



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

**ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA AMBIENTAL Y FORESTAL**



**"CAPTURA DE CO₂ DE *Pinus radiata* Y *Cupressus macrocarpa* EN
EL BOULEVARD DE LA AVENIDA LOS PRÓCERES Y LA
CULTURA DE LA PROVINCIA DE AZÁNGARO, 2022"**

Bach. Flavio Maestry Zavala Arpi

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL

Asesor (a): MSc. Eliana Mullisaca Contreras



JULIACA - PERÚ

2022



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

**ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA AMBIENTAL Y FORESTAL**



**"CAPTURA DE CO₂ DE *Pinus radiata* Y *Cupressus macrocarpa* EN
EL BOULEVARD DE LA AVENIDA LOS PRÓCERES Y LA
CULTURA DE LA PROVINCIA DE AZÁNGARO, 2022"**

Bach. Flavio Maestry Zavala Arpi

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL**

Asesor (a): MSc. Eliana Mullisaca Contreras



JULIACA - PERÚ

2022

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y FORESTAL



**“CAPTURA DE CO₂ DE *Pinus radiata* Y *Cupressus macrocarpa* EN
EL BOULEVARD DE LA AVENIDA LOS PRÓCERES Y LA
CULTURA DE LA PROVINCIA DE AZÁNGARO, 2022”**

Flavio Maestry Zavala Arpi

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL**

ASESOR: MSc. Eliana Mullisaca Contreras

JULIACA, 2022

FICHA CATALOGRÁFICA

Zavala, F. (2022). *Captura de CO₂ de Pinus radiata y Cupressus macrocarpa en el Boulevard de la avenida Los Próceres y La Cultura de la provincia de Azángaro, 2022.*
(Tesis de ingeniería de pregrado) Universidad Nacional de Juliaca.

AUTOR: Flavio Maestry Zavala Arpi

TÍTULO: Captura de CO₂ de *Pinus radiata* y *Cupressus macrocarpa* en el boulevard de la avenida Los Próceres y La Cultura de la provincia de Azángaro, 2022.

PUBLICACIÓN: Juliaca, 2022

DESCRIPCIÓN: Cantidad de páginas (136 pp)

CÓDIGO: 01-000021-01/Z52

NOTA: Incluye bibliografía

ASESOR: M. Sc. Eliana Mullisaca Contreras

PALABRAS CLAVE:

Biomasa, captura de CO₂, ecuaciones alométricas, *Cupressus macrocarpa*, *Pinus radiata*.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y
FORESTAL

**“CAPTURA DE CO₂ DE *Pinus radiata* Y *Cupressus macrocarpa* EN EL
BOULEVARD DE LA AVENIDA LOS PRÓCERES Y LA CULTURA DE LA
PROVINCIA DE AZÁNGARO – 2022”**

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO
AMBIENTAL Y FORESTAL**

Presentado por: Flavio Maestry Zavala Arpi

Sustentado y aprobado ante el siguiente jurado:

M. Sc. Hugo Apaza Aquino

PRESIDENTE DEL JURADO

Dr. Alejandro Félix Taquire Arroyo

JURADO (secretario)

M. Sc. Jael Calla Calla

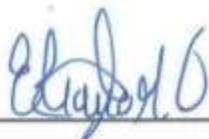
JURADO (Vocal)



2° MIEMBRO



3° MIEMBRO



M. Sc. Eliana Mullisaca Contreras
ASESOR DE TESIS

DEDICATORIA

A mi Madre Valentina Arpi Canaza, por el apoyo incondicional durante mi formación profesional, ejemplo de perseverancia y constancia que siempre mantiene viva la ilusión de que yo pueda ser parte de la transformación que el Perú necesita.

A mi padre Flavio Zavala Cari, que en paz descansa que me guía y me ilumina desde el cielo por el camino correcto.

A mis hermanos Sauder, Yhuliño, Mery y Mely quienes andan pendiente de mí, y que son parte de mi equipo, sumando esfuerzos, valores, y aptitudes positivas para ir adelante juntos.

A los docentes, compañeros y amigos quienes han sido parte de mi formación profesional, quienes me apoyan y respaldan con consejos, propuestas y visiones, para mis amigos que en algún momento compartieron conmigo sus conocimientos, experiencias y vivencias.

A la gente humilde que lucha día a día para seguir adelante, para las personas quienes tienen las esperanzas de poder tener un futuro mejor en nuestro querido Perú.

AGRADECIMIENTO

A mi familia por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; muchos de mis logros se los debo a ellos. Me formaron con valores, ética y moral, manteniendo siempre la esperanza de que mi persona pueda ser clave para cambiar el destino del país.

A los docentes y compañeros, quienes han sido parte de mi formación, sumando valores, y aptitudes positivas para ir adelante con todo el equipo de docentes y compañeros.

A la escuela profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal por haberme brindado la en todo el trayecto académico en mi formación profesional.

A la Universidad Nacional de Juliaca, que me dio la oportunidad de formarme como profesional. Asimismo, a los miembros que lo componen desde la presidencia de la comisión organizadora, hasta el personal de servicio.

A la municipalidad provincial de Azángaro; al personal responsable de la gerencia de servicios municipales y gestión ambiental, al ingeniero responsable de parques y jardines por haberme otorgado las facilidades durante la intervención para la recolección de datos y facilitarme información relevante de interés para el estudio.

A mi asesor, quien me respaldó y apoyó en la ejecución de la presente tesis.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	VI
AGRADECIMIENTO	VII
INDICE GENERAL	VIII
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	5
1.1. Identificación del problema.....	5
1.1.1. Pregunta de investigación	6
a. Problema general.....	6
b. Problemas específicos	6
1.2. Objetivos	7
1.2.1. Objetivo general	7
1.2.2. Objetivos específicos	7
1.3. Justificación	7
1.4. Formulación de hipótesis	9
1.4.1. Hipótesis general.....	9
1.4.2. Hipótesis específicas	9

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA O MARCO TEÓRICO	10
2.1. Antecedentes	10
2.1.1. Antecedentes internacionales	10
2.1.2. Antecedentes nacionales	11
2.1.3. Antecedentes locales	13
2.2. Marco conceptual.....	14
2.2.1. Biomasa.....	14
2.2.2. Coníferas	14
2.2.3. Densidad de la madera	15

2.2.4.	Peso específico de la madera.....	15
2.2.5.	Boulevard	16
2.3.	Marco teórico	16
2.3.1.	Calentamiento global	16
2.3.2.	Cambio climático	16
2.3.3.	El Dióxido de carbono	17
2.3.4.	Captura de CO ₂	17
2.3.5.	Almacén y captura de carbono en las especies forestales	18
2.3.6.	Bosques y arboles urbanos	19
2.3.7.	Métodos de medición de captura de carbono atmosférico (CO ₂) en la biomasa forestal	19
2.3.8.	Inventario forestal	20
2.3.9.	Censo forestal.....	20
2.3.10.	Diferencia entre inventario y censo forestal.....	21
2.3.11.	Biomasa forestal.....	22
2.3.12.	Biomasa aérea	22
2.3.13.	Factores de expansión de biomasa (FEB)	22
2.3.14.	Biomasa subterránea	23
2.3.15.	Carbono en el suelo.....	23
2.3.16.	Carbono en las plantas	23
2.3.17.	<i>Pinus radiata</i>	24
2.3.18.	<i>Cupressus macrocarpa</i>	25
2.3.19.	Ecuaciones alométricas	26
2.3.20.	Método de Walkley & Black.....	27
2.3.21.	Programa InVEST.....	27

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS	29
3.1. Diseño metodológico	29
3.1.1. Localización y ubicación.....	29
a. Localización	29
b. Ubicación	30

3.1.2.	Tipo y nivel de investigación	32
3.1.3.	Diseño y método de investigación	32
3.1.4.	Variable de investigación	32
3.1.5.	Población y muestra	32
a.	Población.....	32
b.	Muestra.....	32
c.	Muestreo.....	32
3.2.	Métodos y materiales	33
3.2.1.	Materiales.....	33
a.	Materiales de campo y gabinete	33
b.	Vestimenta de campo y laboratorio.....	33
3.2.2.	Equipos.....	33
3.2.3.	Reactivos	33
3.2.4.	Procedimiento metodológico	34
a.	Censo en el boulevard de la avenida Los Próceres y La Cultura	34
b.	Medición de las variables dasométricas para el censo forestal	34
c.	Cálculo del volumen	37
d.	Determinación del peso específico aparente básico.....	37
e.	Cálculo de la biomasa	38
f.	Cálculo del stock de carbono equivalente almacenado.....	39
g.	Cálculo del stock de CO ₂ equivalente almacenado.....	39
h.	Estimación de la cantidad de carbono almacenado en el suelo asociado a las especies forestales del boulevard de la avenida Los Próceres y La Cultura	40
i.	Cálculo de carbono equivalente almacenado	42
j.	Procesamiento de datos con Microsoft Excel y con el software InVEST del modelo de captura y almacén de carbono	42
k.	Análisis estadístico.....	43

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	44	
4.1.	Caracterización, cuantificación e identificación de especies forestales.....	44
4.2.	Censo forestal del <i>Pinus radiata</i>	45

4.3.	Censo forestal de <i>Cupressus macrocarpa</i>	47
4.4.	Área basal y volumen de <i>Pinus radiata</i>	49
4.5.	Área basal y volumen de <i>Cupressus macrocarpa</i>	51
4.6.	Peso específico básico de la madera	52
4.7.	Biomasa total.....	53
4.8.	Stock de carbono y CO ₂	54
4.8.1.	Análisis del comportamiento entre la biomasa y la captura de C y CO ₂ de <i>Pinus radiata</i>	55
4.8.2.	Análisis del comportamiento entre la biomasa y la captura C y de CO ₂ en <i>Cupressus macrocarpa</i>	57
4.8.3.	Comparación de la captura de carbono promedio por árbol de <i>Pinus radiata</i> y <i>Cupressus macrocarpa</i>	58
4.8.4.	Comparación de captura de CO ₂ de <i>Pinus radiata</i> y <i>Cupressus macrocarpa</i>	60
4.9.	Carbono almacenado en el suelo.....	62
4.9.1.	Densidad aparente del suelo.....	62
4.10.	Carbono almacenado en el suelo.....	62
4.11.	Total, carbono almacenado en el suelo del boulevard de la avenida Los Próceres y La Cultura de la provincia de Azángaro.....	64

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	67
5.1. Conclusiones	67
5.2. Recomendaciones.....	67
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
ANEXOS	83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Diferencia entre inventario y censo forestal</i>	21
Tabla 2. <i>Taxonomía de “Pinus radiata”</i>	25
Tabla 3. <i>Taxonomía de “Cupressus macrocarpa”</i>	26
Tabla 4. <i>Matriz para el modelo de almacén de carbono del programa InVEST</i>	42
Tabla 5. <i>Resultados de la caracterización y densidad poblacional arbórea en el lugar de estudio</i>	44
Tabla 6. <i>Datos dasométricos del censo forestal de la especie forestal de “Pinus radiata”</i>	46
Tabla 7. <i>Datos dasométricos del censo forestal de “cupressus macrocarpa”</i>	47
Tabla 8. <i>Área basal y volumen de la especie forestal “Pinus radiata” por jardinera (37)</i>	50
Tabla 9. <i>Área basal y volumen de la especie forestal “Cupressus macrocarpa”</i>	51
Tabla 10. <i>Peso específico básico de la madera de Pinus radiata y Cupressus macrocarpa</i>	52
Tabla 11. <i>Biomasa total de “Pinus radiata” y “Cupressus macrocarpa”</i>	53
Tabla 12. <i>Stock de captura de carbono del total de Pinus radiata y Cupressus macrocarpa</i>	54
Tabla 13. <i>Densidad aparente del suelo y características fisicoquímicas</i>	62
Tabla 14. <i>Carbono almacenado en el suelo del boulevard de la avenida Los Próceres y La Cultura</i>	63
Tabla 15. <i>Captura de carbono de Pinus radiata, Cupressus macrocarpa y suelo</i>	64
Tabla 16. <i>Datos del carbono capturado en la biomasa aérea, biomasa subterránea y en el suelo</i>	65
Tabla 17. <i>Resultado del modelado de carbono, según el mapa de uso actual del suelo en el software InVEST</i>	66

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Efecto invernadero.....	17
<i>Figura 2.</i> Ciclo de carbono.....	18
<i>Figura 3.</i> <i>Pinus radiata</i> establecido en el boulevard de la avenida Los Próceres y La Cultura.....	24
<i>Figura 4.</i> <i>Cupressus macrocarpa</i> establecido en el boulevard de la avenida Los Próceres y La Cultura.....	26
<i>Figura 5.</i> Localización de la provincia y distrito de Azángaro.....	29
<i>Figura 6.</i> Ubicación del boulevard de la avenida Los Próceres y La Cultura.....	30
<i>Figura 7.</i> Área y puntos de estudio de <i>Pinus radiata</i> y <i>Cupressus macrocarpa</i> en el boulevard de la avenida Los Próceres y La Cultura.....	31
<i>Figura 8.</i> Posición de mediciones del DN para diferentes casos.....	35
<i>Figura 9.</i> Método de medición de la altura total.....	36
<i>Figura 10.</i> Comparación del DN promedio de <i>Pinus radiata</i> y <i>Cupressus macrocarpa</i>	49
<i>Figura 11.</i> Comparación de la altura promedio de <i>Pinus radiata</i> y <i>Cupressus macrocarpa</i>	49
<i>Figura 12.</i> Comparación de la producción de biomasa total de <i>Pinus radiata</i> y <i>Cupressus macrocarpa</i> , (biomasa aérea y biomasa subterránea)	54
<i>Figura 13.</i> Diagrama lineal sobre el comportamiento de la biomasa, captura de carbono y CO ₂ de la especie <i>Pinus radiata</i>	56
<i>Figura 14.</i> Diagrama de dispersión del comportamiento de la biomasa y la captura de CO ₂	56
<i>Figura 15.</i> Diagrama lineal para el análisis del comportamiento entre la biomasa, captura de carbono y captura de CO ₂ de la especie de <i>Cupressus macrocarpa</i>	57
<i>Figura 16.</i> Diagrama de dispersión en el comportamiento de la biomasa y la captura de CO ₂	58
<i>Figura 17.</i> Comparación del stock de carbono almacenado en promedio por árbol de <i>Pinus radiata</i> y <i>Cupressus macrocarpa</i>	59
<i>Figura 18.</i> Comparación del stock de carbono total almacenado en las especies forestales de <i>Pinus radiata</i> y <i>Cupressus macrocarpa</i>	59

<i>Figura 19.</i> Comparación del stock de CO ₂ total almacenado en las especies forestales de <i>Pinus radiata</i> y <i>Cupressus macrocarpa</i>	60
<i>Figura 20.</i> Comparación del stock de CO ₂ total almacenado en las especies forestales de <i>Pinus radiata</i> y <i>Cupressus macrocarpa</i>	61
<i>Figura 21.</i> Identificación y codificación en estudio	111
<i>Figura 22.</i> Codificación en estudio.....	111
<i>Figura 23.</i> Codificación y levantamiento topográfico de los puntos de estudio	111
<i>Figura 24.</i> Recolección de puntos con el GPS GARMIN-64 SC.....	111
<i>Figura 26.</i> Medida de altura para el DN (1.30m)	112
<i>Figura 27.</i> Medición del DN (diámetro a la altura de pecho).....	112
<i>Figura 28.</i> Apunte de datos obtenidos del DN	112
<i>Figura 29.</i> Medición de la altura del árbol con hipsómetro Harbin.....	113
<i>Figura 30.</i> Medición de la altura total del árbol	113
<i>Figura 31.</i> Recolección de puntos con el GPS GARMIN-64 SC.....	113
<i>Figura 32.</i> Medición del área total de la cobertura vegetal y suelo.....	113
<i>Figura 33.</i> Cavado del suelo para la recolección de muestras del suelo.....	114
<i>Figura 34.</i> Recolección muestras del suelo por el método del cilindro.....	114
<i>Figura 35.</i> Preparación de muestras del suelo para la determinación de carbono....	114
<i>Figura 36.</i> Muestras de suelo debidamente codificadas y rotuladas en el laboratorio	114
<i>Figura 38.</i> Pesado de muestras de suelo en la balanza analítica.....	115
<i>Figura 39.</i> Muestras del suelo debidamente codificadas y rotuladas	115
<i>Figura 40.</i> Secado de muestras de suelo en la estufa.....	115
<i>Figura 41.</i> Secado de muestras en la estufa para la determinación de la densidad aparente	116
<i>Figura 42.</i> Molido del suelo seco y tamizado en la malla de 5mm	116
<i>Figura 43.</i> Muestras de suelo en matraces con dicromato de potasio	116
<i>Figura 44.</i> Dicromato de potasio en las muestras del suelo	116
<i>Figura 45.</i> Muestras de suelo para la determinación del pH y conductividad eléctrica	117
<i>Figura 46.</i> Determinación del pH con el phmetro	117

<i>Figura 47.</i> Determinación de la conductividad eléctrica de las muestras del suelo .	117
<i>Figura 48.</i> Valoración de las muestras del suelo para el cálculo del porcentaje de materia orgánica.....	117
<i>Figura 49.</i> Muestras de suelo valoradas para la determinación del porcentaje de materia orgánica.....	118
<i>Figura 50.</i> Extracción de muestras de madera verde.....	118
<i>Figura 51.</i> Extracción de muestras de madera con el barreno Haglof de tipo Pressler	118
<i>Figura 52.</i> Muestras de madera extraído con el extractor de barreno de Pressler	118
<i>Figura 53.</i> Muestras de madera debidamente codificadas de las especies de <i>Pinus radiata</i> y <i>Cupressus macrocarpa</i>	119
<i>Figura 54.</i> Saturación de las muestras de madera con agua potable	119
<i>Figura 55.</i> Muestras de madera de <i>Pinus radiata</i> y <i>Cupressus macrocarpa</i> en la estufa	119
<i>Figura 56.</i> Retiro de la estufa de las muestras de madera para la determinación de la densidad básica de la madera	119
<i>Figura 57.</i> Pesado de la madera seca para la determinación del peso específico basico de la madera	120
<i>Figura 58.</i> Secado de muestras secas de la madera para el cálculo del peso específico básico de la madera	120
<i>Figura 59.</i> Peso de la madera seca para la determinación del peso específico básico de la madera	120
<i>Figura 60.</i> Extracción de tarugos de madera para el cálculo del peso específico básico de la madera	120

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: Instrumento de identificación, cuantificación, medición de las áreas de las jardineras y cálculo de la densidad poblacional.....	83
ANEXO 2: Instrumento de recolección de información para el censo forestal de <i>Pinus radiata</i>	85
ANEXO 3: Instrumento de recolección de información para el censo forestal de <i>Cupressus macrocarpa</i>	87
ANEXO 4: Instrumento de muestreo de y cálculo de la densidad aparente del suelo	
ANEXO 5: Instrumento de muestreo de madera verde y cálculo de la densidad básica de la madera	90
ANEXO 6: Área basal y volumen de las especies forestales de <i>Pinus radiata</i> en el boulevard de la avenida Los Próceres.....	91
ANEXO 7: Área basal y volumen de las especies forestales de <i>Pinus radiata</i> en el boulevard de la avenida La Cultura	92
ANEXO 8: Cuadro comparativo consolidado del área basal y volumen de <i>Pinus radiata</i> en el boulevard de la avenida Los Próceres y La Cultura.....	92
ANEXO 9: Área basal y volumen de las especies forestales de <i>Cupressus macrocarpa</i> en el boulevard de la avenida Los Próceres	93
ANEXO 10: Área basal y volumen de las especies forestales de <i>cupressus macrocarpa</i> en el boulevard de la avenida la cultura.....	94
ANEXO 11: Cuadro comparativo consolidado del área basal y volumen de <i>Cupressus macrocarpa</i> en el boulevard de la avenida Los Próceres y La Cultura	94
ANEXO 12: Informe de análisis del cálculo de la densidad básica de la madera emitido por el laboratorio Megalaboratorio del sur S.R.L.	95
ANEXO 13: Constancia de uso de laboratorio (Megalaboratorio del sur S.R.L.)	
ANEXO 14: Certificados de calibración de los equipos utilizados en Megalaboratorio del sur S.R.L.....	97
ANEXO 15: Informe de análisis del cálculo de carbono almacenado en el suelo	
ANEXO 16: Carta de autorización para la intervención en el boulevard de la avenida Los Próceres y La Cultura de la provincia de Azángaro.....	110
ANEXO 17: Panel fotográfico	111

LISTA DE ACRÓNIMOS

CH₄	: Metano
C	: Carbono
CO₂	: Dióxido de carbono
CMCC	: Convención marco de cambio climático
CMNUCC	: Convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático
COP	: Conferencia de las partes de la Convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático
DN	: Diámetro normalizado
EPS	: Empresa Prestadora de Servicios
FAO	: Food and Agriculture Organization (Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación)
GEI	: Gases de efecto invernadero
HT	: Altura total del árbol
ICRAF	: International center for research in agroforestry (Centro Internacional para la investigación en Agroforestería)
INEI	: Instituto Nacional de Estadística e Informática
InVEST	: Valoración Integrada de Servicios y Compensaciones del Ecosistema
IPCC	: Intergovernmental panel on climate change (Panel intergubernamental de cambio climático)
kg	: Kilogramo
MIDAGRI	: Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego
MINAM	: Ministerio del Ambiente
N₂O	: Monóxido de nitrógeno
O₃	: Ozono
OMM	: Organización Meteorológica Mundial
OMS	: Organización Mundial de la Salud
PSF	: Punto de saturación de la fibra
SERFOR	: Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre
t/ha	: Tonelada por hectárea

RESUMEN

El CO₂ aumenta su concentración en la atmósfera causando una crisis climática mundial, es por ello la importancia de cuantificar los reservorios de carbono en los diferentes ecosistemas. El presente tuvo como objetivo determinar la captura de CO₂ en la biomasa de *Pinus radiata* y *Cupressus macrocarpa* establecidas en el boulevard de la avenida Los Próceres y La Cultura de la provincia de Azángaro, Puno. Para lo cual se realizó un censo forestal; la evaluación de la biomasa aérea y subterránea (fuste, copa y raíces) fue mediante las ecuaciones alométricas; asimismo, para la determinación de carbono se utilizó el factor de 0.59 y para el stock de CO₂ el factor de 44/12 que recomienda el IPCC; por otro lado, se empleó la metodología de Walkley Black para la estimación de carbono almacenado en el suelo. Entre los resultados se mostraron que el CO₂ capturado por las especies arbóreas de *Pinus radiata* y *Cupressus macrocarpa* fueron de 79 274.30 kg CO₂ y 40 111.29 kg CO₂ respectivamente; el carbono orgánico almacenado en el suelo fue de 27 395.7 kg. En conclusión, las especies en estudio en el boulevard de la avenida Los Próceres y La Cultura de la provincia de Azángaro contribuyen con la mitigación del cambio climático.

Palabras clave: Biomasa, captura de CO₂, ecuaciones alométricas, *Cupressus macrocarpa*, *Pinus radiata*.

ABSTRACT

CO₂ increases its concentration in the atmosphere causing a global climate crisis, which is why it is important to quantify the carbon reservoirs in different ecosystems. The objective of this study was to determine the capture of CO₂ in the biomass of *Pinus radiata* and *Cupressus macrocarpa* established in the boulevard of Avenue Los Proceres and La Cultura in the province of Azángaro, Puno. For this purpose, a forest census was carried out; the evaluation of the aerial and subway biomass (stem, crown and roots) was done using allometric equations; likewise, for the determination of carbon, the factor of 0.59 was used and for the CO₂ stock, the factor of 44/12 recommended by IPCC; on the other hand, the Walkley Black methodology was used for the estimation of carbon stored in the soil. The results showed that the CO₂ captured by the tree species *Pinus radiata* and *Cupressus macrocarpa* were 79 274.30 kg CO₂ and 40 111.29 kg CO₂ respectively; the organic carbon stored in the soil was 27 395.7 kg. In conclusion, the species under study in the boulevard of Los Proceres Avenue and La Cultura in the province of Azángaro contribute to climate change mitigation.

Key words: Allometric equations, biomass, CO₂ capture, *Cupressus macrocarpa*, *Pinus radiata*.

INTRODUCCIÓN

Los gases de efecto invernadero (GEI) en particular el dióxido de carbono (CO₂), juega un papel directo en el cambio climático, el CO₂ prevalece entre estos con la mayor contribución (65%) a las emisiones globales hasta el año 2010 (IPCC, 2014; Rogelj et al., 2018; Rodas et al., 2021). La concentración global de CO₂ ha aumentado de 280 ppm a 409.09 ppm entre el siglo XVIII (era preindustrial) y 2019 con una tasa de crecimiento anual estimada de 3.40 ppm año⁻¹ a partir de año 2018 (NOAA, 2020). Este aumento en la concentración de CO₂ atmosférico ha generado preocupación debido a su asociación con la temperatura media global y el cambio climático (Olivier & Peters, 2020). La tendencia emergente en la concentración de CO₂ atmosférico apunta a la primera instancia del aumento inducido por el hombre en las emisiones de GEI (Paustian et al., 2016).

Para la mitigación del impacto del calentamiento global y el cambio climático, es necesario adoptar los objetivos del protocolo de Kioto de 1997, que es la convención marco de las naciones unidas en el cual se propusieron las medidas estratégicas para disminuir las emisiones de los GEI de la atmosfera, las cuales contemplan el incremento de los sumideros terrestres naturales de carbono (González, 2019).

Downey et al., (2021) afirma que no se ha prestado mucha atención a la vegetación urbana. Pero, afirma que las mayores emisiones de CO₂ se originan en el sector urbano, debido a numerosas actividades antrópicas de carácter comercial e industrial y el crecimiento urbano desordenado; el arbolado urbano, generalmente es tomado en cuenta solo por su aspecto estético o paisajístico, desestimando las funciones ambientales que estas cumplen. Particularmente, los bosques urbanos no han tenido atención investigativa a diferencia de los bosques tropicales. Sin embargo, los bosques urbanos ofrecen una oportunidad única para almacenar carbono en un entorno urbano y reforzar los servicios ecosistémicos locales, también son un gran potencial para atenuar el cambio climático (Keeler et al., 2019).

Las ciudades, presentan varias interacciones entre los diversos elementos que la componen; el cambio en el uso del paisaje y la constante construcción de infraestructura requerida por

las ciudades que hacen que los componentes naturales como los árboles pierdan importancia y eficiencia en cuanto su funcionalidad ecosistémica (Jiménez & Peralta, 2019).

Por tal motivo, es destacable los servicios ambientales que brindan los árboles a la ciudad, entre algunos de ellos tenemos: captura de carbono, regulación de la temperatura, provisión de agua en calidad y cantidad, generación de oxígeno, barrera contra ruidos, protección y recuperación de los suelos entre otros (González, 2019).

La vegetación urbana es un mecanismo natural de mitigación de GEI en las ciudades, de manera que los parques urbanos no sólo pueden actuar como sumideros de carbono naturales al capturar y almacenar el CO₂, sino que por su naturaleza multifuncional pueden brindar y mejorar la calidad de vida de sus habitantes por todos los servicios ambientales que ofrecen (Zelada, 2021). Debido a ello surge el interés por realizar estudios referidos a la captura del CO₂ teniendo presente el importante papel que cumplen estos ecosistemas capturando y almacenando carbono.

Azángaro es una de las provincias que tiene déficit de áreas verdes, solamente el bosque urbano establecido en el boulevard de la avenida Los Próceres y La Cultura es un modelo representativo de la ciudad de Azángaro referente a las áreas verdes (Plan de desarrollo concertado Azángaro, 2021). Por tal motivo, surge la importancia de realizar investigaciones como el presente estudio que tienen el propósito de generar conocimiento de las reservas de carbono en bosques urbanos, parques urbanos, alamedas, bulevares y huertos urbanos, además de la gran importancia de estos ecosistemas naturales (Crespo, 2021).

El objeto fue determinar la captura de CO₂ de *Pinus radiata* y *Cupressus macrocarpa* en el boulevard de la avenida Los Próceres y La Cultura de la provincia de Azángaro – 2022, por lo que permitirá dar un aporte a diversas instituciones públicas y privadas; con información significativa respecto a la captura de CO₂ de las especies arbóreas instauradas en los espacios verdes en el ámbito urbano. También, se busca promover la arborización con criterios ecosistémicos técnicos y sostenibles, teniendo en cuenta los beneficios de captura de carbono, su manejo y su conservación. Por otro lado, se pronostica que las futuras investigaciones de esta naturaleza tendrán en cuenta la asignación de un valor monetario (bonos de carbono) para fomentar su conservación bajo enfoques de retribución por los servicios ecosistémicos.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Identificación del problema

El cambio climático es un problema crítico mundial que genera una mayor conciencia sobre la gestión de las emisiones de gases de GEI (Misila et al., 2017). Entre ellos, el CO₂ es el más resaltante producido por las actividades humanas (Mollocondo & Aguilar, 2019). Desde 1970 las emisiones de CO₂ en el Perú se incrementan rápidamente alcanzando 55.931 kilotoneladas de dióxido de carbono en 2017 (Huaco, 2020).

Las actividades resultantes que emiten dióxido de carbono se han vuelto preocupantes y no tienen respuesta para buscar soluciones para compensar estas emisiones a través de acciones sostenibles, como el uso de diversas especies forestales dentro y fuera de la ciudad para la captura de carbono (Yana, 2019). Es por ello que en los últimos años, existe mayor interés para cuantificar los reservorios de carbono en los bosques urbanos debido a su potencial en la mitigación del cambio climático y los servicios ambientales (Peña, 2021). La captura y almacenamiento de carbono es una de las medidas clave para cambiar de un sistema energético radicado en los combustibles fósiles a uno de bajas emisiones o sin emisiones de carbono hacia el logro de los objetivos climáticos (Matos et al., 2018).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda un mínimo necesario de 9 m²/hab. de áreas verdes, pero en esta localidad las áreas verdes son mínimas con relación a la totalidad de su población, en consecuencia, la población se ve afectada por eventos atmosféricos atípicos producidos por el cambio climático, frente a ello la captura de carbono es uno de los métodos para hacer frente a este fenómeno la captura de carbono por medio del establecimiento de árboles con criterios técnicos forestales.

Azángaro es la tercera provincia con mayor población en la región de Puno con 136 829 habitantes, la mayor concentración de la población es en el área rural con el 72.59% y la población en el área urbana es del 27.41%; mientras que, el distrito de Azángaro tiene una

población de 27 823 habitantes (INEI, 2017). Según el plan de desarrollo concertado al 2021, se tiene como objetivo desarrollar un modelo de gestión ecoeficiente, sociambientalmente responsable y de uso racional de los recursos naturales, en el cual se busca posicionar el tema ambiental en las decisiones de las autoridades e instituciones articulando las capacidades regionales y municipales creando sinergias y promoviendo una activa participación ciudadana mediante las alianzas interinstitucionales. También, con respecto a las áreas verdes se afirma que existe una escasa vegetación a nivel de la ciudad de Azángaro, se es consciente de que es necesario implementar más áreas verdes, de tal manera se fortalezcan mucho más los servicios ambientales tal es el caso de captura de carbono.

La falta de áreas verdes no solo ha reducido el potencial de captura de carbono dentro de la ciudad, sino que ha privado a la población de gozar de los demás beneficios ambientales que brindan los árboles en ámbitos urbanos (Plan de desarrollo concertado Azángaro, 2017). Por lo descrito anteriormente, en esta ciudad no se tiene información referente a la captura de carbono en el ámbito urbano por lo que es necesario realizar investigaciones al respecto ya que es importante contar con información local e indicadores de carbono de *Pinus radiata* y *Cupressus macrocarpa* existentes para conocer el flujo de carbono, de esta forma se pueda tener compromisos de reducción de CO₂ atmosférico para mitigar los efectos del cambio climático y la provisión de servicios ambientales.

1.1.1. Pregunta de investigación

a. Problema general

¿Cuántos kilogramos de CO₂ captura la biomasa de *Pinus radiata* y *Cupressus macrocarpa* en el boulevard de la avenida Los Próceres y La Cultura de la provincia de Azángaro, en el año 2022?

b. Problemas específicos

- ¿Cuántos kilogramos de biomasa aérea y subterránea presenta el *Pinus radiata* y *Cupressus macrocarpa* en el boulevard de la avenida Los Próceres y La Cultura de la provincia de Azángaro?

- ¿Cuántos kilogramos de carbono y CO₂ captura en la biomasa aérea y subterránea de *Pinus radiata* y *Cupressus macrocarpa* del boulevard de la avenida Los Próceres y La Cultura de la provincia de Azángaro?
- ¿Qué cantidad de carbono (kg) almacena el suelo asociado a *Pinus radiata* y *Cupressus macrocarpa* en el boulevard de la avenida Los Próceres y La Cultura de la provincia de Azángaro?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Determinar la cantidad de captura de CO₂ de *Pinus radiata* y *Cupressus macrocarpa* en el boulevard de la avenida Los Próceres y La Cultura de la provincia de Azángaro, en el 2022.

1.2.2. Objetivos específicos

- Cuantificar la producción de biomasa (aérea y subterránea) de *Pinus radiata* y *Cupressus macrocarpa* en el boulevard de la avenida Los Próceres y la Cultura de la provincia de Azángaro.
- Evaluar la captura de carbono y CO₂, en la biomasa (aérea y subterránea) de *Pinus radiata* y *Cupressus macrocarpa* en el boulevard de la avenida Los Próceres y La Cultura de la provincia de Azángaro.
- Estimar la cantidad de carbono almacenado en el suelo asociado a *Pinus radiata* y *Cupressus macrocarpa* en el boulevard de la avenida Los Próceres y La Cultura de la provincia de Azángaro.

1.3. Justificación

Las actividades humanas están produciendo gases de efecto invernadero de manera excesiva que están potencialmente calentando el clima de la tierra, incrementado el nivel del calentamiento global, frente a ello el ámbito urbano no es ajeno a dicha problemática ambiental (Kern et al., 2021). Con la presente investigación se busca dar a conocer el estado actual; es decir, la cantidad de CO₂ capturado en la biomasa de *Pinus radiata* y *Cupressus macrocarpa* instauradas en el boulevard de la avenida Los Próceres y La Cultura, el cual permitirá dar un aporte a diversas instituciones locales, regionales, nacionales e

internacionales con información significativa respecto a la captura de CO₂ con el fin de realizar una gestión eficiente de los ecosistemas forestales urbanos.

Científicamente aportará conocimiento del estado o la base en el que se encuentra, según la FAO (2018), un bosque urbano es considerado cuando es mayor a 0.5 hectáreas; por ende, las especies del boulevard de la avenida Los Próceres y La Cultura es considerado como bosque urbano. Muchos estudios se están enfocando en buscar mecanismos de mitigación del cambio climático y por ello surge el interés de determinar la captura de carbono para la implementación de nuevas políticas enfocados en el pago por servicios ambientales (Tabango, 2020). Por tal motivo, permitirá realizar en las futuras investigaciones de esta naturaleza de cálculos de la tasa de captura de CO₂, pudiendo asignarle un valor monetario para fomentar su conservación bajo enfoques de retribución por los servicios ecosistémicos.

Técnicamente servirá para rediseñar la infraestructura urbana, ampliando las áreas destinadas a áreas verdes de tal manera que permitan la presencia de árboles, teniendo en cuenta su conservación e incremento sostenible con especies adecuadamente seleccionadas, incrementando el valor y los servicios ecosistémicos (Bustamante, 2017). De la misma forma se busca que las especies forestales instauradas en el boulevard de la avenida los Próceres y la Cultura, se vea como una muestra fehaciente del impacto positivo, como un modelo que generará la ejecución de proyectos forestales en la forestación urbana.

