo con los resultados obtenidos en la fórmula para hallar el tamaño óptimo de la muestra fue de siete (7) parcelas (ver **Anexo 4**). Cabe resaltar que se tomó como referencia a Emmer (2007) donde afirma que para proyectos forestales se utiliza un nivel de precisión de +/- 10% del valor promedio de carbono, sin embargo, en proyectos de tipo MDL forestal a pequeña escala pueden utilizar un nivel de precisión de hasta +/-20%. En el presente estudio, se tomó en consideración para la fórmula

un error de 20%, error máximo aceptado para los estudios de carbono en bosques (Pearson *et al.*, 2005) para la decisión del número de parcelas. Para lograr la aleatoriedad de las parcelas se utilizó el programa ArcGIS 10.5.1 y la herramienta “Puntos aleatorios”. Debido a la extensión limitado del bosque en estudio, se utilizaron parcelas circulares de 10m (314,16 m²), con el objetivo de tener una mayor cantidad de parcelas de menor área (a mayor cantidad de unidades de muestreo, en este caso; las parcelas, mayor representatividad se tendrá del presente bosque).

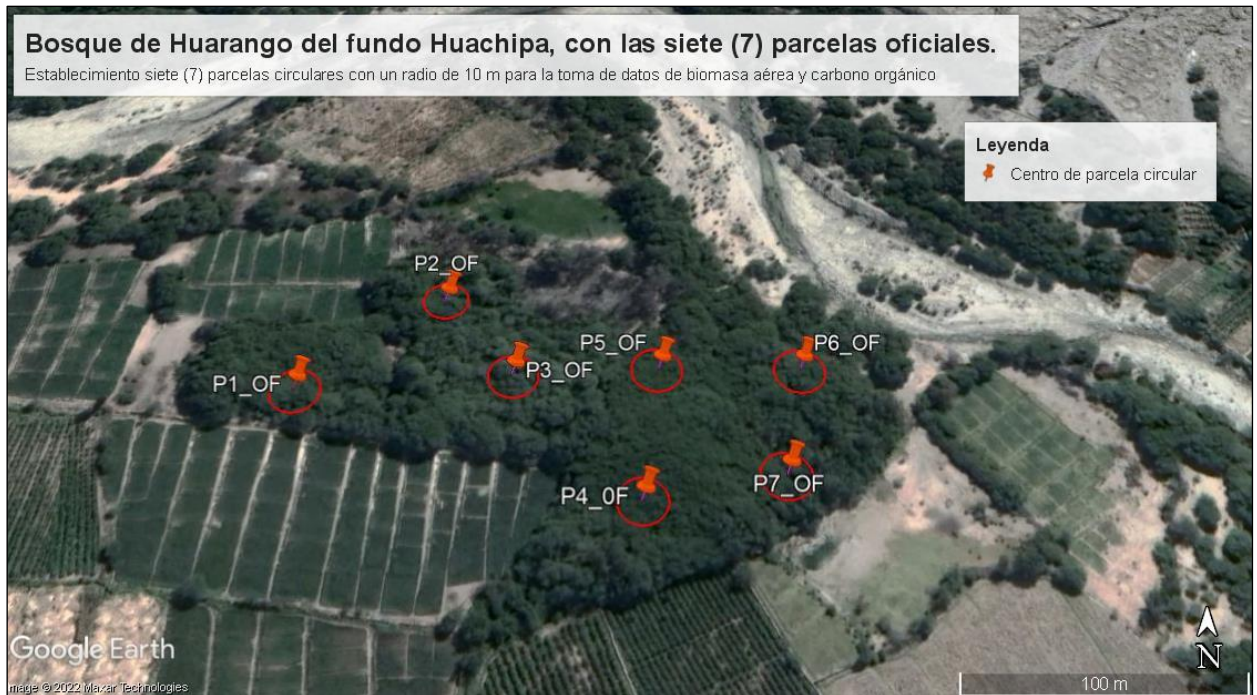


Figura 11. Establecimiento de las parcelas oficiales para la toma de datos de biomasa aérea y carbono orgánico en el suelo.

FUENTE: Imagen de Google Earth Pro.

Se tuvo en cuenta la distancia mínima de 20 m que debía existir entre parcelas según DRYFLOR (2020). Además, según Dauber (1995) se recomienda como distancia entre parcelas la obtenida de acuerdo con:

$$d = \frac{\sqrt{A}}{\sqrt{N}} = \frac{\sqrt{0,0297}}{\sqrt{7}} = \frac{0,17233}{2,6457} = 0.0651358808 \quad \text{Ec. (5)}$$

Donde:

D: Distancia entre los puntos centrales (km)

A: Área total del bosque a representar (km²)

N: Número de unidades de muestreo = 7

El resultado 0.0651368 es la distancia en kilómetros entre los puntos centrales. El valor en metros de la distancia entre puntos centrales es de 65,315 metros. Por ello, se adicionó a la capa de puntos aleatorios de ArcGIS, la herramienta distancia entre puntos.

Las siete (7) parcelas oficiales se establecieron manteniendo la distancia de 65 m entre los centros de cada una de ellas; además de estar en cada estrato previamente definido. Espacialmente están distribuidas de la siguiente manera (imagen extraída de Google Earth Pro, 2022).

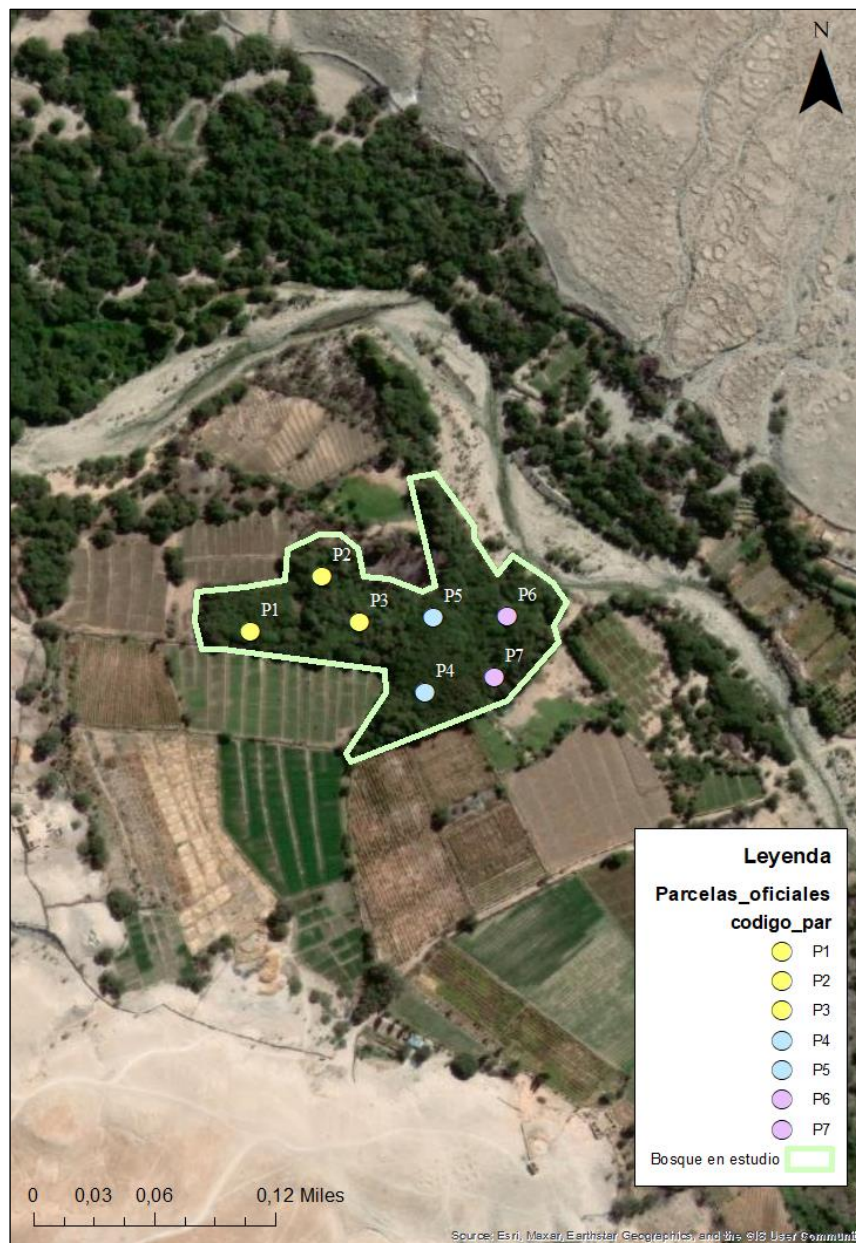


Figura 12. Mapa de ubicación de parcelas oficiales realizado en ArcGIS 10.6.1.

3.2.3.4 Inventario forestal

Se realizó la identificación y conteo de individuos de estrato arbóreo con diámetros mayores a 5cm (DAP > 5 cm), dentro del número de parcelas determinadas por el pre-muestreo (BOLFOR, 1995; Delgado y Recavarren, 2012; MINAM, 2015; Garatuza, 2011). Se rotularán y marcarán todos los individuos encontrados en el área descrita, seguidamente de realizar mediciones como altura, tipo de diámetros, entre otros. A continuación, se realizó el conteo de los individuos por especie y se dividirá entre el área en hectáreas, para así tener datos de: abundancia o densidad, dominio y clases diamétricas (Manzanero y Pinelo, 2004).

3.2.3.5 Determinación taxonómica

Se tomaron las muestras del campo para poder identificar las especies taxonómicas. Las muestras pasarán por el proceso de prensado, asignación del número de colecta, y preservadas en alcohol al 70% hasta su determinación en el herbario MOL y su comparación con otros herbarios internacionales.

Las especies determinadas serán ordenadas bajo el sistema de clasificación APG IV (2016). Las muestras se compararon con ejemplares del Herbario Augusto Weberbauer (Herbario MOL) del Departamento Académico de Biología de la Universidad Nacional Agraria La Molina. La nomenclatura científica se realizó por un especialista asociado al Herbario MOL, obteniendo la constancia de determinación taxonómica 014-2023-HM-UNALM.

3.2.4 Etapa II: Almacenamiento de Carbono

3.2.4.1 Muestreo y Estimación Biomasa Aérea

La muestra para la etapa 2 corresponde a los individuos identificados con un DAP mayor o igual a 5 cm dentro de parcelas establecidas por el muestreo piloto (Chávez, 2018; Martínez-Millán, 1971). En este estudio se aplicarán métodos indirectos para el cálculo de carbono almacenado, evitando la modificación de la densidad del bosque mediante métodos destructivos (directos), usando el diámetro del árbol y la altura de los individuos o la densidad de la madera (Pearson *et al.*, 2005).

3.2.4.1.1 Medición de árboles

Se tomará en cuenta criterios como irregularidad de la superficie cuando sea necesario durante las mediciones. Criterio: La posición de medición del DAP de un árbol en terrenos inclinados debe ser cuesta arriba.

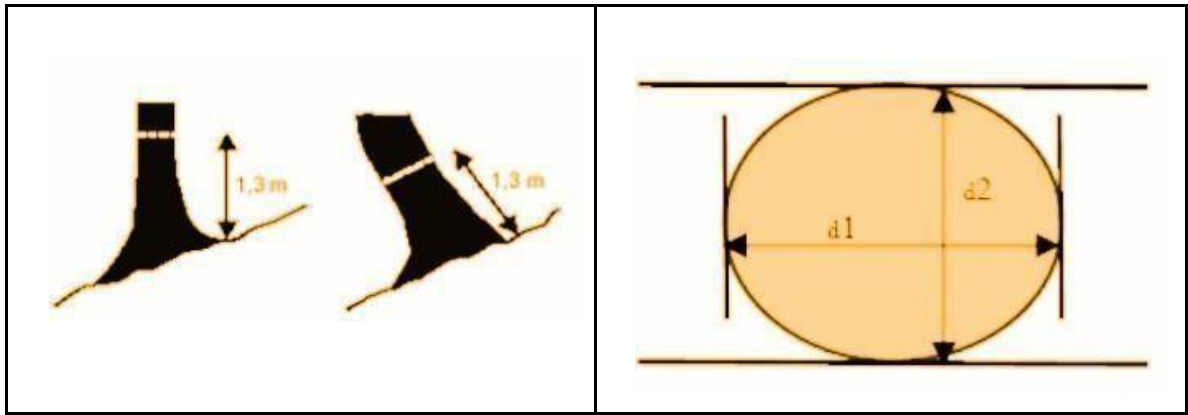


Figura 13. Irregularidad superficial y DAP promedio.

La medición del DAP se realizó con una cinta métrica, calculando el valor de la circunferencia del fuste. Para hallar el diámetro a la altura del pecho (DAP) de cada individuo muestreado se utilizó la siguiente ecuación:

$$D = \frac{C}{\pi} \quad \text{Ec. (6)}$$

Donde:

D: diámetro

C: Circunferencia medida con la cinta métrica

Pi(pi): equivale a 3,14159

Adicionalmente se harán ajustes de sección no circular mediante el cálculo del promedio además de la aplicación de ajuste de forma para los casos donde sea necesario (Chávez, 2018 & MINAG. 2011). La fórmula fue la siguiente:

$$DAP = \frac{1}{2}(D1 + D2) \quad \text{Ec. (7)}$$

3.2.4.1.2 Medición de altura y densidad de madera

La altura total (H') de los árboles inventariados en cada parcela fueron tomados con el instrumento Clinómetro Hope 5 ¼. Se anotaron los ángulos en una libreta de campo para posteriormente en la etapa de campo calcular la altura total de cada árbol convertido en metros. Para el caso de árboles con fustes múltiples, se tomó la altura de cada fuste para luego incorporarlo en la fórmula de estimación de biomasa acumulada.



Figura 14. Uso del clinómetro Hope 5 ¼ para la toma de datos de altura total de los árboles inventariados en las parcelas establecidas en el área de estudio.

La densidad de madera varía según la especie del árbol, las condiciones de crecimiento y la parte del árbol medido (World Agroforestry, 2021). La densidad de madera para la especie *Acacia macracantha* (en el año que se realizó la base de datos la especie *Vachellia macracantha* aún era denominada taxonómicamente como *Acacia macracantha*) fue estimada utilizando los datos reportados para los bosques neotropicales en el Global Wood Density Database. Para la especie *Vachellia macracantha*, Zanne *et al.*, (2009) reporta el valor $0,77730 \text{ g/cm}^3$ como densidad de madera para esta especie. Como la base de datos es del año 2009, la especie se registra como *Acacia macracantha*.

3.2.4.1.3 Estimación de la biomasa aérea y reporte de CO₂

Para calcular el carbono almacenado en biomasa aérea, se utilizó un método indirecto, considerando la importancia de obtener datos de una metodología no destructiva y además por su bajo costo. Por ello, se utilizó la ecuación alométrica para bosques secos mixtos propuesta por Chave *et al.*, (2005). Esta ecuación requiere la medición en campo de las variables diámetro a la altura del pecho (DAP) y altura (H) dentro de las parcelas y densidad de la madera (ρ) para ser reemplazadas luego en el siguiente modelo:

$$BA_{est} = \exp(-2.187 \times \ln(\rho * DAP^2 * H)) = (0.112 * \rho * DAP^2 * H)^{0.916}$$

Ec. (8)

Donde:

BA= Biomasa aérea

Ln: logaritmo natural

ρ : Densidad de madera

DAP: Diámetro a la altura del pecho (cm)

H: Altura total (m)

Para el caso de los datos relacionados a densidad de madera, se utilizó la identificación de la especie presente en el bosque para realizar la búsqueda del valor de densidad de madera de la especie en estudio en “Global Wood Density database” (Zanne *et al.*, 2009). Si bien se pretende encontrar la densidad de madera a nivel de especie, también se puede usar como referencia a Honorio y Baker (2010), para tener el valor de densidad a nivel de género o familia. Además, esta ecuación fue utilizada para estudios semejantes por Salas *et al.* (2020) y Cueva *et al.* (2019) para estudios de biomasa arbórea en bosque secos de Loja, Ecuador.

En función a los parámetros disponibles y los criterios de cálculo de masa, se aplicó el factor de conversión de 0,5 para transformar la biomasa a carbono (Brown y Lugo, 1992; Rainforest Alliance, 2015; Siu y Ordeñana 2001; Dauber *et al.*, 2004; Rüginitz *et al.*, 2009) y posteriormente se reportó su equivalente en CO₂. El carbono será convertido a CO₂ multiplicando por 3,67, de acuerdo con su equivalencia estequiométrica (IPCC, 2006).

$$0.5 \text{ tC} \sim 1 \text{ Ton Biomasa} \sim 3.67 \text{ CO}_2$$

Ec. (9)

Finalmente se reportó la estimación de la biomasa de todos los individuos encontrados en las parcelas temporales del bosque colindante al fundo Huachipa y el cálculo de la aproximación de carbono almacenado.

3.2.4.2 Muestro y estimación carbono almacenado en suelo

3.2.4.2.1 %Carbono orgánico del suelo y densidad aparente como indicadores de almacenamiento de carbono en suelo (COS)

Para la determinación de equivalencias de biomasa, CO₂ y carbono a nivel del suelo, se realizaron muestreos individuales dentro de compartimentos paralelos ubicados en las parcelas determinadas por el muestreo piloto. (Modificado de Chávez, J. 2018). Se tomaron tres muestras del suelo a una profundidad de 30 cm (Siu y Ordeñana, 2001) de cada compartimiento perpendicular, para ser homogeneizadas en una muestra compuesta de la que se tomó una muestra final de 1 kg, resultando tres muestras por cada parcela establecida en la etapa 1. Las muestras (3 muestras por parcela; en total 21 muestras) fueron analizadas en Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes (UNALM), donde se medirá el porcentaje de carbono orgánico (%C), usando el método Walkley y Black modificado (1947).

Se realizó la extrapolación a Mg-C/ha (t C/ha) mediante la relación de carbono en el suelo y densidad aparente del suelo, determinándose la densidad aparente mediante un muestreo con un cilindro (100 cm³) a una profundidad de 30 cm del suelo; para así conocer la relación masa de suelo- volumen (Sánchez *et al.*, 2008, Siu y Ordeñana, 2001; Cueva, 2015; Calderón y Solís, 2012; Gayoso *et al.*, 2001).

Con los datos de densidad aparente y % carbono orgánico del suelo, se utilizó la fórmula propuesta por Andrade & Ibrahim (2003) y también usada por Hidalgo (2014) en un estudio de almacenamiento de carbono del suelo en Perú. La ecuación es la siguiente:

$$COS = C_i * TH_i * BD_i \quad \text{Ec. (10)}$$

donde:

COS = Carbono orgánico del perfil del suelo

C_i = % carbono orgánico del horizonte i (%)

TH_i = Espesor o profundidad del horizonte i (m)

BD_i = Densidad aparente del horizonte i (g/cm³)

Se elaboró un flujo de las actividades realizadas en la metodología, para la descripción del área de estudio, la Etapa I (Inventario Forestal) y Etapa II (Almacenamiento de Carbono) en el programa Bizagi Process Modeler. Además, en el flujo se encuentran las actividades específicas de campo, de gabinete y de laboratorio. (ver Figura 15).

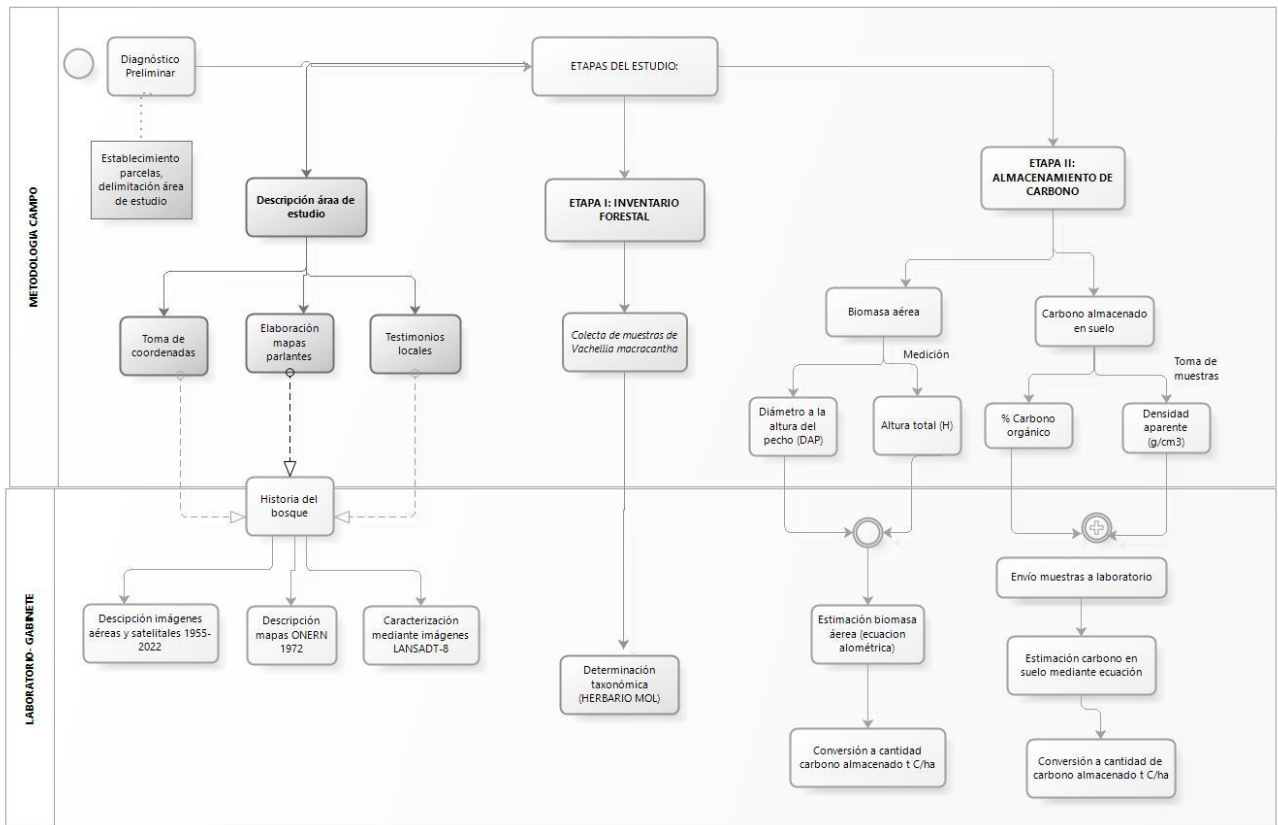


Figura 15. Flujo de actividades realizadas en la etapa de campo y etapa de gabinete de acuerdo con la metodología del presente estudio.

3.2.5 Descripción de la Cuenca Caravelí- Pescadores

La cuenca de Caravelí tiene forma alargada, fondo profundo y quebrado, con fuertes pendientes, presenta descargas solo en época de avenidas, esporádicas y de corta duración, con años en que se presenta seco; en la parte baja pequeños afloramientos de agua son utilizados para la agricultura. (Evaluación de Peligros de Caravelí, 2001). El río Caravelí nace de una serie de quebradas en la parte alta de la cuenca, las que se juntan en las quebradas de Chuñño y Macha. Su nombre cambia en las cercanías de su desembocadura a Río Pescadores; siendo sus afluentes principales por la margen derecha La Yesera y Pedregal de Llocllasca, y por la margen izquierda, las quebradas Grande de Ocoruro, San Gregorio, Macha, Chuicane, Huarucanqui y Las Ovejas, presenta un caudal promedio de 1,4 m³/s, una longitud de 136 km, con una pendiente promedio de 3% (Evaluación de Peligros de Caravelí, 2001). En época de lluvias su caudal es considerablemente mayor que en épocas secas, donde

es escaso de caudal. El tramo inicial de lecho está desarrollado en rocas intrusivas y origina una quebrada estrecha (100-300) metros de ancho. Al sur del pueblo de Caravelí su cauce está labrado sobre rocas clásticas, por lo que, el valle es bastante amplio (Evaluación de Peligros de Caravelí, 2001). La cuenca húmeda es de 981 km², el curso es poco sinuoso, teniendo desde su origen una dirección N-S. Forma dos valles: Caravelí a 1780 msnm, tipo interandino con características subtropicales; y Pescadores, cerca de su desembocadura (Evaluación de Peligros de Caravelí, 2001). En cuanto a las zonas de vida, la parte urbana y zonas aledañas cuesta se clasifica como Desierto desecado premontano tropical (dd-S),, mientras que el desierto desecado montano bajo subtropical (dd-MBS) se ubica en la parte más alta, desde el borde superior de la ciudad hacia la parte intermedia y alta de la cuenca.

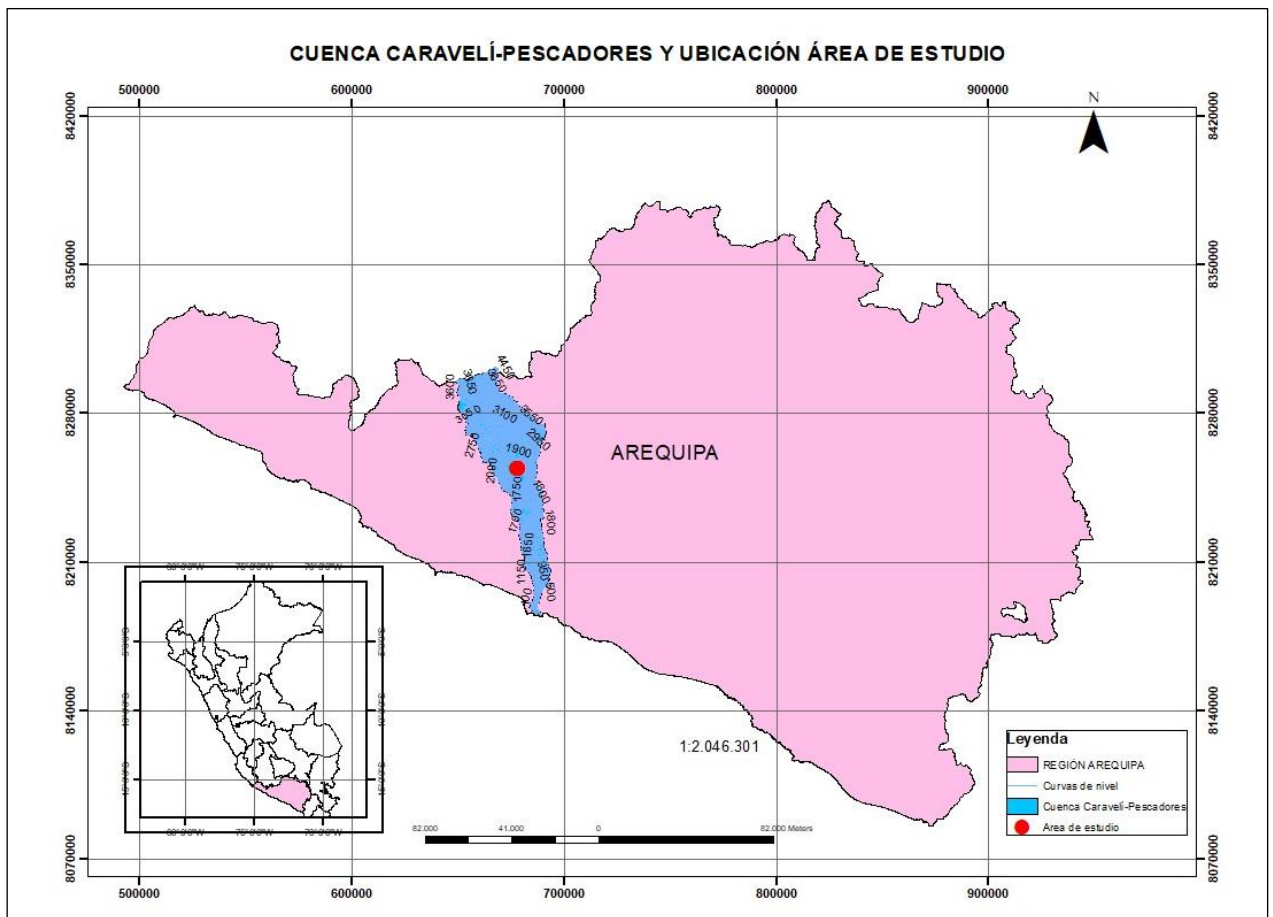


Figura 16. Mapa de la Cuenca Caravelí-Pescadores y el área de estudio (bosque del fondo Huachipa colindante a cultivos de vid), en la región Arequipa, el año 2022.

La cuenca Caravelí-Pescadores, denominada por ONERN (1974) como Cuenca Caravelí, está ubicada en el sur del Perú. El valle de Caravelí presenta dos sectores característicos separados por un área encañonada sin ningún valor agrícola; debido a ello ha sido separado en dos sectores de estudio: Caravelí y Pescadores. El área de estudio de la presente investigación se encuentra en el sector Caravelí. El valle de Caravelí tiene una extensión de

1,070 Ha y comprende el área agrícola desde el Fundo “El Molino” hasta el fundo “Bailandera” (sin incluir la quebrada Pescadores). (ONERN, 1974). Según información recopilada por la Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN) en el año 1974, del total de 1,070 Ha de extensión, 350 Ha estaban dedicadas principalmente a la agricultura. Esta información se agrupó en categorías y clases del uso de la tierra y se muestra en el siguiente cuadro extraído de (ONERN, 1974). El cultivo que abarcaba mayor área era la alfalfa con 120 Ha, representando el 11,2% del área total del valle. También tienen porcentaje significativo los cultivos de vid, trigo, papa y cebada, que representaron en el año 1974 el 15,9% del área total del valle. (ONERN, 1974).

| USO ACTUAL DE LA TIERRA EN EL VALLE DEL RIO CARAVELI (*) | | |
|---|--------------|--------------|
| (Inventario efectuado en Junio de 1972). | | |
| Categoría, Clases y Subclases de Uso | Ha. | % |
| 1. Terrenos Urbanos y/o Instalaciones Gubernamentales y Privadas | 80 | 7.4 |
| 1a. Centros poblados | 40 | 3.7 |
| 1b. Instalaciones públicas y/o privadas (carreteras, canales, huacas, etc.) | 40 | 3.7 |
| 2. Terrenos con Hortalizas (Sin aplicación en el valle). | -- | -- |
| 3. Terrenos con Huertos Frutales y Otros Cultivos Perennes | 230 | 21.5 |
| 3a. Terrenos con cultivo de vid | 30 | 2.8 |
| 3b. Terrenos con cultivo de higo | 20 | 1.9 |
| 3c. Terrenos con cultivo de pomoideos | 10 | 0.9 |
| 3d. Terrenos con cultivo asociado de vid y alfalfa | 30 | 2.8 |
| 3e. Terrenos con cultivo de frutales diversos (pacaes, palto y otros) | 20 | 1.9 |
| 3f. Terrenos con cultivo de alfalfa | 120 | 11.2 |
| 4. Terrenos con Cultivos Extensivos | 110 | 10.3 |
| 4a. Terrenos con cultivo de cebada | 10 | 1.0 |
| 4b. Terrenos con cultivos diversos (trigo, papa y otros). | 100 | 9.3 |
| 5. Terrenos con Praderas Mejoradas Permanentes (Sin aplicación en el valle). | -- | -- |
| 6. Terrenos con Praderas Naturales (Sin aplicación en el valle). | -- | -- |
| 7. Terrenos con Bosque | 70 | 6.6 |
| 7a. Terrenos con bosque natural (rodales secundarios) | 70 | 6.6 |
| 8. Terrenos Pantanosos y/o Cenagosas (Sin aplicación en el valle). | -- | -- |
| 9. Terrenos sin Uso y/o Improductivos | 580 | 54.2 |
| 9a. Terrenos en barbecho (preparación) | 10 | 1.0 |
| 9b. Terrenos agrícolas sin uso (actualmente abandonados) | 150 | 14.0 |
| 9c. Terrenos de caja de río | 420 | 39.2 |
| AREA TOTAL GLOBAL | 1,070 | 100.0 |
| AREA AGRICOLA NETA (**) | 350 | 32.7 |

(*) Comprende el área aguas abajo del fundo El Molino (margen derecha) y El Trapiche (Margen izquierda) en el sector denominado Chufuño o Cruzpata.

(**) Equivale al área total global menos los rubros 1, 7, 9b, 9c.

Figura 17. Uso Actual de la tierra en el año 1972 en el Valle del Río Caravelí.

