

**Universidad Católica de Santa María**  
**Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente**  
**Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental**



**ESTIMACIÓN DE LA ASIMILACIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO, EN CUATRO  
ESPECIES FORESTALES UBICADAS EN EL BOSQUE DEL COLEGIO MILITAR  
FRANCISCO BOLOGNESI, ALTO SELVA ALEGRE, AREQUIPA – 2019**

Tesis presentada por la Bachiller:

**Morales Pino, Carmen Trinidad**

para optar el Título Profesional de

**Ingeniera Ambiental**

Asesor:

**Dr. Blgo. Arenazas Rodríguez, Armando  
Jacinto**

**Arequipa- Perú**

**2021**

UCSM-ERP

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA**  
**INGENIERIA AMBIENTAL**  
**TITULACIÓN CON TESIS**  
**DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR**

Arequipa, 25 de Marzo del 2021

**Dictamen: 001151-C-EPIA-2021**

Visto el borrador del expediente 001151, presentado por:

**2013223012 - MORALES PINO CARMEN TRINIDAD**

Título:

**ESTIMACIÓN DE LA ASIMILACIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO, EN CUATRO ESPECIES FORESTALES UBICADAS EN EL BOSQUE DEL COLEGIO MILITAR FRANCISCO BOLOGNESI, ALTO SELVA ALEGRE, AREQUIPA - 2019**

Nuestro dictamen es:

**APROBADO**

**2829 - ARENAZAS RODRIGUEZ ARMANDO JACINTO**  
**DICTAMINADOR**



**3124 - CAMPOS OLAZAVAL LIZBETH MARIANELLA**  
**DICTAMINADOR**



**3196 - CHANOVE MANRIQUE ANDREA MARIETA**  
**DICTAMINADOR**



### *Dedicatoria*

*Dedicado a mis amados padres por enseñarme a persistir y ver siempre el lado bueno de toda existencia, por enseñarme a conectarme con la naturaleza y reconocer mi ser interno.*

*A mi hermano, el chatito, por su apoyo constante, por compartir sus experiencias conmigo, aprendo mucho de ti cada día, eres mi guía.*

*A mis queridos amigos de toda la vida, por hacer cada día más mágico y divertido que el anterior, y en especial al universo por permitir que cada paso que damos nos conduzca a nuevos y mejores caminos.*



### *Agradecimientos*

*Agradezco a mis padres y a mi hermano Julito, por apoyarme siempre y por su amor.*

*A mis personitas especiales, Luis Mayta (Luchito), Gustavo, Gerson, Gretta, Fai, Yami, Hilda, Danae, Jesh, Sol y Yudith por su amistad de tantos años, su energía y su motivación, los llevo en mi corazón.*

*Agradezco a Sociedad Minera Cerro Verde por permitirme utilizar sus laboratorios del Vivero de Uchumayo y sus equipos, para la realización de la presente investigación, en especial al Blgo. Edwin Bustamante.*

*A Conexxa Perú, en especial al Ing. Elio Ponce, por la oportunidad que me dió de pertenecer a su equipo, a las estimadas señoras del vivero, Nataly, Marisol, Juana, Eva y Lucy por su apoyo en los trabajos de campo, al Blgo. Felix Amache por su apoyo, a mis amigos Liliana, Milagros y David, por acompañarme en la ejecución de los trabajos de campo y por sus consejos y recomendaciones.*

*A mi asesor, el Dr. Armando Arenazas, por guiarme en la investigación y por su comprensión.*

*Al Colegio Militar Francisco Bolognesi, en especial a su director, por permitirme realizar la investigación en su bosque y darme las facilidades para la toma de muestras y mediciones.*

*A la Sra. Silvana Uyen, por su apoyo, su energía, su impulso y su amor por el bosque.*

*A la Sra. Carmen Pacco y al Sr. Jamer, por guiarme y enseñarme sobre el manejo del bosque y sus valiosos consejos.*

## Resumen

El objetivo general del presente estudio fue estimar la asimilación de dióxido de carbono en cuatro especies forestales entre nativas (*Schinus molle* L. y *Jacaranda acutifolia* Bonpl.) e introducidas (*Fraxinus americana* L. y *Acacia saligna* (Labill.) H.L. Wendl) ubicadas en el bosque del Colegio Militar Francisco Bolognesi, Alto Selva Alegre, Arequipa.

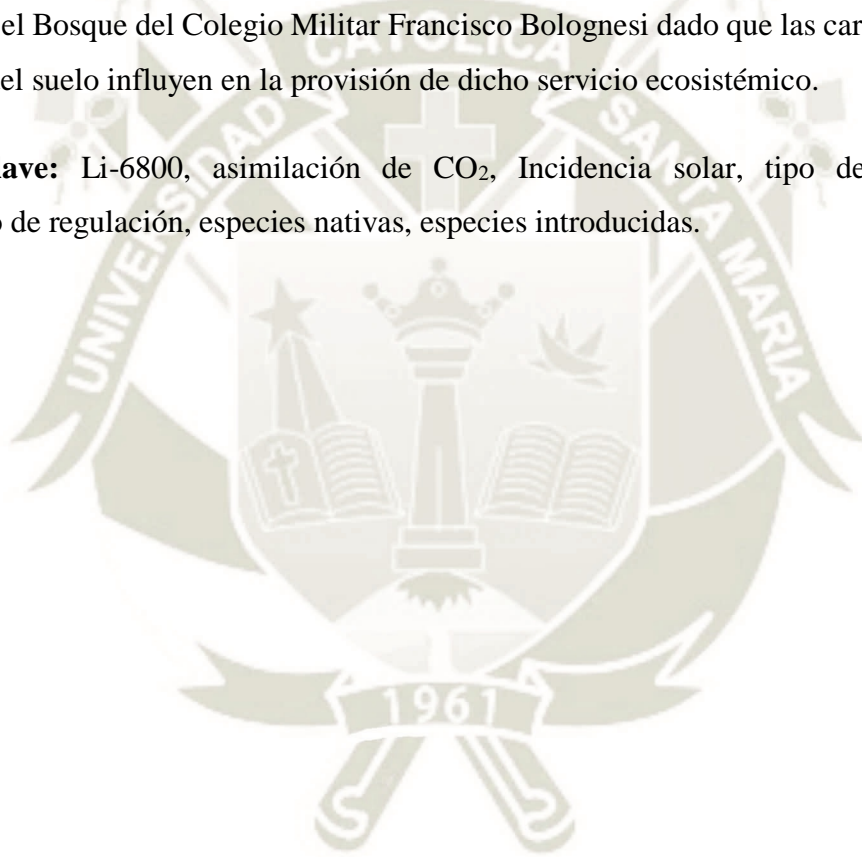
Los muestreos fueron realizados en el mes de setiembre del año 2019, es decir en la temporada seca, previa delimitación de las ocho zonas de muestreo, las cuales se caracterizaron por presentar individuos de la misma especie, edad y condiciones de manejo, pero con diferencias en su crecimiento, por lo que se asignaron dos zonas a cada especie, seguidamente se realizó un inventario forestal para determinar los individuos de muestreo que se encuentren dentro del rango promedio de altura total, diámetro a la altura de pecho y diámetro de fronda, haciendo un total de 48 individuos de muestreo (seis individuos por cada una de las ocho zonas), de los que se obtuvieron muestras para su determinación taxonómica, así mismo se tomaron muestras de suelo para determinar sus características físicas, químicas y de capacidad de intercambio catiónico.

Para la determinación de la incidencia solar y de la tasa de asimilación de dióxido de carbono se utilizó el Equipo de fotosíntesis portable Li-6800, el cual de forma no invasiva es capaz de medir diversas variables relacionadas con el proceso fotosintético, estas mediciones se hicieron en cinco momentos del día a intervalos de dos horas para abarcar el mayor periodo solar, iniciando a las 8:00 h y culminando a las 16:00 h.

Los resultados mostraron que los individuos presentes en la zona 1 de jacaranda y de molle, es decir especies nativas, presentan el mayor promedio diario de asimilación de CO<sub>2</sub> con 5.18  $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2.\text{s}$  y 4.87  $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2.\text{s}$ , respectivamente, luego la zona 1 y 2 de fresno con 4.68  $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2.\text{s}$  y 3.93  $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2.\text{s}$ , a continuación, la zona 2 de mimosa con 3.41  $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2.\text{s}$ , seguida por la zona 1 de mimosa con 2.94  $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2.\text{s}$ , seguidamente se encuentra la zona 2 de molle con 2.31  $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2.\text{s}$  y en último lugar se tiene a la zona 2 de jacaranda con 1.72  $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2.\text{s}$ , concluyendo que la ausencia de ciertos elementos nutritivos, así como el pH y la textura de suelo limitarían el adecuado rendimiento de las especies y la incidencia solar reduce la tasa de asimilación de CO<sub>2</sub> pues a las 12:00 horas, momento en el que la incidencia solar registraba

su valor más alto durante el día (1797.26  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ ), se observó un descenso general en la asimilación de  $\text{CO}_2$  por parte de todos individuos muestreados, así mismo se concluye con que la asimilación de  $\text{CO}_2$  es el proceso inicial en la producción del servicio ecosistémico de regulación denominado Secuestro y Almacenamiento de Carbono, el cual es brindado por las especies evaluadas del Bosque del Colegio Militar Francisco Bolognesi, por lo que es necesaria esta información para su conservación y protección, así mismo es útil para posteriores estudios sobre mitigación del cambio climático pues brinda información sobre la asimilación de  $\text{CO}_2$  en ecosistemas urbanos, es por ello que se recomienda brindarle un adecuado manejo a los suelos presentes en el Bosque del Colegio Militar Francisco Bolognesi dado que las características físico – químicas del suelo influyen en la provisión de dicho servicio ecosistémico.

**Palabras clave:** Li-6800, asimilación de  $\text{CO}_2$ , Incidencia solar, tipo de suelo, servicio ecosistémico de regulación, especies nativas, especies introducidas.



## Abstract

The general objective of this study was to estimate the assimilation of carbon dioxide in four forest species between native (*Schinus molle* L. and *Jacaranda acutifolia* Bonpl.) And introduced (*Fraxinus americana* L. and *Acacia saligna* (Labill.) HL Wendl) located in the forest of the Francisco Bolognesi Military College, Alto Selva Alegre, Arequipa.

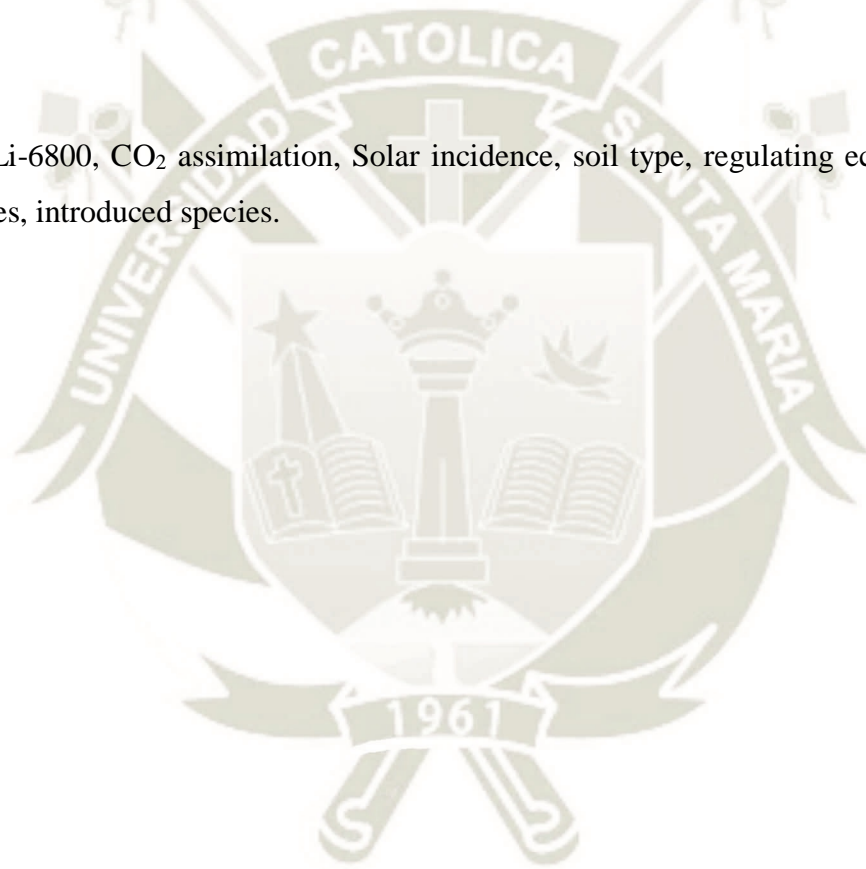
The samplings were carried out in the month of September 2019, that is, in the dry season, after delimiting the eight sampling zones, which were characterized by presenting individuals of the same species, age and management conditions, but with differences. in its growth, for which two zones were assigned to each species, then a forest inventory was carried out to determine the sampling individuals that are within the average range of total height, diameter at breast height and diameter of frond, making a total of 48 sampling individuals (six individuals for each of the eight zones), from which samples were obtained for taxonomic determination, as well as soil samples to determine their physical, chemical and cation exchange capacity characteristics .

To determine the solar incidence and the carbon dioxide assimilation rate, the Li-6800 portable photosynthesis equipment was used, which in a non-invasive way and through sampling cameras with infrared gas sensors and a photodiode is capable of Measuring various variables related to the photosynthetic process, these measurements were made at five times of the day at two-hour intervals to cover the longest solar period, starting at 8:00 h. and culminating at 16:00 h.

The results showed that the individuals present in zone 1 of jacaranda and molle, that is, native species, present the highest daily average of CO<sub>2</sub> assimilation with 5.18  $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{s}$  and 4.87  $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ , respectively, then ash zone 1 and 2 with 4.68  $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{s}$  and 3.93  $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ , then mimosa zone 2 with 3.41  $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ , followed by mimosa zone 1 with 2.94  $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ , then there is zone 2 of molle with 2.31  $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{s}$  and lastly there is zone 2 of jacaranda with 1.72  $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ , concluding that the absence of certain nutritive elements, as well as the pH and soil texture would limit the adequate yield of the species and the solar incidence reduces the CO<sub>2</sub> assimilation rate since at 12:00 hours, when the solar incidence registered its highest value during the day (1797.26  $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ ), a general decrease in the assimilation of CO<sub>2</sub> was observed by all individuals sampled, it is also concluded that the

assimilation of CO<sub>2</sub> is the initial process in the production of the regulatory ecosystem service called Sequestration and Storage of Carbon, which is provided by the evaluated species of the Francisco Bolognesi Military College Forest, so this information is necessary for its conservation and protection, as well as it is useful for subsequent studies on mitigation of Climate change as it provides information on the assimilation of CO<sub>2</sub> in urban ecosystems, which is why it is recommended to provide adequate management to the soils present in the Francisco Bolognesi Military College Forest since the physical-chemical characteristics of the soil influence the provision of said ecosystem service.

*Keywords:* Li-6800, CO<sub>2</sub> assimilation, Solar incidence, soil type, regulating ecosystem service, native species, introduced species.



## Introducción

En los últimos años la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera ha ido en aumento y se ha visto acelerada por la industria y por el incremento del parque automotor, así mismo, la disminución de cobertura vegetal, especialmente de áreas forestales que actuaban como sumideros de carbono al prestar el servicio ecosistémico de regulación denominado “secuestro y almacenamiento de carbono”, han favorecido la permanencia de este gas considerado uno de los principales gases de efecto invernadero causantes del fenómeno del cambio climático, fenómeno que alteraría de forma significativa las condiciones ambientales de los ecosistemas y por ende la calidad de vida de las poblaciones. Es por esto que resulta de vital importancia la existencia de áreas verdes dentro de las zonas urbanas, que permitan reducir la concentración de CO<sub>2</sub> de la atmósfera a través de su asimilación durante el proceso de intercambio gaseoso producto de la fotosíntesis.

La presente investigación se centró en resolver el problema del desconocimiento de los valores de asimilación de dióxido de carbono realizado por las especies forestales ubicadas en el bosque del Colegio Militar Francisco Bolognesi, el cual se encuentra en el distrito de Alto Selva Alegre, Arequipa y es considerado actualmente como una reserva natural urbana debido a las 17.8 ha ocupadas por el bosque, que fueron implementadas como parte del proyecto de recuperación de los terrenos eriazos del Colegio Militar en el año 2008, en dicha área se plantaron alrededor de 20000 plántones de diferentes especies xerofíticas (Zeballos, 2019), es decir, de bajo consumo hídrico, y son regadas mediante un sistema de riego por goteo.

De todas las especies que se encuentran en el bosque, se seleccionaron cuatro para el presente estudio y son *Schinus molle* L., *Jacaranda acutifolia* Bonpl., *Acacia saligna* (Labill.) H.L. Wendl y *Fraxinus americana* L., siendo las dos primeras consideradas especies nativas y las dos últimas especies introducidas y fueron seleccionadas debido a la diferencia de crecimiento que presentaron al ubicarse en dos diferentes zonas dentro del bosque a pesar de haber recibido las mismas condiciones de manejo y de poseer edades similares.

La hipótesis indica que, dado que las especies vegetales asimilan dióxido de carbono durante la fotosíntesis, se van a encontrar diferencias en los valores de asimilación de dióxido de carbono en

cuatro especies forestales presentes en el bosque del Colegio Militar Francisco Bolognesi. Para comprobar dicha hipótesis se procedió a instalar parcelas de muestreo en las zonas donde se ubicaban las especies seleccionadas, seguidamente se determinó su taxonomía y se hizo un inventario con sus características más relevantes tales como el diámetro a la altura del pecho, altura total y diámetro de fronda; una vez realizado el inventario se seleccionaron seis individuos por especie y por zona de muestreo que poseían el promedio de las características inventariadas, seguidamente se estableció un horario para la medición de la asimilación de CO<sub>2</sub> de acuerdo a bibliografía, para lo cual se determinó realizar las mediciones en intervalos de dos horas en el rango de 8:00 h a 16:00 h con el fin de abarcar el mayor periodo solar posible, estas mediciones se realizaron utilizando el equipo de fotosíntesis portable Li-6800, el cual de manera no invasiva brinda datos del proceso de intercambio gaseoso producido en las hojas de los árboles, utilizando para ello una cámara de medición y un sensor infrarrojo, al mismo tiempo, la cámara de medición es alimentada por la cantidad de radiación receptionada por un sensor externo de luz denominado Li-190R que consiste en un fotodiodo capaz de medir la cantidad de fotones que inciden de forma natural en la hoja, por lo que se obtuvieron datos de asimilación e incidencia solar en un mismo momento de medición, obteniendo un total de cinco registros por día, por individuo y por zona de muestreo.

Además, se tomaron muestras de suelo de cada zona de muestreo donde se instalaron las parcelas para realizar un análisis de caracterización y determinar de esta forma la diferencia que podría existir entre dichas zonas. Los resultados obtenidos, tanto de las mediciones de asimilación de CO<sub>2</sub>, caracterización de suelos y medición de incidencia solar son útiles para brindar un mejor manejo de las especies evaluadas y de esta forma también recomendar las especies que presentan más altos valores de asimilación de CO<sub>2</sub> para futuros proyectos de forestación.

La estructura de la presente investigación consta de cinco capítulos en los que se tratará el planteamiento del problema, fundamento teórico, la metodología ejecutada, seguidamente se presentan los resultados obtenidos y se discutirán sus interpretaciones, teniendo como capítulo final el correspondiente a la exposición de conclusiones y recomendaciones.

## Índice de Contenidos

<i>Dedicatoria</i> .....	II
<i>Agradecimientos</i> .....	III
Resumen .....	IV
Abstract .....	VI
Introducción .....	VIII
Índice de Figuras .....	XIV
Índice de Tablas .....	XVIII
<b>1 Capítulo I Planteamiento del Problema .....</b>	<b>1</b>
1.1 Problemática de la Investigación.....	2
1.2 Justificación.....	4
1.3 Objetivos .....	8
1.3.1 Objetivo General.....	8
1.3.2 Objetivos Específicos.....	8
1.4 Hipótesis.....	9
1.5 Operacionalización de las Variables .....	1
<b>2 Capítulo II Fundamento Teórico .....</b>	<b>2</b>
2.1 Antecedentes de la Investigación .....	3
2.2 Marco Teórico .....	7
2.2.1 Ciclos Biogeoquímicos .....	7
2.2.2 Ciclo del Carbono .....	8
2.2.3 Importancia del CO <sub>2</sub> en el Ambiente.....	9
	X

2.2.4	Beneficios de las Áreas Verdes Urbanas .....	9
2.2.5	Intercambio Gaseoso.....	10
2.2.6	Cambio Climático y Déficit Ecológico.....	11
2.2.7	Importancia de los Sumideros de Carbono .....	11
2.2.8	Efecto de la Intensidad de la Luz.....	12
2.2.9	La Tasa de Transpiración y la Relación entre la Pérdida de Agua y la Ganancia de Carbono	12
2.2.10	Las Carencias Minerales Interrumpen el Metabolismo y las Funciones Vegetales.	13
2.2.11	Las Respuestas Fotosintéticas a la Luz en las Hojas Intactas .....	13
2.2.12	Área de Distribución de las Especies.....	14
2.2.13	Especies nativas y exóticas .....	15
2.2.14	Clasificación Botánica de Fresno.....	16
2.2.15	Clasificación Botánica de Mimosa .....	17
2.2.16	Clasificación Botánica de Molle Serrano .....	18
2.2.17	Clasificación Botánica de Jacarandá.....	19
2.2.18	Bases para el análisis físico del suelo .....	20
2.2.19	Bases para el análisis químico del suelo .....	23
2.2.20	Bases para el análisis de la capacidad de intercambio catiónico en el suelo .....	28
2.2.21	Fijación de carbono en plantas C3, C4 y CAM. ....	29
2.2.22	Fotosíntesis. ....	30
2.2.23	Equipo de Fotosíntesis portable Li-cor 6800.....	31
2.3	Marco legal.....	35
<b>3</b>	<b>Capítulo III Metodología .....</b>	<b>38</b>
3.1	Tipo y nivel de investigación. ....	39

3.2	Campo de Verificación.....	39
3.2.1	Población.....	41
3.2.2	Muestra .....	41
3.3	Materiales y Equipos .....	42
3.3.1	Material Biológico .....	42
3.3.2	Material de Laboratorio. ....	42
3.3.3	Insumos.....	42
3.3.4	Fases de evaluación.....	43
3.4	Metodología .....	43
3.4.1	Determinación Taxonómica de las Especies Forestales Seleccionadas por Criterios de Uniformidad, Ubicadas en las Zonas de Muestreo Delimitadas por Parcelas en el Bosque del Colegio Militar Francisco Bolognesi, Alto Selva Alegre, Arequipa .....	44
3.4.2	Determinación de las características del suelo e incidencia solar de las zonas de muestreo ubicadas en el Bosque del Colegio Militar Francisco Bolognesi, Alto Selva Alegre, Arequipa. ....	54
3.4.3	Estimación de la Asimilación de Dióxido de Carbono de las Especies Seleccionadas en el Bosque del Colegio Militar Francisco Bolognesi, Alto Selva Alegre, Arequipa. ....	58
<b>4</b>	<b>Capítulo IV Resultados y Discusión.....</b>	<b>62</b>
4.1	Resultados de Determinación Taxonómica de las Especies Forestales Seleccionadas por Criterios de Uniformidad, Ubicadas en las Zonas de Muestreo Delimitadas por Parcelas en el Bosque del Colegio Militar Francisco Bolognesi, Alto Selva Alegre, Arequipa.....	63
4.1.1	Determinación y Delimitación de las Zonas de Muestreo .....	63
4.1.2	Resultados de Determinación Taxonómica .....	81
4.1.3	Resultados de Inventario Forestal.....	81
4.2	Determinación de las Características del Suelo e Incidencia Solar de las Zonas de Muestreo Ubicadas en el Bosque del Colegio Militar Francisco Bolognesi, Alto Selva Alegre, Arequipa.....	82
4.2.1	Resultados de Caracterización Física de Suelos .....	82

4.2.2	Resultado de Caracterización Química de Suelo .....	88
4.2.3	Resultado de Caracterización de Suelos Según su Capacidad de Intercambio Catiónico.....	92
4.2.4	Resultados Obtenidos en Medición de Incidencia Solar.....	97
4.2.5	Resultados de Caracterización de Agua y Cálculo de Caudal de Riego. ....	97
4.3	Resultados de la Estimación de Asimilación de Dióxido de Carbono de las Especies Forestales Seleccionadas.....	98
4.3.1	Asimilación de Dióxido de Carbono por Especie y Zona de Muestreo.....	100
4.3.2	Promedio de Asimilación Diaria de CO <sub>2</sub> .....	108
4.4	Discusiones.....	109
4.4.1	Determinación Taxonómica de las Especies Forestales Seleccionadas por Criterios de Uniformidad, Ubicadas en las Zonas de Muestreo Delimitadas por Parcelas en el Bosque del Colegio Militar Francisco Bolognesi, Alto Selva Alegre, Arequipa .....	109
4.4.2	Determinación de las Características del Suelo e Incidencia Solar de las Zonas de Muestreo Ubicadas en el Bosque del Colegio Militar Francisco Bolognesi, Alto Selva Alegre, Arequipa. ....	111
4.4.3	Discusiones de la Estimación de Asimilación de Dióxido de Carbono de las Especies Forestales Seleccionadas. ....	118
<b>5</b>	<b>Capítulo V Conclusiones y Recomendaciones.....</b>	<b>124</b>
5.1	Conclusiones .....	125
5.2	Recomendaciones.....	127
	Referencias Bibliográficas .....	128
	Anexos.....	138

## Índice de Figuras

Figura 1 Diagrama para identificar textura de suelos (Fuente; Ciancaglini, 2010) .....	20
Figura 2. Disponibilidad de nutrientes en suelo según pH (Fuente; Fertilab, 2013) .....	27
Figura 3. Parcela Instalada para Molle Serrano (Fuente: Elaboración propia) .....	46
Figura 4. Parcela Instalada para Mimosa (Fuente: Elaboración propia).....	46
Figura 5. Parcela Instalada para Fresno (Fuente: Elaboración propia) .....	47
Figura 6. Parcela Instalada para Jacaranda (Fuente: Elaboración propia) .....	47
Figura 7. Colección de muestras para identificación taxonómica (Fuente: Elaboración propia) .	49
Figura 8. Prensado de muestras (Fuente: Elaboración propia) .....	49
Figura 9. Medición del DAP en Fresno ( <i>Fraxinus americana</i> L.) (Fuente: Elaboración propia)	51
Figura 10. Medición de la altura de fuste en Zona 2 de Molle Serrano (Fuente: Elaboración propia)	52
Figura 11. Medición de la distancia entre árboles en Zona 1 de Molle Serrano (Fuente: Elaboración propia)	53
Figura 12. Medición de la distancia entre árboles en Zona 2 de Fresno (Fuente: Elaboración propia)	54
Figura 13. Toma de muestras de suelo (Fuente: Elaboración propia) .....	55
Figura 14. Etiquetado de muestras de suelo (Fuente: Elaboración propia) .....	55
Figura 15. Medición de la incidencia solar utilizando sensor Li-190 R (Fuente: Elaboración propia)	56
Figura 16. Medición de la incidencia solar utilizando sensor Li-190 R (Fuente: Elaboración propia)	56
Figura 17. Pozo de sedimentación y almacenamiento de agua (Fuente: Elaboración propia) .....	57
Figura 18. Toma de muestra de agua (Fuente: Elaboración propia).....	57
Figura 19. Medición de la asimilación de CO <sub>2</sub> en Mimosa ( <i>Acacia saligna</i> (Labill.) H.L. Wendl.) (Fuente: Elaboración propia) .....	60

Figura 20. Medición de la asimilación de CO <sub>2</sub> en Molle serrano ( <i>Schinus molle</i> L.) (Fuente: Elaboración propia).....	60
Figura 21. Medición de la asimilación de CO <sub>2</sub> en Fresno ( <i>Fraxinus americana</i> L.) (Fuente: Elaboración propia).....	61
Figura 22. Medición de la asimilación de CO <sub>2</sub> en Jacaranda ( <i>Jacaranda acutifolia</i> Bonpl.) (Fuente: Elaboración propia).....	61
Figura 23 Mapa de distribución de las zonas y parcelas de muestreo (Fuente: Elaboración propia) .....	64
Figura 24. Imagen satelital de la zona 1 de Fresno (Fuente; Google earth) .....	66
Figura 25. Individuo de Fresno en zona 1 (Fuente: Elaboración propia) .....	66
Figura 26. Imagen satelital de la zona 2 de Fresno (Fuente; Google earth) .....	68
Figura 27. Individuo de Fresno en zona 2 (Fuente: Elaboración propia) .....	68
Figura 28. Imagen satelital de la zona 1 de Mimosa (Fuente; Google earth) .....	70
Figura 29. Individuo de Mimosa en zona 1 (Fuente: Elaboración propia) .....	70
Figura 30. Imagen satelital de la zona 2 de Mimosa (Fuente; Google earth) .....	72
Figura 31. Individuo de Mimosa en zona 2 (Fuente: Elaboración propia).....	72
Figura 32. Imagen satelital de la zona 1 de Molle Serrano (Fuente; Google earth) .....	74
Figura 33. Individuo de Molle Serrano en zona 1 (Fuente: Elaboración propia) .....	74
Figura 34. Imagen satelital de la zona 2 de Molle Serrano (Fuente; Google earth) .....	76
Figura 35. Individuo de Molle Serrano en zona 2 (Fuente: Elaboración propia) .....	76
Figura 36. Imagen satelital de la zona 1 de Jacaranda (Fuente; Google earth) .....	78
Figura 37. Individuo de Jacaranda en zona 1 (Fuente: Elaboración propia) .....	78
Figura 38. Imagen satelital de la zona 2 de Jacaranda (Fuente; Google earth) .....	80
Figura 39 Individuo de Jacaranda en zona 2 (Fuente: Elaboración propia) .....	80
Figura 40. Porcentaje de distribución de textura de suelos en zonas de muestreo (Fuente: Elaboración propia).....	83

Figura 41. Porcentaje de porosidad en suelos de las zonas de muestreo (Fuente: Elaboración propia).....	84
Figura 42. Capacidad de campo en suelos de las zonas de muestreo (Fuente: Elaboración propia) .....	85
Figura 43. Punto de marchitez permanente en suelos de las zonas de muestreo (Fuente: Elaboración propia).....	86
Figura 44. Porcentaje de agua disponible en suelos de las zonas de muestreo (Fuente: Elaboración propia).....	87
Figura 45. Porcentaje de materia orgánica en suelos de las zonas de muestreo (Fuente: Elaboración propia).....	88
Figura 46. Potencial de hidrógeno en suelos de las zonas de muestreo (Fuente; Elaboración propia) .....	89
Figura 47. Conductividad eléctrica en suelos de las zonas de muestreo (Fuente: Elaboración propia).....	90
Figura 48. Concentración de Fósforo en suelos de las zonas de muestreo (Fuente: Elaboración propia).....	91
Figura 49. Concentración de calcio en zonas de muestreo (Fuente: Elaboración propia).....	92
Figura 50. Concentración de magnesio en zonas de muestreo (Fuente: Elaboración propia) .....	93
Figura 51. Concentración de Potasio en zonas de muestreo (Fuente: Elaboración propia).....	94
Figura 52 Concentración de Sodio en zonas de muestreo (Fuente: Elaboración propia) .....	95
Figura 53 Capacidad de intercambio catiónico en zonas de muestreo (Fuente: Elaboración propia) .....	96
Figura 54. Incidencia solar en las zonas de muestreo a 5 intervalos de tiempo (Fuente: Elaboración propia).....	97
Figura 55. Relación entre el promedio de Dióxido de Carbono asimilado por hora de medición en Zona 1 de Fresno ( <i>Fraxinus americana</i> L.) (Fuente: Elaboración propia).....	100
Figura 56. Relación entre el promedio de Dióxido de Carbono asimilado por hora de medición en Zona 2 Fresno ( <i>Fraxinus americana</i> L.) (Fuente: Elaboración propia).....	101
Figura 57. Relación entre el promedio de Dióxido de Carbono asimilado por hora de medición en Zona 1 de Mimosa ( <i>Acacia saligna</i> (Labill.) H.L. Wendl) (Fuente: Elaboración propia) .....	102

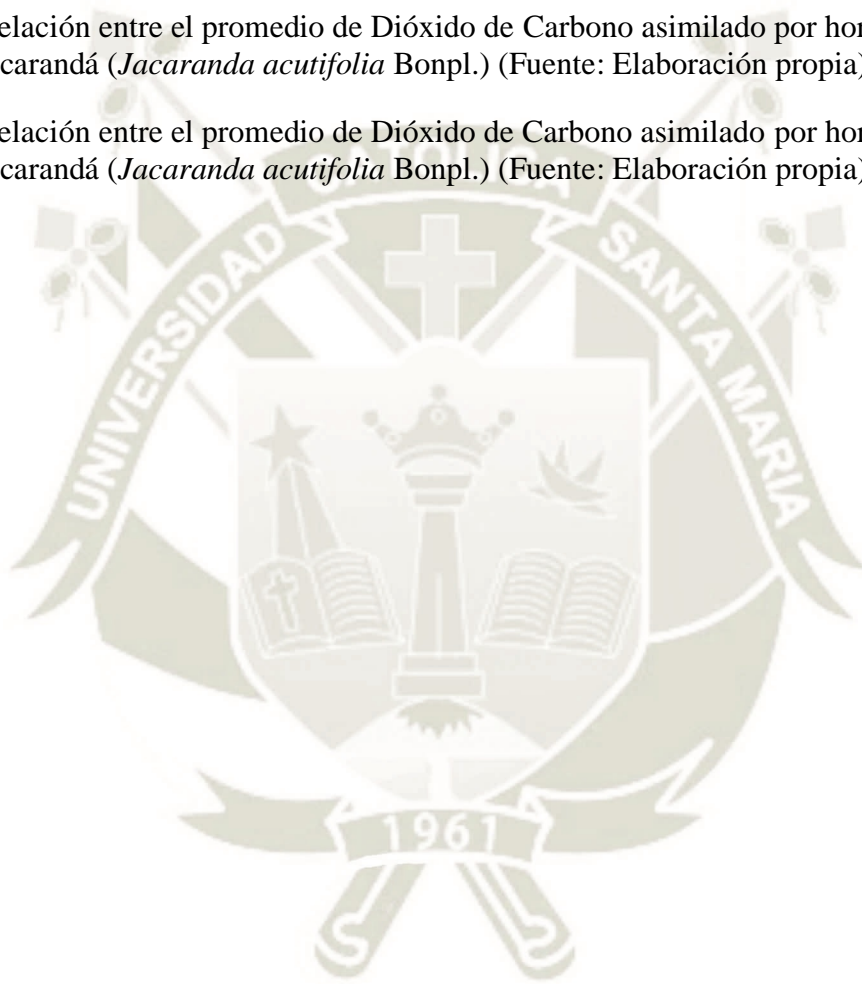
Figura 58 Relación entre el promedio de Dióxido de Carbono asimilado por hora de medición en Zona 2 de Mimosa (*Acacia saligna* (Labill.) H.L. Wendl.) (Fuente: Elaboración propia) ..... 103

Figura 59 Relación entre el promedio de Dióxido de Carbono asimilado por hora de medición en Zona 1 de Molle serrano (*Schinus molle* L.) (Fuente: Elaboración propia)..... 104

Figura 60. Relación entre el promedio de Dióxido de Carbono asimilado por hora de medición en Zona 2 de Molle serrano (*Schinus molle* L.) (Fuente: Elaboración propia)..... 105

Figura 61. Relación entre el promedio de Dióxido de Carbono asimilado por hora de medición en Zona 1 de Jacarandá (*Jacaranda acutifolia* Bonpl.) (Fuente: Elaboración propia)..... 106

Figura 62. Relación entre el promedio de Dióxido de Carbono asimilado por hora de medición en Zona 2 de Jacarandá (*Jacaranda acutifolia* Bonpl.) (Fuente: Elaboración propia)..... 107



## Índice de Tablas

Tabla 1. Tabla de operacionalización de variables .....	1
Tabla 2 Tabla de texturas de suelo de acuerdo a la clasificación americana .....	20
Tabla 3 Tabla de categorías de la materia orgánica del suelo.....	24
Tabla 4 Tabla de niveles de Fósforo en el suelo .....	24
Tabla 5 Tabla de criterios de evaluación de salinidad del suelo.....	25
Tabla 6 Tabla de valores promedio de pH.....	26
Tabla 7 Tabla de niveles de Boro en el suelo .....	27
Tabla 8 Tabla de clasificación de los niveles de Calcio, Magnesio y Potasio .....	28
Tabla 9 Tabla de niveles de concentración de Sodio en el suelo .....	29
Tabla 10 Tabla de categorías para la CIC según textura de suelo .....	29
Tabla 11 Tabla de distribución de parcelas de muestreo .....	45
Tabla 12 Tabla de la cantidad de individuos muestreados por especies, zona y parcela.....	58
Tabla 13 Patrones de inventario para selección de individuos .....	81
Tabla 14 Distribución de texturas de suelo.....	83
Tabla 15. Tabla resumen de Asimilación de CO <sub>2</sub> .....	99
Tabla 16. Tabla de promedios de asimilación diaria de CO <sub>2</sub> .....	108



# Capítulo I

## Planteamiento del Problema

## 1.1 Problemática de la Investigación

Actualmente el 54 % de la población mundial vive en zonas urbanas (ONU, 2015 citado en Arroyave et al., 2019), en dichas zonas se consume el 78 % de energía del planeta y se emite el 60 % de CO<sub>2</sub>, principal gas de efecto invernadero causante del cambio climático, que se encuentra en la atmósfera (FAO, 2020), se estima que para el año 2050 más del 70% de la población mundial vivirá en zonas urbanas lo que se traducirá en un déficit de áreas verdes minimizando la humedad retenida por el suelo y afectando la provisión de servicios ecosistémicos que dichas áreas pueden brindar en favor de la sociedad (FAO, 2020), alterando de este modo el equilibrio ambiental de los ecosistemas, esto se evidencia en los informes de monitoreo de calidad de aire realizados periódicamente, los cuales indican que solamente en la ciudad de Arequipa se emiten aproximadamente 31910 toneladas de carbono cada año entre fuentes fijas y móviles (Gerencia Regional de Salud Arequipa, 2020) y las emisiones de otros gases de efecto invernadero tales como el SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> y Ozono troposférico se han visto incrementadas en los últimos años, esto por el aumento del consumo de fuentes energéticas a base de petróleo cuya fuente de emisión preponderante es el parque automotor, concentrado principalmente en las zonas urbanas de la provincia (Gerencia Regional de Salud Arequipa, 2017), así mismo el crecimiento poblacional ha propiciado la reducción de la presencia de áreas verdes, dando prioridad a la expansión de zonas urbanas pues hasta el año 2007 Arequipa mostraba una densidad poblacional de 18.9 habitantes por kilómetro cuadrado, dato que ha incrementado a 21.8hab/km<sup>2</sup> (INEI, 2018), siendo necesaria la implementación de áreas verdes urbanas, tales como parques ecológicos, alamedas y bosques urbanos para satisfacer las necesidades de la población creciente, en cuanto a calidad ambiental.