Socialmente, la ciudadanía en general estará informado del bosque urbano con los resultados del presente estudio, debido a que la municipalidad provincial de Azángaro no cuenta con estudios referidos sobre la captura de carbono que se encuentran en las áreas verdes potenciales con mayor cobertura vegetal, considerando que en la actualidad diferentes ciudades están tomándolo en cuenta en el proceso de ordenamiento territorial. En la actualidad la municipalidad provincial de Azángaro está ampliando sus actividades de arborización en el ámbito urbano, pero sin criterios técnicos forestales, frente a ello; el presente, aportará en la etapa prospectiva y de planeación al sugerir las especies forestales a establecerse de acuerdo a su capacidad de captura de CO₂, de las plantaciones que pueden variar considerablemente dependiendo de diversos factores, tales como la especie, la calidad de suelos, y el manejo empleado (Prado, 2015).

El presente estudio, obrará por su aporte en los diversos proyectos forestales urbanos; en específico, a la gerencia de servicios municipales y gestión ambiental de la municipalidad provincial de Azángaro, con criterios de manejo y establecimiento de plantaciones forestales en áreas urbanas. Asimismo, servirá como una base técnica en proyectos de arborización a nivel de la región sur del país, que tienen condiciones geográficas y climáticas similares; y más aún, a nivel de las áreas urbanas de la región de Puno.

1.4. Formulación de hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

Pinus radiata y *Cupressus macrocarpa* en el boulevard de la avenida Los Próceres y La Cultura capturan CO₂ de manera significativa como parte del proceso fotosintético relacionado a la cantidad de biomasa.

1.4.2. Hipótesis específicas

- La biomasa aérea y subterránea de *Pinus radiata* y *Cupressus macrocarpa* en el boulevard de la avenida Los Próceres y La Cultura de la provincia de Azángaro dependen de las variables dasométricas.
- La captura de carbono y CO₂ de *Pinus radiata* y *Cupressus macrocarpa* en el boulevard de la avenida Los Próceres y La Cultura de la provincia de Azángaro está en función a la cantidad de biomasa producida.
- La cantidad de carbono almacenado en el suelo asociado a *Pinus radiata* y *Cupressus macrocarpa* en el boulevard de la avenida Los Próceres y la Cultura de la provincia de Azángaro obedece a la cantidad de materia orgánica y al área de estudio.

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA O MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes internacionales

Arcos (2018) realizó su investigación en el Parque Estatal “El Faro” (México), para lo cual seleccionó las coníferas, ya que son las especies dominantes de la zona. Realizó un muestreo en conglomerado, obteniendo datos de 272 árboles, de los cuales se tomaron medidas dasométricas como el diámetro normal y altura; para determinar la biomasa; utilizó ecuaciones alométricas, para obtener datos de contenido de carbono. En el cual concluye que el parque estatal “El Faro” genera alta de biomasa la cual influye directamente en la captación de CO₂, por tal razón es importante realizar estudios para conocer como conservar estos sitios que nos brindan diversos beneficios.

Cook et al. (2014) determinaron la influencia relativa de las especies de árboles de plantaciones comerciales en el carbono del suelo luego del establecimiento en antiguos pastos tropicales. Para lo cual cuantificaron el carbono del suelo y la productividad de la madera del tallo de plantaciones de coníferas y latifoliadas de 6 a 34 años en un Oxisol arenoso (*Typic Hapludox*) en el sureste de Brasil. Las latifoliadas fueron principalmente *Eucalyptus*, mientras que las coníferas estaban conformadas por especies de *Pinus*. Sus resultados mostraron poca diferencia en el C del suelo entre los tipos de vegetación, lo que proporciona evidencia de que las plantaciones de coníferas y latifoliadas. En general, mantienen niveles similares de carbono en el suelo. Los suelos son sumideros potenciales de carbono cuando están asociados a producción agrícola y la presencia de árboles.

Devi et al. (2021) calcularon la captura de carbono del bosque sagrado del monasterio Deorali Chorten (DMS) y el bosque sagrado del monasterio Enchey (EMS), el cual compararon con un bosque natural rural (STF). Utilizaron ecuaciones alométricas con datos de densidad de la madera y la altura de los árboles; asimismo, estimaron colorimétricamente el carbono del suelo. La captura de carbono en EMS fue 156.04 t C/ ha; en DMS 155.39 t C/ ha; en STF 76.58 t C/ ha. Con respecto al suelo, la mayor reserva de carbono se tiene en EMS de 118.70 t C/ ha. En tal estudio revelaron que los bosques viejos tienen un mayor almacenamiento de carbono, pero un potencial de secuestro reducido. Los bosques urbanos almacenan más carbono en la vegetación que en el suelo.

López et al. (2018) estimaron los depósitos de biomasa y carbono aéreo del arbolado de la primera sección de los bosques de Chapultepec y analizaron su relación con el área basal y la composición de las especies. A partir del inventario correspondiente al 27.3% de las áreas verdes de la primera sección y de la aplicación de las relaciones alométricas, estimaron reservorios totales de 0.024217 kg de biomasa y 0.011226 kg de C, la composición de las especies y el área basal influyeron en los depósitos de biomasa y carbono. El valor medio del contenido de C es alto en comparación con los registrados en los bosques urbanos de otras ciudades del mundo, de las cuales la especie más predominante fue *Fraxinus uhdei* por lo que el bosque de Chapultepec puede ser considerado un importante reservorio.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Peña (2021) determinó el nivel de captura de carbono de las especies forestales maderables y no maderables de los parques y jardines de la ciudad de Moyobamba. La autora estudió el ficus (*Ficus benjamina*) y la palmera hawaiana (*Chrysalidocarpus lutescens*) son las especies que más abundan con 169 y 128 plantas respectivamente; para lo cual, analizó el nivel de captura de carbono de acuerdo a cada parque o jardín de la ciudad, obteniendo los siguientes resultados: una menor captura de carbono se encuentran en la Plazuela Amor y Paz, el espacio que se sitúa frente a la EPS Moyobamba los cuales arrojan unos

resultados de 0 t/ha, y el parque jardín que registra mayor índice de captura en la ciudad de Moyobamba es la arborización de la avenida Grau la cual arroja un resultado de 3.123 t/ha.

Taipe (2020) evaluó la biomasa urbana de las especies forestales en el centro histórico de la ciudad del Cusco, asimismo; estimó la capacidad de captura de carbono de la biomasa en las áreas verdes como servicios ecosistémicos; mediante ecuaciones alométricas, donde encontró un nivel de CO₂ capturado de 86.24 t de CO₂, la mayor captura de CO₂ fue la avenida Paseo de los Héroes con 29.39 t de CO₂, el valor del estudio es aceptable ya que siguió los procedimientos de determinación de captura de carbono a partir de variables dasométricas, y más aún en el ámbito urbano.

Mirez (2021) seleccionó los modelos alométricos que mejor estimen la biomasa aérea y carbono en plantaciones de *Pinus patula* de diferentes edades para lo cual realizó un inventario forestal en 15 parcelas de 100 m² de *Pinus patula* registrando las variables dasométricas DN y altura total, asimismo; calculó la biomasa aérea del fuste, ramas y follaje a través del método destructivo en nueve árboles. Se estimó que las plantaciones de 15, 10 y 5 años instaladas bajo estas condiciones edafoclimáticas almacenan 26.422 t CO₂/ha, 16.944 t CO₂/ha y 8.267 t CO₂/ha respectivamente, en lo cual CO₂ almacenado se da principalmente en el fuste del árbol.

Arone (2019) determinó la biomasa y captura de carbono mediante el método no destructivo, aplicando modelos alométricos, en el cual obtuvo los siguientes resultados: 0.46 tB/ha (7.96%), 0.23 tC/ha, 0.84 tCO₂e/ha, 0.28 tCO₂e/ha/año y US\$ 8.27 tCO₂e/ha/año correspondiente a la biomasa aérea, captura de carbono, CO₂e, FACO₂e (fijación anual del dióxido de carbono equivalente) y su valoración económica en la especie *Eucalyptus globulus* y 5.27 tB/ha (92.04%), 2.64 tC/ha, 9.68 tCO₂e/ha, 3.23 tCO₂e/ha/año y US\$ 95.60 tCO₂e/ha/año correspondiente a la biomasa aérea, captura de carbono, CO₂e, FACO₂e y su valoración económica en la especie *Pinus radiata*.

2.1.3. Antecedentes locales

Yana (2019) evaluó la cantidad de captura de CO₂ en relación a la biomasa aérea de las especies forestales predominantes en el ornato urbano de Juliaca, para ello utilizó ecuaciones alométricas, previo inventario de especies forestales, entre ellos identificó a *Cupressus macrocarpa* Hartw, y *Pinus radiata* D. Don; asimismo, determinó la densidad básica de la madera, el volumen y la biomasa aérea; la concentración de carbono orgánico mediante combustión húmeda de Walkley & Black y finalmente calculó la cantidad de CO₂ capturado. Tuvo como resultado 16.3 t de biomasa aérea urbana que capturan 30.5 tCO₂. En tal estudio concluyó que se evidencia la importancia del manejo técnico forestal por su servicio ambiental en función a la biomasa aérea y potencial de captura de CO₂ por especie forestal al momento de seleccionarlas para la gestión, planificación y ejecución de proyectos de arbolado urbano en instituciones públicas y privadas.

Maquera (2017) determinó el contenido de carbono en la producción de biomasa en los rodales de eucaliptos, ciprés y pino, para lo cual tomó 3 muestras de cada árbol para su respectivo análisis por titulación utilizando el método de combustión húmeda (Walkley and Black). Los resultados, en cuanto a captura de carbono en la biomasa aérea del bosque del CIP-Camacani fue lo siguiente; Eucalipto con 1 260.55 t de C, Pino con 489.48 t de C y el Ciprés con 320,25 t de C haciendo un total de 2 070.28 t de C capturado en todo el bosque.

Mollocondo & Aguilar (2019) estimaron la captura de CO₂ para lo cual evaluaron de forma descriptiva los valores de biomasa, carbono y CO₂, para lo cual se utilizaron el método no destructivo, calculando con una forcípula el diámetro a la altura del pecho (DN) y con un clinómetro la altura total por árbol, posteriormente los datos fueron sometidos a ecuaciones exponenciales para estimar la captura de CO₂ en toneladas por hectárea. Los resultados que obtuvieron indican que el *Cupressus spp* captura 521.94 tCO₂/ha y 142.35 tC/ha, el *Eucaliptus globulus* 430.04 tCO₂/ha y 117.28 tC/ha, y finalmente la *Polylepis sp* 48.17 tCO₂/ha y 13.13 tC/ha.

Ginez (2019) estimó el carbono total almacenado en sus bosques altoandinos (*Polylepis sp.*). Para ello, instaló 16 parcelas de muestreo al azar con medidas 10m × 10m, para la determinación de biomasa aérea se utilizó $62.14888556 * DN(1.36161) * HT(1.31511)$ como ecuación alométrica, con un contenido de carbono del 59.47 %, respecto a la biomasa subterránea calculó como el 15 % de la biomasa aérea con un contenido de carbono del 50 %, asimismo; utilizó una imagen LandSat 8 y Google Earth Pro para su delimitación; los datos obtenidos lo procesó en el modelo de almacén de carbono del programa InVEST 3.1.1 para determinar el carbono total almacenado. El resultado que obtuvo respecto a la cantidad total de carbono almacenado en los bosques de *Polylepis sp.* estimada para el año 2018 fue de 114 114.35 tC para todo el bosque, con un promedio general de 22.29 tC / ha.

2.2. Marco conceptual

2.2.1. Biomasa

Hernández., et al (2019) afirman que la biomasa forestal está definida como el peso de un ecosistema forestal y se divide en biomasa aérea y biomasa subterránea. La biomasa forestal aérea es la suma de la materia orgánica seca del fuste con corteza, ramas y hojas que se encuentran por encima del suelo, mientras que la biomasa subterránea se encuentra por debajo del suelo a este grupo corresponden las raíces (España, 2016).

2.2.2. Coníferas

Las coníferas son un grupo botánico de plantas superiores que engloba a los árboles y arbustos vivos más antiguos de nuestro planeta. Su característica principal es la de desarrollar conos o estróbilos, que son estructuras primitivas de reproducción (Mamani & Fernández, 2017).

Asimismo, se hace referencia por coníferas a los árboles y arbustos que poseen un tronco recto con copas muy abundantes; sus ramas son horizontales y tienen forma cónica; sus hojas son perennes con forma de escamas o agujas: las flores son unisexuales y su fruto tienen forma de piña. Entre las coníferas están los

pinos y cipreses que tienen la forma descrita; su estructura reproductiva es llamada cono, por su forma y que son también conocidas como piñas (Chmura et al., 2021); se pueden encontrar típicamente en climas fríos y de montaña. También, podemos encontrar los cedros, los pinos, los cipreses, los tejos y las araucarias. Finalmente, son árboles perennes, lo cual quiere decir que no pierden su follaje a pesar del paso de las estaciones o del cambio del clima (Joshi et al., 2021).

2.2.3. Densidad de la madera

La densidad de la madera es la masa por unidad de volumen a un contenido de humedad dado; desde cualquier incremento de contenido de humedad, se incrementará la masa de la madera en mayor proporción que su incremento en volumen; este incremento ocurre en gran proporción arriba del PSF porque la hinchazón ha cesado (Igartúa et al., 2016).

a. Densidad básica de la madera

Es la relación entre el peso y el volumen de una muestra de madera a una misma condición de humedad. Tal concepto tiene relación con la definición de densidad: La densidad de la madera es un importante indicador de su calidad en muchos ámbitos de la industria forestal; influye en la productividad, en la calidad de la pulpa y en la posibilidad de realizar las manipulaciones genéticas deseadas. La densidad básica es importante para el procesamiento químico de la madera, porque la cantidad de madera seca por unidad de volumen determina el rendimiento del material (Lachowicz et al., 2019).

2.2.4. Peso específico de la madera

El peso específico de una sustancia es el cociente entre el peso de la sustancia y el peso del volumen igual de agua. En el caso de la madera para calcular el peso específico se utiliza el peso seco; es decir, el peso específico es el cociente entre el peso seco de la madera y el peso del volumen de agua desalojado (Palmar, 2019).

a. Peso específico básico de la madera

El peso específico básico es el cociente entre el peso anhidro de una muestra de especie de madera (madera seca al horno) y su volumen saturado o verde, es el indicador más importante de la consistencia de la madera y puede utilizarse para predecir características como la dureza, la resistencia y la facilidad de manejo. Generalmente, las maderas más densas se contraen y se expande más que las maderas ligeras (Rubio, 2021). Diversos autores también lo denominan densidad básica de la madera, por ser la masa numéricamente igual al peso específico aparente básico (PEB), definido como el cociente entre el peso anhidro (PA) y el volumen verde (VV) en lugar de la densidad básica (Raven, et al., 1992).

2.2.5. Boulevard

Boulevard es un elemento urbano, en el cual a través de la disposición de vegetación se delimita una avenida o un espacio público. “Un boulevard es una calle ancha y arbolada; también, se puede referir como boulevard al paseo central y arbolado de una calle ancha” (Kabish, 2007). El boulevard como espacio urbano, tiene capacidad de albergar grandes flujos, ofrece espacios para pasear y descansar. El boulevard estructura la forma de la ciudad a través de la circulación (Bernal, 2018).

2.3. Marco teórico

2.3.1. Calentamiento global

El calentamiento global es la consecuencia de la acumulación de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en la atmósfera, que está generando gran preocupación en el mundo, puesto que sus consecuencias son altamente perjudiciales en la sostenibilidad de los ecosistemas (Miranda & Cruzado, 2020).

2.3.2. Cambio climático

El futuro del medio ambiente global está en peligro debido al calentamiento global y al cambio climático impulsado principalmente por las emisiones de gases de efecto invernadero (*Figura 1*) (Shahbaz et al., 2021). Debido al

acelerado crecimiento poblacional y el incremento económico en las áreas urbanas, el ambiente se degrada más rápido aumentando los efectos del cambio climático y los riesgos a desastres naturales (Mijangos, 2015).

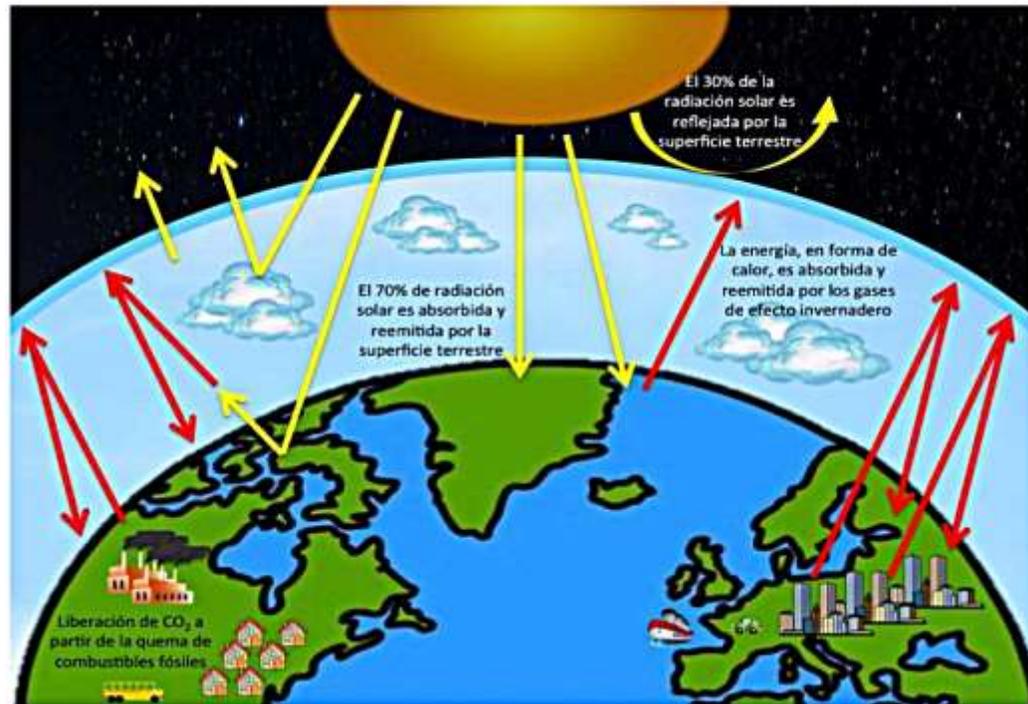


Figura 1. Efecto invernadero.
Fuente: Mijangos (2015)

2.3.3. El Dióxido de carbono

El CO₂ cobra relevancia por su efecto sobre las condiciones climáticas del planeta debido a que es un gas de larga permanencia, es decir, es un gas que permanece activo en la atmósfera durante mucho tiempo. Por ejemplo, del CO₂ emitido a la atmósfera, sobre el 50% tardará 30 años en desaparecer, un 30% permanecerá varios siglos y el 20% restante durará varios millares de años (Mollocondo & Aguilar, 2019).

2.3.4. Captura de CO₂

Es el almacenamiento del CO₂ de la atmósfera en la tierra, a través del proceso fotosintético, los bosques absorben CO₂ de la atmósfera a medida que crecen, almacenando grandes cantidades de carbono en la biomasa de sus hojas, ramas, tallos y raíces para aislarlo de la atmósfera por un largo plazo, mientras que

liberan oxígeno hacia la atmósfera (Rügnitz., et al, 2009; Menéndez et al., 2022; Fluker & Olivera, 2016).

Por otro lado, el ciclo del carbono (*Figura 2*) se da a partir de dos procesos: el biológico, en donde este elemento circula entre la materia orgánica mediante la fotosíntesis y la respiración; y el geoquímico, en donde circula entre la hidrósfera, atmósfera y litósfera (Boongaling, 2021).

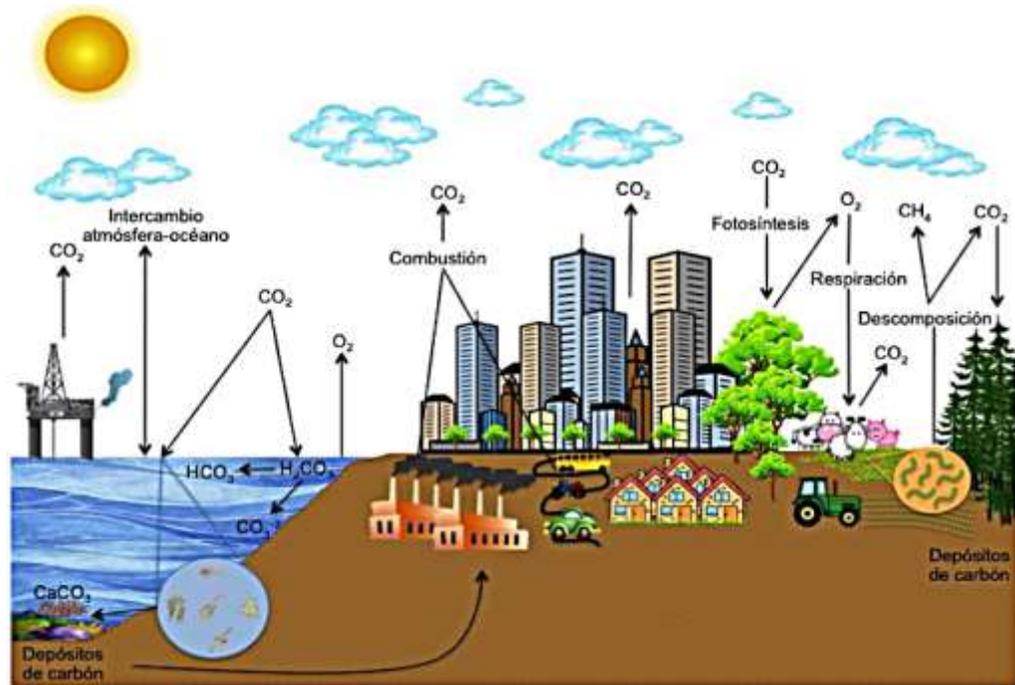


Figura 2. Ciclo de carbono.
Fuente: Mijangos (2015)

Los océanos y bosques son los principales sumideros de carbono, pueden absorber el 50% del CO_2 emitido por las actividades antropogénicas (Organización Meteorológica Mundial, 2013).

2.3.5. Almacén y captura de carbono en las especies forestales

Una medida natural para mitigar el cambio climático global es con la presencia de cobertura vegetal; debido a que actúa como reservorio o almacén de carbono. Esta función natural es denominada captura de carbono y se define como la capacidad de almacenamiento de CO_2 en los ecosistemas forestales (Carmona, 2017).

Los bosques y ecosistemas forestales capturan, almacenan y liberan oxígeno como resultado de los procesos fotosintéticos, de respiración y de degradación de materia seca (Romero, 2015); los ecosistemas terrestres son considerados responsables de la mayor parte de los flujos de carbono entre la tierra y la atmósfera (Tipper, 1998; Palomino, 2007; Amézquita, 2008; Carlin & Macías, 2018). En ese sentido, las plantas extraen el carbono de la atmósfera en forma de CO₂ a través de la fotosíntesis; en este proceso, el carbono atmosférico secuestrado se expresa en términos de biomasa constituido por follaje, ramas, raíces, troncos, flores y frutos, ello al descomponerse se convierte en parte del suelo en forma de humus (Carvajal et al., 2010; Ramírez & Peláez, 2018) . El potencial de almacenamiento de carbono varía en función de las especies vegetales, la ubicación y los parámetros del suelo (Amiri, 2021).

2.3.6. Bosques y arboles urbanos

Los bosques urbanos ofrecen una oportunidad única para almacenar carbono en un entorno urbano y reforzar los servicios ecosistémicos locales (Downey et al., 2021).

Los árboles urbanos son componentes importantes del paisaje y ofrecen numerosos beneficios, tanto socioeconómicos como biofísicos. Los árboles urbanos actúan como sumideros de CO₂, ayudando a compensar las emisiones de carbono de las zonas urbanas al eliminar el gas de efecto invernadero de la atmósfera mediante la fotosíntesis (Pasher et al., 2014). La presencia de árboles en las zonas urbanas ofrece oportunidades de ocio, además de embellecer el paisaje urbano y mejorar el disfrute y el valor general de los barrios. Asimismo, los bosques urbanos son importantes y repercuten en la calidad de vida de los habitantes, a pesar de la superficie relativamente pequeña que cubren estos bosques urbanos (Pietrzykowski & Daniels, 2014).

2.3.7. Métodos de medición de captura de carbono atmosférico (CO₂) en la biomasa forestal

Los métodos para la estimación de carbono, según Fernández (2017) son:

- **Método directo o destructivo:** Se realiza mediante la medición, cosecha y toma de muestras de la totalidad de los árboles que involucra el área de estudio, y con los resultados de biomasa se crea nuevas ecuaciones alométricas, este método es más costoso porque requiere más inversión de tiempo, mano de obra y recursos económicos (Mijangos, 2015).
- **Método indirecto:** Se realiza mediante la aplicación de ecuaciones alométricas para biomasa específica para cada especie, sistema forestal y bosque primario, en lo cual se registran datos de diámetro y altura (Gayoso & Guerra, 2005).
Se describe al método que aplican cuando los árboles son de grandes dimensiones, y entre las fórmulas indirectas para estimar biomasa, se encuentra el uso de modelos de biomasa específicos para cada especie, donde los valores de inventarios forestales como diámetro y altura, se transforman a términos de biomasa con la ayuda de modelos generales (Pumasupa, 2018).

2.3.8. Inventario forestal

El inventario forestal es el conteo y medición del diámetro a la altura del pecho (DN) y altura comercial (HC) de los árboles que se encuentran en toda el área del bosque en el cual se utiliza técnicas de muestreo (SERFOR, 2019). La finalidad es evaluar los recursos forestales y los recursos de árboles fuera del bosque y proporcionar nueva información cualitativa y cuantitativa sobre el estado, utilización, ordenación y tendencias de estos recursos (FAO, 2004). La información obtenida a partir del inventario forestal se utilizará para planificar, diseñar, aplicar políticas y estrategias nacionales e internacionales para la utilización sostenible y la conservación de los ecosistemas forestales, para comprender las relaciones entre los recursos y los usuarios del bosque y de los árboles fuera del bosque (FAO, 2004; Arone, 2019).

2.3.9. Censo forestal

El censo forestal es el conteo y medición del diámetro normal (DN) y altura comercial de la totalidad de los árboles existentes que se van a extraer y conservar como semilleros. Al momento de realizar el censo forestal, se debe marcar con pintura o placas metálicas los árboles aprovechables y semilleros para poderlos

identificar, y se debe registrar sus coordenadas UTM para poderlos ubicar. Asimismo, los datos obtenidos en el censo forestal sirven para elaborar el Plan Operativo (PO) y Declaración de Manejo (DEMA) (SERFOR, 2019).

2.3.10. Diferencia entre inventario y censo forestal

Es importante entender la diferencia entre el inventario y el censo forestales. A continuación, se enuncia las principales diferencias:

Tabla 1

Diferencia entre inventario y censo forestal

Inventario forestal	Censo forestal
<ul style="list-style-type: none"> • Brinda información aproximada de los recursos forestales existentes en toda el área del permiso. • Se toma información solamente de algunas áreas del bosque llamadas “muestras”. • Se realiza para el periodo de vigencia del plan general de manejo forestal. • Es necesario para la elaboración del plan general de manejo forestal y plan de manejo forestal intermedio. 	<ul style="list-style-type: none"> • Brinda información exacta y completa de los recursos forestales existentes en la parcela de corta. • Se toma información de toda la parcela de corta. • Se realiza para el periodo de vigencia del PO y DEMA. • Es necesario para la elaboración del plan operativo (PO) y DEMA.

Fuente: SERFOR (2019)

En la tabla 1 se muestra las diferencias entre el inventario y censo forestal, cuya principal diferencia es que en un inventario forestal se tiene información a partir de muestras; mientras que, a partir de un censo forestal se tiene la información completa del área de estudio.

2.3.11. Biomasa forestal

La biomasa forestal se define como el peso (o estimación equivalente) de materia orgánica que existe en un determinado ecosistema forestal por encima o por debajo del suelo. La biomasa de un árbol está distribuida en el fuste, ramas, hojas que corresponden a la biomasa aérea y la biomasa subterránea con los componentes de corteza, raíces, hojarasca y madera muerta (Vilca, 2017).

Los árboles y la biomasa vegetal desempeñan un papel importante en el ciclo del carbono. La biomasa forestal almacena el 45% del carbono de los ecosistemas terrestres y aproximadamente el 70% de este carbono se encuentra en la parte aérea (en la superficie del suelo) y el 30% en la biomasa del subsuelo (Amiri, 2021). Por lo tanto, no se puede ignorar el papel de los bosques y especialmente de la biomasa de los árboles forestales en la captura y el almacenamiento de carbono (Ghosh et al., 2021). Pero es necesario estimar el potencial de los diferentes ecosistemas forestales y de las diferentes especies en la cantidad de este almacenamiento para conocer la importancia y el papel de cada ecosistema forestal en la cantidad de almacenamiento de carbono (Kern et al., 2021).

2.3.12. Biomasa aérea

La biomasa aérea constituye toda la biomasa viva vegetal encontrada sobre el ras del suelo la cual principalmente está compuesta por la estructura de todas las especies vegetales vivas presentes como en: tallos, hojas, ramas, flores, etc. (Vilca, 2017).

2.3.13. Factores de expansión de biomasa (FEB)

El FEB es un coeficiente utilizado para considerar datos de la biomasa aérea no comercial como ramas y follaje (Alpizar, 1997); adicionándole a la biomasa comercial o expandiéndolo; logrando estimar la cantidad de la biomasa aérea total (Navar, 2009). Además, permite agregar a la biomasa del fuste, obtenido a partir del volumen registrado en el censo forestal, la biomasa que corresponde a las ramas y hojas. El valor del FEB varía mucho entre especies y también en las

condiciones de los sistemas forestales. En este estudio se aplicó el FEB que utilizó en su investigación Rodríguez (2018) y Farinango (2020).

Habitualmente, la cuantificación del carbono almacenado en los bosques se realiza a partir de datos de inventarios forestales mediante métodos indirectos, tales como los factores de expansión de biomasa. Los FEB convierten directamente el volumen del fuste o de la masa en peso seco de biomasa, aunque estos valores pueden variar en función de las condiciones de crecimiento y del desarrollo de la masa, en particular de su edad, del volumen de madera en pie o de la altura del árbol (Peinado, 2013).

2.3.14. Biomasa subterránea

La biomasa subterránea hace referencia exclusivamente a la biomasa de la raíz. La medición y estimación de la biomasa de raíces arbóreas es considerada una ardua tarea que demanda mucho tiempo y alto costo. De acuerdo con Schegel et al. (2001) y Navarro & Ruíz (2016), el costo es de cerca US\$ 120 por raíz muestreada. Para inventariar raíces es necesario realizar excavaciones completas. En la actualidad, para determinar la biomasa subterránea, diversas investigaciones optan por tomar el factor de 15 a 30% de la biomasa aérea.

2.3.15. Carbono en el suelo

El suelo es el mayor sumidero de carbono terrestre, es capaz de secuestrar 2 y 3 veces más carbono que la atmósfera y la vegetación, respectivamente (Ramesh et al., 2019). Por lo tanto, un pequeño cambio en el secuestro de carbono del suelo a través de estrategias de restauración ecológica tendrá un impacto drástico en el cambio climático (Ghosh et al., 2021).

2.3.16. Carbono en las plantas

A través de la fotosíntesis, la vegetación asimila CO₂ atmosférico, en forma de carbohidratos para ganar volumen. Los bosques capturan y conservan más carbono que cualquier otro ecosistema terrestre y participan con el 90 % del flujo anual de carbono de la atmósfera y de la superficie de la tierra. Asimismo, el carbono fijado por las plantas se transforma en moléculas móviles, que se asignan

a las diferentes estructuras de la planta para satisfacer sus demandas fisiológicas y estructurales (Morales, 2015).

2.3.17. *Pinus radiata*

El *Pinus radiata* (Figura 3) es una conífera de rápido crecimiento alcanza hasta 40 metros de altura y DN hasta 120 centímetros comprende de una corteza gris verdosa, conos ovoides, sus foliolos constan de 3 acículas por fascículo (Comisión Nacional Forestal, 2010; Mirez, 2021), sus características morfológicas principales son de fuste cilíndrico recto sin bambas, su ramificación empieza en sus dos tercias partes de altura total, presenta una corteza delgada y escamosa de color café rojizo variando a color café oscuro grisácea es oriundo de la ciudad de México y se distribuye con éxito en Argentina, Colombia y Perú (Mirez, 2021).

Pinus radiata es originaria de la costa pacífica de Norteamérica. Ha sido introducida con fines productivos en Chile, Nueva Zelanda, Australia y Sudáfrica; en España 263.271 ha están dedicadas a esta especie, de las cuales, el 48 % se encuentran en el País Vasco (Page et al., 2021).



Figura 3. *Pinus radiata* establecido en el boulevard de la avenida Los Próceres y la Cultura

Tabla 2*Taxonomía de “Pinus radiata”*

Especie	Pino
Reino	Plantae
Grupo	Gymnospermae
Clase	Equisetopsida
Orden	Pinales Gorozh
Familia	Pinaceae
Genero	<i>Pinus L.</i>
Especie	<i>Pinus radiata</i>

Fuente: Mirez (2021)

En la tabla 2 se evidencia la taxonomía de la especie forestal de *Pinus*, correspondiente a la familia *Pinaceae*, el cual pertenece a la especie de *Pinus radiata*.

2.3.18. *Cupressus macrocarpa*

Cupressus macrocarpa, es una especie arbórea conífera de la familia de las Cupresáceas, originaria del sudoeste de los EE. UU., aparecen en las regiones montañosas; entre 1500 y 3000 msnm. En el Perú esta especie crece entre 1500 y 3950 msnm (Rojas & Torres, 2015).

Cupressus macrocarpa es un árbol nativo conífera del sur de California (cerca de Monterrey). Presenta un aspecto piramidal con copa ancha; su corteza es gruesa, y escamosa; sus hojas verdes y escamosas; los frutos son conos de 2 a 3 cm. de diámetro (Castelli et al., 2021).

El Ciprés (*Figura 4*) es un árbol de unos 25 a 30 m de altura, con ramificación ascendente, formando un ángulo de unos 45 grados con el tronco, corteza muy agrietada formando placas de color pardo grisáceo, tronco ensanchado en la base y a veces dividido en dos a partir de cierta altura (Menéndez et al., 2022).



Figura 4. *Cupressus macrocarpa* establecido en el boulevard de la avenida Los Próceres y La Cultura

Tabla 3

Taxonomía de “Cupressus macrocarpa”

Especie	Ciprés
Reino	Plantae
División	Pinophyta
Clase	Pinopsida
Orden	Pinales
Familia	Cupressaceae
Genero	<i>Cupressus</i>
Especie	<i>Cupressus macrocarpa</i>

Fuente: Rojas y Torres (2015)

En la tabla 3 se muestra la taxonomía de la especie forestal de *Cupressus*, correspondiente a la familia *Cupressaceae* y especie de *Cupressus macrocarpa*.

2.3.19. Ecuaciones alométricas

Menéndez et al. (2022) afirma que uno de los principales aspectos a tener en cuenta en cuanto a la aplicabilidad de las ecuaciones alométricas es que las

variables predictoras elegidas deben ser fáciles de medir en el campo. Por ello, las variables más utilizadas son el diámetro normal y la altura total; asimismo, permite estimar la biomasa, basados a partir del análisis de la regresión, que usan variables recolectadas en el campo como la densidad específica de la madera, área basal, crecimiento diamétrico, altura total, altura comercial y diámetro normal (DN). Además, este método es extrapolable a condiciones de desarrollo similares (Bhattacharyya et al., 2021).