3.2.5.1 Descripción ecológica y social de Caravelí

El clima predominante es de tipo desértico. La temperatura promedio anual para la zona de costa es de 18°C, muy apropiada para la agricultura, mientras que en las zonas de sierra la temperatura promedio anual es del orden de los 11°C. La precipitación es estacional y escasa, está sujeta a ciclos anuales de abundancia y escasez, y en promedio no supera los 300 mm anuales en las partes altas (Arata y Toro, 2005). La temperatura media anual oscila entre los 16 °C a 26°C en invierno y de 20°C a 30 °C en verano sin diferencias significativas entre el invierno y verano (Municipalidad Provincial de Caravelí, 2012). Estas condiciones climáticas son representativas de la zona global de producción del Pisco y de vid en general.

Debido a la ausencia de lluvias y a la profundidad de aguas subterráneas, el área está casi completamente desprovista de vegetación. Sólo los valles fluviales exhiben alguna vegetación debido a la presencia de ríos y aguas subterráneas. Los valles costeros son verdaderos oasis poblados por un número mayor de especies que el desierto circundante. Aquí destaca el bosque ribereño que cruza al pie de los ríos de la región Arequipa y en particular del distrito de Caravelí (CESEL Ingenieros, 2009). Además, la agricultura ha alterado la vegetación de los valles costeros.

La provincia Caravelí se ubica naturalmente en la región Costa y Sierra, (entre 0.00 y 2,000 msnm), estando en la Costa las regiones fisiográficas de planicies y colinas, y en Sierra, la zona fisiográfica bajo andina. Los paisajes de costa abarcan un 70% y los de la sierra un 30%. Así mismo, su territorio abarca las cuencas hidrográficas de Acarí, Yauca, Chala, Atico, Caravelí, Chaparra, que pertenecen a la vertiente del Pacífico. Las actividades económicas que se desarrollan en la provincia Caravelí son mayoritariamente Primarias, seguido de las actividades Terciarias y Secundarias, en cuyas actividades se encuentra distribuida la participación de la Población Económicamente Activa. Las actividades primarias están constituidas por todas las actividades extractivas que realiza el hombre como la agricultura, silvicultura y el aprovechamiento de los bosques naturales; a las cuales se dedican el 62.03% de la población económicamente activa del ámbito provincial. La agricultura es la principal actividad económica primaria de la provincia, la que coincide con la aptitud productiva de sus suelos que son Aptas para la Producción de Cultivo en Limpio y Cultivo Permanente y tierras aptas para pastos asociadas con Zonas de Protección. Actividades secundarias representadas por las actividades de transformación de la industria manufacturera y de la construcción. Son pocas las unidades productivas de transformación

existentes en la provincia; por ello la población dedicada a estas actividades solo representa el 7.22% de la población económicamente activa del ámbito provincial; destacando una planta de producción harina y aceite de pescado (Atico) y una desmontadora de algodón (Acarí). Las actividades terciarias se desarrollan en el área rural como en el área urbana, y en ello resaltan las actividades dedicadas a prestación de servicio en forma independiente y dependiente y la comercial, existiendo una participación del 30.75% de la PEA provincial (Gobierno Regional de Arequipa, 2006). La riqueza natural de la provincia de Caravelí le ha permitido tener una prehistoria muy remota. Nos referimos a los cazadores y recolectores que vivieron en Puyenca (Atico), durante los años 6120 - 5905 A.C. que complementaban su dieta con los recursos marinos que extraían del litoral, los auquénidos y las tarucas que bajaban de las zonas alto andinas en época de lomas y la flora silvestre, en sus inicios estuvo poblada por los indios nómadas denominados "Cjara-Huallis", quienes influenciados por las culturas prehispánicas Puquina y Nazca, aprendieron a cultivar la tierra y se asentaron en este valle. Al efectuarse la expansión de los Incas éstos incorporan en calidad de suyos a los valles de la actual provincia Caravelí (1430 d.c.), produciendo un gran impacto en la tenencia de la tierra, que dejó de ser Collagua para adscribirse al imperio Inca. Para articular todo el aparato productivo se trazan caminos (tramo Chala - Mallcol uniendo los tambos La Caletal y lugares de depósitos. como la Quebrada de la Vaca. Con la llegada de los españoles a la región (1535) se introdujeron nuevos cultivos traídos del viejo mundo, el trigo, la vid y con ella la producción de vino. En la medida que la administración colonial se fue consolidando, se introdujeron nuevos recursos productivos que permitieron el realce comercial, como sucedió con la vid. Se tuvo que crear nuevas rutas para su traslado e intercambio comercial entre un valle y otro, además se necesitó reutilizar los viejos caminos incas (Gobierno Regional de Arequipa, 2006). A partir de 1935 se crea la provincia de Caravelí, donde la capital lleva el mismo nombre. Es así como se separa de la provincia de Camaná. (Municipalidad provincial de Caravelí, 2012).

3.2.6 Caracterización del área de estudio mediante imágenes LANDSAT-8

Se realizó la caracterización del lugar actual mediante imágenes LANDAST-8 con la herramienta Google Earth Engine. Para ello, se recopilaron datos del entrenamiento, se escogerán 25 puntos representativos en el programa, para luego codificarlos. Posterior a ello, se clasificaron los tipos de cobertura terrestre "agua", "bosque" y "agricultura". Previo a la utilización de las clases definidas, fue necesario fusionar la colección mediante FeatureCollection.

Se extrajeron los datos de reflectancia para cada punto de cada banda. El paso siguiente para la obtención de la caracterización es aplicarlo al resto de la imagen, donde se pueden ajustar los colores para cada clase de bioma terrestre.

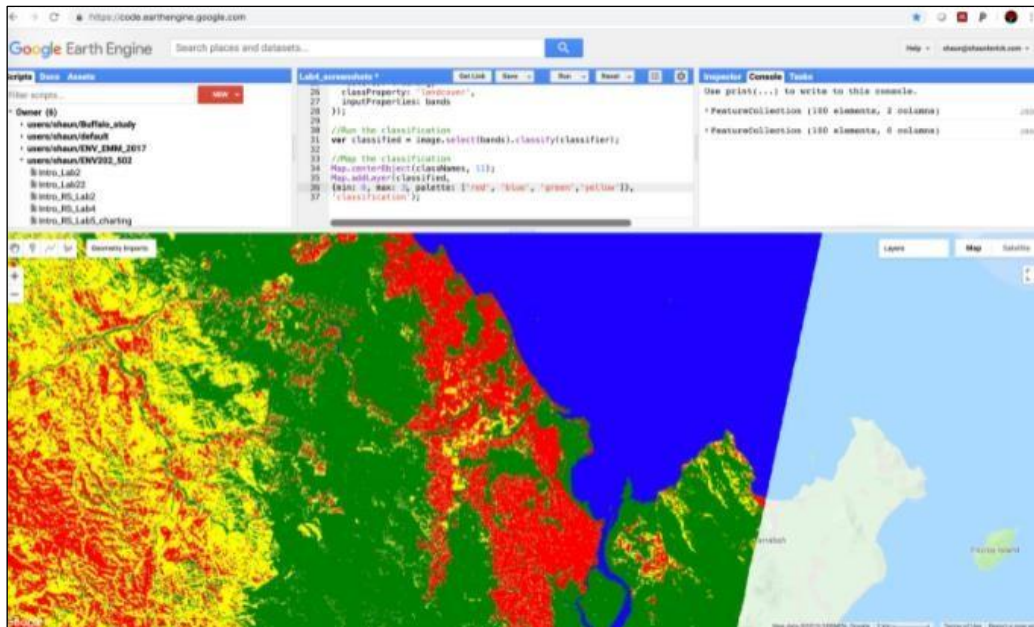


Figura 18. Modelo de caracterización de un área clasificada en biomas terrestres.

En el siguiente mapa se puede observar la caracterización del lugar mediante imágenes LANDSAT-8 con la herramienta Google Engine. Se utilizaron imágenes LANDSAT-8 del año 2020; posterior a ello se tomaron muestras representativas de espectros de reflectancia para cada clase de cobertura terrestre de interés en píxeles de 0,1m (en este caso nuestras clases serán: Bosque y/o Monte ribereño, Zona de Cultivo y Suelo Desnudo). Se escogieron 25 a 50 puntos representativos para cada clase.

Para poder usar las tres clases definidas se fusionaron en una sola colección, llamada “Feature Collection”. Con ello, para cada punto hay ahora un valor de reflectancia correspondiente para cada banda de la imagen y se extrapolará sobre a qué clase deberían pertenecer otros píxeles de la imagen. El código utilizado se observa en la siguiente imagen:

```

ClassifyTestinDA
GetLink Save Run Reset Apps
Inspector Console Tasks
var urban: FeatureCollection (0 elements)
  type: FeatureCollection
  columns: Object (0 properties)
  features: []
1 var image = ee.Image(ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C01/T1_SR')
2   .filterBounds(roi)
3   .filterDate('2020-06-01', '2022-06-30')
4   .sort('CLOUD_COVER')
5   .first());
6 Map.addLayer(image, {bands: ['B4', 'B3', 'B2'], min: 0, max: 3000}, 'True colour image');
7
8 //Merge into one featureCollection
9 var classNames = tree.merge(soil).merge(crops).merge(urban);
10
11 print(classNames)
12
13 //Collect training data
14 var bands = ['B2', 'B3', 'B4', 'B5', 'B6', 'B7'];
15 var training = image.select(bands).sampleRegions({
16   collection: classNames,
17   properties: ['LC'],
18   scale: 30
19 });
20 print(training);
21
22 var classifier = ee.Classifier.smileRandomForest(10).train({
23   features: training,
24   classProperty: 'LC',
25   inputProperties: bands
26 });
27
28 // Aplicar el clasificador a la imagen completa
29 var classified = image.classify(classifier);
30
31 // Añadir la banda de clasificación a la imagen original
32 image = image.addBands(classified.rename('classification'));
33
34 // Visualizar la imagen de clasificación
35 Map.addLayer(image.select('classification'), {min: 1, max: 4, palette: ['bf04c2', 'ff0000', '00ff00', '0000ff']}, 'Clasificación');
36
37
Inspector Console Tasks
Point (-73.33954, -15.76552) at 10m/px
Pixels
  True colour image: Image (12 bands)
    B1: 948
    B2: 1088
    B3: 1434
    B4: 1949
    B5: 2463
    B6: 2896
    B7: 2518
    B10: 2999
    B11: 2990
    sr_aerosol: 96
    pixel_qa: 322
    radsat_qa: 0
  Clasificación: Image (1 band)
    classification: 2
Objects

```

Figura 19. Código utilizado en Google Engine para la Clasificación de una imagen satelital (LANDSAT-8) en la zona de estudio.

Al tener el código listo, se procedió a darle clic a la opción “Run”. Con ello, se cargará la capa de clasificación con colores establecidos de cada clase. En el mapa de clasificación realizado para el presente estudio, los píxeles de color rojo determinan la clase “Suelo desnudo”, los píxeles de color morado determinan la zona “Bosque/Monte Ribereño” y los píxeles de color verde determinan la “Zona agrícola”. Podemos observar que la zona de estudio se encuentra en “Bosque/Monte Ribereño” y que la parte media de la cuenca tiene predominancia en cultivos (Zona agrícola) sin embargo, se observa también que hay presencia significativa de Bosque/Monte Ribereño en la zona, para el año 2022 (ver Figura 21).

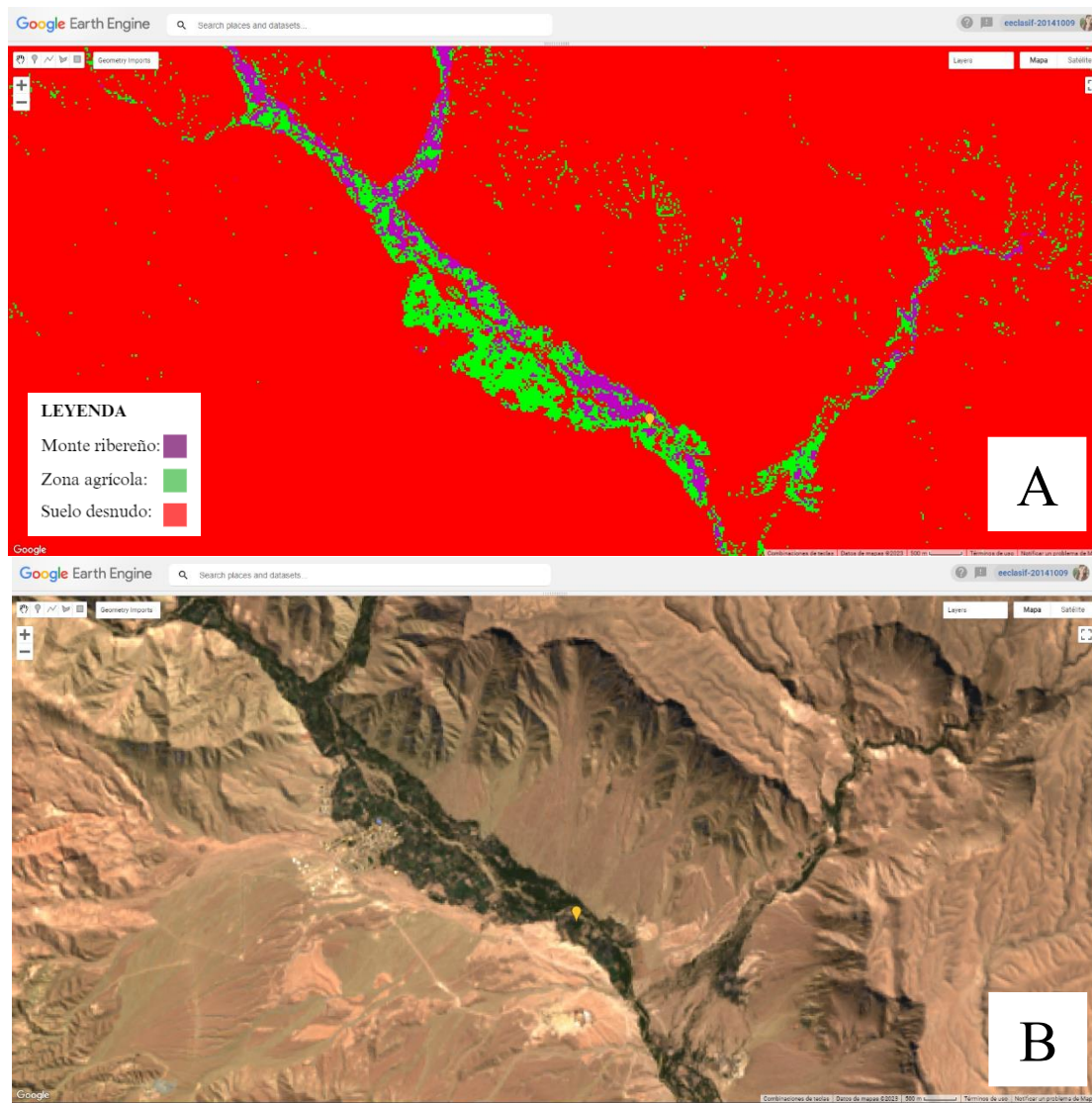


Figura 20. En la imagen A se observa el mapa de clasificación y en la imagen B se observa el mapa en color verdadero.

3.2.7 Análisis de datos

Para la sistematización, se trasladaron los datos registrados en la libreta de campo además de los datos sacados de conversaciones con los pobladores locales, para la construcción de una base de datos en Microsoft Excel 2016. Se colocaron las variables en estudio tanto para la etapa de inventario forestal como para la de almacenamiento de carbono.

Para el análisis descriptivo de los datos se utilizó el software SPSS versión 29 0.1.0. el cuál involucró la organización de clases diamétricas, gráficos de barras apiladas por parcela y clases diamétricas y el detalle de estadísticos descriptivos como varianza, media, rangos, coeficiente de variación, entre otros para cada una de las variables en estudio. Además, con el objetivo de predecir el comportamiento de la biomasa aérea, se realizó el análisis de correlación con el coeficiente de Spearman (para datos que no siguen una distribución normal como es el caso de los datos del presente estudio) y de regresión respectivo para determinar posibles correlaciones positivas entre el contenido de carbono y variables como DAP y altura.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. INVENTARIO FORESTAL

El inventario forestal consistió en el registro de los individuos ubicados en las siete (7) parcelas establecidas para el muestreo oficial. Se tomaron los datos de altura, DAP, diámetro a 130 cm desde el suelo o desde la pendiente dependiendo de la estructura del árbol, altura y en el caso de encontrar individuos muertos, se utilizó la guía de DRYFLOR (2020) para identificarlos. Cabe resaltar que el número de fustes influyó en la toma de datos debido a la metodología de DRYFLOR (2020), Rüginitz *et al.*, (2009) y Schlegel *et al.*, (2001) para realizar dos mediciones en árboles que tengan dos bifurcaciones por debajo de 1,30m, y a la medida del DAP según Yasha *et al.*, (2020) para árboles con fustes múltiples. En el caso del bosque de estudio, se encontraron individuos con bifurcaciones por debajo de 1,30m, registrando de esta manera individuos de tres (3) hasta once (11) fustes. La ilustración de la localización de los diámetros de referencia en árboles dependiendo del número de fustes se puede observar en la Figura 52.

En el área de estudio también se registraron individuos de la especie *Schinus molle* (ver Anexos), sin embargo, el porcentaje de número de individuos es muy bajo en comparación con la especie *Vachellia macracantha*. En la tabla se puede observar que *Vachellia macracantha* abarca un 98,25% del bosque mientras que la especie *Schinus molle* abarca un 1,75% del bosque en estudio. Por ello, se decidió solo tomar en cuenta los individuos de *Vachellia macracantha* ya que el análisis de la estimación de carbono de la especie *Schinus molle* saldría de los objetivos del estudio. Cabe resaltar que en el área de estudio se observaron varios individuos herbáceos (en crecimiento) de esta especie (*Schinus molle*), teniendo un potencial almacenamiento de carbono cuando estén en edad adulta. Además, se encontró presencia de la especie *Baccharis lanceolata* Kunth; esta especie es herbácea y se encontró en las orillas del río. Núñez *et al.*, (2022) menciona que esta especie crece cerca a orillas del río, campos de cultivo y bosques ribereños; además está asociada con la especie *Vachellia macracantha*, *Gynerium sagitanum*, entre otros.

Tabla 6. Dominancia de especies arbóreas del bosque en estudio con DAP > o igual a 5 cm.

| Nombre científico | Nombre común | Familia | N° individuos | Porcentaje |
|------------------------------|--------------|---------------|---------------|------------|
| <i>Vachellia macracantha</i> | Huarango | Fabaceae | 168 | 0,9825 |
| <i>Schinus molle</i> | Molle | Anacardiaceae | 3 | 0,0175 |
| Total | | | 171 | 1 |



Figura 21. Árbol de la especie *Vachellia macracantha* con fustes múltiples (5) con diámetros a la altura del pecho >5cm, identificados mediante cinta y/o pintura roja con el código correlativo correspondiente.

4.1.1 Determinación Taxonómica

Se analizaron y trasladaron las muestras de la especie *Vachellia macracantha* al Herbario MOL Augusto Weberbauer- UNALM. Se colocaron las muestras en alcohol al 70% para preservarlas durante más tiempo. Posterior a ello, se colocaron en la estufa para realizar el secado de las muestras.

El protocolo de establecimiento de parcelas de DRYFLOR (2020) recomienda coleccionar una muestra por especie en cada parcela. El bosque en estudio presenta individuos arbóreos de *Vachellia macracantha* y algunos individuos de *Schinus molle* (la mayoría en estado herbáceo). Además, la mayoría de los individuos medidos se caracterizan por tener el fuste múltiple rodeados de espinas sin hojas ni frutos hasta los 2-3,5 metros aproximadamente, en algunos casos a los 6-7m, donde se puede observar en la copa de los individuos las hojas compuestas, flores y frutos.

Por ello, se coleccionaron algunas muestras de individuos con tijera telescópica y otras muestras

de hojas y flores de individuos de árboles bifurcados o pequeños. Se realizaron siete (7) colectas (una colecta por parcela en estudio) debido a que solo es una especie en estudio. Sin embargo, las personas locales afirman que hay dos variedades de *Vachellia macracantha*, una con mayor cantidad de espinas y otra con menos cantidad de espinas.



Figura 22. Muestras colectadas colocadas en la estufa del Herbario Augusto Weberbauer "MOL" (UNALM) en una prensa botánica.

Las muestras colectadas fueron identificadas después del secado, y fueron comparadas con algunas colecciones de la especie *Acacia macracantha* del Herbario Augusto Weberbauer de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

4.2. Etapa II: Almacenamiento de carbono en biomasa aérea y en el suelo

4.2.1 Carbono almacenado en biomasa aérea

Para la medición de árboles del muestreo oficial de las parcelas (7) en estudio, los individuos fueron marcados con cinta o pintura roja, con el objetivo de poder diferenciar los individuos del muestreo oficial en comparación con los otros individuos del pre-muestreo previamente marcados con cintas y pinturas de colores amarillo, verde y celeste.

Se evidenciaron algunos casos en los que los individuos del pre-muestreo marcados de color amarillo, verde o celeste coincidieron dentro de alguna de las parcelas oficiales. Esto se puede explicar por la extensión relativamente pequeña del bosque (2,98 Ha) y la cantidad de parcelas de pre-muestreo (14), influenciando así en aumentar las posibilidades de encontrar un individuo ya identificado en el pre-muestreo en las parcelas del muestreo oficial. Sin

embargo, para las parcelas del muestreo oficial se tomó en cuenta la distancia mínima entre parcelas (Dauber,199) de 65 m para evitar el sesgo. En este caso, se volvió a marcar el individuo con cinta o pintura roja para tomar las medidas de DAP y alturas oficiales que aparecerán en el reporte de estimación de biomasa en el mes de setiembre 2022. La numeración fue de manera consecutiva y para los fustes múltiples se pusieron las letras, por ejemplo: 1-A, 1-B, 1-C, etc. (ver Figura 23). En la imagen A (izquierda) se puede observar la identificación de un árbol con fuste único. Se registró un solo valor de DAP y un solo valor de altura. La imagen B (derecha) muestra un árbol bifurcado en dos fustes por debajo de 1,30m; por ende, se tomarán dos mediciones (tomándose árbol inicial A9 como dos individuos: A9-1 y A9-2). Se registró en este caso dos valores de DAP y dos valores de altura para cada fuste. En la imagen C(abajo) se puede observar un individuo con fustes múltiples con $DAP > 5\text{cm}$.

Los individuos de la especie en estudio fueron medidos tomando en cuenta las siguientes variables: Diámetro a la altura del pecho (DAP), altura total (H') y densidad de madera. La especie *Vachellia macracantha*, tiene la particularidad de presentar fustes múltiples, por lo que la medida del DAP se clasificó en distintos casos dependiendo del número de fustes que presentaba cada árbol sujeto a medición.

Los individuos de **fuste único** (como se muestra en la sección 5.7.2 de medición de árboles) se midieron como árbol único y se tomaron los datos de DAP (a 1,30m) y altura del respectivo fuste.

Las variables medidas de los individuos de **fuste doble** (DAP a 1,30m y altura) se realizaron según DRYFLOR (2020), Rüginitz *et al.*, (2009) y Schlegel *et al.*, (2001) como mediciones de casos particulares. Los autores sugieren realizar dos mediciones en cada uno de los fustes del árbol y considerarlos como dos individuos. En la etapa del inventario para los árboles con fustes dobles se codificaron con correlativos 1 y 2 (por ejemplo: **A1-A** y **A1-B**) para poder identificar en la estimación de biomasa la presencia de dos individuos tomados desde un mismo árbol.

Las variables DAP a 1,30 y altura de los individuos de **fustes múltiples** (2 a 8 fustes con un DAP mayor a $>5\text{cm}$) presentes en el bosque del área determinada para la estimación de fueron medidas siguiendo las recomendaciones de Y.A.S Magarik *al.*, (2020) & Catie (s.f) usando la fórmula de la imagen X.X.; que consiste en sacar la raíz cuadrada de la suma total de la elevación al cuadrado de cada valor de fustes de un árbol, obteniendo así un valor directo y único de DAP por individuo. Para los árboles de fuste múltiple se obtuvo un solo

valor de DAP producto de la raíz de la sumatoria de los fustes múltiples elevados al cuadrado y una sola altura total (H^*). La siguiente ecuación se utilizó en los estudios de Monteiro *et al.*, (2016) % Awang *et al.*, (1994) para calcular el DAP para árboles con fustes múltiples:

$$DBH_{MS} = \sqrt[2]{\sum_{i=1}^6 DBH^2} \quad \text{Ec. (11)}$$

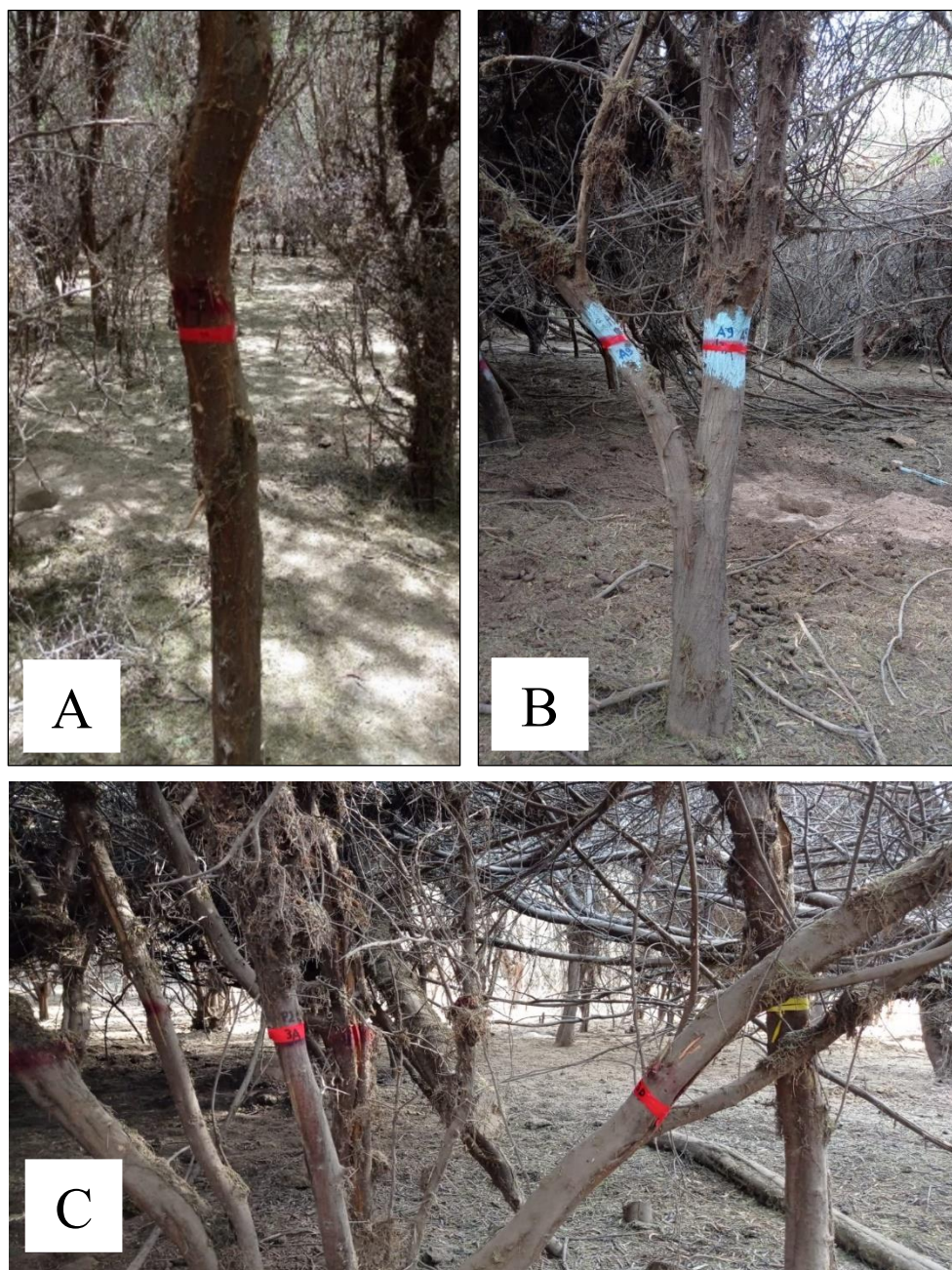


Figura 23. En la imagen A (izquierda) se identifica un árbol con fuste único. La imagen B (derecha) muestra un árbol bifurcado; mientras que en la Imagen C(abajo) registra un individuo con fustes múltiples con $DAP > 5\text{cm}$. Todos los árboles en mención son de la especie *Vachellia macracantha*.

La medición del diámetro a la altura del pecho (DAP) se realizó siguiendo las recomendaciones de Rüginitz *et al.*, (2009) a una altura de 1,3 m según las características del árbol. En ocasiones determinadas se realizó la medición a 160 cm, y para el caso de fustes múltiples se realizó la medición de cada fuste a 1,30 metros para luego utilizar la fórmula del producto de la raíz cuadrada de la sumatoria de los cuadrados de cada fuste Y.A.S Magarik *al.*, (2020) como el único valor del DAP para cada individuo registrado.

La mayoría de los árboles registrados en bosque seco varían de 10 cm a 130 cm de diámetro a la altura del pecho y muchos tallos se dividen bajo esta medida (DRYFLOR, 2020). Por ello, el criterio de RAINFOR para realizar la medición de árboles ≥ 10 cm de diámetro a 130 cm resulta insuficiente para reportar la diversidad, estructura y captura y almacenamiento de carbono en bosques secos. Debido a estos motivos, se realizaron las mediciones de todos los árboles con un diámetro ≥ 5 cm al POM usual (130 cm) o un diámetro de tallo ≥ 5 cm con un extra POM (30 cm). Las medidas de POM, extra POM y tipos de árboles se encuentran en el Anexo 8. Se tomaron estas medidas adaptadas del Apéndice 6 “Árboles complejos” del Protocolo de establecimiento y monitoreo de parcelas de bosque seco (DRYFLOR, 2020), donde se muestran casos específicos de mediciones de DAP en campo. Los casos específicos se muestran en Anexo 8.

Para el caso de árboles en las zonas con pendientes y árboles, la altura del DAP 130 cm se toma desde la ladera inferior al árbol. (DRYFLOR, 2020). Para el caso de rebrotes, el tallo principal y los rebrotes se miden a 130 cm y/o 30 cm desde la base del tallo. Además, para el caso de árboles con troncos múltiples (caso común en los bosques secos) se midieron todos los tallos con un diámetro ≥ 5 cm, y se registraron las medidas a 30 cm y a 130 cm., siguiendo luego la recomendación de Y.A.S Magarik *al.*, (2020) para obtener un solo DAP del árbol con fustes múltiples. El protocolo DRYFLOR (2020) recomienda en el caso de que exista una clara separación de los tallos a nivel del suelo, que los individuos se traten como árboles diferentes, a pesar de que visualmente parezca que se originan del mismo árbol.

Además, en el siguiente cuadro se obtienen los datos estadísticos descriptivos de las tres variables en estudio en la toma de datos en campo: altura (altura_cm), diámetro a la altura del pecho (dap_cm) y la variable de biomasa forestal (biomasa_mg) producto de una ecuación alométrica a partir de las variables DAP y altura. El mínimo valor de DAP en el bosque en estudio es de 5,09 cm mientras que el máximo valor es de 48,51 cm (este último se encuentra ubicado en la parcela 3). El valor de la media de DAP registrados es de 14,19

cm. Por otro lado, la media de la biomasa es de 111 Mg/Ha y la altura reporta una media de 6.64 m.

Tabla 7. Estadísticos Descriptivos de biomasa aérea.

| Estadísticos descriptivos | | | | | | | |
|----------------------------------|-----|--------|--------|--------|---------|----------------|----------|
| | N | Rango | Mínimo | Máximo | Media | Desv. estándar | Varianza |
| DAP_cm | 168 | 43.42 | 5.09 | 48.51 | 14.1899 | 8.32568 | 69.317 |
| Altura_m | 168 | 9.0 | 3.0 | 12.0 | 6.642 | 1.8151 | 3.294 |
| Biomasa | 168 | 104.37 | .16 | 104.53 | 3.5466 | 9.18271 | 84.322 |
| N válido (por lista) | 168 | | | | | | |

El análisis de la masa forestal por clases diamétricas permite el reconocimiento de los procesos, regeneración, envejecimiento y dinámica del bosque en estudio (Ajbilou *et al.*, 2003 citado por Chávez, 2018). La presencia de árboles de DAP>45cm (en la clase diamétrica de 45-50cm) y de DAP>30cm (entre las clases diamétricas 30 y 40 cm) incrementan de manera considerable la estimación de almacenamiento de carbono.