Los bosques urbanos son definidos como redes o sistemas que comprenden el arbolado, grupos de árboles y árboles individuales ubicados en áreas urbanas y periurbanas (FAO, 2016 citado en Arroyave et al., 2019), ecosistemas que tienen el potencial de ofrecer diversos servicios a la comunidad, tanto culturales, como de soporte, regulación y abastecimiento (Arroyave et al., 2019), pese a esto, en Perú e incluso en América Latina pocos estudios han evaluado la contribución por especie en la asimilación de CO<sub>2</sub>

específicamente en un sitio urbano, esta información podría demostrar el importante rol de la vegetación urbana en la reducción de CO<sub>2</sub> emitido por actividades antropogénicas (Sánchez, 2016).

Desde el año 2008, el departamento de Arequipa cuenta con un bosque urbano de 17.8 hectáreas que albergan aproximadamente 20000 plántones de especies forestales entre nativas e introducidas, el cual se ubica al interior del Colegio Militar Francisco Bolognesi, institución que cedió parte de su propiedad para ser forestada en consideración a la necesidad de áreas verdes en el distrito de Alto Selva Alegre (Andina, 2008) lugar del que se desconoce el valor real de los servicios ecosistémicos que las especies proveen a la ciudad, más específicamente, se desconoce el valor de la asimilación de dióxido de carbono realizada por los individuos forestales presentes, proceso íntimamente relacionado con el servicio de regulación del clima por la absorción de gases contaminantes, pues esta área podría ser considerada como el principal y más extenso sumidero de carbono de la zona urbana de Arequipa, capaz de mitigar los efectos adversos producidos por el fenómeno de cambio climático.

Es el desconocimiento de este proceso y de los factores ambientales relacionados con el mismo, lo que podría generar una brecha informativa desembocando en una mala gestión e inadecuado aprovechamiento del recurso forestal y del manejo de los espacios destinados a áreas verdes, lo que motiva el desarrollo de la presente investigación.

## 1.2 Justificación

### Aspecto General

Hasta el momento, se desconoce la cantidad real de dióxido de carbono que es asimilado por las especies forestales presentes en el Bosque del Colegio Militar Francisco Bolognesi, para mejorar la calidad del aire de la ciudad de Arequipa, es por esto, que resulta necesario realizar este estudio de estimación de la asimilación de dióxido de carbono realizada por las especies forestales presentes en dicha área, como una herramienta que permita a las autoridades la toma consciente de decisiones a la hora de llevar a cabo programas de forestación o reforestación, así como conocer los beneficios brindados por la presencia de estas especies en relación a la mejora de la calidad del aire.

### Aspecto Social

La estimación de la cantidad de dióxido de carbono asimilado por las especies forestales del bosque del Colegio Militar Francisco Bolognesi permitirá dar a conocer su importancia en el mejoramiento de la calidad de vida de la población al purificar el aire circundante, beneficiando a toda la comunidad aledaña, así mismo está relacionado con el objetivo de desarrollo sostenible número 13, el cual busca adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático, específicamente con su indicador 13.b que sugiere promover mecanismos para aumentar la capacidad para la planificación y gestión eficaces en relación con el cambio climático, pues a través del desarrollo de la presente investigación se brindarán registros que promuevan la implementación de bosques urbanos debido a los servicios ambientales que brindan a la población.

Así mismo, socialmente se dan a conocer datos reales de asimilación de dióxido de carbono que sirvan como sustento bibliográfico para nuevas investigaciones y aporta al conocimiento sobre la importancia de conservar e incrementar las áreas verdes urbanas, apoyando a la toma de decisiones sobre su mantenimiento y utilización de las especies adecuadas para proyectos de forestación.

### **Aspecto Económico**

En cuanto a la justificación económica, el desarrollo de la presente investigación permitirá conocer las especies forestales entre nativas o introducidas que asimilen una mayor cantidad de dióxido de carbono durante el día, facilitando de este modo la toma de decisiones al momento de elaborar planes o programas de forestación, ahorrando costos de planificación y manejo e incrementando los beneficios obtenidos por la implementación de dichas especies, así mismo constituye una herramienta importante para la protección y manejo adecuado del bosque urbano en términos económicos porque la caracterización del suelo permitirá integrar los componentes y elementos necesarios para su enriquecimiento, aumentando su productividad sin previa inversión en el análisis e interpretación, además permitirá el uso de especies que brinden servicios ecosistémicos de forma más eficiente dadas las condiciones ambientales de la zona lo que posteriormente permitirá implementar proyectos para pago de servicios ambientales por secuestro y almacenamiento de carbono.

### **Aspecto Ambiental**

A nivel ambiental, la presente investigación se basa en la estimación de la asimilación de dióxido de carbono, proceso íntimamente relacionado con el servicio ecosistémico de regulación denominado secuestro y almacenamiento de carbono el cual es uno de los factores, que como su nombre lo indica, regulan el clima del ambiente circundante mitigando de esta manera los impactos debidos al cambio climático en la localidad y al encontrarse el Bosque del Colegio Militar Francisco Bolognesi en una zona urbana, su función como sumidero de carbono lo convierte en una de las principales áreas verdes de la ciudad por lo que la cuantificación y el análisis de la respuesta que las especies nativas e introducidas den a la asimilación de CO<sub>2</sub> es fundamental para contar con la información necesaria para elegir las especies forestales adecuadas para llevar a cabo programas enfocados en reducir la concentración de gases de efecto invernadero, principalmente de Dióxido de Carbono y de esta manera replicar esta experiencia en otras áreas urbanas y mitigar los impactos negativos que provoca la presencia de dichos gases en la atmósfera, así como para conocer la cantidad real de dióxido de carbono asimilado por las especies

seleccionadas y determinar el beneficio que esta área provee a la ciudad, generando así las bases necesarias para gestionar su intangibilidad y promover la asignación de recursos para su cuidado y mantenimiento. Así mismo, el protocolo de Kyoto reconoce que las emisiones netas de carbono pueden ser reducidas ya sea disminuyendo la tasa a la cual se emiten a la atmósfera los gases de efecto invernadero o incrementando la tasa por la cual esos gases son retirados de la atmósfera gracias a los sumideros de carbono, citado en (FAO, 2002), y por ello es importante conocer la asimilación de dióxido de carbono y de emisión de oxígeno que poseen los bosques que se encuentran en nuestra localidad, para contribuir con la implementación de proyectos, programas o políticas que se enfoquen en reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, principales causantes del cambio climático.

Finalmente, los resultados obtenidos en esta investigación, en materia ambiental, constituyen una primera aproximación de la asimilación de dióxido de carbono en un ecosistema urbano como es el Bosque del Colegio Militar Francisco Bolognesi, por lo que futuras investigaciones pueden utilizarlos con la finalidad de evaluar diversos ecosistemas y actualizar o validar datos, resaltando la importancia de la presencia de vegetación urbana en la provisión de servicios ecosistémicos.

### **Aspecto Tecnológico**

La presente investigación se realiza utilizando el equipo de fotosíntesis portable Li – 6800, equipo que permite conocer de manera no invasiva y no destructiva la cantidad de dióxido de carbono asimilado durante el proceso fotosintético, a través de un sistema abierto de intercambio de gases basado en las diferencias de dióxido de carbono y agua provenientes de un flujo de aire que impacta en la superficie foliar de la muestra (Li-cor, 2016), es decir que se obtendrán datos reales de asimilación de dióxido de carbono sin necesidad de dañar a los individuos de muestreo gracias a las cualidades del equipo utilizado y en menor tiempo que aplicando otras metodologías convencionales.

### **Aspecto Institucional**

La realización de la presente investigación se justifica a nivel institucional tanto para la casa de estudios para la que es presentada como para el Colegio Militar Francisco Bolognesi porque permitirá obtener datos reales de la asimilación de dióxido de carbono de algunas de las especies presentes en el bosque de dicha institución que se relaciona con el servicio ecosistémico de secuestro y almacenamiento de carbono que este bosque provee a la comunidad en general, se proporcionan herramientas para la toma de decisiones y para la gestión adecuada de los recursos que dicho espacio provee sentando las bases que justifican el reconocimiento del área por su gran relevancia ambiental al representar el sumidero de carbono más grande presente en la zona urbana de Arequipa, como complemento se tiene que, la presente investigación es la primera en abarcar la temática de estimación de dióxido de carbono en el Bosque del Colegio Militar Francisco Bolognesi y es la primera en realizarse en sus instalaciones es por ello que se justifica su realización porque permite sentar antecedentes para futuras investigaciones que deseen desarrollarse al interior del bosque, dando alcances que faciliten el mejoramiento de las condiciones de las zonas evaluadas para un mejor desempeño de las especies presentes en el bosque.

### 1.3 Objetivos

#### 1.3.1 *Objetivo General*

Estimar la asimilación de Dióxido de Carbono en cuatro especies forestales del Bosque del Colegio Militar Francisco Bolognesi, Alto Selva Alegre, Arequipa.

#### 1.3.2 *Objetivos Específicos*

- Determinar taxonómicamente las especies forestales seleccionadas por criterios de uniformidad, ubicadas en las zonas de muestreo delimitadas por parcelas en el Bosque del Colegio Militar Francisco Bolognesi, Alto Selva Alegre, Arequipa.
- Determinar las características del suelo e incidencia solar de las zonas de muestreo ubicadas en el Bosque del Colegio Militar Francisco Bolognesi, Alto Selva Alegre, Arequipa.
- Estimar la asimilación de Dióxido de Carbono de las especies seleccionadas en el Bosque del Colegio Militar Francisco Bolognesi, Alto Selva Alegre, Arequipa.

## 1.4 Hipótesis

Dado que las especies vegetales asimilan dióxido de carbono durante la fotosíntesis, se van a encontrar diferencias en los valores de asimilación de dióxido de carbono en cuatro especies forestales presentes en el bosque del Colegio Militar Francisco Bolognesi.



## 1.5 Operacionalización de las Variables

Tabla 1.

Tabla de operacionalización de variables

Tipo	Variable	Dimensión	Indicador	Escala	
Variables independientes	Características del suelo	Análisis Físico	Arena, Limo, Arcilla, Textura, Porosidad, Capacidad de campo, Agua Disponible, Punto de Marchitez Permanente	%	
		Análisis Químico	Materia Orgánica, Nitrógeno total, CO <sub>3</sub> Ca Fósforo: P, Potasio: K Conductividad Eléctrica pH Boro	% ppm dS/m Acidez/alcalinidad mg/Kg	
		Análisis CIC	Calcio: Ca, Magnesio: Mg, Sodio: Na, Potasio: K, CIC, Suma de bases, PSI	meq/100 g de suelo	
		Variación de incidencia solar	Medición	Incidencia solar	μmol/m <sup>2</sup> .s
		Distribución de las especies	Determinación taxonómica	Determinación en herbario HUSA	Nativa Exótica/Introducida
Variable dependiente	Asimilación de Dióxido de Carbono	Estimación	Asimilación de CO <sub>2</sub>	μmol CO <sub>2</sub> / m <sup>2</sup> .s	

(Fuente: Elaboración propia)



## **Capítulo II**

### **Fundamento Teórico**

## 2.1 Antecedentes de la Investigación

Schyman, (2018) realizó el trabajo de tesis titulado “*Photosynthesis response to temperatures – A study of fertilized and unfertilized Picea abies*”, en la Facultad de Tecnología, Departamento de Silvicultura y tecnología maderera de la Universidad de Linnaeus, dicho estudio se realizó con el fin de comprender cómo las plantas alcanzan el potencial óptimo de fotosíntesis, mediante la observación de material vegetal de *Picea abies* en estado fertilizado y no fertilizado, para lo cual se realizaron mediciones de intercambio de gases en la hoja para ver las limitaciones de la fotosíntesis, observando la tasa de absorción neta de CO<sub>2</sub> (A<sub>net</sub>), el Rubisco máximo de carboxilación (V<sub>cmax</sub>), tasa máxima de transporte de electrones para la regeneración de RuBP (J<sub>max</sub>) y su respuesta única a las temperaturas durante tres días de observación; además de las mediciones de intercambio gaseoso se midió el contenido de Nitrógeno, Fósforo y clorofila en sustrato fertilizado y no fertilizado para ver si el contenido de alguna manera tuvo algún impacto en parámetros fotosintéticos y para ver la influencia que los nutrientes pueden tener en el área específica de la hoja (SLA), los resultados de las observaciones mostraron que la temperatura óptima para la fotosíntesis varía entre 19 °C a 22 °C en el caso de individuos fertilizados y no fertilizados, respectivamente, observando también que, la tasa fotosintética neta respondió a la influencia de los fertilizantes añadidos a casi el doble que en el caso del estado no fertilizado (9 - 10 umol.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> vs 5.36 umol.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>), lo que indica que un individuo fertilizado tienen mayor potencia para capturar carbono que uno sin fertilizar, así mismo, el estudio permite analizar la posibilidad de agregar fertilizantes como potenciadores de crecimiento de la biomasa, así como un sumidero de carbono cuando los niveles de CO<sub>2</sub> atmosférico aumentan, además, la presencia de nitrógeno y fósforo en el *P. abies*, fertilizado, afectó la concentración de clorofila positivamente, allanando el camino para la fotosíntesis, la biomasa acumulada y posiblemente mejorando la defensa de los árboles contra factores de estrés abiótico.

Baca, (2017) en la tesis titulada “Captura de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) de especies forestales como mecanismo de compensación ambiental en una vía de alta presión vehicular (Avenida Separadora Industrial) – Lima, 2017”, estimó el nivel de captura de

carbono de las especies ubicadas dentro del área de estudio, con el fin de generar una estrategia de conservación y protección, para ello aplicaron ecuaciones alométricas para las especies forestales tales como *Schinus molle*, *Eucaliptus globulus* y *Ficus benjamina*, así mismo, se aplicó el muestreo de hojas y ramas para cada especie, determinando el CO<sub>2</sub> capturado por las mismas para poder compararlo con las emisiones de CO<sub>2</sub> de los vehículos que transitan por la avenida Separadora Industrial, obteniendo 703,832.41 kg de CO<sub>2</sub> y 358,3634'621.37 kg de CO<sub>2</sub> mediante 02 métodos de estimación de captura de carbono en especies forestales y 892,914.1 kg de CO<sub>2</sub>/año emitidos por los automóviles de dicha avenida.

Dicho estudio brinda información relevante con respecto a la especie *Schinus molle* en cuanto a la medición de su capacidad de captura de Carbono en la ciudad de Lima – Perú, la cual sirve de referencia para el actual proyecto de investigación.

Sánchez, (2016) en la investigación titulada “Estimación del intercambio de CO<sub>2</sub> entre la atmósfera y tres especies nativas de la reserva ecológica del pedregal de San Angel (REPSA), Ciudad de México” tuvo como objetivo principal estimar mediante la tasa fotosintética la captura y emisión del dióxido de carbono de tres plantas endémicas (*Buddleia cordata*, *Senecio praecox* y *Echeveria gibbiflora*) en la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel ubicada dentro de la UNAM, Ciudad de México y se analizó la relación de variables ambientales como la temperatura, densidad de flujo fotosintético de fotones y humedad relativa y su influencia en los resultados de captura o emisión de dióxido de carbono, para lo cual se realizaron mediciones en temporada húmeda y seca obteniendo resultados parecidos en cuanto a tasa fotosintética promedio entre *Buddleia cordata* y *Senecio praecox* en ambas temporadas, sin embargo *Echeveria gibbiflora* mostró diferencias tanto en temporada húmeda como en la seca debido a su particular metabolismo. Los datos registrados sobre captura de carbono en la temporada de lluvia fueron de 12 kg de dióxido de carbono en las tres especies y de 19 kg en la temporada seca a excepción de *Buddleia cordata* que emitió -45 kg de dióxido de carbono, para las mediciones se hizo uso del equipo de fotosíntesis portable Li-6400, también se realizaron estimaciones del índice de vegetación de diferencia normalizada conocida por sus siglas en

inglés como NDVI y la producción primaria bruta (PPB) con datos de MODIS-NASA cuyos resultados indicaron que la intensidad de verdor y la PPB aumentaron en la temporada de lluvia, comprobándose que en esta temporada se favorece la dinámica de la vegetación de la reserva, así mismo se observó que durante el mes de septiembre se presentó el valor más alto de PPB con 0.051 kg de carbono por metro cuadrado. Concluyendo que es probable que exista una perturbación de CO<sub>2</sub> atmosférico debido a la emisión de fuentes naturales principalmente por la respiración de algunas especies que habitan en la reserva, pues al presentarse estrés hídrico, algunas especies vegetales pueden emitir altas concentraciones de dióxido de carbono.

La importancia de citar esta investigación radica en que constituye una aproximación del intercambio gaseoso en un ecosistema urbano y sobre la posibilidad de evaluar la importancia de la integración del sistema atmósfera, planta y suelo como un conjunto de factores que influyen en la dinámica de los ciclos biogeoquímicos.

Sarcca, (2016) realizó la investigación “Valoración económica del servicio ecosistémico de secuestro y almacenamiento de carbono en el bosque de *Polylepis* del Pichu Pichu, Arequipa, 2016” en la escuela profesional de ingeniería ambiental, facultad de ingeniería de procesos de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, indica que los bosques tienen un gran potencial para mitigar el cambio climático a través del servicio ecosistémico de secuestro y almacenamiento de carbono, para ello construyeron una ecuación alométrica para *Polylepis rugulosa*, luego estimaron el stock de carbono (tn C) para el bosque de *Polylepis* y obtener la valoración económica del servicio ecosistémico en cuestión, muestreando mediante métodos destructivos en 18 árboles.

La metodología utilizada en dicho estudio sirve como punto de referencia para comparar entre las técnicas destructivas y no invasivas que se logran mediante la utilización del equipo Li-6800.

Peper et al., (2014), realizaron el estudio “Ecuaciones alométricas para árboles urbanos (*Fraxinus spp.*) en Oakville al sur de Ontario, Canadá”, en la Facultad de Silvicultura de la Universidad de Toronto en Canadá, en dicho estudio se describió el desarrollo de

ecuaciones alométricas para *Fraxinus americana* L. y *F. pennsylvanica* mediante el análisis de 103 datos recogidos de individuos de dichas especies, se probaron cinco modelos alométricos para desarrollar ecuaciones que estiman el DAP, ancho y altura de la copa, usando edad y DAP como variables explicativas; la media de las tasas de crecimiento anual se utilizó para demostrar el rendimiento del crecimiento de ambas especies, lo que no mostró diferencia significativa durante los primeros 40 años. De todos los coeficientes aleatorios probados para ambas especies, el cúbico con peso  $1/x$  proporcionó el mejor ajuste para estimar DAP a partir de la edad, otros parámetros fueron el “loglog” para la altura de la copa, el “cuadrático” para el diámetro de copa y DAP y el “lineal” para la altura del árbol, este último mostró mayor consistencia para *F. pennsylvanica* pues presenta mayor ajuste para DAP, altura y diámetro de la copa, la cantidad de modelos probados, sugiere la dificultad de ajustar cualquier modelo individual a las condiciones que afectan el crecimiento de las plantas en áreas urbanas, donde las prácticas de manejo y el medio ambiente pueden influir significativamente en el tamaño y el crecimiento de los árboles. Este estudio brinda modelos para estimar el crecimiento de *Fraxinus americana* L. y *F. pennsylvanica* establecidos en áreas verdes urbanas, que pueden ser utilizados en comunidades con condiciones ambientales y manejo similar al analizado, permitiendo complementar el presente trabajo de investigación.

Nava et al., (2009), realizaron la investigación titulada “*Características del intercambio de gases en hojas de Guayabo (Psidium guajava L.)*”, en la Unidad Académica de Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la Universidad Autónoma de Guerrero - México, tuvieron como objetivo determinar las cinéticas de la asimilación neta del guayabo en respuesta a concentraciones crecientes de  $CO_2$  y flujos crecientes de RFA o PAR (radiación fotosintéticamente activa), así como caracterizar el intercambio de gases en hojas de guayabo en diversas épocas y condiciones de humedad edáfica en Iguala, Guerrero – México, para ello utilizaron los equipos Li - 6400 y el Li – 6200 gracias a los cuales cuantificaron las tasas de asimilación (A), tasas de respiración, tasas de transpiración foliar (E) y la conductancia estomática (gs) en dos estados de desarrollo foliar (hojas maduras e inmaduras), concluyendo que, las hojas inmaduras de guayabo con 70% de expansión,

presentaron menor tasa fotosintética y mayor tasa de respiración que las hojas maduras totalmente expandidas, así mismo, gastan más energía que las hojas maduras, y las hojas maduras son la fuente más importante de fotoasimilados, además, las tasas de asimilación neta y de transpiración fueron imperceptibles a las 8hr y a las 19:30hr, pues los estomas se encontraban cerrados a dichas horas, tales tasas alcanzaron sus valores máximos del día entre las 11hr y las 14hr.

Los criterios utilizados con respecto al efecto de la humedad edáfica y la posición de la hoja, cinética fotosintética y horarios de muestreo, pueden ser utilizados en condiciones similares a las del presente estudio para el diseño de toma de muestras a lo largo del día, así también, aporta información respecto al uso de dichos equipos de medición. Además, la metodología de análisis e interpretación de datos, sirve de base para el tema de análisis estadístico.

## **2.2 Marco Teórico**

A continuación, se presenta una breve explicación del proceso de fotosíntesis y de los parámetros de caracterización de suelos para relacionar su influencia en el proceso de intercambio gaseoso que es medido a través del equipo de fotosíntesis portable Li-6800, así mismo se detalla la importancia de las áreas verdes urbanas y de los ciclos biogeoquímicos para mantener un equilibrio ambiental en zonas urbanas.

### **2.2.1 Ciclos Biogeoquímicos**

El término ciclo biogeoquímico definido por Rodin y Bazilevich consiste en el paso de los elementos tales como nitrógeno, carbono, fósforo, oxígeno y azufre del suelo y de la atmósfera a los organismos vivientes, seguido por su transformación en complejos nuevos y su retorno al suelo y a la atmósfera, importante proceso que asegura la redistribución de los elementos en el suelo y que permite la disponibilidad y uso de cada nutriente (Lamprea, 2019).

### 2.2.2 *Ciclo del Carbono*

Según Jaramillo (2004), en su artículo titulado *El ciclo global del carbono* para el libro “Cambio climático: una visión desde México”, indica que el carbono es un elemento fundamental de los compuestos orgánicos, en los que se combina con Nitrógeno, Fósforo, Azufre, Oxígeno e Hidrógeno para constituir las moléculas más importantes para la vida. Como sucede con todos los elementos, la disponibilidad de Carbono no es infinita en el planeta y, por lo tanto, el Carbono circula entre la materia orgánica y el ambiente físico – químico de manera constante. El movimiento del Carbono ocurre a diferentes escalas espacio – temporales, que van desde el nivel molecular, pasando por el nivel de organismo hasta el global, las plantas superiores adquieren el Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ) atmosférico por difusión a través de sus estomas, y es transportado a los sitios donde lleva a cabo la fotosíntesis; cierta cantidad de  $\text{CO}_2$  retorna a la atmósfera, pero la cantidad que se fija y se convierte en carbohidratos durante la fotosíntesis se conoce como producción primaria bruta (PPB), ésta se ha estimado globalmente en  $120 \text{ PgC/año}$  ( $1 \text{ Pg [petagramo]} = 10^{15} \text{ g}$ ), la mitad de la PPB ( $60 \text{ PgC/año}$ ) se incorpora en los tejidos vegetales, como hojas, raíces y tejido leñoso, y la otra mitad regresa a la atmósfera como  $\text{CO}_2$  debido a la respiración autotrófica (respiración de los tejidos vegetales,  $R_a$ ). El crecimiento anual de las plantas es el resultado de la diferencia entre el Carbono fijado y el respirado, se le conoce como producción primaria neta (PPN) y a nivel global se ha estimado en  $60 \text{ PgC/año}$ .

El Carbono fijado por vía de la PPN regresa a la atmósfera por medio de dos procesos: La respiración heterótrofa ( $R_H$ ), que incluye a los descomponedores de la materia orgánica (bacterias y hongos que se alimentan de tejidos muertos y de exudados) y a los herbívoros, y por la combustión en los fuegos naturales o antropogénicos. Gran parte de la biomasa muerta se incorpora al detritus y a la materia orgánica del suelo, donde es respirada a diferentes velocidades dependiendo de sus características químicas. Se producen así almacenes de Carbono en el suelo que regresan el carbono a la atmósfera en diferentes periodos. La diferencia entre la fijación de carbono por la PPN y las pérdidas por la  $R_H$ , en ausencia de otras perturbaciones que producen pérdidas de carbono (como el fuego o la cosecha), se conoce como la producción neta del ecosistema (PNE). Y cuando todas las

pérdidas de carbono se contabilizan, tales como el fuego, la cosecha o la remoción, el transporte por los ríos a los océanos y la erosión, lo que queda es el carbono que acumula efectivamente la biósfera a nivel global, y que se conoce como la producción neta del bioma (PNB).

### **2.2.3 *Importancia del CO<sub>2</sub> en el Ambiente.***

El dióxido de carbono es un compuesto orgánico formado por un átomo de carbono y dos átomos de oxígeno, su fórmula química es CO<sub>2</sub> y su representación en la estructura de Lewis es O=C=O (Sánchez, 2016), gas resultante de procesos tanto geoquímicos como biológicos, y cuya presencia en la atmósfera es fundamental en la regulación de la temperatura del planeta debido a sus propiedades como gas de invernadero. El dióxido de carbono ha sido un componente importante de nuestra atmósfera desde hace miles de millones de años, cuando la gran actividad volcánica del planeta expulsaba CO<sub>2</sub> a la atmósfera, la cual era más rica en dióxido de carbono, y evitaba la salida de la radiación, produciendo, junto con el vapor de agua, un calentamiento global en el planeta (Lovelock, 1988 citado en Jaramillo 2004). La importancia del CO<sub>2</sub> y el vapor de agua en la atmósfera para la regulación de la temperatura promedio del planeta es tal que sin su presencia la temperatura promedio actual del planeta sería aproximadamente 33°C más fría y, por lo tanto, el planeta estaría congelado (Schlesinger, 1977 citado en Jaramillo, 2004), pero en las últimas décadas, la actividad antrópica ha acelerado la emisión de dióxido de carbono a la atmósfera acumulándose e incrementando su concentración en el tiempo (Sánchez, 2016).

### **2.2.4 *Beneficios de las Áreas Verdes Urbanas***

Las áreas verdes urbanas mejoran la calidad del aire, del agua y los recursos de los suelos, a su vez ayudan a la captación de contaminantes, el incremento de captación de agua, la estabilización de los suelos y la calidad del aire. Los bosques y parques ayudan a regular la temperatura del aire y sirven de cortaviento, también reducen la contaminación sonora y los niveles de CO<sub>2</sub>; además, sirven como hábitat para diferentes especies de fauna (especialmente aves) (Montesinos, 2012).

“Los bosques urbanos y periurbanos permiten aumentar la resiliencia y calidad de las cuencas hidrográficas y las reservas de agua al evitar la erosión, limitar la evapotranspiración y filtrar los contaminantes. Y plantar árboles frutales en las calles puede incrementar la disponibilidad de alimentos dentro de las ciudades” (FAO, 2020).

“Las áreas verdes y la presencia de árboles, son factores de promoción de alta calidad de vida en las ciudades, de forma que los espacios urbanos se convierten en lugares placenteros para vivir, trabajar o pasar el tiempo libre. Al mismo tiempo, las áreas verdes aumentan la estética urbana y el valor de la propiedad, integrando las construcciones al entorno natural” (Hernández, 2014).

### 2.2.5 *Intercambio Gaseoso*

Los procesos primarios que determinan el crecimiento vegetal son los que involucran el intercambio de gases con el aire del medio ambiente, como la fotosíntesis, respiración y transpiración (Taiz y Zeiger, 2006 citado en Nava *et al.* 2009). El intercambio de gases se lleva a cabo a través de los estomas, cuya conductancia de gases se controla por cambio en la turgencia de las células oclusivas y responde a diversos factores ambientales, entre los que destacan la luz, humedad y concentración de CO<sub>2</sub> (Assmann y Gershenson, 1991 citado en Nava *et al.* 2009). El metabolismo del carbono en la célula está ligado con la atmósfera por el intercambio de CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O y O<sub>2</sub>, entre la planta y su medio circundante, así mismo, en el intercambio de gas respiratorio la planta libera CO<sub>2</sub> y captura O<sub>2</sub>, mientras que, durante el intercambio de gas fotosintético, el proceso es inverso, es decir, se captura CO<sub>2</sub> y se libera O<sub>2</sub> (Larcher, 1995 citado en Medina *et al.* 2006). La transpiración es importante porque el flujo de agua a través de la planta transporta los minerales absorbidos por las raíces y refrigera las hojas (Hernández, 2001 citado en Medina *et al.* 2006). Durante la fotosíntesis, las plantas, algas y bacterias fotosintéticas convierten la energía lumínica en energía química (Vermaas 1998 y Farabee 2002 citados en Medina *et al.* 2006), a través de un conjunto amplio de reacciones fotoquímicas y bioquímicas, que abarcan la captura de energía solar mediante pigmentos fotosintéticos en la “Fase lumínica” hasta la fijación, seguido por la conversión del carbono en compuestos orgánicos durante la “Fase Oscura”

y un proceso de difusión de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> entre los cloroplastos y el aire externo (Medina *et al.* 2006).

Los factores exógenos importantes para el intercambio gaseoso son la energía radiante, la humedad, la temperatura y el estrés de agua (Medina *et al.* 2006).

### **2.2.6 Cambio Climático y Déficit Ecológico**

Un indicador para medir el aumento de los GEI (Gases de Efecto Invernadero) y la rapidez del cambio climático es el déficit ecológico, este déficit, consiste en la diferencia entre la huella ecológica, que se refiere a la presión causada por la actividad humana y el consumo sobre los recursos o demanda ecológica, y la biocapacidad de la tierra, la cual consiste en la productividad y la capacidad de la biósfera para proveer recursos y absorber desechos, también denominada, demanda ecológica; ambos factores se expresan en hectáreas globales (Vargas, 2009).

Además, “el déficit ecológico tiene dos consecuencias que aceleran el cambio climático, por un lado, se emite mayor cantidad de GEI de los que la tierra está en capacidad de absorber, y por el otro, se depredan recursos naturales capaces de absorber la emisión de dichos gases, con lo que la biocapacidad de la tierra disminuye” (Vargas, 2009).

### **2.2.7 Importancia de los Sumideros de Carbono**

Los árboles y los bosques almacenan carbono, varios estudios sugieren que las posibilidades de almacenaje son potencialmente altas teniendo que, un bosque primario cerrado almacena, entre suelo y vegetación, cerca de 250 toneladas de carbono por hectárea y los bosques abiertos albergan alrededor de 115 toneladas de carbono por hectárea y liberarían entre 1/4 y 1/3 al darles otro uso (NASI *et al.*, 2002 citado en Gonzales, 2011).

Los sumideros de carbono tienen una importante función porque proveen servicios ambientales regulando el agua, reduciendo la erosión, limpiando el aire y creando microclimas, así mismo, la capacidad de los bosques de almacenar dióxido de carbono

proveniente de la atmósfera en su madera, ramas, raíces y en el suelo permite mitigar los impactos del cambio climático (Castaño, 2011).