Estos modelos alométricos estiman el peso de biomasa del árbol usando el diámetro normal como variable independiente o en conjunción con otra variable como la altura total. Esta conjunción es frecuente en estos modelos dado que aporta información indirecta sobre las condiciones de crecimiento. En algunas ocasiones, para las fracciones de copa también se emplea la altura de copa. Aparte de ecuaciones de biomasa para árboles individuales también existen ecuaciones de estimación de biomasa a nivel de masa, utilizando variables de masa (Peinado, 2013).

2.3.20. Método de Walkley & Black

Consiste en oxidar la materia orgánica con una mezcla de K_2CrO_7 más H_2SO_4 . El K_2CrO_7 actúa como oxidante, y el H_2SO_4 es el medio para la reacción, favoreciendo la acción del K_2CrO_7 ; el exceso de K_2CrO_7 es determinado por titulación con $FeSO_4$ o con $(NH_4Fe)_2(SO_4)_3$. Este método proporciona una estimación fácilmente oxidable de carbono orgánico y es usado como una medida de carbono orgánico total. El porcentaje de carbono queda definido por el porcentaje de materia orgánica entre el factor 1.724 (Maquera, 2017).

2.3.21. Programa InVEST

InVEST es un software de acceso libre, desarrollado por la Universidad de Stanford, universidad de Minesota, World Wildlife Fund y Nature Conservancy; y ha sido aplicado por más de una docena de proyectos mundiales. Posee una serie de modelos diseñados para realizar el mapeado y valoración, tanto de servicios, como bienes ecosistémicos; con resoluciones flexibles, capaces de trabajar a cualquier escala (Tamang et al., 2021). Asimismo, InVEST

(Valoración integrada de servicios y compensaciones del ecosistema) es un conjunto de subrutinas para mapear y evaluar bienes y servicios de la naturaleza que sustentan y satisfacen la vida humana, incluyendo el carbono orgánico del suelo (SOC), carbono orgánico muerto (DOC) y carbono de la vegetación (VC), InVEST puede evaluar con precisión los cambios de almacenamiento de carbono inducidos por el cambio de uso del suelo y cobertura del suelo (LUCC) (Darin et al., 2014).

Este programa permite a los encargados de la toma de decisiones, evaluar las acciones referentes al manejo alternativo de los recursos naturales y a la conservación de los ecosistemas. Además, es capaz de responder dudas sobre el origen de los servicios ecosistémicos; la zona de la cuenca donde se tiene mayor secuestro de carbono, valores de biodiversidad y ecoturismo, los mejores lugares para realizar plantaciones dirigidas a proporcionar seguridad hídrica, etc (Tallis et al., 2011).

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Diseño metodológico

3.1.1. Localización y ubicación

a. Localización

La investigación se realizó en la ciudad de Azángaro localizada entre las coordenadas geográficas $14^{\circ}55'16.78''$ de latitud sur y $70^{\circ}11'53.11''$ de longitud oeste del meridiano de Greenwich, ubicada en el eje principal de la vía transoceánica y a 3 878 msnm (figura 5).

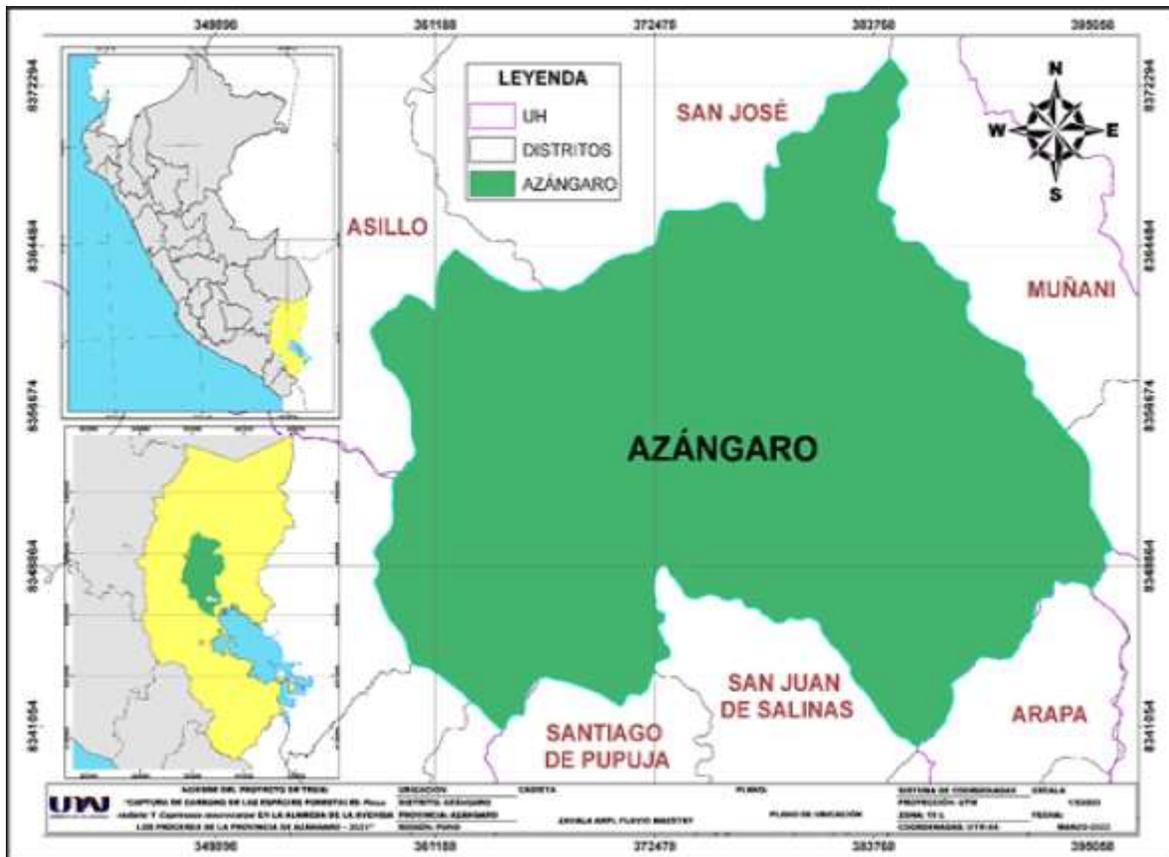


Figura 5. Localización de la provincia y distrito de Azángaro.

b. Ubicación

El estudio se llevó a cabo en el boulevard de la avenida Los Próceres y La Cultura (Figura 6) que se encuentra ubicada en el tejido urbano continuo según la clasificación del uso actual del suelo de la provincia de Azángaro, del departamento de Puno.



Figura 6. Ubicación del boulevard de la avenida Los Próceres y La Cultura.
Fuente: Google Earth Pro (2021)

Específicamente, el estudio se llevó en el boulevard de la avenida Los Próceres y La Cultura, en donde la avenida se encuentra en el ingreso de la ciudad de Juliaca a Azángaro, tiene una distancia de 1.18 km y un área de 3.5 Has el cual comprende la mayor extensión de área verde con especies forestales a nivel de la provincia de Azángaro.

En la figura 7 se muestra el mapa de ubicación, elaborado a partir de levantamiento de puntos de las especies de *Pinus radita* y *Cupressus macrocarpa* y el mapa del uso actual de suelos con la base de datos del geoservidor del MINAM. Los puntos verdes representan a los puntos obtenidos del censo forestal; DIV1 y DIV2 corresponden al boulevard de la avenida Los Próceres y DIV3 al boulevard de la avenida La Cultura.

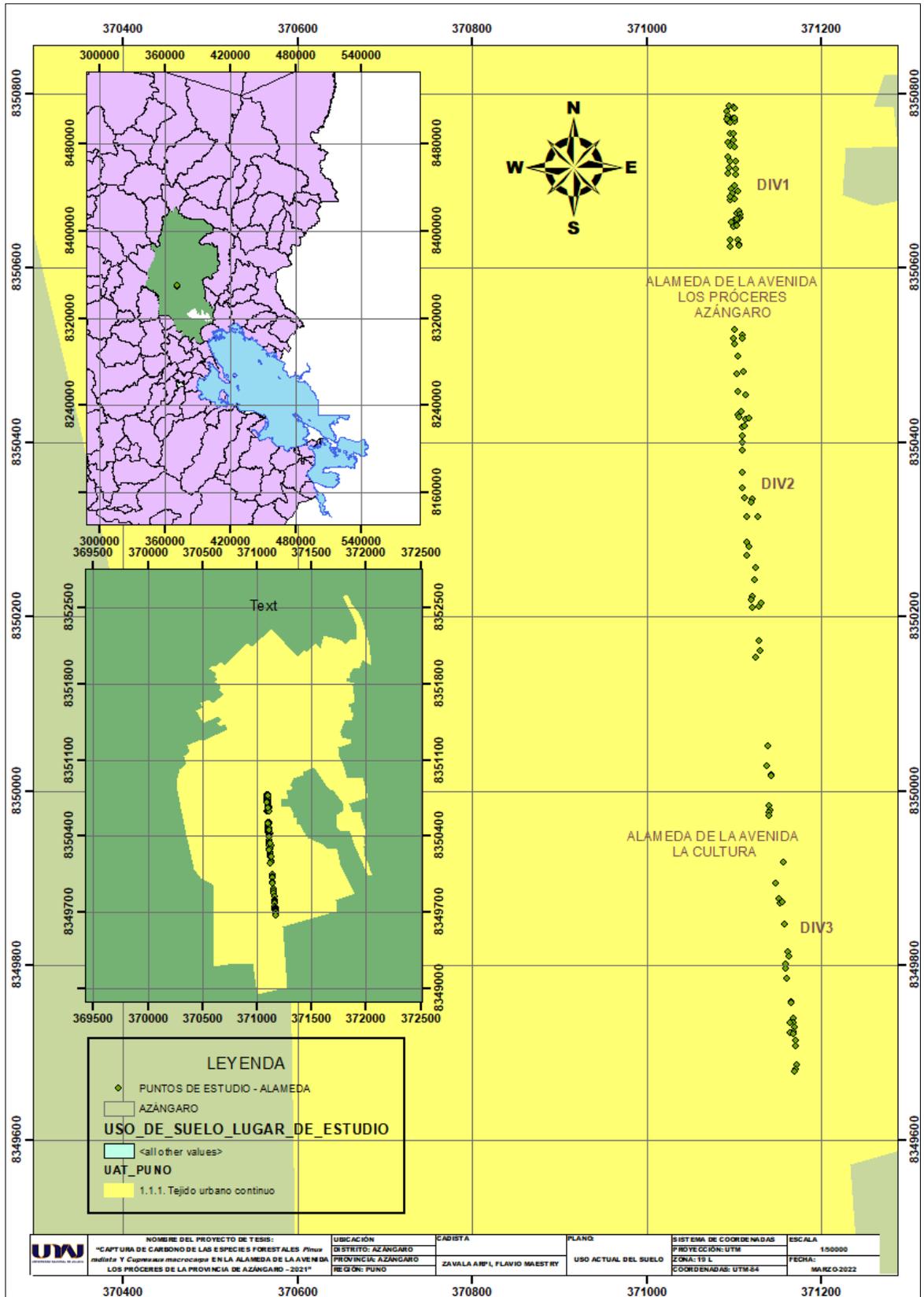


Figura 7. Área y puntos de estudio de *Pinus radita* y *Cupressus macrocarpa* en el boulevard de la avenida Los Próceres y La Cultura.

3.1.2. Tipo y nivel de investigación

La investigación es de tipo descriptivo de aplicación por lo que se incorporó conocimiento científico en el lugar de estudio ya que no se tienen estudios realizados en el lugar mencionado, posterior a la información base obtenida se puede realizar otras investigaciones de tipo experimental. El nivel de investigación es de alcance experimental.

3.1.3. Diseño y método de investigación

El diseño de investigación es no experimental debido a que no se modificó ninguna variable, el alcance de la investigación es descriptivo y experimental; porque se describió a *Pinus radiata* y *Cupressus macrocarpa* existentes en el boulevard de la avenida Los Próceres y la Cultura de la ciudad de Azángaro, esto con el objetivo de determinar la captura de carbono.

3.1.4. Variable de investigación

Variable de estudio: Captura de CO₂ de *Pinus radiata* y *Cupressus macrocarpa*.

3.1.5. Población y muestra

a. Población

La población estuvo conformada por la distribución total de 129 *Pinus radiata* y 51 *Cupressus macrocarpa* existentes en el boulevard de la avenida Los Próceres y La Cultura de la provincia de Azángaro, comprendida en un área de 3.5 ha aproximadamente.

b. Muestra

Se optó por un censo muestral, en el cual se tomó como muestra a la totalidad de las especies censadas, a excepción de los árboles que han sido establecidas recientemente (menores a 3 años), de las cuales se tiene a 67 *Pinus radiata* y 44 *Cupressus macrocarpa*. Asimismo, se tomó 9 muestras de suelo asociado a las especies forestales del boulevard para la determinación de carbono orgánico en el suelo.

c. Muestreo

Se utilizó el muestreo no probabilístico por juicio del investigador para las muestras del suelo (09) para la determinación de carbono almacenado en el suelo y las muestras de

madera verde (10) para el cálculo del peso específico básico de la madera; y su posterior cálculo de la biomasa.

3.2. Métodos y materiales

3.2.1. Materiales

a. Materiales de campo y gabinete

Forcípula (HAGLOF-MANTAX BLUE), hipsómetro (HARBIN SRC1/30), barreno de Pressler (HAGLOF), starter barreno (HAGLOF), GPS (GARMIN-64 SC), cámara fotográfica (SONY), matriz de campo, spray color blanco suave, huincha lona (UYUSTOOLS), tableros de apoyo para tomar notas (OfficeMate, folder 14.5 ×10×1.2), fichas de campo y formularios (elaboración propia), bolsas herméticas, papel Craft, lapiceros, marcador permanente (SHARPIE P/FINA AZUL 30063 Y NEGRO), fichas de recolección de datos, mapa base (extraído de Google Earth), pala (TRUPER), cinta de medición con rebobinado automático de 10 m (métrica) (TRUPER, 5 / 16), cintas de medición de 1.5 m (métrica), cuadrante muestreador de 20 × 20 cm (elaboración propia), bolsas impermeables para proteger los instrumentos de medición y los formularios (BlueField, 20 L), calculadora (CASIO- FX-350ES-PLUS), mortero, malla tamizadora de 5 mm y memoria USB (KINGSTON).

b. Vestimenta de campo y laboratorio

Casco, calzado CAT, sombrero, elementos de seguridad adecuados para actividades en terreno y bata, guantes, lentes de seguridad y mascarillas descartables para actividades en laboratorio.

3.2.2. Equipos

Estufa (PRECISIÓN THELCO-TEMP RANGE), balanza analítica (ELECTRONIC SCALE-SARTORIUS BASIC-BA110S).

3.2.3. Reactivos

Dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) 1N (FERMONT, especificaciones de la A.C.S. CAS: 7778-50-9 UN: 3086 NFPA: 3- 1-1-OX), tóxico color de almacenaje amarillo, ácido sulfúrico (H_2SO_4) Marca FERMONT, especificaciones de la A.C.S. CAS: 7664-93-9

UN: 1830 NFPA: 3-0-2-W, corrosivo de color de almacenaje blanco, difenilamina $(C_6H_5)_2NH$, y sulfato ferroso amoniacal $((NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O)$ 0.05N.

3.2.4. Procedimiento metodológico

a. Censo en el boulevard de la avenida Los Próceres y La Cultura

Se realizó el censo forestal, en el cual se codificó la totalidad de las especies forestales instaladas en el boulevard de la avenida Los Próceres y la Cultura en el cual se efectuarán mediciones dasométricas (DN y altura total) del árbol en pie, registrándose; nombre común, nombre científico, familia, números de individuos y densidad poblacional arbórea; utilizando instrumentos de recolección de datos que tal como se muestra en el ANEXO 1. En cada división, se inició con el registro de coordenadas UTM zona 19, la recolección de datos dasométricos de cada árbol fue el diámetro normal, la altura total del árbol desde la base del suelo hasta el ápice del árbol y la altura del fuste.

b. Medición de las variables dasométricas para el censo forestal

- **Diámetro normal:** Se realizó la medición del diámetro normal (DN) equivalente a 1.30 m utilizando el método directo, teniendo como instrumento de medición la Forcípula, se registró los datos en las fichas de los instrumentos de investigación, para el caso de los árboles que tiene un diámetro irregular se midió los dos diámetros perpendiculares y representativos, sumarlos y después dividir entre dos, tal como se establece en el manual de campo de inventarios forestales-programa de evaluación de los recursos forestales - FAO, 2004 (Ministerio de Agricultura y Riego, 2012; Menéndez et al., 2022).

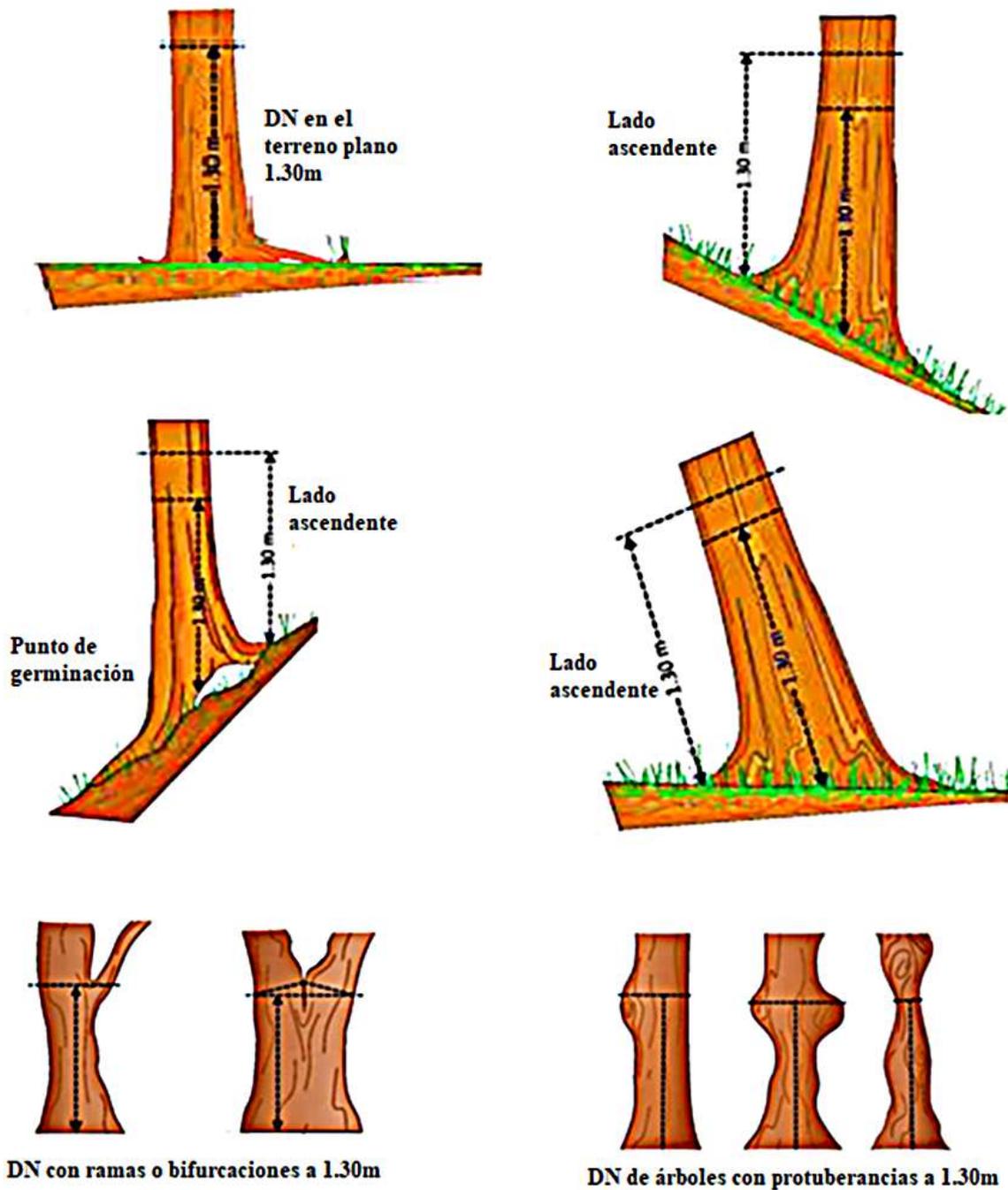


Figura 8. Posición de Mediciones del DN para diferentes casos.
 Fuente: Elaboración propia adaptado del Manual de campo de inventarios forestales, FAO (2004)

- **Altura total:** Se realizó las mediciones de altura de los árboles con el instrumento hipsómetro diseñado para medir altura de árboles mediante escalas de grados, desde un punto desde donde se pueda observar todo el árbol de 15 a 40 metros según lo requiera la altura, dependiendo de la escala del instrumento y de la visibilidad de la

copa del árbol, se efectuó la medición de la totalidad de los árboles existentes en el ámbito de estudio. Posteriormente la altura total se obtuvo a partir de la siguiente ecuación: (Callo, 2001; Gómez et al., 2010; Juares, 2014; MINAGRI, 2012; MINAM, 2015; Chmura et al., 2021).

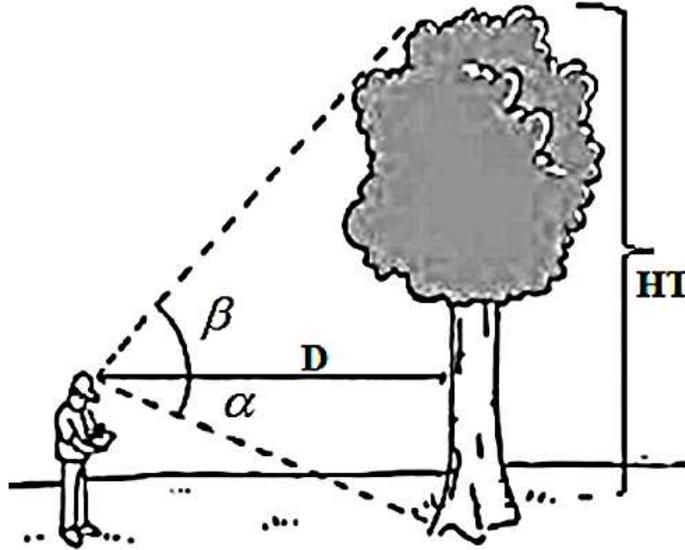


Figura 9. Método de medición de la altura total.
Fuente: Chmura et al. (2021)

$$HT = (tg\beta + tg\alpha)D \quad 01$$

Dónde: HT= Altura total del árbol (m); α y β = Lectura del ángulo del hipsómetro (grados); D=Distancia entre el operador y el árbol (m).

- **Altura del Fuste:** La medida de la altura del fuste, se realizó con cinta métrica de rebobinado automático debido a que la altura del fuste no sobrepasó los 3 metros para poder utilizar otro instrumento de medición de altura tal es el caso de hipsómetro y/o clinómetro, por lo tanto, se midió directamente con la cinta métrica de forma vertical la altura del fuste, sin la necesidad de utilizar el hipsómetro.
- **Área Basal:** A partir de los datos obtenido del DN, se procedió a calcular el área basal, con la siguiente ecuación para árboles en pie (Bernachea, 2019):

$$AB = \frac{\pi}{4}DN^2 \quad 02$$

Donde: AB= Área basal (m²), DN= Diámetro normal (m).

c. Cálculo del volumen

Para la determinación del volumen general de cada árbol en pie, se recurrió al modelo matemático de Hossfeld, también conocido como “fórmula Smalian” (Cancino, 2012; Chambi, 2001; MINAM, 2015) y para el uso de coeficiente de forma (Bernachea, 2019).

$$V = \frac{\pi}{4} \times H \times DN^2 \times FF \quad 03$$

$$V = AB \times H \times FF \quad 04$$

Dónde: V= volumen (m³); H= Altura del árbol (m); DN= Diámetro normalizado (m); FF= Factor de forma o coeficiente mórfico (latifoliada 0.79, coníferas 0.65), AB= Área basal.

d. Determinación del peso específico aparente básico

Para la determinación del peso específico básico de la madera se empleó el Método de Máximo Contenido de Humedad (MCH); en donde se empapó las muestras en agua potable por 10 días para lograr la penetración total del agua, renovando el agua periódicamente para evitar contaminación por hongos; una vez conseguido la penetración total del agua se pesó en una balanza analítica (precisión de 0.0001 g). Posteriormente se deshidrataron en una estufa calibrado a 100 °C por un intervalo de 5 días hasta conseguir un peso constante, sugerido por Vázquez et al. (2015). Los datos obtenidos se aplicaron en la fórmula recomendado por Smith (1954) utilizado en su investigación por (Yana, 2019; Jiménez & Peralta, 2019), tal procedimiento se encuentra normado por la NTP 251.011.2014 bajo las condiciones de densidad básica.

$$Dm = \frac{1}{MCH + \frac{1}{1.53}} = \frac{1}{\frac{ps - pa}{pa} + \frac{1}{1.53}} \quad 05$$

Donde: Dm = peso específico básica de la madera (g/cm³); MCH= máximo contenido de humedad, Ps= peso saturado (g); Pa= peso anhidro (g), 1.53= constante del peso específico básico de la madera.

e. Cálculo de la biomasa

- **Cálculo de la biomasa del fuste**

Para obtener la biomasa del fuste de *Pinus radiata* y *Cupressus macrocarpa* se aplicó la siguiente ecuación (Farinango, 2020; Devi et al., 2021).

$$Bf = V \times \delta \quad 06$$

Dónde: Bf = Biomasa del fuste; V= volumen (m³); δ = peso específico de la madera (kg/m³).

- **Cálculo de la biomasa aérea**

Se calculó aplicando el factor de expansión de biomasa, con el valor mínimo de 1.74 y máximo 3.00; se aplicó la siguiente ecuación (Farinango, 2020; Devi et al., 2021).

$$Ba = Bf \times FEB \quad 07$$

$$FEB = e^{(3,213 - 0,506 \ln(Bf))} \quad 08$$

Donde:

Ba= Biomasa aérea, Bf = Biomasa del fuste (kg), FEB = Factor de expansión, e = Número de Euler (2.7182818), ln= Logaritmo natural.

- **Cálculo de la biomasa de la copa**

La biomasa de la copa de cada árbol, formada por las ramas, ramillas, follaje y hojas. El cálculo de la biomasa de la copa se realizó a partir de la diferencia entre la biomasa aérea y la biomasa del fuste (Chávez, 2018; Devi et al., 2021).

$$Bc = Ba - Bf \quad 09$$

Donde: Bc= Biomasa de la copa, Ba= Biomasa aérea (kg), Bf=Biomasa del fuste (kg).

- **Cálculo de la biomasa de las raíces**

Para la determinación de la raíz se optó por utilizar relaciones entre la biomasa subterránea y la biomasa sobre el suelo por medio de ecuaciones alométricas obtenidas en la literatura científica (Rugnitz et al., 2009). Por lo tanto se realizó el

cálculo mediante ecuaciones alométricas para estimar la biomasa de raíces con la siguiente fórmula para todos los tipos de bosques, recomendado por (IPCC, 2005; Chávez, 2018):

$$Br = Ba \times 0.3 \quad 10$$

Donde: Br= biomasa de la raíz (Kg), Ba = biomasa aérea (kg) Tamaño de la muestra. Se aplicó el valor por defecto de 0.3 para determinar la biomasa de raíces, utilizado por Rodríguez (2018).

- **Cálculo de la biomasa total**

La biomasa total, corresponde a la sumatoria de los resultados obtenidos de la biomasa aérea y subterránea, que es igual a la suma de los siguientes componentes:

$$Bt = Ba + Br \quad 11$$

Donde: Bt= Biomasa total, Ba= Biomasa aérea, Br=Biomasa de la raíz.

- f. **Cálculo del stock de carbono equivalente almacenado**

Para el cálculo de carbono almacenado en la biomasa se utilizó la fracción de carbono de 0.59 valor que indica el porcentaje de carbono que se encuentra en la biomasa de cada árbol; refiriéndose a que el 59% de la biomasa del árbol es carbono (Yepes et al, 2011; Medina et al., 2020). El stock de carbono se determinó mediante la ecuación 14, que recomienda el IPCC (Zapana, 2016):

$$CA(kg/ha) = BT \times 0,5947 \quad 12$$

Dónde: CA: Carbono total almacenado (kg C / ha); BT: Biomasa total (kg / ha); 0,5947: Constante de fracción de Carbono.

- g. **Cálculo del stock de CO₂ equivalente almacenado**

Para convertir la cantidad de carbono (almacenada o emitida) por los ecosistemas forestales, el IPCC recomienda utilizar el factor de $44/12 = 3.67$; factor que resulta de dividir el peso atómico de una molécula de dióxido de carbono, por el peso específico del carbono (Yepes et al., 2011; Toledo, 2020).

Una tonelada de carbono equivale a 3.67 toneladas de CO₂ atmosférico. Se aplicó la siguiente ecuación.

$$CO_2 = CA \times 3.67 \quad 13$$

Donde: CO₂= CO₂ en stock (tn), CA= carbono almacenado (tn/ha), 3.67 = relación peso molecular.

h. Estimación de la cantidad de carbono almacenado en el suelo asociado a las especies forestales del boulevard de la avenida Los Próceres y La Cultura

- **Muestreo de suelos**

Para la colecta de muestras se consideró la guía de muestreo de suelos del MINAM (2014), la cual establece que la profundidad del muestreo de 10 a 30 cm de profundidad para los parques. Las muestras se obtuvieron en forma de zig-zag a lo largo del boulevard, 3 muestras para cada sector (DIV1, DIV2, DIV3) en total 9 muestras recolectadas que inmediatamente fueron dispuestas en bolsas ziploc debidamente rotuladas, considerándose la georreferenciación, profundidad de muestreo, muestreador, fecha y hora. Posteriormente las muestras conservadas se trasladaron a el laboratorio para su respectivo análisis.

- **Determinación de la densidad aparente del suelo**

Se utilizó el método del cilindro de volumen conocido (633.816 cm³), posteriormente las muestras se trasladaron a papeles de aluminio debidamente rotuladas para dejarlo en la estufa por tres días a 55°C. Luego se pesa en la balanza analítica para obtener el peso seco, posterior a ello se realizaron los cálculos de la densidad aparente.

Para ello se utilizó el método del “cilindro de volumen conocido” descrito por MacDicken (1997), replicado en su investigación por Vela et al., (2012) como se presenta a continuación:

$$DA(g / cm^3) = \frac{Ps - Pb}{Vc} \quad 14$$

Donde: DA=Densidad aparente del suelo; Ps=Peso seco de la muestra; Pb=Peso de la bolsa del papel aluminio, Vc=Volumen del cilindro conocido.

- **Determinación de materia orgánica del suelo**

El análisis de carbono almacenado en el suelo se realizó en el laboratorio Grupo Nativa. S.A. por el método Walkley Black. El carbono almacenado en el suelo (CAS) se cuantificó a partir del contenido de materia orgánica, la densidad aparente, y la profundidad de muestreo (Vela et al., 2012).

La materia orgánica se oxidó con una mezcla de $K_2Cr_2O_7$ más H_2SO_4 . La dilución concentrada se calentó con H_2SO_4 y $K_2Cr_2O_7$ es la fuente exclusiva de calor, después de un tiempo de espera la mezcla se diluyó, se adicionó ácido fosfórico para evitar interferencias de Fe^{3+} . El porcentaje de materia orgánica es igual al porcentaje de carbono orgánico multiplicado por el factor de 1.724 porque la materia orgánica contiene el 58% de carbono (Kalra y Maynard, 1991; Segura, 1997; Vela et al., 2012; Martínez et al. 2008). Para lo cual se utilizó 0.5 g de peso seco de la muestra, y 5 ml de H_2SO_4 y 10 ml de $K_2Cr_2O_2$ 1N, para la oxidación de la materia orgánica se dejó en reposo 45 minutos, se utilizó como indicador Difenil amina de 2 gotas, y la valoración respectiva se hizo con Sulfato ferroso amoniacal 0.5N, a partir de ello se obtienen el porcentaje de materia orgánica a partir de la diferencia entre el volumen de $K_2Cr_2O_7$ utilizado (10ml) menos el volumen de gasto de Sulfato ferroso amoniacal 0.5N, todo ello por el factor de 0.67, y finalmente para la determinación del carbono almacenado en el suelo se utilizó el factor de 1.724. Finalmente se reemplazó en la fórmula para la determinación del contenido de carbono, que es igual a:

$$\%Carbono = \frac{\%MO}{1.724} \quad 15$$

Donde: %MO=Porcentaje de materia orgánica

Se empleó el factor de Van Benmelen de 1.724 que resulta de la suposición de que la materia orgánica del suelo contiene un 58% de Carbono ($1/0.58 = 1.724$).

- **Estimación de la captura de carbono en el suelo (tC / ha)**

Se utilizó la siguiente fórmula establecida por la FAO (2017), con base propuesta por (Vela et al., 2012; Devi et al., 2021).

$$COS = Da \times P \times CLab \quad 16$$

Dónde: COS: Carbono almacenado en el suelo (kgC / m²); Da : Densidad aparente (kg / m³); P : Profundidad (m); CLab: Contenido total de carbono (g / g).

i. Cálculo de carbono equivalente almacenado

El carbono capturado en la biomasa forestal de *Pinus radiata* y *Cupressus macrocarpa* en el boulevard de la avenida Los Proceres y la Cultura es igual a la suma del stock de carbono de la biomasa más el stock de carbono en el suelo:

$$Stock_C = C_biomasa + C_suelo \quad 17$$

Donde: Stock_C: Stock de carbono total; C_biomasa: Carbono en la biomasa forestal; C_suelo: Carbono almacenado en el suelo.

j. Procesamiento de datos con Microsoft Excel y con el software InVEST del modelo de captura y almacén de carbono

Una vez obtenidos los datos de carbono se llenó la matriz descrita la tabla 4 que se muestra a continuación, en Microsoft Excel. Luego, se procedió a ejecutar el modelo de almacén de carbono del programa InVEST versión 3.1.1. utilizando el mapa de estratificación espacial y la matriz (Ginez, 2019).