Tabla 8. Frecuencia de clases diamétricas de la especie *Vachellia macracantha* en el bosque en estudio.

| Frecuencia de Clases Diamétricas de las Parcelas en Estudio | | | | | |
|--|--------------|------------|--------------|-------------------|----------------------|
| | | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
| Válido | 05-10 cm | 66 | 39.3 | 39.3 | 39.3 |
| | 10-15 cm | 43 | 25.6 | 25.6 | 64.9 |
| | 15-20 cm | 30 | 17.9 | 17.9 | 82.7 |
| | 20-25 cm | 10 | 6.0 | 6.0 | 88.7 |
| | 25-30 cm | 9 | 5.4 | 5.4 | 94.0 |
| | 30-35 cm | 5 | 3.0 | 3.0 | 97.0 |
| | 35- 40 cm | 3 | 1.8 | 1.8 | 98.8 |
| | 45-50 cm | 2 | 1.2 | 1.2 | 100.0 |
| | Total | 168 | 100.0 | 100.0 | |

Se clasificaron 9 clases diamétricas entre 5 y 50 cm. Se observa que los árboles con un DAP<10cm presentan el mayor número de individuos teniendo 66 individuos en esta categoría. En la categoría de 40-45 cm de DAP no se encontró ningún individuo y en la clase diamétrica 45-50 cm se encontraron 2 individuos que pertenecen a la parcela 3 (48,51 cm) y a la parcela 7 (47,18 cm) respectivamente. Se observa además que la distribución diamétrica presentó un patrón de “J invertida” a nivel de parcelas y a nivel de estratos; mostrando de esa manera la diferencia diamétrica existente entre estratos (ver Figura 24 y Figura 25), comportamiento que indica un constante cambio de individuos forestales y una

predominancia de individuos jóvenes respecto a los árboles maduros. Además, el patrón de “J invertida” indica que el bosque investigado se encuentra en proceso de recuperación debido al mayor número de individuos en las categorías menores que en las categorías mayores (Ramírez,2019; Manzanero & Pinelo, 2004; López,2015).

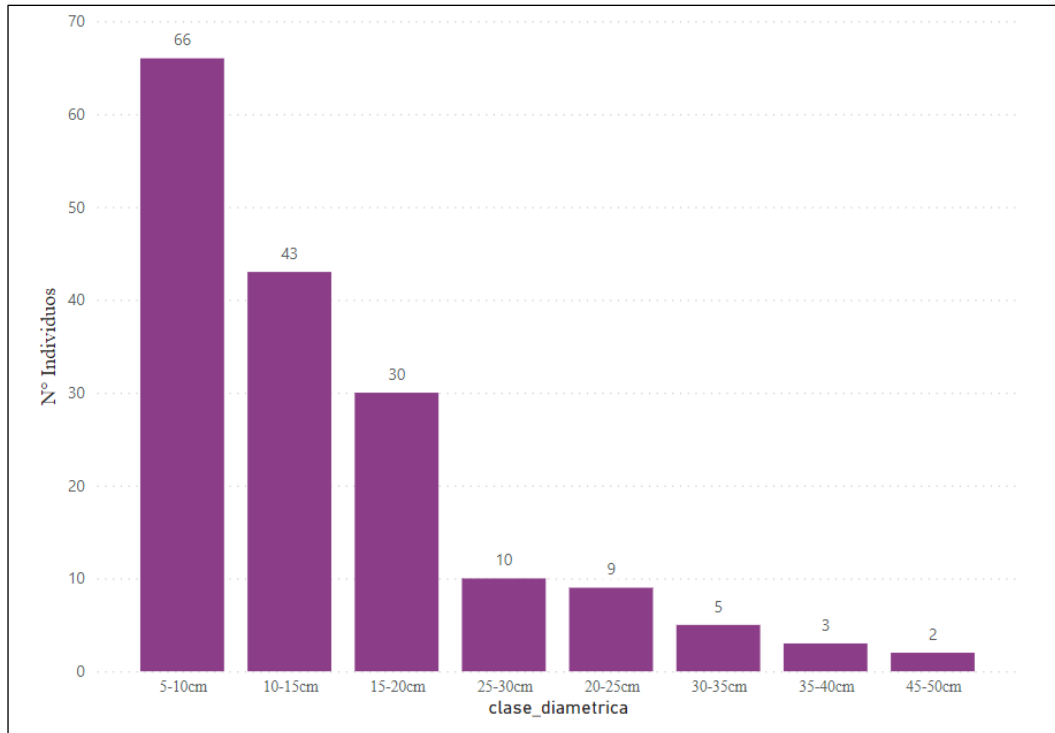


Figura 24. Frecuencia de clases diamétricas de la especie *Vachellia macracantha* del bosque en estudio.

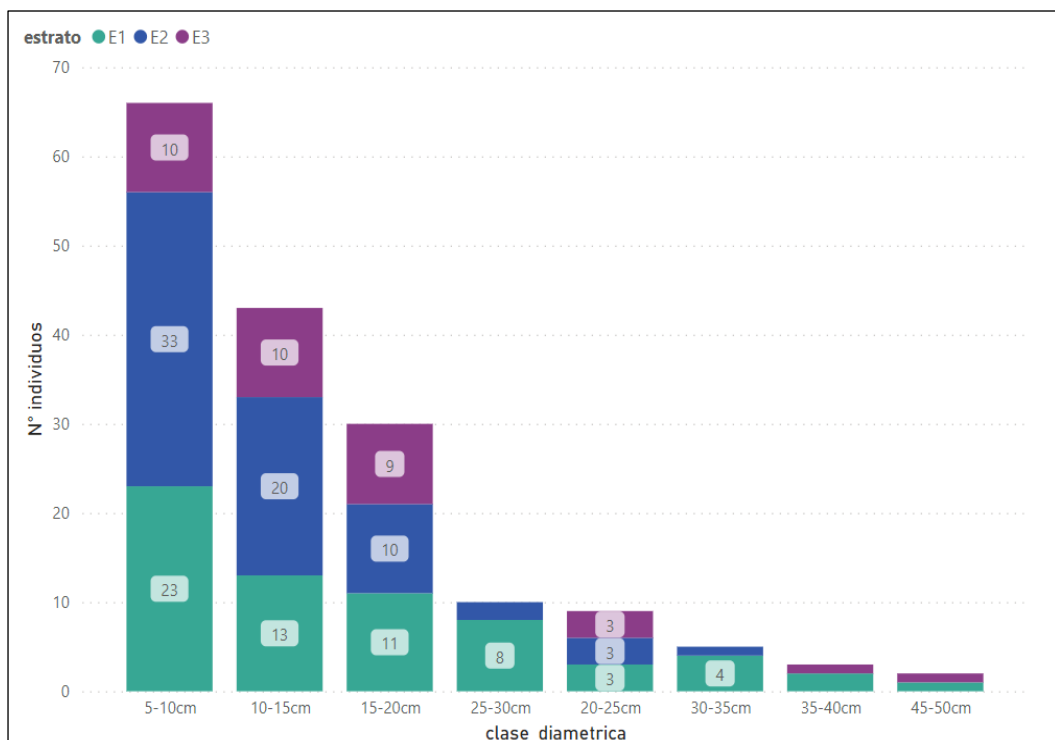


Figura 25. Número de individuos en clases diamétricas por estrato.

La frecuencia del número de individuos por parcela en estudio se expresa en la **Tabla 10**. Se puede observar que la parcela con mayor frecuencia de individuos fue la parcela 4 (P4) obteniendo un 20,8% del total de individuos, seguido de la parcela 5 (P5) obteniendo un 20,2% del total de individuos. La parcela 7 (P7) obtuvo la menor cantidad de individuos, reportando 11 árboles representando el 6,5% del total. En relación con el análisis por estratos, el estrato 1 (E1) obtuvo un 38,69 % del total de individuos, mientras que el estrato 2 (E2) obtuvo un 41% y el estrato 3 (E3) obtuvo un 20,24%. (ver Figura 26).

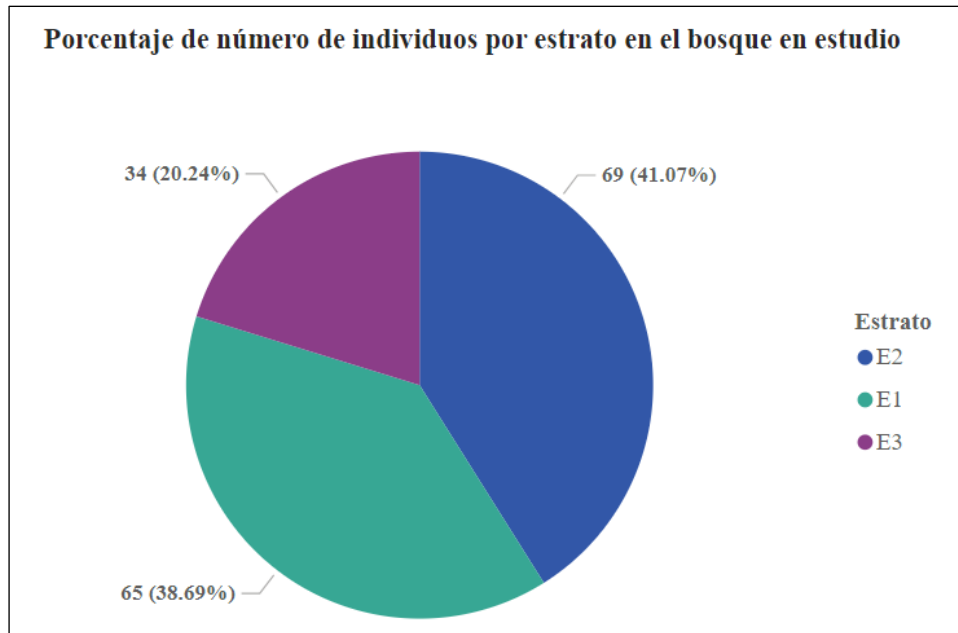


Figura 26. Porcentaje de número de individuos por estrato en el bosque en estudio.

Si bien el E1 tiene una frecuencia similar de individuos, el E2 reporta mayor biomasa debido a que el E1 está conformado principalmente por árboles con un $DAP < 20\text{cm}$ (47 de 65 árboles están dentro de las clases diamétricas 5-10 cm; 10-15 cm y 15-20 cm). (ver Figura 27). Según Urgilés (2018) la presencia de árboles de mayor DAP incrementa considerablemente el almacén de carbono, por ello el E2 reporta mayor estimación de almacenamiento de carbono, ya que en este estrato se encuentran las parcelas 4 y 5 que reportan individuos con $5,41\text{cm} < DAP < 30\text{cm}$.

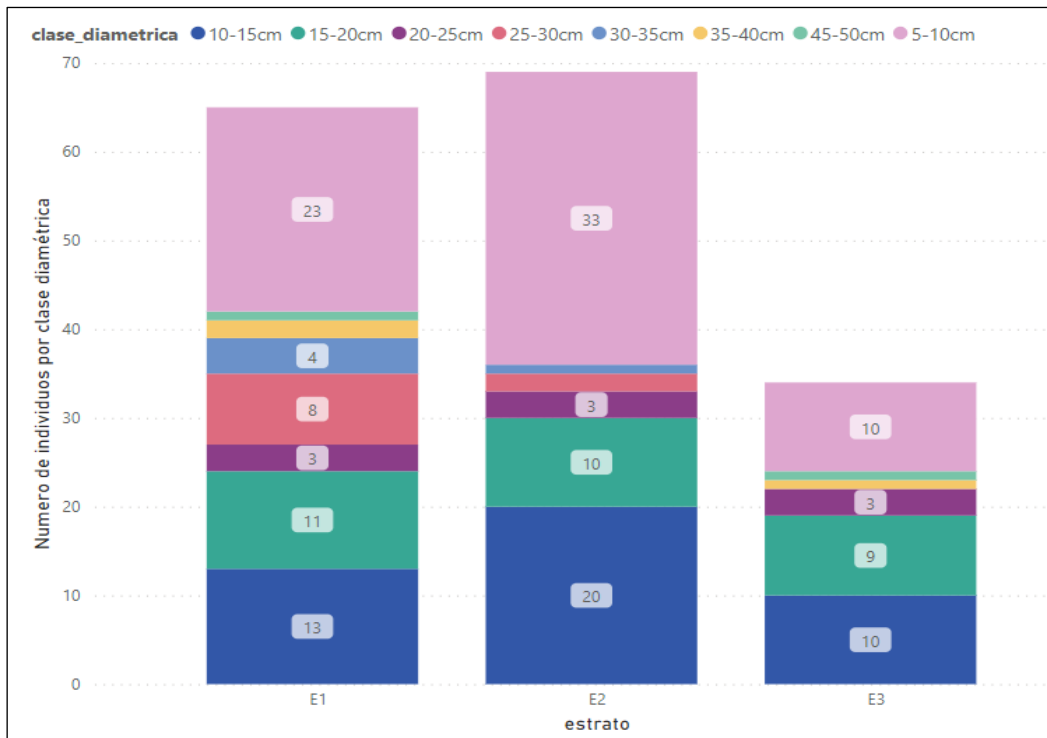


Figura 27. Clases diamétricas por estrato en el bosque en estudio.

Tabla 9. N° de individuos por parcela y porcentaje acumulado total de los 168 individuos.

| Estadísticos | | | | | |
|--------------|--------|------------|------------|-------------------|----------------------|
| parcela | | | | | |
| N | Válido | 168 | | | |
| | | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
| Valido | P1 | 22 | 13.1 | 13.1 | 13.1 |
| | P2 | 26 | 15.5 | 15.5 | 28.6 |
| | P3 | 17 | 10.1 | 10.1 | 38.7 |
| | P4 | 35 | 20.8 | 20.8 | 59.5 |
| | P5 | 34 | 20.2 | 20.2 | 79.8 |
| | P6 | 23 | 13.7 | 13.7 | 93.5 |
| | P7 | 11 | 6.5 | 6.5 | 100.0 |
| | Total | 168 | 100.0 | 100.0 | |

4.2.2 Estimación de biomasa aérea y carbono almacenado sobre el suelo

En la Tabla 10 se observan los valores calculados para biomasa aérea en cada una de las parcelas evaluadas. Se evaluaron un total de 168 árboles (tomando en cuenta los fustes dobles como un individuo separado), que pertenecen a dos especies: *Vachellia macracantha* y *Schinus molle*, sin embargo; debido a la dominancia de la especie *Vachellia macracantha* con un 98,25% (165 individuos), los reportes de biomasa y almacenamiento de carbono serán basados en esta especie. El valor promedio de biomasa aérea (BA) para las parcelas evaluadas fue de 85.11 Mg/Ha, teniendo un total de 42,55 Mg C/ha almacenado en la biomasa aérea en el bosque en estudio.

Tabla 10. Reporte del número de individuos, la biomasa aérea, carbono almacenado, altura y N.A por parcela.

| Parcela | Ni | Biomasa aérea [Mg/ha] | Carbono almacenado [Mg C/ha] | Altura [m.s.n.m] | N.A |
|-------------------|--------------|-----------------------|------------------------------|------------------|-------|
| P1 | 22 | 62,44 | 31,22 | 1700 | Alto |
| P2 | 26 | 66,76 | 33,38 | 1699 | Alto |
| P3 | 18 | 185,93 | 92,97 | 1697 | Alto |
| P4 | 35 | 55,62 | 27,81 | 1695 | Medio |
| P5 | 34 | 101,02 | 50,51 | 1695 | Medio |
| P6 | 23 | 78,84 | 39,42 | 1693 | Bajo |
| P7 | 11 | 45,16 | 22,58 | 1691 | Bajo |
| Media | 24,14 | 85,11 | 42,55 | 1695,71 | |
| Desviación | 11,62 | 53,60 | 26,80 | 3,199 | |

Nota: Ni= número de individuos en cada parcela de 314,159 m².; NA (Nivel de altitud de estratos en el bosque en estudio)

4.2.2.1 Estimación de carbono almacenado por parcela en el bosque de estudio

El muestreo oficial y la toma de datos de altura y diámetro a la altura del pecho (DAP) para lograr la estimación de carbono almacenado de cada parcela en estudio reportó los siguientes resultados: La parcela 3 (P3) presentó la mayor cantidad de carbono almacenado (Mg/ha) con 92,97 Mg/ha; seguida de la parcela 5 con 50,51 Mg/ha. La parcela P6 reportó 39,42 t C/ha y esto puede explicarse debido a la cantidad de individuos dentro del rango entre 10-25 cm de clase diamétrica. En contraparte, la parcela que obtuvo la menor cantidad de estimación de carbono almacenado fue la parcela 7 (P7) con un valor de 22,58 t C/ha a pesar de tener uno de los árboles con mayor DAP (47,18 cm). La baja cantidad de carbono en la P4 puede deberse a la gran cantidad de individuos entre 5-10 cm de clase diamétrica mientras que la baja cantidad de carbono en la P7 se puede explicar debido al bajo número de individuos (11 individuos de *Vachellia macracantha*).

De acuerdo con los resultados de la presente investigación, el promedio de carbono total almacenado en el bosque en estudio colindante a fincas de viticultura en el fundo Huachipa, es de 42,55 t C/ha con una diferencia de carbono almacenado de 26,88 t C/ha entre las parcelas evaluadas. Esta cantidad es menor a estudios realizados en bosque secos presentado por Cabrera (2012) donde se encontró 91,85 t C/ha con una diferencia de carbono almacenado de 9,7 t C/ha en las Reservas “La Ceiba” y “Cazaderos”. Esto puede explicarse debido al tamaño de muestra y al área total relativamente pequeña del bosque actual en estudio en comparación con otras investigaciones y a las dimensiones pequeñas de la parcela de estudio (Pozo,2022). Sin embargo, Morales (2020) realizó muestreos en un área similar

a la del presente estudio abarcando 2,88 Ha y el resultado de carbono almacenado en biomasa aérea en su área de estudio fue de 66,42 t C/ha; siendo este último relativamente similar al resultado del bosque del fundo Huachipa (42,55 t C/ha). Por otro lado, la cantidad de carbono almacenado en el bosque del fundo Huachipa es mayor a la capacidad de almacenamiento de carbono en el bosque estudiado por Chávez (2018) en bosques secos de colina y montaña en el departamento de Lambayeque, esto puede ser explicado por la diferencia entre los diámetros a la altura del pecho de los árboles en estudio y a la anatomía de las especies en estudio. Los árboles del estudio realizado por Chávez (2018) tienen un DAP máximo de 25cm mientras que los árboles del presente estudio se lograron medir un DAP máximo de 50cm.

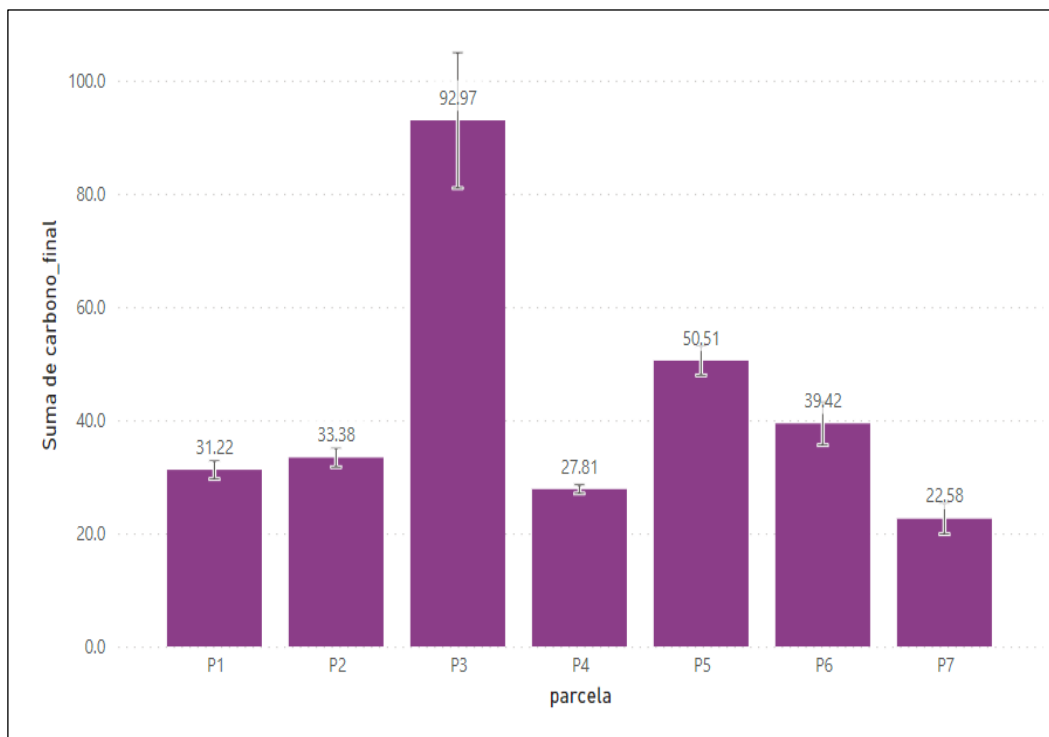


Figura 28. Carbono almacenado (Mg/ha) por parcela del bosque en estudio.

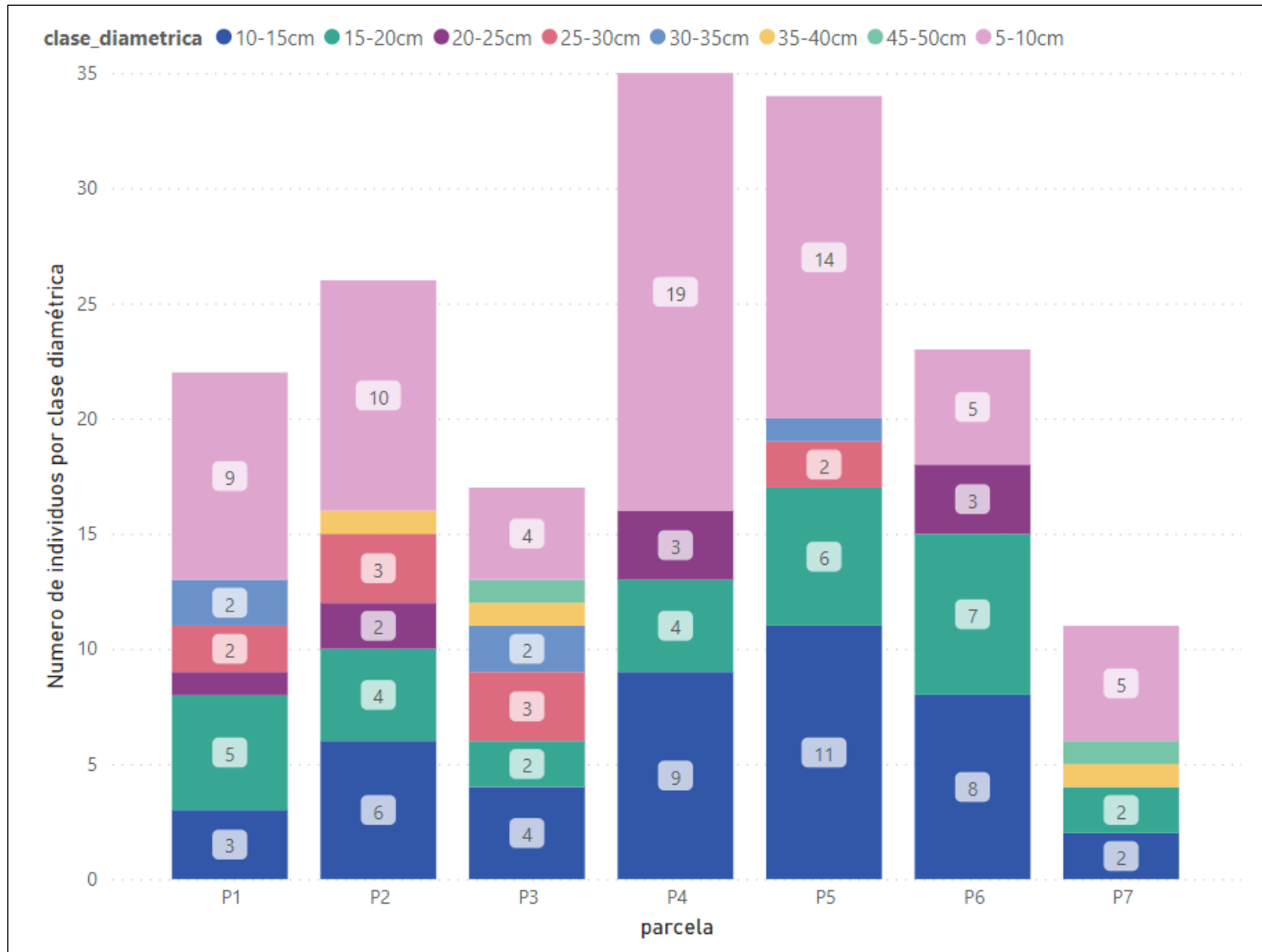


Figura 29. Frecuencia de individuos por parcela por clase diamétrica en el bosque en estudio.

En el siguiente gráfico podemos observar el diagrama de dispersión de los datos recopilados en campo de los 168 individuos entre 5,09 y 48,51 cm de DAP. En él se puede observar que la mayor concentración de individuos se encuentra entre 5 a 25 cm de DAP.

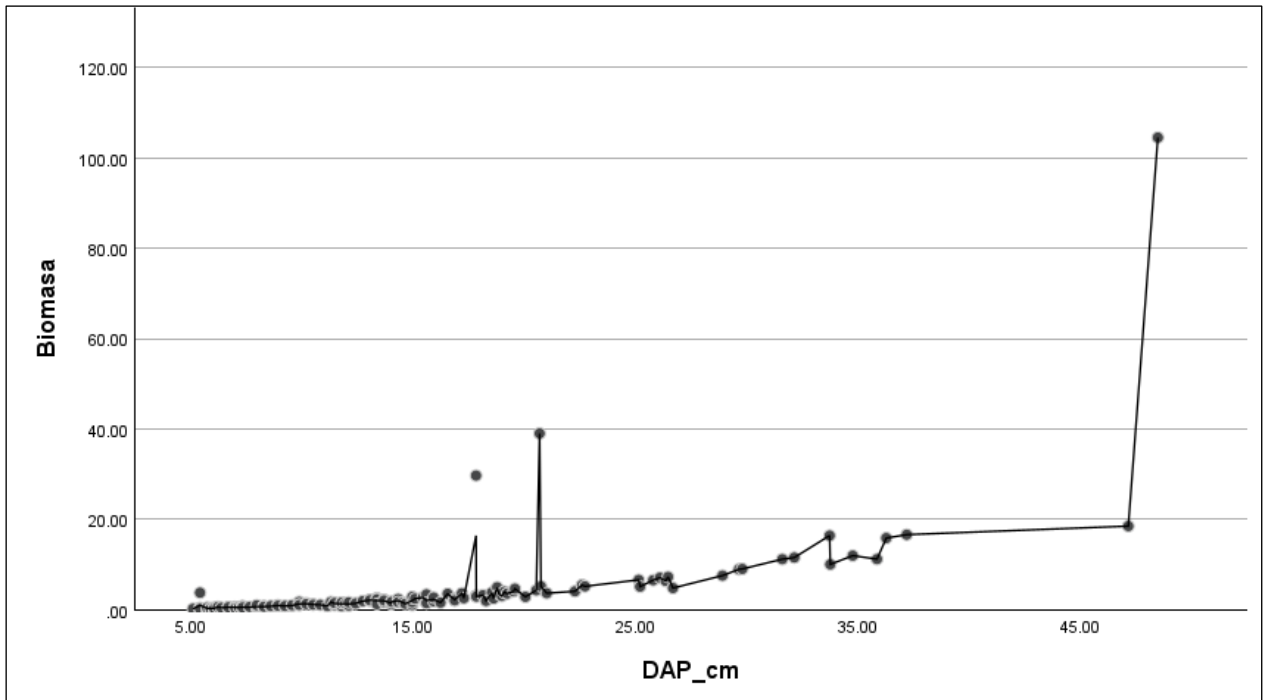


Figura 30. Diagrama de dispersión de Biomasa aérea por DAP(cm)

4.2.2.2 Relación entre variables DAP-biomasa aérea y Altura-biomasa aérea

Además, para poder determinar la correlación existente entre DAP-Biomasa y Altura-Biomasa, se realizó la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov. El resultado de las tres variables en estudios reportó que los datos no siguen una distribución normal. Esto se puede observar en la siguiente imagen, debido a que el p-valor de cada variable tiene un valor $<0,001$ siendo $<0,05$ (5%), rechazándose la H_0 : “Los datos siguen una distribución normal”. Por lo tanto, se acepta la H_1 : “Los datos no siguen una distribución normal” y se utilizarán estadísticas no paramétricas para poder calcular la correlación de las variables.

Tabla 11. Pruebas de normalidad de las variables de biomasa aérea.

| Pruebas de normalidad | | | | | | |
|-----------------------|---------------------------------|-----|-------|--------------|-----|-------|
| | Kolmogorov-Smirnov ^a | | | Shapiro-Wilk | | |
| | Estadístico | gl | Sig. | Estadístico | gl | Sig. |
| Biomasa | .356 | 168 | <,001 | .301 | 168 | <,001 |
| DAP_cm | .140 | 168 | <,001 | .857 | 168 | <,001 |
| Altura_m | .096 | 168 | <,001 | .976 | 168 | .005 |

a. Corrección de significación de Lilliefors

La correlación de Spearman se utiliza para variables cuantitativas de libre distribución o con datos ordinales; y puede tomar valores entre -1 y 1 (Roy-Garcia *et al.*, (2020). El coeficiente de correlación de Spearman se calculó en el programa SPSS 29 0.1.0 y resultó significativo en el nivel de 0,01 (bilateral) con un valor de +0,947. Esto significa que existe una correlación alta entre el DAP y la Biomasa aérea estimada en los 168 individuos del bosque en estudio.

Tabla 12. Correlación de Spearman entre el DAP y la Biomasa aérea estimada

| Correlaciones | | | | |
|-----------------|---------|-----------------------------|--------|---------|
| | | | DAP_cm | Biomasa |
| Rho de Spearman | DAP_cm | Coefficiente de correlación | 1.000 | .947** |
| | | Sig. (bilateral) | . | <,001 |
| | | N | 168 | 168 |
| | Biomasa | Coefficiente de correlación | .947** | 1.000 |
| | | Sig. (bilateral) | <,001 | . |
| | | N | 168 | 168 |

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Para poder graficar la dispersión y regresión entre el DAP y la Biomasa aérea, se realizó un análisis previo para evaluar las regresiones que más se ajustarán al modelo y la regresión de potencia fue la que obtuvo mayor R cuadrado (0,873), es decir, es la regresión que mejor explica el comportamiento de los datos.

Tabla 13. Resumen del modelo y estimaciones de parámetros de diferentes regresiones (logarítmica, cuadrática, cúbica, potencia, etc) para analizar la relación entre la biomasa y el DAP.

| Resumen de modelo y estimaciones de parámetro | | | | | | | | | |
|---|--------------------|----------|-----|-----|-------|---------------------------|-------|-------|------|
| Variable dependiente: Biomasa | | | | | | | | | |
| Ecuación | Resumen del modelo | | | | | Estimaciones de parámetro | | | |
| | R cuadrado | F | gl1 | gl2 | Sig. | Constante | b1 | b2 | b3 |
| Logarítmico | .239 | 52.163 | 1 | 166 | <,001 | -17.593 | 8.435 | | |
| Cuadrático | .546 | 99.269 | 2 | 165 | <,001 | 5.224 | -.805 | .036 | |
| Cúbico | .625 | 91.160 | 3 | 164 | <,001 | -8.803 | 1.941 | -.106 | .002 |
| Compuesto | .817 | 740.249 | 1 | 166 | <,001 | .250 | 1.135 | | |
| Potencia | .873 | 1145.953 | 1 | 166 | <,001 | .009 | 2.055 | | |
| Crecimiento | .817 | 740.249 | 1 | 166 | <,001 | -1.386 | .127 | | |
| Exponencial | .817 | 740.249 | 1 | 166 | <,001 | .250 | .127 | | |

La variable independiente es DAP_cm.