### **2.2.8 Efecto de la Intensidad de la Luz**

El aumento de la intensidad de la luz produce efectos en la velocidad de la fotosíntesis y en la región de saturación de luz, este punto de saturación de luz va a depender de las características fisiológicas de las plantas, variando entre las umbrófilas y las heliófilas, estas últimas muestran tasas mayores de asimilación de  $\text{CO}_2$  con mayor saturación de luz y se considera esta tasa como una medida de su capacidad fotosintética también representada como Asimilación Máxima ( $A_{max}$ ) (Hall y Rao, 1983 citado en Sánchez, 2016). Las curvas de respuesta de la tasa de fotosíntesis neta a la luz también son denominadas curvas de saturación de luz, éstas proporcionan información relevante sobre el funcionamiento fotosintético de las hojas pues en la parte inicial de la curva se encuentra el punto de compensación de luz, el cual corresponde a la densidad de flujo fotónico en el que el intercambio neto de  $\text{CO}_2$  de la hoja es cero, y la pendiente inicial de la curva de saturación de luz está determinada por reacciones fotoquímicas producto de la fotosíntesis y finalmente, las características enzimáticas son las que van a determinar la fase de saturación de la curva (Sánchez, 2016).

### **2.2.9 La Tasa de Transpiración y la Relación entre la Pérdida de Agua y la Ganancia de Carbono**

“La tasa de transpiración se define como la cantidad de agua transpirada por la planta dividida por la cantidad de Dióxido de Carbono asimilado por fotosíntesis. En plantas típicas, en las que el primer producto de la fijación del  $\text{CO}_2$  es un compuesto de tres carbonos (denominadas  $\text{C}_3$ ) se pierden 500 moléculas de agua por molécula de  $\text{CO}_2$  fijada por fotosíntesis, por lo que su tasa de transpiración es de 500” (Taiz y Zeiger, 2006)

Una elevada tasa de transpiración depende de tres factores que son, en primer lugar, el gradiente de concentración, que impulsa la pérdida de agua, el cual es 50 veces mayor que el que impulsa la entrada de  $\text{CO}_2$  provocado por la baja concentración de  $\text{CO}_2$  en el aire

(0.03%) y a la relativamente alta concentración del vapor de agua en la hoja; en segundo lugar, la lentitud con la que el  $\text{CO}_2$  es difundido a través del aire, siendo 1.6 veces más lento que el agua, debido a que la molécula de  $\text{CO}_2$  es más grande que la de  $\text{H}_2\text{O}$  y tiene un coeficiente de difusión más pequeño, y por último, el tercer factor consiste en la incorporación de  $\text{CO}_2$ , el cual, una vez incorporado atraviesa la membrana plasmática, el citoplasma y la envoltura del cloroplasto antes de ser asimilado en el cloroplasto y en dicho proceso, estas membranas se añaden a la resistencia de la ruta de difusión del  $\text{CO}_2$  (Taiz y Zeiger, 2006).

En el caso de las plantas  $\text{C}_4$  y CAM, adaptadas a ambientes secos, denominadas  $\text{C}_4$ , pues el primer producto estable de la fotosíntesis es un compuesto de cuatro carbonos, generalmente transpiran menos agua por molécula de  $\text{CO}_2$  fijada, siendo su tasa de transpiración típica, de 250, para las CAM (metabolismo ácido de las crasuláceas), el  $\text{CO}_2$  es inicialmente fijado en ácidos orgánicos de cuatro carbonos durante la noche y su tasa de transpiración es aún más baja, llegando a valores de alrededor de 50 (Taiz y Zeiger, 2006).

#### ***2.2.10 Las Carencias Minerales Interrumpen el Metabolismo y las Funciones Vegetales.***

El aporte inadecuado de un elemento esencial provoca un desorden nutricional que se manifiesta en síntomas característicos de dicha carencia, por ejemplo, se pueden producir carencias crónicas y agudas de varios elementos simultáneamente, la carencia o el exceso de un elemento pueden inducir una carencia o una acumulación excesiva de otro y algunos virus inducen enfermedades en las plantas cuyos síntomas son similares a los que producen las carencias nutritivas, los síntomas de las carencias de nutrientes en una planta son la expresión de desórdenes metabólicos consecuencia del aporte insuficiente de un elemento esencial (Taiz y Zeiger, 2006).

#### ***2.2.11 Las Respuestas Fotosintéticas a la Luz en las Hojas Intactas***

La luz es un recurso crítico para las plantas que, con frecuencia limita su crecimiento y reproducción. Las propiedades fotosintéticas de la hoja proporcionan una información valiosa sobre las adaptaciones vegetales a la luz de su entorno.

La cuantificación de la fijación de dióxido de carbono en hojas intactas a flujos fotónicos crecientes permite la elaboración de curvas de respuesta a la luz, las cuales proporcionan información sobre las propiedades fotosintéticas de las hojas. En oscuridad, no hay asimilación fotosintética de carbono y la planta libera  $\text{CO}_2$  como consecuencia de la respiración. Por convenio, la asimilación del  $\text{CO}_2$  en esta parte de la curva de respuesta a la luz es negativa. A medida que el flujo fotónico aumenta, la asimilación fotosintética neta del  $\text{CO}_2$  se incrementa hasta que se iguala con el  $\text{CO}_2$  liberado por la respiración mitocondrial. El punto en el cual la incorporación de  $\text{CO}_2$  es igual a la liberación de  $\text{CO}_2$  se denomina punto de compensación de la luz.

El flujo fotónico con el cual las hojas alcanzan el punto de compensación de la luz depende de las especies y de las condiciones de desarrollo. Una de las principales diferencias se encuentra entre las plantas que crecen totalmente expuestas a la luz y las plantas que crecen a la sombra.

El punto de compensación de la luz de las plantas de sol está en el rango de 10 – 20  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ , mientras que los valores correspondientes para las plantas de sombra oscilan entre 1 – 5  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ .

Los valores para plantas de sombra son muy bajos debido a que la tasa respiratoria en estas plantas también es muy baja, por lo que niveles muy bajos de fotosíntesis son suficientes para hacer cero el intercambio neto de  $\text{CO}_2$ .

Las tasas respiratorias bajas parecen representar una adaptación básica que permite a las plantas de sombra sobrevivir en ambientes con limitaciones de luz.

El aumento en el flujo fotónico sobre el punto de compensación de la luz implica un aumento proporcional de la tasa fotosintética (Taiz y Zeiger, 2006).

### ***2.2.12 Área de Distribución de las Especies***

Según Maciel et al., (2015) en su artículo denominado *El área de distribución de las especies: revisión del concepto* indica que “el área de distribución se define como la

fracción del espacio geográfico donde una especie está presente e interactúa de manera no efímera con el ecosistema y su presencia o ausencia de éstas en el espacio geográfico está definida por factores biogeográficos, fisiológicos, así como ecológicos” y aquellas especies que presentan un incremento en su área de distribución como producto de un cambio favorable de las condiciones ambientales permitiéndoles desplazarse por sus propios medios a sitios donde antes estaban ausentes pueden clasificarse en dos grupos, en primer lugar se les considera especies nativas a aquellas que al ampliar su distribución no generan impactos adversos sobre la biodiversidad y en segundo lugar se tiene a las especies invasoras, es decir, aquellas que producen impactos negativos sobre la biodiversidad al ajustar su área de distribución, sin embargo en ambos casos se tiene que dichas especies pueden soportar un amplio intervalo de condiciones climáticas, tienen tasas reproductivas altas, maduración temprana, eficacia de dispersión y resistencia a condiciones extremas como fuego o temperaturas cercanas al punto de congelación.

### **2.2.13 Especies nativas y exóticas**

Las especies nativas o autóctonas son aquellas especies de animales, plantas o cualquier otro tipo de organismo vivo cuyo origen natural se corresponde con un territorio determinado, el cual no se corresponde necesariamente con los límites geográficos establecidos para países y continentes, pues sus límites territoriales son determinados por condiciones ambientales tales como el clima y el tipo de ecosistema, estas especies son de gran relevancia para el correcto funcionamiento de un ecosistema pues este depende de su abundancia y estabilidad así como de las relaciones interespecíficas positivas con las demás especies nativas (Fernández, 2021).

Las especies exóticas, también denominadas especies introducidas, foráneas, alóctonas o no nativas, son aquellas que a través de la intervención humana han sido transportadas a un área que no corresponde a su área de origen natural, este transporte puede producirse de forma voluntaria o involuntaria, el transporte de forma voluntaria se produce cuando las especies son consideradas fuentes de recursos alimenticios, silvícolas, medicinales o experimentales y el transporte de forma involuntaria se debe a, por ejemplo, el transporte

de un sustrato que contenga propágulos o semillas, viajes sobre otra especie, es decir, un fruto transportado que contenga larvas o semillas de otras especies; así mismo una especie puede introducirse en un nuevo hábitat por cambios topográficos que realiza el hombre en el paisaje (Carvallo, 2009). Dentro de las especies exóticas se distinguen las especies exóticas ocasionales que son aquellas que aparecen puntualmente en determinado territorio sin dejar descendencia, seguidamente, las especies exóticas naturalizadas, es decir, aquellas que permanecen de forma prolongada en el nuevo territorio y dejan descendencia y pueden convertirse en invasoras al presentar un crecimiento descontrolado de sus poblaciones (Fernández, 2021).

#### 2.2.14 Clasificación Botánica de Fresno

Reino: Plantae

Clase: Equisetopsida C. Agardh

Subclase: Magnoliidae Novák ex Takht.

Superorden: Asteranae Takht.

Orden: Lamiales Bromhead

Familia: Oleaceae Hoffmans & Link

Género: Fraxinus L.

Nombre científico: *Fraxinus americana* L.

Nombre común: Fresno blanco, Fresno americano

Distribución: Norte américa (Linnaeus, 1753 citado en Tropicos, 2019), se extienden desde el norte, centro y sur de México hasta Guatemala en un intervalo de 25 a 14 de latitud y a una altitud de 1100 a 2600 m (Vázquez – Yanes et al, 1999 citado en Villanueva et al, 2015).

Origen: Originaria del este de América del Norte (Infojardín, 2020)

Descripción: Árbol de hoja caduca y copa redondeada, porte mediano entre 10 y 30 metros de altura por 10 a 20 metros de ancho (Montesinos, 2012). En estado silvestre forma parte de diversos ecosistemas como bosques de galería, bosque mixto de pino encino y bosque mesófilo de montaña, crece en microhábitats más bien húmedos, en topoformas de laderas,

barrancas y cañadas y a orillas de corrientes de agua (Rzedowski, 1996 citado en Villanueva et al, 2015)

Tipo de hojas: Hojas lanceoladas, compuestas, es decir, están constituidas por pequeñas hojas falsas (llamadas folíolos) que se unen de manera independiente a un pecíolo común y dispuestas en forma densa en las ramas del árbol (Montesinos, 2012).

Flores: Flores no significativas, se muestran justo antes de la aparición de las hojas de primavera (Infojardin, 2020).

Frutos: Frutos tipo sámara, de 5 cm de longitud, lanceolado, de ápice agudo (Infojardin, 2020).

### 2.2.15 Clasificación Botánica de Mimosa

Reino: Plantae

Clase: Equisetopsoda C. Agardh

Subclase: Magnoliidae Novák ex Takht.

Superorden: Rosanae Takht.

Orden: Fabales Bromhead

Familia: Fabaceae Lindl.

Género: *Acacia* Mill.

Nombre científico: *Acacia saligna* (Labill.) H.L. Wendl

Nombre común: Mimosa

Distribución: Australia (Wendland, 1820 citado en Tropicos, 2019)

Origen: Árbol originario de Australia y cultivado en diversos países intertropicales (Montesinos, 2012).

Descripción: Árbol de copa redondeada, densa ramificación y follaje, de 6 a 10 m de altura por 5 a 8 m de ancho, se cultiva como especie forestal en suelos erosionados, se le conoce como una especie regeneradora de vegetación en áreas contaminadas como minas o desbordes, es agroforestal y ornamental. Es una especie adaptable a la salinidad de suelos arenosos y de poca demanda de agua que se desarrolla mediante semillas en almácigo y posteriormente puede ser trasplantada a suelo definitivo entre los 4 y 6 meses de desarrollo (Montesinos, 2012).

Tipo de hojas: Hojas alternas simples, lanceoladas, verde azuladas (Montesinos, 2012).

Flores: Flores dispuestas en densos racimos de color amarillento (Montesinos, 2012).

Frutos: Frutos angostos y alargados, con 6 a 10 semillas marrones oscuras (Montesinos, 2012).

### 2.2.16 Clasificación Botánica de Molle Serrano

Reino: Plantae

Clase: Equisetopsida C. Agardh

Subclase: Magnoliidae Novák ex Takht.

Superorden: Rosanae Takht.

Orden: Sapindales Juss. Ex Bercht. & J. Presl

Familia: Anacardiaceae R. Br.

Género: *Schinus* L.

Nombre científico: *Schinus molle* L.

Nombre común: Molle serrano

Distribución: Perú (Linnaeus, 1753 citado en Tropicos, 2019), Brasil, Uruguay y el norte de Argentina (Hernández 2014), ampliamente distribuido en México, Ecuador, Chile, Sur de California, Oeste de Texas (*Schinus molle*, n.d.).

Origen: Originario de la región andina de Sudamérica, principalmente en los andes peruanos a altitudes de hasta 3650 m (*Schinus molle*, n.d.).

Descripción: Es un árbol siempreverde de 10 a 40 metros de altura, con tronco ancho (Montesinos, 2012), es de crecimiento rápido y vive alrededor de 100 años (Hernández, 2014). Se le considera una especie altamente potencial por sus atribuciones forestales, como la fijación de suelos, control de erosión, resistencia a la sequía, suelos salinos o alcalinos, es utilizada como cortavientos y como excelente opción para forestar avenidas, parques y zonas áridas (Montesinos, 2012).

Tipo de hojas: Sus hojas son compuestas, alternas, miden de 15 a 30 cm de largo, son colgantes y con savia lechosa (Hernández 2014), imparipinnadas de 15 a 41 folíolos, generalmente apareados, de 0.85 a 5 cm de largo, estrechamente lanceolados, color verde

amarillento, copa redondeada y abierta, proporcionando sombra moderada (*Shinus molle*, n.d.).

Flores: Las flores se presentan en panículas axilares a las hojas terminales, cada panícula tiene entre 10 a 15 cm de longitud (Hernández 2014).

Frutos: Los frutos del molle serrano consisten en drupas que se presentan en racimos colgantes, cada uno mide de 0.5 a 0.9 cm de diámetro, son de color rosado o rojizo, con exocarpo coriáceo, lustroso, seco en la madurez y mesocarpo delgado y resinoso. Cada fruto contiene una sola semilla y aparecen en el otoño. (Martínez y Tenorio, 2008 citado en Hernández, 2014).

### 2.2.17 Clasificación Botánica de *Jacarandá*

Reino: Plantae

Clase: Equisetopsida C. Agardh

Subclase: Magnoliidae Novák ex Takht.

Superorden: Asteranae Takht.

Orden: Lamiales Bromhead

Familia: Bignoniaceae Juss.

Género: *Jacaranda* Juss.

Nombre científico: *Jacaranda acutifolia* Bonpl.

Nombre común: Jacarandá

Distribución: Perú (Bonpland *et al.* 1817 citado en Tropicos, 2019)

Origen: Árbol originario de los países de Argentina, Bolivia, Brasil y primordialmente Perú (Montesinos, 2012).

Descripción: Puede alcanzar 18 metros de altura, su corteza es oscura en la etapa adulta.

Follaje semipersistente o tardíamente caedizo (Santa Fe, s.f.).

Tipo de hojas: Hojas compuestas con numerosos y pequeños folíolos (Montesinos, 2012).

Flores: Posee flores en forma de tubo, de color azul violáceo, agrupadas en los extremos de las ramas; la floración se produce antes de la aparición de las hojas, en el mes de octubre (Santa Fe, s.f.).

Frutos: Fruto leñoso (Santa Fe, s.f.), en cápsulas marrones con abundantes semillas aladas (Montesinos, 2012).

### 2.2.18 Bases para el análisis físico del suelo

#### Textura del Suelo.

La textura del suelo se refiere a la proporción relativa de las clases de tamaño de partícula o fracciones de suelo, en un volumen dado y se describe como una clase textural que condiciona el comportamiento del suelo en cuanto a drenaje, aireación, capacidad de retención de agua y facilidad de laboreo (FAO, 2009).



Figura 1 Diagrama para identificar textura de suelos (Fuente; Ciancaglini, 2010)

Tabla 2

Tabla de texturas de suelo de acuerdo a la clasificación americana

Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural	Términos generales
86-100	0-14	0-10	Arenoso	Suelos de textura gruesa
70-86	0-30	0-15	Arenoso franco	
50-70	0-50	0-20	Franco arenoso	Suelos de textura moderadamente gruesa
23-52	28-50	7-27	Franco	
20-50	74-88	0-27	Franco limoso	Suelo de textura media
0-20	88-100	0-12	Limoso	
20-45	15-52	27-40	Franco arcilloso	

Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural	Términos generales
45-80	0-28	20-35	Franco arenoso arcilloso	Suelo de textura moderadamente fina
0-20	40-73	27-40	Franco limoso arcilloso	
45-65	0-20	35-55	Arcilloso arenoso	Suelo de textura fina
0-20	40-60	40-60	Arcilloso limoso	
0-45	0-40	40-100	Arcilloso	

(Fuente: FAO, 2009)

- **Textura Arcillosa:** Dan suelos plásticos y difíciles de trabajar. Retienen gran cantidad de agua y de nutrientes debido a la micro porosidad y a su elevada capacidad de intercambio catiónico. Aunque retengan agua en cantidad, presentan una permeabilidad baja, salvo que estén bien estructurados y formen un buen sistema de grietas (Gisbert et al., 2010).
- **Textura Arenosa:** Son texturas opuestas a las texturas arcillosas, pues cuando en superficie hay una textura arenosa, los suelos se conocen como ligeros, dada su escasa plasticidad y facilidad de trabajo. Presenta una excelente aireación debido a que las partículas dominantes de gran tamaño facilitan la penetración del aire. Únicamente cuando se producen lluvias intensas se puede producir encharcamiento o escorrentía, momento en el que la erosión laminar es muy importante. La acumulación de materia orgánica es mínima y el lavado de los elementos minerales es elevado (Gisbert et al., 2010).
- **Textura Limosa:** Los suelos con textura limosa presentan carencia de propiedades coloidales formadoras de estructura, formando suelos que se apelmazan con facilidad impidiendo la aireación y la circulación del agua. Es fácil la formación de costras superficiales que impiden la emergencia de las plántulas (Gisbert et al., 2010).
- **Textura Franca o Equilibrada:** Los suelos con textura franca, poseen un mayor equilibrio entre sus componentes, gozan de los efectos favorables de las anteriores texturas, sin sufrir de sus defectos, el estado ideal sería la textura franca y a medida que se va desviando de dicho punto, se van mostrando inconvenientes derivados (Gisbert et al., 2010).

**Porosidad (%).**

La porosidad del suelo determina los procesos de infiltración y escurrimiento del agua que influyen en la erosión hídrica y el transporte de agua en el suelo, el flujo de agua y aire se realiza a través de la porosidad del suelo, condicionada por el tamaño, abundancia y distribución de poros, también es un indicador de la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo (González et al., 2012).

El espacio poroso del suelo se refiere al porcentaje del volumen del suelo no ocupado por sólidos. En general el volumen del suelo está constituido por 50% materiales sólidos (45% minerales y 5% materia orgánica) y 50% de espacio poroso. Dentro del espacio poroso se pueden distinguir macro poros y micro poros donde agua, nutrientes, aire y gases pueden circular o retenerse. Los macro poros no retienen agua contra la fuerza de la gravedad, son responsables del drenaje, aireación del suelo y constituyen el espacio donde se forman las raíces. Los micro poros retienen agua y parte de la cual es disponible para las plantas (Portal de suelos FAO, 2020).

**Capacidad de campo (CC - %).**

La capacidad de campo se refiere a la cantidad relativamente constante de agua que contiene un suelo saturado después de 48 horas de drenaje. El drenaje ocurre por la transmisión del agua a través de los poros mayores de 0,05 mm de diámetro; sin embargo, la capacidad de campo puede corresponder a poros que varían entre 0,03 y 1 mm de diámetro. El concepto de Capacidad de Campo se aplica únicamente a suelos bien estructurados donde el drenaje del exceso de agua es relativamente rápido; si el drenaje ocurre en suelos pobremente estructurados, por lo general continuará durante varias semanas y este tipo de suelos de estructura tan pobre raramente tiene una Capacidad de Campo claramente definida. La Capacidad de Campo se determina mejor en el campo saturando el suelo y midiendo su contenido de agua después de 48 horas de drenaje. El suelo a capacidad de campo se siente muy húmedo en contacto con las manos (Shaxson, 2005).

**Agua Disponible (AD - %).**

Es la cantidad de agua disponible para el crecimiento de las plantas y se encuentra entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente (Shaxson, 2005).

#### **Punto de Marchitez Permanente (PMP - %).**

El punto de marchitez permanente se refiere al contenido de agua de un suelo que ha perdido toda su agua a causa del cultivo y, por lo tanto, el agua que permanece en el suelo no está disponible para el mismo. En esas condiciones, el cultivo está permanentemente marchito y no puede revivir cuando se le coloca en un ambiente saturado de agua. Al contacto manual, el suelo se siente casi seco o ligeramente húmedo (Shaxson, 2005).

#### **2.2.19 Bases para el análisis químico del suelo**

##### **Materia orgánica (%).**

La materia orgánica tiene un rol de gran importancia en la fertilidad de los suelos, otorgada por sus propiedades químicas, físicas y biológicas, lo cual la convierte en un vital aporte para el sistema edáfico (López, 2016).

Tiene efecto sobre las propiedades físicas del suelo, formando agregados y dando estabilidad estructural, uniéndose a las arcillas y formando el complejo de cambio, favoreciendo la penetración del agua y su retención, disminuyendo la erosión y favoreciendo el intercambio gaseoso. Cuando se refiere al efecto sobre las propiedades químicas del suelo, los autores mencionan que aumenta la capacidad de cambio del suelo, la reserva de nutrientes para la vida vegetal y la capacidad tampón del suelo favorece la acción de los abonos minerales y facilita su absorción a través de la membrana celular de las raicillas. Y en cuanto a su efecto sobre las propiedades biológicas, favorece los procesos de mineralización, el desarrollo de la cubierta vegetal, sirve de alimento a una multitud de microorganismos y estimula el crecimiento de la planta en un sistema ecológico equilibrado. Estos efectos de la materia orgánica también han sido sugeridos por otros autores (Julca et al., 2006).

*Tabla 3*  
*Tabla de categorías de la materia orgánica del suelo*

Porcentaje de materia orgánica por el método Walkley-Black	
Materia Orgánica (%)	Categoría
<0.9	Muy bajo
1.0 – 1.9	Bajo
2.0 – 2.5	Normal
2.6 – 3.5	Alto
>3.6	Muy alto

(Fuente: Rioja, 2007)

### **Nitrógeno Total (%).**

El nitrógeno estimula el crecimiento de tallos y hojas, además estimula la producción de proteínas en frutas y granos, y ayuda a que la planta utilice otros nutrientes como el Fósforo y el Potasio, la gran movilidad del nitrógeno, provoca que, en su ausencia las hojas maduras se tornen de color verde claro, luego presenten clorosis y finalmente mueran y sus sistemas radicales se vean reducidos (Maita, 2017).

### **Fósforo (ppm).**

El fósforo es el segundo elemento después del nitrógeno más importante para el crecimiento de las plantas, la producción de los cultivos y su calidad, en el suelo, existen varias formas químicas de fósforo, incluyendo el inorgánico y el orgánico (López y Zamora, 2016). El fósforo en las plantas, forma parte del nucleótido más importante en la obtención de energía celular, el ATP, promueve el desarrollo de las raíces y ayuda a desarrollar resistencia a enfermedades (Maita, 2017).

*Tabla 4*  
*Tabla de niveles de Fósforo en el suelo*

Fósforo en el suelo por el método de Bray II	
Rangos	Concentración de fósforo (ppm)
Bajo	<15
Medio	15 – 50
Alto	>50

(Fuente: Sheifa, 1993 citado en López, 2016).

### **Potasio (ppm).**

El Potasio (K) es importante en el proceso fotosintético, permite la traslocación de carbohidratos y síntesis de proteínas, actúa como catalizador o activador de ciertas enzimas, participa en la osmorregulación y también en el mantenimiento del potencial de membrana (Maita, 2017).

### **Conductividad Eléctrica (dS/m).**

La concentración de sales solubles presentes en la solución del sustrato se mide mediante la conductividad eléctrica, la cual es la medida de la capacidad de un material para conducir la corriente eléctrica, el valor será más alto cuanto más fácil se mueve la corriente a través del mismo. A mayor conductividad eléctrica, mayor es la concentración de sales. Lo recomendable es que la conductividad eléctrica de un sustrato sea baja, en lo posible menor a 1dS/m, pues facilita el manejo de la fertilización y evita problemas por fitotoxicidad del cultivo (Barbaro et al., 2014).

La presencia de salinidad en los suelos tiene efectos negativos sobre el mismo, como la disminución de la actividad biológica, la reducción de la disponibilidad de nutrientes, lo que es limitante para el desarrollo de los cultivos (López, 2016)

*Tabla 5*  
*Tabla de criterios de evaluación de salinidad del suelo*

Evaluación de salinidad de suelo en base a la conductividad, relación suelo/agua 1:2.5	
Categoría del suelo	Valor (dS/m)
No salino	0 - 2.0
Poco salino	2.1 – 4.0
Moderadamente salino	4.1 – 8.0
Muy salino	8.1 – 16.0
Extremadamente salino	>16.0

(Fuente: Fernández, 2006 citado en López, 2016)

### Potencial de Hidrógeno (pH).

El pH es una propiedad química del suelo que tiene un efecto importante en el desarrollo de los seres vivos (incluidos microorganismos y plantas). La lectura del pH se refiere a la concentración de iones de hidrógeno activos ( $H^+$ ) que se da en la interface líquida del suelo, por la interacción de los componentes sólidos y líquido. La concentración de iones hidrógeno es fundamental en los procesos físicos, químicos y biológicos del suelo (López, 2016).

El crecimiento de las plantas, en suelos ácidos como alcalinos hacen que algunos nutrientes sean altamente insolubles a valores de pH altos, mientras que otros son menos disponibles a valores de pH bajo. La disponibilidad máxima para la mayoría de nutrientes ocurre en el rango de pH de 6,5 a 7,5 (López, 2016).

*Tabla 6*  
*Tabla de valores promedio de pH*

pH, relación Suelo/Agua 1:25	
Categoría	Valor de pH
Fuertemente ácido	< 5
Moderadamente ácido	5.1 – 6.5
Neutro	6.6 – 7.3
Medianamente alcalino	7.4 – 8.5
Fuertemente alcalino	>8.5

(Fuente: Fernández, 2006 citado en López, 2016)

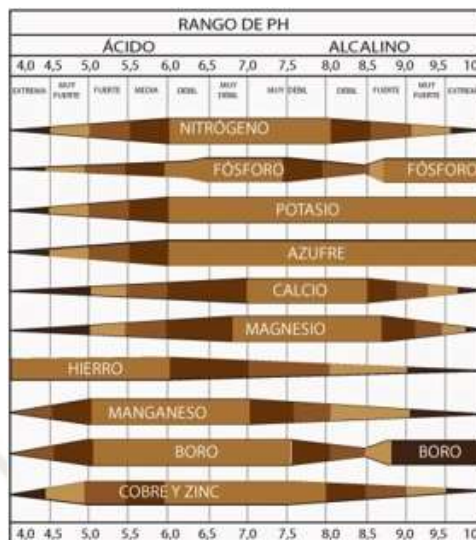


Figura 2. Disponibilidad de nutrientes en suelo según pH (Fuente; Fertilab, 2013)

**Boro (mg/kg).**

El boro es importante en la traslocación de azúcares y carbohidratos, sus funciones principales se relacionan con el normal desarrollo de la pared celular y el desarrollo de frutas y semillas (Maita, 2017). Los contenidos totales de boro en los suelos varían normalmente entre 2 y 100mg/kg, con un promedio de 30mg/kg, sin embargo, los suelos franco arenosos con baja concentración de materia orgánica, hacen lixiviación de este elemento fácilmente. Suelos con bajo contenido de materia orgánica, menor del 2,5%, sin historial de fertilización con boro, y manejados con agua de riego de bajo contenido, pueden presentar carencia de este elemento. Algo similar ocurre en suelos con pH extremo, menor de 5,5, y muy alto, mayor de 8,0 (Sierra, s.f.).

*Tabla 7  
Tabla de niveles de Boro en el suelo*

Boro (mg/kg)	Categoría
0.1 – 0.5	Bajo
0.6 – 1.0	Medio
1.1 – 2.0	Moderado
2.1 – 4.0	Alto
4	Muy alto

(Fuente: Sierra, s.f.)

### 2.2.20 Bases para el análisis de la capacidad de intercambio catiónico en el suelo

#### Capacidad de Intercambio Catiónico.

La capacidad de intercambio catiónico del suelo consiste en el número total de cationes que un suelo puede retener, esto es, su carga negativa total, la cual es medida en miliequivalentes por 100 gramos de suelo (me1/100 g), Este peso equivalente de cada elemento o molécula corresponde a aquél que es desplazado por un gramo de hidrogeniones (1 gramo de H<sup>+</sup>) (Piedrahita, 2011).

En unidades del sistema internacional, la capacidad de intercambio catiónico se expresa en centimoles de carga positiva por kilogramo de suelo (cmol<sup>+</sup>/kg), anterioridad se venía utilizando como unidad el meq/100 g, cuyo uso se halla todavía muy extendido, sin embargo, el valor numérico es el mismo con ambas unidades, los cationes más importantes en los procesos de intercambio catiónico, por las cantidades de ellos que participan en dichos procesos son calcio, magnesio, potasio y sodio, así como amoniaco en suelos ácidos y aluminio (López, 2016).

El calcio hace parte de las paredes celulares, tiene una función importante en la estructura y permeabilidad de las membranas. Es un activador de las enzimas amilasa y ATPasa. En árboles, el contenido de Calcio está relacionado con la calidad y resistencia de la madera y el magnesio es el componente principal de la clorofila, el cual combinado con ATP o ADP actúa como activador de enzimas que usan dos sustratos (Maita, 2017).

*Tabla 8*

*Tabla de clasificación de los niveles de Calcio, Magnesio y Potasio*

Clasificación de los niveles de Calcio, Magnesio y Potasio			
Clase	Calcio (meq/100g)	Magnesio (meq/100g)	Potasio (meq/100g)
Muy baja	<2	<0.5	<0.2
Baja	2 - 5	0.5 - 1.3	0.2 - 0.3
Media	5 - 10	1.3 - 3.0	0.3 - 0.6
Alta	10 >	> 3.0	>0.6

(Fuente: Fernández, 2006 citado en López, 2016)

*Tabla 9*  
*Tabla de niveles de concentración de Sodio en el suelo*

Clase	Concentración de Sodio (meq/100g suelo)
Muy bajo	<0.3
Bajo	0.3 – 0.6
Normal	0.6 – 1.0
Alto	1.0 – 1.5
Muy alto	>1.5

(Fuente: FAO, 2012 citado en López, 2016)

*Tabla 10*  
*Tabla de categorías para la CIC según textura de suelo*

Textura	Capacidad de intercambio catiónico (meq/100g suelo)
Arena	1 -5
Franco arenoso	5- 10
Franco	5 – 15
Franco arcilloso	15 – 30
Arcilloso	>30

(Fuente: FAO, 2012 citado en López, 2016)

### **2.2.21 Fijación de carbono en plantas C3, C4 y CAM.**

Dependiendo del tipo de fijación de CO<sub>2</sub>, la planta tendrá un metabolismo distinto y, por lo tanto, se clasifican en plantas C-3, C-4 o CAM. En ellas, tanto la eficiencia del uso del agua como la tasa de fijación de CO<sub>2</sub> son diferentes.

Plantas C-3: Se caracterizan por mantener los estomas abiertos durante el día para permitir la fijación de CO<sub>2</sub>, lo que provoca una pérdida de agua por transpiración, de forma continua. Ante el riesgo de deshidratación ocasionado por un estrés ambiental, estas plantas producen un cierre estomático que provoca una gran disminución de la fotosíntesis.

Plantas C-4: Se caracterizan por tener los estomas abiertos de día. Como poseen intermediarios de bombeo de CO<sub>2</sub> en la célula, pueden permitirse un cierre de estomas imprevisto, siendo factible la continuidad del proceso fotosintético, gracias al reservorio de CO<sub>2</sub>.

Plantas CAM: Estomas abiertos por la noche. Las pérdidas de agua por transpiración se reducen enormemente. También poseen reservorio de  $\text{CO}_2$ , con lo cual también pueden cerrar estomas sin que ello conlleve una disminución fotosintética.

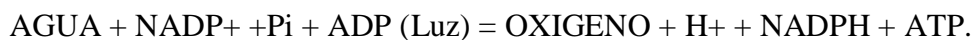
Las propiedades de las plantas C-4 y CAM les permiten una supervivencia en entornos con déficit hídrico (Carvajal et al., 2011).

### **2.2.22 Fotosíntesis.**

Carvajal et al. (2011), en la Investigación sobre la absorción de  $\text{CO}_2$  por los cultivos más representativos, indican que, la fotosíntesis es un proceso metabólico fundamental para todos los organismos vivos ya que consiste en el empleo de la energía luminosa para biosintetizar los componentes celulares. La energía solar constituye no solamente la fuente energética para las plantas verdes y otros autótrofos fotosintéticos, sino también, en último término, la fuente energética para casi todos los organismos heterótrofos, mediante la actuación de las cadenas alimenticias de la biosfera. Además, la energía solar capturada por el proceso de fotosíntesis es la fuente de cerca del 90 % de toda la energía empleada por el hombre para satisfacer las demandas de calor, de luz y de potencia, ya que el carbón, el petróleo y el gas natural, que son los combustibles utilizados para la mayor parte de la maquinaria fabricada por el hombre, son productos de descomposición del material biológico generado hace millones de años por los organismos fotosintéticos. La fotosíntesis es un proceso que ocurre en dos fases, la primera fase es un proceso que depende de la luz (reacciones luminosas o de luz). Esta fase requiere la energía directa de la luz para generar energía química y reductora que serán utilizadas en la segunda fase. La fase independiente de la luz (fase de oscuridad), se realiza cuando los productos de las reacciones de luz son utilizados para, a partir del  $\text{CO}_2$ , formar enlaces covalentes carbono-carbono (C-C) de los carbohidratos mediante el Ciclo de Calvin. Este proceso de la fotosíntesis se produce en los cloroplastos de las células.

En las reacciones de luz, la captación de energía luminosa por los pigmentos que absorben la luz convirtiéndola en energía química (ATP) y poder reductor (NADPH), requiere de

una molécula de agua. Como consecuencia, se libera O<sub>2</sub> molecular. La ecuación general para esta primera etapa de la fotosíntesis es por lo tanto la siguiente:



En la segunda fase de la fotosíntesis, los productos ricos en energía de la primera fase, el NADPH el ATP, se emplean como fuentes energéticas para efectuar la reducción del CO<sub>2</sub> y producir glucosa. Como consecuencia se produce de nuevo ADP y NADP<sup>+</sup>. Esta segunda etapa de la fotosíntesis se esquematiza en términos generales como:



Esta reacción se lleva a cabo por reacciones químicas convencionales, catalizadas por enzimas que no necesitan la luz. En las reacciones de oscuridad, el CO<sub>2</sub> de la atmósfera (o del agua en organismos fotosintéticos acuáticos/marinos) es capturado y reducido por la adición de hidrógeno (H<sup>+</sup>) para la formación de carbohidratos [(CH<sub>2</sub>O)]. La incorporación del dióxido de carbono en compuestos orgánicos, se conoce como fijación o asimilación del carbono. La energía usada en el proceso proviene de la primera fase de la fotosíntesis. Los seres vivos no pueden utilizar directamente la energía luminosa, sin embargo, a través de una serie de reacciones fotoquímicas, la pueden almacenar en la energía de los enlaces CC de carbohidratos, que, más tarde, será liberada mediante los procesos respiratorios u otros procesos metabólicos.