Tabla 4

Matriz para el modelo de Almacén de carbono del programa InVEST

COD UAT	UAT-Name	C_aereo(t/ha)	C_suelo(t/ha)	C_muerto (t/ha)
1	<i>Pinus radiata</i>	-	-	-
2	<i>Cupressus macrocarpa</i>	-	-	-

Fuente: Natural Capital Project (2017)

La tabla 4 muestra el modelo de formato para el procesamiento de los datos obtenidos de carbono de la biomasa aérea, carbono de la biomasa subterránea y carbono de la materia orgánica muerta; en el software InVEST.

k. Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó con el modelo de gráficos de caja (boxplot) mediante el software R en el cual se ha obtenido el promedio, valores máximos y mínimos con respecto a las variables dasométricas del DN y la altura total. Asimismo, se realizó el histograma de frecuencias en Microsoft Excel para la comparación gráfica de las variables dasométricas de ambas especies forestales estudiadas (*Pinus radita* y *Cupressus macrocarpa*) y los resultados obtenidos para cada especie. También, se realizó el análisis del comportamiento de la biomasa total, captura de carbono y captura de CO₂ mediante diagrama lineal y diagrama de dispersión, para su interpretación adecuada de los resultados.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Caracterización, cuantificación e identificación de especies forestales

En la evaluación del censo dasométrico de la especie *Pinus radiata* “Pino” y *Cupressus macrocarpa* “Ciprés” en las tres subdivisiones y/o sectores del boulevard de la avenida Los Próceres y La Cultura; los dos primeros sectores corresponden a la avenida Los Próceres y el tercer sector corresponde a la avenida La Cultura, obteniendo datos recolectados de campo, a continuación, se muestran los datos de la caracterización las cuales se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 5

Resultados de la caracterización y densidad poblacional arbórea en el lugar de estudio

Código de la división (cuadrante)	Rango de jardineras	Nombre Común	Nombre científico	N° de individuos existentes	Especies recientemente establecidos (>3 años)	Total de Árboles	Área total de las divisiones (m ²)	Densidad Poblacional arbórea (N°arb/m ²)
BC- DIV 1	J1-D ; J12-I	Pino	<i>Pinus radiata</i>	41	0	48	882.66	0.054
		Ciprés	<i>Cupressus macrocarpa</i>	7	0			
BC-DIV2	J13D ; J34I	Pino	<i>Pinus radiata</i>	13	58	96	1532.96	0.063
		Ciprés	<i>Cupressus macrocarpa</i>	24	1			
BC-DIV3	J35C ; J37C	Pino	<i>Pinus radiata</i>	17	0	36	7821.91	0.012
		Ciprés	<i>Cupressus macrocarpa</i>	19	0			
TOTAL	J1-D ; J37C	Pino	<i>Pinus radiata</i>	71	58	180	10237.53	0.129
		Ciprés	<i>Cupressus macrocarpa</i>	50	1			

En la tabla 5 se muestra la división del área de estudio en tres partes; DIV1 (sector 1) y DIV2 (sector 2) corresponden a la avenida Los Próceres y DIV3 (sector 3) a la avenida La Cultura, en el cual cada división está compuesta por jardineras que se encuentran ubicados en la berma central del boulevard. Asimismo, se muestra la cuantificación de las especies de *Pinus radiata* y *Cupressus macrocarpa* en cada división (30 años de edad aproximadamente) y el cálculo de la densidad poblacional arbórea con respecto al área total de cada división de la cual en la división DIV1, se tiene 48 especies forestales, de las cuales 41 son *Pinus radiata*

y 7 *Cupressus macrocarpa*, para la división DIV2 71 son *Pinus radiata* de las cuales 58 han sido recientemente establecidos y tienen una edad menor a 3 años, y para el caso de *Cupressus macrocarpa* hay 25 especies forestales de las cuales 1 es recientemente establecido, obteniéndose como resultado que en el mencionado cuadrante se tiene una pequeña cantidad de árboles adultos. Finalmente, para la división DIV3, se tiene 36 especies forestales de las cuales 17 son *Pinus radiata* y 19 *Cupressus macrocarpa*. Con respecto a la densidad poblacional arbórea total es de 0.129 arb/m².

En un estudio similar realizado por Arcos (2018) con coníferas en México, reporta que la cantidad de carbono que se presentó varía dependiendo del número de árboles que componen el punto de muestreo, del DN que presentan y de la especie. La autora identificó siete especies de coníferas entre *Cupressus* y *Pinus*, dicho estudio coincide con el presente estudio en la selección de las especies coníferas en el boulevard de la avenida Los Próceres y La Cultura. La abundancia de *Pinus radiata* y *Cupressus macrocarpa* depende de la calidad de sitio y el sustrato. Por lo tanto, las características de los sitios como son las especies presentes, el diámetro y la edad, son las que intervienen directamente en la cantidad de biomasa que se ve reflejada en la captura de carbono.

4.2. Censo forestal del *Pinus radiata*

La tabla 6 muestra los resultados del censo forestal de la especie *Pinus radiata* existentes en el boulevard de la avenida Los Próceres y La Cultura, de las cuales 71 especies de *Pinus radiata* han sido censadas, obteniéndose las variables dasométricas tales como el DN y la altura total.

Asimismo, se muestra los resultados obtenidos del censo forestal por jardinera, en el cual se tiene la sumatoria total de *Pinus radiata* existentes en cada jardinera, y los valores reportados de DN, altura total y altura del fuste son los promedios de las especies existentes en cada jardinera, para ello cada *Pinus radiata* fue codificado como P1, P2, P3... sucesivamente hasta P68, iniciándose desde la avenida Los Próceres y finalizando en la avenida La Cultura. En el sector y jardinera BCD1-J1 (Berma central derecho – Jardinera 1) se tuvo 5 *Pinus radiata*; en el cual la sumatoria total del DN fue de 0.58 m y una altura total de 22.72 m. Asimismo, se omite las jardineras que no tiene especies de *Pinus radiata* en las 37 jardineras existentes, compuesto por 68 individuos de Pino, teniendo un DN total de 21.14m, una altura total de

711.99m, y como valores promedio de cada árbol con respecto al DN se tiene un valor de 31.09 cm y una altura promedio por jardinera de 10.47m.

Tabla 6

Datos dasométricos del censo forestal de la especie forestal de “Pinus radiata”

Código de la división (cuadrante)	Código de la jardinera	Rango entre código de árbol	DN (m)	Altura total (m)
BC-DIV1	BCD-J1	P1-P5	0.58	22.72
BC-DI1	BCI-J2	P6-P10	1.24	43.94
BC-DIV1	BCD-J3	P11-P13	1.04	24.26
BC-DIV1	BCI-J4	P14-P17	1.12	36.23
BC-DIV1	BCD-J5	P18-P19	0.41	9.13
BC-DIV1	BCI-J6	P20-P21	0.70	16.75
BC-DIV1	BCD-J7	P22-P24	1.54	22.71
BC-DIV1	BCI-J8	P25-P27	1.41	47.57
BC-DIV1	BCD-J9	P28-P30	0.85	30.00
BC-DIV1	BCI-J10	P31-P36	1.00	43.63
BC-DIV1	BCD-J11	P37-P38	0.85	25.99
BC-DIV1	BCI-J12	P39-P41	0.74	25.24
BCD-DIV2	BCD-J13	P42-P43B	0.59	22.33
BC-DIV2	BCD-J15	P44-P44B	0.17	9.78
BC-DIV2	BCD-J19	P46-P48B	1.25	47.03
BC-DIV3	BC-J36	P52-P53	0.77	32.13
BC-DIV3	BC-J37	P54-P68	5.35	204.05
TOTALES	37 jardineras	71 pinos	21.1430	711.9900
VALORES PROMEDIO			0.30	10.03

Leyenda:

- BC: berma central,
- BCD: berma central derecho,
- BCI: berma central izquierdo,
- J: jardinera,
- DIV: sector.

La tabla 6 presenta los datos procesados a partir del censo forestal, con respecto a *Pinus radiata*, se evidenció en total 71 *Pinus radiata* instaladas en 37 jardinera; de los cuales el DN promedio fue de 0.30m y la altura total promedio fue de 10.03m.

4.3. Censo forestal de *Cupressus macrocarpa*

La tabla 7 muestra los resultados dasométricos del censo forestal de la especie *Cupressus macrocarpa* en el boulevard de la avenida Los Próceres y La Cultura, de las cuales se realizó la caracterización dasométrica a 50 especies forestales de *Cupressus macrocarpa*; a partir del censo forestal se han obtenido valores de DN y altura total.

Tabla 7

Datos dasométricos del censo forestal de “Cupressus macrocarpa”

Código de la división (cuadrante)	Código de la Jardinera	Rango entre código de árbol	DN (m)	Altura total (m)
BC-DIV1	BCD-J1	C1	0.3520	8.01
BC-DIV1	BCI-J2	C2	0.2820	10.87
BC-DIV1	BCD-J5	C3	0.2120	7.24
BC-DIV1	BCI-J6	C4	0.2700	7.90
BC-DIV1	BCD-J7	C5-C6	0.4430	19.6200
BC-DIV1	BCD-J9	C7	0.4350	9.89
BC-DIV2	BCI-J14	C8-C9	0.5835	18.8800
BC-DIV2	BCD-J15	C10	0.2280	7.00
BC-DIV2	BCI-J16	C11	0.2200	6.37
BC-DIV2	BCI-J18	C12	0.1290	1.35
BC-DIV2	BCD-J19	C13-C13B	0.1845	3.7500
BC-DIV2	BCI-J20	C14-C15	0.5175	18.3800
BC-DIV2	BCD-J21	C16	0.2150	6.15
BC-DIV2	BCD-J23	C17	0.2920	6.95
BC-DIV2	BCD-J25	C18	0.2525	7.73
BC-DIV2	BCI-J26	C19-C20	0.6340	15.0000
BC-DIV2	BCD-J27	C21	0.3636	9.22
BC-DIV2	BCI-J28	C22	0.1490	5.79
BC-DIV2	BCD-J29	C23-C24	0.3880	14.1300
BC-DIV2	BCI-J32	C25-C26	0.4490	16.0800
BC-DIV2	BCD-J33	C27-C29	1.0285	24.8000
BC-DIV2	BCI-J34	C30	0.1730	5.73
BC-DIV3	BC-J35	C31-C33	0.5420	15.3300
BC-DIV3	BC-J36	C34-C41	2.3672	61.4500
BC-DIV3	BC-J37	C42-C49	2.0825	58.4900
TOTALES	37 jardineras	50 Cipreces	12.7928	366.11
VALORES PROMEDIO POR ÁRBOL			0.26	7.32

En la tabla 7 se tiene los resultados obtenidos del censo forestal por jardinera, en el cual se tiene la sumatoria total de *Cupressus macrocarpa* existentes en cada jardinera, cada Ciprés es codificado como C1, C2, C3... sucesivamente hasta C49, tal es el caso que para el único Ciprés que se encuentran en BCD1-J1, (berma central derecho – jardinera 1), se tiene un único valor debido a que solo hay 1 Ciprés, en el cual el valor del DN es de 0.352m y una altura total de 8.01m, se omite las jardineras que no tiene ninguna especie de *Cupressus macrocarpa*, en el cual como resultado se tiene 37 jardineras, compuesto por 50 individuos de Ciprés, resultando con DN total de 1279.28 cm, una altura total de 366.11m, y como valores promedio de cada árbol con respecto al DN se tiene un valor de 25.59 cm y una altura promedio de 7.32m. Véase los resultados totales por árbol en el ANEXO N° 3.

En su estudio Peña (2021) afirma que a mayor diámetro normal de las especies forestales registran una mayor fijación de carbono, en tal estudio reportó que las especies de diámetro entre 30-40 cm de DN son responsables de la fijación de 20.27 t de C y las especies entre 40 y 50 cm de DN son responsables de la fijación de 22.52 t de C. Afirmación que concuerda en parte con el presente estudio sobre la importancia del DN. De manera que en el presente, el DN y la altura total son indispensables para el cálculo de stock de carbono almacenado. El DN de la especie de *Pinus radiata* y *Cupressus macrocarpa* tiene un valor promedio de 0.30 cm y 0.26 cm respectivamente.

En la figura 10, se aprecia el resumen de los datos procesados del DN promedio del total de las especies forestales, en R studio, en el cual el *Pinus radiata* posee mayor DN con respecto a *Cupressus macrocarpa*, teniendo como resultado promedio el DN de *Pinus radiata* y *Cupressus macrocarpa* de 0.30 y 0.2529m respectivamente. En el cual se tiene cantidades de 71 y 50 especies forestales de *Pinus radiata* y *Cupressus macrocarpa* respectivamente. Asimismo, se muestra la variación ente los valores máximos y mínimos del DN.

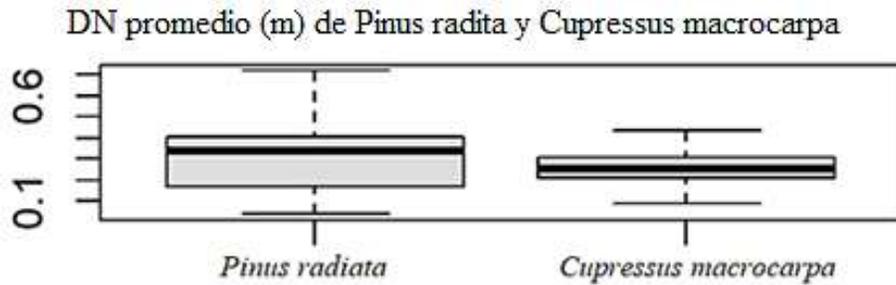


Figura 10. Comparación del DN promedio de *Pinus radiata* y *Cupressus macrocarpa*

En la figura 11, se aprecia los resultados de la altura promedio en R studio, en el cual el *Pinus radiata* posee mayor altura con respecto a *Cupressus macrocarpa* con valores promedio de 10.03 m y 7.32 m respectivamente. En el cual se tiene cantidades de 71 y 50 especies forestales de *Pinus radiata* y *Cupressus macrocarpa* respectivamente. Asimismo, se muestra la amplitud entre los valores mínimo y máximo referente a la altura total.

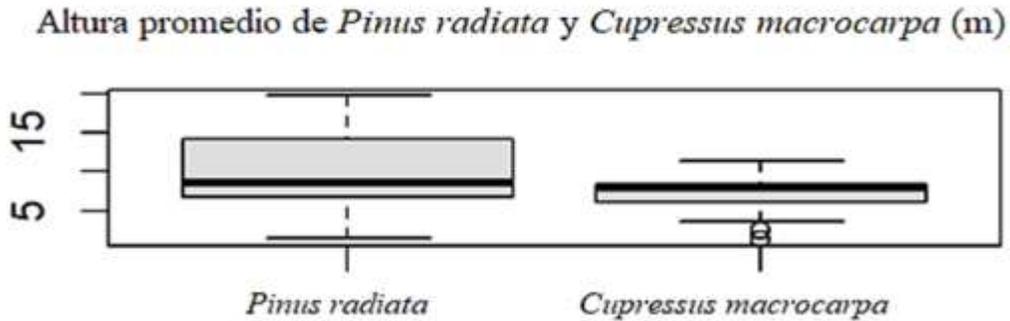


Figura 11. Comparación de la altura promedio de *Pinus radiata* y *Cupressus macrocarpa*

4.4. Área basal y volumen de *Pinus radiata*

En la tabla 8, se muestra los resultados obtenidos del área basal y volumen de la especie forestal de *Pinus radiata*, el cual se realizó por modelo matemático de Hossfeld (fórmula Smalian), teniendo en cuenta el factor de forma de las coníferas que equivale a 0.65.

Tabla 8

Área basal y volumen de la especie forestal “*Pinus radiata*” por jardinera (37)

Código de la división (cuadrante)	Código de la jardinera	Rango entre código de árbol	DN (m)	Área basal (m ²)	Altura total (m)	Volumen (m ³)
BC-DIV1	BCD-J1	P1-P5	0.58	0.07	22.72	0.24
BC-DI1	BCI-J2	P6-P10	1.24	0.34	43.94	2.61
BC-DIV1	BCD-J3	P11-P13	1.04	0.31	24.26	1.92
BC-DIV1	BCI-J4	P14-P17	1.12	0.37	36.23	3.17
BC-DIV1	BCD-J5	P18-P19	0.41	0.11	9.13	0.47
BC-DIV1	BCI-J6	P20-P21	0.70	0.19	16.75	1.06
BC-DIV1	BCD-J7	P22-P24	1.54	0.62	22.71	3.08
BC-DIV1	BCI-J8	P25-P27	1.41	0.54	47.57	5.78
BC-DIV1	BCD-J9	P28-P30	0.85	0.27	30.00	2.76
BC-DIV1	BCI-J10	P31-P36	1.00	0.14	43.63	0.69
BC-DIV1	BCD-J11	P37-P38	0.85	0.42	25.99	4.71
BC-DIV1	BCI-J12	P39-P41	0.74	0.15	25.24	0.82
BCD-DIV2	BCD-J13	P42-P43B	0.59	0.22	22.33	2.57
BC-DIV2	BCD-J15	P44-P44B	0.17	0.02	9.78	0.13
BC-DIV2	BCD-J19	P46-P48B	1.25	0.37	47.03	3.53
BC-DIV3	BC-J36	P52-P53	0.77	0.23	32.13	2.47
BC-DIV3	BC-J37	P54-P68	5.35	1.54	204.05	13.99
TOTALES	37 jardineras	71 pinos	21.1430	6.3884	711.9900	54.1410
VALORES PROMEDIO			0.30	0.09	10.03	0.76

En la tabla 8 se muestra los resultados procesados del área basal y el volumen de *Pinus radiata* que han sido obtenidas a partir de datos del censo forestal por jardinera, para lo cual se rige bajo la sumatoria total de lo que existe en cada jardinera; cada Pino es codificado como P1, P2, P3... sucesivamente hasta P68, tal es el caso que en la jardinera 1, se encuentran 5 árboles de Pino (P1 al P5) que se encuentran en BCD1-J1, (Berma central derecho - Jardinera 1). El valor total del área basal es de 6.3884m²; y un volumen total de 54.1410m³ y como valores promedio por cada Pino se tiene un área basal de 0.09m² y un volumen promedio de 0.76m³. Véase el anexo N° 06 y 07 para ver los resultados totales de área basal y volumen de cada *Pinus radiata*.

4.5. Área basal y volumen de *Cupressus macrocarpa*

En la tabla 9, se muestra los resultados procesados del área basal y volumen de la especie forestal de *Cupressus macrocarpa*, el cual se realizó por modelo matemático de Hossfeld (fórmula Smalian), teniendo en cuenta el factor de forma de las coníferas que equivale a 0.65.

Tabla 9

Área basal y volumen de la especie forestal “Cupressus macrocarpa”

Código de la división (cuadrante)	Código de la Jardinera	Rango entre código de árbol	DN (m)	Área basal (m ²)	Altura total (m)	Volumen (m ³)
BC-DIV1	BCD-J1	C1	0.3520	0.097	8.01	0.507
BC-DIV1	BCI-J2	C2	0.2820	0.062	10.87	0.441
BC-DIV1	BCD-J5	C3	0.2120	0.035	7.24	0.166
BC-DIV1	BCI-J6	C4	0.2700	0.057	7.90	0.294
BC-DIV1	BCD-J7	C5-C6	0.4430	0.0826	19.6200	0.5699
BC-DIV1	BCD-J9	C7	0.4350	0.149	9.89	0.955
BC-DIV2	BCI-J14	C8-C9	0.5835	0.1401	18.8800	0.8797
BC-DIV2	BCD-J15	C10	0.2280	0.041	7.00	0.186
BC-DIV2	BCI-J16	C11	0.2200	0.038	6.37	0.157
BC-DIV2	BCI-J18	C12	0.1290	0.013	1.35	0.011
BC-DIV2	BCD-J19	C13-C13B	0.1845	0.0134	3.7500	0.0160
BC-DIV2	BCI-J20	C14-C15	0.5175	0.1075	18.3800	0.6523
BC-DIV2	BCD-J21	C16	0.2150	0.036	6.15	0.145
BC-DIV2	BCD-J23	C17	0.2920	0.067	6.95	0.303
BC-DIV2	BCD-J25	C18	0.2525	0.050	7.73	0.252
BC-DIV2	BCI-J26	C19-C20	0.6340	0.1645	15.0000	0.8587
BC-DIV2	BCD-J27	C21	0.3636	0.104	9.22	0.622
BC-DIV2	BCI-J28	C22	0.1490	0.017	5.79	0.066
BC-DIV2	BCD-J29	C23-C24	0.3880	0.0604	14.1300	0.2981
BC-DIV2	BCI-J32	C25-C26	0.4490	0.0792	16.0800	0.4139
BC-DIV2	BCD-J33	C27-C29	1.0285	0.2852	24.8000	1.5318
BC-DIV2	BCI-J34	C30	0.1730	0.024	5.73	0.088
BC-DIV3	BC-J35	C31-C33	0.5420	0.0883	15.3300	0.2799
BC-DIV3	BC-J36	C34-C41	2.3672	0.5865	61.4500	3.1559
BC-DIV3	BC-J37	C42-C49	2.0825	0.4754	58.4900	2.3505
TOTALES	37 jardineras	50 Cipreces	12.7928	2.874	366.11	15.199
VALORES PROMEDIO POR ÁRBOL			0.26	0.06	7.32	0.30

En la tabla 9 se muestra los resultados del área basal y el volumen de *Cupressus macrocarpa* (50 árboles) que han sido obtenidas a partir de datos del censo forestal seleccionadas por jardinera, en el cual se tiene la sumatoria total de las especies forestales existentes en cada jardinera del total de las 37 jardineras, en el cual se ha agrupado las especies existentes por cada jardinera. Cada Ciprés es codificado como C1, C2, C3... sucesivamente hasta C49. El área basal fue de 2.8740 m², y un volumen total de 15.1990 m³; y como valores promedio por árbol se tiene un área basal de 0.06 m² y un volumen promedio de 0.30m³. Véase el anexo N° 09 y 10 para ver los resultados totales de área basal y volumen de cada *Cupressus macrocarpa*.

4.6. Peso específico básico de la madera

Para el cálculo del peso específico básico de la madera, se seleccionaron 10 muestras, de las cuales 5 muestras corresponden a *Pinus radiata* y los 5 restantes a *Cupressus macrocarpa*. Las especies seleccionadas tuvieron un DN superior a 15cm. Para lo cual se aplicó el método de Máximo Contenido de Humedad (MCH).

Tabla 10

Peso específico básico de la madera de Pinus radiata y Cupressus macrocarpa

Código de Muestra	Datos del Árbol		DAP>15cm	Peso saturado (g)	Peso anhidro (g)	Máximo Contenido de Humedad	Peso específico básico de la Madera (g/cm ³)
	Especie	Familia					
M1-P6	<i>Pinus radiata</i>	Pinaceae	50.6	3.7967	1.6171	1.348	0.500
M2-C6	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cupressaceae	28.1	3.3003	1.435	1.300	0.512
M3-P42	<i>Pinus radiata</i>	Pinaceae	52.8	4.5865	2.1033	1.181	0.545
M4-P51	<i>Pinus radiata</i>	Pinaceae	33.75	4.8115	2.2498	1.139	0.558
M5-C24	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cupressaceae	22.3	4.7378	2.0676	1.291	0.514
M6-C29	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cupressaceae	29.5	3.3658	1.5964	1.108	0.568
M7-P52	<i>Pinus radiata</i>	Pinaceae	40.4	4.7854	1.9232	1.488	0.467
M8-C36	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cupressaceae	33.45	4.8446	2.2934	1.112	0.566
M9-C44	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cupressaceae	24.3	3.4301	1.5191	1.258	0.523
M10-P63	<i>Pinus radiata</i>	Pinaceae	36.7	5.2357	2.1889	1.392	0.489
Promedio del peso específico básico de la madera de <i>Pinus radiata</i>						0.512	g/cm³
Promedio del peso específico básico de la madera de <i>Cupressus macrocarpa</i>						0.537	g/cm³

En la tabla 10, se muestran los resultados procesados del peso específico básico de la madera, según el código de muestra y la relación del código asignado a cada árbol, de las cuales la densidad básica de la madera promedio de *Pinus radiata* y *Cupressus macrocarpa* es de 0.512g/cm³ y 0.537g/cm³ respectivamente. Los resultados son datos necesarios para el cálculo de la biomasa del fuste.

4.7. Biomasa total

En la tabla 11 se presentan los resultados de la biomasa total (biomasa aérea, biomasa del fuste y biomasa de la copa) y la biomasa subterránea (biomasa de la raíz)) mediante ecuaciones alométricas a partir de datos de área basal y volumen que previamente se obtiene de los datos del DN y la altura total.

Tabla 11

Biomasa total de " Pinus radiata" y "Cupressus macrocarpa"

Resultados: Promedios y Totales	Especie Forestal	Biomasa aerea (kg)	Biomasa de la raiz (kg)	Biomasa total (kg)
Promedio de valores por especie	Pinus radiata	393.52	118.06	511.58
Total almacenado por especie		27939.91	8381.97	36321.89
Promedio de valores por especie	Cupressus macrocarpa	282.74	84.82	367.56
Total almacenado por especie		14137.07	4241.12	18378.19

En la tabla 11 se muestra los valores promedio y los valores totales correspondientes a la Biomasa de *Pinus radiata* y *Cupressus macrocarpa*, en donde los valores promedios para cada individuo de *Pinus radiata* y *Cupressus macrocarpa* son de 511.58 kg y 367.56 kg respectivamente, en tanto a los valores totales *Pinus radiata* fue de 36 321.89 kg y para *Cupressus macrocarpa* fue de 18 378.19 kg de biomasa total.

En base a los resultados analizados de biomasa de *Cupressus macrocarpa*, existe una dependencia directa de las variables dasométricas tales como diámetro normal y altura total, dichos resultados coinciden en parte con Mollocondo & Aguilar (2019) que reportan que en *Cupressus ssp*, existe un incremento de biomasa a mayor diámetro normal en el centro de producción de Potojani.

En la figura 12, se muestra el histograma de frecuencias con datos de la producción de biomasa de *Pinus radiata* y *Cupressus macrocarpa* tales como la biomasa aérea y la biomasa subterránea, en el cual los resultados evidencian que es mayor la cantidad de aérea con

respecto a la biomasa subterránea. *Pinus radiata* presenta la mayor cantidad de biomasa con relación a *Cupressus macrocarpa*.

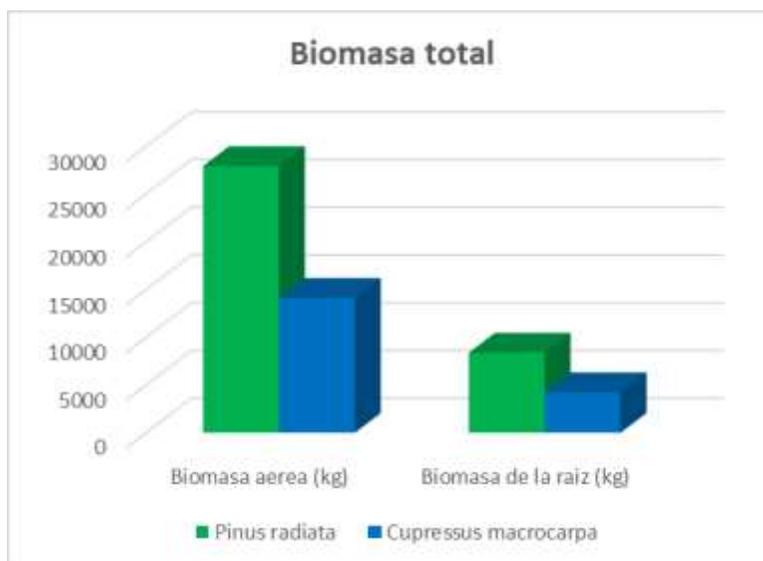


Figura 12. Comparación de la producción de biomasa total de *Pinus radiata* y *Cupressus macrocarpa*, (biomasa aérea y biomasa subterránea)

4.8. Stock de carbono y CO₂

Se han obtenido datos de la totalidad de *Pinus radiata* y *Cupressus macrocarpa*, en el cual, a partir de los datos de la biomasa aérea y raíces, a partir de la sumatoria de estas obtenemos la biomasa total de cada árbol. Asimismo, a partir de la biomasa total se ha obtenido el stock de carbono total y es stock de dióxido de carbono, para lo cual han sido utilizadas los factores aceptados por la comunidad científica de 0.5947 para el stock de carbono a partir de la biomasa total y 3.67 para el stock de dióxido de carbono a partir del stock de carbono respectivamente, no varía el factor debido a que ambas especies forestales estudiadas son coníferas.

Tabla 12

Stock de captura de carbono del total de Pinus radiata y Cupressus macrocarpa

Resultados: Promedios y Totales	Especie Forestal	Biomasa total (kg)	Stock de carbono (kg)	Stock de CO ₂ (kg)
Promedio de valores por especie	<i>Pinus radiata</i>	511.58	304.23	1116.54
Total almacenado por especie		36321.89	21600.63	79274.30
Promedio de valores por especie	<i>Cupressus macrocarpa</i>	367.56	218.59	802.23
Total almacenado por especie		18378.19	10929.51	40111.29

En la tabla 12 se muestra los resultados obtenidos del stock de carbono de *Pinus radiata* y *Cupressus macrocarpa*, En promedio, un árbol de *Pinus radiata* captura 304.23 kg C y 1 116.54 kg CO₂. Y como valores totales del stock de captura de carbono y dióxido de carbono de *Pinus radiata* es de 21 600.63 kg C, y 79 274.30 kg CO₂ respectivamente. Por otro lado, con respecto a los resultados obtenidos de la especie *Cupressus macrocarpa*, se tiene resultados de captura de carbono y dióxido de carbono promedio de 218.59 kg y 802.23 kg respectivamente, y un resultado total del stock de captura de carbono y dióxido de carbono en 10 929.51 kg y 40 111.29 kg respectivamente.

La producción de biomasa es importante en la captura de carbono y CO₂, por su parte Arone (2019), en su investigación coincide con la mencionada dependencia, ya que en sus hallazgos presenta mayor concentración de biomasa el *Pinus radiata* por la mayor cantidad de individuos que posee con 1055.43 kg y *Eucalyptus globulus* en menor cantidad con 214.41 kg, con respecto al CO₂ el *Pinus radiata* almacenó en todas las zonas con 9.68 tCO₂/ha y *Eucalyptus globulus* almacenó 0.84 tCO₂/ha, tal dependencia coincide con los resultados obtenidos en el presente estudio ya que a partir de la biomasa total de *Pinus radiata* 36 321.89 kg se tiene 79 274. 3 kgCO₂, con respecto a *Cupressus macrocarpa* a partir de 18 378.18 kg de biomasa se tiene 40 111.29 kgCO₂. De esta forma se garantiza la existencia de dicha dependencia, en la captura de carbono y CO₂.

Maquera (2017) indica que, de una misma cantidad de biomasa para las tres especies estudiadas, la especie que captura o fija mayor cantidad de carbono es el pino seguido por el ciprés, por lo tanto tal afirmación coincide con los resultados de la presente investigación, pero las diferencias no son significativas sino son mínimas, los factores que puedan mostrar dicha variabilidad pueden ser debido a las condiciones ambientales, temperatura, precipitación, altitud, edad de los árboles y el manejo forestal.

4.8.1. Análisis del comportamiento entre la biomasa y la captura de C y CO₂ de *Pinus radiata*

Se utilizó el diagrama lineal en las variables de estudio con el propósito de observar el comportamiento entre la biomasa, la captura de carbono y CO₂, con los resultados de la especie forestal de *Pinus radiata*, existentes en el boulevard de la avenida Los Próceres y La Cultura. En base al análisis del diagrama lineal el comportamiento de

la biomasa, captura de carbono y dióxido de carbono, depende directamente de la producción total de la biomasa por parte de *Pinus radiata*, es decir. A mayor producción de biomasa mayor es la captura de carbono, por consiguiente, mayor es la captura de CO₂. La figura 13 muestra el comportamiento de biomasa, stock de carbono y captura de CO₂ de *Pinus radiata*.

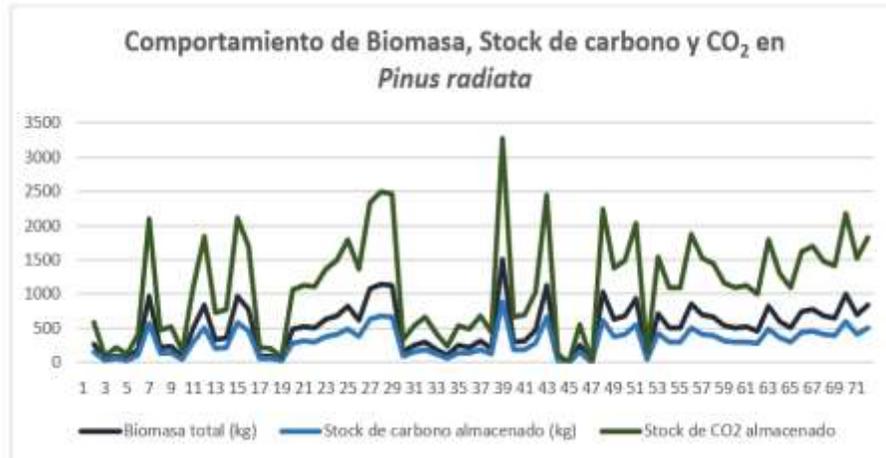


Figura 13. diagrama lineal sobre el comportamiento de la biomasa, captura de carbono y CO₂ de la especie *Pinus radiata*

La figura 14 evidencia los resultados en el diagrama de dispersión que corresponde a la especie de *Pinus radiata*, en donde se afirma que existe una dependencia directa entre la biomasa y la captura de CO₂, es decir, a mayor producción de biomasa, mayor es la captura de CO₂.

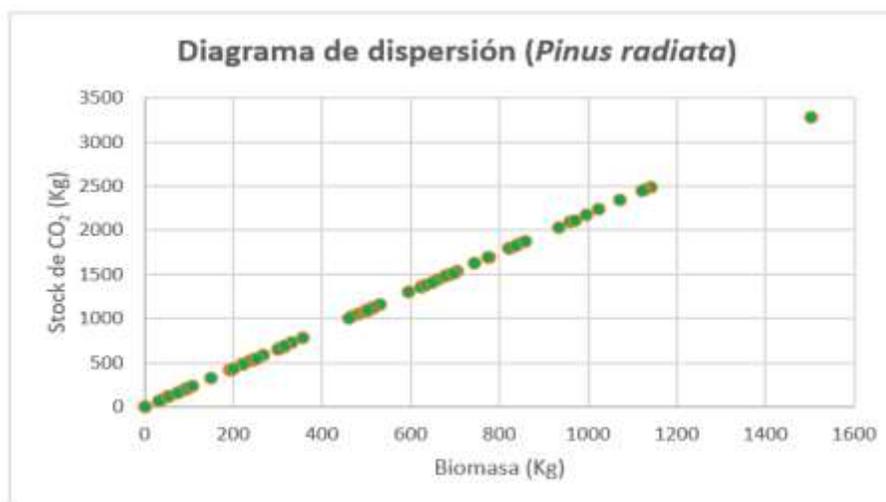


Figura 14. Diagrama de dispersión del comportamiento de la Biomasa y la captura de CO₂

4.8.2. Análisis del comportamiento entre la biomasa y la captura C y de CO₂ en *Cupressus macrocarpa*

Se utilizó el diagrama lineal en las variables de estudio con el propósito de observar el comportamiento entre la biomasa, el carbono y CO₂ de la especie forestal de *Cupressus macrocarpa*, con los resultados obtenidos de la especie forestal de *Cupressus macrocarpa*, existentes en el boulevard de la avenida Los Próceres y La Cultura, se evidencia que la producción de biomasa es determinante para la captura de carbono y CO₂ ya que depende directamente. Es decir, a mayor producción de biomasa de la especie *Cupressus macrocarpa*, mayor será la captura de carbono y por consiguiente mayor será la captura de CO₂. En la figura 15 se muestra la dependencia entre los valores de biomasa, stock de carbono y captura de CO₂ en *Cupressus macrocarpa*.

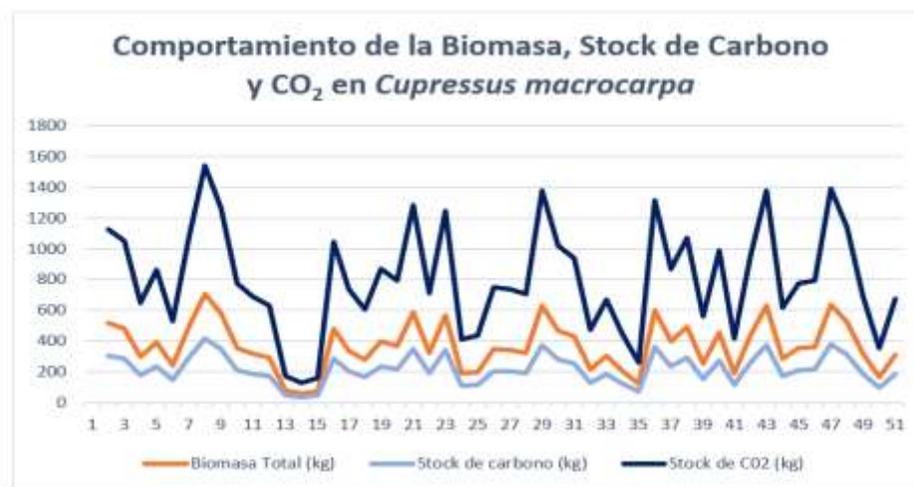


Figura 15. Diagrama lineal para el análisis del comportamiento entre la biomasa, captura de carbono y captura de CO₂ de la especie de *Cupressus macrocarpa*

La figura 16 muestra el diagrama de dispersión, en donde se comprueba que efectivamente la producción de biomasa por parte de la especie forestal de *Cupressus macrocarpa* influye directamente en el comportamiento de captura de CO₂; es decir, a mayor producción de biomasa por parte de *Cupressus macrocarpa*, mayor será la captura del stock de CO₂.