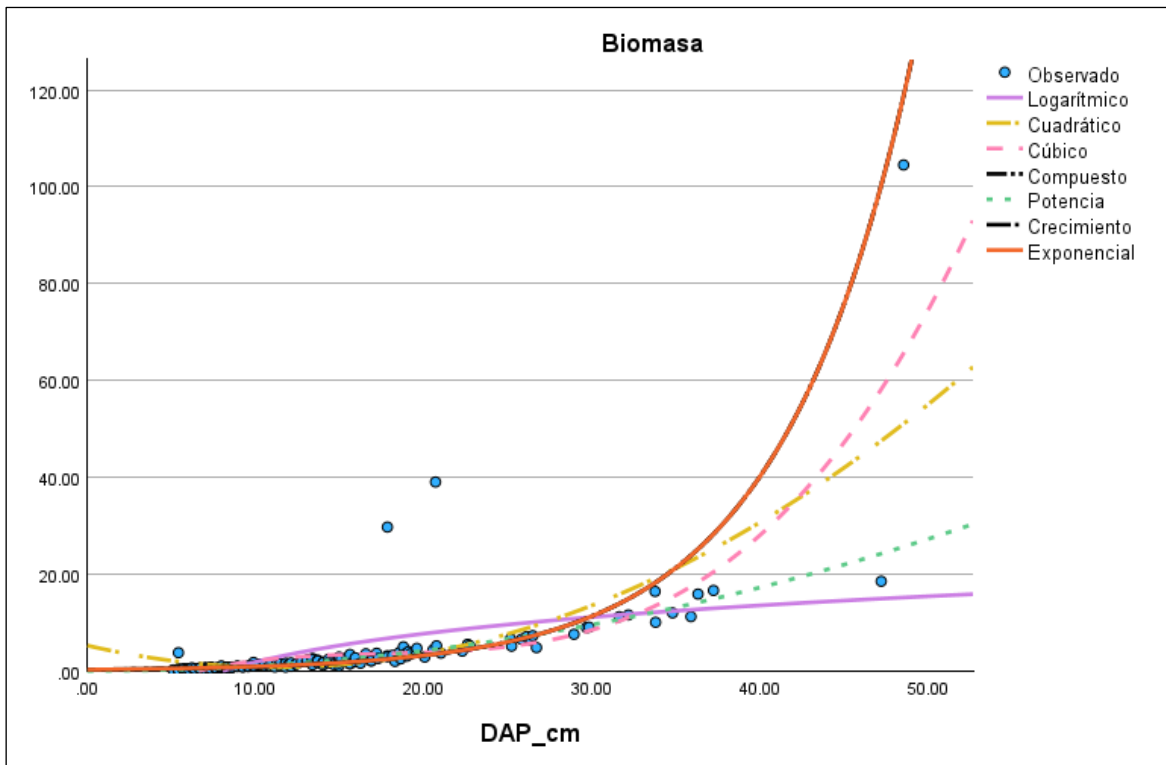


Figura 31. Gráfico de dispersión de regresiones no lineales (logarítmica, cuadrática, cúbica, potencia, etc.); donde la regresión de potencia obtiene el mayor coeficiente de determinación ($R^2= 0,873$).

Según Urgilés (2019) el carbono almacenado por biomasa aérea suele depender significativamente del DAP. Esto explica los altos valores de biomasa aérea en los árboles evaluados con $>35\text{cm}$ de DAP. Por tal razón, se registraron fuertes relaciones de dependencia ($R^2=0,873$ $p>0,001$) entre DAP y la biomasa aérea, mostrado a través de la regresión de potencia (regresión no lineal).

Tabla 14. Resumen del modelo, ANOVA y Coeficientes.

Resumen del modelo

| R | R cuadrado | R cuadrado ajustado | Desv. Error de estimación |
|------|------------|---------------------|---------------------------|
| .935 | .873 | .873 | .418 |

La variable independiente es DAP_cm.

ANOVA

| | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
|-----------|-------------------|-----|------------------|----------|-------|
| Regresión | 199.862 | 1 | 199.862 | 1145.953 | <,001 |
| Residuo | 28.952 | 166 | .174 | | |
| Total | 228.814 | 167 | | | |

La variable independiente es DAP_cm.

Coeficientes

| | Coeficientes no estandarizados | | Coeficientes estandarizados Beta | t | Sig. |
|-------------|--------------------------------|-------------|-------------------------------------|--------|-------|
| | B | Desv. Error | | | |
| ln(DAP_cm) | 2.055 | .061 | .935 | 33.852 | <.001 |
| (Constante) | .009 | .001 | | 6.430 | <.001 |

La variable dependiente es ln(Biomasa).

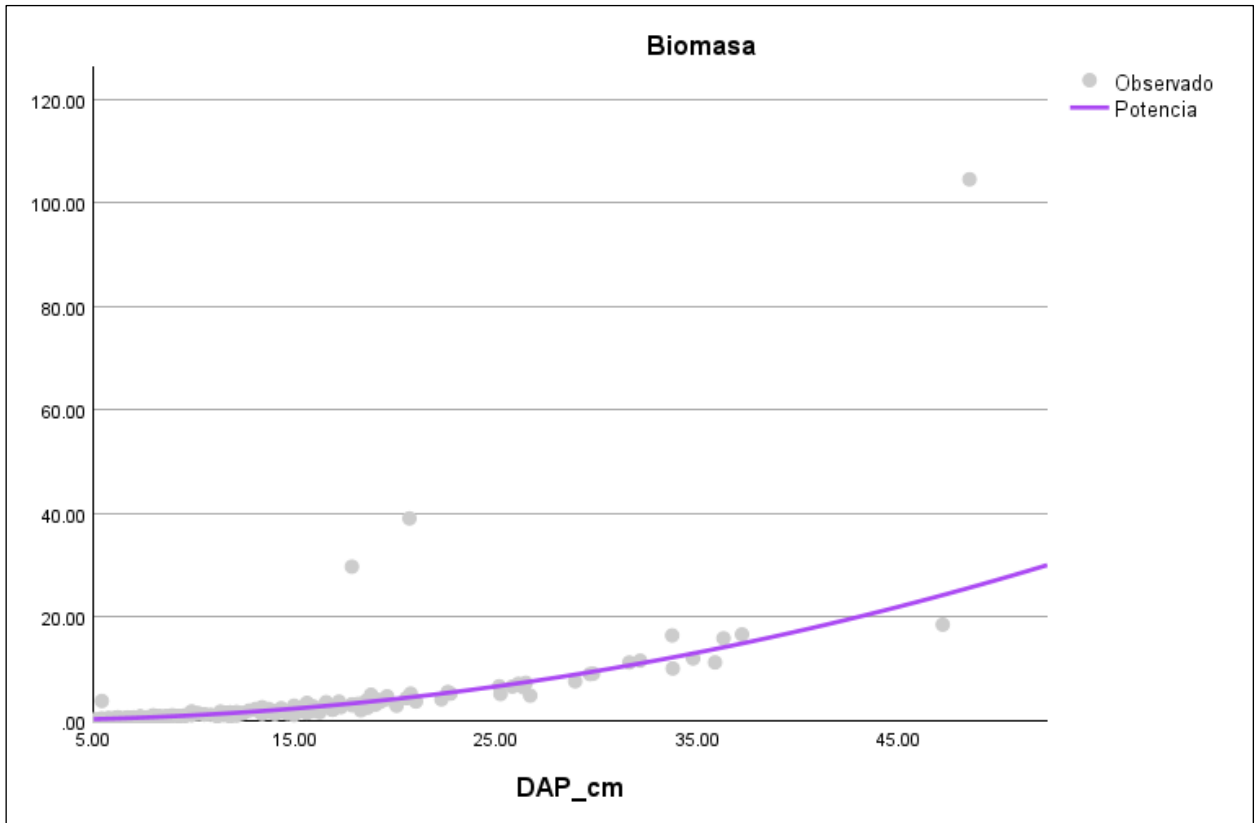


Figura 32. El gráfico representa la relación entre el DAP y la biomasa aérea con un $R^2 = 0,847$ y $p < 0,001$.

Para el caso de la relación entre la biomasa y la altura, los modelos de regresión tanto lineales como no lineales muestran una baja dependencia entre la biomasa (BA) y la altura de los árboles. La ecuación de potencia es la que tiene mayor coeficiente de determinación ($R^2 = 0,240$), siendo este resultado estadísticamente no significativo.

Tabla 15. Resumen del modelo y estimaciones de parámetros con diferentes regresiones para el análisis de la relación entre biomasa y altura.

Resumen de modelo y estimaciones de parámetro

Variable dependiente: Biomasa

| Ecuación | R cuadrado | Resumen del modelo | | | | Estimaciones de parámetro | | | |
|-------------|------------|--------------------|-----|-----|-------|---------------------------|---------|------|-------|
| | | F | gl1 | gl2 | Sig. | Constante | b1 | b2 | b3 |
| Lineal | .007 | 1.171 | 1 | 166 | .281 | .734 | .423 | | |
| Logarítmico | .005 | .767 | 1 | 166 | .382 | -.391 | 2.125 | | |
| Inverso | .003 | .461 | 1 | 166 | .498 | 5.047 | -9.150 | | |
| Cuadrático | .014 | 1.134 | 2 | 165 | .324 | 7.775 | -1.819 | .166 | |
| Cúbico | .014 | .780 | 3 | 164 | .507 | 13.114 | -4.393 | .548 | -.018 |
| Compuesto | .240 | 52.478 | 1 | 166 | <.001 | .186 | 1.372 | | |
| Potencia | .244 | 53.533 | 1 | 166 | <.001 | .039 | 1.972 | | |
| S | .233 | 50.409 | 1 | 166 | <.001 | 2.171 | -10.698 | | |
| Crecimiento | .240 | 52.478 | 1 | 166 | <.001 | -1.682 | .316 | | |
| Exponencial | .240 | 52.478 | 1 | 166 | <.001 | .186 | .316 | | |

La variable independiente es Altura_m.

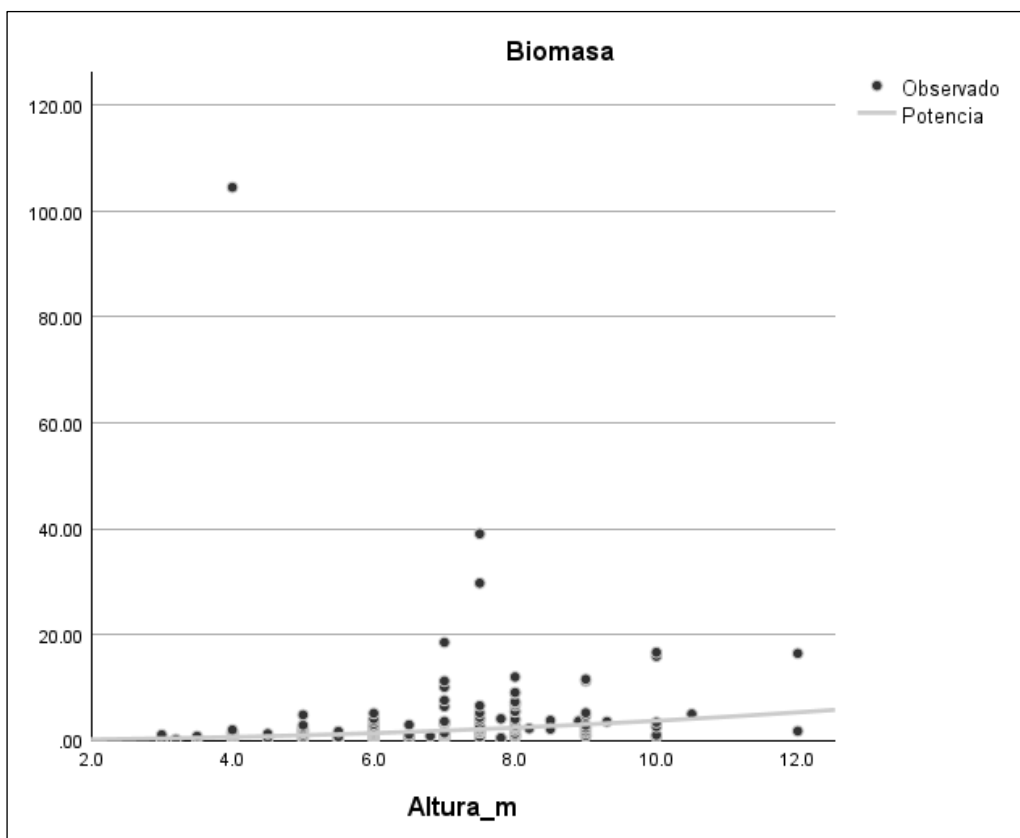


Figura 33. El gráfico representa la relación entre la altura y la Biomasa aérea con un $R^2=0,244$ siendo estadísticamente no significativo.

4.2.2.3 Carbono almacenado a partir de biomasa aérea en el bosque en estudio

Según Luna *et al.*, (2021), la biomasa forestal y la captura de carbono de los ecosistemas forestales difieren de la composición estructural del mismo, las especies, la edad de la vegetación, características del suelo, condiciones climáticas, etc. Además, los resultados de

la capacidad de almacenamiento de carbono también se ven influidos por el potencial almacenamiento de carbono de las especies en estudio. Además, Baez *et al.*, (2018) indicaron la necesidad de complementar el muestro forestal con la estimación de carbono mediante imágenes satelitales y emplear sistemas de teledetección para evitar una sobreestimación de la altura de los árboles y tener una mayor precisión. Luna *et al.*, (2021) reporta en su estudio de bosques secos tropicales que *Ceiba trichistandra* (219,39 t C/ha) tiene mayor biomasa forestal en comparación con las especies *Eriotheca ruizii* y *Cochlospermum vitifolium* (34,78 y 30,40 t C/ha respectivamente. Para el caso de la especie *Vachellia macracantha*, Acosta (2021) reporta el potencial de contenido de carbono almacenado en el distrito de Celendín, Cajamarca, Perú, almacenando 12,79 t C/ha equivalente a 46,94 toneladas de CO₂.

En general, el carbono almacenado en el ecosistema bosque seco es menor en comparación con el potencial almacenamiento de carbono en un bosque húmedo tropical. Jadán(2012) reporta un almacenamiento de 334,2 t C/ha en un bosque primario en Ecuador y Mena (2008) reporta 271,7 t C/ha. Esto se debe a la biomasa aérea total y a la diferencia entre las áreas de extensión de los bosques en comparación. Además, el bosque en estudio con potencial almacenamiento de carbono es parte de un agroecosistema en el fundo Huachipa, donde se tiene como objetivo la conservación del bosque colindante a los terrenos de producción de vid y alfalfa. Según Rojas *et al* (2021) la importancia de los agroecosistemas con árboles dispersos y bosques secos naturales es evidente a nivel de paisaje, al contribuir con la conservación de especies amenazadas y los procesos de regeneración natural. Además, el potencial efecto social positivo puede contribuir al avance de las condiciones de vida de las personas locales al ofrecer beneficios ecosistémicos, tales como la mejora de la calidad del suelo, la regulación del ciclo del agua, la captura de carbono, la generación de pasto y frutos, fuente de alimento para insectos y polinizadores, disponibilidad de leña y madera, entre otros; siendo funciones y atributos necesarios para la sostenibilidad y conservación del sistema (Rojas *et al.*, 2021). Además, los bosques secos a nivel global constituyen una parte importante para reservas de carbono según estudios realizados por Becknell *et al* (2012); los bosques secos son extensos globalmente, pero sin embargo están siendo poco estudiados. (Luna *et al.*, 2021). La capacidad de almacenamiento de carbono no solamente contribuye a la reducción de efectos del cambio climático (mitigación) al evitar la degradación forestal, sino que también debe ser considerada como un instrumento que posibilita la conservación, planificación del uso del territorio y el manejo sostenible de los recursos forestales. (IPCC,2014; Banco Mundial & Ecofys and Vivid Economics, 2018).

Cabe destacar que según la Ordenanza Municipal N° 018-2020-MPC establecida el 15 de octubre del año 2020 se estableció la “Protección del Huarango (*Vachellia macracantha*) en el distrito capital Caravelí- Región Arequipa), prohibiendo cualquier actividad que atente contra la actividad de la especie con fines comerciales de leña y carbón destinados para su producción y transporte (Artículo 1°) y declarando de interés provincial la conservación y reforestación de la especie (Artículo 2°). Además, el documento menciona que los árboles que se encuentran en propiedad privada y se consideren patrimoniales también serán identificados y reconocidos, acompañado de persuasión de concientización para que se puedan brindar las facilidades para realizar estas actividades. Esta ordenanza establece la prohibición de leña con fines comerciales; sin embargo, los pobladores locales pueden usarla para su propio consumo y de manera moderada. Según testimonios de personas locales, aún existen oportunidades de mejora para esta ordenanza debido a que recomiendan una mejor gestión entre la ganadería, la agricultura y el uso de la leña del monte ribereño asociado a la provincia; debido a que falta mayor estudio en las interacciones socio-ecológicas y las relaciones entre la ganadería y la dispersión de semillas en el bosque para la toma de decisiones y un manejo sostenible del bosque (Espinosa, Reyes & Jara-Guerrero,2021; Urrea-Galeano, Andersen & Ibarra-Mnaríquez,2018).

4.2.3 Estimación del carbono orgánico en el suelo

Para la estimación del carbono orgánico en suelos, en la etapa de campo, se realizaron dos subprocesos: 1) muestreo para el cálculo del carbono orgánico (%) en cada una de las parcelas y 2) toma de muestra de suelos a 30 cm de profundidad con un cilindro de 2x2 pulgada (semejante a 100 cm³) para el cálculo de densidad aparente.

En la etapa de gabinete, se analizaron las variables densidad aparente (D.A); % Carbono orgánico y COS. El % de carbono orgánico del suelo se realizó en el LASPAF de la Universidad Nacional Agraria La Molina utilizando el método de ácido crómico Walkley y Black (1934). Se estimó el COS (almacenamiento de carbono orgánico en el suelo) con base en el porcentaje de carbono orgánico y la densidad aparente con la metodología propuesta por Andrade & Ibrahim (2003) y también usada por Hidalgo, R. (2014) en un estudio de almacenamiento de carbono de suelo en el departamento de San Martín, Perú. La ecuación es la siguiente:

$$COS = C_i * TH_i * BD_i \quad \text{Ec. (12)}$$

donde:

COS_t = Carbono orgánico del perfil del suelo

C_i = % carbono orgánico del horizonte i (%)

TH_i = Espesor o profundidad del horizonte i (m)

BD_i = Densidad aparente del horizonte i (g/cm³)

Se tomaron tres muestras por cada parcela; teniendo un total de 21 muestras de suelo para carbono orgánico (%C); la densidad aparente para las muestras se tomó a una profundidad de 30 cm. Estas muestras se tomaron a favor de la dirección del cauce del río y la pendiente para poder observar diferencias significativas que puedan depender de la altitud, la cercanía al río y/o la presencia de animales como ganado vacuno en los estratos del bosque.

Tabla 16. Resultados de carbono orgánico (%C), densidad aparente y COS a un nivel de 30cm del suelo.

| Nº Parcela | Estrato | codigo_muestra | C% | D.A(g_cm ³) | COS (Mg/ha) |
|------------|---------|----------------|------|-------------------------|-------------|
| P1 | E1 | P1M1 | 0,74 | 1,35 | 29,97 |
| P1 | E1 | P1M2 | 0,31 | 1,35 | 12,555 |
| P1 | E1 | P1M3 | 0,35 | 1,35 | 14,175 |
| P2 | E1 | P2M1 | 0,9 | 1,53 | 41,31 |
| P2 | E1 | P2M2 | 0,55 | 1,53 | 25,245 |
| P2 | E1 | P2M3 | 0,47 | 1,53 | 21,573 |
| P3 | E1 | P3M1 | 0,86 | 1,44 | 37,152 |
| P3 | E1 | P3M2 | 1,02 | 1,44 | 44,064 |
| P3 | E1 | P3M3 | 1,14 | 1,44 | 49,248 |
| P4 | E2 | P4M1 | 0,9 | 1,21 | 32,67 |
| P4 | E2 | P4M2 | 1,02 | 1,21 | 37,026 |
| P4 | E2 | P4M3 | 0,82 | 1,21 | 29,766 |
| P5 | E2 | P5M1 | 0,7 | 1,48 | 31,08 |
| P5 | E2 | P5M2 | 0,9 | 1,48 | 39,96 |
| P5 | E2 | P5M3 | 0,59 | 1,48 | 26,196 |
| P6 | E3 | P6M1 | 0,61 | 1,61 | 29,463 |
| P6 | E3 | P6M2 | 0,51 | 1,61 | 24,633 |
| P6 | E3 | P6M3 | 0,47 | 1,61 | 22,701 |
| P7 | E3 | P7M1 | 1,06 | 1,43 | 45,474 |
| P7 | E3 | P7M2 | 1,17 | 1,43 | 50,193 |
| P7 | E3 | P7M3 | 1,02 | 1,43 | 43,758 |

En el siguiente cuadro se muestran los estadísticos descriptivos de las variables COS, %C y densidad aparente (D.A). Se puede observar que el C% varía entre 0,31 y 1,17 con una desviación estándar de 0,26% y una media de 0,76%; mientras que la densidad aparente varía entre 1,21 g/cm³ y 1,61 g/cm³ con una desviación estándar de 0,12 y una media de 1,43 g/cm³. En el caso del COS, para las 21 muestras del estudio, se tiene un mínimo de 12,55 Mg/ha y un máximo de 50,193 Mg/ha; teniendo una media de COS de 32,77 Mg/ha. Esta última expresaría la capacidad de almacenamiento del carbono en el suelo del bosque en estudio.

Tabla 17. Estadísticos descriptivos de las variables de carbono orgánico en el suelo en el bosque en estudio.

| Estadísticos descriptivos | | | | | | |
|---------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------------|----------------|
| | N | Mínimo | Máximo | Media | | Desv. estándar |
| | Estadístico | Estadístico | Estadístico | Estadístico | Error estándar | Estadístico |
| C_porcent | 21 | .31 | 1.17 | .7671 | .05727 | .26243 |
| D.Ag_cm3 | 21 | 1.21 | 1.61 | 1.4357 | .02667 | .12221 |
| COS_t | 21 | 12.555 | 50.193 | 32.77200 | 2.352612 | 10.781022 |
| N válido (por lista) | 21 | | | | | |

Para el análisis de la relación entre las variables densidad aparente y COS; y %C y COS, se realizó la prueba de normalidad Shapiro-Wilk debido a que esta prueba es utilizada para el tamaño de muestra menor a 50 observaciones (Novales,2010; Flores&Flores,2021). Se puede observar que el p-valor>0,05 para los tres casos (0,711 para COS; 0,340 para %C y 0,68 para densidad aparente), por lo que se infiere que estadísticamente los datos de COS, %C y densidad aparente presentan una distribución normal a un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

Tabla 18. Prueba de normalidad de las variables de carbono orgánico en el suelo en el bosque en estudio.

| Pruebas de normalidad | | | | | | |
|-----------------------|---------------------------------|----|-------|--------------|----|------|
| | Kolmogorov-Smirnov ^a | | | Shapiro-Wilk | | |
| | Estadístico | gl | Sig. | Estadístico | gl | Sig. |
| COS_t | .086 | 21 | .200* | .969 | 21 | .711 |
| C_porcent | .122 | 21 | .200* | .950 | 21 | .340 |
| D.Ag_cm3 | .196 | 21 | .035 | .915 | 21 | .068 |

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.
a. Corrección de significación de Lilliefors

Por ello, se usará el coeficiente de correlación de Pearson para poder hallar la correlación entre las variables para la estimación de carbono en el suelo del bosque en estudio. Se observa que el coeficiente de correlación es igual a 0,969; es decir existe una correlación muy alta entre el COS y el %C. Además, se encuentra un coeficiente de determinación $R^2=0,939$ expresada en una regresión lineal entre el carbono orgánico (%) y el COS. Esto que indica que a mayor concentración de carbono orgánico (%) se presenta mayor acumulación de carbono orgánico en el suelo. Esto indica que a mayor concentración de carbono orgánico (%) se presenta mayor acumulación de carbono orgánico en el suelo (Huamán-Carrión *et al.*, 2021).

Tabla 19. Correlación de Pearson entre las variables %Carbono orgánico y COS.

| Correlaciones | | | |
|----------------------|------------------------|-----------|--------|
| | | C_porcent | COS_t |
| C_porcent | Correlación de Pearson | 1 | .969** |
| | Sig. (bilateral) | | <,001 |
| | N | 21 | 21 |
| COS_t | Correlación de Pearson | .969** | 1 |
| | Sig. (bilateral) | <,001 | |
| | N | 21 | 21 |

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

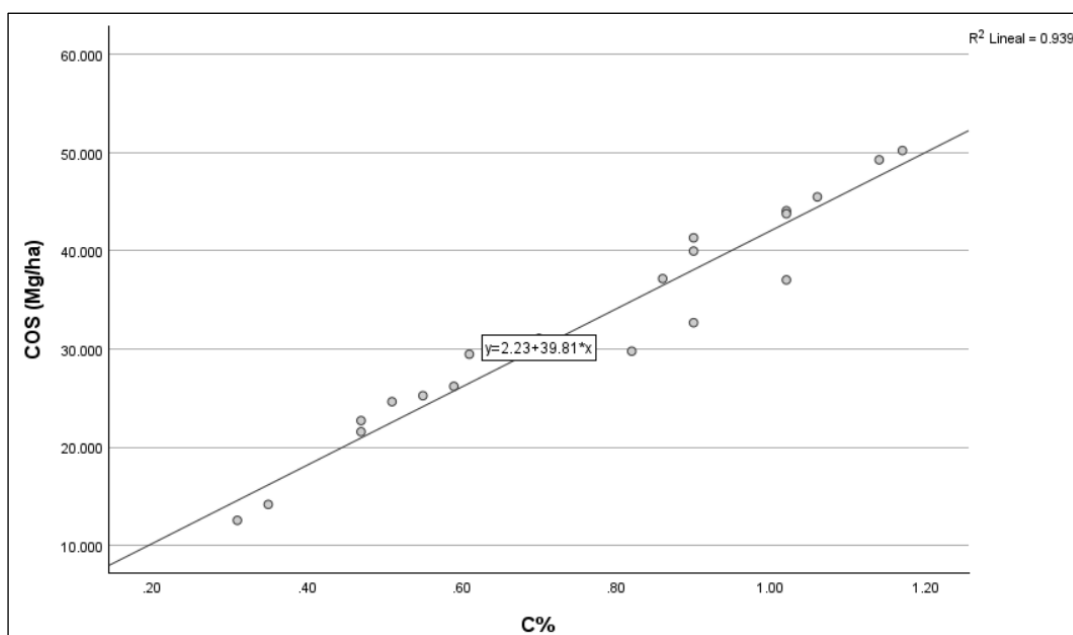


Figura 34. Gráfico de regresión lineal entre %C y COS(Mg/ha) con un $R^2=0,939$.

Sin embargo, en cuanto a la relación entre el COS y la densidad aparente, se obtuvo un coeficiente de determinación bajo ($R^2= 0,005$) y un coeficiente de correlación de Pearson muy bajo ($r=- 0,0059$). por lo que Alvarado, Andrade & Segura (2021) sugieren que existen otros factores además de la densidad aparente que pueden impactar al secuestro de carbono. Además, según Núñez (2000), la densidad aparente llega hasta $1,6 \text{ g/cm}^3$ en suelos minerales y llega a valores de $1,8 \text{ g/cm}^3$ en suelos arenosos. El rango de densidad aparente del bosque en estudio es entre $1,21-1,61 \text{ g/cm}^3$; encontrándose en la definición de suelo mineral. Además, el mayor valor de densidad aparente se encontró en la parcela 6 (P6) con un valor de $1,61 \text{ g/cm}^3$.

Tabla 20. Correlación de Pearson de las variables densidad aparente (D.A.) y COS(Mg/ha).

| | | COS_t | D.Ag_cm3 |
|----------|------------------------|-------|----------|
| COS_t | Correlación de Pearson | 1 | -.059 |
| | Sig. (bilateral) | | .800 |
| | N | 21 | 21 |
| D.Ag_cm3 | Correlación de Pearson | -.059 | 1 |
| | Sig. (bilateral) | .800 | |
| | N | 21 | 21 |

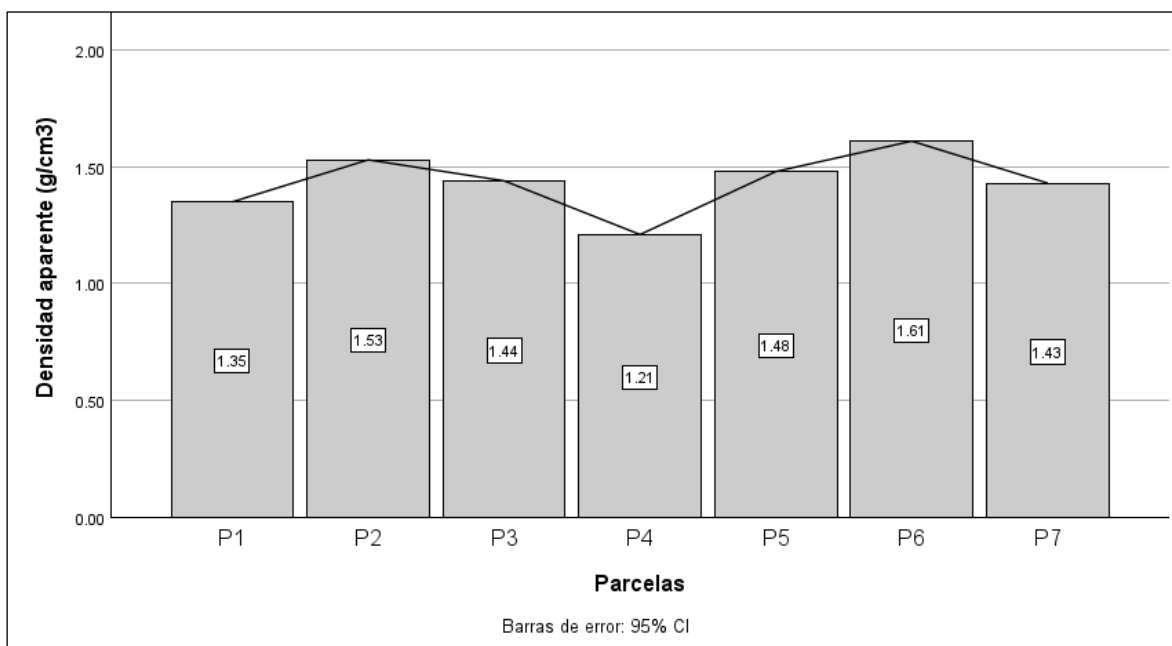


Figura 35. Gráfico de densidad aparente (g/m3) en suelos por cada parcela (P1-P7) en el bosque en estudio.

Sin embargo, Martínez *et al.*, (2008) sostiene que la presencia de carbono orgánico en el suelo ejerce una influencia significativa en el proceso de agregación de las partículas del suelo, lo cual conlleva a cambios en la porosidad, densidad aparente, retención de agua y aire. Estos hallazgos refuerzan la relevancia de promover la incorporación de carbono orgánico en los suelos tanto para la mitigación del cambio climático como para potenciar la calidad del suelo como soporte fundamental para la actividad agropecuaria.

En cuanto al análisis de %C (carbono orgánico en el suelo) por parcela, se obtuvo el valor mayor de C% en la parcela 2 (P7) con un valor de 1,08%; seguida de la parcela 4 (P4) con un valor de 1,01%. El menor valor de %C fue de la parcela 1 (P1) con un valor de 0,47%.

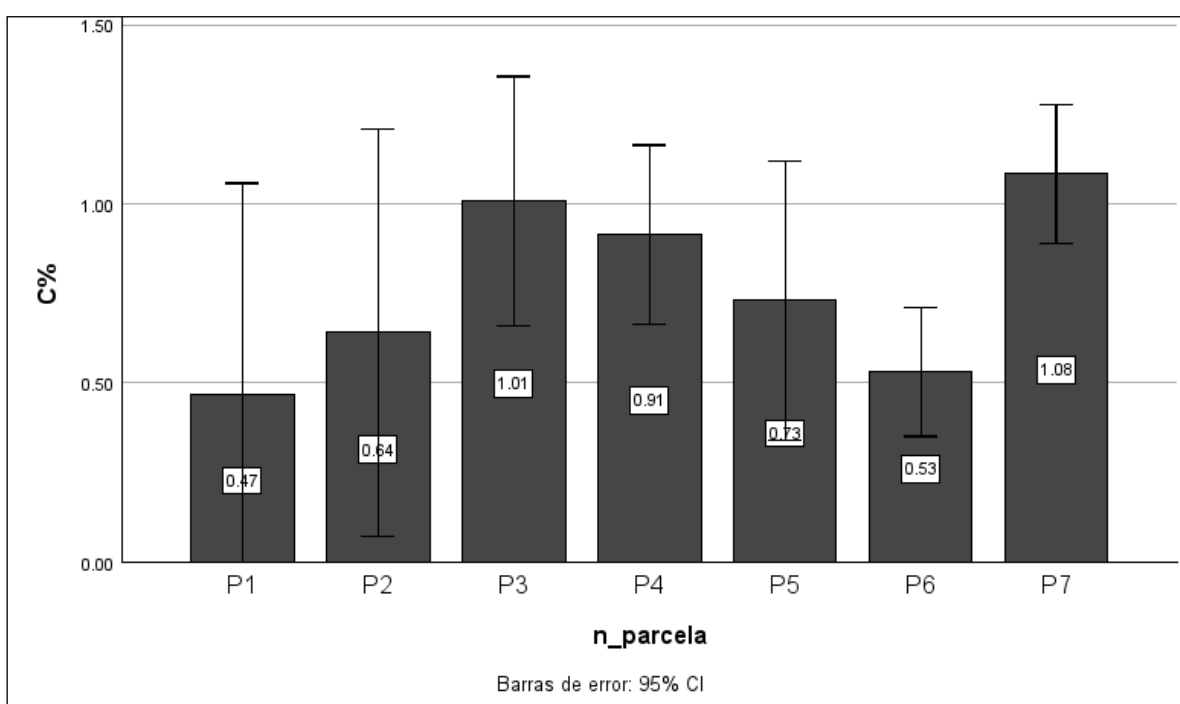


Figura 36. Gráfico de %C por parcela del bosque en estudio.