### ***2.2.23 Equipo de Fotosíntesis portate Li-cor 6800***

El equipo de fotosíntesis portable Li-6800 es un equipo que trabaja con un sistema abierto, el cual cuantifica el intercambio gaseoso producto de la actividad fotosintética en las plantas, su funcionamiento está basado en la medición de las diferencias registradas entre la cantidad de CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O que ingresa al sistema mediante un flujo de aire proyectado en una superficie foliar, para esto cuenta con un cabezal sensor que posee un sistema de válvulas que permiten particionar el flujo de aire ingresante en 2 flujos, uno denominado flujo de referencia y otro flujo de muestra, así mismo, este equipo cuenta con mecanismos

automatizados para modificar la concentración de CO<sub>2</sub> y vapor de agua del flujo de aire ingresante hasta lograr una concentración de gas estable (Li-cor, 2016).

### **Partes del Li-6800**

El Lí-cor 6800 puede dividirse en 02 grandes grupos de partes funcionales, el primero se trata del cabezal sensor, el cual permite la toma de muestras mediante la pinza de muestreo; la segunda parte consiste en la consola, que brinda la interfaz de interacción entre el usuario y la muestra tomada, en la consola se configuran todos los requerimientos y parámetros necesarios para la obtención y procesamiento de datos representativos y su posterior interpretación (Li-cor, 2016).

Adicionalmente se cuenta con el fluorómetro y el cabezal Li-190R, ambos son complementos que permiten el ingreso de radiación controlada en el sistema, creando así un escenario donde la incidencia de radiación se puede aumentar o disminuir y de este modo desarrollar modelos predictivos del comportamiento de las especies vegetales frente a un ambiente con dichos niveles de radiación (Li-cor, 2016).

Ambos, cabezal y consola, se encuentran unidos mediante un cable de datos, el cual transfiere la información y una manguera para el ingreso del flujo de aire (Li-cor, 2016).

- **Consola**

La consola provee el sistema operativo, interfaz de interacción, el aire acondicionado y permite el procesamiento y registro de datos. En el lado derecho de la consola se encuentra el botón de encendido, los conectores del cabezal y del fluorómetro y la entrada para el suministro de aire, además, ahí se ubica el conector del cable de poder en el caso de no utilizar baterías, adicionalmente hay un conector auxiliar que permite la conexión de futuros complementos (Li-cor, 2016).

- **Columnas químicas**

En la parte posterior de la consola se encuentran las columnas químicas, las cuales tienen la función de servir de filtros al paso del flujo de aire ingresante, estas columnas químicas lavan gases y atrapan partículas de agua y restos no deseados

permitiendo de esta manera el paso únicamente de dióxido de carbono, desde el cabezal hasta la consola de manera controlada ya que se puede regular la cantidad de  $\text{CO}_2$  que uno requiere para analizar su muestra (Li-cor, 2016).

Las columnas químicas se dividen en 03, la primera es la columna desecante, seguida por la columna humidificante y terminando en la columna de lavado de  $\text{CO}_2$  o scrubber y un adicional que consiste en el cartucho de  $\text{CO}_2$ , las cuales se describen a continuación (Li-cor, 2016).

- **Columna desecante:** En la primera etapa del filtrado del flujo de aire, se tiene a la columna desecante la cual contiene Drierita, o drierite por su denominación en inglés, compuesta por sulfato de calcio y cloruro de cobalto al 2 % ( $\text{CaSO}_4 + \text{CoCl}_2 \cdot 2\%$ ), el cual se comporta como un indicador de la presencia de agua en el ambiente ya que al encontrarse en presencia de agua cambia desde su color azul inicial hasta tornarse de color rosa, esto debido a que el cloruro de cobalto tiende a absorber hasta 6 veces su capacidad en agua y es el componente formado por la hidratación del cloruro de cobalto (Cloruro de cobalto hexahidratado  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) lo que le brinda la coloración rosa al compuesto (Li-cor, 2016).

Para poder reutilizar la drierita, se calienta el mineral en un horno a  $210^\circ\text{C}$  durante 60 minutos hasta volver a la coloración azul inicial (Li-cor, 2016).

- **Columna humidificante:** La segunda columna denominada humidificante, está compuesta por el cerámico Stuttgarter masse, el cual es un sustrato micro poroso compuesto en un 80 % por cristales de ácido silícico y aluminio, es químicamente neutral e inerte, es decir que no reacciona con otros compuestos, lo que lo convierte en un compuesto que trabaja a nivel físico, adsorbiendo y reteniendo en sus poros partículas de agua y gases (Li-cor, 2016).
- **Columna de lavado de  $\text{CO}_2$ :** Esta columna contiene Cal sodada o soda lime, una mezcla de hidróxido de calcio e hidróxido de sodio utilizada como agente absorbente de dióxido de carbono, el indicador de la captura de  $\text{CO}_2$  es el cambio de coloración de blanco a púrpura (Li-cor, 2016).

- **Cartucho de CO<sub>2</sub>:** Esta columna adicional contiene una cápsula de CO<sub>2</sub> de 7,5 a 8 g utilizada para inyectar CO<sub>2</sub> al sistema y de esta manera poder controlar su concentración y servir como concentración y flujo de referencia frente al CO<sub>2</sub> obtenido de la muestra (Li-cor, 2016).
- **Cabezal sensor**

El cabezal del sensor contiene los analizadores de gas de la muestra y de referencia, los medidores de flujo, el separador termo eléctrico, el ventilador, un sistema de válvulas, la cámara de hojas y un recurso de luz opcional conectado (Li-cor, 2016). La cámara para hojas permite la toma de muestras, a través de una celda hermética que sujeta la hoja y establece el contacto entre la muestra y el sensor, esta cámara tiene 03 posiciones de manejo, la posición de apertura, la estacionaria y la cerrada, todas ellas manipuladas mediante el manubrio del cabezal (Li-cor, 2016).
- **Fluorómetro**

El fluorómetro es una parte complementaria adherida al cabezal del sensor, es la que provee de la suficiente luz artificial o fluorescencia para que las plantas realicen fotosíntesis de una manera controlada permitiendo así la obtención de datos predictivos del comportamiento de la misma ante diferentes intensidades de radiación (Li-cor, 2016).
- **Sensor Quantum Li-190 R**

Este sensor mide la radiación fotosintéticamente activa (PAR) en micro moles de fotones por metro cuadrado por segundo ( $\mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}$ ) proporcionando mediciones precisas en distintos ambientes (intemperie, invernadero, toldos, cámaras de crecimiento) y abarcando la mayoría de fuentes de luz de amplio espectro incluida la luz solar natural o de fuentes artificiales y mixtas, permitiendo conocer la respuesta fotosintética de la planta (Li-cor, 2016).

### 2.3 Marco legal

- **Ley N° 28611 Ley General del Ambiente:** La presente ley ordenadora del marco normativo legal para la gestión ambiental en el Perú establece los principios y normas básicas para asegurar el efectivo ejercicio del derecho a un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, así como el cumplimiento del deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente y sus componentes, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de la población y lograr el desarrollo sostenible del país. En el título I, capítulo tres, artículo 23 Del ordenamiento urbano y rural se hace referencia a la responsabilidad de los gobiernos locales de asegurar la preservación y la ampliación de las áreas verdes urbanas y periurbanas de que dispone la población (Ley 28611 de 2005).
- **Ley N° 30754 Ley Marco Sobre Cambio Climático:** La presente ley tiene por objeto establecer los principios y disposiciones generales para coordinar, articular, diseñar, reportar, monitorear, evaluar y difundir las políticas públicas para la gestión integral, participativa y transparente de las medidas de adaptación y mitigación al cambio climático, a fin de reducir la vulnerabilidad del país al cambio climático, aprovechar las oportunidades del crecimiento bajo en carbono y cumplir con los compromisos internacionales asumidos por el estado (Ley 30754 de 2018).

En el capítulo I. Artículo tres de los enfoques para la gestión integral del cambio climático, hace referencia a la mitigación y adaptación basada en la conservación de reservas de carbono, promoviendo la participación de la comunidad en la protección, conservación y manejo sostenible de los bosques por constituir importantes reservas de carbono, así mismo recuperar las áreas deforestadas con el objetivo de incrementar dichas reservas. En el capítulo IV de Medidas de mitigación y adaptación al cambio climático, en sus artículos 15, 16 y 17 y 18 se hace referencia al diseño e implementación de medidas de adaptación y mitigación al cambio climático a través de la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, captura de carbono y el incremento de sumideros de carbono, priorizando la protección, conservación y manejo sostenible de los bosques, forestación y reforestación,

uso eficiente del agua, control de emisiones y efluentes, uso de energías renovables, entre otras actividades que garantizan un territorio resiliente y sostenible (Ley 30754 de 2018). Así mismo en el capítulo V, artículo 19 de Investigación, tecnología e innovación se promueve la investigación científica a través de los centros de educación, con un enfoque intercultural, de la misma manera, las entidades públicas competentes deben generar y gestionar el conocimiento en materia del cambio climático y conservación de la biodiversidad (Ley 30754 de 2018).

- **DS N° 013-2019-MINAM, Decreto Supremo que aprueba el Reglamento de la Ley N° 30754, Ley Marco Sobre Cambio Climático:** El reglamento contempla seis títulos, setenta y dos artículos y veinte disposiciones finales complementarias, con el objeto de reglamentar las disposiciones de la Ley N°30754, es aplicable a todas las entidades del Estado, así como actores no estatales vinculados a la gestión integral del cambio climático (Decreto supremo 013-MINAM de 2019).
- **Ley 28245 Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental:** La presente ley tiene por objeto asegurar el más eficaz cumplimiento de los objetivos ambientales lo cual detalla dentro de su artículo cinco de los Principios de la gestión ambiental donde se hace referencia a la promoción y apoyo a las iniciativas voluntarias dirigidas a la prevención de la contaminación y en el artículo seis de los instrumentos de gestión y planificación ambiental contempla la elaboración de propuestas en materia de investigación y educación ambiental, así como el establecimiento de propuestas para la creación y fortalecimiento de los medios, instrumentos y metodologías necesarias para inventariar y valorizar el patrimonio natural de la nación (Ley 28245 de 2004).
- **DS N° 008-2005-PCM, Decreto Supremo que aprueba el Reglamento de la Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental:** El presente reglamento tiene por finalidad orientar la aplicación de la aplicación de las políticas, planes, programas y acciones destinados a la protección del ambiente y contribuir a la conservación y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales (Decreto supremo 008-PCM de 2005).
- **DS N°012-2009-MINAM Política Nacional del Ambiente:** La política nacional del ambiente constituye el conjunto de lineamientos, objetivos, estrategias, metas, programas e instrumentos de carácter público, que tiene como propósito definir y orientar el accionar

de las entidades del gobierno nacional, regional y local, del sector privado y de la sociedad civil en materia ambiental con la finalidad de mejorar la calidad de vida de las personas a través de la prevención, protección y recuperación del ambiente y sus componentes, así como de la conservación y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales (Decreto supremo 012-MINAM de 2009)

- **Ley N° 29763 Ley Forestal y de Fauna Silvestre:** La presente ley tiene la finalidad de promover la conservación, protección, incremento y uso sostenible del patrimonio forestal y de fauna silvestre, en el Título I, artículo tres contempla las actividades forestales, de fauna silvestre y conexas, lo cual toma en cuenta coadyuvar a la provisión de los servicios de los ecosistemas forestales y otros sistemas de vegetación silvestre, así mismo, el artículo cuatro reconoce como patrimonio forestal y de fauna silvestre de la nación a todos aquellos bosques plantados en tierras del estado y a los servicios ecosistémicos que estos proveen (Ley 29763 de 2011).
- **DS N° 020-2015-MINAGRI, Decreto Supremo que aprueba el Reglamento para la Gestión de Plantaciones Forestales y los Sistemas Agroforestales:** El presente reglamento tiene por objeto regular y promover de manera adecuada la gestión de plantaciones forestales y sistemas agroforestales a que hace referencia la ley N° 29763, Ley Forestal y de Fauna Silvestre, en el artículo cinco hace referencia a los bosques plantados como áreas de ecosistemas forestales producto de la forestación o reforestación así como al aprovechamiento sostenible de los bienes y servicios de los ecosistemas forestales y otros ecosistemas de vegetación silvestre a través de instrumentos de gestión (Decreto supremo 020-MINAGRI de 2015).



## **Capítulo III**

### **Metodología**

### 3.1 Tipo y nivel de investigación.

La presente investigación es del tipo “Descriptiva” pues no existe manipulación de variables, éstas se observan y se describen tal como se presentan en su ambiente natural.

Así mismo, tiene un diseño no experimental, transeccional de nivel descriptivo puesto que las variables a estudiar no se manipulan deliberadamente, sino más bien se observan los fenómenos en su ambiente natural, para después analizarlos y ver su efecto en las otras variables (Hernández, 2014).

### 3.2 Campo de Verificación

La presente investigación se desarrolló en el Bosque del Colegio Militar Francisco Bolognesi el cual está ubicado en el distrito de Alto Selva Alegre de la Provincia de Arequipa, cuenta con un área total de 36.15 ha de las cuales 21.30 ha están ocupadas por instalaciones académicas y jardines, hasta el año 2008 las 14.85 ha restantes eran terrenos eriazos sin vegetación y utilizados para prácticas de entrenamiento a cadetes, así mismo dichas áreas fueron utilizadas para depositar residuos sólidos tanto del colegio como por parte de los vecinos del lugar, hasta la puesta en marcha del proyecto denominado “Forestación de los Terrenos Eriazos del Colegio Militar Francisco Bolognesi del Distrito de Alto Selva Alegre, Provincia de Arequipa – Arequipa” llevado a cabo por el Gobierno Regional de Arequipa a través de la Gerencia de Agricultura de Arequipa en un trabajo articulado con la dirección del Colegio Militar Francisco Bolognesi, proyecto en el cual se realizó la instalación del sistema de riego por goteo que es alimentado a través de dos reservorios a base de geo membrana, uno de 700 m<sup>3</sup> y el segundo de 810 m<sup>3</sup> de capacidad que toman el agua de riego directamente del canal de Miraflores a través de una cámara de carga, sistema gracias al cual se dota de agua a las 14.85 ha plantadas en una etapa inicial con 19624 plántones de árboles forestales con especies tales como molle serrano (*Schinus molle*), molle costeño (*Schinus terebinthifolius*), vilco (*Anadenanthera colubrina*), sauce (*Salix humboldtiana*), jacaranda (*Jacaranda acutifolia*), huaranguay (*Tecoma stans*) y otras especies forestales como el pino (*Pinus radiata*, *Pinus patula*), casuarina (*Casuarina equisetifolia*), fresno (*Fraxinus americana*), mimosa (*Acacia saligna*), álamo (*Populus nigra*), huarango (*Acacia*

*macracantha*), ciprés (*Cupressus macrocarpa*), actualmente la frontera forestada se ha extendido hasta completar 17.8 ha de bosque en las instalaciones del Colegio Militar sobrepasando la cifra de 20000 árboles de dichas especies incluida la queñoa (*Polylepis rugulosa*).

De acuerdo a la Gerencia Regional de Agricultura de Arequipa (2008) en el Expediente Técnico del proyecto denominado “Forestación de los Terrenos Eriazos del Colegio Militar Francisco Bolognesi del Distrito de Alto Selva Alegre, Provincia de Arequipa – Arequipa” llevado a cabo por el Gobierno Regional de Arequipa, los parámetros climatológicos presentes en el área de estudio son los siguientes:

- Precipitación promedio anual: 150 mm, presentando mayor precipitación entre diciembre y marzo.
- Clasificación según Holdrige: Desierto sub tropical de altitud
- Temperatura promedio: 7 °C – 22°C con heladas periódicas entre los meses de mayo a julio, llegando a temperaturas que bordean los 3°C.
- Humedad relativa máxima anual: 81.3%
- Humedad relativa mínima anual: 36.4%
- Vientos: Predominantemente Alisios con dirección de SO a NE, en un rango horario de 8:00 a 9:00 horas y velocidad máxima de 3 m/s en el mes de junio, presentan mayor intensidad de 11:00 a 16:30 horas.
- Horas de insolación: 9.3 horas diarias promedio anual, en octubre presentan un máximo de 10.3 horas de insolación promedio y en marzo un mínimo de 7.7 horas diarias.
- Evaporación: 9.1 mm promedio en noviembre, evaporación mínima de 4.7 mm en mayo y junio, con ligeras variaciones hasta 6.0 mm.

### 3.2.1 Población

- **Determinación taxonómica:** 30 individuos de cada especie por zona de muestreo
- **Características de suelo:** 16 parcelas con un área de 75 m<sup>2</sup> cada una, 02 parcelas por cada zona de estudio.
- **Medición de incidencia solar:** 30 individuos de cada especie por parcela de muestreo.
- **Estimación de la asimilación de CO<sub>2</sub>:** 30 individuos de cada especie por zona de muestreo.

### 3.2.2 Muestra

- **Determinación taxonómica:** Para la determinación taxonómica, la unidad muestral consiste en 01 porción de muestra por especie, haciendo un total de 04 unidades muestrales.
- **Características de suelo:** Para el muestreo de suelos la muestra consiste en 02 unidades de muestreo por zona, es decir un total de 16 unidades de muestreo, pues se cuentan con 08 zonas de medición; el muestreo consiste en la extracción de una cantidad aproximada de 1kg de suelo a dos diferentes profundidades, una de 30 cm y la segunda a 60 cm de profundidad.
- **Medición de incidencia solar:** Para la medición de incidencia solar a lo largo del día se tiene como muestra 06 individuos por especie y por zona de muestreo, lo cual hace un total de 48 individuos de muestreo debido a que se tienen 04 especies y 02 zonas por especie.
- **Estimación de la asimilación de CO<sub>2</sub>:** La muestra seleccionada para las mediciones de asimilación de Dióxido de Carbono comprende 06 individuos por especie y por zona de muestreo, lo cual hace un total de 48 individuos de muestreo debido a que se tienen 04 especies y 02 zonas por especie.

### 3.3 Materiales y Equipos

#### 3.3.1 *Material Biológico*

- Individuos forestales de Fresno (*Fraxinus americana* L.)
- Individuos forestales de Mimosa (*Acacia saligna* (Labill.) H.L. Wendl)
- Individuos forestales de Molle Serrano (*Schinus molle* L.)
- Individuos forestales de Jacarandá (*Jacaranda acutifolia* Bonpl.)

#### 3.3.2 *Material de Laboratorio.*

- Beaker, 40 ml
- Agua destilada
- Alcohol isopropílico

#### 3.3.3 *Insumos*

- Drierita
- Pall Stuttgartter Mase
- Soda Lime
- Cartuchos de CO<sub>2</sub> de 7.5 g
- Equipo de fotosíntesis portable Li-6800
- Estufa MELAG
- GPS
- Clinómetro
- Forcípula
- Vernier
- Cinta métrica
- Tijera de podar
- Pala
- Bolsas de polietileno
- Estacas de metal

- Rafia
- Cuaderno de campo
- Tablero
- Lapicero
- Rotulador indeleble
- Escalera de 1.5 m tipo tijeral
- Algodón y papel toalla
- Cámara fotográfica

### **3.3.4 Fases de evaluación**

La presente investigación se desarrolló en tres fases: campo, laboratorio y gabinete.

#### **Fase de Campo:**

La instalación y georreferenciación de parcelas, inventario vegetal, recolección de muestras vegetales para herbario, toma de muestras de suelo, toma muestras de agua y medición de asimilación de Dióxido de Carbono, se realizaron en las instalaciones del Colegio Militar Francisco Bolognesi de Arequipa, ubicado en el distrito de Alto Selva Alegre.

#### **Fase de Laboratorio:**

El tratamiento de los insumos tales como drierita, stuttgartter mase y soda lime, se realizó en el Laboratorio de Biotecnología Vegetal del Vivero de Uchumayo de Sociedad Minera Cerro Verde, localizado en el distrito de Uchumayo, pueblo tradicional de Congata.

#### **Fase de Gabinete.**

Durante esta fase se realizó el análisis e interpretación de los datos obtenidos.

## **3.4 Metodología**

### ***3.4.1 Determinación Taxonómica de las Especies Forestales Seleccionadas por Criterios de Uniformidad, Ubicadas en las Zonas de Muestreo Delimitadas por Parcelas en el Bosque del Colegio Militar Francisco Bolognesi, Alto Selva Alegre, Arequipa***

#### **3.4.1.1 Determinación y delimitación de las zonas de muestreo.**

Se determinaron las zonas de muestreo de acuerdo a características superficiales observables en visitas de inspección realizadas al lugar de estudio, las zonas de muestreo fueron determinadas por criterios de uniformidad en cuanto a la edad de las especies forestales, siendo ésta de 11 años, dicha edad fue determinada por registros de donación de plántones, los cuales fueron donados 11 años atrás con un estado de desarrollo aproximado de 2 meses, la diferencia superficial y observable en las características del suelo, uniformidad en el tipo, frecuencia, caudal de riego, fuente de agua y tipo de abonado, datos que fueron obtenidos en campo mediante encuestas a encargados de mantenimiento del Bosque (Anexo 17) y registros oficiales de documentos autorizados por la Gerencia Regional de Agricultura - Arequipa.

- **Instalación de Parcelas:** Según el Ministerio del Ambiente, (2015) en su Guía de Inventario de la Flora y Vegetación, Arequipa pertenece a la zona geográfica conocida como “Región andina”, específicamente a la Vertiente Occidental Andina e Interandina, zona para la cual se ha determinado un tamaño mínimo de muestra de aproximadamente 0.04 ha, llegando a un rango máximo de 0.15 ha de muestreo, para la extensión superficial total del lugar de estudio que es de 14.85 ha, por lo cual se distribuyeron 16 parcelas de muestreo con una superficie de 75 m<sup>2</sup> cada una, haciendo un total de 0.12 ha, cubriendo el tamaño mínimo de muestra. Las parcelas se distribuyeron en 08 zonas y cada zona posee 02 sub-parcelas rectangulares de 5 m x 15 m, fueron marcadas utilizando estacas de metal de 20 cm y rafia, ubicadas de forma aleatoria dentro de cada parche forestal, como se detalla en la Tabla 11.

Tabla 11  
Tabla de distribución de parcelas de muestreo

N° de zona	N° de parcela	Especie	Características
1	1.1	Mimosa ( <i>Acacia saligna</i> (Labill.) H.L. Wendl)	Edad: 11 años
	1.2		Tipo de riego: Riego por goteo controlado por bombeo y válvulas de alimentación.
2	2.1	Fresno ( <i>Fraxinus americana</i> L.)	
	2.2		
3	3.1	Molle Serrano ( <i>Schinus molle</i> L.)	Fuente de agua: Agua de Río, almacenada en pozas de sedimentación.
	3.2		
4	4.1	Jacarandá ( <i>Jacaranda acutifolia</i> Bonpl.)	Suelo: Características variables
	4.2		
5	5.1	Molle Serrano ( <i>Schinus molle</i> L.)	Fuente de agua: Agua de Río, almacenada en pozas de sedimentación.
	5.2		
6	6.1	Jacarandá ( <i>Jacaranda acutifolia</i> Bonpl.)	Suelo: Características variables
	6.2		
7	7.1	Molle Serrano ( <i>Schinus molle</i> L.)	Fuente de agua: Agua de Río, almacenada en pozas de sedimentación.
	7.2		
8	8.1	Jacarandá ( <i>Jacaranda acutifolia</i> Bonpl.)	Suelo: Características variables
	8.2		

(Fuente: Elaboración propia)



Figura 3. Parcela Instalada para Molle Serrano (Fuente: Elaboración propia)



Figura 4. Parcela Instalada para Mimosa (Fuente: Elaboración propia)



Figura 5. Parcela Instalada para Fresno (Fuente: Elaboración propia)



Figura 6. Parcela Instalada para Jacaranda (Fuente: Elaboración propia)

### 3.4.1.2 Determinación Taxonómica de las Especies Forestales.

La identificación de una especie se refiere al proceso de confirmación del nombre científico, la colecta de plantas en campo es importante para su identificación en herbarios y/o instituciones de investigación debido a la alta diversidad de especies presentes en nuestro medio. (OSINFOR, 2013)

Para ello, se siguió el protocolo para la herborización, colección y preservado de ejemplares botánicos del OSINFOR (Organismo de supervisión de recursos forestales y de fauna silvestre), el cual, se divide en tres fases.

- **Fase 1. Colección y pre-codificación:** Usando tijeras, se colectaron 03 muestras botánicas del mismo ejemplar (aproximadamente de 30 - 40 cm de tamaño), seleccionando las ramas terminales que contenían hojas en buen estado y con la yema terminal con flores, frutos y hojas adultas (OSINFOR, 2013).

Se envolvieron las muestras obtenidas en papel periódico, atado con cinta masking tape y etiquetadas con una etiqueta de codificación hecha en una cartulina de 5 x 5 cm, atada con pabilo conteniendo los datos del muestreador y la fecha de la recolección, procurando distribuir las por todo el papel periódico, mostrando tanto el haz y el envés de cada muestra, seguidamente, fueron depositadas en forma apilada en el prensador de hojas, evitando que sobresalgan partes de las muestras para poder sujetarlo en forma de cruz utilizando rafia (OSINFOR, 2013).



Figura 7. Colección de muestras para identificación taxonómica (Fuente: Elaboración propia)



Figura 8. Prensado de muestras (Fuente: Elaboración propia)

- **Fase 2. Toma de datos de campo:** Los datos que se registraron en campo estuvieron basados en el protocolo de herborización, colección y preservado de ejemplares botánicos en procesos de supervisión forestal del OSINFOR (Anexo 1).
- **Fase 3. Transporte de muestras:** Una vez registrados los datos de campo, obtenidas las muestras vegetales y empaquetado debidamente, las muestras fueron enviadas, en el menor tiempo posible para garantizar su calidad, al centro autorizado para su evaluación (OSINFOR, 2013), dicho centro se encuentra ubicado en el área de biología de la Universidad Nacional de San Agustín – Arequipa, en el herbario de dicha facultad, donde se realizó la determinación taxonómica de las especies evaluadas.

### 3.4.1.3 Realización de Inventario Forestal.

Habiendo determinado taxonómicamente las especies, se realizó un inventario forestal de los individuos presentes en las parcelas delimitadas en cada una de las 08 zonas, tomando datos del diámetro a la altura del pecho o longitud de arco, altura del fuste, altura total, diámetro de fronda y distancia entre árboles (MINAM, 2015), como se detalla a continuación.

- **Diámetro del fuste:** También conocido como diámetro a la altura del pecho (DAP), consistió en determinar la longitud de la recta que pasa por el centro del círculo y termina en los puntos en que toca toda la circunferencia circunscrita al hacer un corte horizontal en el tronco a una altura de 1.30 m desde la base del tallo, en el caso de árboles de porte bajo y muy ramificado desde su base, la medición del diámetro del tallo se hizo al inicio de su ramificación y no a partir de 1.30 m de altura, utilizando una cinta métrica, la cual brinda el dato de longitud de la circunferencia, a partir del cual se puede calcular su diámetro utilizando la Ecuación 1 (MINAM, 2015).

Ecuación 1. Diámetro de fuste

$$D = \frac{LC}{3.1416}$$

Fuente: (MINAM, 2015)

Dónde:

DAO = Diámetro a la altura del pecho

LC = Longitud de la circunferencia



Figura 9. Medición del DAP en Fresno (*Fraxinus americana* L.) (Fuente: Elaboración propia)

- **Altura total:** Se midió la altura total considerando la distancia que hay desde el suelo hasta la cima de la copa o corona del árbol.
- **Altura del fuste:** Se midió la altura del fuste, desde el suelo hasta el inicio de la ramificación utilizando para ello cinta métrica. Este dato sirve para estimar el volumen maderable, biomasa y carbono del suelo.



Figura 10. Medición de la altura de fuste en Zona 2 de Molle Serrano (Fuente: Elaboración propia)

- **Diámetro de copa:** El diámetro de copa es un parámetro fisionómico que permite calcular el grado de cobertura de una especie o de toda la población de un determinado tipo de vegetación, lo que va a permitir la estimación de la densidad poblacional del bosque, el potencial maderable y el stock de carbono. (MINAM, 2015). El DC (diámetro de copa) se obtuvo a partir de su proyección horizontal en el suelo realizando dos mediciones cruzadas, una del diámetro mayor ( $d1$ ) y otra del diámetro menor ( $d2$ ) para sacar un promedio, como se detalla en la Ecuación 2. (MINAM, 2015)

Ecuación 2. Diámetro de la copa

$$DC = \frac{d1 + d2}{2}$$

Fuente: (MINAM, 2015)

Donde:

DC: Diámetro de la copa

d1: Diámetro mayor

d2: Diámetro menor

- **Distancia entre árboles:** La distancia entre árboles es importante porque determina el espacio que los árboles poseen para poder respirar, nutrirse y recibir una adecuada cantidad de luz (Rodríguez et al. 2009), se determinó, midiendo las distancias existentes entre árbol y árbol, a partir del punto medio de su tallo, utilizando para ello una cinta métrica extendida a lo largo del terreno y seguidamente se marcaron los puntos donde se ubicaban los árboles, anteriormente indicados (MINAM, 2015).



Figura 11. Medición de la distancia entre árboles en Zona 1 de Molle Serrano (Fuente: Elaboración propia)



Figura 12. Medición de la distancia entre árboles en Zona 2 de Fresno (Fuente: Elaboración propia)

### **3.4.2 *Determinación de las características del suelo e incidencia solar de las zonas de muestreo ubicadas en el Bosque del Colegio Militar Francisco Bolognesi, Alto Selva Alegre, Arequipa.***

#### **3.4.2.1 Toma de Muestras de Suelo.**

Se tomaron 16 muestras de suelo, 08 de ellas a 30 cm de profundidad y 08 muestras a 60 cm de profundidad en cada zona de muestreo, para lo cual se utilizó una pala, quitando los residuos de la superficie y recolectando las sub-muestras en 03 puntos distintos distribuidos en zigzag dentro de la parcela luego se homogeneizaron las muestras al final del recorrido en una bolsa debidamente etiquetada, haciendo un total de 2.5 kg de suelo por bolsa (Bazán, 2017). Seguidamente se dividieron las muestras en 02 contenedores diferentes para almacenar un aproximado de 1 kg de suelo como parte de una contra - muestra, que se almacenó como elemento de contingencia ante cualquier eventualidad (Bazán, 2017), enviando 1.5 kg de muestra de suelo a los laboratorios del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) sede Arequipa, para la caracterización de los suelos.



Figura 13. Toma de muestras de suelo (Fuente: Elaboración propia)



Figura 14. Etiquetado de muestras de suelo (Fuente: Elaboración propia)

### 3.4.2.2 Medición de la Incidencia Solar.

La incidencia solar se midió utilizando el sensor Li-190R, el cual mide la radiación fotosintéticamente activa (PAR, en  $\mu\text{mol. m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ), brinda mediciones precisas de la incidencia de fotones (al aire libre, en invernaderos, debajo del dosel vegetal o en cámaras de crecimiento) para la mayoría de las fuentes de luz de espectro amplio, incluyendo luz natural, artificial o fuentes combinadas. A través de un fotodiodo de silicio de alta calidad y un filtro óptico de vidrio, se crea una sensibilidad uniforme a la luz, los factores ambientales como el calor o la humedad no afectan el filtro, el sensor garantiza la precisión de las mediciones en luz difusa y cuando la luz solar proviene de un ángulo solar bajo. Esto, en combinación con la alta resolución a bajos niveles de luz, hacen que el Li-190R también sea útil para determinar el punto de compensación de la luz de las plantas (Li-cor, 2016).



Figura 15. Medición de la incidencia solar utilizando sensor Li-190 R (Fuente: Elaboración propia)



Figura 16. Medición de la incidencia solar utilizando sensor Li-190 R (Fuente: Elaboración propia)

### 3.4.2.3 Toma de Muestra de Agua y Cálculo de Caudal de Riego.

Adicionalmente, para poder caracterizar adecuadamente el medio en el que se desarrollan las especies seleccionadas, se tomó una muestra de agua de la poza de sedimentación de donde se obtiene el agua para regar el bosque, para ello se debe tomar un litro de muestra, el cual es suficiente para realizar las determinaciones físicas como químicas necesarias para su caracterización, antes de la colecta de la muestra, el envase que puede ser de vidrio o de plástico elegido para transportar la muestra debe ser enjuagado con el agua de la misma zona de estudio, para luego enviar dicha muestra rotulada para su análisis de caracterización en los laboratorios del INIA (Bazán, 2017).

Para el cálculo del caudal de riego se utilizó como medidor un cronómetro y un contenedor de 01 onza, midiéndose el volumen de agua por minuto, en cada zona de muestreo.



Figura 17. Pozo de sedimentación y almacenamiento de agua (Fuente: Elaboración propia)



Figura 18. Toma de muestra de agua (Fuente: Elaboración propia)

### 3.4.3 *Estimación de la Asimilación de Dióxido de Carbono de las Especies Seleccionadas en el Bosque del Colegio Militar Francisco Bolognesi, Alto Selva Alegre, Arequipa.*

El diseño metodológico para realizar las mediciones consistió en elegir 06 individuos por especie y por zona de muestreo, haciendo un total de 48 individuos de muestreo elegidos por poseer características similares de acuerdo al promedio de sus dimensiones obtenidas en el inventario forestal.

Se determinó la evolución diaria de la asimilación de CO<sub>2</sub> realizando mediciones en intervalos de dos horas a partir de las 08:00 hr hasta las 16:00 hr, horarios que cubren el curso diurno en el que se desarrolla la fotosíntesis (Sánchez, 2016). Las mediciones se realizaron en el mes de setiembre del año 2019, considerado dentro de los meses que conforman la época seca o periodo de estiaje (de abril a noviembre), por la ausencia de lluvias, en tres días distintos (23, 24 y 30 de setiembre), haciendo un total de 18 repeticiones por zona de muestreo.

Tabla 12

Tabla de la cantidad de individuos muestreados por especies, zona y parcela

Hora	Especie	Zona	Parcela	Individuos por parcela	N° total de individuos	
8:00 hr, 10:00 hr, 12:00 hr, 14:00 hr, 16:00 hr.	Mimosa ( <i>Acacia saligna</i> (Labill.) H.L. Wendl)	1	1.1	3	6	
			1.2	3		
		2	2.1	3	6	
			2.2	3		
		1	Fresno ( <i>Fraxinus americana</i> L.)	1.1	3	6
				1.2	3	
	2		2.1	3	6	
			2.2	3		
	1	Molle Serrano ( <i>Schinus molle</i> L.)	1	1.1	3	6
				1.2	3	
			2	2.1	3	6
				2.2	3	
1			Jacarandá ( <i>Jacaranda acutifolia</i> Bonpl.)	1.1	3	6
				1.2	3	
2		2.1	3	6		
		2.2	3			

(Fuente: Elaboración propia)

Para poder realizar las mediciones fue necesario que las hojas analizadas recibiesen una adecuada incidencia solar, es decir, alejadas de la sombra, para garantizar una óptima medición del intercambio gaseoso, así mismo, se escogieron hojas maduras (Li-cor, 2016).

Para empezar con la medición, se ajustó el nivel de flujo de aire en 400  $\mu\text{mol/s}$  y a una presión de la válvula de 0.2 kPa (Li-cor, 2016).