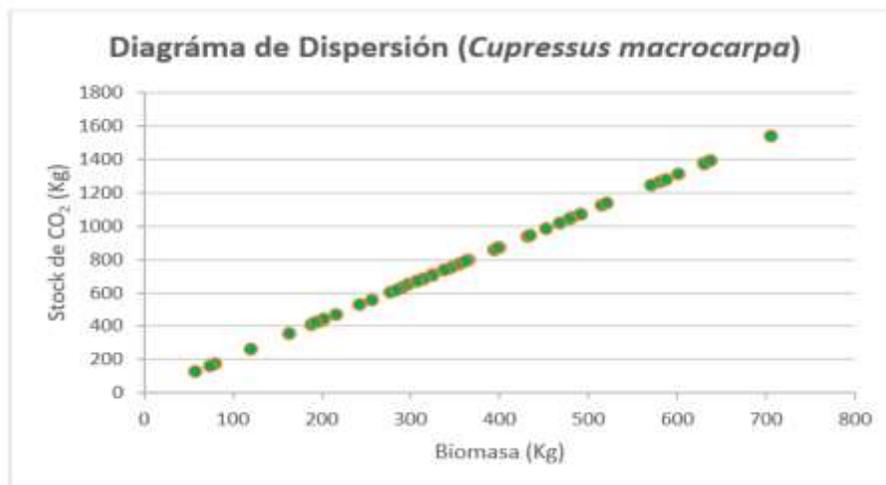


Figura 16. Diagrama de dispersión en el comportamiento de la biomasa y la captura de CO₂

En los resultados del presente se puede apreciar que existe dependencia directamente proporcional con respecto a la producción de biomasa, captura de carbono y captura de CO₂, de manera similar Maquera (2017) en su investigación realizada en el CIP Camacani muestra los resultados de las especies estudiadas tales como el *Pinus radiata* con 869.90 t y por último el *Cupressus macrocarpa* con 473.22 t de biomasa aérea; en cuanto a captura de carbono la mayor captura de carbono en la biomasa aérea la tuvo el *Pinus radiata* con 489.48t de C y *Cupressus macrocarpa* con 320.25t de C capturado en todo el bosque. Mientras que en el presente estudio la biomasa total de *Pinus radiata* y *Cupressus macrocarpa* es de 27 704.54 kg y 8 155.95 kg respectivamente y para el caso de captura de carbono para *Pinus radiata* y *Cupressus macrocarpa* es de 21 600.63 kg y 10 929.51 kg respectivamente. De esta forma queda demostrado la dependencia a partir de la biomasa, para la determinación de Captura de carbono y CO₂.

4.8.3. Comparación de la captura de carbono promedio por árbol de *Pinus radiata* y *Cupressus macrocarpa*

En la figura 17 se evidencia los resultados obtenidos del stock de carbono en promedio por árbol instauradas en el boulevard de la avenida Los Próceres y La Cultura. Con respecto a la comparación del almacenamiento de carbono en promedio por árbol, a partir de la biomasa total, *Pinus radiata* es la que almacena en mayor cantidad (kg) el stock de carbono con respecto a lo que almacena la especie forestal

de *Cupressus macrocarpa*. Ello influye directamente a partir de los datos del dasométricas tales como del DN y la altura total. En donde se deduce que la especie forestal que tiene mayor DN y mayor altura produce mayor biomasa, en consecuencia, captura en mayor proporción el CO₂.

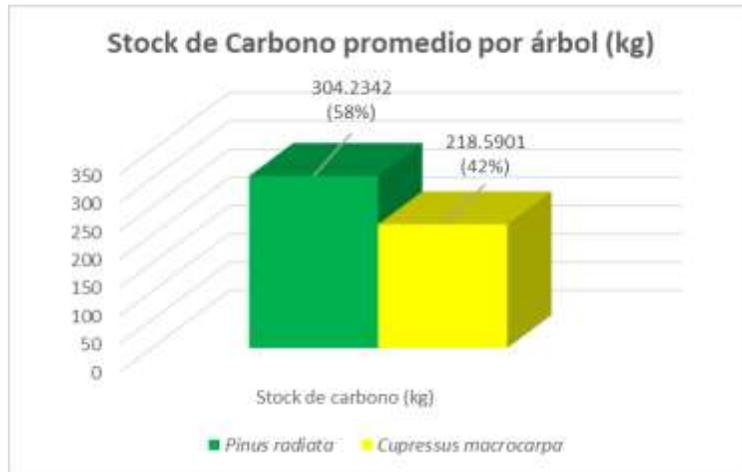


Figura 17. Comparación del stock de carbono almacenado en promedio por árbol de *Pinus radiata* y *Cupressus macrocarpa*.

La figura 18 muestra la comparación de los resultados de la captura total del stock de carbono por parte de *Pinus radiata* y *Cupressus macrocarpa* que están establecidos en el boulevard de la avenida Los Próceres y La Cultura. En lo cual la especie más óptimo en la captura de carbono es *Pinus radiata* (66%) con respecto a *Cupressus macrocarpa* (34%). La diferencia depende de variables dasométricas y densidad arbórea.

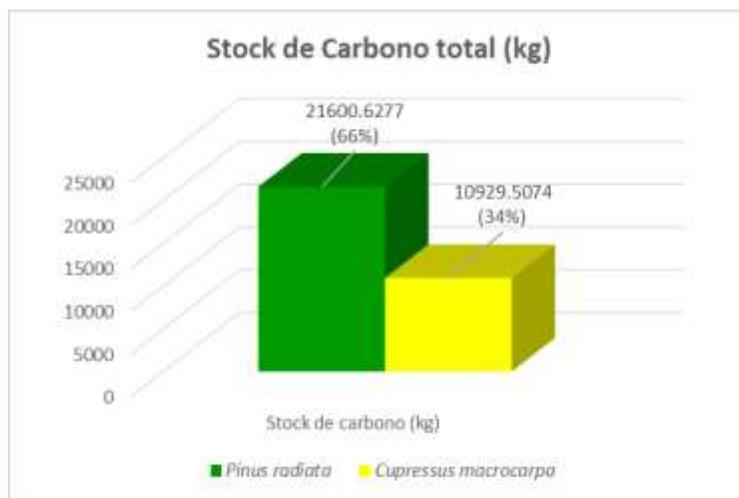


Figura 18. Comparación del stock de carbono total almacenado en las especies forestales de *Pinus radiata* y *Cupressus macrocarpa*.

4.8.4. Comparación de captura de CO₂ de *Pinus radiata* y *Cupressus macrocarpa*

En la figura 19 se muestra los resultados obtenidos del stock de CO₂ por árbol en promedio de *Pinus radiata* y *Cupressus macrocarpa*, en el cual *Pinus radiata* es el más óptimo en la captura de CO₂ y también es directamente proporcional a la captura de carbono.

El stock de dióxido de carbono por árbol en la especie de *Pinus radiata* fue de 1 116.54 kg CO₂ que representa el 58%, mientras que de *Cupressus macrocarpa* fue de 802.23 kg CO₂ que representa el 42%.

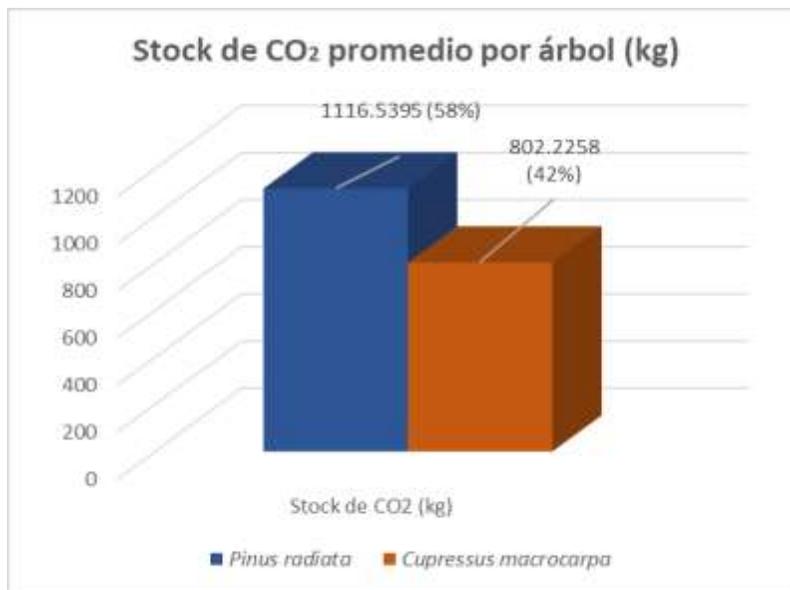


Figura 19. Comparación del stock de CO₂ total almacenado en las especies forestales de *Pinus radiata* y *Cupressus macrocarpa*.

En un estudio anterior realizado por Yana (2019) en la ciudad de Juliaca señala que *Pinus radiata* y *Cupressus macrocarpa* son especies con mayor cantidad de captura de CO₂ promedio que contienen en su biomasa con 0.6 tCO₂ y 0.2 tCO₂ respectivamente. De lo cual consideró que la clase diamétrica y la densidad contribuyeron considerablemente en la cantidad de biomasa en los individuos de estudio. De la misma forma en el presente estudio *Pinus radiata* es una de las especies que tiene mayor potencial con respecto a la captura de CO₂, en donde captura 1.12 tCO₂ en su biomasa, mientras que *Cupressus macrocarpa* captura 0,8 tCO₂. Este resultado tiene influencia directa de la clase

diamétrica y la densidad arbórea, además, es importante rescatar la diferencia significativa de valores de CO₂ capturados por especies instauradas en el boulevard de la avenida Los Próceres y La Cultura. Esta diferencia se debe a que el boulevard tiene cercas de protección, ello ayudó su adecuado desarrollo de los árboles evitando cualquier intervención de forma directa por personas o animales, mientras que en la ciudad de Juliaca las áreas verdes no tienen cercas de protección y ello hace que los árboles no se desarrollan adecuadamente por intervenciones directas de humanos y de animales.

En la figura 20 se muestra el diagrama de frecuencias de los resultados obtenidos del stock de CO₂ total que están establecidos en el boulevard de la avenida Los Próceres y La Cultura. En el cual la especie que tiene mayor producción de biomasa que tiene predominancia es *Pinus radiata* con respecto a *Cupressus macrocarpa*. Los resultados de la captura de CO₂ total por parte de la especie *Pinus radiata* fue de 79 274.3 kg CO₂ que representa el 66%, mientras que por parte de la especie de *Cupressus macrocarpa* fue de 40 111.3 kg CO₂ que representa el 34% del total de captura de CO₂, almacenadas en la biomasa forestal (Biomasa aérea y subterránea)

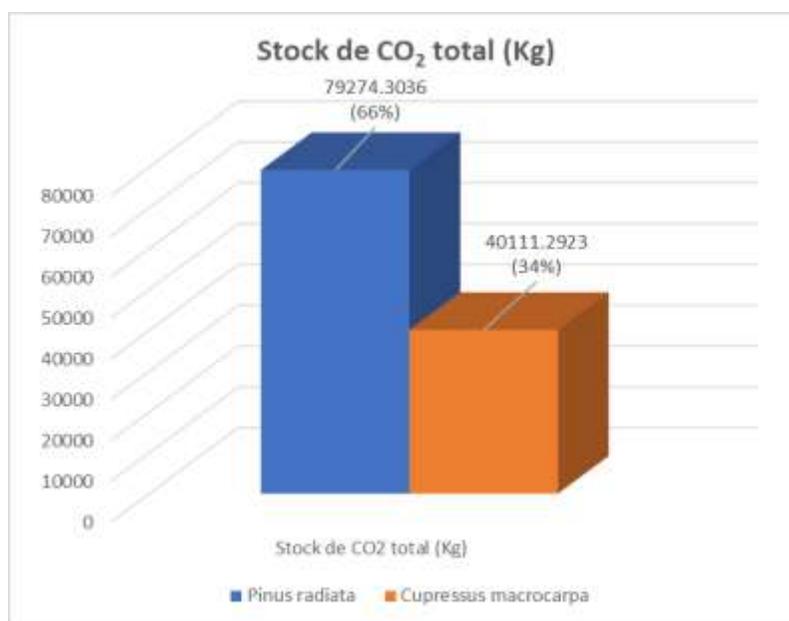


Figura 20. Comparación del stock de CO₂ total almacenado en las especies forestales de *Pinus radiata* y *Cupressus macrocarpa*.

4.9. Carbono almacenado en el suelo

4.9.1. Densidad aparente del suelo

El cálculo de la densidad aparente del suelo se realizó para la determinación de carbono almacenado en el suelo. A continuación, se muestran los resultados de las nueve (09) muestras no probabilísticas por juicio del investigador del lugar de estudio del boulevard de la avenida Los Próceres y La Cultura de la provincia de Azángaro.

Tabla 13

Densidad aparente del suelo y características fisicoquímicas

Código de la división (cuadrante)	Código de la muestra	Profundidad de muestreo (cm)	Volumen del cilindro (cm ³)	Peso seco (g)	Densidad Aparente (g/cm ³)	Potencial de Hidrógeno (pH)	Conductividad Eléctrica (mS/cm)	Textura del Suelo (USDA, 1999)
BC-DIV1	S1	10 a 20	633.816	598.1370	0.9437	7.62	0.8	Arcilloso
BC-DIV1	S2	20 a 30	633.816	628.9200	0.9923	7.71	0.95	Arcilloso
BC-DIV1	S3	10 a 20	633.816	876.3050	1.3826	7.92	0.34	Limoso, Franco-Limoso
BC-DIV1	S4	20 a 30	633.816	792.0600	1.2497	7.85	0.53	Arcilloso-Limoso
BC-DIV2	S5	10 a 20	633.816	999.5090	1.5770	7.95	0.26	Franco-Limoso
BC-DIV2	S6	20 a 30	633.816	918.9710	1.4499	8.2	0.38	Franco-Limoso
BC-DIV2	S7	10 a 20	633.816	821.9220	1.2968	7.61	0.51	Franco-Limoso
BC-DIV2	S8	20 a 30	633.816	1141.2920	1.8007	8.23	0.15	Arenoso
BC-DIV3	S9	10 a 20	633.816	978.6840	1.5441	8.26	0.21	Franco-Areno-Arcilloso
Valores promedio a partir de las nueve (9) muestras					1.3596	7.9278	0.4589	

En la tabla 13 se muestran los resultados de la densidad aparente del suelo, las (09) nueve muestras tuvieron un valor promedio de 1.3596 g/cm³ que indica que los suelos según USDA (1999) tienen una textura de Franco-Limoso, este dato también es utilizado para el cálculo de stock de carbono almacenado en el suelo, para su análisis completo se realizó la medición de las características fisicoquímicas, tales como el pH que tiene el valor promedio de 7.9278 y en los nueve puntos de muestreo son mayores a 7 que indican que los suelos, en las que están establecidos las especies forestales de *Pinus radita* y *Cupressus macrocarpa* son moderadamente básicas o alcalinos, con respecto a la conductividad eléctrica se tiene un valor promedio de 0.4589 mS/cm que indica que los suelos son libres de sales y tienen una condición ideal para el desarrollo de las plantas.

4.10. Carbono almacenado en el suelo

Los resultados del carbono almacenado en el suelo fueron determinados mediante el método de Walkley Black, los resultados obtenidos se consignan en la siguiente tabla.

Tabla 14

Carbono almacenado en el suelo del boulevard de la avenida Los Próceres y La Cultura

N°	Código de la división (cuadrante)	Código de la muestra	Volumen de gasto de Sulfato Ferroso Amoniacal 0.5N	Porcentaje de Materia Organica %MO	Carbono Almacenado en el Suelo (%CO)	Densidad aparente (kg/m ³)	Carbono organico total en el suelo (kg/m ²)
1	BC-DIV1	S1	7.7	1.541	0.894	943.708	2.109
2	BC-DIV1	S2	7.6	1.608	0.933	992.275	2.314
3	BC-DIV1	S3	8.1	1.273	0.738	1382.586	2.552
4	BC-DIV1	S4	8.5	1.005	0.583	1249.669	1.821
5	BC-DIV2	S5	8.1	1.273	0.738	1576.970	2.911
6	BC-DIV2	S6	8.3	1.139	0.661	1449.902	2.395
7	BC-DIV2	S7	4.2	3.886	2.254	1296.783	7.308
8	BC-DIV2	S8	8.9	0.737	0.427	1800.668	1.924
9	BC-DIV3	S9	9.5	0.335	0.194	1544.114	0.750
Promedios				1.4219	0.825	1359.630	2.676
Promedio de Carbono Almacenado en el Suelo (kg/m ²)							2.676
Promedio de Carbono Almacenado en el Suelo (tn/ha)							26.760
área total con cobertura de suelo (m ²)							10237.530
área total con cobertura de suelo (ha)							1.024
Total Carbono Almacenado en el suelo del ámbito de estudio (kg)							27395.706
Total Carbono Almacenado en el suelo del ámbito de estudio (tn)							27.396

En la tabla 14 se muestra los resultados obtenidos en el cálculo del total de carbono almacenado en el suelo a partir de las nueve (09) muestras en estudio, cuya muestra fue extraído de los 25 cm de profundidad, de la cual se utilizó el método Walkley Black. Se tiene como resultado final promedio de 2.67 Kg/m² equivalente a 26.76 t/ha, pero la cobertura del suelo del boulevard de la avenida Los Próceres y La Cultura tiene un área total de 1.0238 has, por lo tanto, el carbono almacenado en el suelo es de 27 395 kg/área de estudio, que es equivalente a 27.39 t/área de estudio, de tal forma se llega a concluir que el suelo es uno de los mayores reservorios de carbono.

En el estudio realizado por López et al., (2017) en México, encontraron que en los suelos con especies de *Pinus oaxaca* Mirov, presentó el mayor contenido de carbono total con 33.90 t/ha en la comunidad de Tlacotepec y 24.35 t/ha en Magdalena Zahuatlán. Estos resultados coinciden con los resultados del presente estudio ya que se tiene un valor de 26.76 t/ha. La similitud de los resultados se debe a la influencia directa del *Pinus radita* en los suelos. Asimismo, las muestras evaluadas en tal estudio fueron de a partir de los 20 cm de profundidad, mientras que en el presente estudio fue de 25 cm de profundidad.

De la misma forma Cook et al., (2014) reportan que las muestras de suelo a 45 cm de profundidad no fueron significativos referente a la concentración de carbono orgánico. De

tal forma que queda comprobado que la mayor concentración de carbono orgánico en el suelo se encuentra entre los primeros 15 cm de profundidad.

4.11. Total, carbono almacenado en el suelo y en la biomasa aérea del boulevard de la avenida Los Próceres y La Cultura de la provincia de Azángaro

En la tabla 15 se evidencian los resultados de la captura de carbono en las especies forestales de *Pinus radiata* y *Cupressus macrocarpa*. Asimismo, los resultados de carbono almacenado en el suelo, que no se encuentra solamente como dióxido de carbono, sino que el carbono orgánico del suelo se encuentra en forma de residuos orgánicos poco alterados de vegetales, animales y microorganismos, en forma de humus y en formas muy condensadas de composición próxima al carbono elemental (Martínez et al., 2008; Mijangos, 2015).

Tabla 15

Captura de carbono de Pinus radiata, Cupressus macrocarpa y suelo

Resultados Totales	Componente	Stock de Carbono (Kg)	Stock de Carbono (t)	Stock de CO ₂ (Kg)	Stock de CO ₂ (t)
Biomasa Forestal	<i>Pinus radiata</i>	21600.63	21.60	79274.30	79.27
	<i>Cupressus macrocarpa</i>	10929.51	10.93	40111.29	40.11
Total Carbono en la Biomasa Forestal		32530.14	32.53	119385.60	119.39
Biomasa del Suelo	Carbono organico del suelo	27395.71	27.40		
Total Carbono Almacenado		59925.84	59.93		

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 15, en donde el suelo es uno de los reservorios carbono más óptimo y más importante que almacena 27 395.71 kg que equivale a 27.3957 t, con respecto a la captura de carbono en la biomasa forestal, el más óptimo es el *Pinus radiata* que tiene un valor de captura de carbono de 21 600.63 kg que equivale a 21.6 t, mientras que *Cupressus macrocarpa* tiene un valor de captura de carbono de 10929.51 kg equivalente a 10.93 t, en total, la captura de carbono en la biomasa forestal es de 32 530.14 kg (32.53t) y el carbono orgánico almacenado en el suelo fue de 27 395.71 kg (27.4 t). Por otro lado, el total de captura de CO₂ en la biomasa forestal es de 119 385.60 kg, (119.39 t). Los resultados obtenidos tienen dependencia directa de la biomasa forestal y la densidad poblacional arbórea. Es por ello que se puede afirmar que la edad de los árboles también implica mayor desarrollo del DN y la altura total, cuanto más año tenga un árbol se puede decir que puede almacenar mayor cantidad de carbono, pero ello no implica que los árboles adultos sean los grandes almacenes de carbono.

Con respecto a los hallazgos, Mirez (2021) en su investigación afirma que los árboles de *Pinus patula* de 15, 10 y 5 años instaladas en Cajamarca almacenan 26.422 t CO₂/ha, 16.944 t CO₂/ha y 8.267 t CO₂/ha, respectivamente, dicha investigación coincide relativamente con la presente investigación ya que las especies forestales de *Pinus radiata* y *Cupressus macrocarpa* han sido establecidas en el año de 1997 aproximadamente, y en la actualidad estos árboles tienen 25 años aproximadamente es decir están en lo óptimo en alcanzar el valor máximo de la captura de carbono. Asimismo, el mismo autor concluye que el CO₂ se almacena principalmente en el fuste del árbol, ello coincide con la investigación en donde el mayor almacenamiento de carbono y CO₂ se encuentran en la biomasa del fuste. De esta manera queda demostrado el potencial que tiene la especie forestal de *Pinus* en el almacenamiento de CO₂.

Por otro lado Maquera (2017), en su investigación evidencia los hallazgos de su estudio, en donde las especies latifoliadas tales como *Eucalyptus globulus* tiene la mayor capacidad de captura de carbono y CO₂, pero a nivel de las coníferas de *Pinus radiata* y *Cupressus macrocarpa* coincide con los resultados de la presente investigación en donde *Pinus radiata* almacena carbono en mayor proporción de 489,48 Tn de C y *Cupressus macrocarpa* con 320,25 Tn de C tal estudio coincide en parte de que *Pinus radiata* es más óptimo que *Cupressus macrocarpa* en la captura de carbono a nivel de coníferas.

Asimismo, Devi et al. (2021) concluyeron que los bosques urbanos almacenan más carbono en la vegetación que en el suelo. Por lo tanto, la gestión adecuada de los bosques urbanos mediante la sustitución de árboles viejos por otros nuevos puede mitigar eficazmente los efectos nocivos del calentamiento global en las ciudades mediante la regulación del clima a través de la captura de CO₂. Tal afirmación coincide en parte con el presente estudio, debido a que las áreas urbanas destinadas para el establecimiento de especies forestales son mínimas y son los árboles que almacenan carbono en la biomasa aérea.

Tabla 16

Datos del carbono capturado en la biomasa aérea, biomasa subterránea y en el suelo

lucode	LULC_name	C_above	C_below	C_soil	C_dead
1	<i>Pinus radiata</i>	16.6158675	4.98476024	13.69785	0
2	<i>Cupressus macrocarpa</i>	8.40727771	2.52219402	13.69785	0

La tabla 16 muestra los valores obtenidos de captura de carbono en la biomasa aérea, biomasa subterránea y carbono en el suelo en el software InVEST, con la finalidad de comparar los resultados obtenidos, para lo cual el carbono de materia muerta se consideró cero (0) debido a que en el boulevard no se encontró materia orgánica muerta (hojarasca), debido al mantenimiento y limpieza constante por los responsables de parques y jardines de la municipalidad provincial de Azángaro.

Tabla 17

Resultado del modelado de carbono, según el mapa de uso actual del suelo en el software InVEST

Description	Value	Units	Raw File
Total cur	75.50	Mg of C	E:/TESIS/invest carbono/resultados\tot_c_cur.tif

En la tabla 17 se muestra los resultados obtenidos a partir del modelamiento en el software InVEST, a partir de datos de la mapa del uso actual de suelos descargadas del geo servidor del MINAM, a partir de las imágenes ráster delimitados en ArcGIS y datos obtenidos del cálculo de carbono, el Software InVEST procesó los datos insertados en el cual se indica que en el área de estudio se tiene 75.50 t de carbono, dato en el que supera en 15.57 t al cálculo realizado, ya que el valor obtenido den los cálculos fue de que la captura de carbono en el boulevard de la avenida Los Próceres y La Cultura fue de 59.93 t, ello implica que se ha incurrido posiblemente en errores en la delimitación del uso actual de suelos, y los datos que no pueden estar actualizados en los bosques urbanos ya que en la clasificación del uso actual del suelo solo está catalogado como tejido urbano continuo. Es por ello, por lo que no se recomienda realizar el modelamiento en los bosques urbanos con el software InVEST.

En la región de Puno Ginez (2019) utilizó el software InVEST en el los bosques altoandinos de *Polylepis sp* en el distrito de Capaso en un área de 5 120.06 has, en cambio la presente investigación tiene 10 237.53 m² equivalente a 1.04 has, en la cual se puede encontrar una amplia diferencia. Es por ello por lo que no se recomienda utilizar el software InVEST en áreas pequeños y bosques urbanos, ya que en el mapa de uso actual de suelos en el ámbito urbano solo se identifica como tejido urbano continuo.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se logró determinar la producción de biomasa (aérea y subterránea) de *Pinus radiata* y *Cupressus macrocarpa* en el boulevard de la avenida Los Próceres y La Cultura, en el cual *Pinus radiata* presentó mayor producción de biomasa promedio por árbol con 511.58 kg con respecto a *Cupressus macrocarpa* cuya producción de biomasa promedio por árbol fue menor con 367.56 kg, con respecto a la producción de biomasa total, *Pinus radiata* y *Cupressus macrocarpa* tienen una producción de biomasa total de 36 321.89 kg y 18 378.19 kg respectivamente, en el cual se reveló un total de 54 700.08 kg de biomasa forestal.

Se determinó la captura de carbono y CO₂, a partir de la biomasa producidas por las especies estudiadas mediante ecuaciones alométricas, en el cual el carbono almacenado en la biomasa de *Pinus radiata* y *Cupressus macrocarpa* fue de 21 600.63 kg y 10 929.52 kg respectivamente. Asimismo, el CO₂ almacenado en la biomasa de *Pinus radiata* y *Cupressus macrocarpa* fue de 79 274.304 kg de CO₂ y 40 111.292 kg de CO₂ respectivamente.

Se estimó la cantidad carbono orgánico en el suelo asociado a las especies forestales de *Pinus radiata* y *Cupressus macrocarpa* establecidas en las jardineras del boulevard de la avenida Los Próceres y La Cultura, cuya área de estudio fue de 10 237.53 m², en tal área se evidenció un total de 27 395.71 kg de carbono almacenado en el suelo.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda realizar investigaciones a partir de los resultados de la presente investigación con enfoques de asimilación de CO₂, en donde se establezca un balance entre la cantidad de CO₂ emitido por fuentes móviles, el emitido por la respiración de los árboles y por la respiración humana, de esta manera considerando los diferentes flujos y comparando la capacidad que tiene el arbolado de la zona de estudio.

Se recomienda realizar estudios encaminados a desarrollar ecuaciones alométricas para el arbolado urbano y zonas altoandinas en específico, a partir de las actividades de las talas que se realizan en las ciudades por problemas fitosanitarios, por problemas de raíces por la obstrucción en el alcantarillado, por obstrucción de la vía, por los riesgos del asfalto y otros.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alpízar, W. (1997). *Caso para explicar los pormenores en la cuantificación de carbono en proyectos forestales, utilizando para ello las normas IPCC y la SGS*. Oficina Costarricense de Implementación Conjunta (OCIC). Versión en mimeógrafo.
- Amézquita, M. C. (2008). *Captura de carbono en sistemas de pasturas y silvopastoriles en cuatro ecosistemas de* (pp. 1–12). Foro Nacional Ambiental.
- Amiri, F. (2021). *Carbon storage potential of Avicennia marina as influenced by soil factors in National Park Nayband, South Coast of Iran*.pdf. 9.
- Arcos, T. (2018). *Valoración de captura de Bióxido de Carbono (CO₂) en coníferas , en el Parque estatal “ El Faro ”, Tlalmanalco , Estado*.
- Arone, O. (2019). *Modelo alométrico y la estimación de captura de carbono de las especies de Eucalyptus globulus y Pinus radiata, y su valoración económica, en la zona sur de Ayacucho- Perú, 2018*. Universidad Peruana Unión.
- Begazo, K. (2020). *Almacenamiento de carbono de tres especies forestales presentes en áreas verdes de la ciudad de Lima*.<http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/8371>.
- Bernachea, N. (2019). *Valoración Económica y Secuestro de CO₂ en Bosques Plantados de Eucalipto (Eucalyptus globulus labil) y Pino (Pinus radiata) de 11 años de edad en Cochatama, Distrito Huacar, Provincia Ambo Departamento Huánuco*.
- Bernal, P. (2018). *Estacion bulevar galerías – Chapinero 63 Espacios urbanos que transforman la experiencia del usuario en la ciudad*. 1–43.
- Bhattacharyya, S. S., Leite, F. F. G. D., Adeyemi, M. A., Sarker, A. J., Cambareri, G. S., Faverin, C., Tieri, M. P., Castillo-Zacarías, C., Melchor-Martínez, E. M., Iqbal, H. M. N., & Parra-Saldívar, R. (2021). *A paradigm shift to CO₂ sequestration to manage global warming – With the emphasis on developing countries*. *Science of the Total Environment*, 790. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148169>.

- Boongaling, C. (2021). Application of real options in carbon capture and storage literature: Valuation techniques and research hotspots. *Science of the Total Environment*, 75. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148683>.
- Braga, L. (2015). *Dióxido de carbono*. <http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos-DioxiCar.html>.
- Bustamante, J. (2017). *Determinación del stock de carbono aéreo, en una plantación de Theobroma grandiflorum (copoazú), Distrito de Inambari, Provincia de Tambopata, región Madre de Dios*. 1–95.
- Callo C., D. A. (2001). *Cuantificación de carbono secuestrado por algunos sistemas agroforestales y testigos en tres pisos ecológicos de la amazonia del Perú*. Tesis Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo Méx. 72 p.
- Cancino, J. O. (2012). *Dendrometría básica*. Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias Forestales. Departamento Manejo de Bosques y Medio Ambiente, (pp, 9-17) http://repositorio.udec.cl/bitstream/11594/407/2/Dendrometria_Basica.
- Carlin, D., & Macías, D. (2018). *Valoración de la captación de carbono para la conservación ambiental en el sector La Pita de la Parroquia Quiroga*.
- Carmona, J. (2017). “*Estimación del contenido y captura potencial de carbono en biomasa aérea, en la reserva de la biósfera del abra Tanchipa, San Luis Potosí, México.*” Universidad Nacional Autónoma de México.
- Carvajal, M., Mota, C., Alcaraz, C., & Iglesias, M. (2010). *Investigacion sobre la absorcion del CO₂ por los cultivos mas representativosde la region de Murcia*. Obtenido de http://www.lessco2.es/pdfs/noticias/ponencia_cisc_espanol.pdf.
- Casiano-Domínguez, M., Paz-Pellat, F., Rojo-Martínez, M., Covaleda-Ocon, S., & Aryal, D. R. (2018). El carbono de la Biomasa aérea medido en cronosecuencias: Primera estimación en Mexico. *Madera y Bosques*, 22(Special Issue), 1–22. <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2401894>.

- Castelli, K. R., Silva, A. M., & Dunning, J. B. (2021). Improving the biodiversity in urban green spaces: A nature based approach. *Ecological Engineering*, 173(September), 106398. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106398>.
- Chambi, C. (2001). *Valoración económica de secuestro de carbono mediante simulación aplicada a la zona boscosa del río Inambari y Madre de Dios*. Simposio Internacional Medición y Monitoreo de La Captura de Carbono En Ecosistemas Forestales., 1–20. Retrieved from http://www.uach.cl/procarbono/pdf/simposio_carbono/25_Chambi.PDF
- Chamorro, M., & Falconi, S. (2019). Potencial de secuestro de carbono por los árboles en los parques urbanos de los Distritos de El Tambo, Huancayo y Chilca. In *Universidad Nacional del Centro del Perú*.pdf.
- Chávez, J. (2018). *Captura y almacenamiento de carbono de los bosque estacionalmente secos de la costa norte (Lambayeque) , como mitigación frente al cambio climatico*. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3346>.
- Chmura, D. J., Guzicka, M., & Rożkowski, R. (2021). Accumulation of standing aboveground biomass carbon in Scots pine and Norway spruce stands affected by genetic variation. *Forest Ecology and Management*, 496(May). <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119476>.
- Comision Nacional Forestal (2010). *Pinus radiata*. Mexico: SIRE - Paquetes Tecnológicos. México.
- Cook, R. L., Binkley, D., Mendes, J. C. T., & Stape, J. L. (2014). *Soil carbon stocks and forest biomass following conversion of pasture to broadleaf and conifer plantations in southeastern Brazil*. *Forest Ecology and Management*, 324, 37–45. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.03.019>.
- Cortes, J. H., & Matias Barrientos, E. V. (2019). *Estimación de la capacidad potencial de fijación de CO₂ y producción de O₂, como servicio ecosistémico suministrado por el arbolado del parque los fundadores y el Boulevard de la avenida 40 en el municipio de Villavicencio (Meta)*. In *Universidad Santo Tomas* (Vol. 53, Issue 9).

- Crespo, X. (2021). *Cálculo de carbono secuestrado en la biomasa aérea en el parque metropolitano Guanguiltagua para apoyar iniciativas de disminución de huellas de carbono de la ciudad de Quito*. Universidad Tecnológica Indoamérica.
- Darin, C., Training, R. O., Kimberly, M., Deepa, G., Board, E., Principal, E., ... Co-investigador, N.(2014). *InVEST Users Guide*. Igarss 2014. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>.
- Devi, N. B., Lepcha, N. T., Mahalik, S. S., Dutta, D., & Tsanglao, B. L. (2021). *Urbansacred grove forests are potential carbon stores: A case study from Sikkim Himalaya*. *Environmental Challenges*, 4(March), 100072. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100072>.
- Downey, A. E., Groffman, P. M., Mejía, G. A., Cook, E. M., Sritairat, S., Karty, R., Palmer, M. I., & McPhearson, T. (2021). *Soil carbon sequestration in urban afforestation sites in New York City*. *Urban Forestry and Urban Greening*, 65. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127342>.
- E.P.A., (2021). Greenhouse gas reporting program report verification. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. https://www.epa.gov/sites/production/files/2021/documents/ghgrp_verification_factsheet.pdf.
- España, F. R. (2016). Construcción de modelos alométricos para la determinación de biomasa aérea en aliso de nepal (*Alnus Nepalensis* D. Don) en la zona de Intag, Andes del Norte del Ecuador (tesis pregrado), Universidad Técnica del Norte, Ecuador.
- FAO (2004). Inventario forestal nacional. Manual de campo. *Programa de Evaluación de Los Recursos Forestales. Documento de Trabajo 94/S*, 89.
- FAO. (2017). *Directrices para la silvicultura urbana y periurbana*. Roma.
- FAO (2018). *Foro Mundial sobre Bosques Urbanos*. *Unasylva, Revista Internacional Sobre Bosques y Actividades e Industrias Forestales*, 69, 1–88.