En el caso de C% por estratos (E1, E2 y E3), se observa que el E2 tiene mayor %C con un valor de 0,82, seguido del E3 con 0,81%. El Estrato 1 tiene el menor valor (0,70% de carbono orgánico). Esto puede explicarse debido al uso de ese estrato del bosque como dormitorio y estercolero de individuos de ganado vacunos; al ser transitado este estrato por esta especie, la deposición de estiércol sobre el suelo favorece los niveles de materia orgánica y en consecuencia los de carbono (Salas *et al.*, 2020). Se observó la presencia de estos individuos en la etapa de campo y testimonios de pobladores locales indican que su presencia es debido a la cercanía al río y pasan por ese estrato para llegar hasta él y tomar agua y la otra razón es debido al uso de las tierras de alfalfa (colindantes al bosque en estudio) por días como

alimento para el ganado de otros fundos. La similitud de valores entre los tres estratos se podría explicar debido a la similar composición de hojarasca que se deposita sobre el suelo y que luego de la descomposición es incorporada como materia orgánica al suelo; además de la no variabilidad de la temperatura en los procesos de descomposición de la materia orgánica. (Pries *et al.*, 2017 & Salas *et al.*,2020).

Por otro lado, el comportamiento del %C del estrato 2 (E2) puede explicarse con ayuda de los mapas parlantes y testimonios locales sobre la historia de esa zona del bosque. En 1980 hasta el año 2000 se establecieron cultivos de maíz, trigo y alfalfa (ver Imagen X1). Según Salas *et al.*, (2020) la cantidad de %C puede estar relacionada a la utilización de las zonas para actividades agrícolas lo cual supone la fertilización y/o abonado del suelo y la remoción de la primera capa de este.

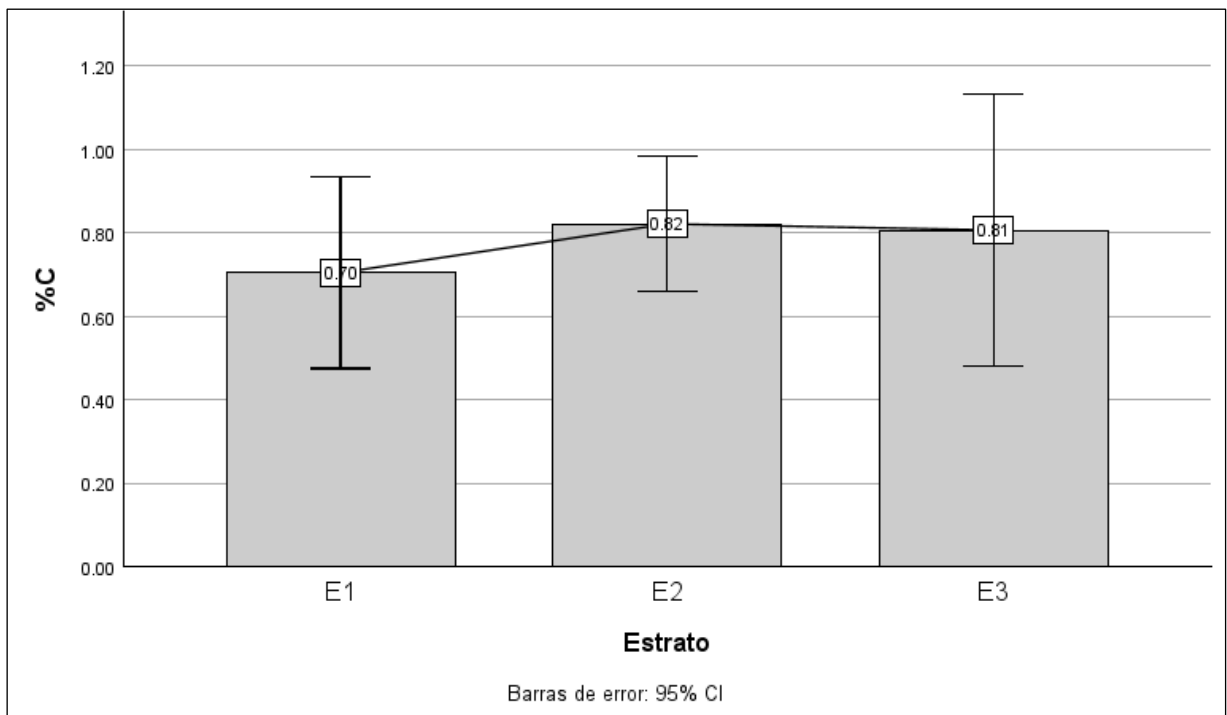


Figura 37. Gráfico de %C por estrato del bosque en estudio.

Los resultados por parcela de COS (Mg/ha) a una profundidad de 0,3 m y las densidades aparentes se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 21. COS(Mg/ha) y D.A. (densidad aparente) por parcela del bosque en estudio.

| Parcela | Estrato | C% | D.A (g/cc) | Prof (m) | COS (Mg/ha) |
|---------|---------|------|------------|----------|-------------|
| P1 | E1 | 0,47 | 1,35 | 0,3 | 18,90 |
| P2 | E1 | 0,64 | 1,53 | 0,3 | 29,38 |
| P3 | E1 | 1,01 | 1,44 | 0,3 | 43,49 |
| P4 | E2 | 0,91 | 1,21 | 0,3 | 33,15 |
| P5 | E2 | 0,73 | 1,48 | 0,3 | 32,41 |
| P6 | E3 | 0,53 | 1,61 | 0,3 | 25,60 |
| P7 | E3 | 1,08 | 1,43 | 0,3 | 46,48 |

El bosque presentó mayor contenido de COS (Mg/ha) en la P3, seguida de la parcela 7 (P7); mientras que el menor contenido de COS(Mg/ha). Fue de la Parcela 1 (P1). Esto podría explicarse debido a la fuerte correlación entre el %C y el COS ($r=0,969$) y el coeficiente de determinación de la regresión lineal entre ambas variables ($R^2= 0,939$). Se ha evidenciado mediante observación en la etapa de campo y mediante testimonios locales la presencia y recorrido por el bosque de ganado vacuno hacia el río para utilizarlo como bebedero. De-Stefano & Jacobson, 2017; Dollinger & Jose, 2019; Contreras-Santos *et al.*, 2019; Shi *et al.*, 2018) explican la relación de acumulación de %carbono orgánico bajo sistemas silvopastoriles; en este caso esto podría explicar la mayor cantidad de %C en la parcela 7.

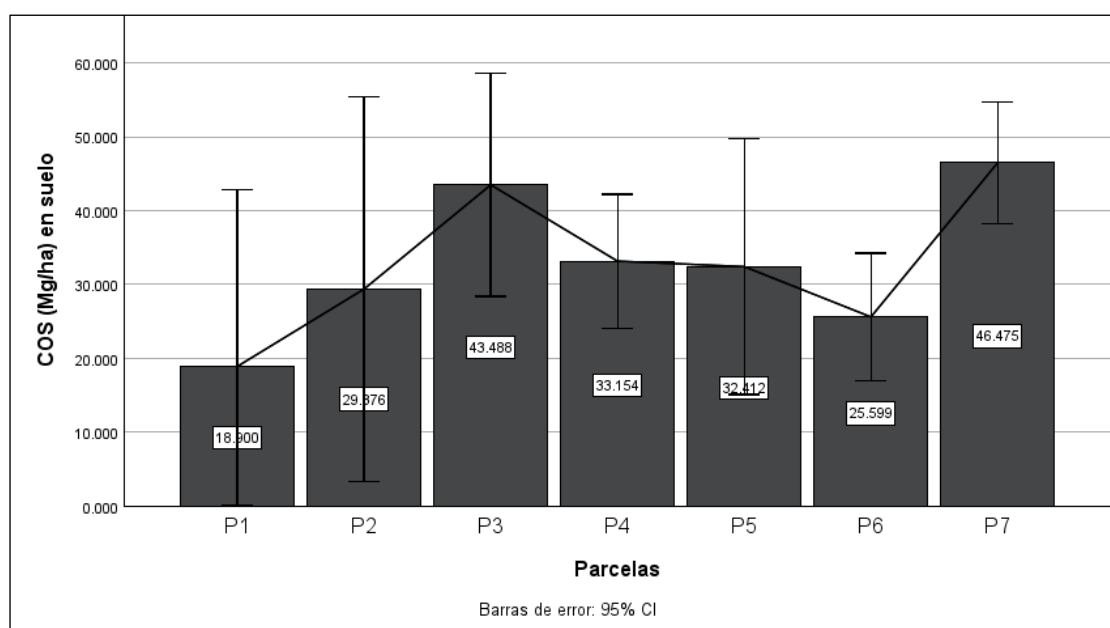


Figura 38. Gráfico de COS(Mg/ha) por parcela del bosque en estudio.

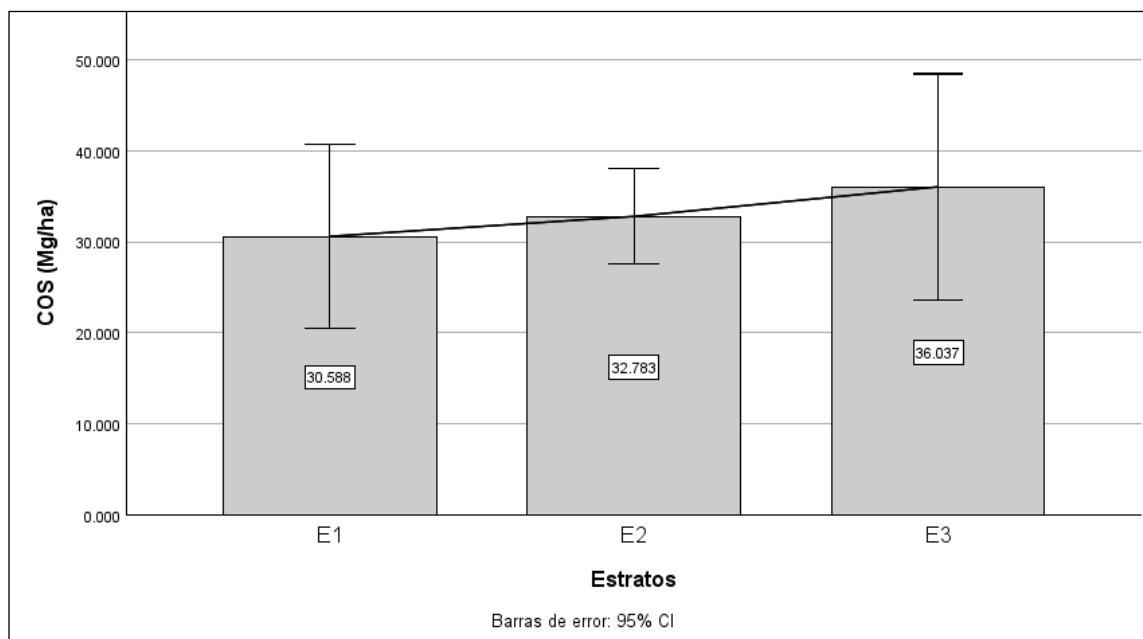


Figura 39. Gráfico de COS (Mg/ha) por estrato del bosque en estudio.

Los resultados reflejan que la capacidad de almacenamiento de carbono en el suelo es mayor en el Estrato 3 (E3), siendo este estrato el menor a nivel altitudinal (1693-1691 msnm). Si bien el coeficiente de determinación entre la altitud(m) y el COS resulta estadísticamente bajo ($R^2= 0,3086$), es decir solo el 30,86% de los valores están explicados por la ecuación de regresión lineal. Salas *et al.*, (2021) sostiene que, en un bosque seco con similitudes de almacenamiento de carbono en Ecuador, no hay influencia de la gradiente altitudinal en el almacenamiento de carbono. Sin embargo, Mogollón *et al.*, (2015) indica que las reservas de COS aumentan con la toposecuencia desde los sitios de menor altitud hasta el sitio de mayor elevación con un $R^2=0,90$; encontrándose las mayores reservas en sitios con mayor altitud y las mas bajas en suelos tomados en sitios de menor altitud. Si bien es más probable que exista una correlación positiva entre la altitud de muestreo y el contenido de carbono en suelos, este también está directamente relacionados con la disminución gradual de la temperatura y el aumento de la precipitación. Las diferencias entre los pisos altitudinales de los estratos tienen un rango muy pequeño (2-3 metros entre cada estrato); además el presente estudio no abarca la toma de datos de temperatura y precipitación, por lo que ambos motivos pueden explicar la no relación positiva entre la altitud y el %C. (Reynolds *et al*,2005; Mogollón *et al.*, 2015).

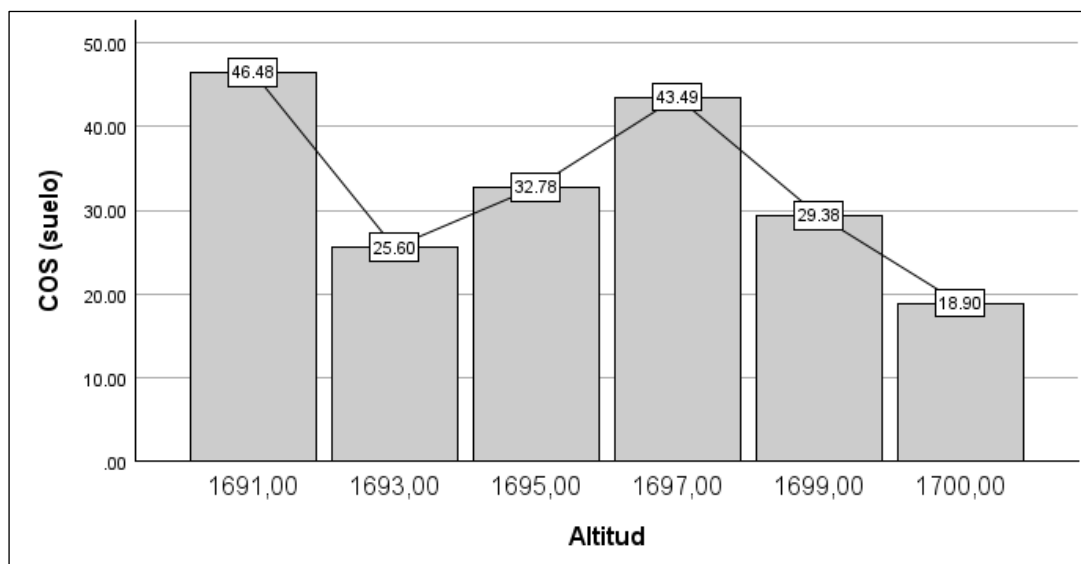


Figura 40. COS(Mg/ha) en las distintas altitudes de las 7 parcelas en estudio.

Los suelos juegan un rol fundamental en el ciclo global del carbono y pequeñas modificaciones en las reservas del carbono orgánico del suelo (COS) podrían tener un impacto considerable en los niveles de dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera, contribuyendo así al cambio climático global (Mogollón *et al.*,2015). La importancia de estudiar la capacidad de almacenamiento de carbono en el suelo y gestionar la conservación del bosque en estudio radica en la dificultad de las tierras áridas para fijar y almacenar C, debido a que la falta de agua característica de estas zonas limita la productividad vegetal y, por lo tanto, afecta la acumulación de carbono en los suelos. La falta de agua y la baja cantidad de COS encontrada en zonas áridas se ve agravada por la irregularidad de las precipitaciones y su impredecibilidad (Lal,2002; Aviles;2020, Brevik,2013; Mogollón,2014; Zamora, Mogollón y Rodríguez,2005). Por ello, es importante gestionar de manera eficiente los recursos hídricos disponibles y proponer estrategias de gestión y conservación del carbono orgánico acumulado en los bosques del distrito de Caravelí.

A pesar que el presente estudio no abarcó dentro de sus objetivos el estudio de entomofauna y/o biodiversidad del suelo, Lal(2004) & Alvarado; Andrade & Milena (2013) recomiendan el análisis de este componente biológico debido a que los depósitos de carbono en el suelo y su dinámica pueden estar relacionados con la fauna edáfica; influyendo en las propiedades físicas y biológicas del suelo como porosidad, estructura, drenaje, reciclaje de nutrientes y flujo de materia orgánica. Además, Fonseca (2017) recomienda el estudio de almacenamiento de carbono en raíces debido a la cantidad de biomasa albergada en los sistemas radicales; Ramos (2003) afirma que la estimación de biomasa en raíces representa

entre un 10 y un 40% del porcentaje total de la planta; en zonas áridas se estima un 30% (Fonseca, 2017) y Acosta *et al.*, (2001a) menciona que el 75% del carbono (C) en los ecosistemas se encuentra en el suelo. En cuanto a la dinámica de carbono en suelo, estos sistemas (en específico las raíces finas) juegan un papel importante debido a la cantidad significativa de carbono orgánico del suelo que incorporan al senecer, lo cual incrementa la relevancia en el ciclo global del carbono (Burke y Raynal, 1994; Sanford y Cuevas, 1996; Barreto y León, 2005, Tooichi,2018, Jackson, Mooney y Schulze, 1997; Gayoso y Guerra, 2005). Sin embargo, existe poca información disponible e investigación debido a que para la estimación de biomasa del sistema radicular se necesitan métodos destructivos y mayores tecnologías. Por ello, se considera oportuno realizar estudios locales que permitan aumentar la precisión y el cálculo de la estimación de la biomasa en raíces.

Los bosques seos en diversas partes del mundo, especialmente en América del Sur, están experimentando transformaciones significativas, entre ellas el rolado y el cambio de uso de suelo han tenido un impacto significativo en la disminución de bosques secos, ocasionando pérdidas considerables en la cantidad de carbono orgánico del suelo (COS), así como en los servicios ecosistémicos relacionados y podrían conducir también a la degradación del suelo. Por ello, es clave diseñar estrategias de manejo que tengan como objetivo aumentar los niveles de COS y promover la sustentabilidad de las actividades agrícolas y ganaderas en la región. (Sevilla *et al.*, 2019; Naldini, Perez & Kowaljow,2023; Steffens,2009; Villarino *et al.*, 2017).

4.3. Reseña histórica 1955-2023 de la sucesión y cambios del área del área de estudio, actualmente un bosque secundario colindante al fundo Huachipa

4.3.1 Historia del bosque a través de mapas parlantes, imágenes LANDSAT e imágenes aéreas

Actualmente, la dinámica actual del distrito de Caravelí fluctúa entre las áreas destinadas a cultivos de vid, frutales, pastoreo y las áreas de capacidad de uso como bosques (como potencial para protección y aprovechamiento). En el distrito de Caravelí se ha decretado la ordenanza municipal N° 018-2020-M donde se prohíbe el uso comercial de la leña de la especie *Vachellia macracantha*, por ende, los pobladores solo pueden utilizar el carbón y/o leña que puedan extraer de los bosques de *Vachellia macracantha* para su uso personal. El fundo Huachipa (el fundo donde se encuentra el bosque en estudio) ha sido administrado por la familia Díaz desde hace varias generaciones. Por ende, ha experimentado cambios a lo

largo de los años. Mediante conversaciones informales se tuvo información que el fundo fue comprado en el año 1997. Para ello, se realizó un mapa parlante con la descripción de los cultivos, presencia de árboles u otros. Este mapa fue elaborado en conjunto con uno de los familiares directos propietarios del fundo.

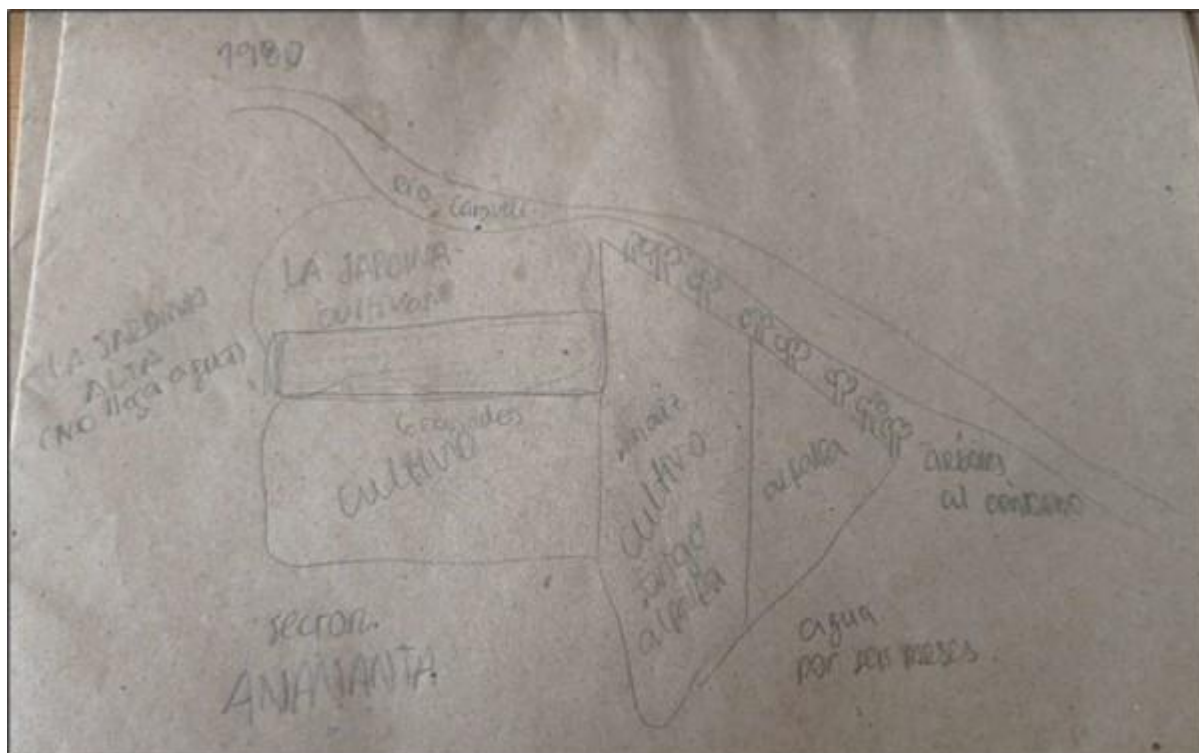


Figura 41. Mapa parlante del fundo Huachipa y sus cultivos en el año 1980.

El fundo fue comprado por la familia en mención el año 1997. Asimismo, el familiar que participó en el mapa parlante recuerda cómo era la estructura del área en estudio entre los años 1980-2000 debido a que es una persona local que ha vivido en la zona durante esos años. Como se puede observar en la imagen, el sector al que se le ha denominado para la presente tesis E1 (Estrato 1) donde se encuentran las parcelas 1,2 y 3 establecidas para el presente estudio; en el periodo 1980-1990 tenía cultivos de granado. En el E2(Estrato 2) donde actualmente están establecidas las parcelas 4 y 5, se encontraban cultivos de trigo, maíz y alfalfa y en el E3 (estrato 3) donde actualmente están las parcelas 6 y 7 para la presente tesis, existía presencia de cultivos de alfalfa. Además, menciona que alrededor de los cultivos y cerca al río había presencia de árboles en el contorno como defensa ribereña.

A partir del año 1990 al 2000, el distrito de Caravelí presentó problemas de sequía. Por ende, en algunos sectores del área en estudio disminuyeron los cultivos. Se realizó un segundo mapa parlante donde se evidencia que en el E2 (Estrato 2) debido a la sequía los cultivos desaparecen y empieza a generarse el bosque secundario que observamos en la actualidad.

En el E3 también ocurre un evento similar, los cultivos desaparecen y la presencia de *Vachellia macracantha* es mayor. El E1 (Estrato 1) para la década 1990-2000 aún evidencia presencia de algunos cultivos, sin embargo, también irían desapareciendo con el tiempo.

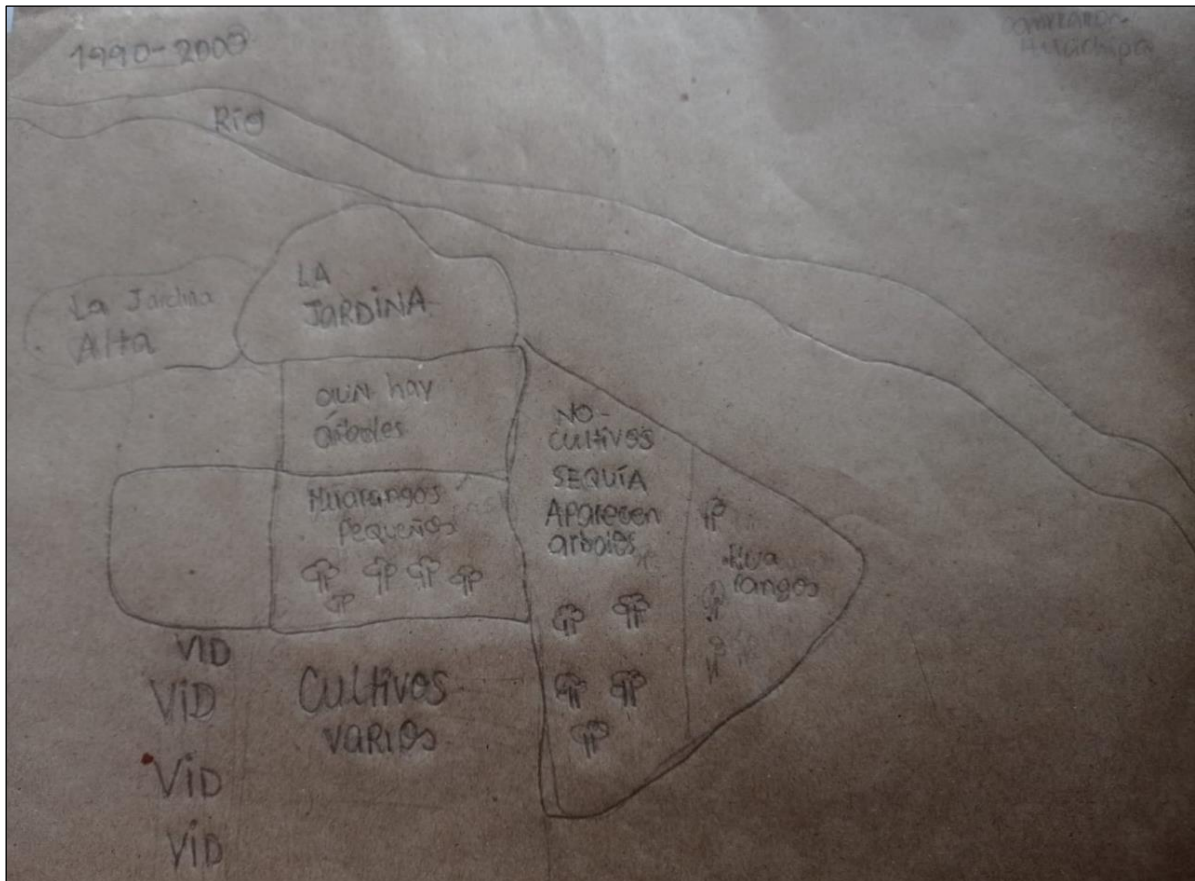


Figura 42 .Mapa parlante del año 1990-2000 donde se evidencia la formación del bosque secundario con predominancia de *Vachellia macracantha* a raíz de la sequía y la muerte de cultivos.

Además, se logró recopilar información del ANA y ONERN (1974) del documento titulado: “Inventario, Evaluación y Uso Racional de los Recursos Naturales de la Costa → Cuencas de los Ríos Atico, Caravelí y Ocoña” Para la cuenca del Río Caravelí se reportó para los años 1964 a 1970 una temperatura anual media de 18,7 °C y la humedad relativa entre los años 1966 a 1970 fue de 44%. Además, en los valles de Caravelí, Atico y Ocoña para el año 1971-1972 se registraron cultivos de vid, olivo, arroz, frijol, maíz, papa, trigo, camote yuca, hortalizas diversas, ají, higo, higuera, alfalfa, entre otros. Se encontró también un mapa del Uso Actual de la Tierra de acuerdo con el sistema de Clasificación de la Unión Geográfica Internacional (Inventario efectuado en junio de 1972); donde el sector Ananta y Huachipa se caracteriza por presentar Terrenos cultivos diversos, terrenos con cultivos diversos, cultivos de vid, cultivos de alfalfa. Específicamente para el bosque en estudio, observamos que en el año 1972 se encontraban cultivos diversos (ver Figura 43 y Figura 44). Además, al

norte del bosque en estudio y de Huachipa y al otro lado del cauce del río, se puede observar que se reportó para el año 1972 esta área como “áreas de cultivos abandonadas”. Estas áreas se pueden observar en la imagen satelital del año 2023 (ver Figura 46) mediante Google Earth Pro (en la coordenada 15| 46' 50", 73° 20' 2"22 O) cubiertas de vegetación ribereña. Con ellos podemos también explicar la formación de bosques secundarios colindantes al valle de Caravelí a partir de la regeneración natural del bosque.

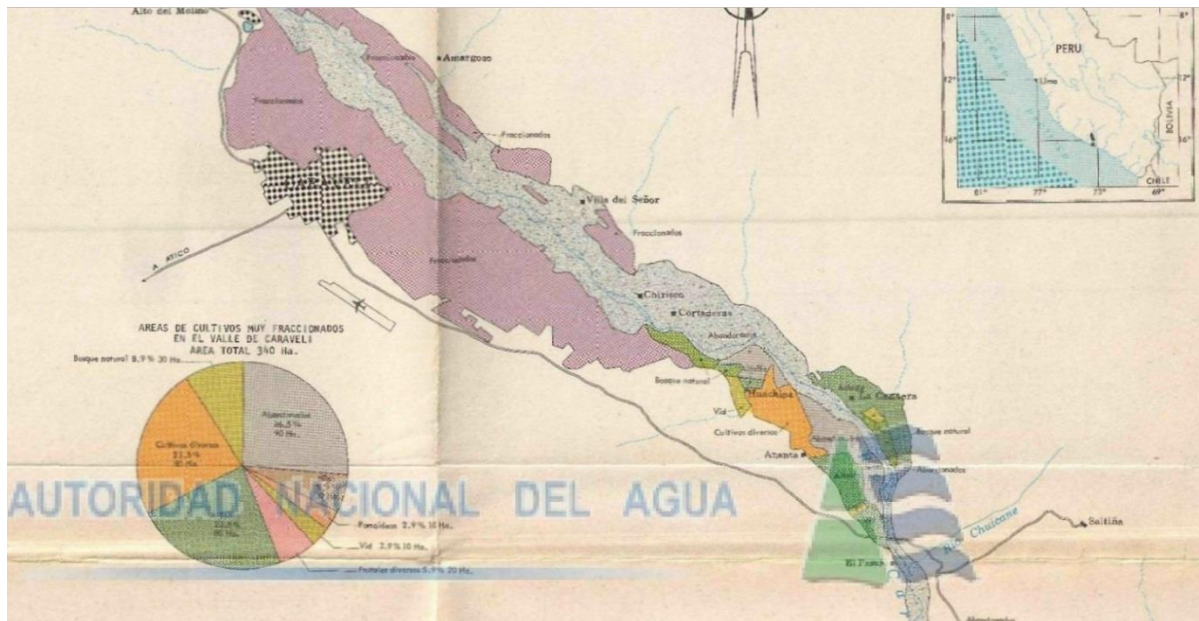


Figura 43. Mapa del Uso Actual de la Tierra de Caravelí en el año 1972.