Seguidamente, se ajustaron los controles de agua configurando el déficit de presión de vapor de agua en la hoja (VPS\_leaf) en 1.0 kPa. Se aseguró correctamente el cartucho de  $\text{CO}_2$ , luego, en la pestaña de entorno se activó el inyector de  $\text{CO}_2$  y se colocó la concentración de  $\text{CO}_2$  en la corriente de aire en 500  $\mu\text{mol/mol}$ , a continuación, se colocó en modo automático la columna química de lavado de gases que contiene la cal sodada. Se activó el funcionamiento del ventilador, luego se ajustaron las revoluciones en 10000 rpm para un adecuado desarrollo de las mediciones, este valor permite una óptima aireación del sistema sin utilizar demasiada energía. Se registraron las temperaturas de la hoja, activando la termocupla ubicada en la base del cabezal de sensor. Se utilizó una fuente de luz natural por lo que se activó la opción de “sun+sky”, complementado con el fluorómetro que provee luz a la cámara de muestreo de acuerdo a la cantidad de fotones que recepciona el sensor del ambiente natural, orientando el sensor a una dirección sin sombra (Li-cor, 2016).

Se crearon carpetas para cada una de las especies, horas de medición y zona de muestreo, donde se almacenaron los datos medidos, luego se dejó estabilizar el instrumento por un momento hasta obtener datos registrables para su análisis e interpretación. (Li-cor, 2016).



Figura 19. Medición de la asimilación de  $\text{CO}_2$  en Mimosa (*Acacia saligna* (Labill.) H.L. Wendl.)  
(Fuente: Elaboración propia)



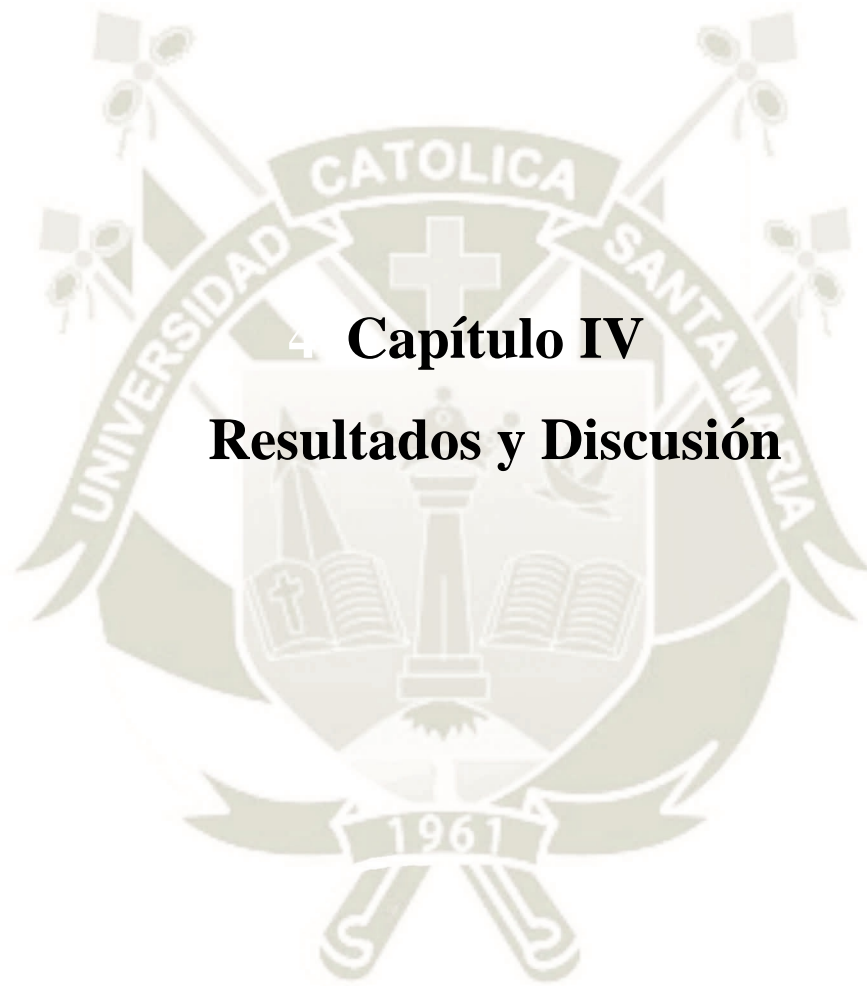
Figura 20. Medición de la asimilación de  $\text{CO}_2$  en Molle serrano (*Schinus molle* L.)  
(Fuente: Elaboración propia)



Figura 21. Medición de la asimilación de CO<sub>2</sub> en Fresno (*Fraxinus americana* L.)  
(Fuente: Elaboración propia)



Figura 22. Medición de la asimilación de CO<sub>2</sub> en Jacaranda (*Jacaranda acutifolia* Bonpl.)  
(Fuente: Elaboración propia)



## 4 **Capítulo IV**

# **Resultados y Discusión**

#### **4.1 Resultados de Determinación Taxonómica de las Especies Forestales Seleccionadas por Criterios de Uniformidad, Ubicadas en las Zonas de Muestreo Delimitadas por Parcelas en el Bosque del Colegio Militar Francisco Bolognesi, Alto Selva Alegre, Arequipa**

##### ***4.1.1 Determinación y Delimitación de las Zonas de Muestreo***

Las zonas de muestreo fueron determinadas por las características que presentaron los individuos de muestreo y las condiciones de riego. Los individuos forestales tienen una edad de 11 años, la provisión de agua se da mediante el sistema de riego por goteo controlado por bombeo y válvulas de alimentación. El proceso de fertilización se realiza añadiendo Abono 20-20, diluido en las pozas de almacenamiento de agua 20 kg disueltos en 700m<sup>3</sup> de agua. El agua es obtenida mediante bombeo desde el Río Chili y es almacenada en pozas de sedimentación y superficialmente se observaron posibles variaciones en las características del suelo.

Cada zona de muestreo fue delimitada mediante la instalación de parcelas, en cada zona se instalaron 02 parcelas de 75 m<sup>2</sup> cada una, obteniendo la distribución de parcelas representada en el mapa de la Figura 23.

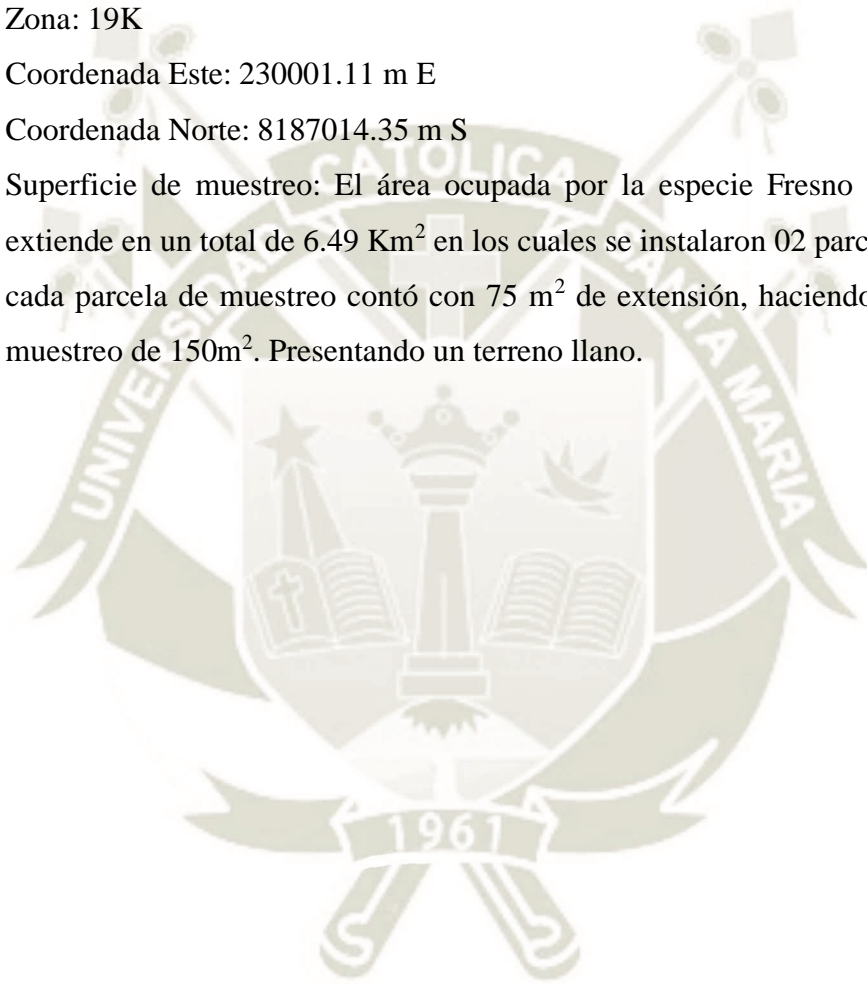


BOSQUE DEL COLEGIO MILITAR FRANCISCO BOLOGNESI					
Mapa de Distribución de las Parcelas de Muestreo					
Ubicación		PARCELA	Símbolo	ESPECIE	Color
Dpto.:	Arequipa	Fresno Zona 1		Casuarina	
Región:	Arequipa	Fresno Zona 2		Fresno	
Provincia:	Arequipa	Jacaranda Zona 1		Jacaranda	
Distrito:	Alto Selva Alegre	Jacaranda Zona 2		Mimosa	
		Mimosa Zona 1		Molle Serrano	
		Mimosa Zona 2		Pino	
		Molle Serrano Zona 1		Vilco	
Referencia		Molle Serrano Zona 2		Area adicional	Color
DATUM WGS84				A. Entrenamiento	
				Reservorio	

Figura 23 Mapa de distribución de las zonas y parcelas de muestreo (Fuente: Elaboración propia)

#### 4.1.1.1 Zona 1 de Muestreo de Fresno (*Fraxinus americana* L.).

- Especie: Fresno (*Fraxinus americana* L.)
- Denominación de zona de muestreo: Zona 1
- Ubicación: Bosque del Colegio Militar Francisco Bolognesi
- Sistema de coordenadas: Universal Transversal Mercator (UTM)
- Zona: 19K
- Coordenada Este: 230001.11 m E
- Coordenada Norte: 8187014.35 m S
- Superficie de muestreo: El área ocupada por la especie Fresno en la zona 1, se extiende en un total de 6.49 Km<sup>2</sup> en los cuales se instalaron 02 parcelas de muestreo, cada parcela de muestreo contó con 75 m<sup>2</sup> de extensión, haciendo un área total de muestreo de 150m<sup>2</sup>. Presentando un terreno llano.



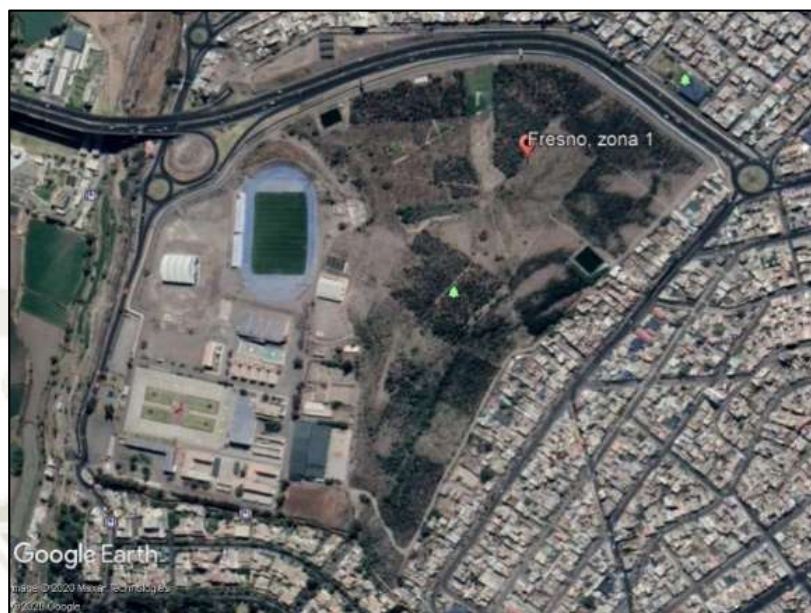


Figura 24. Imagen satelital de la zona 1 de Fresno (Fuente; Google earth)



Figura 25. Individuo de Fresno en zona 1 (Fuente: Elaboración propia)

#### 4.1.1.2 Zona 2 de Muestreo de Fresno (*Fraxinus americana* L.)

- Especie: Fresno (*Fraxinus americana* L.)
- Denominación de zona de muestreo: Zona 2
- Ubicación: Bosque del Colegio Militar Francisco Bolognesi
- Sistema de coordenadas: Universal Transversal Mercator (UTM)
- Zona: 19K
- Coordenada Este: 229904.17 m E
- Coordenada Norte: 8186780.98 m S
- Superficie de muestreo: El área ocupada por la especie Fresno (*Fraxinus americana* L.) en la zona 2, se extiende en un total de 0.41 Km<sup>2</sup> en los cuales se instalaron 02 parcelas de muestreo, cada parcela de muestreo contó con 75 m<sup>2</sup> de extensión, haciendo un área total de muestreo de 150m<sup>2</sup>. Presentando un terreno inclinado.

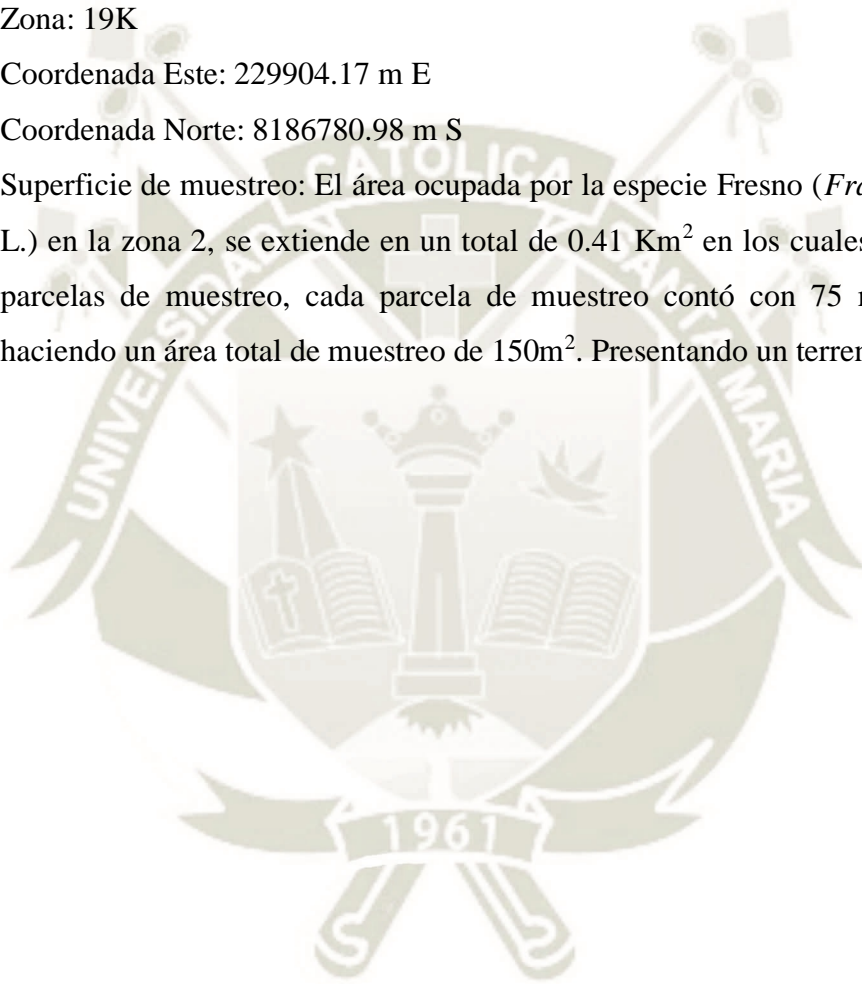




Figura 26. Imagen satelital de la zona 2 de Fresno (Fuente; Google earth)



Figura 27. Individuo de Fresno en zona 2 (Fuente: Elaboración propia)

#### 4.1.1.3 Zona 1 de Muestreo de Mimosa (*Acacia saligna* (Labill.) H.L. Wendl)

- Especie: Mimosa (*Acacia saligna* (Labill.) H.L. Wendl)
- Denominación de zona de muestreo: Zona 1
- Ubicación: Bosque del Colegio Militar Francisco Bolognesi
- Sistema de coordenadas: Universal Transversal Mercator (UTM)
- Zona: 19K
- Coordenada Este: 229980.69 m E
- Coordenada Norte: 8187053.53 m S
- Superficie de muestreo: El área ocupada por la especie Mimosa en la zona 1, se extiende en un total de 4.35 Km<sup>2</sup> en los cuales se instalaron 02 parcelas de muestreo, cada parcela de muestreo contó con 75 m<sup>2</sup> de extensión, haciendo un área total de muestreo de 150m<sup>2</sup>. Presentando un terreno llano.

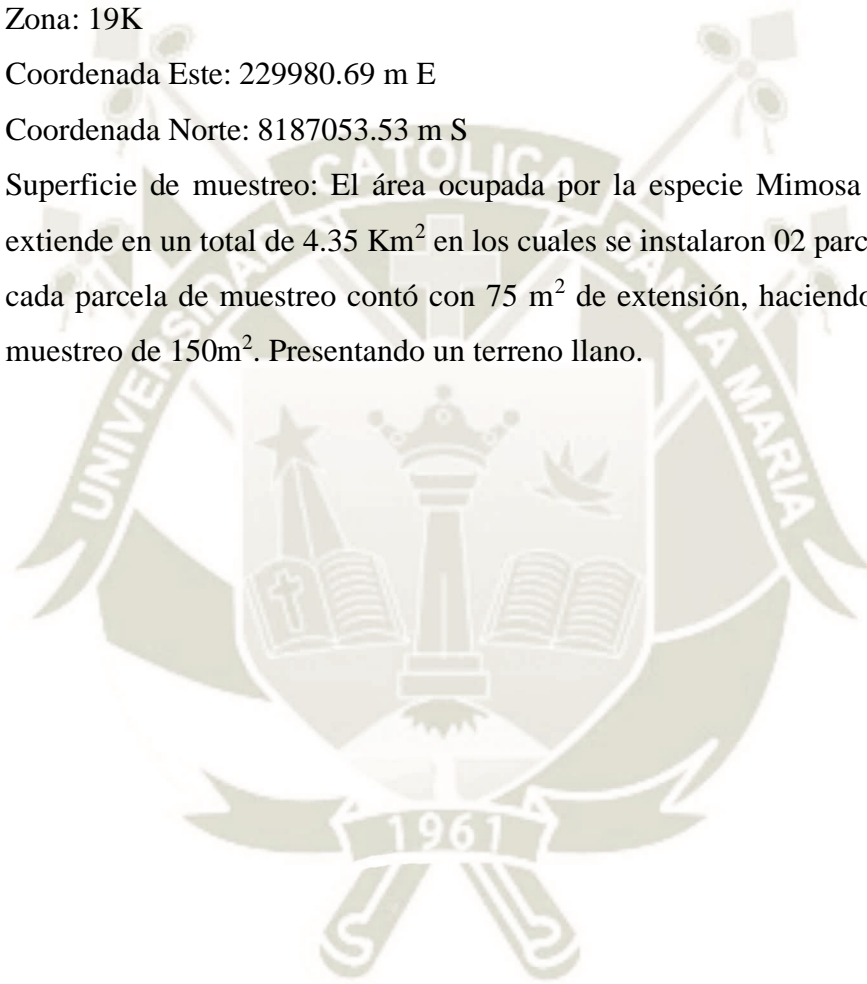




Figura 28. Imagen satelital de la zona 1 de Mimosa (Fuente; Google earth)



Figura 29. Individuo de Mimosa en zona 1 (Fuente: Elaboración propia)

#### 4.1.1.4 Zona 2 de Muestreo de Mimosa (*Acacia saligna* (Labill.) H.L. Wendl)

- Especie: Mimosa (*Acacia saligna* (Labill.) H.L. Wendl)
- Denominación de zona de muestreo: Zona 2
- Ubicación: Bosque del Colegio Militar Francisco Bolognesi
- Sistema de coordenadas: Universal Transversal Mercator (UTM)
- Zona: 19K
- Coordenada Este: 229924.05 m E
- Coordenada Norte: 8187010.87 m S
- Superficie de muestreo: El área ocupada por la especie Mimosa en la zona 2, se extiende en un total de 1.59 Km<sup>2</sup> en los cuales se instalaron 02 parcelas de muestreo, cada parcela de muestreo contó con 75 m<sup>2</sup> de extensión, haciendo un área total de muestreo de 150m<sup>2</sup>. Presentando un terreno ligeramente inclinado.

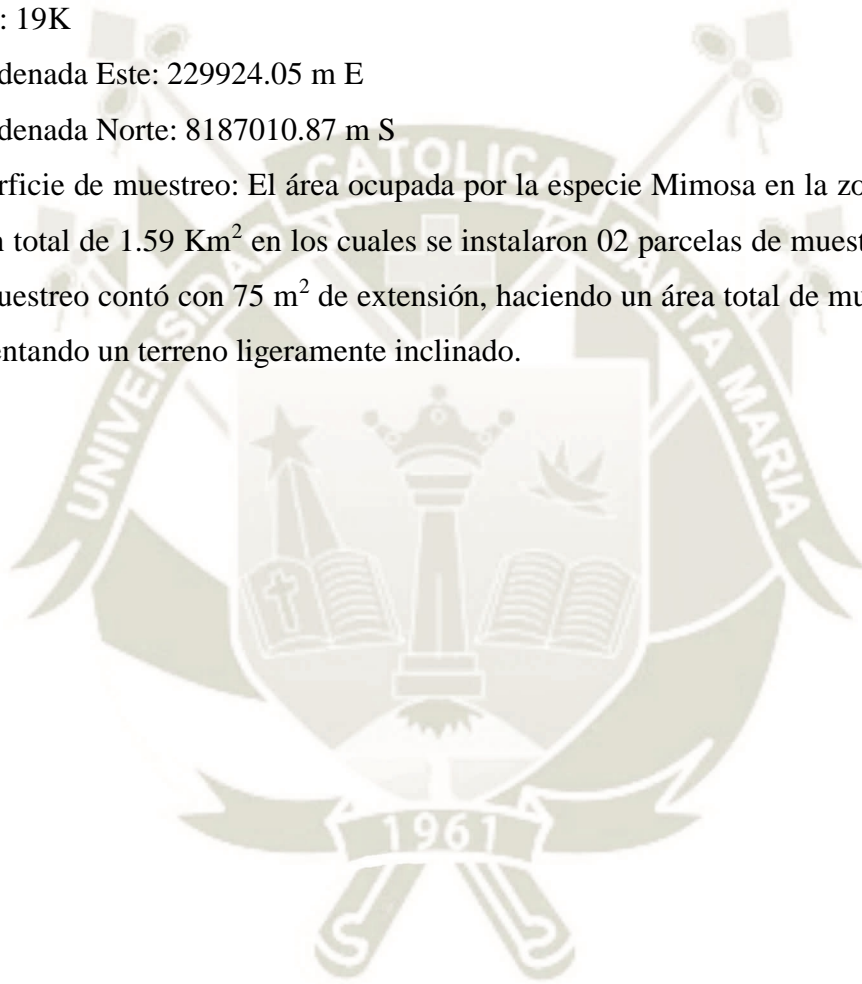




Figura 30. Imagen satelital de la zona 2 de Mimosa (Fuente; Google earth)



Figura 31. Individuo de Mimosa en zona 2 (Fuente: Elaboración propia)

#### 4.1.1.5 Zona 1 de Muestreo de Molle serrano (*Schinus molle* L.)

- Especie: Molle Serrano (*Schinus molle* L.)
- Denominación de zona de muestreo: Zona 1
- Ubicación: Bosque del Colegio Militar Francisco Bolognesi
- Sistema de coordenadas: Universal Transversal Mercator (UTM)
- Zona: 19K
- Coordenada Este: 229861.20 m E
- Coordenada Norte: 8186963.99 m S
- Superficie de muestreo: El área ocupada por la especie Molle Serrano en la zona 1, se extiende en un total de 1.10 Km<sup>2</sup> en los cuales se instalaron 02 parcelas de muestreo, cada parcela de muestreo contó con 75 m<sup>2</sup> de extensión, haciendo un área total de muestreo de 150m<sup>2</sup>. Presentando un terreno ligeramente inclinado

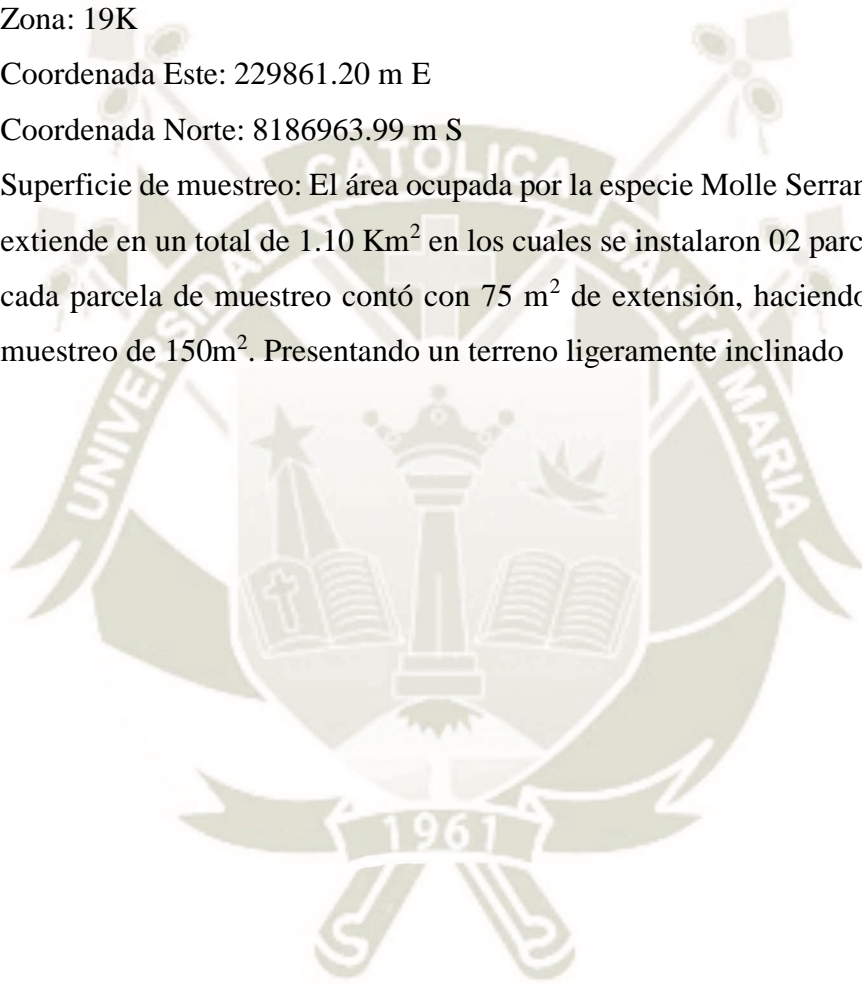




Figura 32. Imagen satelital de la zona 1 de Molle Serrano (Fuente; Google earth)



Figura 33. Individuo de Molle Serrano en zona 1 (Fuente: Elaboración propia)

#### 4.1.1.6 Zona 2 de Muestreo de Molle serrano (*Schinus molle* L.)

- Especie: Molle Serrano (*Schinus molle* L.)
- Denominación de zona de muestreo: Zona 2
- Ubicación: Bosque del Colegio Militar Francisco Bolognesi
- Sistema de coordenadas: Universal Transversal Mercator (UTM)
- Zona: 19K
- Coordenada Este: 229853.14 m E
- Coordenada Norte: 8186793.32 m S
- Superficie de muestreo: El área ocupada por la especie Molle Serrano en la zona 2, se extiende en un total de 0.60 Km<sup>2</sup> en los cuales se instalaron 02 parcelas de muestreo, cada parcela de muestreo contó con 75 m<sup>2</sup> de extensión, haciendo un área total de muestreo de 150m<sup>2</sup>. Presentando un terreno con pendiente elevada.

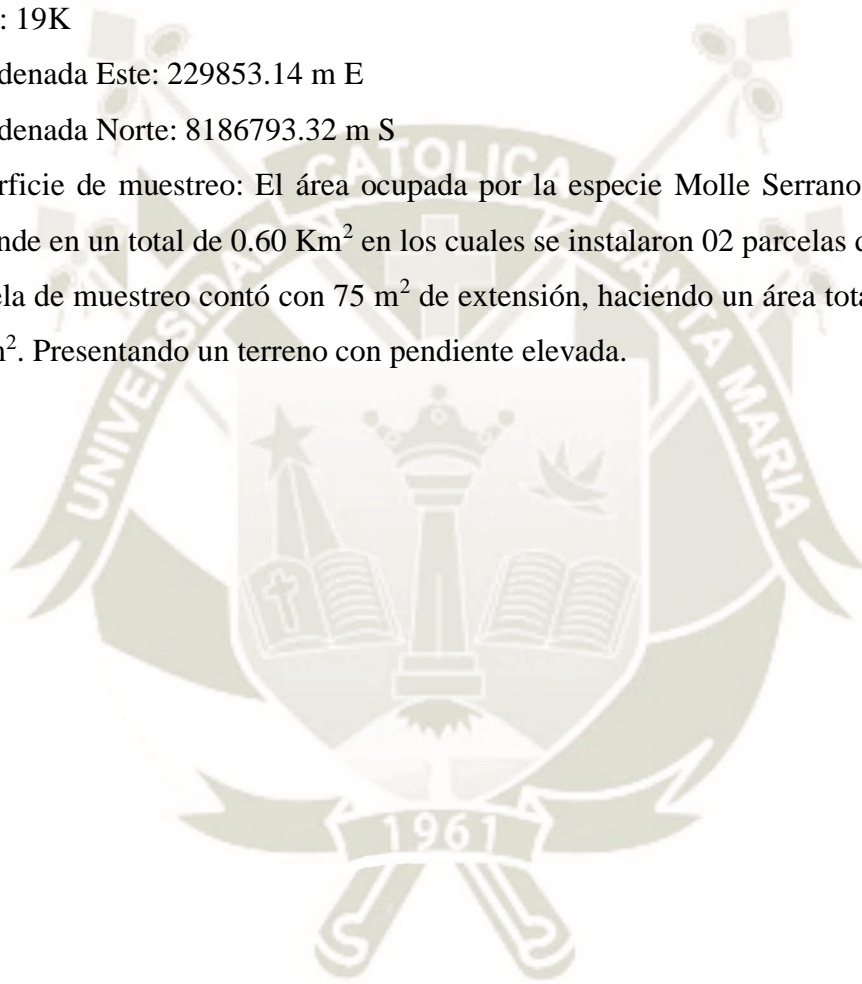




Figura 34. Imagen satelital de la zona 2 de Molle Serrano (Fuente; Google earth)



Figura 35. Individuo de Molle Serrano en zona 2 (Fuente: Elaboración propia)

#### 4.1.1.7 Zona 1 de Muestreo de Jacaranda (*Jacaranda acutifolia* Bonpl.)

- Especie: Jacaranda (*Jacaranda acutifolia* Bonpl.)
- Denominación de zona de muestreo: Zona 1
- Ubicación: Bosque del Colegio Militar Francisco Bolognesi
- Sistema de coordenadas: Universal Transversal Mercator (UTM)
- Zona: 19K
- Coordenada Este: 229865.38 m E
- Coordenada Norte: 8187010.71 m S
- Superficie de muestreo: El área ocupada por la especie Jacaranda (*Jacaranda acutifolia* Bonpl.) en la zona 1, se extiende en un total de 0.40 Km<sup>2</sup> en los cuales se instalaron 02 parcelas de muestreo, cada parcela de muestreo contó con 75 m<sup>2</sup> de extensión, haciendo un área total de muestreo de 150m<sup>2</sup>. Presentando un terreno con pendiente elevada.

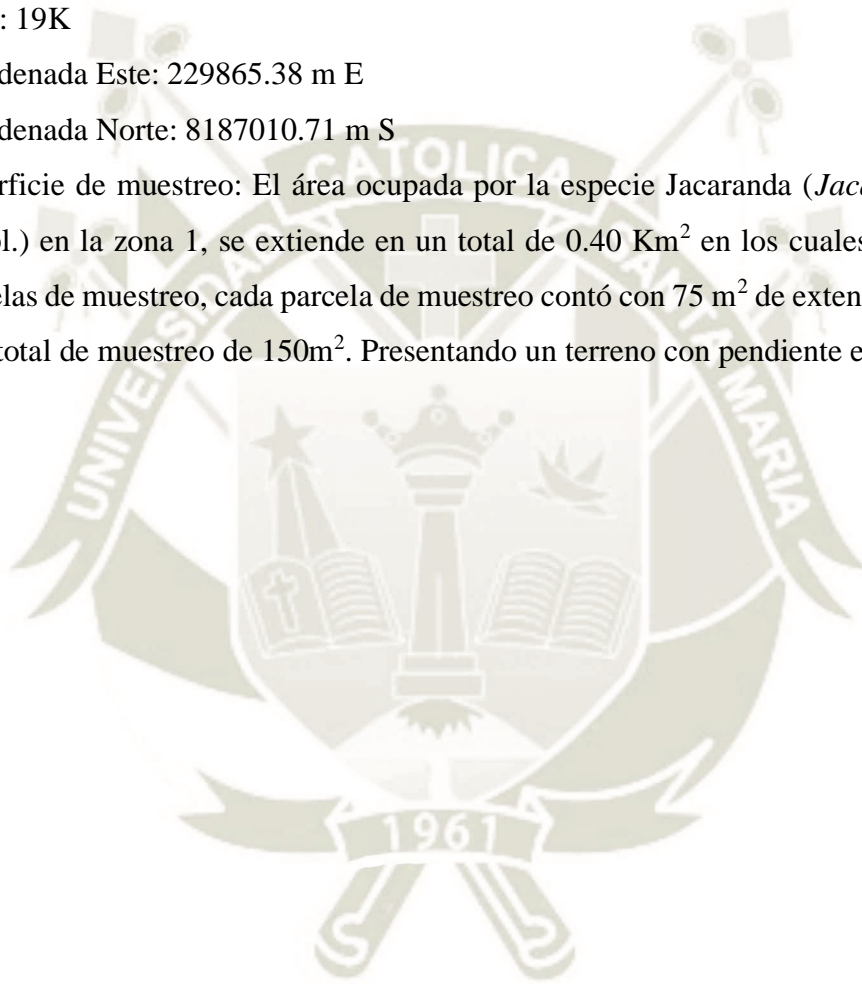




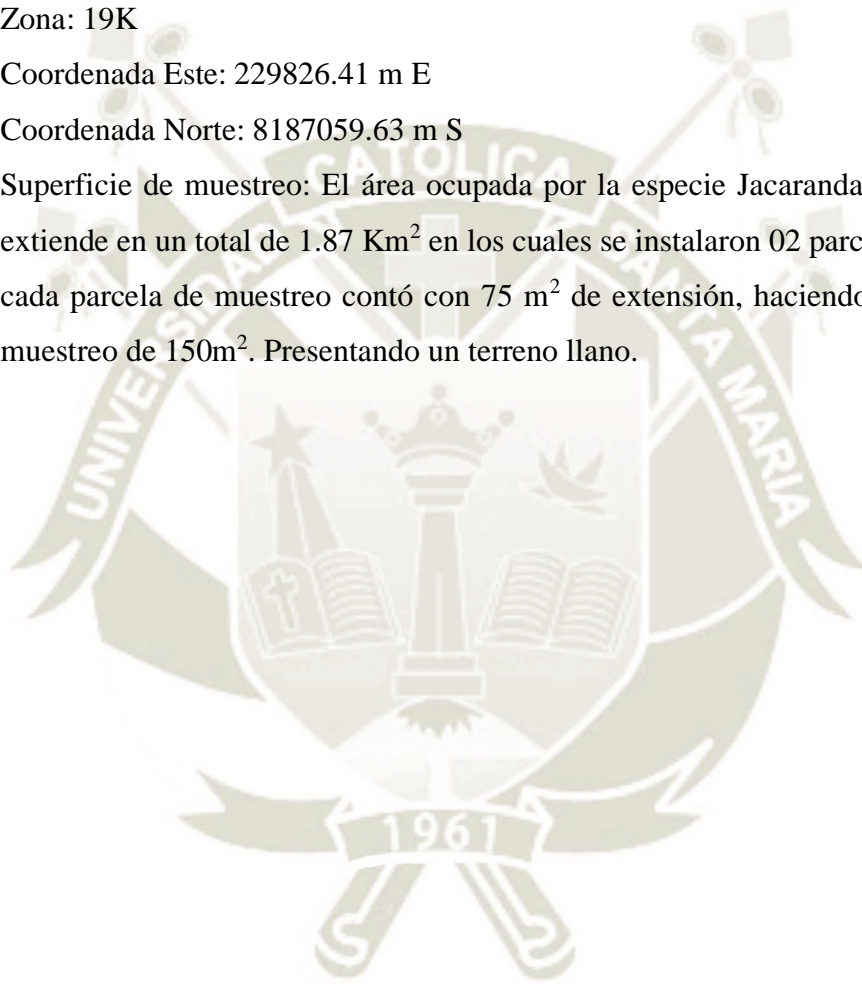
Figura 36. Imagen satelital de la zona 1 de Jacaranda (Fuente; Google earth)



Figura 37. Individuo de Jacaranda en zona 1 (Fuente: Elaboración propia)

#### 4.1.1.8 Zona 2 de Muestreo de Jacaranda (*Jacaranda acutifolia* Bonpl.)

- Especie: Jacaranda (*Jacaranda acutifolia* Bonpl.)
- Denominación de zona de muestreo: Zona 2
- Ubicación: Bosque del Colegio Militar Francisco Bolognesi
- Sistema de coordenadas: Universal Transversal Mercator (UTM)
- Zona: 19K
- Coordenada Este: 229826.41 m E
- Coordenada Norte: 8187059.63 m S
- Superficie de muestreo: El área ocupada por la especie Jacaranda en la zona 2, se extiende en un total de 1.87 Km<sup>2</sup> en los cuales se instalaron 02 parcelas de muestreo, cada parcela de muestreo contó con 75 m<sup>2</sup> de extensión, haciendo un área total de muestreo de 150m<sup>2</sup>. Presentando un terreno llano.