- Farinango, J. P. (2020). *Determinación de la relación de emisión y captura de carbono en el arbolado de las avenidas de cuatro parroquias urbanas del cantón Ibarra*. Universidad Técnica del Norte.
- Fernández L., Agda Yolima. (2017). *Revisión de métodos para la estimación de captura de carbono almacenadas en bosques naturales*.
- Fluker, R., & Olivera, V. S. (2016). *Captura de carbono en un sistema silvopastoril con aliso (Alnus acuminata), en el distrito de Molinopampa, Chachapoyas, Amazonas 2016*. 90.
- Gayoso, J., & Guerra, J. (2005). Contenido de carbono en la biomasa aérea de bosques nativos en Chile *. *Bosque*, 26(2), 33–38.
- Ghosh, A., Kumar, R. V, Manna, M. C., Singh, A. K., Parihar, C. M., Kumar, S., Roy, K., & Koli, P. (2021). Eco-restoration of degraded lands through trees and grasses improves soil carbon sequestration and biological activity in tropical climates. *Ecological Engineering*, 162(January), 106176. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106176>.
- Ginez, A. K. (2019). *Estimación del carbono total almacenado en los bosques altoandinos (Polylepis sp.) del distrito de Capaso mediante el modelo InVEST*. Universidad Nacional de Juliaca.
- Gómez, H., Pinto, R., Guevara, F., & Gonzalez, A. (2010). *Estimaciones de biomasa aérea y carbono almacenado en Gliricidia sepium (lam.) y Leucaena leucocephala (jacq.) y su aplicación en sistemas silvopastoriles*. *Informacion Tecnica Economica Agraria*, 106(4), 256–270.
- González, O. A. (2019). *Ecuaciones alométricas para la estimación de la biomasa en la parte aérea de la vegetación: caso de algunas especies de coníferas en la localidad de San Juan Cuauhtémoc, Tlahuapan, México*. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla Instituto.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6a. ed. --.). México D.F.: McGraw-Hill.

- Hernández-Ramos, A., A. Cano-Pineda, C. Flores-López, J. Hernández-Ramos, X. García-Cuevas, M. Martínez-Salvador y L. Martínez Á. (2019). *Modelos para estimar biomasa de Euphorbia antisyphilitica Zucc. en seis municipios de Coahuila*. Madera y Bosques 25(2):1-13. Doi: 10.21829/myb.2019.2521806.
- Huaco, M. (2020). *Estimación de la captura de CO2 de las especies forestales en la alameda de las tradiciones, centro poblado de Congata, Arequipa -2019*. Universidad Nacional de San Agustín.
- Igartúa, D. V., Moreno, K., Piter, J. C., & Monteoliva, S. (2016). *Densidad y propiedades mecánicas de la madera de Acacia melanoxylon Implantada en Argentina*. Maderas: Ciencia y Tecnología, 17(4), 809–820. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2015005000070>.
- INEI. (2017). INEI. *Censos Nacionales XII de Población y VII de Vivienda*. Resultados definitivos, Lima - Perú.
- IPCC. (2005). *La captación y el almacenamiento de dióxido de carbono*.
- IPCC. (2014). Cambio climático 2014: *Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Directores de publicación: R.K. Pachauri y A. Reisinger. Ginebra, Suiza. 104 p.
- Jiménez, A., & Peralta, M. (2019). *Carbono secuestrado en los árboles de dos parques de la ciudad de Cuenca*. Universidad de Azuay.
- Joshi, V. C., Negi, V. S., Bisht, D., Sundriyal, R. C., & Arya, D. (2021). Tree biomass and carbon stock assessment of subtropical and temperate forests in the Central Himalaya, India. *Trees, Forests and People*, 6, 100147. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2021.100147>.
- Juares, Y. (2014). *Dasometria*. (Y. Juarez, Ed.). Cochabamba, Bolivia.
- Kabish. (2007). *Lo que es un bulevar*. Kabish <https://kabish.wordpress.com/2007/03/31/lo-que-es-un-bulevar/>.

- Kalra, P. y Maynard, G. 1991. *Methods Manual for Forest soil and plant analysis*. (en línea)..
Disponible en: http://web.unbc.ca/~arocenaj/lab/kalra_maynard.pdf.
- Keeler, B.L., Hamel, P., McPhearson, T., et. al., (2019). *Social-ecological and technological factors moderate the value of urban nature*. *Nature Sustainability* 2, 29-38.
<https://doi.org/10.1038/s41893-018-0202-1>.
- Kern, C. C., Kenefic, L. S., Kuehne, C., Weiskittel, A. R., Kaschmitter, S. J., Amato, A. W. D., Dey, D. C., Kabrick, J. M., Palik, B. J., & Schuler, T. M. (2021). *Relative influence of stand and site factors on aboveground live-tree carbon sequestration and mortality in managed and unmanaged forests*. *Forest Ecology and Management*, 493(January), 119266. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119266>.
- Lachowicz, H., Bieniasz, A., & Wojtan, R. (2019). Variability in the basic density of silver birch wood in Poland. *Silva Fennica*, 53(1), 1–13. <https://doi.org/10.14214/sf.9968>.
- López, M., Sánchez, R. B., Contreras, J. R., Armenta, A. D., & Félix, J. A. (2017). *Captación de carbono en suelos asociados A Pinus greggii Engelm. Y Pinus oaxacana Mirov*. En la Mixteca Alta, Oaxaca. *Ecología Aplicada*, 16(2), 127. <https://doi.org/10.21704/rea.v16i2.1016>.
- López, S., Martínez, T., Benavides, H., García, M., & Ángeles, G. (2018). *Reservorios de biomasa y carbono en el arbolado de la primera sección de bosque Chapultepec, ciudad de México*. 24, 14.
- Ma, Q., Wang, X., Chen, F., Wei, L., Zhang, D., & Jin, H. (2021). Carbon sequestration of sand-fixing plantation of Haloxylon ammodendron in Shiyang River Basin_ Storage, rate and potential. *Global Ecology and Conservation*, 28, e01607. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01607>.
- Macdicken K.G., (1997). *A Guide to Monitoring Carbon Storage in Forestry and Agroforestry Projects*. *Forest Carbon Monitoring Program*. Winrock International Institute_for_Agricultural_Development_(WRI).http://www.winrock.org/REEP/PUBS_S.html.

- Mamani, W., & Fernández, C. (2017). Estudio comparativo en el enraizado de pino limón (*Cupressus macrocarpa* var. Goldcrest) y *Chamaecyparis* azul (*Chamaecyparis lawsoniana* var. Ellwoodii) con cuatro tipos de sustrato en cámara de subirrigación en el vivero Ekornat- Garden, La Paz. *Revista de La Carrera de Ingeniería Agronómica - UMSA*, 3(1), 11–22.
- Maquera, D. (2017). “Determinación del contenido de carbono por especie forestal en el bosque del CIP Camacani - UNA -Puno por titulación.” Universidad Nacional del Altiplano de Puno.
- Martínez, E., Fuentes, J. P., & Acevedo, E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de La Ciencia Del Suelo y Nutrición Vegetal*, 8(1), 68–96. <https://doi.org/10.4067/s0718-27912008000100006>.
- Matos, Y. R., Hernández, A. A., Pozo, S. O., González, D. N. R., & Rivera, J. R. D. (2018). Comportamiento del carbono retenido en el arbolado urbano en el sur de la ciudad de Guantánamo. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 6(3), 284–299. <http://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/348>.
- Mayrinck, R. C., Laroque, C. P., Amichev, B. Y., & Rees, K. Van. (2019). *Above- and Below-Ground Carbon Sequestration in Shelterbelt Trees in Canada : A Review*.
- Medina, C., Yasmy, M., & Bocardo, E. (2020). Valoración económica del secuestro de carbono en la puna seca del suroeste del Perú. *BOSQUES*, 2, 165–172.
- Menéndez-Miguélez, M., Calama, R., Del Río, M., Madrigal, G., López-Senespleda, E., Pardos, M., & Ruiz-Peinado, R. (2022). Species-specific and generalized biomass models for estimating carbon stocks of young reforestations. *Biomass and Bioenergy*, 161(April). <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2022.106453>.
- Mijangos, A. I. (2015). *Estimación del contenido y captura de carbono en la biomasa arbórea del bosque de San Juan de Aragón, Distrito Federal*. Universidad Nacional Autónoma de México.

- Ministerio del Ambiente (2014). Guía para el Muestreo de Suelos / Ministerio del Ambiente. Dirección General de Calidad Ambiental. En el marco del Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM, Estándares de calidad ambiental (ECA) para el suelo.
- Ministerio de Agricultura y Riego (2012). *Manual base para la Planificación y Ejecución de Inventarios Forestales en Bosques de Producción Permanente: Vol. 1.0.*
- Miranda Terán, A. J., & Cruzado Ruiz, I. F. (2020). *Determinación de la captura de carbono en pastos naturales altoandinos Stipa Ichu y Alchemilla vulgaris Tantachual Bajo, Cajamarca.* In Universidad Privada del Norte.
- Mirez, Y. (2021). *Estimación de biomasa y contenido de carbono en Pinus patula de diferentes edades en la jalca del distrito de Chalamarca, Chota – Cajamarca.*
- Misila, P., Winyuchakrit, P., Chunark, P., & Limmeechokchai, B. (2017). *GHG Mitigation Potentials of Thailand's Energy Policies to Achieve INDC Target.* Energy Procedia, 138, 913–918. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.10.139>.
- Mollocondo, M. N., & Aguilar, L. E. (2019). *Estimación de la captura de CO2 en plantaciones forestales de Polylepis sp, Cupressus spp y Eucaliptus globulus, para mitigar el cambio climático en el Centro de Producción San Juan de Potojani – Puno, 2018.* Universidad Peruana Unión.
- Morales, L. F. (2015). Estado actual del bosque de polylepis y su eficiencia en la captura de CO₂ en la provincia de Tarata, departamento de Tacna. *Ciencia & Desarrollo, 19*, 3643.
- Municipalidad Provincial de Azángaro. (2017). Plan de Desarrollo Concertado Azángaro al 2021. Municipalidad Provincial de Azángaro, Puno, Azángaro.
- Navar, J. (2009). *Allometric equations and expansion factors for tropical dry forest trees of eastern Sinaloa, Mexico.* Tropical and Subtropical Agroecosystems, 10, 45–52.
- Navarro, C., & Ruíz, J. (2016). *Estimación de captura de carbono de plantaciones de naranja en producción de diferentes edades en el distrito de Tingo de Saposoa, San Martín, 2019 (Vol. 15, Issue 2).*
- NOAA. (2020). NOAA Science Report 2019. 84. <https://nrc.noaa.gov/Council-Products/NOAA-Science-Report>.

- Olivier, J.G.J., Peters, J.A.H.W., (2020). *Trends in global CO₂ and total greenhouse gas emissions: report 2019*. PBL Netherlands Environ. Assess. Agency 2020, p. 70.
- Organización Meteorológica Mundial (14 de Agosto de 2013). "Boletín sobre los gases de efecto invernadero", OMM. Global Atmosphere Watch(9), 2. Obtenido de https://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/ghg/documents/GHG_Bulletin_No.9es.pdf.
- Page, J., Kåresdotter, E., Destouni, G., Pan, H., & Kalantari, Z. (2021). A more complete accounting of greenhouse gas emissions and sequestration in urban landscapes. *Anthropocene*, 34. <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2021.100296>.
- Palmar, J. (2019). Reglamento de Construcciones Sismorresistentes NSR 10 Tomo Dos: NSR-10 TOMO DOS. (R. D.-1. Dos, Ed.) RAM Ediciones. doi:9789589703366.
- Palomino, D. (2007). *Estimación del servicio ambiental de captura del CO₂ en la flora de Los Humedales de Puerto Viejo*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Pasher, J., McGovern, M., Khoury, M., & Duffe, J. (2014). *Assessing carbon storage and sequestration by Canada's urban forests using high resolution earth observation data*. *Urban Forestry and Urban Greening*, 13(3), 484–494. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2014.05.001>.
- Paustian, K., Lehmann, J., Ogle, S., Reay, D., Robertson, G.P., Smith, P., (2016). *Climate-smartsoils*. *Nature* 532 (7597), 49–57. <https://doi.org/10.1038/nature17174>.
- Peinado, R. R. (2013). *Modelos para la estimación del carbono en la biomasa de los sistemas forestales. Influencia de la selviCultura en los stocks de carbono*. Universidad de Valladolid.
- Peláez, F., & Ramirez Apolinario, E. (2018). *Estimación del potencial de captura de carbono en dos especies del género Polylepis, Recuay - Ancash*. *Rev. Tacajaya* 1 (1):17-27, Enero - Julio 2018, 1(1), 10.
- Peña, G. (2021). *Niveles de captura de carbono de las especies forestales maderables y no maderables de los parques - jardines de la ciudad de Moyobamba* (Vol. 15, Issue 2).

- Picchio, R., Tavankar, F., Rafie, H., Kivi, A. R., Jourgholami, M., & Lo Monaco, A. (2022). *Carbon Storage in Biomass and Soil after Mountain Landscape Restoration: Pinus nigra and Picea abies Plantations in the Hyrcanian Region*. *Land*, 11(3). <https://doi.org/10.3390/land11030422>.
- Pietrzykowski, M., & Daniels, W. L. (2014). *Estimation of carbon sequestration by pine (Pinus sylvestris L.) ecosystems developed on reforested post-mining sites in Poland on differing mine soil substrates*. *Ecological Engineering*, 73, 209–218. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.09.058>.
- Prado, J. A. (2015). *Plantaciones Forestales*.
- Pumasupa, M. R. (2018). “*Cuantificación de la captura de carbono de la especie forestal haplorhus peruviana carzo como servicio ambiental en el valle de Cinto, provincia Jorge Basadre, región Tacna*”. Universidad Privada de Tacna.
- Ramesh, T., Bolan, N.S., Kirkham, M.B., Wijesekara, H., Freeman II, O.W., Korres, N.E., Burgos, N.R., Travlos, I., Vurro, M., Salas-Perez, R., Ullah, H., (2019). *Soil organic carbon dynamics: Impact of land use changes and management practices: a review*. In: *Advances in Agronomy*. Academic Press Inc. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2019.02.001>.
- Ramírez, E., & Peláez, F. (2018). *Estimación del potencial de captura de carbono en dos especies del género Polylepis, Recuay - Ancash*. *Rev. Tacajaya 1 (1):17-27, Enero - Julio 2018, 1(1), 17–27*.
- Raven, P., Evert, R., & Eichhorn, S. (1992). *Biología de las plantas*. Reverté. DOI:9788429118421.
- Rodas-Zuluaga, L.I., Castañeda-Hernández, L., Castillo-Vacas, E.I., Gradiz-Menjivar, A., López-Pacheco, I.Y., Castillo-Zacarías, C., Bouilly, L., Iqbal, H.M.N., Parra-Saldívar, R., (2021). *Bio-capture and influence of CO2 on the growth rate and biomass composition of the microalgae Botryococcus braunii and Scenedesmus sp.* *J. CO2 Util.* 43, 101371. <https://doi.org/10.1016/j.jcou.2020.101371>.

- Rodríguez, Y. M., Ajete, A. H., Orta, S. P., Rondón, D. G., & Rivera, J. D. (2018). *Comportamiento del carbono retenido en el arbolado urbano en el sur de la ciudad de Guantánamo*. CFORES Revista Cubana de Ciencias Forestales, 1-16.
- Rogelj, J.; Den Elzen, M.; Höhne, N.; Fransen, T.; Fekete, H.; Winkler, H.; Schaeffer, R.; Sha, F.; Riahi, K.; Meinshausen, M. (2018). *Paris Agreement climate proposals need a boost to keep warming well below 2 °C*. Nature, 534, 631–639. [CrossRef] [PubMed].
- Rojas, F., & Torres, G. (2015). *Árboles del valle Central de Costa Rica: reproducción Ciprés*. Forestal mesoamericana kurú.
- Romero, F. (2015). *Determinación de la captura del carbono en dos sistemas de pastos mejorados en el distrito de san silvestre de Cochán provincia de San Miguel - Cajamarca*. Universidad Nacional de Cajamarca.
- Rubio, Y. (2021). *Análisis de la densidad básica de la madera de Pona (Socratea exorrhiza) y su categorización dentro de los grupos de la madera de acuerdo a la norma E.010, en el valle de Monzón, provincia de Huamalies, departamento de Huánuco-2019* (Vol. 1) [Universidad_de_Huánuco]http://repositorio.udh.edu.pe/bitstream/handle/123456789/238/uzuriaga_cespedes_ever_tesis_maestria_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Rugnitz, M., Mario, C., & Porro, R. (2009). *Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales* (pp. 1–92). Centro Internacional de Investigación Agroforestal.
- SERFOR. (2019). *Consideraciones básicas para el manejo forestal de bosques comunales*.
- Shahbaz, M., Alnouss, A., Ghiat, I., Mckay, G., Mackey, H., Elkhalfi, S., & Al-ansari, T. (2021). A comprehensive review of biomass based thermochemical conversion technologies integrated with CO₂ capture and utilisation within BECCS networks. *Resources, Conservation & Recycling*, 173 (January), 105734. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105734>.
- Schegel, B. ; Gayuso, J. y Guerra J. (2001). *Manual de Procedimientos para inventarios de Carbono en Ecosistemas Forestales*. Universidad Austral De Chile. Proyecto FONDEF D98I1076. Valdivia.

- Segura, M. 1997. *Almacenamiento y Fijación de Carbono en Quercus Costarricensis en un bosque de altura en la cordillera de Talamanca, Costa Rica*. Tesis de Licenciatura en Ciencias Forestales, Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar. Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica. 55 pp.
- Tabango, B. (2020). *Determinación del carbono aéreo almacenado en dos sistemas agroforestales en la granja de Yuyucocha*.
- Taipe, D. (2020). *Evaluación de la biomasa forestal urbana en el centro histórico de la ciudad del Cusco*. In *Google Academico* https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/50737/Cusma_GM-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Tallis, H. T., Ricketts, T., Guerry, A. D., Nelson, E., Ennaanay, D., Wolny, S., Olwero, N., Vigerstol, K., ... and Bernhardt, J. (2011). *INVEST 2.0 Beta User's Guide: Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs. Aquaculture*. Natural Capital Project.
- Tamang, B., Pala, N. A., Shukla, G., Rashid, M., Rather, M. M., Bhat, J. A., Masoodi, T. H., & Chakravarty, S. (2021). *Trees outside forest (TOFs) aids in mitigating global climatic change through carbon sequestration : Example from academic institutional landscapes. April 2019*.
- Tipper R. (1998). *Update on carbon offsets*. Tropical Forest Update 8(1):2-5.
- Toledo, A. (2020). Captura de carbono en la especie Tillandsia werdermanni y Tillandsia purpurea (siempre viva) en las Lomas Arrojadero situada entre los distritos de Inclán y Locumba, Tacna. In *Artículo de Financial Distress*. <http://www.upt.edu.pe/upt/web/home/contenido/100000000/65519409>.
- United States Department of Agriculture (USDA) Soil Survey Staff. 1999. *Soil taxonomy, a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys*. 2nd edition. Agricultural Handbook No. 436. Washington, DC. 869 pp.
- Vásques, H. (2020). *Caracterización de la vegetación arbórea con potencial de captura de carbono en el bosque de las Nuwas - Comunidad Nativa Shampuyacu, Awajun*. Universidad Católica Sedes Sapientiae.
- Vela, G., Blanco, J., & Rodríguez, M. (2012). Niveles de carbono orgánico total en el suelo

- de conservación del distrito federal, centro de México. *Investigaciones Geograficas*, 77, 18–30. <https://doi.org/10.14350/rig.31007>.
- Vilca, C. (2017). *Almacenamiento de CO₂ en biomasa aerea de las familias Arecaceae y Bombaceae de un ecosistema de Aguajal en Posic, San Martin-2017*. Lima.
- Yana, D. (2019). *Captura de dióxido de carbono en relación a la biomasa aérea de las especies forestales predominantes del ornato urbano en Juliaca, 2019*. Universidad Nacional de Juliaca.
- Yepes, Navarrete, Duque, Phillips, Cabrera, Álvarez, . . . Ordoñez. (2011). Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa - carbono en Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales-IDEAM. Bogotá D.C., Colombia.
- Yue, X., Zhang, T., & Shao, C. (2021). AgriCultural and Forest Meteorology Afforestation increases ecosystem productivity and carbon storage in China during the 2000s. *AgriCultural and Forest Meteorology*, 296(October 2020), 11. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108227>.
- Zapana, M. I. (2016). *Carbono Almacenado en la Biomasa Aérea de los Queñoales (Polylepis spp.) en el bosque de Motoni- San Cayetano ubicado en el distrito de Pucará- Region Puno* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano.
- Zavala, F. (2022). Azángaro, Perú. [Image 2022 CNES/Airbus satelital]. Google Earth pro [.https://earth.google.com/web/search/azangaro/@14.92450104_70.19723101,3859.69389846a,2790.09882922d,35y,171.61325114h,0t,0r/data=CnMaSRJDCiUweDkxNj djZDIxMTFmM2U5MjU6MHhlNTAxOGUyMTQwMWIyZjhhGUK7fyQ21S3Aic9h0uOjFHAKghhemFuZ2FybxgBIAEiJgokCftlHAmH3zhAEWMVKIqcriXAGWQX9bfGyFVAITm9x2FqkjHA](https://earth.google.com/web/search/azangaro/@14.92450104_70.19723101,3859.69389846a,2790.09882922d,35y,171.61325114h,0t,0r/data=CnMaSRJDCiUweDkxNj djZDIxMTFmM2U5MjU6MHhlNTAxOGUyMTQwMWIyZjhhGUK7fyQ21S3Aic9h0uOjFHAKghhemFuZ2FybxgBIAEiJgokCftlHAmH3zhAEWMVKIqcriXAGWQX9bfGyFVAITm9x2FqkjHA)
- Zelada, W. (2021). *Contenido de Carbono en la Biomasa arborea del área urbana del distrito de Piura*. Universidad Nacional de Piura.

ANEXOS

ANEXO 1: Instrumento de identificación, cuantificación, medición de las áreas de las jardineras y cálculo de la densidad poblacional

ANEXO I									
		UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA							
		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y FORESTAL							
INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN									
INSTRUMENTO DE IDENTIFICACIÓN, CUANTIFICACIÓN, MEDICIÓN DE JARDINERAS Y CÁLCULO DE LA DENSIDAD POBLACIONAL									
Autor del Instrumento: Flavio Maestry Zavala Arpi									
Investigador: Flavio Maestry Zavala Arpi									
Título de la Investigación: CAPTURA DE CO2 DE LAS ESPECIES FORESTALES <i>Pinus radiata</i> Y <i>Cupressus macrocarpa</i> EN LA ALAMEDA DE LA AVENIDA LOS PROCERES									
Lugar: Alameda de la Avenida Los Proceres, Azángaro									
Fecha de identificación: 02/02/2022									
Hora Inicio: 9:00AM		Hora final: 4:00PM				Altitud (msnm): 3873.5 msnm			
Código de la división (cuadrante)	N° de Jardinera	Nombre Común	Nombre científico	Familia	N° de individuos existentes	Especies recientemente establecidos	Total de Árboles	Área de la Jardinera (m ²)	Densidad Poblacional arborea (N°arb/m ²)
BC-DIV1	J1-D	Pino	<i>Pinus radiata</i>	Pinaceae	5	0	6	83.16	0.072
		Ciprés	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cupressaceae	1	0			
BC-DIV1	J2-I	Pino	<i>Pinus radiata</i>	Pinaceae	5	0	6	83.16	0.072
		Ciprés	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cupressaceae	1	0			
BC-DIV1	J3-D	Pino	<i>Pinus radiata</i>	Pinaceae	3	0	3	74.34	0.040
		Ciprés	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cupressaceae	0	0			
BC-DIV1	J4-I	Pino	<i>Pinus radiata</i>	Pinaceae	4	0	4	74.34	0.054
		Ciprés	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cupressaceae	0	0			
BC-DIV1	J5-D	Pino	<i>Pinus radiata</i>	Pinaceae	2	0	3	73	0.041
		Ciprés	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cupressaceae	1	0			
BC-DIV1	J6-I	Pino	<i>Pinus radiata</i>	Pinaceae	2	0	3	73	0.041
		Ciprés	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cupressaceae	1	0			
BC-DIV1	J7-D	Pino	<i>Pinus radiata</i>	Pinaceae	3	0	5	67.12	0.074
		Ciprés	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cupressaceae	2	0			
BC-DIV1	J8-I	Pino	<i>Pinus radiata</i>	Pinaceae	3	0	3	67.12	0.045
		Ciprés	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cupressaceae	0	0			
BC-DIV1	J9-D	Pino	<i>Pinus radiata</i>	Pinaceae	3	0	4	64.27	0.062
		Ciprés	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cupressaceae	1	0			
BC-DIV1	J10-I	Pino	<i>Pinus radiata</i>	Pinaceae	6	0	6	64.27	0.093
		Ciprés	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cupressaceae	0	0			
BC-DIV1	J11-D	Pino	<i>Pinus radiata</i>	Pinaceae	2	0	2	79.44	0.025
		Ciprés	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cupressaceae	0	0			
BC-DIV1	J12-I	Pino	<i>Pinus radiata</i>	Pinaceae	3	0	3	79.44	0.038
		Ciprés	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cupressaceae	0	0			
BC-DIV2	J13-D	Pino	<i>Pinus radiata</i>	Pinaceae	3	0	3	84.13	0.036
		Ciprés	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cupressaceae	0	0			
BC-DIV2	J14-I	Pino	<i>Pinus radiata</i>	Pinaceae	0	2	4	84.13	0.048
		Ciprés	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cupressaceae	2	0			
BC-DIV2	J15-D	Pino	<i>Pinus radiata</i>	Pinaceae	2	3	6	64.13	0.094
		Ciprés	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cupressaceae	1	0			
BC-DIV2	J16-I	Pino	<i>Pinus radiata</i>	Pinaceae	0	3	4	64.13	0.062
		Ciprés	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cupressaceae	1	0			
BC-DIV2	J17-D	Pino	<i>Pinus radiata</i>	Pinaceae	1	1	2	66.49	0.030
		Ciprés	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cupressaceae	0	0			
BC-DIV2	J18-I	Pino	<i>Pinus radiata</i>	Pinaceae	0	3	4	66.49	0.060
		Ciprés	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cupressaceae	1	0			
BC-DIV2	J19-D	Pino	<i>Pinus radiata</i>	Pinaceae	4	1	7	66.78	0.105
		Ciprés	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cupressaceae	2	0			

MUNICIPALIDAD PROVISIONAL DE AZÁNGARO
 OFICINA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y FORESTAL
 Unidad de Área Verde - 2022

.....
Jap. Francisco

Profesional responsable certificadora

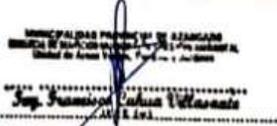
ANEXO 1									
		UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA							
		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y FORESTAL							
		INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN							
INSTRUMENTO DE IDENTIFICACIÓN, CUANTIFICACIÓN, MEDICIÓN DE JARDINERAS Y CÁLCULO DE LA DENSIDAD POBLACIONAL									
Autor del Instrumento: Flavio Maestry Zavala Arpi									
Investigador: Flavio Maestry Zavala Arpi									
Titulo de la Investigación: CAPTURA DE CO2 DE LAS ESPECIES FORESTALES <i>Pinus radiata</i> Y <i>Cupressus macrocarpa</i> EN LA ALAMEDA DE LA AVENIDA LOS PROCERES									
Lugar: Alameda de la Avenida Los Proceres, Azángaro									
Fecha de identificación: 02/02/2022									
Hora Inicio: 9:00AM			Hora final: 4:00PM			Altitud (msnm): 3873.5 msnm			
Código de la división (cuadrante)	N° de Jardinera	Nombre Común	Nombre científico	Familia	N° de individuos existentes	Especies recientemente establecidos	Total de Árboles	Área de la Jardinera (m ²)	Densidad Poblacional arborea (N°arb/m ²)
BC-DIV2	J20-I	Pino	<i>Pinus radiata</i>	Pinaceae	1	2	5	66.78	0.075
		Ciprés	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cupressaceae	2	0			
BC-DIV2	J21-D	Pino	<i>Pinus radiata</i>	Pinaceae	1	3	5	66.44	0.075
		Ciprés	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cupressaceae	1	0			
BC-DIV2	J22-I	Pino	<i>Pinus radiata</i>	Pinaceae	0	4	4	66.44	0.060
		Ciprés	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cupressaceae	0	0			
BC-DIV2	J23-D	Pino	<i>Pinus radiata</i>	Pinaceae	0	4	5	66.2	0.076
		Ciprés	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cupressaceae	1	0			
BC-DIV2	J24-I	Pino	<i>Pinus radiata</i>	Pinaceae	0	4	4	66.2	0.060
		Ciprés	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cupressaceae	0	0			
BC-DIV2	J25-D	Pino	<i>Pinus radiata</i>	Pinaceae	1	3	5	67.16	0.074
		Ciprés	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cupressaceae	1	0			
BC-DIV2	J26-I	Pino	<i>Pinus radiata</i>	Pinaceae	0	2	5	67.16	0.074
		Ciprés	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cupressaceae	2	1			
BC-DIV2	J27-D	Pino	<i>Pinus radiata</i>	Pinaceae	0	3	4	66.28	0.060
		Ciprés	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cupressaceae	1	0			
BC-DIV2	J28-I	Pino	<i>Pinus radiata</i>	Pinaceae	0	4	5	66.28	0.075
		Ciprés	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cupressaceae	1	0			
BC-DIV2	J29-D	Pino	<i>Pinus radiata</i>	Pinaceae	0	2	4	67.5	0.059
		Ciprés	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cupressaceae	2	0			
BC-DIV2	J30-I	Pino	<i>Pinus radiata</i>	Pinaceae	0	4	4	67.5	0.059
		Ciprés	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cupressaceae	0	0			
BC-DIV2	J31-D	Pino	<i>Pinus radiata</i>	Pinaceae	0	4	4	67.2	0.060
		Ciprés	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cupressaceae	0	0			
BC-DIV2	J32-I	Pino	<i>Pinus radiata</i>	Pinaceae	0	2	4	67.2	0.060
		Ciprés	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cupressaceae	2	0			
BC-DIV2	J33-D	Pino	<i>Pinus radiata</i>	Pinaceae	0	1	4	84.17	0.048
		Ciprés	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cupressaceae	3	0			
BC-DIV2	J34-I	Pino	<i>Pinus radiata</i>	Pinaceae	0	3	4	84.17	0.048
		Ciprés	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cupressaceae	1	0			
BC-DIV3	J35-C	Pino	<i>Pinus radiata</i>	Pinaceae	0	0	3	1607.5	0.002
		Ciprés	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cupressaceae	3	0			
BC-DIV3	J36-C	Pino	<i>Pinus radiata</i>	Pinaceae	2	0	10	2617.86	0.004
		Ciprés	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cupressaceae	8	0			
BC-DIV3	J37-C	Pino	<i>Pinus radiata</i>	Pinaceae	15	0	23	3596.55	0.006
		Ciprés	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cupressaceae	8	0			
Total					121	59	180	10237.53	0.0176

MUNICIPALIDAD PROYECTO AZÁNGARO
 MUNICIPIO DE JULIACA, COLOMBIA, CANTÓN AZÁNGARO
 Unidad de Aseo y Limpieza, Azángaro, 1 de Julio

Profesional responsable certificadora

ANEXO 2: Instrumento de recolección de información para el censo forestal de *Pinus radiata*

ANEXO 2									
		UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA							
		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y FORESTAL							
INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN "INVENTARIO FORESTAL"									
Instrumento de recolección de información para el inventario forestal de <i>Pinus radiata</i>									
Investigador: Flavio Maestry Zavala Arpi									
Titulo de la Investigación: CAPTURA DE CO2 DE LAS ESPECIES FORESTALES <i>Pinus radiata</i> Y <i>Cupressus macrocarpa</i> EN LA ALAMEDA DE LA AVENIDA LOS PRÓCERES DE LA PROVINCIA DE AZÁNGARO – 2021									
Lugar: Alameda de la Avenida Los Próceres									
Especie (Nombre Común): Pino									
Especie (Nombre Científico): <i>Pinus radiata</i>									
Fecha de inicio: 04/02/2022				Hora de inicio: 08:00AM			Hora de finalización: 05:00PM		
Fecha de finalización: 06/02/2022				Hora de inicio: 08:00AM			Hora de finalización: 06:00PM		
Altitud (msnm): 3873.5 msnm									
N°	Código de la división (cuadrante)	Código de la jardinera	Código de árbol	Coordenadas UTM		DAP (cm)	Altura total (m)	Altura del Fuste (m)	Observaciones
				Este	Norte				
1	BC-DIV1	BCD-J1	P1	371094	8350786	20.2	6.77	1.5	
2	BC-DIV1	BCD-J1	P2	371092	8350780	3.8	3.7	1.4	Árbol Joven
3	BC-DIV1	BCD-J1	P3	371093	8350775	8.5	4.97	1.5	
4	BC-DIV1	BCD-J1	P4	371092	8350771	5.2	3.8	1.5	
5	BC-DIV1	BCD-J1	P5	371093	8350768	20	3.48	1.7	
6	BC-DIV1	BCI-J2	P6	371101	8350783	50.6	14.29	1.97	
7	BC-DIV1	BCI-J2	P7	371099	8350772	16.2	7.01	1.53	
8	BC-DIV1	BCI-J2	P8	371100	8350771	16	8.47	1.6	
9	BC-DIV1	BCI-J2	P9	371100	8350768	6.5	5.5	1.45	
10	BC-DIV1	BCI-J2	P10	371096	8350767	34.4	8.67	1.43	
11	BC-DIV1	BCD-J3	P11	371095	8350755	49.5	11.58	1.66	
12	BC-DIV1	BCD-J3	P12	371093	8350744	26	6.36	1.9	
13	BC-DIV1	BCD-J3	P13	371095	8350741	28.1	6.32	2.27	
14	BC-DIV1	BCI-J4	P14	371099	8350755	49.5	15.27	2.1	
15	BC-DIV1	BCI-J4	P15	371099	8350747	46.2	11.22	1.6	
16	BC-DIV1	BCI-J4	P16	371100	8350739	8.2	5.3	1.57	
17	BC-DIV1	BCI-J4	P17	371101	8350739	8.3	4.44	1.53	
18	BC-DIV1	BCD-J5	P18	371095	8350722	4	2.45	1.43	
19	BC-DIV1	BCD-J5	P19	371093	8350709	37	6.68	2.43	
20	BC-DIV1	BCI-J6	P20	371102	8350714	35.5	8.38	2.43	
21	BC-DIV1	BCI-J6	P21	371102	8350707	34.9	8.37	2.45	
22	BC-DIV1	BCD-J7	P22	371097	8350691	46.5	7.13	2.33	
23	BC-DIV1	BCD-J7	P23	371098	8350686	48.3	7.82	2.21	
24	BC-DIV1	BCD-J7	P24	371096	8350682	58.7	7.76	1.64	
25	BC-DIV1	BCI-J8	P25	371100	8350695	37	11.15	1.6	
26	BC-DIV1	BCI-J8	P26	371104	8350688	48.2	19.72	3.23	
27	BC-DIV1	BCI-J8	P27	371100	8350679	55.9	16.7	2.54	
28	BC-DIV1	BCD-J9	P28	371103	8350663	54.25	17.27	1.83	
29	BC-DIV1	BCD-J9	P29	371097	8350653	14.1	4.22	1.36	
30	BC-DIV1	BCD-J9	P30	371099	8350648	16.7	8.51	1.41	
31	BC-DIV1	BCI-J10	P31	371106	8350665	20.3	8.61	1.83	
32	BC-DIV1	BCI-J10	P32	371107	8350662	15.4	6.03	1.59	
33	BC-DIV1	BCI-J10	P33	371107	8350658	10.5	3.98	1.8	
34	BC-DIV1	BCI-J10	P34	371106	8350656	16.25	8.73	2.2	