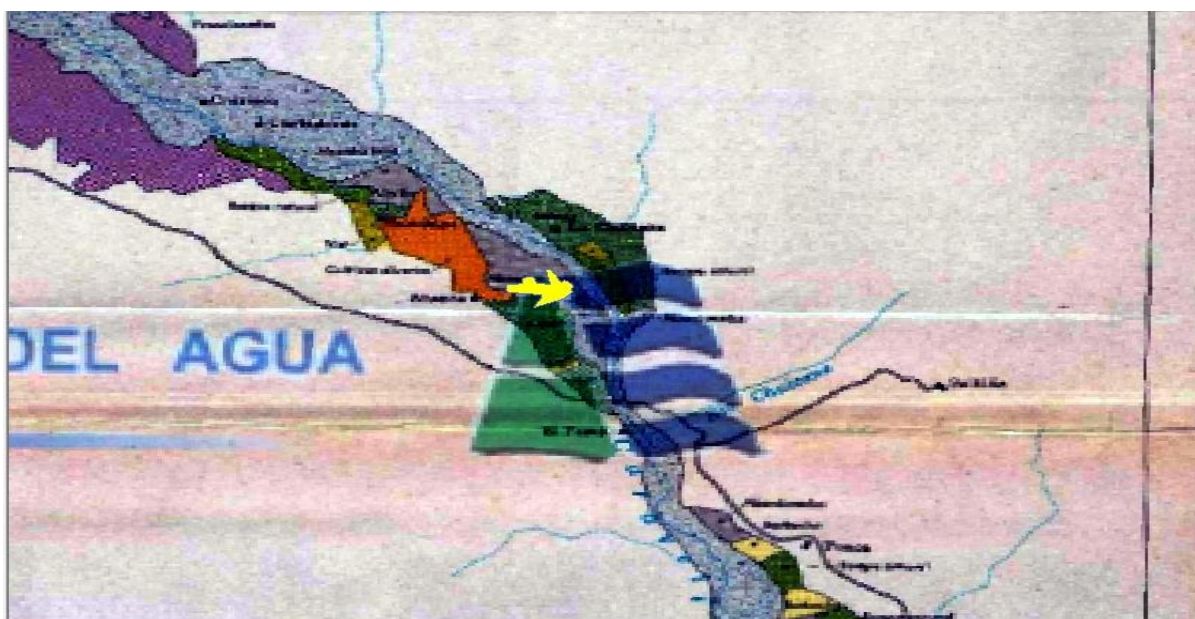


Figura 44. Mapa del Uso Actual de la tierra en 1972 georreferenciado. El sector de color amarillo representa el bosque en estudio y se encuentra en las zonas de cultivos diversos y alfalfa para ONERN (1972).

Además, como se observa en la Figura 48, se logró recopilar una imagen aérea del año 1955 del Valle de Caravelí. Se georreferenció la imagen para ubicar el área de estudio (actualmente un bosque secundario) en esa época y el resultado se encuentra en la siguiente imagen (Figura 45). En la imagen se puede observar la no presencia de vegetación arbórea. Por la calidad de la imagen no se puede determinar si la cobertura vegetal corresponde a cultivos abandonados, suelo desnudo y/o campos de cultivo en estado de crecimiento; para ello se necesitaría un análisis más profundo a nivel de procesamiento de la imagen.

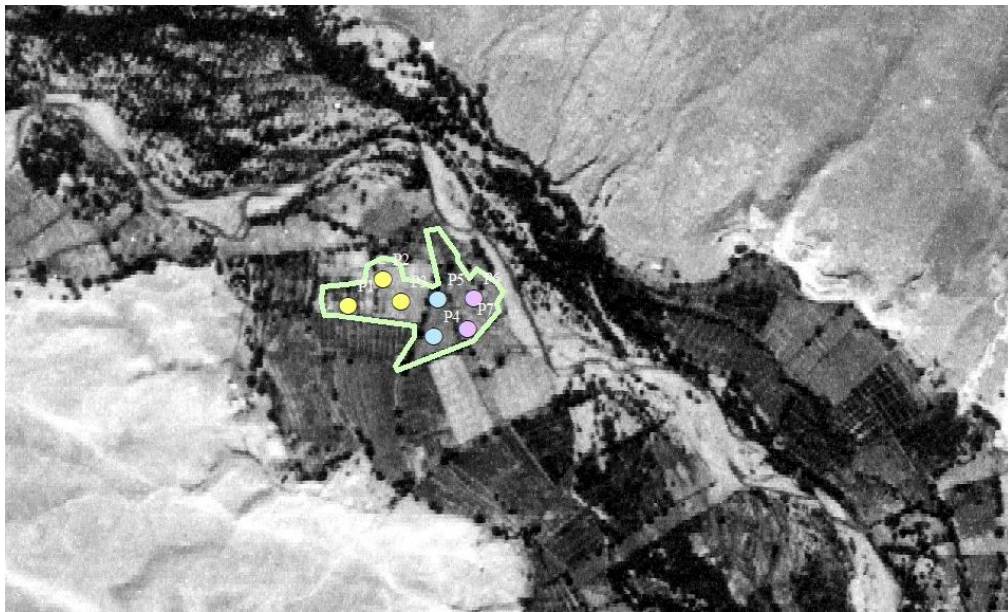


Figura 45. Imagen área del año 1955 georreferenciada para el área actual de estudio.

La siguiente imagen fue extraída desde Google Earth Pro el año 2022 (ver Figura 46) logra observar de manera actual cómo se encuentra el estadio sucesional y la composición arbórea del área de estudio. En la Figura 47 podemos observar a las siete (7) parcelas estudiadas dentro de las 2,98 ha de bosque y alrededor cultivos de alfalfa y de vid. Además, con el objetivo conocer la historia y dinámica sucesional del área en estudio, se solicitaron imágenes aéreas del año 1975 y de descargaron imágenes Landast 4,5 y 7 para observar los cambios a nivel espacial desde el año 2009 hasta el año 2016. (ver sección 4.4.3).

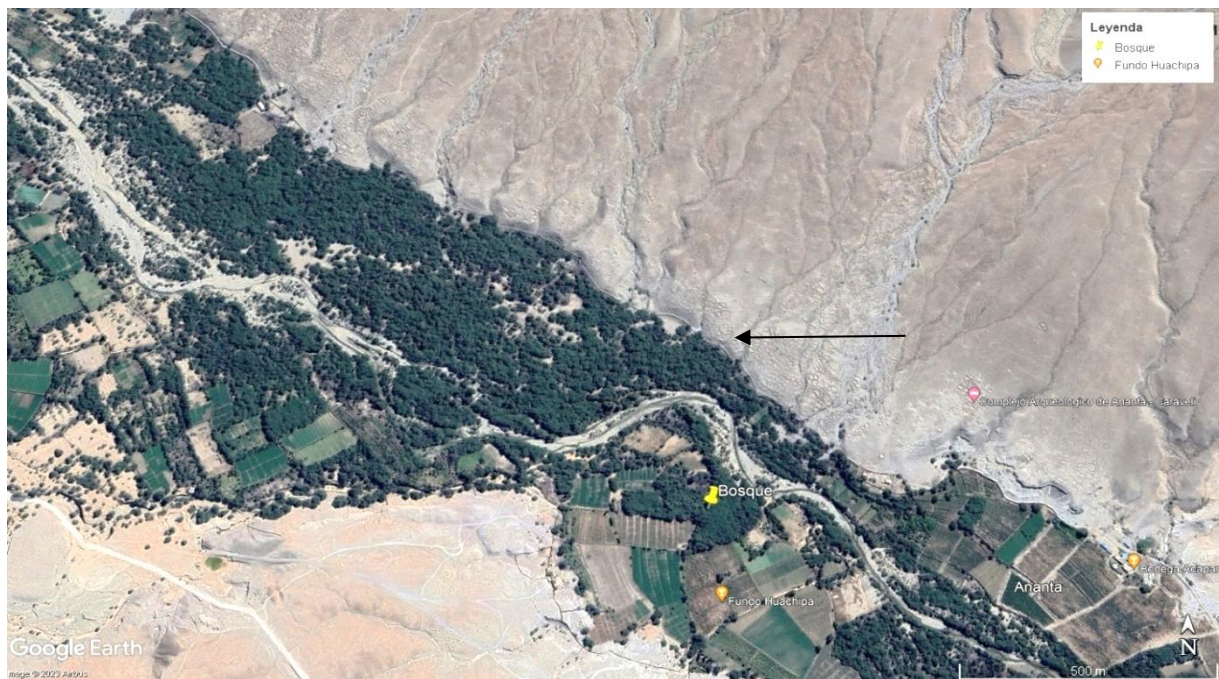


Figura 46. Bosque secundario de aproximadamente 76 hectáreas en el año 2023, regenerado debido a abandono de cultivos.

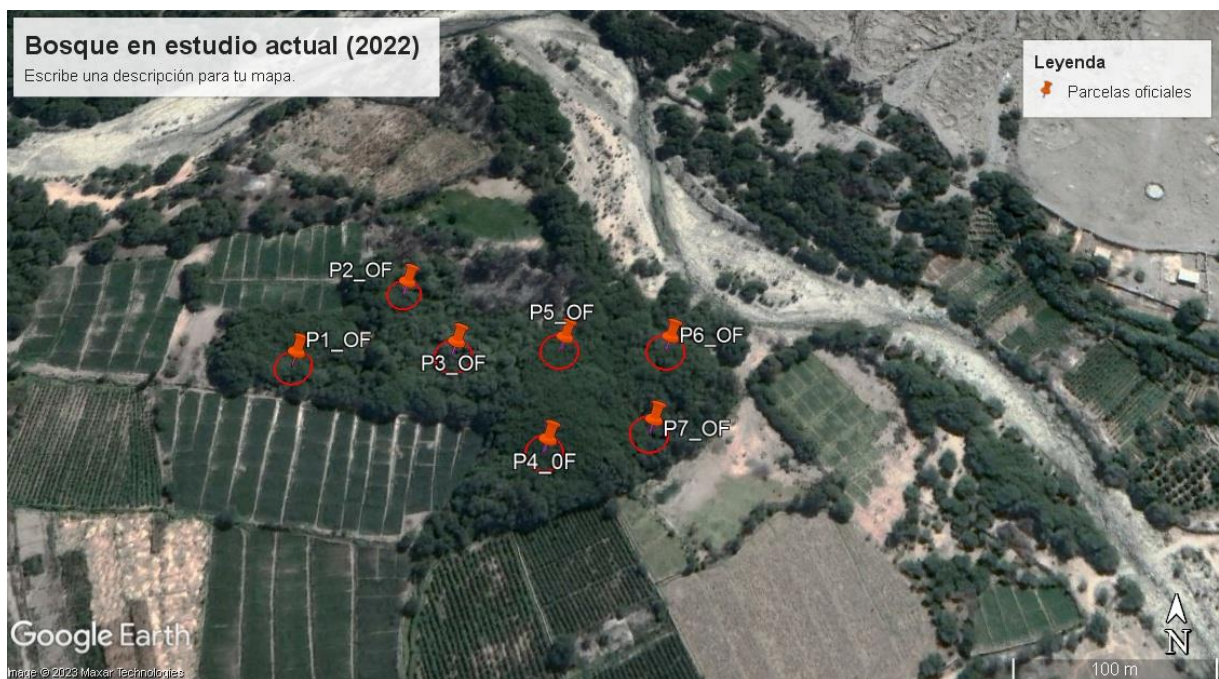


Figura 47. Imagen del área de estudio actual (2022), con presencia de cobertura boscosa indicando un bosque secundario a partir de regeneración natural.

Mediante los testimonios y registros obtenidos en el mapa parlante, se evidencia que el bosque en estudio es un bosque secundario. En los años 1980-2990 hubo cultivos de granado (En el Estrato 1 según el mapa parlante del año 1980) y cultivos de trigo, alfalfa y maíz en el estrato 2. Sin embargo, debido a la sequía posterior al año 2000 y al abandono de las tierras

de cultivo por falta de agua, la estructura del área en estudio cambió y se fue formando a lo largo del tiempo el bosque secundario con predominancia de *Vachellia macracantha* hasta el año 2022. Además, en las imágenes satelitales de los años 2009 y 2013 se logra observar que el E2 y el E3 se encuentran en el proceso inicial de crecimiento de la especie de *Vachellia macracantha*, visualizándose predominancia de terreno vacío dentro de los estratos; mostrándose en el año 2016 diferencias significativas sobre la cobertura arbórea de estos estratos. Esto es explicado por el fenómeno de regeneración natural del bosque y la formación del bosque secundario al no producir durante varios años los campos de cultivo que ahora son bosques secundarios. (CATIE,2003). Estudios recientes han identificado un desarrollo positivo en las unidades agrarias que practican la agricultura migratoria (CATIE,2003): existe una proporción de cobertura forestal mayor de lo que suponía Moran 1994 & Smith *et al.*, 1999a. Aunque los bosques residuales (bosques primarios que han sufrido la extracción de árboles de mayor valor) en pequeñas propiedades agrícolas son convertidas en campos de cultivo, también se encuentran parches de bosque regenerados en áreas significativas de bosque secundario (BS). El bosque secundario se define como la vegetación leñosa sucesional que se desarrolla después de que la vegetación original del lugar fue eliminada por acciones antrópicas (Finegan 1992; Smith *et al.*, 1997; Dotzauer, 1998). Este es el caso del Estrato 2 (E2) en el bosque en estudio, los testimonios locales y mapas parlantes evidencian que en los años 1980-2000 hubo cultivos de maíz, trigo y alfalfa en esa extensión de área, pero debido al no uso de ella para cultivos, el bosque tuvo la capacidad de regenerarse natural y actualmente almacena un promedio de 39,16 t C/ha (E2).

Además, la dispersión de semillas por mamíferos como el “zorro” (testimonio de personas locales de avistamiento de zorro sin especificar la especie) y el ganado vacuno dentro del ecosistema favorece el aumento de la población de *Vachellia macracantha*. Según Espinosa, Reyes & Jara-Guerrero (2021), los animales domésticos como las cabras pueden cumplir el rol de dispersores, mejorando la germinación de especies de testa dura. Además, Urrea-Galeano, Andrensen & Ibarra-Manríquez (2018) investigaron la relación entre mamíferos y el éxito de las semillas de especies de la familia Fabaceae (familia de la especie *Vachellia macracantha*), calculando los porcentajes de germinación y el porcentaje de manipulación de frutos y semillas por venados y vacas; sugiriendo que ambas especies promueven la germinación mediante la escarificación de las semillas. Como se mencionó con anterioridad, por testimonios de personas locales, se conoce que el ganado en los fundos recorre los bosques de Huarango para poder llegar al río para poder abastecerse de agua y

en el camino, también se ha observado que se alimentan de los frutos de *Vachellia macracantha*. Según Valiente-Banuet *et al.*, (2015), realizar investigaciones con este enfoque puede contribuir al entendimiento del funcionamiento y estructura de las comunidades bióticas del ecosistema en aras del desarrollo de estrategias que apoyen el aprovechamiento, mantenimiento y conservación de los bosques en estudio.

El manejo de los bosques secundarios requiere analizarse de manera que integre el sistema productivo campesino, el bosque secundario y suelos, y los productos forestales y servicios ambientales que puede brindar el bosque secundario a las comunidades aledañas (CATEI,2003). Por ello, el reconocimiento de los patrones y trayectorias sucesionales en los bosques tropicales estacionalmente secos es un aspecto importante para poder organizar y orientar procesos de restauración en este ecosistema amenazado. Es necesario realizar estudios más específicos para establecer patrones de los estadios sucesionales del bosque, incluyendo hierbas, arbustos (pioneras de corta vida), arbustos y árboles, para lograr un mejor entendimiento del comportamiento del bosque y con ello establecer mejores tomas de decisiones con el objetivo de restaurar y conservar el bosque en estudio (Olascuaga-Vargas,2015).

Además, especies propias del tropical estacionalmente seco como lo es *Vachellia macracantha* (Núñez,2022) son potencialmente usadas en procesos de reforestación en la ribera del río y alrededores debido a la capacidad de absorción de agua, para aminorar el posible desbordamiento del río. Como se puede observar en las siguientes imágenes satelitales, el bosque en estudio en específico la parcela 6 (P6) está próxima al río y la conservación y manejo sostenible de esta zona del bosque en estudio puede ser importante para evitar desbordamientos del río Caravelí.

El potencial almacenamiento de carbono, tanto de la biomasa aérea como del carbono orgánico en el suelo, junto con otros servicios ecosistémicos descritos por OCTA (2021) como: capacidad de absorción de agua para evitar desbordes y regulación de flujos de agua, rehabilitación de tierras degradadas y generación de ecosistemas para el establecimiento de la biodiversidad puede ser clave para la toma de decisiones al desarrollar estrategias de sostenibilidad y conservación de los bosques en el distrito de Caravelí.

4.3.2 Imagen área del año 1955 del valle de Caravelí



Figura 48. Imagen área del valle de Caravelí donde se encuentra el bosque en estudio, tomada el año 1955.

4.3.3 Imágenes satelitales del área de estudio a través del tiempo (2009-2023)



Figura 49. Imágenes satelitales del área de estudio a través del tiempo (2009-2018)

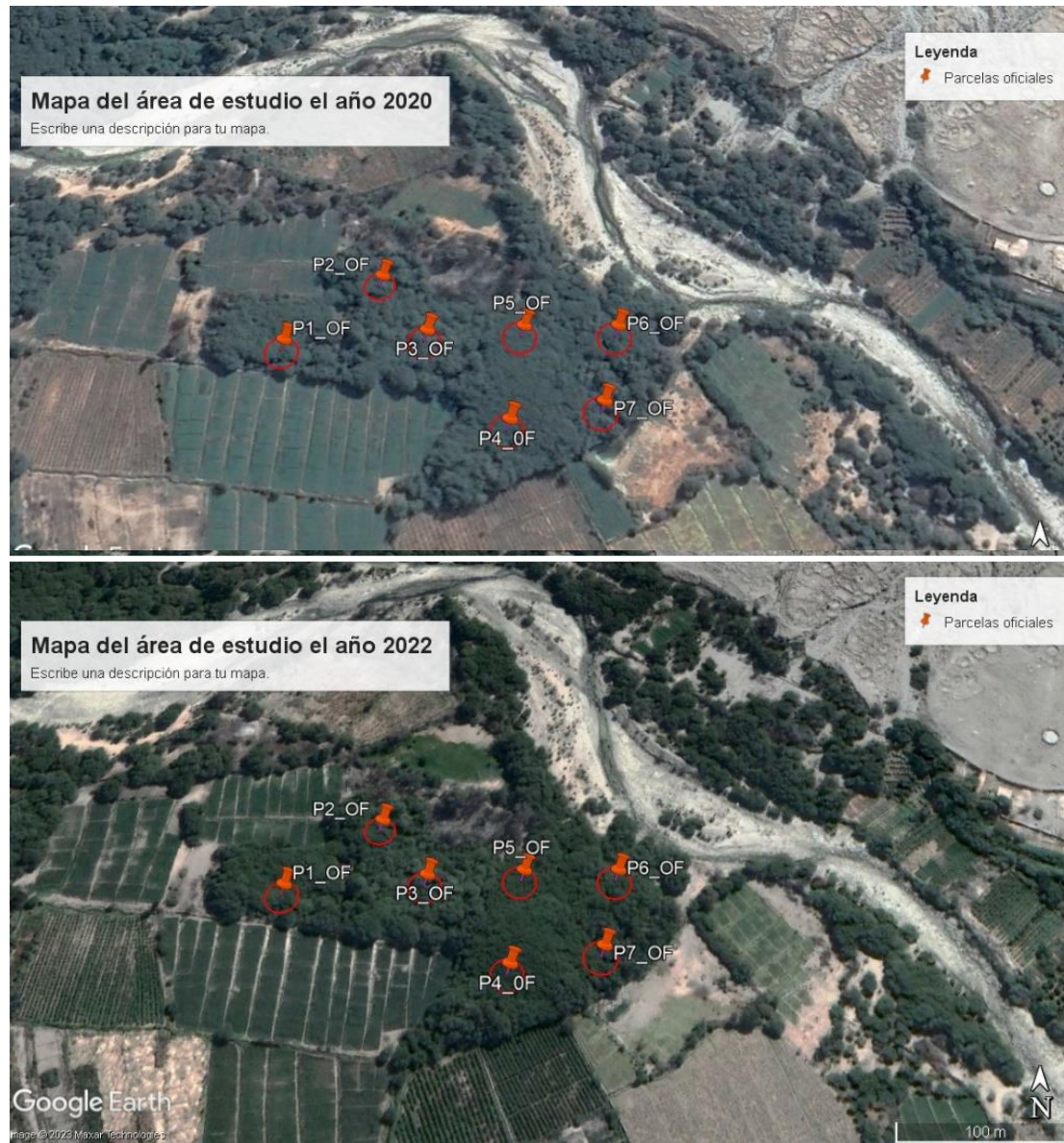


Figura 50. Imágenes satelitales del área de estudio a través del tiempo (2020-2022)

4.3.4 Propuesta denominación Bosque Tropical Estacionalmente Seco

El bosque en estudio, denominado como bosque secundario y bosque ribereño (por estar dentro de la formación vegetal “Monte Ribereño” según la clasificación de MINAM (2015), presenta un clima predominante de tipo desértico, la temperatura promedio anual para el sector de Caravelí a 1780 msnm oscila entre 16°C a 26°C en invierno y de 20°C a 30°C en verano, la precipitación es estacional y escasa y sujeta a ciclos anuales de abundancia de escasez, y se presentan entre diciembre y marzo con un promedio mensual estimado de 250 a 300 mm (Arata y Toro,2005, INGEMMET,1983). La estación de Caravelí se ubica en la parte media de la cuenca a una altitud de 1762 msnm (Machaca, D.; Peña, F. & Vasquez J. (2022) y registra para el año 2021 una pluviometría media anual de 33,6 mm con una época lluviosa marcada de enero a abril, siendo el mes de febrero el más lluvioso con una precipitación media de 12,5 mm, de mayo a diciembre la precipitación es muy débil a nula. Además, se lograron observar especies como *Vachellia macracantha*, *Schinus molle* y otras especies herbáceas características de la vegetación ribereña (*Baccharis lanceolata*). La cuenca húmeda es de 981 km², el curso es poco sinuoso, teniendo desde su origen una dirección N-S. Forma dos valles: Caravelí a 1780 msnm, tipo interandino con características subtropicales; y Pescadores, cerca de su desembocadura (Evaluación de Peligros de Caravelí, 2001). Debido a la ausencia de lluvias y a la profundidad de aguas subterráneas, el área está casi completamente desprovista de vegetación. Sólo los valles fluviales exhiben alguna vegetación debido a la presencia de ríos y aguas subterráneas, como es el caso de estudio donde se observan especies en el monte ribereño colindantes al Valle Pescadores (INGEMMET,1983) Este río (Caravelí-Pescadores) tiene su cuenca de recepción en la altiplanicie a más de 4000 msnm y se forma en un lugar denominado El Pasaje, mediante la confluencia de las quebradas Macha, Chuñuñu y Chucane (INGEMMET,1983). En época de lluvias su caudal es considerablemente mayor que en épocas secas donde es escaso de caudal. El tramo inicial de lecho está desarrollado por rocas intrusivas y origina una quebrada estrecha (100-300 m) de ancho. Al sur del pueblo de Caravelí su cauce está labrado sobre rocas clásticas, por lo que, el valle es bastante amplio (Evaluación de Peligros de Caravelí, 2001).

Sin embargo, a pesar de la importancia del análisis de estos ecosistemas principalmente por los servicios ecosistémicos que puede brindar como defensa ribereña reduciendo las consecuencias negativas debido a huaycos e inundaciones que afectarían a la agricultura y poblaciones instaladas en los márgenes de los ríos, en Perú existen pocos estudios que

describan la vegetación de los márgenes de los ríos y más aun de la relación entre el paisaje y los factores ambientales de las comunidades vegetales, existiendo con ello un gran vacío de información biológica, lineamientos base para la caracterización y estudio de comunidades vegetales, composición, abundancia, especies endémicas, etc; para poder determinar el estado de la flora del lugar y desarrollar estrategias de sostenibilidad (Montesinos *et al.*,2019). Se han realizado estudios de caracterización de flora en Arequipa para el Río Chili (Montesinos & Mondragón,2013), el río Acarí (también ubicado en la provincia de Caravelí (Montesinos *et al.*,2018) y para las Lomas de Atiquipa que se encuentran a aproximadamente 100 km² del distrito de Caravelí (Jimenez *et al.*, 2018; Talavera *et al.*, 2017 y Sotomayor Melo, D. A., & Jiménez Milón, P.,2008); sin embargo, no hay estudios de caracterización, composición ni análisis de patrones de sucesión vegetal de los valles dentro del distrito de Caravelí.

En el Perú oficialmente al año 2023 son reconocidos cinco tipos de BES (Bosque Estacionalmente Seco) y ocupan un 3,11% del territorio nacional (MINAM,2018). Los BES son ecosistemas únicos y frágiles se encuentran El reconocimiento e identificación de los Bosques Estacionalmente Secos vienen desde décadas atrás con Weberauer (1945) y otros, utilizando diversos criterios para poder diferenciarlos. En la literatura se encuentran BES orientales, donde la vegetación tiene predominancia de especies caducifolias y presencia de algunas especies con espinas y fuste delgado, la altura de los árboles está entre 3 y 7 m, siendo escasos (menos de 3%) los individuos de más de 12m. Actualmente se ha reportado este bosque estacionalmente seco en los flancos orientales de los Andes San Martín, Tarapoto. Los BES Ecuatoriales están distribuidos en Tumbes, Piura y Cajamarca y representan la mayor extensión de BES en el Perú. Además, existen los BES interandinos compuesta por fragmentos y remanentes de BES en las laderas de ríos Huancabamba, Marañón, Apurímac y Mantaro; además de algunos valles en Cusco y Puno. (INRENA, 1997; INRENA,1998; Linares-Palomino, R;Pennington,T& S Bridgewater,2003; Linares-Palomino,2004). Además, Vargas (2018) menciona que los ecosistemas de bosques estacionalmente secos en el Neotrópicos se distribuyen desde el norte de México hasta el sur brasileño, ocupando el 42% de lo bosques tropicales del mundo, y están definidos por una vegetación usualmente conocida como árboles caducifolios; los bosques tropicales estacionalmente secos se encuentran más fragmentados y amenazados que los bosques tropicales húmedos, por lo que contar con más información sobre las zonas secas puede permitir un desarrollo analítico más exhaustivo para el mejoramiento de su situación, desde

el mejoramiento de normas de fomento y legislativas, como proyectos de sostenibilidad en el lugar (UNESCO,2010).

Si bien el presente estudio se enfocó en el almacenamiento de carbono de la especie *Vachellia macracantha*, se reconocieron similitudes propuestas por Linares-Palomino *et al.*,(2023) en las salidas de campo y revisión de literatura de condiciones similares a la base de datos utilizada para el reconocimiento de bosques secos en ese estudio como: Lluvias no superiores a 1800 mm/año y a su vez son menores a 100 mm en al menos 5 o 6 meses, tienen dosel continuo viéndose disminuido en las zonas más secas, vegetación generalmente decidua, con especies espesas y suculentas, y de suelos fértiles y ligeramente alcalinos (Pennington *et al.*,2009; Pennignton *et al.*,2018). Como menciona Linares-Palomino *et al.*, (2023) en los últimos 20 años se han generado diversos estudios florísticos enfocados en plantas leñosas para describir adecuadamente la florística de los bosques estacionalmente secos, se siguen identificando vacíos de conocimiento importantes y se propone mayor esfuerzo de inventarios adicionales en los bosques orientales y una revisión más profunda del concepto de bosque estacionalmente seco para la adecuada distribución de este instrumento de gestión. Por ello, se recomienda el análisis de la propuesta de clasificación de este bosque y los bosques de esta zona como Bosque Tropical Estacionalmente Seco.

V. CONCLUSIONES

- Se clasificó el área de estudio mediante Google Engine en tres coberturas: zonas agrícolas, monte ribereño y suelo desnudo. A partir de la reseña histórica del bosque en estudio (1955-2023) se ha podido registrar perturbaciones antrópicas que permiten establecer que el bosque actual es un bosque secundario.
- La estimación de almacenamiento de carbono promedio (t C/ha) de biomasa aérea del bosque en estudio con predominancia de *Vachellia macracantha* es de 42,55 t C /ha con una desviación estándar entre parcelas de 26,80 t C/ha para el mes de setiembre del año 2022.
- La estimación de almacenamiento de carbono (t C /ha) en el estrato suelo en el bosque en estudio con predominancia de *Vachellia macracantha* es de 32,77 t C/ha para el mes de setiembre del año 2022.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda un mayor análisis y composición de los servicios ecosistémicos a escala local tanto del distrito capital de Caravelí como del ecosistema agroforestal dentro del Fundo Huachipa.
- Se recomienda fomentar investigaciones y estudios acerca de la fenología, riqueza y capacidad de captura y almacenamiento de CO₂ en regiones del país donde no hay información previa para poder tener mayores referencias al momento de realizar investigación.
- Se recomienda el estudio de la gradiente altitudinal en el valle para obtener con ello más información sobre la influencia de la altitud en la capacidad de almacenamiento de carbono orgánico en el suelo.
- Se recomienda realizar un estudio a nivel de servicios ecosistémicos hídricos para poder complementar el servicio ecosistémico almacenamiento de carbono con el potencial servicio hídrico que se infiere que puede tener la especie *Vachellia macracantha* por sus raíces.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, M., Etchevers, J., Monreal, C., Quednow, K & Hidalgo, C. (2001). Un método para la medición de carbono en los compartimentos subterráneos (raíces y suelo) de sistemas forestales y agrícolas en terrenos de ladera en México. Ponencia presentada en el Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales, Valdivia, Chile
- Altieri, M.; & Nicholls, C. (2004). Una base agroecológica para el diseño de sistemas diversificados en el trópico. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología* 73:8- 20.
- Andrade-Castañeda, H. J., Segura-Madrigal, M. A., Canal-Daza, D. S., Huertas- Gonzales, A., & Mosos-Torres, C. A. (2017). Composición florística y reservas de carbono en bosques ribereños en paisajes agropecuarios de la zona seca del Tolima, Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 65 (4), 1245-1260.
<https://dx.doi.org/10.15517/rbt.v65i4.2700>
- Arata, A., & Toro, O. (2005). Rumbo a la competitividad: aprendizajes de la promoción de la agroindustria rural en Caravelí. DESCO: Programa Regional Sur, Arequipa.
- Avendaño-Leadem, D. F., Cedeño-Montoya, B. C., & Arroyo-Zeledón, M. S. (2020). Integrando el concepto de servicios ecosistémicos en el ordenamiento territorial. *Revista Geográfica de América Central*, (65), 63-90.
- Baev, P. V. & Penev, L. D. (1995). BIODIV: Programa para el cálculo de parámetros de diversidad biológica, similitud, superposición de nichos y análisis de conglomerados. Versión 5.1., Sofía Moscú, Rusia: Pensoft.
- Bhandari, N.; Fehrmann, L.; Kleinn, C. (s.f). Antología de conocimiento para la evaluación de los recursos forestales nacionales: Observaciones y mediciones. pp 14.
- Becerra-Rodas, C. (2016). Servicios ecosistémicos y rol funcional de los bosques nativos ribereños en cuencas silvoagropecuarias del centro-sur de Chile. Tesis de Magister en Ciencias mención Recursos Forestales, Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales. Valdivia, Chile. pp 81.

- BOLFOR (1995). Guía práctica y teórica para el diseño de un Inventario Forestal de Reconocimiento.
- Brown, S. (1997). Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests: a Primer. FAO Forestry Paper 134. Rome, Italy: 55 p.
- Calderón, D.; & Solís, D. (2012). Cuantificación del carbono almacenado en tres fincas de tres estados de desarrollo del bosque de Pino (*Pinus oocarpa*, L) Dipilto, Nueva Segovia, Nicaragua. Trabajo de Grado para optar el Título de Ing. Forestal de la Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente. Universidad Nacional Agraria.
- Canales, A. (2014). Planificación local frente al cambio climático en Arequipa. Universidad Nacional del Altiplano. Recuperado el 2 de diciembre de 2021 de https://www.cies.org.pe/sites/default/files/files/articulos/economiaysociedad/planificacion_local_frente_cambio_climatico_en_arequipa.pdf
- Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE. (2000). Parcelas permanentes de muestreo en bosque natural tropical: guía para el establecimiento y medición. pp12.
- Casana Araujo, R. & Mathez-Stiefel, S. L. (2011). Reforestando los bosques de huarango: una contribución a la restauración del paisaje cultural y natural de la costa peruana. *Leisa-Revista de agroecología (Perú)*. 27 (2), 19-20.
- CENEL Ingenieros. (2009). Estudio de Impacto Ambiental de la Línea de Transmisión 500 Kv Mantaro-Caravelí-Montalvo e Interconexión en 220 Kv S.E Campo Armiño a S.E Montalvo Nueva a S.E Montalvo- CCTE-SAC.
- Ceccon, E. (2003). Los bosques ribereños y la restauración y conservación de las cuencas hidrográficas. Recuperado el 29 de octubre de 2021 de (PDF) Los bosques ribereños y la restauración y conservación de las cuencas hidrográficas (researchgate.net)
- Chalán, M. (2019). Influencia de las precipitaciones sobre el crecimiento anual de *Acacia macracantha* Humb. & Bonpl. ex Willd, en dos sitios de la provincia de Loja. Tesis de pregrado. Universidad Nacional de Loja.
- Chacón, M., Harvey, C. A., & Delgado, D. (2007). Diversidad arbórea y almacenamiento de carbono en un paisaje fragmentado del bosque húmedo de la zona atlántica de Costa Rica. Recursos Naturales y Ambiente Número 51- 52 (Agosto-Diciembre 2007), páginas 19-32.

- Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M. A., Chambers, J. Q., Eamus, D., Fölster, H., Fromard, F., Higuchi, N., Kira, T., Lescure, J.P., Nelson, B.W., Ogawa, H., Puig, H., Riéra, B. & Yamakura, T. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145, 87-99.
- Chávez, J. (2018). Captura y almacenamiento de carbono de los bosques estacionalmente secos de la costa norte (Lambayeque), como mitigación frente al cambio climático. [Tesis de pregrado no publicada] Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Chiquini-Heredia, W., Esparza-Olguín, L., Peña-Ramírez, Y., Maya-Martínez, A., & Martínez-Romero, E. (2017). Estructura y diversidad en selva inundable al centro y sur de Calakmul. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 4(12), 511-524.
- Compés, R., & Sotés, V. (2018). El Sector Vitivinícola Frente al Desafío del Cambio Climático. *Monografías Cajamar: Murcia, Spain*, 45-64.
- CONAPISCO (2019). Comisión Nacional del Pisco. Ministerio de la Producción. Recuperado de <https://conapisco.org.pe/eventos-y-concursos/concurso-nacional-del-pisco2018.html>
- Crawley, M. (1997). *Plant ecology*. Second edition. Blackwell Science. Oxford. pp 720.
- Cruz-Tagle, E. ; Lara, A. ; & Becerra-Rodas, C. (2020). Estrategias de Manejo de Bosques Ribereños y de Quebradas para minimizar los impactos de las actividades silvoagropecuarias. Fundación Centro de los Bosques Nativos Forecos. Proyecto Impacto de la ganadería y la tala sobre los bosques nativos de conservación y el servicio ecosistémico de calidad de agua a escala de cuencas financiado por el Fondo de Investigación de Bosque Nativo 020/2016.
- Cueva, K. (2015). Metodología de procesamiento y análisis de datos del inventario Forestal Nacional (IFN). Programa Nacional Conjunto ONU REDD Paraguay. 35p
- Curkovic, T.; Arraztio, A.; & Solis, G. (2020). La importancia de la biodiversidad en viticultura. *Redagícola*.
- Dávalos Sotelo, R., Rodríguez Morato, M. I., & Martínez Pinillo-Cueto, E. (2008). Almacenamiento de carbono. In R. H. Manson, Hernández-OrtizVicente, S. Gallina, & K. Mehlreter (Eds.), *Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz: biodiversidad, manejo y conservación* (1st ed., pp. 223–234). México: Instituto Nacional de Ecología

- DeFries, R., Hansen, M., & Townshend, J. (1995). Global discrimination of land cover types from metrics derived from AVHRR pathfinder data. *Remote sensing of environment*, 54(3), 209-222.
- De Groot, R. S., Alkemade, R., Braat, L., Hein, L., & Willemsen, L. (2010). Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. *Ecological complexity*, 7(3), 260-272.
- Delgado, M; Recavarren, P. (2012). Guía de Campo, Diseño y Metodología: Estimación del Carbono almacenado en el Santuario Histórico Bosque de Pomac. SHBP. AIDER (Asociación para la Investigación y el Desarrollo Integral), Lambayeque-Perú
- Droulia, F., & Charalampopoulos, I. (2021). Future climate change impacts on European viticulture: A review on recent scientific advances. *Atmosphere*, 12(4), 495. <http://dx.doi.org/10.3390/atmos12040495>
- DRYFLOR (2020). Protocolo para el establecimiento y monitoreo de parcelas de bosque seco. Recuperado de <http://www.dryflor.info/files/ppp310112-sup-0003-supinfo-spanish.pdf>
- ERACC (2009). Estrategia Regional de Adaptación al Cambio Climático en la Región Arequipa. Gobierno Regional, Autoridad Regional Ambiental. Recuperado de <http://siar.regionarequipa.gob.pe/documentos/estrategia-adaptacion-cambio-climatico>
- Espinosa, C. I., Reyes, C., & Jara-Guerrero, A. (2021). Las cabras como dispersores de semillas: aportes y limitaciones para la regeneración del bosque tropical estacionalmente seco de Ecuador. *Revista de Biología Tropical*, 69(2), 557-572.
- FAO. (2003). Situación de los bosques en el mundo, utilización y ordenación sostenibles de los recursos de agua dulce: Papel de los Bosques. Roma, Italia.
- FONAM. (2010). Guía práctica para desarrolladores de Proyectos. Proyecto de elaboración de una cartera de proyectos que califiquen al MDL (PROCLIM-MDL). Perú. pp 45.
- Ferro, M. B., & Sánchez, M. R. (2002). Detección de cambios en los bosques secos del norte del Perú: Un análisis temporal entre los años 1991 y 2000 en " Malinguitas". *Zonas Áridas*, 7(1), ág-206.
- Fonseca-González, W. (2017). Revisión de métodos para el monitoreo de biomasa y carbono vegetal en ecosistemas forestales tropicales. *Revista de Ciencias Ambientales*,

51(2), 91-109.

- Gallardo, J. F., & Merino, A. (2007). El ciclo del carbono y la dinámica de los sistemas forestales.
- Gayoso, J. & Guerra, J. (2005). Contenido de carbono en la biomasa de carbono en bosques nativos de Chile. CL FONDEF. 47p
- GNR (10 de febrero de 2022). Diseños muestrales en inventarios forestales. *Consultora Ambiental Gestión de Recursos Naturales*. Recuperado de https://www.grn.cl/Disenos_muestrales_en_Inventarios_Forestales.pdf
- Gutierrez, Y. (2009). Uso del suelo, vegetación ribereña y calidad del agua de la microcuenca del río Gaira, Santa Marta, Colombia. Tesis de grado de magister en Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas. Escuela de Posgrado del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Costa Rica. pp 30-31.
- Haines-Young, R., & Potschin, M. (2018). Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 - Guidance on the Application of the Revised Structure. Nottingham, Reino Unido: CICES.
- Haines-Young, R., & Potschin, M. (2010). The links between biodiversity, ecosystem services and human well-being. *Ecosystem Ecology: a new synthesis*, 1, 110-139.
- Hallfater, G. (1992). La diversidad biológica en Iberoamérica I. CYTED-D. Programa Americano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. Instituto de Ecología, A.C. México. pp 388.
- Harrison, P.A., Gary, W., Luck, G.W., G.A., Feld, C.K. and Sykes, M.T. (2010) Assessment of Ecosystem Services. In: Settele, J., Penev, P., Georgiev, T. Grabaum, R., Grobelenk, V., Hammen, V., Klot, S., Kotarac, M., & Kuhn, I. (eds): Atlas of Biodiversity Risk. Pensoft, Sofía, pp 8-9.
- Harvey, C. A. (2001). Agroforestería y biodiversidad. In Jiménez, F.; Muschler, R. & Höpsell, E. (ed.). Funciones y aplicaciones de sistemas agroforestales. Turrialba, C.R, Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ. p. 95-136. (Serie de enseñanza no.46).
- Hatta, B. & Tonietto, J. (2012). *El clima vitícola de regiones productoras de uvas para vinos y piscos del Perú, en Clima, Zonificación y Tipicidad del Vino en Regiones Vitícolas Iberoamericanas*. Madrid. CYTED. pp 411
- Honorio Coronado, E., & Baker, T. R. (2010). Manual para el monitoreo del ciclo del

- carbono en bosques amazónicos.
- IGBP-TC-WG (1998). The terrestrial carbon cycle: implications for the Kyoto Protocol. *Science*, 280, 1393– 1394.
- Jandl, R. (2005). Secuestro de carbono en bosques-El papel del suelo.
- Jiménez, P., Villegas, L., Villasante, F., Talavera, C., & Ortega, A. (2012). Las Lomas de Atiquipa: agua en el desierto. *Gratis*, 159-170.
- Linares-Palomino, R., Huamantupa-Chuquimaco, I., Padrón, E., La Torre, M. D. L. Á., Roncal-Rabanal, M., Choquecota, N., Collazos, L.; Elejalde, R.; Vergara, N. & Marcelo-Peña, J. L. (2023). Los bosques estacionalmente secos del Perú: un re-análisis de sus patrones de diversidad y relaciones florísticas. *Revista peruana de biología*, 29(4), 1-19.
- Luna Florín, A. D., Sánchez Asanza, A. W., Maza Maza, J. E., & Castillo Figueroa, J. E. (2021). Biomasa forestal y captura de carbono en el bosque seco de la Reserva Ecológica Arenillas. *Revista Científica Agroecosistemas*, 9(2), 140-146. Recuperado de <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/480>
- Machaca, D.; Peña, F. & Vasquez, J. (2022) - Hidrogeología de la cuenca del río Pescadores – Caravelí – Región Arequipa. *INGEMMET, Boletín, Serie H: Hidrogeología*, 14, 212 p., 2.
- Magallanes Arellano, O.; Montenegro Chavez, E.; Monteverde Barraza, E.; & Peseros Cano, L. (2018). Planeamiento Estratégico para la Industria del Pisco [Tesis de maestría]. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Masuno, R.K. (2001). Evaluación de peligros de Caravelí.
- McRoberts, R. E., Tomppo, E. O., & Czaplewski, R. L. (1992). Diseños de muestreo de las evaluaciones forestales nacionales. *Antología de conocimiento para la evaluación de los recursos forestales nacionales*. FAO. Roma, Italia.
- Martín-López, B., González, J. A., Díaz, S., Castro, I., & García-Llorente, M. (2007). Biodiversidad y bienestar humano: el papel de la diversidad funcional. *Ecosistemas*, 16(3). 69-80. Recuperado de <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=500>
- Martinez-Villán (Locutor). (2014). *Muestreo piloto y tamaño de una muestra en inventario*

- forestal*. Disponible en <https://www.youtube.com/watch?v=cLALH0iVe0c&t=795s>
- Mera, T. (2019). Posicionamiento del Pisco en Mercados Internacionales. Dirección de Gestión y Monitoreo de las OCEX. Recuperado de (comexperu.org.pe)
- MINAM, M. (2014). Memoria Descriptiva del Mapa de Bosque/No Bosque año 2000 y Mapa de pérdida de los Bosques Húmedos Amazónicos del Perú 2000-2011. MINAM), *MdA (Ed.)*, Lima, Perú.
- MINAM (3 de diciembre de 2021). Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático del Perú: Un insumo para la actualización de la Estrategia Nacional ante el Cambio Climático. *Bosques*. Recuperado de http://siar.minam.gob.pe/puno/sites/default/files/archivos/public/docs/documento_de_trabajo_sobre_avances_del_nap_gobiernos_regionales.pdf
- MINAM (2014). El Programa Nacional de Conservación de Bosques para la Mitigación del Cambio Climático (PNCBMCC). Recuperado de <http://www.bosques.gob.pe/>
- MINAM (2016). Plan Nacional Ambiental (NAP).
- Montagnini, F.; & Nair, P.K.R. (2004). Carbon sequestration: an underexploited environmental of agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 61:281-295.
- Montesinos, D. B., & Mondragón, L. P. (2013). Flora y vegetación en tres localidades de una cuenca costeña: río Acarí, provincia de Caravelí (Arequipa, Perú). *Zonas Áridas*, 15(1), 11-30.
- Moreno, C. E. (2001). Manual de métodos para medir la biodiversidad. Universidad Veracruzana.
- Moreno-Jiménez, V.; Castillo-Acosta, O.; Gama-Campillo, L., Zavala-Cruz, J. & Ortiz-Pérez, M.O. (2017). Relación entre la vegetación ribereña y las propiedades del suelo.
- Lavorell, S.; Bello, F.; & Robson, M. (2007). Incorporating plant functional diversity effects in ecosystem service assessments (en línea). *PNAS* 104 (52): 20682- 20689. Recuperado de <http://www.pnas.org/content/104/52/20684.full.pdf>
- Neef, T.; & Henders, S. (2007). CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). Guía sobre los Mercados y la Comercialización de Proyectos MDL Forestales. Turrialba, Costa Rica. pp 45

- Orjuela, H. B. (2018). El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 35(1), 82-96.
- OTCA (2021). Propuesta de Pucallpa sobre el desarrollo sostenible del bosque secundario en America Tropical. Recuperado de <http://otca.org/wp-content/uploads/2021/02/Propuesta-de-Pucallpa-sobre-el-Desarrollo-Sostenible-del-Bosque-Secundario-en-America-Tropical.pdf>
- Pearson, T.; Walker, S.; & Brown, S. (2005). Sourcebook for Land use, land-use change and forestry projects. *Biocarbon Fund*. Winrock International.
- Pretell, J.; Ocaña, D.; Jon, R.; & Barahona, E. (1985). Apuntes sobre algunas especies forestales nativas de la sierra peruana. Recuperado 29 de octubre de 2021 de http://www.asocam.org/sites/default/files/publicaciones/files/12c422c8aa414_d_a8fe966053bdbf73f9.pdf
- Ramos, D. Sánchez, E.; & Castro, V. (2015). Caracterización de la vegetación a lo largo de una gradiente altitudinal en la comunidad de Chochahuayco, cuenca media del Río Lurín, Lima. *Ecología Aplicada*, 14(1). pp 12.
- Restrepo Murgueitio, E. (2011). Los árboles en la agricultura: Una antigua amistad rescatada del olvido en América. *Leisa-Revista de agroecología (Perú)*. 27 (2), 19-20.
- Rodríguez Laguna, R., Palacios Romero, A., Razo Zárate, R., Delgado Corral, S. J., & Goche Telles, R. (2021). Ciclo del carbono en un bosque con aprovechamiento forestal en Zacualtipán, Hidalgo. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(4), 3989-3998. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i4.598
- Romero, A. (2017). Relaciones de la diversidad arbórea y el suelo en la gradiente altitudinal del valle de Chanchamayo.
- Romero, G., Trillo, F., Orellana, J.; Quiroga, P.; Gamarra, J., Rojas, D.; Rivadeneira, V., & Núñez, J. (2021). Efecto de *Acacia macracantha* en las propiedades físicas y químicas del suelo en un sistema silvopastoril. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 32(3), e20389.
- Rostworowski de Diez Canseco, M. (1981). Recursos naturales renovables y pesca, siglos XVI y XVII. Instituto de Estudios Peruanos, Lima.
- Rubio, A. & Calama, R. (2021). El papel de los bosques como sumideros de carbono. *National Geographic*. España.

- Rügnitz, M. T., Chacón, M. L. & Porro, R. (2009). Guía para la Determinación de Carbono en Pequeñas Propiedades Rurales - 1. ed. - Lima, Perú.: Centro Mundial Agroforestal (ICRAF) /Consorcio Iniciativa Amazónica (IA). 79 p.
- Ruiz, V. S. (2011). Avances en viticultura en el mundo. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 33, 131-143.
- Rutté, J. & Reynel, C. (2016). Composición y diversidad arbórea en la cumbre del bosque montano nublado, Puyu Sacha, Chanchamayo, Dp. Junin, Perú. CED- FDA- APRODES. pp 110.
- Sampayo-Maldonado, S., Moreno-Aldaco, J. D., Lara-Ponce, E., & Piña-Ruíz, H. H. (2021). Diversidad y estructura del bosque de galería del río Fuerte, Sinaloa, México: Diversidad del Bosque del río Fuerte. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 8(2)
- Sánchez C; Lama, D; Suatunce, P. (2008). Hojas caídas y aporte de nutrientes de diez especies forestales tropicales. Artículo en *Ciencia y Tecnología* 1: 73-78.
- Sánchez Hernández, M. Á., Fierros González, A. M., Velázquez Martínez, A., Santos Posadas, H. M. D. L., Aldrete, A., & Cortés Díaz, E. (2018). Estructura, riqueza y diversidad de especies de árboles en un bosque tropical caducifolio de Morelos. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 9(46), 131-156
- Siu Chow, M. Y., & Ordeñana Obando, W. (2001). Estimación del contenido y almacenamiento de carbono en el bosque seco secundario del refugio de Vida Silvestre Chococente. Diplomado en Recursos Naturales y Medio Ambiente. Managua. pp 86
- Sotomayor Melo, D. A., & Jiménez Milón, P. (2008). Condiciones meteorológicas y dinámica vegetal del ecosistema costero lomas de Atiquipa (Caravelí-Arequipa) en el sur del Perú. *Ecología aplicada*, 7(1-2), 1-8.
- Talavera, C., Pauca, A., Fernández, C., Villasante, F., Villegas, L., & Delgado, A. (2017). Flora de Lomas de Atiquipa. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Recuperado de [Guia Flora Atiquipa FINAL_2 \(2\).cdr \(researchgate.net\)](http://www.researchgate.net/publication/317111111)
- Tapasco García, J. J. (2020). Inventario de carbono, estructura y diversidad de bosque seco tropical secundario en el Jardín Botánico "Guillermo Piñeres".
- UNFCCC, "Adoption of the Paris Agreement" (2015). Recuperado de <http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf>

- Urgilés, O. (2019). *Valoración económica de almacenamiento de carbono por biomasa aérea en bosques montanos de la cordillera occidental de los Andes*. [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- Urrea-Galeano, L. A., Andresen, E., & Ibarra-Manríquez, G. (2018). Importancia de las interacciones semilla-mamífero para *Heteroflorum* (Leguminosae), un género monoespecífico endémico de México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 89(2), 497-506.
- Valiente-Banuet, A., Aizen, M. A., Alcántara, J. M., Arroyo, J., Cocucci, A., Galetti, M., ... & Zamora, R. (2015). Beyond species loss: the extinction of ecological interactions in a changing world. *Functional Ecology*, 29(3), 299-307.
- Vargas Cotrina, R. A. (2018). "Manejo y uso de plantas en bosques estacionalmente secos de la Costa Norte: Comunidad Campesina Santo Domingo de Olmos-Lambayeque."
- Vásquez, E. (2021) Educación ambiental en la conservación del algarrobo, *Vachellia macracantha* (Humb & Bonpl. Ex Willd) Seigler & Ebinger, en el tercer año de bachillerato, Unidad Educativa "Alexander Von Humbolt", parroquia San Antonio De Pichincha, D.M. Quito, 2020-21. Tesis de pregrado. Universidad Central del Ecuador.
- Synergy (2005). Guía latinoamericana de MDL. Metodologías para la implementación de los mecanismos flexibles de Kyoto- mecanismos de desarrollo limpio en Latinoamérica. Proyecto Cambio Climático. México. pp 378
- Weberbauer A. (1945). El Mundo Vegetal de los Andes Peruanos. Estudio Fitogeográfico. Estación Experimental Agrícola de La Molina. Ministerio de Agricultura. Lima.: pp36.
- Whaley, O., Orellana, A., Pérez, E., Tenorio, M., Quinteros, F., Mendoza, M., & Pecho, O. (2010). Plantas y vegetación de Ica, Perú. Un recurso para su restauración y conservación.
- Zacarias-Eslava, L. E., Cornejo-Tenorio, G., Cortés-Flores, J., González-Castañeda, N., & Ibarra-Manríquez, G. (2011). Composición, estructura y diversidad del cerro El Águila, Michoacán, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 82(3), 854-869. ISSN: 2007-901X www.ujat.mx/era13

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Delimitación geográfica del bosque en estudio

Tabla 22. Coordenadas del polígono del bosque en estudio colindante al Fundo Huachipa, en coordenadas UTM WGS 84 (18S) y en coordenadas sexagesimales (latitud y longitud).

| OBJECTID | Este UTM | Norte UTM | Latitud | Longitud |
|----------|----------|-----------|--------------------|--------------------|
| 1 | 678094 | 8254256 | 15° 47' 2,324'' S | 73° 20' 14,700'' W |
| 2 | 678132 | 8254261 | 15° 47' 2,177'' S | 73° 20' 13,427'' W |
| 3 | 678163 | 8254266 | 15° 47' 2,002'' S | 73° 20' 12,361'' W |
| 4 | 678166 | 8254290 | 15° 47' 1,200'' S | 73° 20' 12,286'' W |
| 5 | 67819 | 8254301 | 15° 47' 0,846'' S | 73° 20' 11,576'' W |
| 6 | 678190 | 8254303 | 15° 47' 0,799'' S | 73° 20' 11,461'' W |
| 7 | 678208 | 8254302 | 15° 47' 0,803'' S | 73° 20' 10,875'' W |
| 8 | 678222 | 8254291 | 15° 47' 1,168'' S | 73° 20' 10,390'' W |
| 9 | 678227 | 8254269 | 15° 47' 1,895'' S | 73° 20' 10,231'' W |
| 10 | 678247 | 8254267 | 15° 47' 1,950'' S | 73° 20' 9,542'' W |
| 11 | 678274 | 8254257 | 15° 47' 2,275'' S | 73° 20' 8,659'' W |
| 12 | 678284 | 8254261 | 15° 47' 2,121'' S | 73° 20' 8,303'' W |
| 13 | 678263 | 8254348 | 15° 46' 59,305'' S | 73° 20' 9,024'' W |
| 14 | 678284 | 8254352 | 15° 46' 59,181'' S | 73° 20' 8,340'' W |
| 15 | 678315 | 8254309 | 15° 47' 0,564'' S | 73° 20' 7,277'' W |
| 16 | 678315 | 8254304 | 15° 47' 0,727'' S | 73° 20' 7,272'' W |
| 17 | 678315 | 8254300 | 15° 47' 0,843'' S | 73° 20' 7,282'' W |
| 18 | 678333 | 8254271 | 15° 47' 1,795'' S | 73° 20' 6,663'' W |
| 19 | 678346 | 8254286 | 15° 47' 1,294'' S | 73° 20' 6,239'' W |
| 20 | 678375 | 8254266 | 15° 47' 1,948'' S | 73° 20' 5,249'' W |
| 21 | 678377 | 8254264 | 15° 47' 1,991'' S | 73° 20' 5,174'' W |
| 22 | 678389 | 8254248 | 15° 47' 2,524'' S | 73° 20' 4,790'' W |
| 23 | 678379 | 8254230 | 15° 47' 3,116'' S | 73° 20' 5,115'' W |
| 24 | 678383 | 825422 | 15° 47' 3,543'' S | 73° 20' 4,981'' W |
| 25 | 678341 | 8254169 | 15° 47' 5,102'' S | 73° 20' 6,374'' W |
| 26 | 678216 | 8254120 | 15° 47' 6,720'' S | 73° 20' 10,561'' W |
| 27 | 678212 | 8254127 | 15° 47' 6,513'' S | 73° 20' 10,683'' W |
| 28 | 678244 | 8254176 | 15° 47' 4,900'' S | 73° 20' 9,614'' W |
| 29 | 678244 | 8254194 | 15° 47' 4,329'' S | 73° 20' 9,647'' W |
| 30 | 678114 | 8254210 | 15° 47' 3,820'' S | 73° 20' 14,010'' W |
| 31 | 678097 | 8254211 | 15° 47' 3,807'' S | 73° 20' 14,577'' W |
| 32 | 678092 | 8254233 | 15° 47' 3,091'' S | 73° 20' 14,760'' W |
| 33 | 678094 | 8254256 | 15° 47' 2,324'' S | 73° 20' 14,700'' W |

Anexo 2. Resultados de densidad poblacional (árboles/hectárea) por parcela:

| Parcela | Área (m ²) | Número de árboles/parcela | Densidad (árboles/hectárea) |
|-----------------|------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| 1 | 314,159 | 22 | 700 |
| 2 | 314,159 | 26 | 828 |
| 3 | 314,159 | 17 | 541 |
| 4 | 314,159 | 35 | 1114 |
| 5 | 314,159 | 34 | 1082 |
| 6 | 314,159 | 23 | 732 |
| 7 | 314,159 | 11 | 350 |
| PROMEDIO | | 24 | 764 |

Anexo 3. Número de individuos de *Schinus molle* y *Vachellia macracantha* por parcela.

| Parcela | <i>Schinus molle</i> | <i>Vachellia macracantha</i> |
|---------|----------------------|------------------------------|
| P1 | 0 | 22 |
| P2 | 0 | 26 |
| P3 | 2 | 17 |
| P4 | 0 | 35 |
| P5 | 0 | 34 |
| P6 | 0 | 23 |
| P7 | 1 | 11 |
| Total | 3 | 168 |

Anexo 4. Resultados de número de parcelas oficiales por estrato a partir del pre-muestreo con un 20% de error estándar.

$$n = \frac{(\sum_{h=1}^L N_h * S_h)^2}{\frac{N^2 * E^2}{t^2} + (\sum_{h=1}^L N_h^2 * S_h^2)} = 7,088$$

$$N = 2,98 \text{ ha} / 3,14159 = 9,48564$$

$$S = 3,899$$

$$E = 1,4725$$

$$N^2 = 89,97$$

$$S^2 = 15,202$$

$$E^2 = 2,168$$

$$t^2 = (2)^2 = 4$$

Anexo 5. Resultados de la estimación de biomasa por árbol del inventario forestal, clasificado por estrato y por parcela

| Estrato | Parcela | Código Árbol | DAP REAL | Altura (m) | BIOMASA AÉREA (kg/MS arbol) |
|---------|---------|--------------|----------|------------|-----------------------------|
| E1 | P1 | A12 | 5,09 | 4 | 5,90 |
| E1 | P2 | A2-1 | 5,73 | 4 | 7,32 |
| E1 | P2 | A18 | 5,73 | 6 | 10,61 |
| E1 | P1 | A3 | 6,05 | 4 | 8,08 |
| E1 | P3 | A6 | 6,05 | 4 | 8,08 |
| E1 | P1 | A10 | 6,05 | 5 | 9,91 |
| E1 | P1 | A8-2 | 6,37 | 6,5 | 13,85 |
| E1 | P1 | A9-2 | 6,68 | 7 | 16,21 |
| E1 | P1 | A9-1 | 7,00 | 7 | 17,65 |
| E1 | P1 | A18 | 7,00 | 7 | 17,65 |
| E1 | P1 | A8-1 | 7,32 | 5,5 | 15,35 |
| E1 | P2 | A9-2 | 7,32 | 8 | 21,64 |
| E1 | P2 | A7-1 | 7,64 | 5 | 15,21 |
| E1 | P2 | A2-2 | 7,96 | 4 | 13,36 |
| E1 | P2 | A6 | 8,28 | 6 | 20,81 |
| E1 | P3 | A4 | 8,28 | 7 | 23,97 |
| E1 | P2 | A3-1 | 8,59 | 6 | 22,30 |
| E1 | P2 | A3-2 | 8,59 | 6 | 22,30 |
| E1 | P2 | A8-2 | 8,91 | 8 | 31,02 |
| E1 | P2 | A17-2 | 9,23 | 6 | 25,42 |
| E1 | P3 | A11 | 9,23 | 6 | 25,42 |
| E1 | P1 | A6 | 9,55 | 6 | 27,05 |
| E1 | P3 | A14-2 | 9,87 | 12 | 54,19 |
| E1 | P1 | A19 | 10,82 | 6 | 34,02 |
| E1 | P2 | A5 | 11,14 | 4 | 24,74 |
| E1 | P2 | A11 | 11,46 | 7 | 43,50 |
| E1 | P1 | A15 | 11,78 | 3,5 | 24,24 |
| E1 | P1 | A7 | 11,78 | 7,5 | 48,72 |
| E1 | P2 | A14 | 12,10 | 4 | 28,77 |
| E1 | P3 | A13-1 | 12,41 | 6 | 43,74 |
| E1 | P3 | A13-2 | 12,41 | 6 | 43,74 |
| E1 | P3 | A14-1 | 13,37 | 10 | 79,99 |
| E1 | P2 | A19-2 | 14,01 | 5 | 46,16 |
| E1 | P3 | A8 | 14,03 | 6 | 54,72 |
| E1 | P2 | A9-1 | 14,32 | 8 | 73,99 |
| E1 | P2 | A15 | 14,54 | 5 | 49,43 |
| E1 | P3 | A5 | 15,44 | 8 | 84,87 |
| E1 | P2 | A19-1 | 15,60 | 5 | 56,23 |
| E1 | P3 | A16 | 15,60 | 10 | 106,09 |
| E1 | P2 | A13 | 15,92 | 5 | 58,35 |

Continuación ...

| Estrato | Parcela | Código Árbol | DAP REAL | Altura (m) | BIOMASA AÉREA (kg/MS arbol) |
|----------------|----------------|---------------------|-----------------|-------------------|--|
| E1 | P2 | A 17-1 | 16,23 | 4 | 49,32 |
| E1 | P1 | A21 | 17,28 | 6 | 80,16 |
| E1 | P1 | A2 | 17,84 | 6,5 | 91,48 |
| E1 | P1 | A14 | 18,28 | 4 | 61,30 |
| E1 | P2 | A7-2 | 18,62 | 5 | 77,79 |
| E1 | P1 | A13 | 18,99 | 6 | 95,34 |
| E1 | P1 | A4 | 19,23 | 7 | 112,28 |
| E1 | P2 | A16 | 20,05 | 5 | 89,10 |
| E1 | P1 | A5 | 20,54 | 7,5 | 134,99 |
| E1 | P2 | A10 | 22,60 | 8 | 170,60 |
| E1 | P2 | A4 | 25,15 | 8 | 207,46 |
| E1 | P3 | A7 | 25,21 | 6 | 160,18 |
| E1 | P3 | A2 | 26,10 | 8 | 222,12 |
| E1 | P1 | A17 | 26,36 | 7 | 200,13 |
| E1 | P2 | A1 | 26,69 | 5 | 150,43 |
| E1 | P3 | A1 | 28,92 | 7 | 237,19 |
| E1 | P1 | A11 | 29,66 | 8 | 280,73 |
| E1 | P2 | A12 | 29,81 | 8 | 283,31 |
| E1 | P1 | A1 | 31,61 | 9 | 351,37 |
| E1 | P3 | A12 | 33,74 | 12 | 515,39 |
| E1 | P1 | A20 | 33,77 | 7 | 315,11 |
| E1 | P3 | A9 | 34,78 | 8 | 375,82 |
| E1 | P2 | A8-1 | 36,29 | 10 | 498,30 |
| E1 | P3 | A10 | 37,21 | 10 | 521,78 |
| E1 | P3 | A3 | 48,51 | 4 | 3283,90 |
| E2 | P5 | A17-1 | 5,41 | 3 | 5,06 |
| E2 | P4 | A20 | 5,41 | 5 | 8,09 |
| E2 | P5 | A8 | 5,41 | 7,8 | 12,15 |
| E2 | P5 | A17-2 | 5,73 | 3 | 5,62 |
| E2 | P4 | A9-2 | 5,73 | 5,5 | 9,80 |
| E2 | P4 | A25-2 | 5,73 | 6 | 10,61 |
| E2 | P5 | A9 | 5,73 | 7,8 | 13,49 |
| E2 | P4 | A3-2 | 5,89 | 6 | 11,16 |
| E2 | P4 | A7 | 6,05 | 3 | 6,21 |
| E2 | P5 | A5 | 6,05 | 4 | 8,08 |
| E2 | P4 | A9-1 | 6,05 | 5,5 | 10,82 |
| E2 | P4 | A15-2 | 6,05 | 7 | 13,49 |
| E2 | P5 | A12-2 | 6,21 | 10 | 19,61 |
| E2 | P4 | A23 | 6,68 | 8 | 18,31 |
| E2 | P4 | A3-1 | 7,00 | 6,5 | 16,49 |
| E2 | P4 | A11-2 | 7,00 | 7,5 | 18,80 |
| E2 | P5 | A20 | 7,16 | 6 | 15,97 |
| E2 | P4 | A17-2 | 7,32 | 4 | 11,47 |