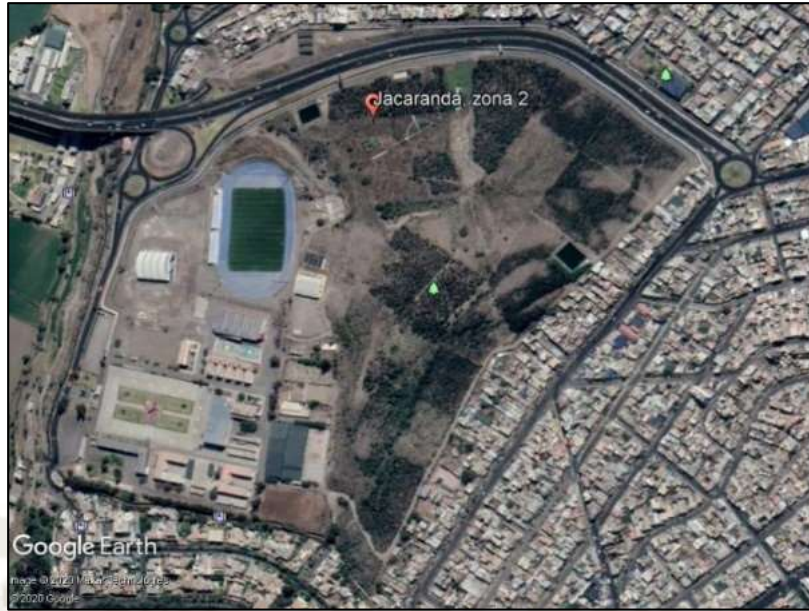


Figura 38. Imagen satelital de la zona 2 de Jacaranda (Fuente; Google earth)



Figura 39 Individuo de Jacaranda en zona 2 (Fuente: Elaboración propia)

#### 4.1.2 Resultados de Determinación Taxonómica

Los resultados brindados por el Herbario de la Universidad Nacional de San Agustín indican que la masa arbórea en las zonas de muestreo la componen cuatro especies, concernientes a Fresno (*Fraxinus americana* L.), Mimosa (*Acacia saligna* (Labill.) H.L. Wendl), Molle Serrano (*Schinus molle* L.) y Jacaranda (*Jacaranda acutifolia* Bonpl.).

De las especies determinadas taxonómicamente, se tiene que:

- *Schinus molle* L. y *Jacaranda acutifolia* Bonpl. son especies nativas del Perú.
- *Acacia saligna* (Labill.) H.L. Wendl y *Fraxinus americana* L. son especies introducidas, de Australia y Norte América respectivamente.

#### 4.1.3 Resultados de Inventario Forestal

El inventario realizado brinda datos de DAP (diámetro a la altura del pecho), longitud de arco, altura del fuste, altura total, diámetro de fronda y distancia entre árboles presentes en las 16 parcelas ubicadas en las ocho zonas de muestreo (Anexos del 2 al 9). Al calcular el promedio y extraer valores máximos y mínimos de los datos del inventario, se obtuvo un patrón de medición de los individuos, tomando en cuenta los factores de altura total (m), diámetro a la altura del pecho (m) y área de la copa (m<sup>2</sup>), siendo el que se muestra en la Tabla 13, distribuido por especie y por zona de muestreo.

Tabla 13  
Patrones de inventario para selección de individuos

Especie	Altura total (m)		DAP (m)		Área de la copa (m <sup>2</sup> )	
	Zona 1	Zona 2	Zona 1	Zona 2	Zona 1	Zona 2
Fresno	2.32	3.13	0.04	0.08	2.13	3.00
Mimosa	3.31	2.78	0.14	0.08	10.75	7.28
Molle Serrano	4.03	1.84	0.17	0.04	11.89	2.65
Jacarandá	1.71	2.52	0.09	0.28	2.64	3.66

(Fuente: Elaboración propia)

## **4.2 Determinación de las Características del Suelo e Incidencia Solar de las Zonas de Muestreo Ubicadas en el Bosque del Colegio Militar Francisco Bolognesi, Alto Selva Alegre, Arequipa.**

El análisis de caracterización de suelos consiste en la evaluación Física, Química y de Capacidad de Intercambio Catiónico de las muestras. La compilación de resultados de laboratorio se encuentra adjunta en el Anexo 18. A continuación, se detallan los resultados obtenidos por cada tipo de evaluación mencionada.

### **4.2.1 Resultados de Caracterización Física de Suelos**

Los resultados de caracterización física de suelos, brindan información sobre textura de suelos, porosidad, capacidad de campo, agua disponible y punto de marchitez permanente, como se muestra a continuación.

#### **4.2.1.1 Textura de Suelos.**

La Tabla 14 y la Figura 40. muestran la distribución de las clases texturales que están presentes en las zonas de muestreo a 30 cm y 60 cm de profundidad, obteniendo que, un 62% de las muestras poseen una clase textural correspondiente a Arena Franca, según un estudio realizado por la FAO (2009), esto indica en términos generales que son suelos de textura gruesa pues en su distribución granulométrica predomina el porcentaje de arena (70 – 86%), seguido por limo (0-30%) y finalmente arcilla con un 15%. En cuanto al 38% restante, corresponde a 6 de las 16 muestras analizadas, que presentan la clase textural Franco Arenosa, la cual de acuerdo a la tabla de clasificación americana de texturas de suelo citado por FAO (2009), pertenece al tipo de suelos de textura moderadamente gruesa, con una composición granulométrica que va del 50% al 70% de arena, 50 % de limo y 20 % de arcilla.

Tabla 14  
Distribución de texturas de suelo

Textura Arena Franca (FA)			Textura Franco Arenosa (FA)		
Especie	Zona	Profundidad (cm)	Especie	Zona	Profundidad (cm)
Fresno	1	30	Fresno	2	30
Fresno	1	60	Mimosa	2	30
Fresno	2	60	Mimosa	2	60
Mimosa	1	30	Molle serrano	1	30
Mimosa	1	60	Molle serrano	2	30
Molle serrano	1	60	Molle serrano	2	60
Jacaranda	1	30			
Jacaranda	1	60			
Jacaranda	2	30			
Jacaranda	2	60			

(Fuente: Elaboración propia)

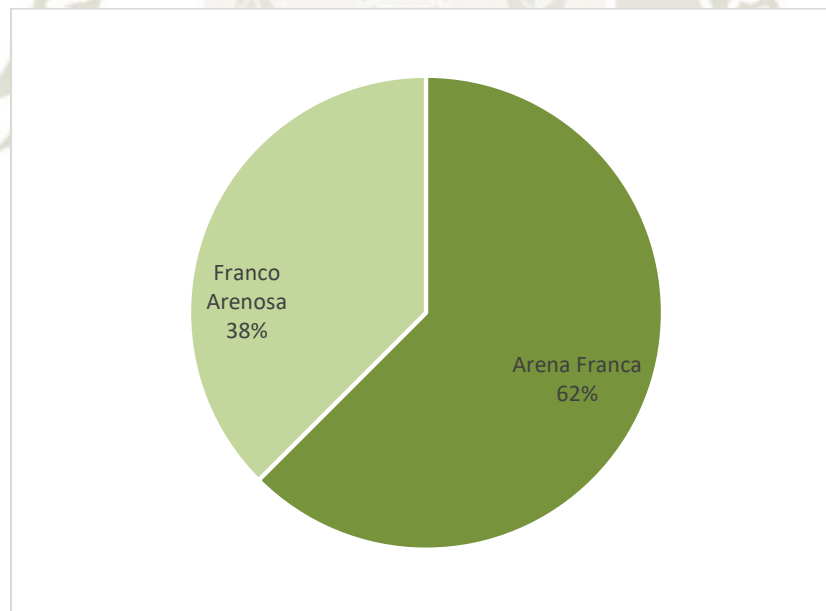


Figura 40. Porcentaje de distribución de textura de suelos en zonas de muestreo

(Fuente: Elaboración propia)

#### 4.2.1.2 Porosidad.

Los valores de porosidad de suelo en las zonas de muestreo a 30cm y 60cm de profundidad oscilan entre 37% y 38%, ambos porcentajes indican un nivel bajo de porosidad.



Figura 41. Porcentaje de porosidad en suelos de las zonas de muestreo  
(Fuente: Elaboración propia)

#### 4.2.1.3 Capacidad de Campo.

La capacidad de campo presente en las zonas de muestreo, da valores que oscilan desde 8.5% a 11.3 %, estos valores se ubican dentro del rango normal de capacidad de campo en suelos de textura gruesa y moderadamente gruesa, es decir entre 4% y 20% según Zotarelli (2013).

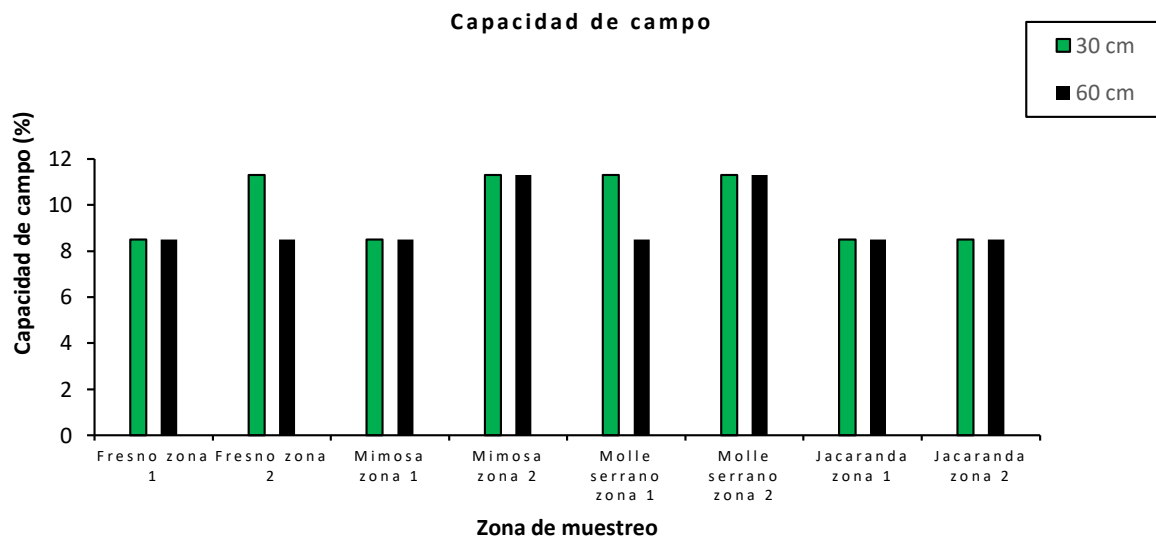


Figura 42. Capacidad de campo en suelos de las zonas de muestreo  
(Fuente: Elaboración propia)

#### 4.2.1.4 Punto de Marchitez Permanente.

El punto de marchitez permanente obtenido en las zonas de muestreo indica que, por cada 100g de suelo, el agua está presente en 2.3g y 3.4g, concentración perteneciente al rango de suelos de textura gruesa y moderadamente gruesa (0 - 5%).

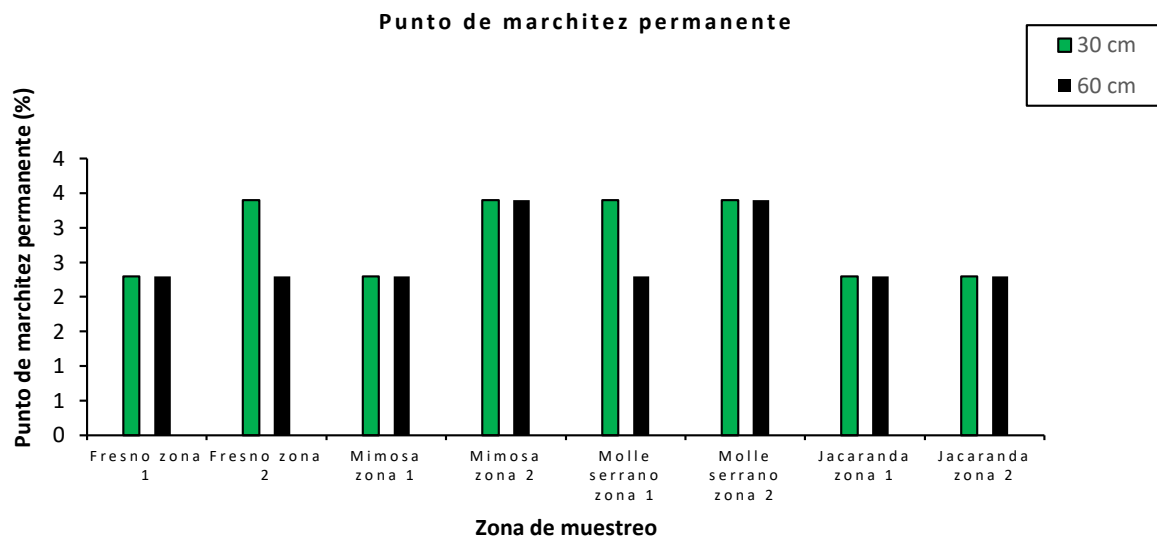


Figura 43. Punto de marchitez permanente en suelos de las zonas de muestreo  
(Fuente: Elaboración propia)

#### 4.2.1.5 Agua Disponible.

El porcentaje de agua disponible presente en los suelos de las zonas de muestreo oscila en el rango de 6.2 % y 7.9 %, este porcentaje es obtenido por la diferencia entre el porcentaje de capacidad de campo y el punto de marchitez permanente, anteriormente evaluados.

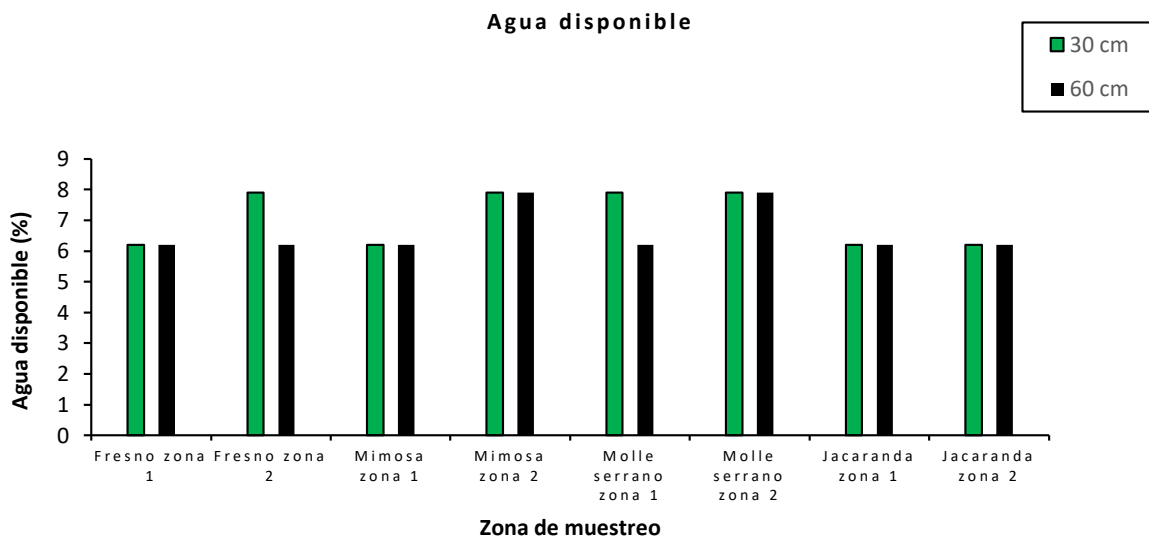


Figura 44. Porcentaje de agua disponible en suelos de las zonas de muestreo  
(Fuente: Elaboración propia)

#### 4.2.2 Resultado de Caracterización Química de Suelo

Los resultados de caracterización química de suelos, brindan información sobre materia orgánica, conductividad eléctrica, potencial de Hidrógeno y concentración de Fósforo, como se muestra a continuación.

##### 4.2.2.1 Materia Orgánica.

La Figura 45 muestra el porcentaje de materia orgánica presente en las zonas de muestreo a 30cm y 60cm de profundidad presentando porcentajes que oscilan en el rango de 0.18% a 0.8%, los cuales se ubican dentro de la clasificación dada por el método de Walkley-Black en la categoría de “muy bajo”, así mismo, se observan valores mayores entre 1.33% y 1.51%, los cuales se ubican en la categoría de porcentaje de materia orgánica “bajo”.

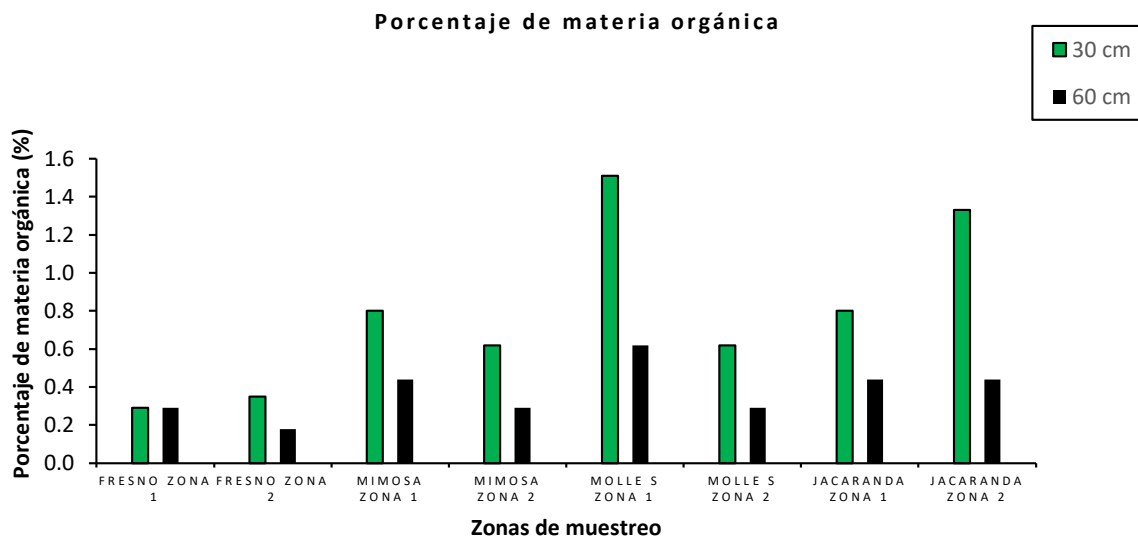


Figura 45. Porcentaje de materia orgánica en suelos de las zonas de muestreo

(Fuente: Elaboración propia)

#### 4.2.2.2 Potencial de Hidrógeno.

La Figura 46 muestra el potencial de hidrógeno (pH) presente en las muestras de suelo analizadas a 30cm y 60cm de profundidad, en las zonas determinadas para cada especie forestal, valores dentro del rango ideal de pH en suelos, pues oscilan entre 6.5 y 7.5, también se obtuvieron suelos ubicados en la categoría de suelo Medianamente Alcalino.

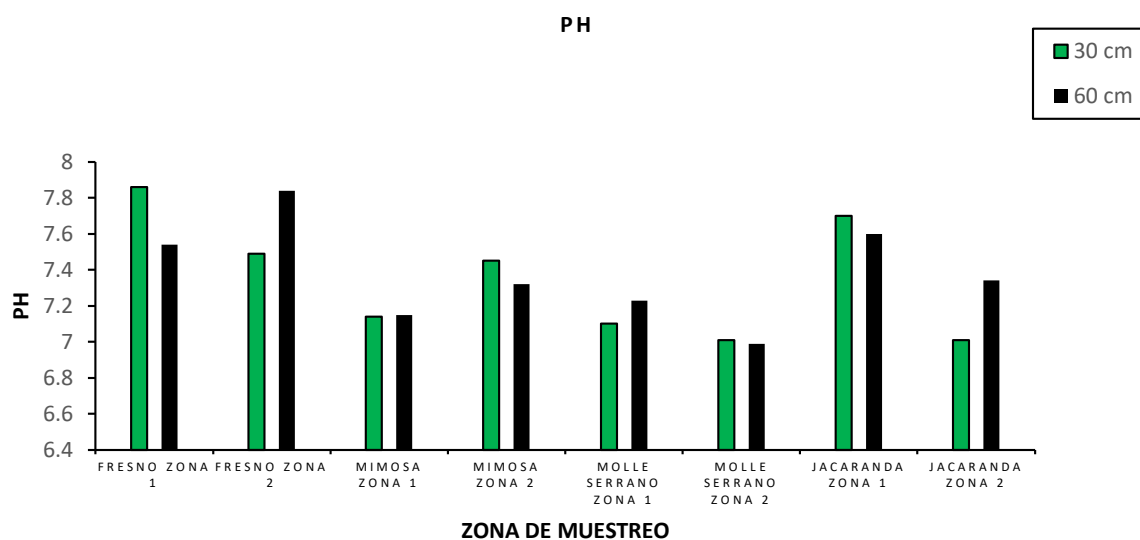


Figura 46. Potencial de hidrógeno en suelos de las zonas de muestreo  
(Fuente; Elaboración propia)

### 4.2.2.3 Conductividad Eléctrica.

La conductividad eléctrica está determinada por la concentración de sales solubles en el sustrato, el análisis realizado muestra que, todos los valores registrados oscilan entre 0.04 dS/m y 1.62 dS/m (Figura 47), los cuales se encuentran en la categoría de suelos no salinos, pues se ubican en el rango de 0 a 2 dS/m.

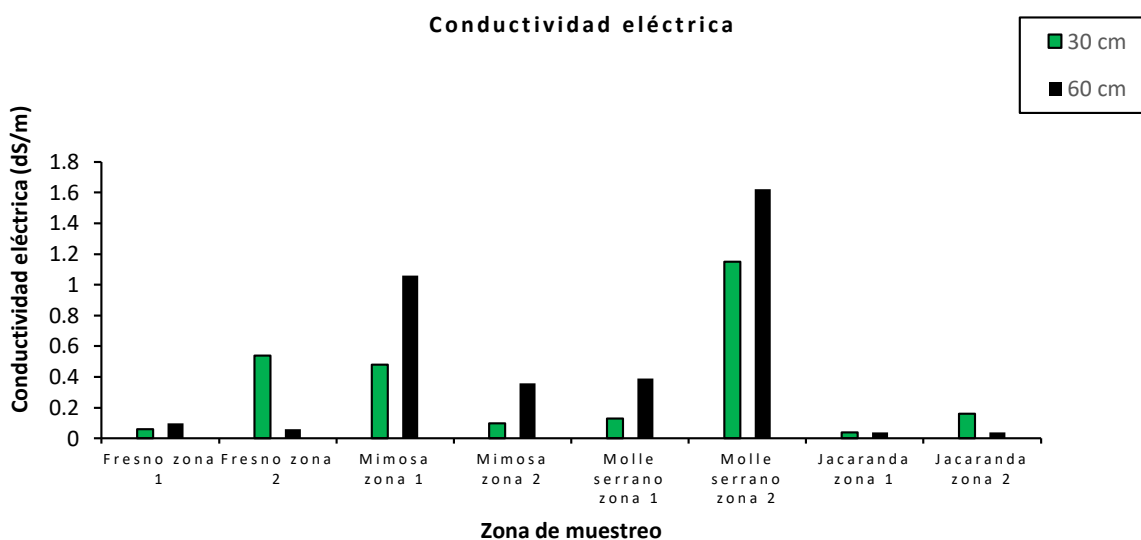


Figura 47. Conductividad eléctrica en suelos de las zonas de muestreo  
(Fuente: Elaboración propia)

#### 4.2.2.4 Concentración de Fósforo.

La Figura 48 muestra el contenido de Fósforo en partes por millón (ppm) presente en las muestras de suelo analizadas a 30cm y 60cm de profundidad, las muestras registran valores ubicados en las categorías de concentración de Fósforo “Baja” y “Media o Ideal”.

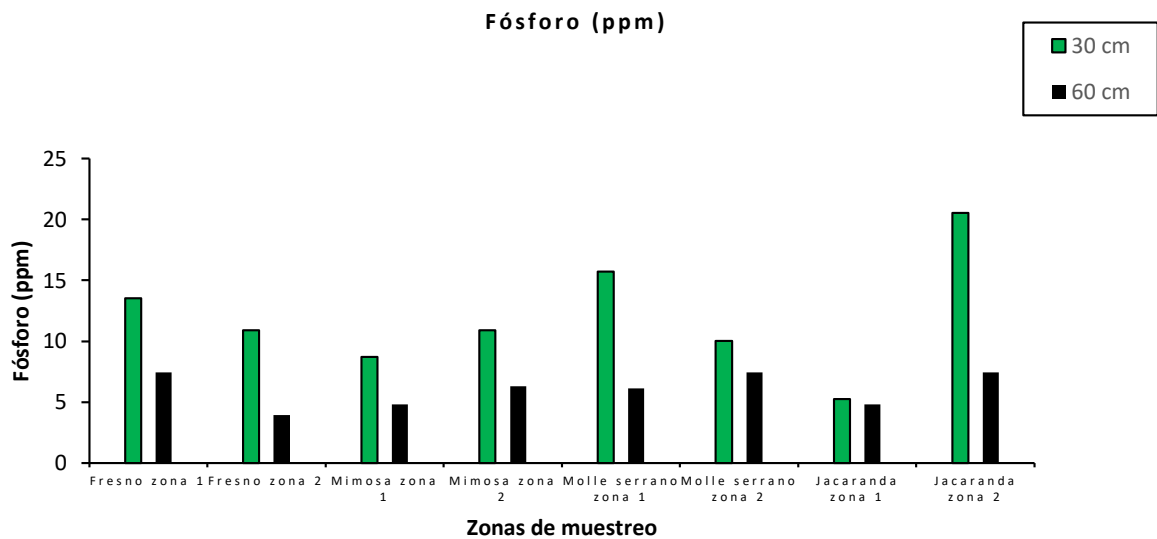


Figura 48. Concentración de Fósforo en suelos de las zonas de muestreo  
(Fuente: Elaboración propia)

### 4.2.3 Resultado de Caracterización de Suelos Según su Capacidad de Intercambio Catiónico

La caracterización de suelos según su Capacidad de Intercambio Catiónico, analiza la concentración de los cationes presentes en el suelo, tales como Calcio, Magnesio, Potasio y Sodio, como se detalla a continuación.

#### 4.2.3.1 Concentración de Calcio.

La Figura 49 muestra la concentración de Calcio en meq/100g en el suelo de las 08 zonas de muestreo, donde se ubican las 04 especies forestales estudiadas, a 30cm y 60cm de profundidad, los valores obtenidos se registran en dos grupos, el primer grupo está compuesto por los valores que van de 0.4meq/100g a 1.6meq/100g los cuales corresponden a la categoría de concentración “muy baja” de Calcio, el segundo grupo de datos está compuesto por las muestras que registran valores de 3.2meq/100g a 3.6meq/100g las mismas que corresponden a la categoría de concentración “baja” de Calcio.

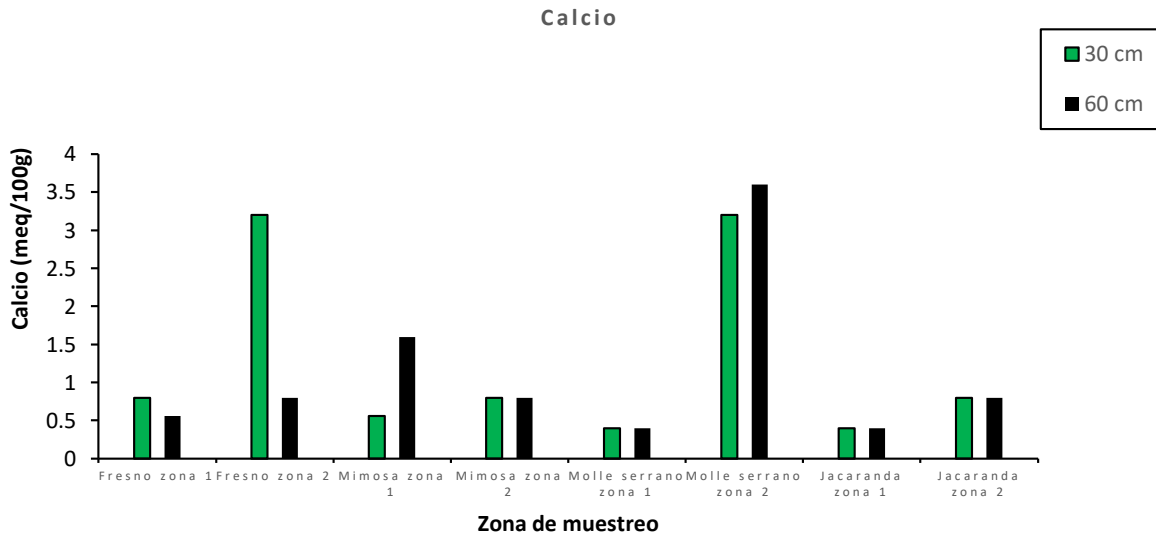


Figura 49. Concentración de calcio en zonas de muestreo

(Fuente: Elaboración propia)

#### 4.2.3.2 Concentración de Magnesio.

La Figura 50 representa la concentración de Magnesio en el suelo, a 30cm y 60cm de profundidad, en las 08 zonas de muestreo.

Se registran datos de 0.4meq/100g que corresponden, según Fernández y Rojas (2006), a la categoría de concentración “muy baja” de Magnesio pues se ubica dentro del rango de valores menores a 0.5meq/100g, así mismo, se registran valores que oscilan entre 0.56meq/100g y 1.2meq/100g, valores que corresponden a la categoría de “baja” concentración de Magnesio (0.5 – 1.3meq/100g).

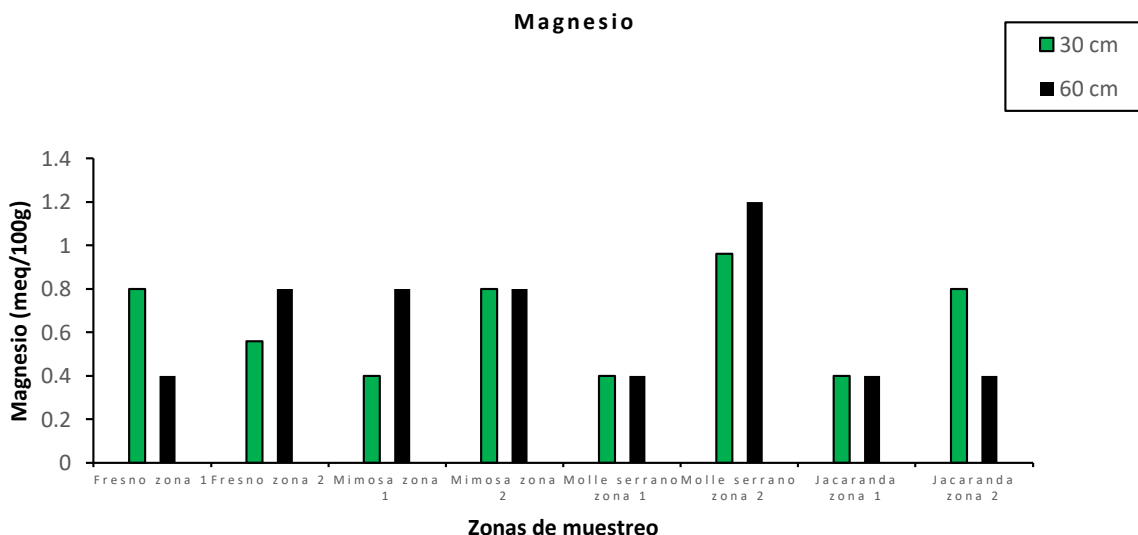


Figura 50. Concentración de magnesio en zonas de muestreo

(Fuente: Elaboración propia)

### 4.2.3.3 Concentración de Potasio.

La Figura 51 muestra la concentración de Potasio en meq/100g de suelo, en las 08 zonas de muestreo a 30cm y 60cm de profundidad, mostrando valores que corresponden a las categorías de concentración de Potasio “muy baja”, “baja”, “media” y “alta” de Potasio, en este nivel, al igual que al encontrar deficiencia de Potasio, el exceso del mismo produce alteraciones en el intercambio gaseoso.