Profesional responsable certificadora

ANEXO 2									
		UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA							
		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y FORESTAL							
		INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN "INVENTARIO FORESTAL"							
Instrumento de recolección de información para el inventario forestal de <i>Pinus radiata</i>									
Investigador: Flavio Maestry Zavala Arpi									
Título de la Investigación: CAPTURA DE CO2 DE LAS ESPECIES FORESTALES <i>Pinus radiata</i> Y <i>Cupressus macrocarpa</i> EN LA ALAMEDA DE LA AVENIDA LOS PRÓCERES DE LA PROVINCIA DE AZÁNGARO – 2021									
Lugar: Alameda de la Avenida Los Próceres									
Especie (Nombre Común): Pino									
Especie (Nombre Científico): <i>Pinus radiata</i>									
Fecha de inicio: 04/02/2022				Hora de inicio: 08:00AM			Hora de finalización: 05:00PM		
Fecha de finalización: 06/02/2022				Hora de inicio: 08:00AM			Hora de finalización: 06:00PM		
Altitud (msnm): 3873.5 msnm									
N°	Código de la división (cuadrante)	Código de la jardinera	Código de árbol	Coordenadas UTM		DAP (cm)	Altura total (m)	Altura del Fuste (m)	Observaciones
				Este	Norte				
35	BC-DIV1	BCI-J10	P35	371103	8350654	15.1	8.38	2	
36	BC-DIV1	BCI-J10	P36	371103	8350649	22	7.9	2.1	
37	BC-DIV1	BCD-J11	P37	371095	8350632	13.5	8.33	2.43	
38	BC-DIV1	BCD-J11	P38	371096	8350625	71.7	17.66	1.96	
39	BC-DIV1	BCI-J12	P39	371105	8350633	20.75	8.15	1.66	
40	BC-DIV1	BCI-J12	P40	371106	8350627	21.3	8.51	1.7	
41	BC-DIV2	BCI-J12	P41	371106	8350626	31.7	8.58	1.87	
42	BC-DIV2	BCD-J13	P42	371101	8350529	52.8	18	1.91	
43	BC-DIV2	BCD-J13	P43	371100	8350513	6.5	2.63	1.4	
44	BC-DIV2	BCD-J13	P43-B	371102	8350495	NC	1.7	0.95	Árbol joven
45	BC-DIV2	BCD-J15	P44	371103	8350479	17.4	8.19	1.39	
46	BC-DIV2	BCD-J15	P44-B	371104	8350469	NC	1.59	0.89	Árbol joven
47	BC-DIV2	BCD-J17	P45	371105	8350459	50.8	16.23	1.97	
48	BC-DIV2	BCD-J19	P46	371108	8350436	36.4	11.95	1.85	
49	BC-DIV2	BCD-J19	P47	371106	8350429	35.05	15.08	2.12	
50	BC-DIV2	BCD-J19	P48	371110	8350418	45.02	17.11	1.45	
51	BC-DIV2	BCD-J19	P48-B	371111	8350423	8.34	2.89	1.39	Árbol muerto
52	BC-DIV2	BCI-J20	P49	371113	8350427	39.04	12.91	1.83	
53	BC-DIV2	BCD-J21	P50	371109	8350408	30.3	10.69	2.37	
54	BC-DIV2	BCD-J25	P51	371112	8350337	33.75	8.67	1.77	
55	BC-DIV3	BC-J36	P52	371137	8350029	40.4	17.97	2	
56	BC-DIV3	BC-J36	P53	371143	8350017	36.7	14.16	2.46	
57	BC-DIV3	BC-J37	P54	371159	8349802	33.5	15.4	1.84	
58	BC-DIV3	BC-J37	P55	371165	8349759	28.5	13.56	1.9	
59	BC-DIV3	BC-J37	P56	371165	8349757	33	8.94	1.58	
60	BC-DIV3	BC-J37	P57	371168	8349740	33.6	9.13	1.38	
61	BC-DIV3	BC-J37	P58	371168	8349734	30.2	9.05	1.92	
62	BC-DIV3	BC-J37	P59	371164	8349734	41.5	15.55	2.3	
63	BC-DIV3	BC-J37	P60	371169	8349729	31.6	14	1.5	
64	BC-DIV3	BC-J37	P61	371168	8349724	26.8	13.8	1.6	
65	BC-DIV3	BC-J37	P62	371164	8349723	39.25	14.22	1.93	
66	BC-DIV3	BC-J37	P63	371168	8349721	36.7	17.66	2.32	
67	BC-DIV3	BC-J37	P64	371170	8349714	35.6	14.35	1.9	
68	BC-DIV3	BC-J37	P65	371171	8349708	34.5	13.9	1.88	
69	BC-DIV3	BC-J37	P66	371172	8349686	48.4	16.84	2.33	
70	BC-DIV3	BC-J37	P67	371170	8349681	37.9	13.3	1.76	
71	BC-DIV3	BC-J37	P68	371169	8349678	44	14.35	1.38	



INSTITUTO NACIONAL DE PROFESIONALES DE AZÁNGARO
INSTITUTO NACIONAL DE PROFESIONALES DE AZÁNGARO
Unidad de Azángaro, Perú

Flavio Maestry Zavala Arpi
(S)

Profesional responsable certificadora

ANEXO 3: Instrumento de recolección de información para el censo forestal de *Cupressus macrocarpa*

ANEXO 3									
		UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA							
		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y FORESTAL							
		INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN "INVENTARIO FORESTAL"							
Instrumento de recolección de información para el inventario forestal de <i>Cupressus macrocarpa</i>									
Investigador: Flavio Maestry Zavala Arpi									
Título de la Investigación: CAPTURA DE CO2 DE LAS ESPECIES FORESTALES <i>Pinus radiata</i> Y <i>Cupressus macrocarpa</i> EN LA ALAMEDA DE LA AVENIDA LOS PRÓCEROS DE LA PROVINCIA DE AZÁNGARO – 2021									
Lugar: Alameda de la Avenida Los Próceros									
Especie (Nombre Común): Ciprés									
Especie (Nombre Científico): <i>Cupressus macrocarpa</i>									
Fecha de inicio: 04/02/2022				Hora de inicio: 08:00AM			Hora de finalización: 05:00PM		
Fecha de finalización: 06/02/2022				Hora de inicio: 08:00AM			Hora de finalización: 06:00PM		
Altitud (msnm): 3873.5 msnm									
N°	Código de la división (cuadrante)	Código de la Jardinería	Código del árbol	Coordenadas UTM		DAP (cm)	Altura total (m)	Altura del Fuste (m)	Observaciones
				Este	Norte				
1	BC-DIV1	BCD-J1	C1	371092	8350771	35.2	8.01	1.7	
2	BC-DIV1	BCI-J2	C2	371099	8350785	28.2	10.87	1.73	
3	BC-DIV1	BCD-J5	C3	371093	8350728	21.2	7.24	1.63	
4	BC-DIV1	BCI-J6	C4	371102	8350723	27	7.9	1.72	
5	BC-DIV1	BCD-J7	C5	371101	8350680	16.2	8.21	1.9	
6	BC-DIV1	BCD-J7	C6	371096	8350678	28.1	11.41	2.45	
7	BC-DIV1	BCD-J9	C7	371100	8350655	43.5	9.89	2.43	
8	BC-DIV2	BCI-J14	C8	371109	8350523	35.55	9.97	1.46	
9	BC-DIV2	BCI-J14	C9	371109	8350519	22.8	8.91	1.6	
10	BC-DIV2	BCD-J15	C10	371104	8350499	22.8	7	1.4	
11	BC-DIV2	BCI-J16	C11	371111	8350481	22	6.37	1.53	Pérdida prematura de hojas
12	BC-DIV2	BCI-J18	C12	371113	8350455	12.9	1.35	1.75	
13	BC-DIV2	BCD-J19	C13	371105	8350432	9.5	1.32	1.74	
14	BC-DIV2	BCD-J19	C13-B	371112	8350430	8.95	2.43	1.38	Árbol muerto
15	BC-DIV2	BCI-J20	C14	371117	8350428	29.75	9.68	1.7	
16	BC-DIV2	BCI-J20	C15	371112	8350419	22	8.7	1.4	Pérdida prematura de hojas
17	BC-DIV2	BCD-J21	C16	371109	8350400	21.5	6.15	1.53	Árbol muerto
18	BC-DIV2	BCD-J23	C17	371110	8350366	29.2	6.95	1.57	Árbol muerto
19	BC-DIV2	BCD-J25	C18	371109	8350348	25.25	7.73	1.5	Árbol muerto
20	BC-DIV2	BCI-J26	C19	371121	8350335	38.2	8.85	1.35	
21	BC-DIV2	BCI-J26	C20	371120	8350331	25.2	6.15	1.38	
22	BC-DIV2	BCD-J27	C21	371114	8350315	36.36	9.22	1.59	
23	BC-DIV2	BCI-J28	C22	371127	8350315	14.9	5.79	1.4	Árbol muerto
24	BC-DIV2	BCD-J29	C23	371115	8350286	16.5	5.28	1.83	Pérdida prematura de hojas
25	BC-DIV2	BCD-J29	C24	371117	8350281	22.3	8.85	1.82	



INSTITUTO NACIONAL DE PROMOCIÓN DE ALUMNOS
 INSTITUTO DE INVESTIGACIONES Y SERVICIOS TECNOLÓGICOS
 Unidad de Arboles Verdes, Cultivos y Jardines
Ing. Francisco Vilcasante
J.P. (s)
Profesional responsable certificadora

ANEXO 3									
		UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA							
		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y FORESTAL							
		INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN "INVENTARIO FORESTAL"							
Instrumento de recolección de información para el inventario forestal de <i>Cupressus macrocarpa</i>									
Investigador: Flavio Maestry Zavala Arpi									
Título de la Investigación: CAPTURA DE CO2 DE LAS ESPECIES FORESTALES <i>Pinus radiata</i> Y <i>Cupressus macrocarpa</i> EN LA ALAMEDA DE LA AVENIDA LOS PRÓCERES DE LA PROVINCIA DE AZÁNGARO – 2021									
Lugar: Alameda de la Avenida Los Próceres									
Especie (Nombre Común): Ciprés									
Especie (Nombre Científico): <i>Cupressus macrocarpa</i>									
Fecha de inicio: 04/02/2022				Hora de inicio: 08:00AM			Hora de finalización: 05:00PM		
Fecha de finalización: 06/02/2022				Hora de inicio: 08:00AM			Hora de finalización: 06:00PM		
Altitud (msnm): 3873.5 msnm									
N°	Código de la división (cuadrante)	Código de la Jardinería	Código del árbol	Coordenadas UTM		DAP (cm)	Altura total (m)	Altura del Fuste (m)	Observaciones
				Este	Norte				
26	BC-DIV2	BCI-J32	C25	371125	8350256	23	8	1.6	
27	BC-DIV2	BCI-J32	C26	371124	8350242	21.9	8.08	1.5	Tizón
28	BC-DIV2	BCD-J33	C27	371121	8350223	42.65	8.22	1.53	
29	BC-DIV2	BCD-J33	C28	371120	8350219	30.7	8.64	1.34	
30	BC-DIV2	BCD-J33	C29	371121	8350211	29.5	7.94	1.49	
31	BC-DIV2	BCI-J34	C30	371129	8350212	17.3	5.73	1.17	
32	BC-DIV3	BC-J35	C31	371128	8350173	27.8	4.48	1.3	
33	BC-DIV3	BC-J35	C32	371130	8350161	14.4	7.22	1.54	
34	BC-DIV3	BC-J35	C33	371125	8350154	12	3.63	1.33	Árbol recientemente retirado
35	BC-DIV3	BC-J36	C34	371139	8350052	35.2	10.95	1.57	
36	BC-DIV3	BC-J36	C35	371143	8350019	28.2	7.41	1.5	
37	BC-DIV3	BC-J36	C36	371140	8349983	33.45	8.06	1.4	
38	BC-DIV3	BC-J36	C37	371141	8349978	21	5.48	1.76	
39	BC-DIV3	BC-J36	C38	371140	8349976	30.45	8.23	1.6	
40	BC-DIV3	BC-J36	C39	371140	8349972	16	5.27	1.62	
41	BC-DIV3	BC-J36	C40	371156	8349919	30.4	7.6	1.53	
42	BC-DIV3	BC-J36	C41	371148	8349895	42.02	8.45	1.43	
43	BC-DIV3	BC-J37	C42	371152	8349876	19.5	7.8	1.034	
44	BC-DIV3	BC-J37	C43	371153	8349872	25.3	7.33	1.31	
45	BC-DIV3	BC-J37	C44	371155	8349873	24.3	8.24	1.73	
46	BC-DIV3	BC-J37	C45	371158	8349848	43.5	8.06	1.18	
47	BC-DIV3	BC-J37	C46	371162	8349816	35.4	8.1	1.58	
48	BC-DIV3	BC-J37	C47	371163	8349810	21.25	8.11	1.51	
49	BC-DIV3	BC-J37	C48	371159	8349797	13	5.68	2.13	
50	BC-DIV3	BC-J37	C49	371160	8349785	26	5.17	1.75	Árbol muerto

MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE AZÁNGARO
 DIRECCIÓN DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y GESTIÓN AMBIENTAL
 Unidad de Áreas Verdes, Arboles y Jardines

.....
Joy. Francisco Luis Villaneda
 A. T. (s)

.....
Profesional responsable certificadora

ANEXO 4: Instrumento de muestreo de y cálculo de la densidad aparente del suelo

ANEXO 4									
		UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y FORESTAL							
INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN									
Instrumento para muestreo y Cálculo de la Densidad Aparente del suelo									
Investigador: Flavio Maestry Zavala Arpi									
Título de la Investigación: CAPTURA DE CO ₂ DE LAS ESPECIES FORESTALES <i>Pinus radiata</i> Y <i>Cupressus macrocarpa</i> EN LA ALAMEDA DE LA AVENIDA LOS PRÓCERES DE LA PROVINCIA DE AZÁNGARO – 2021									
Lugar de muestreo: Alameda de la Avenida Los Próceres - Azángaro									
Autor del instrumento: Flavio Maestry Zavala Arpi									
Fecha de muestreo: 07/02/2022									
Fecha de Análisis del cálculo de la Densidad Aparente: 08/02/2022									
Nombre del Laboratorio: Grupo Nativa Exteriores									
Volumen del cilindro muestreador (cm ³):				633.816		Donde: r=5cm		h=8.07cm	
Código de la división (cuadrante)	Código de la muestra	Profundidad de muestreo (cm)	Peso seco (g)	Coordenadas UTM		Densidad Aparente (g/cm ³)	Potencial de Hidrógeno (pH)	Conductividad Eléctrica (mS/cm)	Textura del Suelo (USDA, 1999)
				Este	Norte				
BC-DIV1	S1	10 a 20	598.137	371094	8350715	0.944	7.62	0.8	Arcilloso
BC-DIV1	S2	20 a 30	628.92	371103	8350655	0.992	7.71	0.95	Arcilloso
BC-DIV1	S3	10 a 20	876.305	371099	8350520	1.383	7.92	0.34	Limoso, Franco-Limoso
BC-DIV1	S4	20 a 30	792.06	371113	8350454	1.250	7.85	0.53	Arcilloso-Limoso
BC-DIV2	S5	10 a 20	999.509	371110	8350391	1.577	7.95	0.26	Franco-Limoso
BC-DIV2	S6	20 a 30	918.971	371119	8350331	1.450	8.2	0.38	Franco-Limoso
BC-DIV2	S7	10 a 20	821.922	371114	8350271	1.297	7.61	0.51	Franco-Limoso
BC-DIV2	S8	20 a 30	1141.292	371132	8350216	1.801	8.23	0.15	Arenoso
BC-DIV3	S9	10 a 20	978.684	371100	8350772	1.544	8.26	0.21	Franco-Areno-Arcilloso

 <p> <small>MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE AZÁNGARO DIRECCIÓN DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y GESTIÓN AMBIENTAL Unidad de Área Verde, Paisajismo y Jardines</small> Sup. Francisco Nahua Villavante I.E. (M) Profesional Certificadora (Muestreo) </p>	 <p> <small>Ing. Flavio Maestry Zavala Arpi DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y FORESTAL ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y FORESTAL</small> Profesional Certificadora (Análisis) </p>
---	---

ANEXO 5: Instrumento de muestreo de madera verde y cálculo de la densidad básica de la madera

ANEXO 6										
	UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA									
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y FORESTAL									
	INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN									
Instrumento de Muestreo de Madera verde y cálculo de la densidad básica de la Madera										
Responsable: Flavio Maestry Zavaia Arpi										
Titulo de la Investigación: CAPTURA DE CO2 DE LAS ESPECIES FORESTALES <i>Pinus radiata</i> Y <i>Cupressus macrocarpa</i> EN LA ALAMEDA DE LA AVENIDA LOS PRÓCERES DE LA PROVINCIA DE AZÁNGARO – 2021										
Lugar: Alameda de la avenida los Próceres										
Investigador: Flavio Maestry Zavaia Arpi										
Instrumento de recolección de muestra: Barreno Haglof o Barreno de Pressler										
Fecha: 14/02/2022										
Hora de inicio: 10:00AM										
Hora de finalización: 4:00PM Altitud: 3873.5 msnm										
Nombre de Laboratorio para el análisis de la densidad básica de la Madera: MegaLaboratorio del Sur S.R.L. - Puno										
Fecha de inicio: 20/05/2022					Fecha de Finalización: 25/02/2021					
Código de Muestra	Datos del Árbol		Coordenadas UTM		Peso saturado (g)	Peso anhidro (g)	Máximo Contenido de Humedad	Densidad Básica de la Madera (g/cm ³)		
	Especie	Familia	Este	Norte						
M1-P6	<i>Pinus radiata</i>	Pinaceae	371101	8350783	3.7967	1.6171	1.348	0.500		
M2-C6	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cupressaceae	371096	8350678	3.3003	1.435	1.300	0.512		
M3-P42	<i>Pinus radiata</i>	Pinaceae	371101	8350678	4.5865	2.1033	1.181	0.545		
M4-P51	<i>Pinus radiata</i>	Pinaceae	371112	8350529	4.8115	2.2498	1.139	0.558		
M5-C24	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cupressaceae	371117	8350377	4.7378	2.0676	1.291	0.514		
M6-C29	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cupressaceae	371121	8350281	3.3658	1.5964	1.108	0.568		
M7-P52	<i>Pinus radiata</i>	Pinaceae	371137	8350211	4.7854	1.9232	1.488	0.467		
M8-C36	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cupressaceae	371140	8350029	4.8446	2.2934	1.112	0.566		
M9-C44	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cupressaceae	371155	8349983	3.4301	1.5191	1.258	0.523		
M10-P63	<i>Pinus radiata</i>	Pinaceae	371168	8349721	5.2357	2.1889	1.392	0.489		
Promedio de la densidad basica de la madera de <i>Pinus radiata</i>						0.512	g/cm ³			
Promedio de la densidad basica de la madera de <i>Cupressus macrocarpa</i>						0.537	g/cm ³			
 Muestra Profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal Sup. Juan Carlos Villacorta PUNO 2021			 Mega Laboratorio del Sur S.R.L. RUC: 20448773176			MEGA LABORATORIO DEL SUR S.R.L. WALTER MACHACA ZAMATA INGENIERO CIVIL CIP: N° 126148			Profesional Certificadora (muestreo) Profesional Certificado (Análisis)	

ANEXO 6: Área basal y volumen de las especies forestales de *Pinus radiata* en el boulevard de la avenida Los Próceres

Código de la división (cuadrante)	Código de la jardinera	Código de árbol	DN (m)	Área basal (m ²)	Altura total (m)	Volumen (m ³)
BC-DIV1	BCD-J1	P1	0.202	0.032	6.77	0.141
BC-DIV1	BCD-J1	P2	0.038	0.001	3.7	0.003
BC-DIV1	BCD-J1	P3	0.085	0.006	4.97	0.018
BC-DIV1	BCD-J1	P4	0.052	0.002	3.8	0.005
BC-DIV1	BCD-J1	P5	0.2	0.031	3.48	0.071
BC-DIV1	BCI-J2	P6	0.51	0.201	14.29	1.868
BC-DIV1	BCI-J2	P7	0.16	0.021	7.01	0.094
BC-DIV1	BCI-J2	P8	0.16	0.020	8.47	0.111
BC-DIV1	BCI-J2	P9	0.07	0.003	5.50	0.012
BC-DIV1	BCI-J2	P10	0.34	0.093	8.67	0.524
BC-DIV1	BCD-J3	P11	0.50	0.192	11.58	1.449
BC-DIV1	BCD-J3	P12	0.26	0.053	6.36	0.219
BC-DIV1	BCD-J3	P13	0.28	0.062	6.32	0.255
BC-DIV1	BCI-J4	P14	0.50	0.192	15.27	1.910
BC-DIV1	BCI-J4	P15	0.46	0.168	11.22	1.223
BC-DIV1	BCI-J4	P16	0.08	0.005	5.30	0.018
BC-DIV1	BCI-J4	P17	0.08	0.005	4.44	0.016
BC-DIV1	BCD-J5	P18	0.04	0.001	2.45	0.002
BC-DIV1	BCD-J5	P19	0.37	0.108	6.68	0.467
BC-DIV1	BCI-J6	P20	0.36	0.099	8.38	0.539
BC-DIV1	BCI-J6	P21	0.35	0.096	8.37	0.520
BC-DIV1	BCD-J7	P22	0.47	0.170	7.13	0.787
BC-DIV1	BCD-J7	P23	0.48	0.183	7.82	0.931
BC-DIV1	BCD-J7	P24	0.59	0.271	7.76	1.365
BC-DIV1	BCI-J8	P25	0.37	0.108	11.15	0.779
BC-DIV1	BCI-J8	P26	0.48	0.182	19.72	2.339
BC-DIV1	BCI-J8	P27	0.56	0.245	16.70	2.664
BC-DIV1	BCD-J9	P28	0.54	0.231	17.27	2.595
BC-DIV1	BCD-J9	P29	0.14	0.016	4.22	0.043
BC-DIV1	BCD-J9	P30	0.17	0.022	8.51	0.121
BC-DIV1	BCI-J10	P31	0.20	0.032	8.61	0.181
BC-DIV1	BCI-J10	P32	0.15	0.019	6.03	0.073
BC-DIV1	BCI-J10	P33	0.11	0.009	3.98	0.022
BC-DIV1	BCI-J10	P34	0.16	0.021	8.73	0.118
BC-DIV1	BCI-J10	P35	0.15	0.018	8.38	0.098
BC-DIV1	BCI-J10	P36	0.22	0.038	7.90	0.195
BC-DIV1	BCD-J11	P37	0.14	0.014	8.33	0.078
BC-DIV1	BCD-J11	P38	0.72	0.404	17.66	4.635
BC-DIV1	BCI-J12	P39	0.21	0.034	8.15	0.179
BC-DIV1	BCI-J12	P40	0.21	0.036	8.51	0.197
BC-DIV1	BCI-J12	P41	0.32	0.079	8.58	0.440
BC-DIV2	BCD-J13	P42	0.53	0.219	18.00	2.562
BC-DIV2	BCD-J13	P43	0.07	0.003	2.63	0.006
BC-DIV2	BCD-J15	P44	0.17	0.024	8.19	0.127
BC-DIV2	BCD-J17	P45	0.51	0.203	16.23	2.138
BC-DIV2	BCD-J19	P46	0.36	0.104	11.95	0.808
BC-DIV2	BCD-J19	P47	0.35	0.096	15.08	0.946
BC-DIV2	BCD-J19	P48	0.45	0.159	17.11	1.770
BC-DIV2	BCI-J20	P49	0.39	0.120	12.91	1.004
BC-DIV2	BCD-J21	P50	0.30	0.072	10.69	0.501
BC-DIV2	BCD-J25	P51	0.34	0.089	8.67	0.504
VALORES PROMEDIO			0.28	0.09	8.81	0.70
TOTALES	34 jardineras	54 Pinos	15.02	4.62	475.81	37.68

ANEXO 7: Área Basal y volumen de las especies forestales de *Pinus radiata* en el boulevard de la avenida La Cultura

Código de la división (cuadrante)	Código de la jardinera	Código de árbol	DN (m)	Área basal (m ²)	Altura total (m)	Volumen (m ³)
BC-DIV3	BC-J36	P52	0.40	0.128	17.97	1.497
BC-DIV3	BC-J36	P53	0.37	0.106	14.16	0.974
BC-DIV3	BC-J37	P54	0.34	0.088	15.40	0.882
BC-DIV3	BC-J37	P55	0.29	0.064	13.56	0.562
BC-DIV3	BC-J37	P56	0.33	0.086	8.94	0.497
BC-DIV3	BC-J37	P57	0.34	0.089	9.13	0.526
BC-DIV3	BC-J37	P58	0.30	0.072	9.05	0.421
BC-DIV3	BC-J37	P59	0.42	0.135	15.55	1.367
BC-DIV3	BC-J37	P60	0.32	0.078	14.00	0.714
BC-DIV3	BC-J37	P61	0.27	0.056	13.80	0.506
BC-DIV3	BC-J37	P62	0.39	0.121	14.22	1.118
BC-DIV3	BC-J37	P63	0.37	0.106	17.66	1.214
BC-DIV3	BC-J37	P64	0.36	0.100	14.35	0.928
BC-DIV3	BC-J37	P65	0.35	0.093	13.90	0.845
BC-DIV3	BC-J37	P66	0.48	0.184	16.84	2.014
BC-DIV3	BC-J37	P67	0.38	0.113	13.30	0.975
BC-DIV3	BC-J37	P68	0.44	0.152	14.35	1.418
VALORES PROMEDIO			0.36	0.10	13.89	0.97
TOTALES	3 jardineras	17 Pinos	6.1215	1.7705	236.1800	16.4602

ANEXO 8: Cuadro comparativo consolidado del área basal y volumen de *Pinus radiata* en el boulevard de la avenida Los Próceres y La Cultura

CUADRO CONSOLIDADO DE VALORES TOTALES						
Lugar del Boulevard	VALORES TOTALES DEL VOLUMEN DE <i>Pinus Radiata</i>					
	N° de jardineras	N° de árboles	DN (m)	Área basal (m ²)	Altura total (m)	Volumen total (m ³)
Av. Los Próceres	25	54	15.02	4.62	475.81	37.68
Av. La Cultura	12	17	6.1215	1.7705	236.18	16.4602
Resultado total	37	71	21.1415	6.3905	711.99	54.1402

ANEXO 9: Área basal y volumen de las especies forestales de *Cupressus macrocarpa* en el boulevard de la avenida Los Próceres

Código de la división (cuadrante)	Código de la Jardinera	Código de árbol	DN (m)	Área basal (m ²)	Altura total (m)	Volumen (m ³)
BC-DIV1	BCD-J1	C1	0.3520	0.097	8.01	0.507
BC-DIV1	BCI-J2	C2	0.2820	0.062	10.87	0.441
BC-DIV1	BCD-J5	C3	0.2120	0.035	7.24	0.166
BC-DIV1	BCI-J6	C4	0.2700	0.057	7.90	0.294
BC-DIV1	BCD-J7	C5	0.1620	0.021	8.21	0.110
BC-DIV1	BCD-J7	C6	0.2810	0.062	11.41	0.460
BC-DIV1	BCD-J9	C7	0.4350	0.149	9.89	0.955
BC-DIV2	BCI-J14	C8	0.3555	0.099	9.97	0.643
BC-DIV2	BCI-J14	C9	0.2280	0.041	8.91	0.236
BC-DIV2	BCD-J15	C10	0.2280	0.041	7.00	0.186
BC-DIV2	BCI-J16	C11	0.2200	0.038	6.37	0.157
BC-DIV2	BCI-J18	C12	0.1290	0.013	1.35	0.011
BC-DIV2	BCD-J19	C13	0.0950	0.007	1.32	0.006
BC-DIV2	BCD-J19	C13-B	0.0895	0.006	2.43	0.010
BC-DIV2	BCI-J20	C14	0.2975	0.070	9.68	0.437
BC-DIV2	BCI-J20	C15	0.2200	0.038	8.70	0.215
BC-DIV2	BCD-J21	C16	0.2150	0.036	6.15	0.145
BC-DIV2	BCD-J23	C17	0.2920	0.067	6.95	0.303
BC-DIV2	BCD-J25	C18	0.2525	0.050	7.73	0.252
BC-DIV2	BCI-J26	C19	0.3820	0.115	8.85	0.659
BC-DIV2	BCI-J26	C20	0.2520	0.050	6.15	0.199
BC-DIV2	BCD-J27	C21	0.3636	0.104	9.22	0.622
BC-DIV2	BCI-J28	C22	0.1490	0.017	5.79	0.066
BC-DIV2	BCD-J29	C23	0.1650	0.021	5.28	0.073
BC-DIV2	BCD-J29	C24	0.2230	0.039	8.85	0.225
BC-DIV2	BCI-J32	C25	0.2300	0.042	8.00	0.216
BC-DIV2	BCI-J32	C26	0.2190	0.038	8.08	0.198
BC-DIV2	BCD-J33	C27	0.4265	0.143	8.22	0.763
BC-DIV2	BCD-J33	C28	0.3070	0.074	8.64	0.416
BC-DIV2	BCD-J33	C29	0.2950	0.068	7.94	0.353
BC-DIV2	BCI-J34	C30	0.1730	0.024	5.73	0.088
VALORES PROMEDIO			0.25	0.06	7.45	0.30
TOTALES	34 jardineras	31 cipres	7.8011	1.7239743	230.84	9.4131913

ANEXO 10: Área basal y volumen de las especies forestales de *Cupressus macrocarpa* en el boulevard de la avenida La Cultura

Código de la división (cuadrante)	Código de la Jardinera	Código de árbol	DN (m)	Área basal (m ²)	Altura total (m)	Volumen (m ³)
BC-DIV3	BC-J35	C31	0.2780	0.061	4.48	0.177
BC-DIV3	BC-J35	C32	0.1440	0.016	7.22	0.076
BC-DIV3	BC-J35	C33	0.1200	0.011	3.63	0.027
BC-DIV3	BC-J36	C34	0.3520	0.097	10.95	0.693
BC-DIV3	BC-J36	C35	0.2820	0.062	7.41	0.301
BC-DIV3	BC-J36	C36	0.3345	0.088	8.06	0.460
BC-DIV3	BC-J36	C37	0.2100	0.035	5.48	0.123
BC-DIV3	BC-J36	C38	0.3045	0.073	8.23	0.390
BC-DIV3	BC-J36	C39	0.1600	0.020	5.27	0.069
BC-DIV3	BC-J36	C40	0.3040	0.073	7.60	0.359
BC-DIV3	BC-J36	C41	0.4202	0.139	8.45	0.762
BC-DIV3	BC-J37	C42	0.1950	0.030	7.80	0.151
BC-DIV3	BC-J37	C43	0.2530	0.050	7.33	0.240
BC-DIV3	BC-J37	C44	0.2430	0.046	8.24	0.248
BC-DIV3	BC-J37	C45	0.4350	0.149	8.06	0.779
BC-DIV3	BC-J37	C46	0.3540	0.098	8.10	0.518
BC-DIV3	BC-J37	C47	0.2125	0.035	8.11	0.187
BC-DIV3	BC-J37	C48	0.1300	0.013	5.68	0.049
BC-DIV3	BC-J37	C49	0.2600	0.053	5.17	0.178
VALORES PROMEDIO			0.263	0.061	7.119	0.305
TOTALES	3 jardineras	19 Ciprécés	4.992	1.150	135.270	5.786

ANEXO 11: Cuadro comparativo consolidado del área basal y volumen de *Cupressus macrocarpa* en el boulevard de la avenida Los Próceres y La Cultura

CUADRO CONSOLIDADO DE VALORES TOTALES						
Lugar del Boulevard	VALORES TOTALES DEL VOLUMEN DE <i>Cupressus macrocarpa</i>					
	N° de jardineras	N° de árboles	DN (m)	Area basal (m ²)	Altura total (m)	Volumen total (m ³)
Av. Los Próceres	34	31	7.8011	1.72397	230.84	9.41319
Av. La Cultura	3	19	4.992	1.15	135.27	5.786
Resultado total	37	71	12.7931	2.87397	366.11	15.19919

ANEXO 12: Informe de análisis del cálculo de la densidad básica de la madera emitido por el laboratorio Megalaboratorio del sur S.R.L.



MEGALABORATORIO DEL SUR S.R.L.

Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto, Análisis de Agua y Ensayos de Materiales



INFORME DE ANÁLISIS

Asunto : Cálculo de la densidad básica de la Madera
Procedencia : Alameda de la Avenida Los Próceres de la Provincia de Azángaro
Interesado : Flavio Maestry Zavala Arpi
Muestra : Tarugos de madera verde proporcionada por el interesado
Método : Máximo Contenido de Humedad (MCH)
Fecha de Recepción: 20 /02/2022
Fecha de Análisis : Del 20/02/2022 al 25/02/2022

Resultados de la Densidad Básica de la Madera

Código de Muestra	Datos del Árbol		Peso saturado (g)	Peso anhidro (g)	Máximo Contenido de Humedad	Densidad Básica de la Madera (g/cm ³)
	Especie	Familia				
M1-P6	<i>Pinus radiata</i>	Pinaceae	3.7967	1.6171	1.348	0.500
M2-C6	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cupressaceae	3.3003	1.435	1.300	0.512
M3-P42	<i>Pinus radiata</i>	Pinaceae	4.5865	2.1033	1.181	0.545
M4-P51	<i>Pinus radiata</i>	Pinaceae	4.8115	2.2498	1.139	0.558
M5-C24	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cupressaceae	4.7378	2.0676	1.291	0.514
M6-C29	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cupressaceae	3.3658	1.5964	1.108	0.568
M7-P52	<i>Pinus radiata</i>	Pinaceae	4.7854	1.9232	1.488	0.467
M8-C36	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cupressaceae	4.8446	2.2934	1.112	0.566
M9-C44	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cupressaceae	3.4301	1.5191	1.258	0.523
M10-P63	<i>Pinus radiata</i>	Pinaceae	5.2357	2.1889	1.392	0.489
Promedio de la densidad básica de la madera de <i>Pinus radiata</i>					0.512	g/cm ³
Promedio de la densidad básica de la madera de <i>Cupressus macrocarpa</i>					0.537	g/cm ³

MEGALABORATORIO DEL SUR S.R.L. Puno, 25 de febrero del 2022
WALTER MACHACA ZAMATA
 INGENIERO CIVIL-CIT Nº 126148
 ESPECIALISTA EN GEOTECNIA

DIRECCIÓN: JR. AYAVIRI N° 204 - PUNO
 Email: megalaboratorio@hotmail.com

Referencia: (i. Ancah 406)

Megalaboratorio del sur

megalaboratorio del sur

Celular: 951 960404
 998 998 948
 Teléfono: 051-355431

ANEXO 13: Constancia de uso de laboratorio (Megalaboratorio del sur S.R.L.)