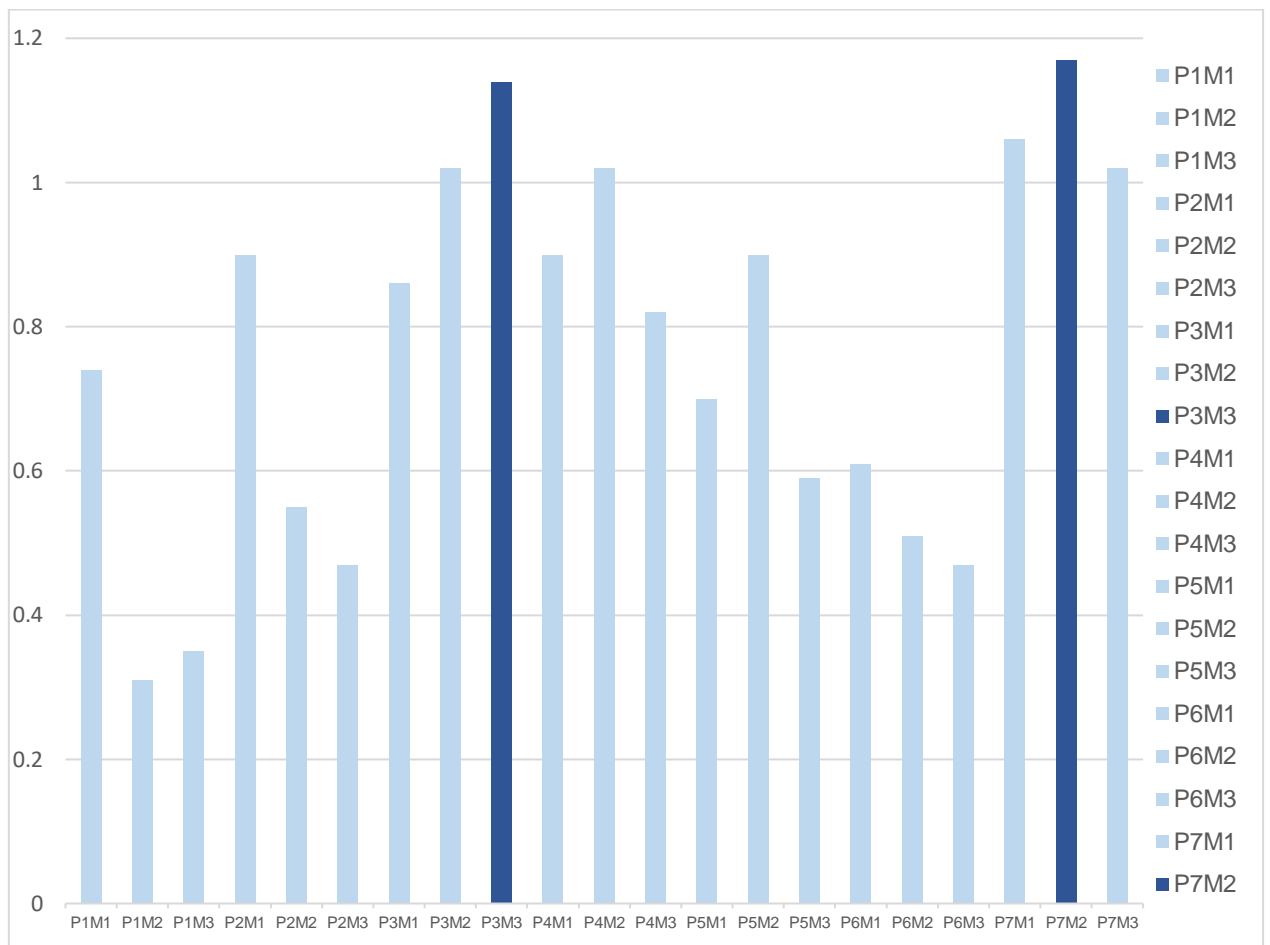
Continuación ...

| Estrato | Parcela | Código Árbol | DAP REAL | Altura (m) | BIOMASA AÉREA (kg/MS arbol) |
|----------------|----------------|---------------------|-----------------|-------------------|--|
| E2 | P5 | A23-1 | 7,32 | 7,5 | 20,39 |
| E2 | P5 | A16 | 7,32 | 9 | 24,10 |
| E2 | P4 | A12 | 7,64 | 6,5 | 19,34 |
| E2 | P4 | A1 | 7,96 | 6 | 19,37 |
| E2 | P4 | A25-1 | 7,96 | 6 | 19,37 |
| E2 | P4 | A26 | 7,96 | 6 | 19,37 |
| E2 | P5 | A24 | 7,96 | 6 | 19,37 |
| E2 | P5 | A19 | 7,96 | 9 | 28,08 |
| E2 | P5 | A12-1 | 7,96 | 10 | 30,92 |
| E2 | P4 | A17-1 | 8,28 | 5 | 17,61 |
| E2 | P5 | A6-2 | 8,28 | 7 | 23,97 |
| E2 | P4 | A14 | 8,91 | 7 | 0,00 |
| E2 | P4 | A18 | 9,55 | 7 | 31,15 |
| E2 | P4 | A15-1 | 9,87 | 7 | 33,08 |
| E2 | P5 | A10 | 9,87 | 7 | 33,08 |
| E2 | P5 | A15 | 10,19 | 9 | 44,13 |
| E2 | P5 | A3 | 10,50 | 7 | 37,09 |
| E2 | P5 | A27-1 | 11,30 | 9 | 53,38 |
| E2 | P4 | A27 | 11,46 | 5 | 31,96 |
| E2 | P4 | A24-1 | 11,46 | 7,5 | 46,34 |
| E2 | P5 | A7 | 11,46 | 7,5 | 46,34 |
| E2 | P5 | A22-1 | 11,46 | 7,5 | 46,34 |
| E2 | P4 | A24-2 | 11,78 | 7,5 | 48,72 |
| E2 | P5 | A25 | 11,95 | 6 | 40,78 |
| E2 | P4 | A21 | 12,73 | 8 | 59,63 |
| E2 | P5 | A13 | 13,05 | 8 | 62,39 |
| E2 | P5 | A6-1 | 13,05 | 8,5 | 65,95 |
| E2 | P4 | A5 | 13,05 | 9 | 69,49 |
| E2 | P5 | A1-1 | 13,37 | 7,5 | 61,46 |
| E2 | P5 | A26 | 13,37 | 9 | 72,63 |
| E2 | P4 | A4 | 13,69 | 8,2 | 69,63 |
| E2 | P4 | A8 | 14,96 | 3 | 32,63 |
| E2 | P4 | A28 | 14,96 | 5 | 52,09 |
| E2 | P4 | A16 | 14,96 | 8 | 80,12 |
| E2 | P5 | A27-2 | 14,96 | 9 | 89,25 |
| E2 | P4 | A6 | 15,08 | 7,5 | 76,65 |
| E2 | P5 | A1-2 | 16,55 | 9,3 | 110,69 |
| E2 | P5 | A4 | 16,87 | 6 | 76,72 |
| E2 | P5 | A23-2 | 17,19 | 8,9 | 113,93 |
| E2 | P4 | A2 | 17,83 | 7 | 97,73 |
| E2 | P5 | A2 | 17,83 | 7,5 | 933,05 |
| E2 | P4 | A10 | 18,54 | 8 | 118,69 |
| E2 | P5 | A14 | 18,78 | 10,5 | 155,90 |

Continuación ...

| Estrato | Parcela | Código Árbol | DAP REAL | Altura (m) | BIOMASA AÉREA (kg/MS arbol) |
|----------------|----------------|---------------------|-----------------|-------------------|--|
| E2 | P5 | A18 | 18,86 | 7 | 108,33 |
| E2 | P4 | A19 | 19,58 | 9 | 146,07 |
| E2 | P4 | A13 | 20,75 | 9 | 162,46 |
| E2 | P4 | A22 | 22,60 | 8 | 170,60 |
| E2 | P4 | A11-1 | 22,73 | 7,5 | 162,47 |
| E2 | P5 | A28 | 25,80 | 7,5 | 205,00 |
| E2 | P5 | A21 | 26,47 | 8 | 227,95 |
| E2 | P5 | A11 | 32,15 | 9 | 362,45 |
| E3 | P7 | A11 | 5,41 | 3,2 | 5,37 |
| E3 | P7 | A3 | 5,41 | 8,5 | 117,81 |
| E3 | P7 | A8 | 5,89 | 3,5 | 6,81 |
| E3 | P7 | A7-2 | 6,68 | 7 | 16,21 |
| E3 | P6 | A12-2 | 7,00 | 4 | 10,57 |
| E3 | P6 | A16-1 | 7,32 | 4,5 | 12,77 |
| E3 | P6 | A9-2 | 7,32 | 5,5 | 15,35 |
| E3 | P6 | A9-1 | 8,28 | 5,5 | 19,22 |
| E3 | P6 | A1 | 8,28 | 6 | 20,81 |
| E3 | P7 | A4 | 8,59 | 6,8 | 25,01 |
| E3 | P6 | A6-1 | 10,19 | 8 | 39,62 |
| E3 | P7 | A6-2 | 10,50 | 6,5 | 34,66 |
| E3 | P7 | A6-1 | 12,10 | 7,5 | 51,16 |
| E3 | P6 | A16-2 | 13,37 | 4,5 | 38,49 |
| E3 | P6 | A14-2 | 13,69 | 6 | 52,31 |
| E3 | P6 | A4 | 13,69 | 7,5 | 64,17 |
| E3 | P6 | A11-1 | 14,01 | 4 | 37,63 |
| E3 | P6 | A14-1 | 14,01 | 6 | 54,56 |
| E3 | P6 | A2 | 14,32 | 5,5 | 52,49 |
| E3 | P6 | A11-2 | 14,64 | 4 | 40,82 |
| E3 | P6 | A12-1 | 15,60 | 4 | 45,83 |
| E3 | P6 | A13 | 15,60 | 4 | 45,83 |
| E3 | P6 | A5 | 15,92 | 7,5 | 84,59 |
| E3 | P6 | A10 | 16,87 | 5 | 64,92 |
| E3 | P6 | A15 | 16,87 | 5 | 64,92 |
| E3 | P7 | A7-1 | 18,14 | 7 | 100,95 |
| E3 | P6 | A7 | 19,10 | 7,5 | 118,13 |
| E3 | P6 | A6-2 | 19,10 | 8 | 125,33 |
| E3 | P7 | A9 (3) | 19,52 | 7,8 | 127,46 |
| E3 | P6 | A3 | 20,69 | 7,5 | 1225,98 |
| E3 | P6 | A8-1 | 21,01 | 6 | 114,67 |
| E3 | P6 | A8-2 | 22,28 | 6 | 127,72 |
| E3 | P7 | A10 | 35,87 | 7 | 351,94 |
| E3 | P7 | A2 | 47,18 | 7 | 581,27 |

Anexo 6. RESULTADOS DE CARBONO ORGÁNICO (C%) DE LAS 21 MUESTRAS DE SUELO OBTENIDAS DEL LASPAF-UNALM



Anexo 7. Registros fotográficos

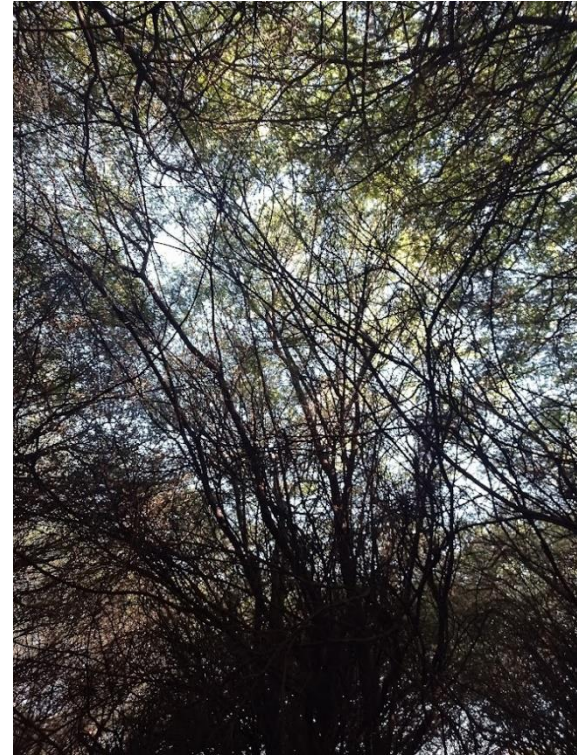
- **Registros fotográficos: Imágenes reportando presencia de ganado vacuno**

Se evidencia presencia de ganado vacuno colindante al río. Las vacas caminan por los parches de bosques en búsqueda de agua y comida (se observó también que consumen el fruto de la especie *Vachellia macracantha*). En la imagen inferior se observa presencia de ganado vacuno en los alfalfares al costado de la Parcela 2.



- **Registros fotográficos: Imágenes de la especie *Vachellia macracantha***

Se capturaron fotos de la especie en la etapa de campo donde se puede evidenciar el dosel cerrado, la presencia de espinas, fustes múltiples, etc.



- Registros fotográficos: Imágenes de la especie *Vachellia macracantha*



- **Registros fotográficos:** Presencia de *Shinus molle* en lugares cercanos al área de estudio y/o dentro el área de estudio



- **Registros fotográficos:** Individuos de *Vachellia macracantha* con un DAP < 5cm (no ingresan en la estimación de carbono almacenado); sin embargo; se evidenció una cantidad significativa en las parcelas 5 (P5).



Anexo 8. Clasificación de fustes.

- CASO ÁRBOLES CON FUSTE ÚNICO Y FUSTE DOBLE (DOS BIFURCACIONES)

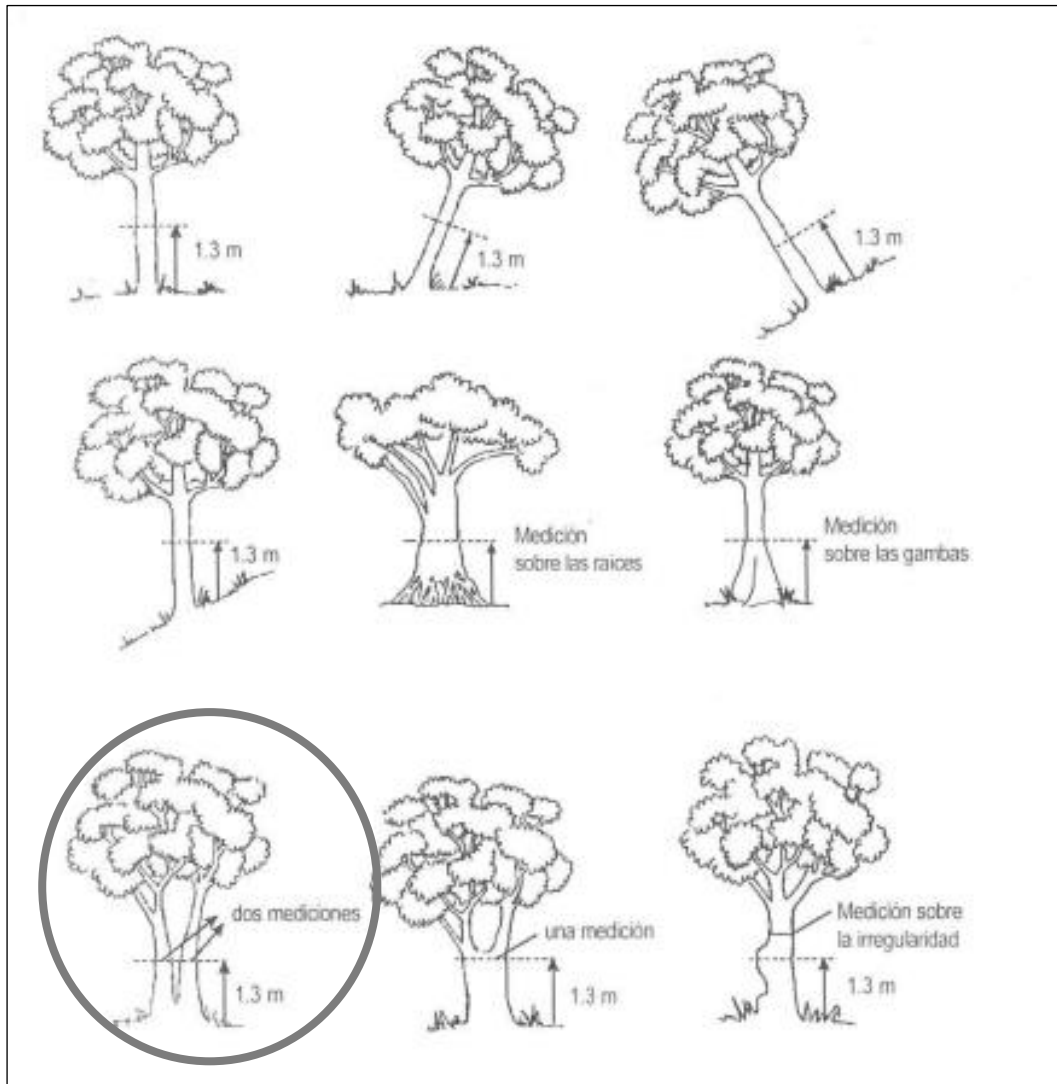


Figura 51. Ilustración de los casos particulares para la medición de DAP de individuos con fuste único y fuste doble.

- CASO FUSTES MÚLTIPLES

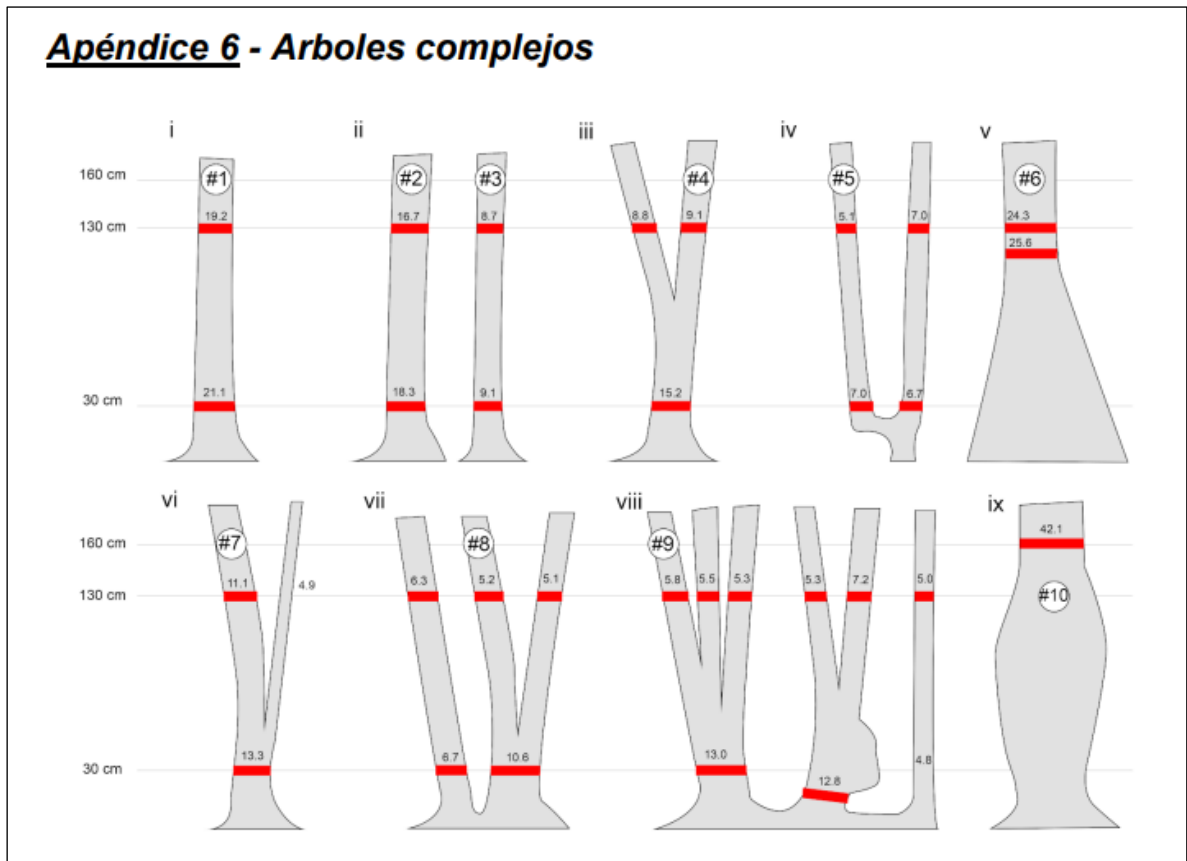


Figura 52. Guía para la medición a 30 cm y a 130 cm de árboles complejos, según el Protocolo de establecimiento de parcelas en bosque seco (DRYFLOR, 2020).

Anexo 9. Colecta de *Vachellia macracantha* en el fundo Huachipa, distrito de Caravelí, el año 2022.



Figura 53. Colecta de *Vachellia macracantha* en el fundo Huachipa, distrito de Caravelí, en setiembre de 2022.

Anexo 10. Datos de SENAMHI para el año 2023.

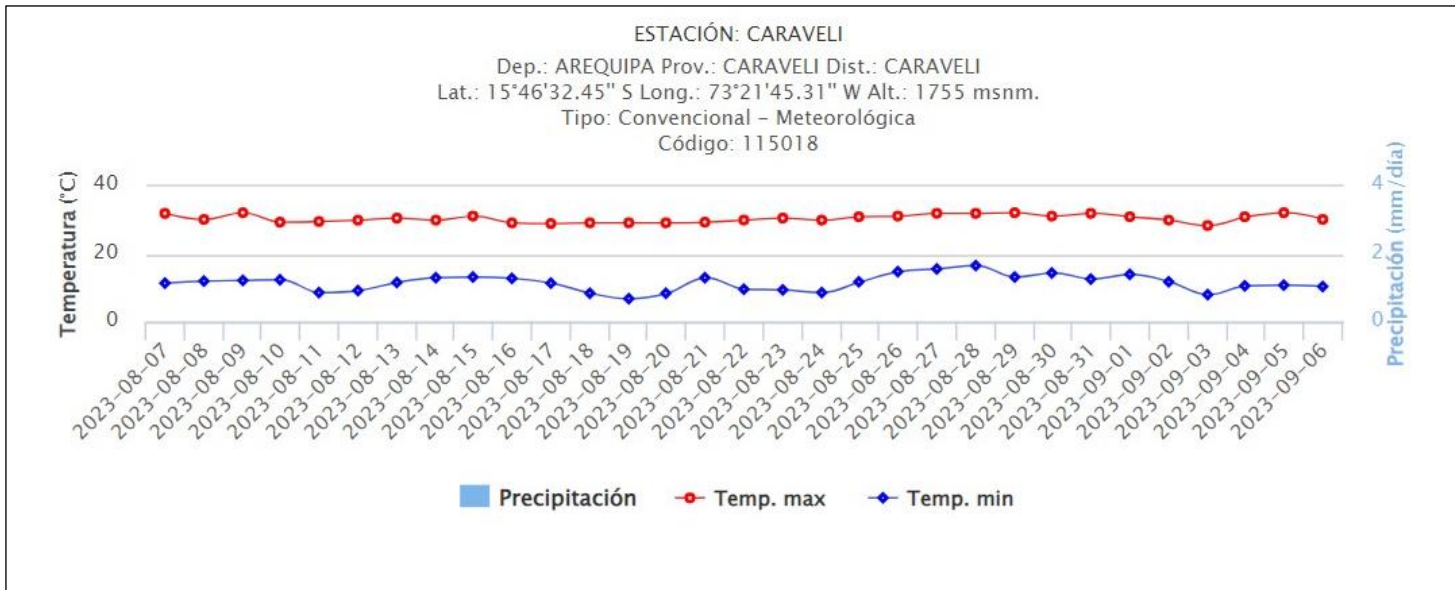


Figura 54. Datos de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima de la Estación Caravelí del SENAMHI para el año 2023.

Anexo 11. MAPAS

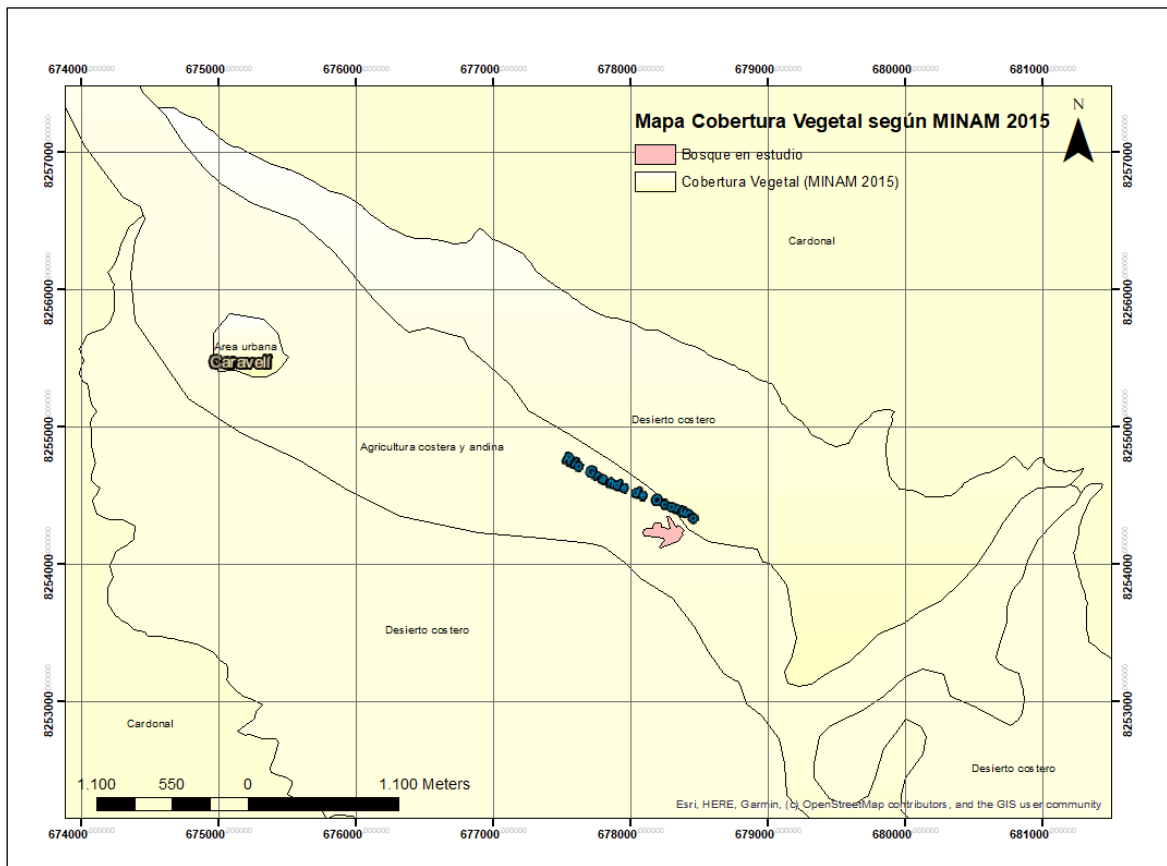


Figura 55. Mapa de cobertura vegetal según MINAM 2015 donde se observa que el área de estudio se encuentra en la clasificación "Agricultura costera y andina".

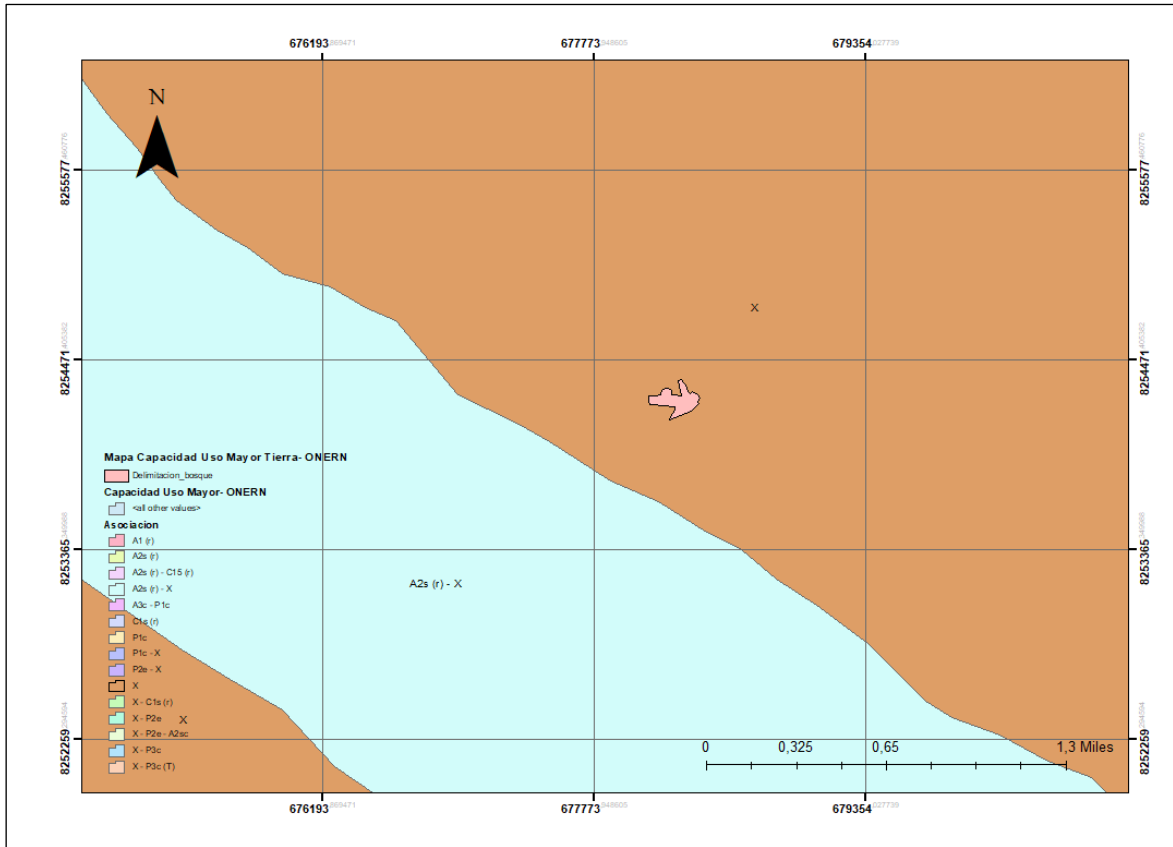


Figura 56. Mapa de Capacidad de Uso Mayor de Tierra-ONERN. En el mapa se puede observar que el área de estudio se encuentra en la clasificación X (Tierra de protección).

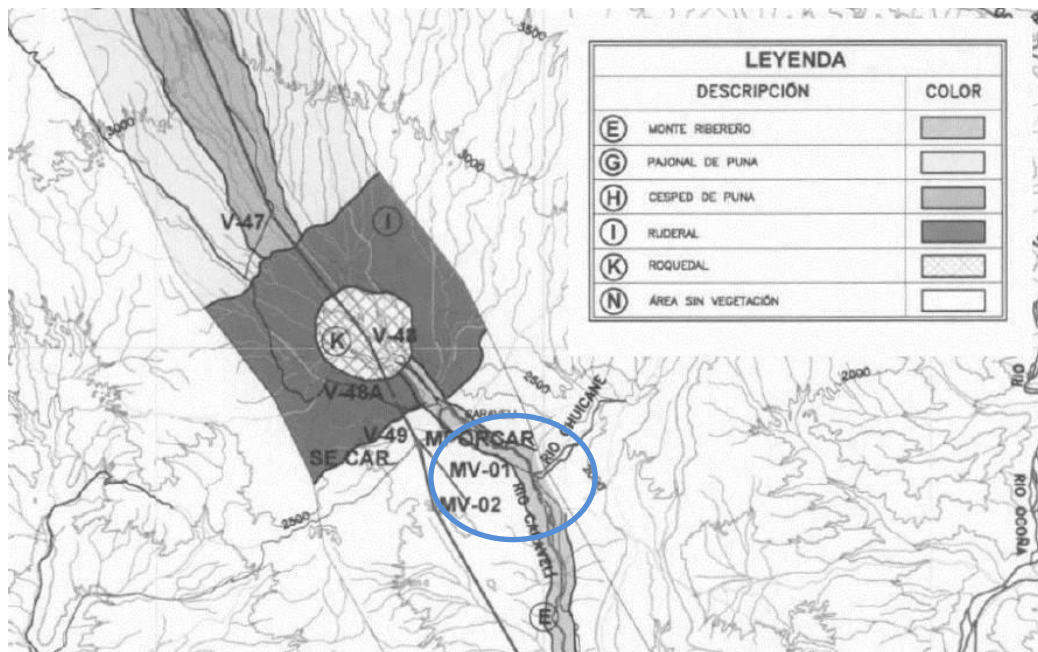


Figura 57. Formaciones vegetales del EIA de la Línea de Transmisión 500 Kv Mantaro-Caravelí-Montalv (2009). Se observa que el área de estudio se encuentra en Monte Ribereño.