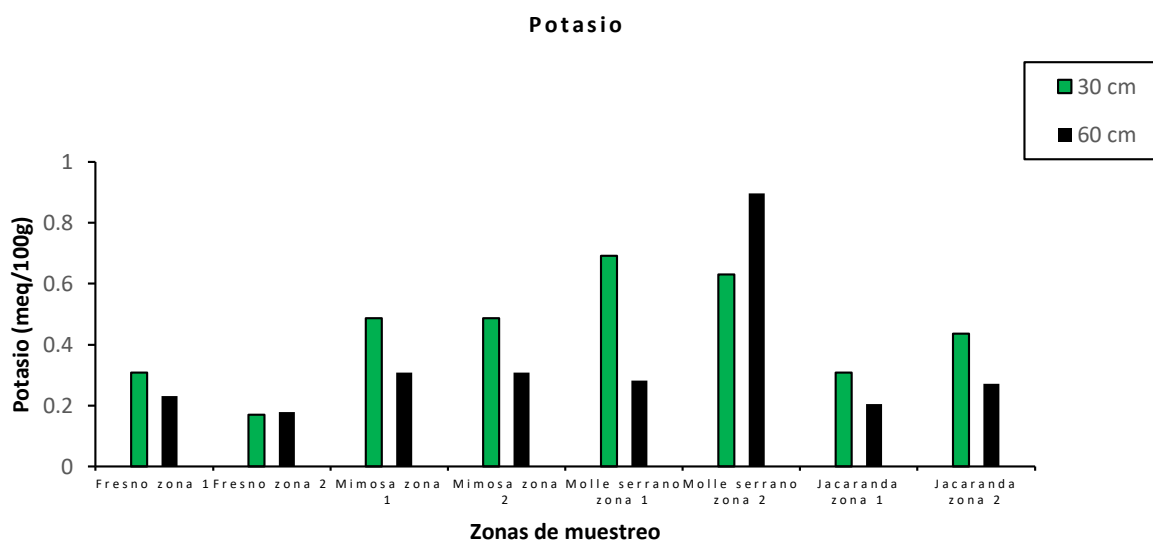


Figura 51. Concentración de Potasio en zonas de muestreo

(Fuente: Elaboración propia)

#### 4.2.3.4 Concentración de Sodio.

La Figura 52 muestra las concentraciones de Sodio en el suelo de las zonas de muestreo, obteniendo que, los valores oscilan entre 0.043meq/100g y 0.156meq/100g, dichos valores se ubican, según FAO (2012) en la clase de concentración “Muy baja” de Sodio, a excepción de la zona 2 de Molle Serrano a 60cm de profundidad, que registra el valor de 0.3meq/100g pues se halla en la clase de concentración “baja” de Sodio.

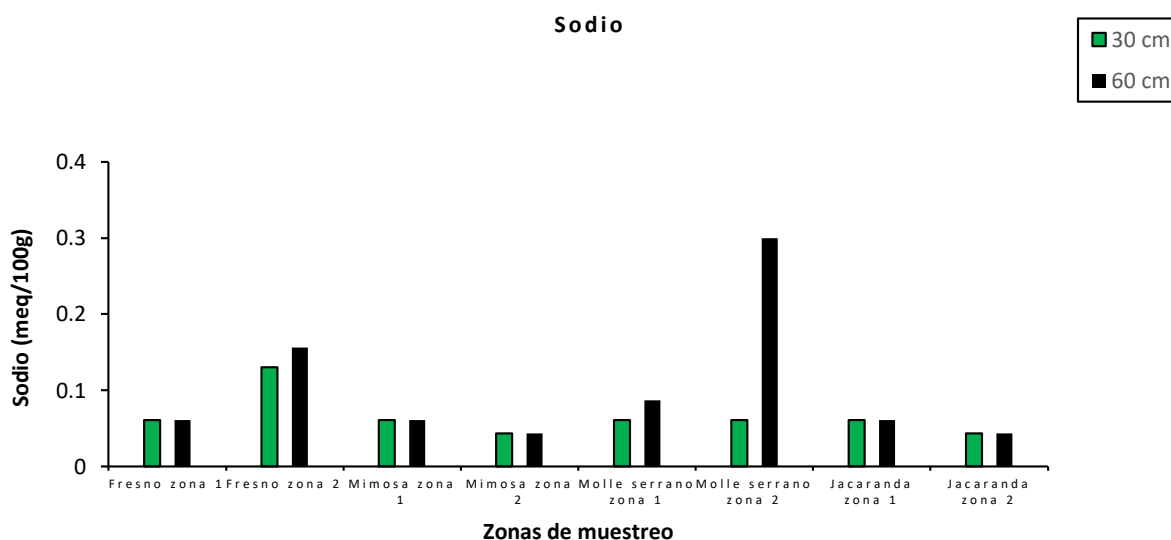


Figura 52 Concentración de Sodio en zonas de muestreo

(Fuente: Elaboración propia)

#### 4.2.3.5 Suma de bases o Capacidad de Intercambio Catiónico.

Los valores obtenidos oscilan entre 1.066meq/100g y 4.85meq/100g ubicados en la categoría de suelos con baja capacidad de intercambio catiónico característica de suelos de textura gruesa, como único caso que supera el rango de 1 a 5meq/100g se tiene a la zona 2 de Molle Serrano que presenta 5.827meq/100g que pertenece al rango de suelos de textura moderadamente gruesa.

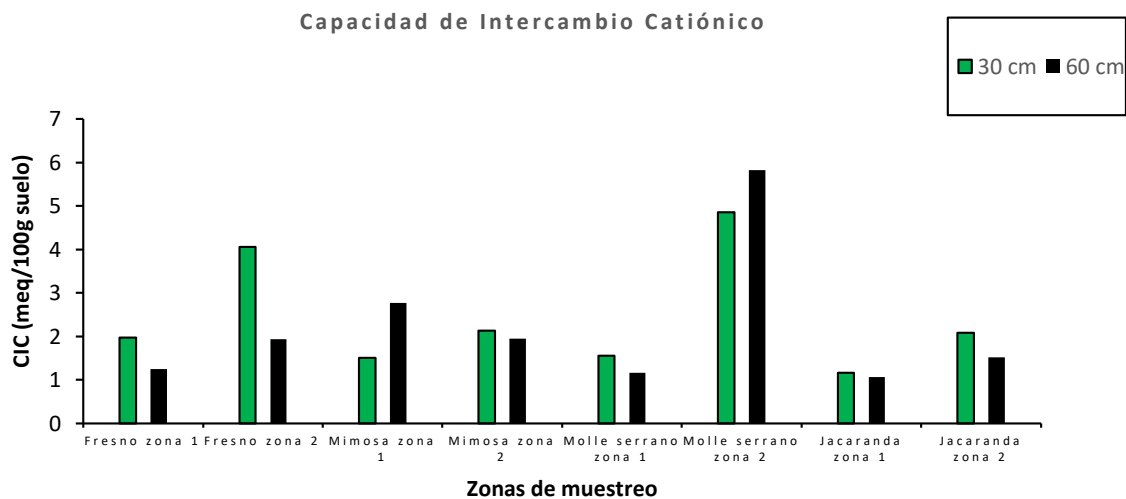


Figura 53 Capacidad de intercambio catiónico en zonas de muestreo

(Fuente: Elaboración propia)

#### 4.2.4 Resultados Obtenidos en Medición de Incidencia Solar

Las mediciones realizadas con el sensor de radiación Li-190R brindaron datos de la variación de la incidencia solar a lo largo del día en cinco intervalos de tiempo, de 8:00hr a 16:00 horas, registrando el valor más elevado a las 12:00 horas y el menor valor a las 16:00 horas.

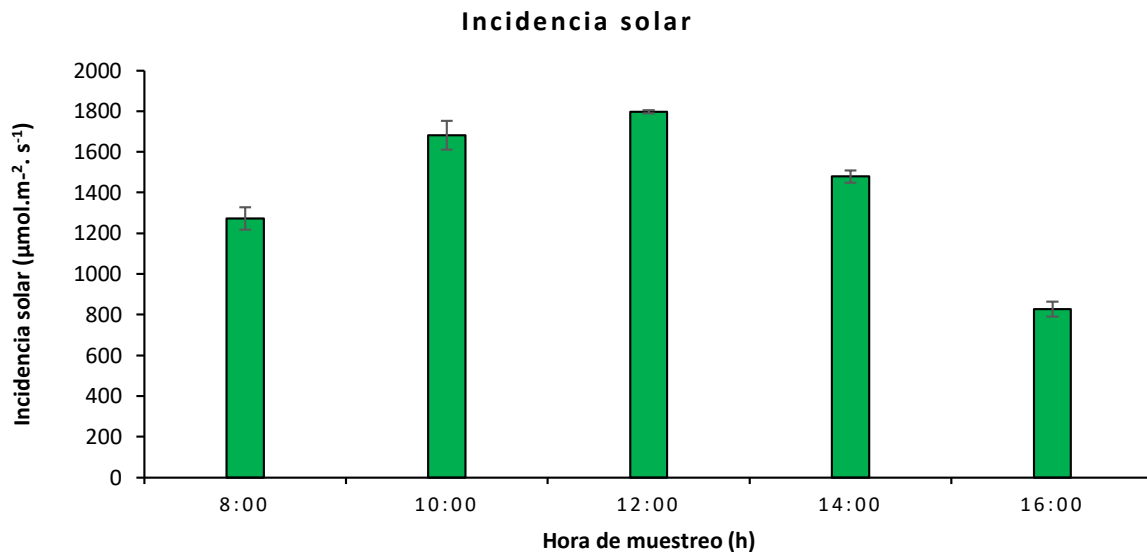


Figura 54. Incidencia solar en las zonas de muestreo a 5 intervalos de tiempo  
(Fuente: Elaboración propia)

#### 4.2.5 Resultados de Caracterización de Agua y Cálculo de Caudal de Riego.

El análisis de agua brindó resultados mostrados en el Anexo 11, los cuales presentan valores normales en cuanto a salinidad, pH y dureza del agua pues no sobrepasan ningún grado de restricción considerado por el laboratorio del Instituto Nacional de Innovación Agraria, así mismo los valores de caudal registrados en las diferentes zonas donde se ubican las especies estudiadas se encuentran en el Anexo 16, los cuales oscilan entre los 2.58 a los 3.15 litros por hora, valores que se encuentran en el rango promedio de 3.05 litros por hora, lo cual verifica que las condiciones de riego son similares en las distintas zonas de muestreo.

#### 4.3 Resultados de la Estimación de Asimilación de Dióxido de Carbono de las Especies Forestales Seleccionadas.

Para medir la cantidad de dióxido de carbono asimilado durante la fotosíntesis, se hizo uso del equipo de fotosíntesis portable Li-6800, el cual registra datos de asimilación de CO<sub>2</sub> (A) en micro moles de CO<sub>2</sub> por metro cuadrado por segundo ( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ), a nivel foliar en  $2\text{cm}^2$  de superficie de la hoja, al hacer el análisis de varianza con un solo factor (Anexo 14), se halló diferencia significativa ( $P<0.05$ ) entre las mediciones realizadas a lo largo del día en individuos de las 04 especies estudiadas, por lo que se realizó la prueba de especificidad de Tukey (Anexo 15) la cual indica que la diferencia de valores se encuentra entre la Zona 1 y la Zona 2 de *Jacaranda acutifolia* Bonpl.

Los promedios de los resultados de dióxido de carbono asimilado por las 04 especies estudiadas en las diferentes horas del día y zonas de muestreo, se presentan a continuación.

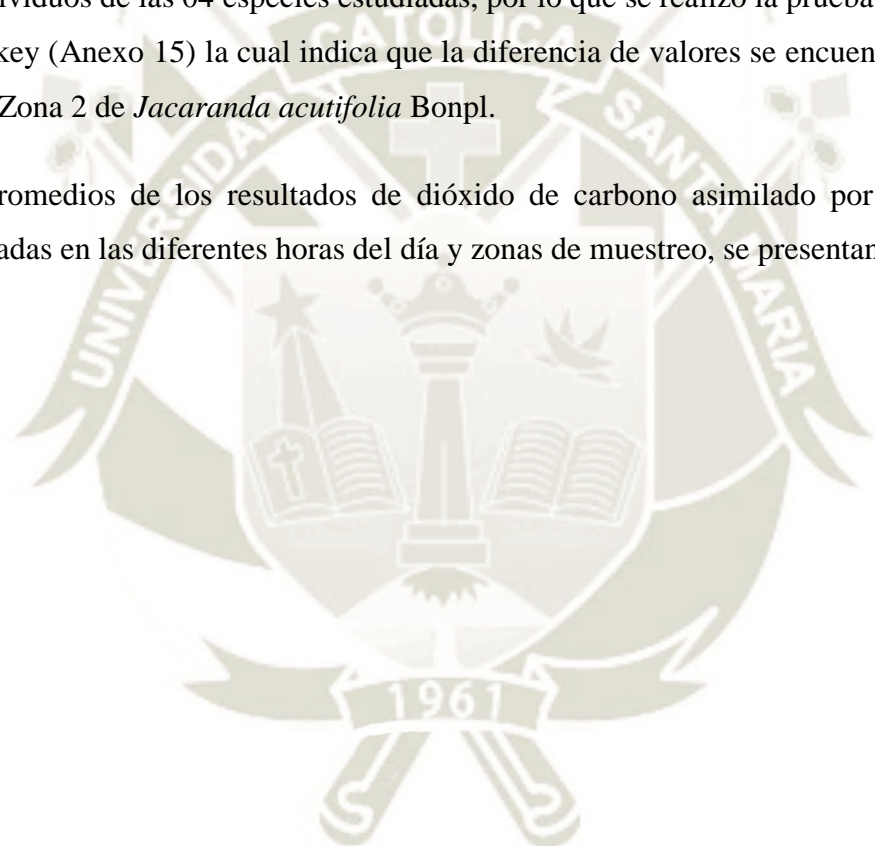
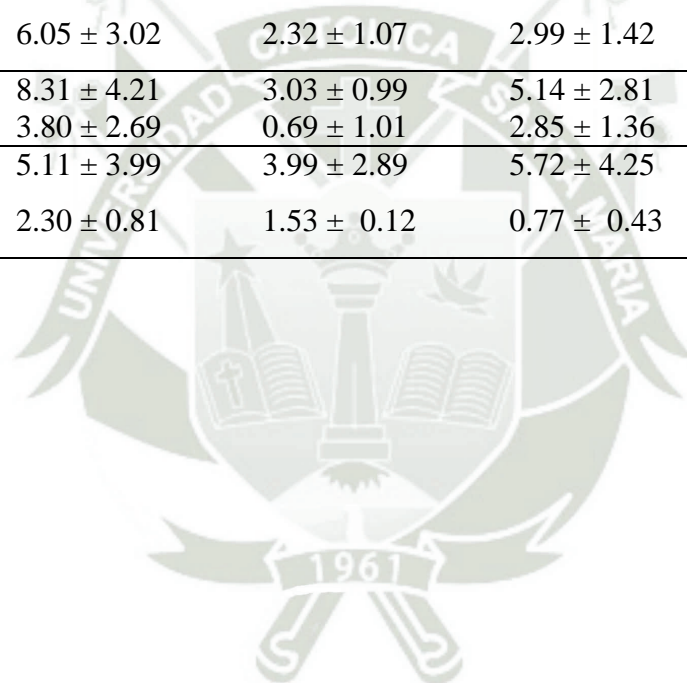


Tabla 15. Tabla resumen de Asimilación de CO<sub>2</sub>

Especie	Zona de muestreo	Asimilación de CO <sub>2</sub> (μmol/m <sup>2</sup> . s ) por Hora de Muestreo				
		8:00 horas	10:00 horas	12:00 horas	14:00 horas	16:00 horas
Fresno ( <i>Fraxinus americana</i> L.)	Zona 1	6.68 ± 2.41	7.89 ± 6.10	3.07 ± 1.40	1.92 ± 0.92	3.82 ± 2.55
	Zona 2	6.39 ± 4.04	2.88 ± 2.84	3.79 ± 1.61	2.59 ± 1.10	3.98 ± 2.50
Mimosa ( <i>Acacia saligna</i> (Labill.) H.L. Wendl)	Zona 1	3.19 ± 1.41	1.86 ± 0.75	3.22 ± 1.34	2.43 ± 1.07	4.00 ± 3.59
	Zona 2	6.05 ± 3.02	2.32 ± 1.07	2.99 ± 1.42	1.37 ± 0.33	4.34 ± 1.93
Molle serrano ( <i>Schinus molle</i> L.)	Zona 1	8.31 ± 4.21	3.03 ± 0.99	5.14 ± 2.81	4.22 ± 1.67	3.66 ± 1.68
	Zona 2	3.80 ± 2.69	0.69 ± 1.01	2.85 ± 1.36	1.95 ± 1.00	2.27 ± 1.00
Jacaranda ( <i>Jacaranda acutifolia</i> Bonpl.).	Zona 1	5.11 ± 3.99	3.99 ± 2.89	5.72 ± 4.25	3.13 ± 1.52	7.96 ± 5.28
	Zona 2	2.30 ± 0.81	1.53 ± 0.12	0.77 ± 0.43	3.16 ± 1.36	0.83 ± 0.46

(Fuente: Elaboración propia)



#### 4.3.1 Asimilación de Dióxido de Carbono por Especie y Zona de Muestreo.

##### 4.3.1.1 Dióxido de Carbono Asimilado por Hora de Medición en Zona 1 de Fresno (*Fraxinus americana* L.).

Las mediciones de Dióxido de Carbono asimilado por los individuos de Fresno ubicados en la Zona 1, muestran variaciones a lo largo del día, registrando el valor más elevado de asimilación de CO<sub>2</sub> (7.89  $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ ) a las 10:00 horas y el valor más bajo de asimilación de CO<sub>2</sub> (1.92  $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ ) a las 14:00 horas, como se observa en la Figura 55.

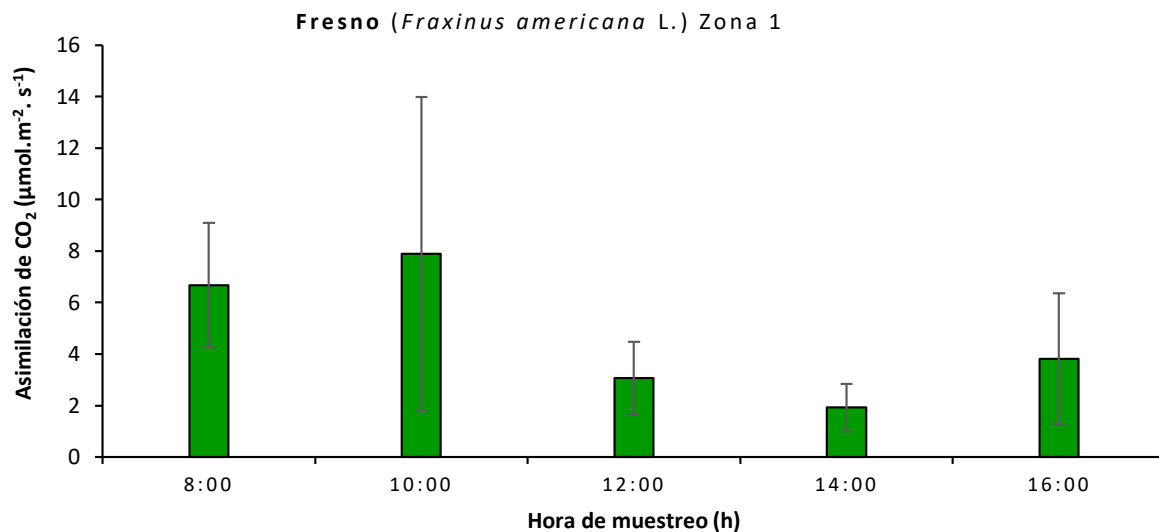


Figura 55. Relación entre el promedio de Dióxido de Carbono asimilado por hora de medición en Zona 1 de Fresno (*Fraxinus americana* L.) (Fuente: Elaboración propia)

#### 4.3.1.2 Dióxido de Carbono Asimilado por Hora de Medición en Zona 2 de Fresno (*Fraxinus americana* L.).

Las mediciones de Dióxido de Carbono asimilado por los individuos de Fresno ubicados en la Zona 2, muestran variaciones a lo largo del día, registrando el valor más elevado de asimilación de CO<sub>2</sub> (6.9  $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ ) a las 8:00 horas y el valor más bajo de asimilación de CO<sub>2</sub> (2.59  $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ ) a las 14:00 horas, como se observa en la Figura 56.

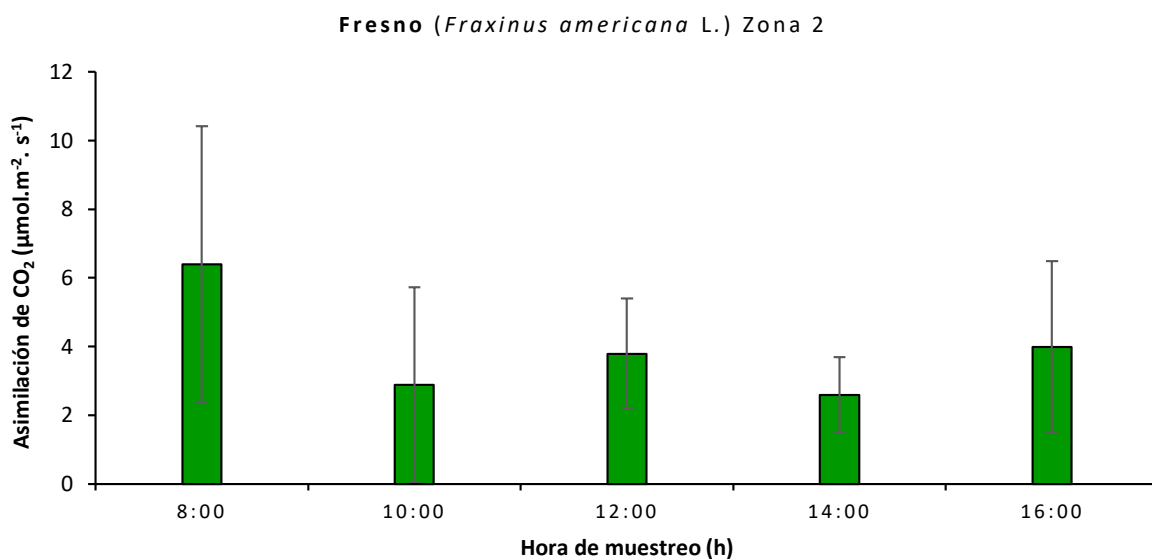


Figura 56. Relación entre el promedio de Dióxido de Carbono asimilado por hora de medición en Zona 2 Fresno (*Fraxinus americana* L.) (Fuente: Elaboración propia)

#### 4.3.1.3 Dióxido de Carbono Asimilado por Hora de Medición en Zona 1 de Mimosa (*Acacia saligna* (Labill.) H.L. Wendl).

Las mediciones de Dióxido de Carbono asimilado por los individuos de Mimosa ubicados en la Zona 1, muestran variaciones a lo largo del día, registrando el promedio más elevado de asimilación de CO<sub>2</sub> (4.00  $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ ) a las 8:00 horas y el promedio más bajo de asimilación de CO<sub>2</sub> (1.86  $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ ) a las 10:00 horas, como se observa en la Figura 57.

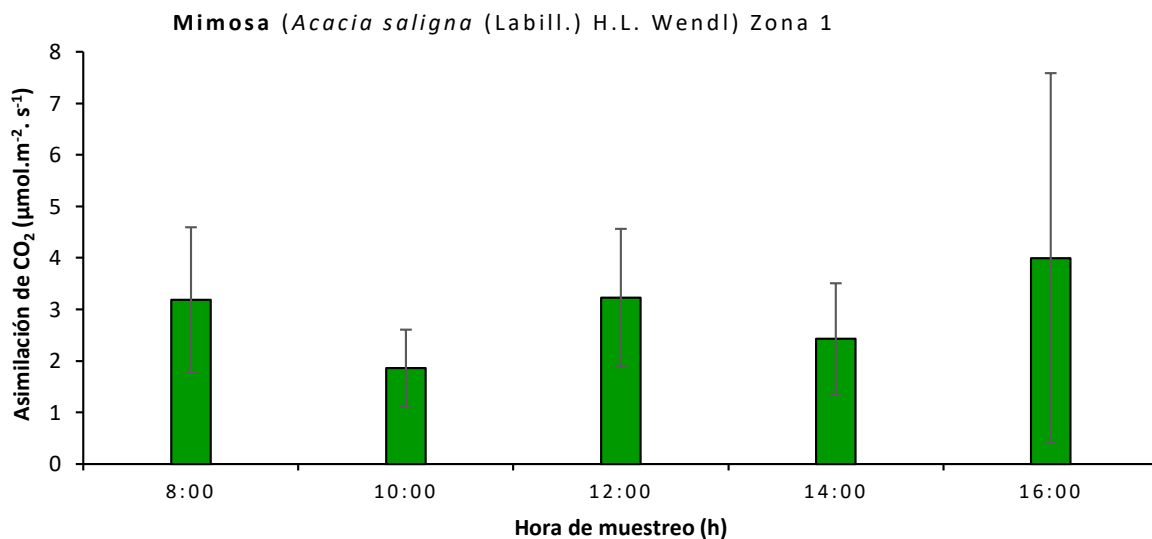


Figura 57. Relación entre el promedio de Dióxido de Carbono asimilado por hora de medición en Zona 1 de Mimosa (*Acacia saligna* (Labill.) H.L. Wendl) (Fuente: Elaboración propia)

#### 4.3.1.4 Dióxido de Carbono Asimilado por Hora de Medición en Zona 2 de Mimosa (*Acacia saligna* (Labill.) H.L. Wendl).

Las mediciones de Dióxido de Carbono asimilado por los individuos de Mimosa ubicados en la Zona 2, muestran variaciones a lo largo del día, registrando el valor más elevado de asimilación de CO<sub>2</sub> (6.05 μmol/m<sup>2</sup>. s) a las 8:00 horas y el valor más bajo de asimilación de CO<sub>2</sub> (1.37 μmol/m<sup>2</sup>. s) a las 14:00 horas., como se observa en la Figura 58.

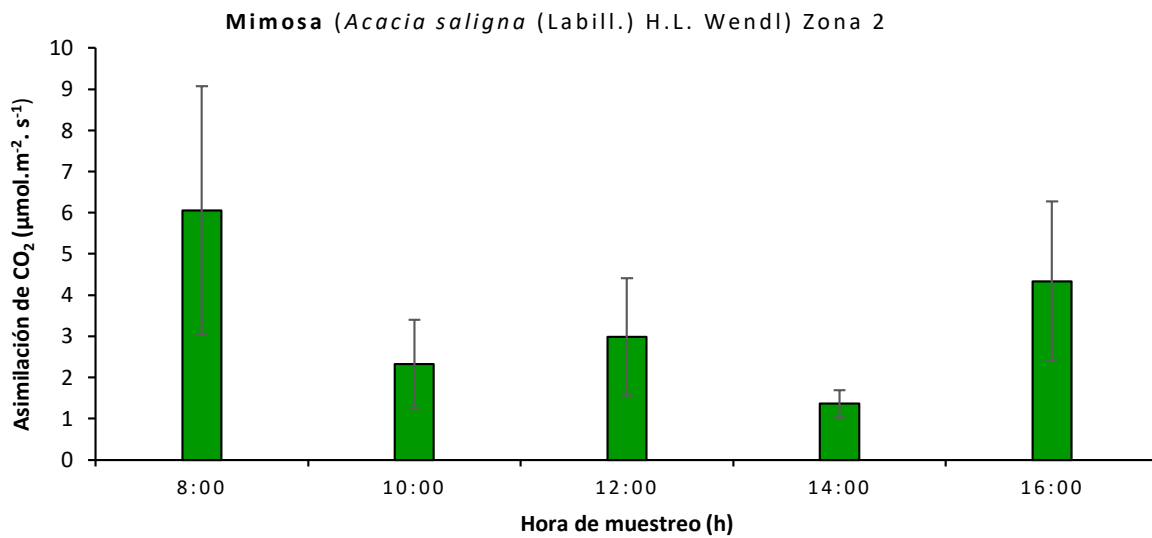


Figura 58 Relación entre el promedio de Dióxido de Carbono asimilado por hora de medición en Zona 2 de Mimosa (*Acacia saligna* (Labill.) H.L. Wendl.) (Fuente: Elaboración propia)

#### 4.3.1.5 Dióxido de Carbono asimilado por hora de medición en Zona 1 de Molle serrano (*Schinus molle* L.).

Las mediciones de Dióxido de Carbono asimilado por los individuos de Molle serrano ubicados en la Zona 1, muestran variaciones a lo largo del día, registrando el valor más elevado de asimilación de CO<sub>2</sub> (8.31  $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ ) a las 8:00 horas y el valor más bajo de asimilación de CO<sub>2</sub> (3.03  $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ ) a las 10:00 horas, como se observa en la Figura 59.

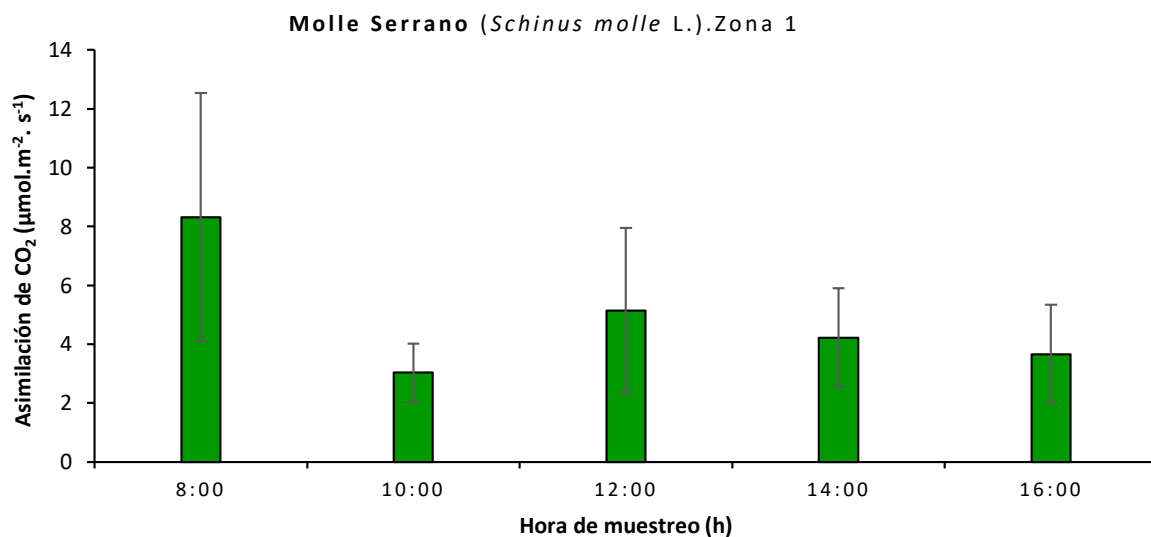


Figura 59 Relación entre el promedio de Dióxido de Carbono asimilado por hora de medición en Zona 1 de Molle serrano (*Schinus molle* L.) (Fuente: Elaboración propia)

#### 4.3.1.6 Dióxido de Carbono Asimilado por Hora de Medición en Zona 2 de Molle Serrano (*Schinus molle* L.).

Las mediciones de Dióxido de Carbono asimilado por los individuos de Molle serrano ubicados en la Zona 2, muestran variaciones a lo largo del día, registrando el valor más elevado de asimilación de CO<sub>2</sub> (3.80 μmol/m<sup>2</sup>.s) a las 8:00 horas y el valor más bajo de asimilación de CO<sub>2</sub> (0.69 μmol/m<sup>2</sup>.s) a las 10:00 horas, como se observa en la Figura 60.

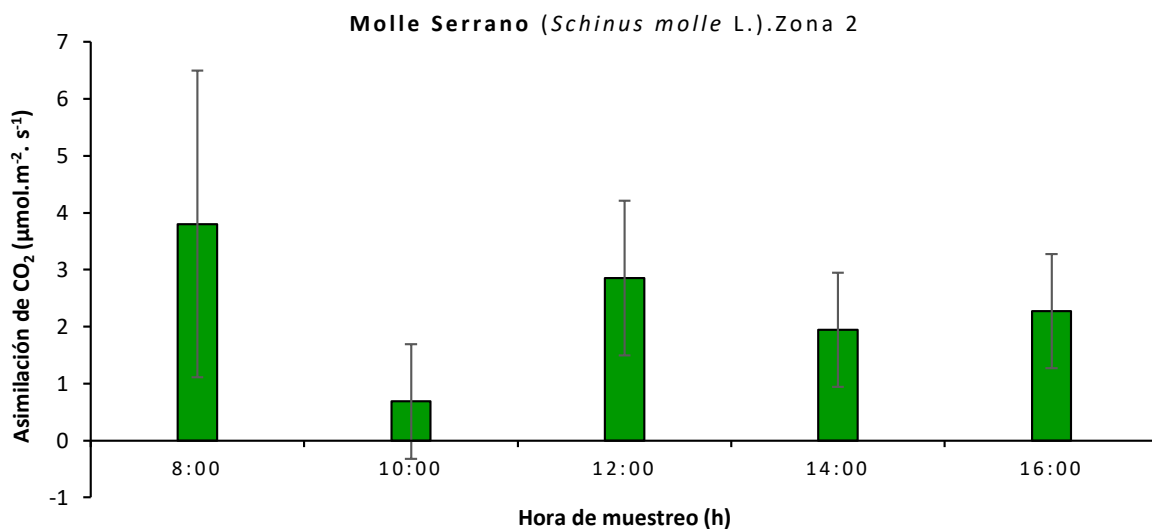


Figura 60. Relación entre el promedio de Dióxido de Carbono asimilado por hora de medición en Zona 2 de Molle serrano (*Schinus molle* L.) (Fuente: Elaboración propia)

#### 4.3.1.7 Dióxido de Carbono Asimilado por Hora de Medición en Zona 1 de Jacaranda (*Jacaranda acutifolia* Bonpl.).

Las mediciones de Dióxido de Carbono asimilado por los individuos de Jacaranda ubicados en la Zona 1, muestran variaciones a lo largo del día, registrando el valor más elevado de asimilación de CO<sub>2</sub> (7.96 μmol/m<sup>2</sup>.s) a las 16:00 horas y el valor más bajo de asimilación de CO<sub>2</sub> (3.13 μmol/m<sup>2</sup>.s) a las 14:00 horas, como se observa en la Figura 61.

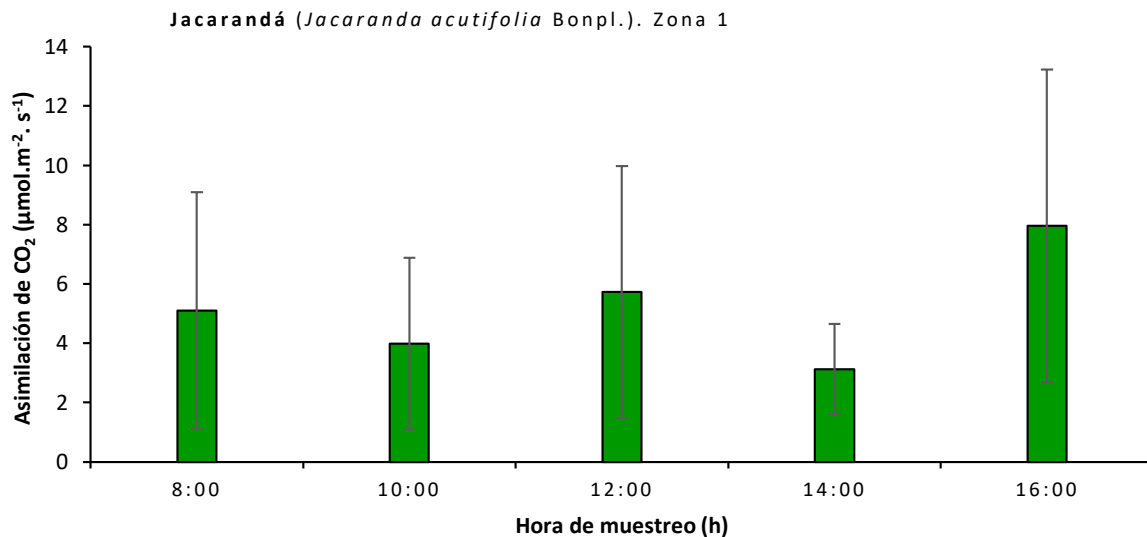


Figura 61. Relación entre el promedio de Dióxido de Carbono asimilado por hora de medición en Zona 1 de Jacarandá (*Jacaranda acutifolia* Bonpl.) (Fuente: Elaboración propia)

#### 4.3.1.8 Dióxido de Carbono Asimilado por Hora de Medición en Zona 2 de Jacaranda (*Jacaranda acutifolia* Bonpl.).

Las mediciones de Dióxido de Carbono asimilado por los individuos de Jacaranda ubicados en la Zona 2, muestran variaciones a lo largo del día, registrando el valor más elevado de asimilación de CO<sub>2</sub> (3.16  $\mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}$ ) a las 14:00 horas y el valor más bajo de asimilación de CO<sub>2</sub> (0.77  $\mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}$ ) a las 12:00 horas, como se observa en la Figura 62.