MegaLaboratorio del Sur S.R.L.
RUC: 20448773176

MEGALABORATORIO DEL SUR S.R.L.

Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto, Análisis de Agua y Ensayos de Materiales

TRAZABILIDAD Y PATRONES DE REFERENCIA





CONSTANCIA DE USO DE LABORATORIO CON FINES DE INVESTIGACIÓN

El que suscribe, *ING. WALTER MACHACA ZAMATA* responsable del laboratorio, "**MegaLaboratorio del Sur S.R.L.**" con RUC 20448773176, hace constar que las muestras estudiadas para la determinación de la densidad básica de la madera, corresponden a las especies forestales de:

- *Pinus radiata* "Pino" (Familia Pinaceae)
- *Cupressus macrocarpa* "Cipres" (Familia Cupresseae)

Asimismo se acredita que el Sr. **FLAVIO MAESTRY ZAVALA ARPI**, ha realizado el cálculo de la determinación de la **DENSIDAD BÁSICA DE LA MADERA** en nuestros ambientes demostrando responsabilidad, compromiso y respeto con su trabajo de investigación denominado : **CAPTURA DE CO₂ DE LAS ESPECIES FORESTALES *Pinus radiata* Y *Cupressus macrocarpa* EN LA ALAMEDA DE LA AVENIDA LOS PRÓCEROS DE LA PROVINCIA DE AZÁNGARO – 2021** y con las instalaciones del laboratorio durante 5 días de forma permanente e interrumpida, haciendo el uso de los siguientes equipos e instrumentos:

- Horno, marca HACEB, modelo AS 60
- Balanza analítica de precisión 0.0001, marca OHAUS, modelo E12140
- Espátula
- Tenaz
- Pinzas
- Pocillo metálico

Asimismo, se adjunta los certificados actualizados de la calibración de los equipos utilizados por el investigador.

Se le expide la presente constancia a solicitud de la parte interesada para los fines y usos que crea por conveniente.

Puno, 25 de febrero del 2022.

Atentamente:

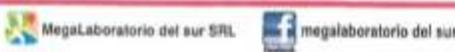


MEGALABORATORIO DEL SUR S.R.L.
WALTER MACHACA ZAMATA
RESPONSABLE GENERAL

.....

Responsable del laboratorio

DIRECCIÓN: JR. AYAVIRI N° 264 - PUNO (Referencia: Jr. Ancash 456)
Email: megalaboratorio@hotmail.com



Celular: 951 960404
998 998 948
Teléfono: 051-355431

ANEXO 14: Certificados de calibración de los equipos utilizados en Megalaboratorio del sur S.R.L.

Megalaboratorio del Sur S.R.L.
RUC: 2044873176

MEGALABORATORIO DEL SUR S.R.L.
Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto, Análisis de Agua y Ensayos de Materiales

TRAZABILIDAD Y PATRONES DE REFERENCIA

INACAL
METROLOGÍA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL SUR
UNIVERSIDAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS

Megalaboratorio del Sur S.R.L.
RUC: 2044873176

MEGALABORATORIO DEL SUR S.R.L.
WALTER MACHACA ZAMAT.
INGENIERO CIVIL, N° 126146
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA

DIRECCIÓN: J.L. AYAVIRI N° 264 - PUNO (Referencia: J.L. Ancash 456)
Email: megalaboratorio@hotmail.com

Megalaboratorio del sur SRL

megalaboratorio del sur

Celular: 951 980404
996 998 948
Teléfono: 051-355431



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CA - LM - 053 - 2022

Área de Metrología
Laboratorio de Masas

Página 1 de 4

1. Expediente	0395-2022
2. Solicitante	MEGALABORATORIO DEL SUR S.R.L.
3. Dirección	JR. AYAVIRI NRO. 264 URB. SAN ANTONIO PUNO - PUNO - PUNO
4. Equipo de medición	BALANZA ELECTRÓNICA
Capacidad Máxima	210 g
División de escala (d)	0.0001 g
Div. de verificación (e)	0.0010 g
Clase de exactitud	I
Marca	OHAUS
Modelo	E12140
Número de Serie	2656417890
Capacidad mínima	0.0020 g
Procedencia	U.S.A.
Identificación	NO INDICA
5. Fecha de Calibración	2022-02-03

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.

CALIBRATEC S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.

El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.

Fecha de Emisión

2022-02-07

Jefe del Laboratorio de Metrología



MANUEL ALEJANDRO ALIAGA TORRES

Sello



☎ 977 997 385 - 913 028 621
☎ 913 028 622 - 913 028 623
☎ 913 028 624

📍 Av. Chillon Lote 50 B - Comas - Lima - Lima
✉ comercial@calibratec.com.pe
🏢 CALIBRATEC SAC

Área de Metrología
Laboratorio de Masas

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CA - LM - 053 - 2022

Página 2 de 4

6. Método de Calibración

La calibración se realizó según el método descrito en el PC-001: "Procedimiento de Calibración de Balanzas de Funcionamiento No Automático Clase I y Clase II" del SNM- INACAL

7. Lugar de calibración

En las instalaciones del cliente.
JR. AYAVIRI NRO. 264 URB. SAN ANTONIO PUNO - PUNO - PUNO

8. Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	14.6 °C	14.4 °C
Humedad Relativa	35%	35%

9. Patrones de referencia

Los resultados de la calibración son trazables a la Unidad de Medida de los Patrones Nacionales de Masa de la Dirección de Metrología - INACAL en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medidas (SI) y el Sistema Legal de Unidades del Perú (SLUMP).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
ELICROM	JUEGO DE PESAS 1 mg a 1 kg (Clase de Exactitud: E2)	CCP-1020-004-21

10. Observaciones

- Se adjunta una etiqueta autoadhesiva con la indicación de CALIBRADO
- (**) Código indicada en una etiqueta adherido al equipo.



☎ 977 997 385 - 913 028 621
☎ 913 028 622 - 913 028 623
☎ 913 028 624

📍 Av. Chillón Lote 50 B - Comas - Lima - Lima
✉ comercial@calibratec.com.pe
🏢 CALIBRATEC SAC

Área de Metrología
Laboratorio de Masas

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CA - LM - 053 - 2022

Página 3 de 4

11. Resultados de Medición

INSPECCIÓN VISUAL

AJUSTE DE CERO	TIENE	PLATAFORMA	TIENE	ESCALA	NO TIENE
OSCILACIÓN LIBRE	TIENE	SISTEMA DE TRABA	TIENE	CURSOR	NO TIENE
		NIVELACIÓN	TIENE		

ENSAYO DE REPETIBILIDAD

Temperatura Inicial Final
14.0 °C 14.1 °C

Medición N°	Carga L1 = 100 g			Carga L2 = 200 g			
	I (g)	ΔL (mg)	E (mg)	I (g)	ΔL (mg)	E (mg)	
1	100.0000	0.05	0.00	200.0001	0.08	0.07	
2	100.0000	0.05	0.00	200.0000	0.05	0.00	
3	100.0000	0.05	0.00	200.0000	0.05	0.00	
4	100.0000	0.05	0.00	200.0000	0.05	0.00	
5	99.9998	0.02	-0.17	200.0000	0.05	0.00	
6	100.0000	0.05	0.00	200.0000	0.05	0.00	
7	100.0000	0.05	0.00	199.9998	0.02	-0.17	
8	99.9999	0.02	-0.07	200.0000	0.05	0.00	
9	100.0000	0.05	0.00	200.0000	0.05	0.00	
10	100.0000	0.05	0.00	200.0000	0.05	0.00	
Diferencia Máxima			0.17	Diferencia Máxima			0.24
Error Máximo Permissible			3	Error Máximo Permissible			3

ENSAYO DE EXCENTRICIDAD



Posición de las cargas

Temperatura Inicial Final
14.1 °C 14.1 °C



Posición de la Carga	Determinación del Error en Cero E ₀				Determinación del Error Corregido E _c				
	Carga Mínima*	I (g)	ΔL (mg)	E ₀ (mg)	Carga L (g)	I (g)	ΔL (mg)	E (mg)	E _c (mg)
1	0.0010	0.0011	0.09	0.06	60.0000	60.0000	0.05	0.00	-0.06
2		0.0010	0.05	0.00		60.0000	0.05	0.00	0.00
3		0.0010	0.05	0.00		59.9999	0.03	-0.06	-0.06
4		0.0009	0.30	-0.35		60.0000	0.05	0.00	0.35
5		0.0010	0.05	0.00		60.0001	0.09	0.06	0.06
Error máximo permisible									3

* Valor entre 0 y 10e

☎ 977 997 385 - 913 028 621
☎ 913 028 622 - 913 028 623
☎ 913 028 624

📍 Av. Chillon Lote 50 B - Comas - Lima - Lima
✉ comercial@calibratec.com.pe
🏢 CALIBRATEC SAC

Área de Metrología
Laboratorio de Masas

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CA - LM - 053 - 2022

Página 4 de 4

ENSAYO DE PESAJE

Temperatura	Inicial	Final
	14.1 °C	14.0 °C

Carga L (g)	CRECIENTES				DECRECIENTES				e.m.p.** (± mg)
	l (g)	ΔL (mg)	E (mg)	Ec (mg)	l (g)	ΔL (mg)	E (mg)	Ec (mg)	
0.0010	0.0010	0.05	0.00						1
0.0020	0.0020	0.05	0.00	0.00	0.0020	0.05	0.00	0.00	1
0.1000	0.1000	0.05	0.00	0.00	0.1000	0.05	0.00	0.00	2
10.0000	10.0000	0.05	0.00	0.00	10.0000	0.05	0.00	0.00	3
50.0000	50.0000	0.05	0.00	0.00	50.0000	0.05	0.00	0.00	3
80.0000	80.0000	0.05	0.00	0.00	80.0000	0.05	0.00	0.00	3
100.0000	100.0000	0.05	0.00	0.00	100.0000	0.05	0.00	0.00	3
120.0000	120.0000	0.05	0.00	0.00	120.0000	0.05	0.00	0.00	3
150.0000	149.9998	0.01	-0.16	-0.16	150.0000	0.05	0.00	0.00	3
180.0000	179.9999	0.02	-0.07	-0.07	180.0000	0.05	0.00	0.00	3
200.0000	199.9999	0.03	-0.08	-0.08	199.9999	0.02	-0.07	-0.07	3

** error máximo permisible

Leyenda: L: Carga aplicada a la balanza.
l: Indicación de la balanza.

ΔL: Carga adicional.
E: Error encontrado

E₀: Error en cero.
E_c: Error corregido.

Incertidumbre expandida de medición

$$U = 2 \times \sqrt{(0.000000 \text{ g}^2 + 0.0000000000 \text{ R}^2)}$$

Lectura corregida

$$R_{\text{CORREGIDA}} = R - 0.0000003 \text{ R}$$

12. Incertidumbre

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura k=2, el cual proporciona un nivel de confianza de aproximadamente 95%.

La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

Fin del documento



☎ 977 997 385 - 913 028 621
☎ 913 028 622 - 913 028 623
☎ 913 028 624

📍 Av. Chillon Lote 50 B - Comas - Lima - Lima
✉ comercial@calibratec.com.pe
🏢 CALIBRATEC SAC

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CA - LT - 022 - 2022

Área de Metrología
Laboratorio de Temperatura

Página 1 de 5

1. Expediente	0395-2022
2. Solicitante	MEGALABORATORIO DEL SUR S.R.L.
3. Dirección	JR. AYAVIRI NRO. 264 URB. SAN ANTONIO PUNO - PUNO - PUNO
4. Equipo	HORNO
Alcance Máximo	300 °C
Marca	HACEB
Modelo	AS 60
Número de Serie	98668604
Procedencia	COLOMBIA
Identificación	NO INDICA
Ubicación	NO INDICA

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.

CALIBRATEC S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.

El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.

Descripción	Controlador / Selector	Instrumento de medición
Alcance	20 °C a 300 °C	20 °C a 300 °C
División de escala / Resolución	0.1 °C	0.1 °C
Tipo	TERMOSTATO ANALÓGICO	TERMÓMETRO ANALÓGICO

5. Fecha de Calibración 2022-02-03

Fecha de Emisión Jefe del Laboratorio de Metrología

2022-02-07



MANUEL ALEJANDRO ALIAGA TORRES

Sello



☎ 977 997 385 - 913 028 621
☎ 913 028 622 - 913 028 623
☎ 913 028 624

📍 Av. Chillón Lote 50 B - Comas - Lima - Lima
✉ comercial@calibratec.com.pe
🏢 CALIBRATEC SAC

Área de Metrología
Laboratorio de Temperatura

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CA - LT - 022 - 2022

Página 2 de 5

6. Método de Calibración

La calibración se efectuó por comparación directa con termómetros patrones calibrados que tienen trazabilidad a la Escala Internacional de Temperatura de 1990 (EIT 90), se consideró como referencia el Procedimiento para la Calibración de Medios Isotérmicos con aire como Medio Termostático PC-018; 2da edición; Junio 2009, del SNM-INDECOPI.

7. Lugar de calibración

Las instalaciones del cliente.
JR. AYAVIRI NRO. 264 URB. SAN ANTONIO PUNO - PUNO - PUNO

8. Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	14.5 °C	14.5 °C
Humedad Relativa	36 %	36 %

9. Patrones de referencia

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado y/o Informe de calibración
MSG - LABORATORIO ACREDITADO REGISTRO: LC-038	TERMÓMETRO DE INDICACIÓN DIGITAL DE 10 CANALES TERMOPARES TIPO T - DIGISENSE	LTT21-0363
METROIL - LABORATORIO ACREDITADO REGISTRO: LC-001	THERMOHIGROMETRO DIGITAL BOECO MODELO: HTC-8	T-1774-2021

10. Observaciones

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación de **CALIBRADO**.
- La periodicidad de la calibración depende del uso, mantenimiento y conservación del instrumento de medición.



Área de Metrología
Laboratorio de Temperatura

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CA - LT - 022 - 2022

Página 3 de 5

11. Resultados de Medición

Temperatura ambiental promedio 14.5 °C
Tiempo de calentamiento y estabilización del equipo 2 horas
El termostato se seteo en 135 °C

PARA LA TEMPERATURA DE 110 °C

Tiempo (min)	Termómetro del equipo (°C)	TEMPERATURAS EN LAS POSICIONES DE MEDICIÓN (°C)										T prom (°C)	Tmax-Tmin (°C)
		NIVEL SUPERIOR					NIVEL INFERIOR						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
00	110.0	112.2	108.6	111.0	112.4	108.6	109.7	109.0	112.0	112.2	109.7	110.5	3.8
02	110.0	112.4	108.5	109.7	112.4	108.5	109.7	108.6	112.2	112.4	109.7	110.4	3.9
04	110.0	112.5	108.8	111.3	112.6	108.8	109.6	108.6	112.6	112.5	109.6	110.7	4.0
06	110.0	112.5	108.8	110.5	112.6	108.8	109.7	108.6	112.1	112.5	109.7	110.6	4.0
08	110.0	112.8	108.4	111.0	112.4	108.4	109.7	109.0	112.7	112.8	109.7	110.7	4.4
10	110.0	112.0	108.2	109.7	112.4	108.2	109.6	108.6	112.3	112.0	109.6	110.3	4.2
12	110.0	112.4	108.5	111.0	112.6	108.5	109.7	108.6	112.4	112.4	109.7	110.6	4.1
14	110.0	112.4	108.4	109.7	112.6	108.4	109.7	109.0	112.7	112.4	109.7	110.5	4.3
16	110.0	112.2	108.3	111.3	112.4	108.3	109.6	108.6	112.3	112.2	109.6	110.5	4.1
18	110.0	112.3	108.7	110.5	112.6	108.7	109.7	109.0	112.1	112.3	109.7	110.6	3.9
20	110.0	111.8	108.7	111.3	112.6	108.7	109.7	108.6	112.4	111.8	109.7	110.5	4.0
22	110.0	111.7	108.4	110.5	112.6	108.4	109.6	108.6	112.2	111.7	109.6	110.3	4.2
24	110.0	112.4	108.2	111.0	112.4	108.2	109.7	108.6	112.7	112.4	109.7	110.5	4.5
26	110.0	112.3	108.5	109.7	112.4	108.5	109.7	108.6	112.3	112.3	109.7	110.4	3.9
28	110.0	112.4	108.2	111.3	112.4	108.2	109.6	108.6	112.1	112.4	109.6	110.5	4.2
30	110.0	112.2	108.5	110.5	112.4	108.5	109.7	109.0	112.4	112.2	109.7	110.5	3.9
32	110.0	112.4	108.8	111.0	112.6	108.8	109.7	108.6	112.8	112.4	109.7	110.7	4.2
34	110.0	112.7	108.5	109.7	112.6	108.5	109.6	109.0	112.2	112.7	109.6	110.5	4.2
36	110.0	112.5	108.3	111.3	112.6	108.3	109.7	108.6	112.3	112.5	109.7	110.6	4.3
38	110.0	112.4	108.6	110.5	112.6	108.6	109.7	108.6	112.4	112.4	109.7	110.5	4.0
40	110.0	112.4	108.4	111.0	112.6	108.4	109.6	109.0	112.1	112.4	109.6	110.5	4.2
42	110.0	112.8	108.8	109.7	112.4	108.8	109.7	108.6	112.0	112.8	109.7	110.5	4.2
44	110.0	112.4	108.3	111.0	112.6	108.3	109.7	108.6	112.8	112.4	109.7	110.6	4.5
46	110.0	112.3	108.4	109.7	112.6	108.4	109.6	108.6	112.4	112.3	109.6	110.4	4.2
48	110.0	112.2	108.2	111.3	112.6	108.2	109.7	109.0	112.4	112.2	109.7	110.5	4.4
50	110.0	112.7	108.4	110.5	112.4	108.4	109.7	108.6	112.6	112.7	109.7	110.6	4.3
52	110.0	112.1	108.2	111.3	112.6	108.2	109.6	108.6	112.2	112.1	109.6	110.4	4.4
54	110.0	111.9	108.1	111.0	112.6	108.1	109.6	108.6	112.3	111.9	109.6	110.4	4.5
56	110.0	112.2	108.1	109.7	112.6	108.1	109.7	108.6	112.6	112.2	109.7	110.3	4.5
58	110.0	112.4	108.0	111.3	112.6	108.0	109.7	109.0	112.3	112.4	109.7	110.5	4.6
60	110.0	112.4	108.4	110.5	112.6	108.4	109.6	108.6	112.7	112.4	109.6	110.5	4.3
T.PROM	110.0	112.3	108.4	110.6	112.5	108.4	109.7	108.7	112.4	112.3	109.7	110.5	
T.MAX	110.0	112.8	108.8	111.3	112.6	108.8	109.7	109.0	112.8	112.8	109.7		
T.MIN	110.0	111.7	108.0	109.7	112.4	108.0	109.6	108.6	112.0	111.7	109.6		
DTT	0.0	1.1	0.8	1.6	0.2	0.8	0.1	0.4	0.8	1.1	0.1		



☎ 977 997 385 - 913 028 621
☎ 913 028 622 - 913 028 623
☎ 913 028 624

📍 Av. Chillon Lote 50 B - Comas - Lima - Lima
✉ comercial@calibratec.com.pe
🏢 CALIBRATEC SAC

Área de Metrología
Laboratorio de Temperatura

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CA - LT - 022 - 2022

Página 4 de 5

PARÁMETRO	VALOR (°C)	INCERTIDUMBRE EXPANDIDA (°C)
Máxima Temperatura Medida	112.8	18.3
Mínima Temperatura Medida	108.0	0.0
Desviación de Temperatura en el Tiempo	1.6	0.2
Desviación de Temperatura en el Espacio	4.1	13.8
Estabilidad Medida (±)	0.8	0.08
Uniformidad Medida	4.6	10.6

- T.PROM : Promedio de la temperatura en una posición de medición durante el tiempo de calibración.
T.prom : Promedio de las temperaturas en la diez posiciones de medición para un instante dado.
T.MAX : Temperatura máxima.
T.MIN : Temperatura mínima.
DTT : Desviación de Temperatura en el Tiempo.

Para cada posición de medición su "**desviación de temperatura en el tiempo**" DTT está dada por la diferencia entre la máxima y la mínima temperatura en dicha posición.

Entre dos posiciones de medición su "**desviación de temperatura en el espacio**" está dada por la diferencia entre los promedios de temperaturas registradas en ambas posiciones.

Incertidumbre expandida de las indicaciones del termómetro propio del Medio Isotermo : 0.06 °C

La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

La uniformidad es la máxima diferencia medida de temperatura entre las diferentes posiciones espaciales para un mismo instante de tiempo.

La Estabilidad es considerada igual a $\pm 1/2$ DTT.

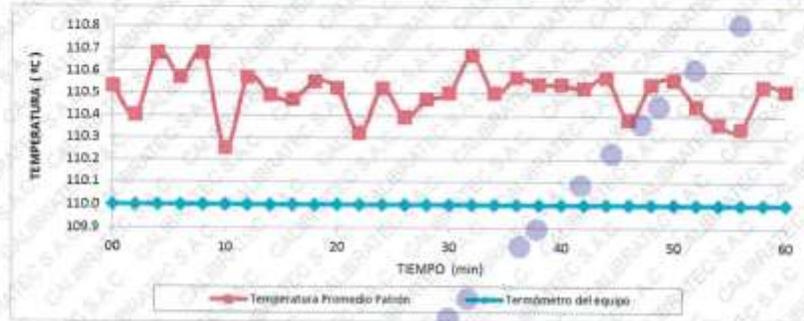
Durante la calibración y bajo las condiciones en que ésta ha sido hecha, el medio isotermo SI CUMPLE con los límites especificados de temperatura.



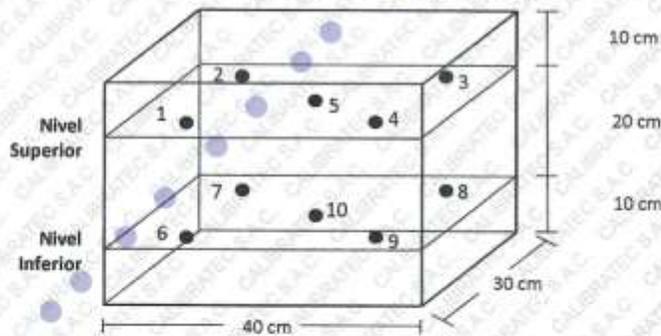
☎ 977 997 385 - 913 028 621
☎ 913 028 622 - 913 028 623
☎ 913 028 624

📍 Av. Chillón Lote 50 B - Comas - Lima - Lima
✉ comercial@calibratec.com.pe
🏢 CALIBRATEC SAC

DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURAS EN EL EQUIPO
TEMPERATURA DE TRABAJO: 110 °C ± 10 °C



DISTRIBUCIÓN DE LOS TERMOPARES



Los sensores 5 y 10 están ubicados en el centro de sus respectivos niveles.

Los sensores del 1 al 4 y del 6 al 9 se colocaron a 7 cm de las paredes laterales y a 7 cm del fondo y frente del equipo a calibrar.

12. Incertidumbre

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura $k=2$, el cual proporciona un nivel de confianza de aproximadamente 95%.

Fin del documento

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° T-1774-2021



Expediente N° 107133
Página 1 de 2

Fecha de emisión: 2021-06-23

- 1. Solicitante** : CALIBRATEC S.A.C.
- 2. Dirección** : Av. Chillon Lote 50b Urb. Chacaracero - Comas - Lima
- 3. Instrumento calibrado** : MEDIDOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD (TERMOHIGRÓMETRO)
- Marca / Fabricante** : BOECO
- Identificación** : PT-002 (*)
- Serie** : 170719424
- Modelo** : HTC-8
- Intervalo de indicación** : IN: -50 °C a 70 °C / OUT: -50 °C a 70 °C
10 % H.R. a 99 % H.R.
- Resolución** : IN: 0,1 °C / OUT: 0,1 °C
1 % H.R.
- Procedencia** : Alemania
- Ubicación** : No indica
- 4. Lugar de calibración** : En el Laboratorio de Temperatura y Humedad de METROIL S.A.C.
- 5. Fecha de calibración** : Del 2021-06-22 al 2021-06-23.
- 6. Método de calibración**
La calibración se realizó por comparación directa según el PC-MT-002 Rev. 00 "Procedimiento para Calibración de Medidores de Humedad y/o Temperatura" de METROIL S.A.C.

7. Trazabilidad

Los resultados de la calibración realizada tienen trazabilidad a los patrones nacionales del INACAL - DM, en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medida (SI) y el Sistema Legal de Unidades de Medida del Perú (SLUMP)

Código	Instrumento Patrón	Certificado de Calibración
IT-562	Termohigrómetro con incertidumbre del Orden desde 1,33 %H.R. a 2,06 %H.R.	LH-005-2021 / INACAL - DM
IT-332	Termómetro digital con incertidumbre del Orden de 0,09 °C	T-3270-2020 / METROIL S.A.C.
IT-333	Termómetro digital con incertidumbre del Orden de 0,09 °C	T-3271-2020 / METROIL S.A.C.

Los resultados del certificado son válidos sólo para el objeto calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto.

Se recomienda al usuario recalibrar el instrumento a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base en las características del trabajo realizado, el mantenimiento, conservación y el tiempo de uso del instrumento.

METROIL S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento o equipo después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales o internacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de METROIL S.A.C.

El certificado de calibración no es válido sin la firma del responsable técnico de METROIL S.A.C.



Ing. GERARDO A. GOICOCHEA DE LA CRUZ
Laboratorio de Calibración
C.I.P. : 171505

METROLOGÍA E INGENIERÍA LINO S.A.C.

Av. Venezuela N° 2040 - Lima 01 - Lima, Perú Central Telefónica: (511) 713-9080 / (511) 713-5656 / 999 048 181 Atención al Cliente: 975 193 739
Consulta Técnica: (511) 713-5610 / 975 402 445 / 965 403 256 E-mail: ventas@metroil.com.pe / Web: www.metroil.com.pe

8. Condiciones de calibración

Temperatura ambiental : Inicial : 22,4 °C Final : 24,1 °C
 Humedad relativa : Inicial : 58,4 % H.R. Final : 69,8 % H.R.

9. Resultados

PARA EL TERMÓMETRO INTERNO (Tipo IN)

INDICACIÓN DEL TERMÓMETRO (°C)	CORRECCIÓN (°C)	TCV (°C)	INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN (°C)
15,0	0,0	15,0	0,4
24,8	0,2	25,0	0,4
29,5	0,5	30,0	0,4

Temperatura Convencionalmente Verdadera (TCV) = Indicación del termómetro + Corrección

PARA EL HIGRÓMETRO

INDICACIÓN DEL HIGRÓMETRO (%H.R.)	CORRECCIÓN (%H.R.)	HRCV (%H.R.)	INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN (%H.R.)
35	0,0	35,0	2,8
57	3,0	60,0	2,8
87	3,0	90,0	2,8

Humedad Relativa Convencionalmente Verdadera (HRCV) = Indicación del higrómetro + Corrección

10. Observaciones

- Se colocó en el instrumento una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO", con identificación N° MA-06828-21
- Antes de la calibración no se realizó ningún tipo de ajuste.
- La incertidumbre de medición expandida reportada es la incertidumbre de medición estándar multiplicada por el factor de cobertura $k=2$ de modo que la probabilidad de cobertura corresponde aproximadamente a un nivel de confianza del 95 %.
- (*) Código de identificación indicado en una etiqueta adherida al instrumento.

FIN DEL DOCUMENTO

ANEXO 15: Informe de análisis del cálculo de Carbono Almacenado en el Suelo



LABORATORIO AMBIENTAL DE
AGUA SUELOS Y MECÁNICA DE SUELOS

ANÁLISIS
Flora - Cultivos Microbiología
Agua, Suelos, Alimentos
Medio Ambiente
Mecánica de Suelos y Obras



INFORME DE ANÁLISIS

Asunto : Cálculo del Carbono Almacenado en el Suelo
Procedencia : Alameda de la Avenida Los Próceres de la Provincia de Azángaro
Interesado : Flavio Maestry Zavala Arpi
Muestra : Suelos
Método : Walkley Black
Fecha de Recepción: 10/02/2022
Fecha de Análisis : Del 10/02/2022 al 15/02/2022

Resultados del Carbono Almacenado en el Suelo

N°	Código de la división (cuadrante)	Código de la muestra	Porcentaje de Materia Orgánica %MO	Carbono Almacenado en el Suelo (%CO)
1	BC-DIV1	S1	1.541	0.89385
2	BC-DIV1	S2	1.608	0.93271
3	BC-DIV1	S3	1.273	0.73840
4	BC-DIV1	S4	1.005	0.58295
5	BC-DIV2	S5	1.273	0.73840
6	BC-DIV2	S6	1.139	0.66067
7	BC-DIV2	S7	3.886	2.25406
8	BC-DIV2	S8	0.737	0.42749
9	BC-DIV3	S9	0.335	0.19432
Promedios			1.4219	0.8248

DIRECTOR GENERAL

Puno, 25 de febrero del 2022

ANEXO 16: Carta de autorización para la intervención en el boulevard de la avenida Los Próceres y La Cultura de la provincia de Azángaro



AÑO DEL FORTALECIMIENTO DE LA SOBERANÍA NACIONAL

Azángaro 28 de Enero del 2022.

CARTA DE AUTORIZACION.

SEÑOR : FLAVIO MAESTRY ZAVALA ARPL
Tesista de la Universidad Nacional de Juliaca.

ASUNTO : COMUNICA AUTORIZACION PARA INTERVENCION EN LA ALAMEDA LOS PROCERES PARA EJECUCION DEL PROYECTO DE TESIS.

Tengo a bien dirigirme a usted, a través de la presente manifiesto un cordial saludo, al mismo tiempo en atención a su solicitud, debo comunicarle que la Gerencia de Servicios Municipales y Gestión Ambiental, a través de la Unidad de Áreas Verdes Parques y Jardines de la Municipalidad Provincial de Azángaro. Se ha realizado el trámite respectivo ante las instancias correspondientes sobre su solicitud de Financiamiento de su Proyecto de Tesis denominado "CAPTURA DE CO2 DE LAS ESPECIES FORESTALES DE PINUS RADIATA Y CUPRESSUS MACROCARPA EN LA ALAMEDA DE LA AV. LOS PROCERES DE LA PROVINCIA DE AZANGARO 2021" el cual ha sido denegado por la Gerencia de Planeamiento y Presupuesto a través de Informe N°115-2022-MPA/GPP por no existir en la programación del Presupuesto Institucional.

Respecto a la solicitud de AUTORIZACION para la intervención en la Alameda Los Próceres para la ejecución de su Proyecto de Tesis, esta Gerencia en coordinación con el Jefe de la Unidad de Áreas Verdes Parques y Jardines le **BRINDA TODA LAS FACILIDADES PARA LA INTERVENCION EN LA ALAMEDA LOS PROCERES PARA LA EJECUCION DE SU PROYECTO DE TESIS DENOMINADO "CAPTURA DE CO2 DE LAS ESPECIES FORESTALES DE PINUS RADIATA Y CUPRESSUS MACROCARPA EN LA ALAMEDA DE LA AV. LOS PROCERES DE LA PROVINCIA DE AZANGARO 2021"**

Sin otro particular manifiesto a usted, mis consideraciones de estima personal.

Atentamente,



ANEXO 17: Panel fotográfico



Figura 21. Identificación y codificación en estudio



Figura 22. Codificación en estudio



Figura 23. Codificación y levantamiento topográfico de los puntos de estudio



Figura 24. Recolección de puntos con el GPS GARMIN-64 SC



Figura 25. Marcado de puntos para la recolección de muestras del suelo



Figura 26. Medida de altura para el DN (1.30m)



Figura 27. Medición del DN (diámetro a la altura de Pecho)



Figura 28. Apunte de datos obtenidos del DN



Figura 29. Medición de la altura del árbol con hipsómetro Harbin



Figura 30. Medición de la altura total del árbol



Figura 31. Recolección de puntos con el GPS GARMIN-64 SC



Figura 32. Medición del área total de la cobertura vegetal y suelo



Figura 33. Cavado del suelo para la recolección de muestras del suelo



Figura 34. Recolección muestras del suelo por el método del cilindro



Figura 35. Preparación de muestras del suelo para la determinación de carbono



Figura 36. Muestras de suelo debidamente codificadas y rotuladas en el laboratorio



Figura 37. Muestras de suelo para el análisis de carbono



Figura 38. Pesado de muestras de suelo en la balanza analítica



Figura 39. Muestras del suelo debidamente codificadas y rotuladas



Figura 40. Secado de muestras de suelo en la estufa



Figura 41. Secado de muestras en la estufa para la determinación de la densidad aparente



Figura 42. Molido del suelo seco y tamizado en la malla de 5mm



Figura 43. Muestras de suelo en matraces con dicromato de potasio



Figura 44. Dicromato de potasio en las muestras del suelo



Figura 45. Muestras de suelo para la determinación del pH y conductividad eléctrica



Figura 46. Determinación del pH con el pHmetro



Figura 47. Determinación de la conductividad eléctrica de las muestras del suelo



Figura 48. Valoración de las muestras del suelo para el cálculo del porcentaje de materia orgánica



Figura 49. Muestras de suelo valoradas para la determinación del porcentaje de materia orgánica



Figura 50. Extracción de muestras de madera verde



Figura 51. Extracción de muestras de madera con el barreno Haglof de tipo Pressler



Figura 52. Muestras de madera extraído con el extractor de barreno de Pressler



Figura 53. Muestras de madera debidamente codificadas de las especies de *Pinus radiata* y *Cupressus macrocarpa*

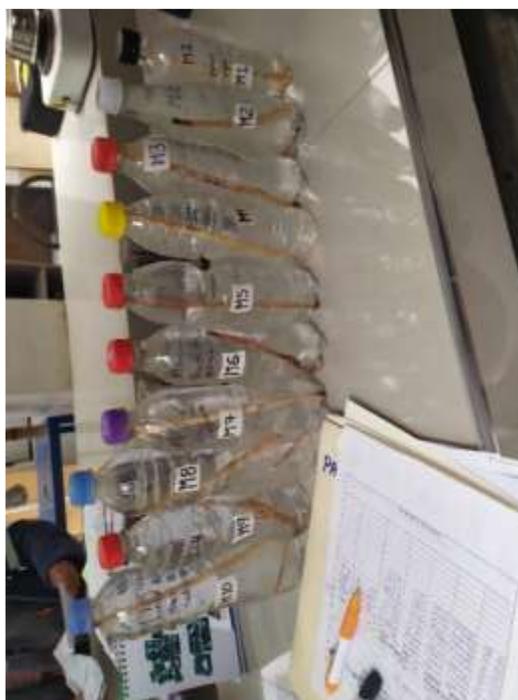


Figura 54. Saturación de las muestras de madera con agua potable



Figura 55. Muestras de madera de *Pinus radiata* y *Cupressus macrocarpa* en la estufa



Figura 56. Retiro de la estufa de las muestras de madera para la determinación de la densidad básica de la madera



Figura 57. Pesado de la madera seca para la determinación del peso específico básico de la madera



Figura 58. Secado de muestras secas de la madera para el cálculo del peso específico básico de la madera



Figura 59. Peso de la madera seca para la determinación del peso específico básico de la madera



Figura 60. Extracción de tarugos de madera para el cálculo del peso específico básico de la madera



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

“Universidad Pública de Calidad”