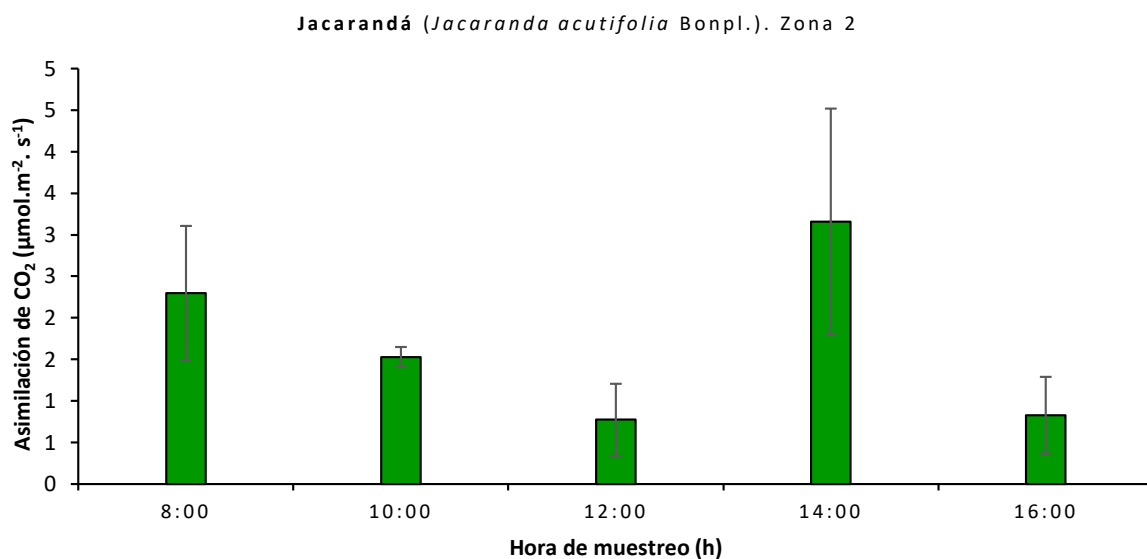


Figura 62. Relación entre el promedio de Dióxido de Carbono asimilado por hora de medición en Zona 2 de Jacarandá (*Jacaranda acutifolia* Bonpl.) (Fuente: Elaboración propia)

#### 4.3.2 Promedio de Asimilación Diaria de CO<sub>2</sub>.

Se realizó el promedio de asimilación de CO<sub>2</sub> durante el día, tomando los valores registrados en los cinco momentos de muestreo, se debe tener en cuenta que el equipo de fotosíntesis portable Li-6800 brinda resultados a nivel de una superficie foliar de 2 cm<sup>2</sup>, los valores obtenidos se presentan en la siguiente tabla en orden decreciente.

Tabla 16.  
Tabla de promedios de asimilación diaria de CO<sub>2</sub>

Especie	Zona de muestreo	Promedio de Asimilación Diaria de CO <sub>2</sub> (μmol.m <sup>-2</sup> . s <sup>-1</sup> )
Jacaranda ( <i>Jacaranda acutifolia</i> Bonpl.).	Zona 1	5.18
Molle serrano ( <i>Schinus molle</i> L.).	Zona 1	4.87
Fresno ( <i>Fraxinus americana</i> L.).	Zona 1	4.68
Fresno ( <i>Fraxinus americana</i> L.).	Zona 2	3.93
Mimosa ( <i>Acacia saligna</i> (Labill.) H.L. Wendl).	Zona 2	3.41
Mimosa ( <i>Acacia saligna</i> (Labill.) H.L. Wendl).	Zona 1	2.94
Molle serrano ( <i>Schinus molle</i> L.).	Zona 2	2.31
Jacaranda ( <i>Jacaranda acutifolia</i> Bonpl.).	Zona 2	1.72

(Fuente: Elaboración propia)

#### 4.4 Discusiones

##### 4.4.1 *Determinación Taxonómica de las Especies Forestales Seleccionadas por Criterios de Uniformidad, Ubicadas en las Zonas de Muestreo Delimitadas por Parcelas en el Bosque del Colegio Militar Francisco Bolognesi, Alto Selva Alegre, Arequipa*

Las especies forestales seleccionadas para la determinación taxonómica se encuentran en las zonas de muestreo donde fueron instaladas parcelas de 15 m x 5 m, puesto que, los individuos ubicados en dichas zonas son de la misma especie (*Schinus molle*, *Jacaranda acutifolia*, *Acacia saligna* y *Fraxinus americana*), presentan la misma edad (11 años), existe una sola fuente de agua con la que se realiza el riego, el cual se ejecuta con la misma frecuencia para cada especie y con el mismo sistema (riego por goteo, interdiario), pero presentaban a simple vista gran diferencia en factores tales como altura total, área de copa y diámetro a la altura del pecho, como se muestra en la Tabla 14, por lo que se les distribuyó en dos zonas por especie, en las cuales se evidencia la existencia de pendientes lo cual reduce el aprovechamiento de nutrientes por el lavado y la escorrentía, también genera microclimas, las zonas más elevadas, sufren de pérdida de nutrientes porque existe mayor exposición a vientos que erosionan las capas superficiales de suelo, donde se concentra el humus, así como se presenta un mayor drenaje y escorrentía del terreno que propicia el lavado de nutrientes.

Se tiene que, los individuos de la especie de Fresno (*Fraxinus americana* L.) en la zona 1 tienen una menor altura total, menor diámetro a la altura del pecho y menor área de copa que los individuos de Fresno ubicados en la zona 2. En un estudio realizado por Villanueva et al. (2015) sobre el crecimiento radial anual de Fresno en dos parques de la Comarca Lagunera, se encontró que el crecimiento mínimo radial se presentó durante épocas de déficit hídrico, provocado por riego insuficiente, dada la alta demanda hídrica del Fresno, pues según Rzedowski (1996), el Fresno crece en hábitats húmedos, en topofomas de laderas, barrancas, cañadas y a orillas de corrientes de agua, así mismo, lo anterior puede estar relacionado con acciones de disturbio como construcción de edificaciones o

pavimentación, pues restringe el proceso de infiltración y compacta el sistema radical, lo que reduce su capacidad de exploración de nutrientes y agua (Villanueva et al. 2015).

Así mismo los factores de altura total, diámetro a la altura del pecho y área de copa en individuos forestales de Mimosa (*Acacia saligna* (Labill.) H.L. Wendl) ubicados en la zona 1 muestran valores mayores que en la zona 2. Según el estudio realizado por Catalán et al. (1997) sobre especies arbóreas y arbustivas para las zonas áridas y semiáridas de América Latina, la Mimosa es una especie de rápido crecimiento, alcanzando 8 metros de altura en 4 o 5 años de plantación en sitios con escasas limitantes, llegando a crecer, como mínimo, entre 30 a 71 cm por año, su crecimiento se ve afectado bajo condiciones de sequía. Evidenciando un rango bajo de crecimiento de los individuos estudiados al interior del Bosque del Colegio Militar Francisco Bolognesi, pues alcanzan una altura total máxima de 3.31 metros a la edad de 11 años.

En el caso de Molle Serrano (*Schinus molle* L.), los individuos forestales ubicados en la zona 1 muestran valores mayores que la zona 2 en los factores de altura total, diámetro a la altura del pecho y área de copa. Según el estudio realizado por Catalán et al. (1997) para la FAO, el Molle serrano a la edad de 10 años puede alcanzar un tamaño de 5 a 6 metros y un DAP de 10 cm, “probablemente debido a la gran heterogeneidad de la calidad de la semilla”, así mismo, en el estudio realizado por Cuya (1991) sobre la influencia del tamaño de semilla en la germinación y crecimiento de plántulas de *Schinus molle*, se estableció que, el desarrollo de las plantas de Molle serrano, es poco uniforme, estableciéndose una relación directamente proporcional entre el tamaño de los frutos y/o semillas con el crecimiento y vigor de las plántulas. Por lo que, la gran diferencia de desarrollo entre individuos de la misma especie presentes en las dos zonas de muestreo se deba a deficiencias genéticas.

Los individuos forestales ubicados en la zona 2 correspondientes a la especie Jacaranda (*Jacaranda acutifolia* Bonpl.), muestran valores mayores que la zona 1 en los factores de caracterización tales como altura total, diámetro a la altura del pecho y área de copa.

En general, según Veillon (1985), Gunter et al. (2011) y Nieto (2005) en Aguirre et al. (2013), el crecimiento de las especies vegetales maderables es impredecible y está en función de una serie de variables biofísicas, relacionadas con la calidad del material de plantación y técnicas de manejo silvicultural. Sin embargo, este crecimiento generalmente es menor en las primeras fases de establecimiento de las plántulas, debido principalmente al estrés que experimenta en el proceso de adaptación y prendimiento en el lugar de plantación (Ramírez et al., 2009 citado en Aguirre et al., 2013), por lo que, las diferencias de crecimiento entre individuos forestales de una misma especie ubicados en diferentes zonas, observadas en el Bosque del Colegio Militar Francisco Bolognesi, se ha visto condicionada por el grado de adaptabilidad de dichas especies a la condiciones ambientales del bosque y al manejo silvicultural que se les dio a las plántulas en su etapa de desarrollo.

#### ***4.4.2 Determinación de las Características del Suelo e Incidencia Solar de las Zonas de Muestreo Ubicadas en el Bosque del Colegio Militar Francisco Bolognesi, Alto Selva Alegre, Arequipa.***

##### **4.4.2.1 Determinación de las características de suelo**

La determinación de las características de suelo permitió obtener datos de las características físicas, químicas y de capacidad de intercambio catiónico de suelo en las 08 zonas de muestreo como se muestra en las gráficas de la Figura 41 a la Figura 53 y se detallan a continuación.

En los resultados de caracterización física de suelos, en general se obtuvieron suelos de dos tipos de textura, Arena – Franca y Franco – Arenosa. Los suelos de textura Arena – Franca, según Gisbert et al. (2010) poseen una composición granulométrica que permite que los suelos presenten una excelente aireación por la predominancia de las partículas de mayor tamaño, pero, en épocas de lluvia o exceso de riego pueden presentar escorrentía, encharcamiento y erosión laminar, así mismo, la acumulación de materia orgánica es mínima y el lavado de los elementos minerales es elevado, mientras que, los suelos de textura Franco Arenosa, según los mismos autores, poseen una textura más equilibrada, brindándole mayor coherencia a sus partículas, sin embargo, la

predominancia de las partículas de arena permite la baja acumulación de materia orgánica y el lavado de nutrientes, se satura con poca agua y se seca rápidamente, debido a dichas texturas es que se presentaron niveles relativamente bajos de porosidad, entre 37% y 38%, pues de acuerdo a un estudio realizado por la FAO en el año 2020, se determinó que, para que exista una buena aireación, drenaje, distribución de nutrientes y espacio para el desarrollo de raíces, el suelo requiere de la presencia de macro y micro poros en un 50% que complementen el 50% de composición sólida correspondiente a la fracción de compuestos minerales y materia orgánica.

En cuanto a la capacidad de campo, los resultados indican que los suelos de textura gruesa y moderadamente gruesa encontrados en las zonas de muestreo, retienen entre 8.5g y 11.3g de agua lo cual, según indica Zotarelli (2013), luego de 48 horas de haber ocurrido un evento lluvioso o de riego que satura el suelo, el mismo presenta un rápido movimiento descendente (drenaje) de una parte del agua debido a la fuerza de gravedad, por lo tanto la fracción de agua útil o disponible es menor, entre 6.2 y 7.9%, este porcentaje está representado en la Figura 44, indica la cantidad de agua útil que puede ser aprovechada por las raíces de las plantas, es decir, que por cada 100g de suelo seco existen 6.2g y 7.9g de agua disponibles, ambos corresponden a la cantidad de agua promedio encontrada en suelos de textura gruesa y moderadamente gruesa que oscila en el rango de 6% a 14%.

El punto de marchitez permanente, representado en la Figura 43, nos muestra que el suelo retendrá entre 2.3% y 3.4 % de agua, porcentaje debajo del cual las raíces de la planta ya no pueden absorberla, haciendo que las plantas se marchiten y mueran si no se les proporciona agua adicional, así mismo las plantas estarán sometidas a estrés hídrico significativo antes de este punto y se evidenciará en una reducción importante en su rendimiento (Zotarelli et al, 2013).

En cuanto a la caracterización química de suelos, ésta comprende la obtención de resultados de concentración de materia orgánica, potencial de Hidrógeno, conductividad eléctrica y concentración de Fósforo.

Los suelos muestreados presentan concentración de materia orgánica categorizada en Baja y Muy Baja, ambas categorías representan deficiencia de materia orgánica en todas las zonas de muestreo, afectando la disponibilidad de nutrientes, evitando que sea uniforme, alterando de forma negativa la estructura física del suelo y la actividad microbiana según Graetz (1997) citado en Julca *et al.* (2006).

Se obtuvieron valores de pH entre 6.99 y 7.49 en general para casi todas las zonas de muestreo, los cuales están dentro del rango ideal (6.5 y 7.5) lo que permite la disponibilidad máxima para la mayoría de nutrientes e influye positivamente en la capacidad de intercambio catiónico. Así mismo se obtuvieron valores mayores al rango ideal de pH, correspondientes a la categoría de suelo medianamente alcalino en la zona 1 de Fresno y zona 1 de Jacaranda, ambos a 30cm y 60cm de profundidad, presentando valores ubicados en el rango de 7.54 y 7.86, categoría en la que la disolución de elementos tales como Nitrógeno, Fósforo, Potasio, considerados macronutrientes, Azufre, Calcio, Magnesio, Hierro, Manganeso, Boro, Cobre y Zinc poseen menor grado de disolución, por lo que su disponibilidad para aprovechamiento por parte de las plantas en dichas zonas de muestreo se ve reducido. Este factor de disponibilidad de nutrientes se relaciona con la ley del mínimo de Liebig, la cual indica que la deficiencia de un solo elemento limitará el desarrollo de las plantas, aun cuando los demás elementos se encuentren en proporción adecuada.

En general, se trata de suelos no salinos, por lo que su conductividad eléctrica es baja y eso facilitaría el manejo de la fertilización evitando problemas por fitotoxicidad en las plantas, así mismo, la ausencia de salinidad aumenta la actividad biológica y facilita la disponibilidad de nutrientes (Lopez, 2016) en la mayoría de cultivos, según Catalán *et al.* (1997) el Molle serrano, presenta escasas exigencias en cuanto a la calidad de suelo y es “muy resistente a la salinidad”, por lo que esta variable no influiría significativamente en el desarrollo de Molle serrano, tanto en la Zona 1 como en la Zona 2.

Los valores de concentración de Fósforo presente en todas las zonas de muestreo de suelo oscilan entre 3.93 ppm y 13.55 ppm, estos valores se encuentran ubicados en la categoría

de concentración de Fósforo “baja”, por lo que, las especies forestales pueden presentar un sistema radical pobre y ser bastante susceptibles a infecciones (Maita, 2017), a excepción de la zona 1 de Molle Serrano y la zona 2 de Jacaranda, ambas muestras tomadas a 30 cm de profundidad, registran valores de 15.72 ppm y 20.52 ppm respectivamente, ambos valores se ubican en el rango de 15 a 50 ppm que corresponde a la categoría de concentración “media o ideal” de fósforo en el suelo, por lo que, según Gierth (2007) citados en Maita (2017), tienden a desarrollar resistencia a enfermedades pues el fósforo promueve el desarrollo radicular y la obtención de energía celular.

La Figura 53 presenta los valores de capacidad de intercambio catiónico, producto de la suma de bases intercambiables en las zonas de muestreo de suelo, la capacidad de intercambio catiónico es fundamental para conocer el potencial del suelo para retener e intercambiar nutrientes, además que se relaciona directamente con la cantidad y frecuencia de aplicación de fertilizantes, por lo que, mientras más elevada sea la capacidad de intercambio catiónico, mayor será la capacidad para retener nutrientes y menor la frecuencia de fertilización.

Las concentraciones de Calcio encontradas en las zonas de muestreo se ubican en las categorías “muy baja” y “baja”, ambas se consideran como deficiencia de este elemento y se evidencia en la falta de turgor de las hojas maduras de las plantas, las cuales se muestran débiles y se desprenden fácilmente, según Littke (2007) citado en Maita (2017), los síntomas de deficiencia de calcio se observan inicialmente en hojas jóvenes, en general se observan meristemas apicales deformados, pequeños o sin crecimiento, las yemas en forma de gancho, los brotes del tallo o de flores se caen y en las hojas maduras se presenta clorosis marginal.

En cuanto a la concentración de Magnesio, las zonas de muestreo están categorizadas, según Fernández (2006), en los niveles de concentración Baja y Muy baja de Magnesio, los cuales son influenciados por el pH y el tipo de suelo, pues tiende a ser menor en suelos de textura gruesa y moderadamente gruesa, como los que se encuentran en las zonas de muestreo, esta deficiencia de Magnesio en el suelo disminuye la producción de clorofila

en las plantas, lo que produce necrosis y debilitamiento de las hojas (Marschner, 1995 citado en Maita, 2017).

En la zona 2 de Fresno a 30cm y 60cm de profundidad, se presentaron valores de 0.169 meq/100g y 0.179 meq/100g de concentración de Potasio, que según Fernández (2016), corresponde a la categoría de concentración “muy baja” de Potasio, pues está dentro del rango de valores menores a 0.2meq/100g. La zona 1 de Fresno a 60cm de profundidad, zona 1 de Molle Serrano a 60cm, zona 1 y 2 de Jacaranda a 60 cm de profundidad presentan valores a partir de 0.231meq/100g hasta 0.282meq/100g que corresponde a la categoría concentración “baja” de Potasio, pues está dentro del rango de 0.2 a 0.3meq/100g. Ambas categorías (Muy baja y Baja) representan deficiencia en la cantidad de cationes de Potasio presentes en el suelo de dichas zonas, evidenciado en las plantas pues la ausencia de Potasio produce clorosis marginal e intervenal en las hojas maduras, en general, las plantas con déficit de Potasio se observan débiles, con un sistema radical pobre, y con muy baja tolerancia a situaciones de estrés o ataques de enfermedades, así mismo, la deficiencia estomática implica la reducción de las tasas de transpiración e intercambio de gases (Gierth, 2007 citado en Maita, 2017).

La zona 1 de Fresno a 30cm, zona 1 y 2 de Mimosa a 30 cm y 60cm de profundidad, zonas 1 y 2 de Jacaranda a 30cm de profundidad, muestran valores entre 0.308 meq/100g y 0.487meq/100g, que están dentro del rango de 0.3 a 0.6meq/100g correspondiente a la categoría de concentración “media” de Potasio, lo cual permite a las plantas presentes la traslocación de carbohidratos y la síntesis de proteínas, así como regular el turgor de las células guarda estomáticas, implicadas en el proceso de intercambio de gases (Gierth, 2007 citado en Maita, 2017).

En cuanto a la zona 1 de Molle serrano a 30cm de profundidad y en la zona 2 de Molle serrano a 30cm y 60cm de profundidad los valores sobrepasan el límite medio de concentración de Potasio.

Las concentraciones de Sodio encontradas en las zonas de muestreo se ubican en las categorías de “Baja” y “Muy baja”, ambas representan deficiencia de dicho elemento, y

sus síntomas no son muy evidentes puesto que el Sodio no es un elemento esencial para las plantas, es usado en pequeñas cantidades, al igual que los micronutrientes, como auxiliar para el metabolismo y la síntesis de clorofila. En algunas plantas, puede ser empleado como sustituto parcial de Potasio y es útil en la apertura y el cierre de estomas, lo cual ayuda a regular el equilibrio interno de agua. En general, luego de realizar la suma de bases intercambiables, como se muestra en la Figura 53, se encontró una CIC predominantemente baja en los suelos, que está relacionado con la alta frecuencia de suelos de texturas gruesas y bajo tenor de materia orgánica.

La baja CIC es una limitación ya que implica una baja capacidad de retener nutrientes y, por ende, las prácticas de fertilización deben incluir un mayor fraccionamiento para reducir las pérdidas por escorrentía y lixiviación (Arias, 2004).

En general, esto concuerda con las condiciones encontradas en el Bosque del Colegio Militar Francisco Bolognesi, pues según López (2016) las características de los suelos, especialmente aquellas en cuanto a concentración de Materia Orgánica, pH, Capacidad de Intercambio Catiónico y textura, afectan el rendimiento de las especies, debido a que dichos factores limitan la provisión de nutrientes y agua, fundamentales para un adecuado desarrollo de las plantas, por lo que su deficiencia influye en la existencia de zonas de menor crecimiento en el bosque del Colegio Militar, a pesar de contar con las mismas condiciones de manejo y de contar con la misma edad.

#### **4.4.2.2 Discusión de Resultados Obtenidos en Medición de Incidencia Solar**

Los resultados obtenidos en cuanto a medición de incidencia solar durante el día (Figura 48) muestran que, los mayores valores de incidencia solar se dan entre las 10:00 y las 12:00 horas

Gardner et al. (1985) en su estudio de fijación de Carbono por los cultivos, indican que, la biomasa total de los cultivos resulta de la acumulación neta del CO<sub>2</sub> asimilado durante todo el ciclo de crecimiento y dicha asimilación resulta de la absorción de energía solar (radiación) la cual se encuentra distribuida de manera uniforme sobre una superficie, los

factores primarios que afectan la biomasa total son la radiación solar absorbida y la eficiencia en su utilización para la fijación del  $\text{CO}_2$ , en el mismo estudio, Gardner et al. mencionan que, la fotosíntesis llevada a cabo en las hojas resulta más eficiente (mayor cantidad de  $\text{CO}_2$  fijado por unidad de radiación) a bajos niveles de radiación, pues, algunas hojas individuales se encuentran saturadas por la radiación bajo iluminación solar directa, mientras que las hojas inferiores ven reducida su fotosíntesis debido al sombreado, dicha afirmación va de acuerdo con los resultados obtenidos, pues en general, los valores de asimilación neta de  $\text{CO}_2$ , son menores en todas las zonas e individuos muestreados, entre las 10:00 y 12:00 horas, a comparación de los valores de asimilación registrados a las 8:00 y 16:00 horas, en las que el nivel de incidencia solar se reduce, esto confirmaría la hipótesis que indica que la incidencia solar influye en el proceso de asimilación de  $\text{CO}_2$  en las especies evaluadas, sobre todo en aquellas consideradas nativas, pues el hecho de presentarse mayor incidencia solar, significaría un aumento en la transpiración, por lo tanto, los estomas de las hojas tienden a cerrarse como mecanismo de defensa para evitar la pérdida de agua en forma de vapor, reduciendo de este modo la tasa de asimilación neta de  $\text{CO}_2$ .

#### 4.4.3 *Discusiones de la Estimación de Asimilación de Dióxido de Carbono de las Especies Forestales Seleccionadas.*

Tras describir y analizar los resultados obtenidos a través de la medición de la asimilación de dióxido de carbono en cuatro especies forestales del Bosque del Colegio Militar Francisco Bolognesi – Arequipa, se procede a realizar discusiones que consoliden lo obtenido, centrándose en los aspectos más importantes, debido a que no se disponen de elementos específicos para contrastar con los resultados obtenidos, al tiempo que sean útiles para futuras investigaciones.

El equipo con el que se realizaron las mediciones se denomina Li-6800, el cual brinda datos de asimilación neta de CO<sub>2</sub> (A) a través de un balance de masa basado en la entrada y salida de CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O en la hoja (Licor, 2016), este parámetro, se relaciona con el servicio ecosistémico de regulación denominado “Secuestro y Almacenamiento de Carbono”, a través del cual, los árboles urbanos pueden influir en la calidad del aire, convirtiendo el dióxido de carbono en oxígeno a través de la fotosíntesis, entre otras actividades (FAO, 2020).

Cabe mencionar que, el carbono secuestrado o capturado es aquel carbono situado en el tronco de los árboles y únicamente asociado al crecimiento de la biomasa, es universal a todos los sistemas forestales ya que es inherente al crecimiento de los mismos y es medido mediante métodos alométricos, utilizando ecuaciones (López et al., 2019), este parámetro es usualmente confundido con los términos de carbono asimilado o fijado y carbono almacenado, este último se realiza en la tercera etapa del proceso de captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub> y consiste en almacenar el CO<sub>2</sub> fuera de la atmósfera durante un largo periodo de tiempo, por ejemplo, en la biomasa, formaciones geológicas subterráneas, en profundidades oceánicas o en compuestos minerales (Metz, 2005 citado en Greenfacts, 2007).

El proceso de asimilación o fijación de CO<sub>2</sub> se relaciona con el servicio ecosistémico de Secuestro o Captura de CO<sub>2</sub> en el aspecto de que forma parte de la etapa inicial para la realización de dicho servicio, pues, según Carvajal et al. (2011), la asimilación de CO<sub>2</sub>

consiste en la incorporación del dióxido de carbono en compuestos orgánicos, la cual, según indican Ruiz et al. (2014), resulta de la absorción de energía solar, es decir, que se desarrolla en la fase lumínica y es un proceso instantáneo. Espino, (2015) en el estudio de Asimilación de CO<sub>2</sub> en dos especies de plantas de un bosque húmedo tropical de Cerro Pelado, Gamboa, indicaron que, la tasa de asimilación (A) depende del flujo de fotones fotosintéticos (PAR o PPF) que son absorbidos por la hoja, la respuesta a la luz se caracteriza por una curva que presenta diferentes fases que se corresponden con otras tantas condiciones ambientales.

Los datos mostrados en los gráficos de barras de la Figura 55 a la Figura 62, representan el dióxido de carbono asimilado por hora de medición en las 02 zonas de muestreo de cada una de las cuatro especies analizadas, de donde se obtiene que, de forma específica, la mayor cantidad de CO<sub>2</sub> asimilado fue registrada a las 8:00 horas con 8.31  $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ , en los individuos forestales ubicados en la zona 1 de molle serrano y el menor valor registrado durante el día, corresponde a la zona 2 de molle serrano a las 10:00 horas, con 0.69  $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ , donde los individuos forestales presentaron menor crecimiento de acuerdo al inventario.

Al analizar el promedio general de asimilación de dióxido de carbono durante todo el día (periodo solar comprendido desde las 8:00 a las 16:00 horas), se obtuvo que los individuos presentes en la zona 1 de muestreo de *Jacaranda acutifolia* Bonpl. y de *Schinus molle* L. consideradas especies nativas de Perú, presentan el mayor promedio diario de asimilación de CO<sub>2</sub> con 5.18  $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{s}$  y 4.87  $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ , respectivamente, luego la zona 1 y 2 de *Fraxinus americana* L. con 4.68  $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{s}$  y 3.93  $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ , a continuación, la zona 2 de *Acacia saligna* (Labill.) H.L. Wendl con 3.41  $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ , seguida por la zona 1 de *Acacia saligna* (Labill.) H.L. Wendl con 2.94  $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ , seguidamente se encuentra la zona 2 de *Schinus molle* L. con 2.31  $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{s}$  y en último lugar se tiene a la zona 2 de *Jacaranda acutifolia* Bonpl. con 1.72  $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{s}$

A partir de los hallazgos encontrados, aceptamos la hipótesis que establece que, dado que las especies vegetales asimilan dióxido de carbono durante la fotosíntesis, se van a

encontrar diferencias en los valores de asimilación de dióxido de carbono en cuatro especies forestales presentes en el bosque del Colegio Militar Francisco Bolognesi, pues a pesar de presentarse condiciones similares en cuanto a incidencia solar y tipo de suelo, el comportamiento de las especies seleccionadas fue distinto en cuanto al proceso de asimilación de dióxido de carbono, hallándose diferencias incluso en una misma especie a lo largo del día, siendo molle serrano y jacaranda, las especies con mayores promedios de asimilación de dióxido de carbono a lo largo del día en su zona de muestreo 1, la cual, en el caso de molle serrano fue donde se encontraban los individuos con mayor tamaño de acuerdo al inventario. En el caso de la zona 1 de jacaranda, se encontraban individuos con menor tamaño en cuanto a fronda, diámetro a la altura del pecho y altura total, lo cual no necesariamente se ve afectado por el tipo de suelo o sus características, pues como se vio en los resultados del análisis de suelos, las características de suelo en cuanto a análisis físico, químico y de capacidad de intercambio catiónico se encuentran en rangos similares para cada zona de muestreo, por lo que su crecimiento depende del manejo silvicultural en sus primeras etapas de establecimiento.

El comportamiento de las especies evaluadas es variable dependiendo de la hora y la zona de muestreo, observándose que, en el caso de fresno, los individuos ubicados en la zona 1 y 2 registran sus menores valores de asimilación de CO<sub>2</sub> a las 14:00 horas, que es el momento del día en el que la incidencia solar va disminuyendo hasta llegar a su mínimo valor a las 16:00 horas, esta especie difiere en cuanto a su mayor valor de asimilación de CO<sub>2</sub>, pues los individuos ubicados en la zona 1 muestran su mayor valor durante el día a las 10:00 horas con un valor de 7.89  $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2$  y a dicha hora, los individuos ubicados en la zona 2 muestran valores cercanos al menor valor registrado en ambas zonas, por lo que su ubicación y las condiciones del suelo influirían en el resultado a dicha hora, en especial, aquellas características de suelo relacionadas con el pH y la concentración de Fósforo y Potasio.

En el caso de mimosa la zona 1 muestra su más alto valor de asimilación a las 16:00 horas, mientras que en la zona 2 se presenta a las 8:00 horas.

Los individuos de molle serrano ubicados en la zona 1 y en la zona 2 muestran sus valores mayores a las 8:00 am y sus menores valores a las 10:00 am, aparentemente su comportamiento es similar, pero los valores registrados a dichas horas difieren, pues los individuos de molle serrano ubicados en la zona 1 asimilan aproximadamente 45% más CO<sub>2</sub> que los individuos de molle serrano ubicados en la zona 2, en su más alto valor.

En cuanto a los individuos de jacarandá ubicados en las zonas 1 y 2 muestran diferencias en su asimilación de CO<sub>2</sub>, ya que a las 14:00 horas los individuos ubicados en la zona 1 muestran su menor valor de asimilación mientras que los individuos ubicados en la zona 2 registran su más alto valor durante el día a dicha hora.

De esta forma, se obtuvo que las especies que presentan mayor tasa de asimilación de CO<sub>2</sub> son molle serrano ubicado en la zona 1, y jacaranda ubicado en zona 1, esto indica que *Schinus molle* L. y *Jacaranda acutifolia* Bonpl. incluso bajo las condiciones de suelo que presentan deficiencias de nutrientes y humedad y de alta incidencia solar serán capaces de asimilar dióxido de carbono con mayor eficacia que las demás especies evaluadas, pues se trata de especies nativas y según el manual de arborización urbana (2008) citado en Huaco (2020), las especies nativas poseen mayor capacidad de adaptación al medio en el que se desarrollan, son tolerantes a cambios en el clima, son amigables con la diversidad de fauna y su morfología se adecúa a los requerimientos de supervivencia en caso de cambios extremos, por lo que su utilización en programas de forestación es recomendable, incluso para reducir los costos de mantenimiento y obtener mayores servicios ecosistémicos.

Adicionalmente, las especies de molle serrano y jacaranda son especies perennes, siempreverdes, por lo que su follaje permanece a lo largo del año permitiendo la asimilación constante de dióxido de carbono, a comparación de las especies introducidas como el fresno, consideradas especies estacionales, estas últimas pueden poseer bastante fronda, pero al ser caducifolias dicha fronda tiende a perderse dependiendo la época del año, por lo que durante la pérdida de hojas la asimilación de CO<sub>2</sub> se ve limitada, así mismo, las especies nativas (*Schinus molle* L. y *Jacaranda acutifolia* Bonpl.) presentan mayor resistencia a plagas y enfermedades, caso que no se evidencia en los individuos de mimosa

y fresno que estuvieron afectados por la presencia de pulgón y queresá, factores que limitan la actividad fotosintética de las hojas al cubrir y dañar las superficies foliares.

Según Melo-Cruz et al (2012) en el estudio de “Patrones de arquitectura foliar asociados al crecimiento funcional de cinco especies leñosas nativas de la cordillera oriental utilizadas en restauración” muestra el comportamiento ecofisiológico de especies andinas nativas de la cordillera oriental, como las que se analizan en el presente estudio (*Schinus molle* L. y *Jacaranda acutifolia* Bonpl.) que se encuentran creciendo en un entorno ambiental con altas restricciones para el desarrollo, han logrado generar una alta diversidad foliar como estrategia adaptativa al régimen de luz cambiante, basada principalmente, en el tamaño y grosor de las hojas lo que permite que requieran de un periodo de luz más corto que el utilizado por otros árboles, para construir su aparato fotosintético y acumular permanentemente el carbono capturado en compartimentos de larga permanencia, esto permite explicar las tasas de asimilación más elevadas que se registraron durante el día, en el caso de las especies nativas evaluadas al interior del bosque del Colegio Militar Francisco Bolognesi, especialmente en el caso de *Schinus molle* L. a las 8:00 am con 8.31  $\mu\text{mol}$  de  $\text{CO}_2/\text{m}^2\cdot\text{s}$  registrado en la zona 1 de mayor crecimiento.

Estos resultados guardan relación con lo que sostiene Nava et al. en el año 2008 en su estudio de “Características del intercambio de gases en hojas de Guayabo”, donde indica que la interacción de la condición hídrica y el horario influyen en la asimilación de dióxido de carbono y en todas las variables que intervienen en dicho proceso (carbono intercelular, transpiración y respiración foliar); ello es acorde con lo que en este estudio se halla, pues todas las especies muestran diferentes valores de asimilación de  $\text{CO}_2$  en diferentes horas del día, así mismo, según López (2016) los datos de caracterización de suelos tales como el rango de Ph, la textura de suelo, concentración de materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico son parámetros determinantes en la retención y disolución de nutrientes que intervienen en la turgencia y estado fitosanitario de las hojas, elementos principales para la asimilación de dióxido de carbono, según Maita (2017) los elementos tales como fósforo, calcio, sodio y potasio son los que permiten la síntesis de proteínas, influyendo en la fortaleza de las raíces, su deficiencia provoca debilidad en hojas y raíces,

haciendo a la planta más susceptible a ser afectada por plagas y enfermedades, todo esto, explica la presencia de zonas de muestreo con individuos de la misma especie que presentan menores tasas de crecimiento, zonas en las que estos individuos de las cuatro especies muestran los menores valores de asimilación de dióxido de carbono, por lo que es conveniente brindarle un adecuado manejo de fertilización a dichas zonas, con la finalidad de incrementar su rendimiento fotosintético.





# Capítulo V

## Conclusiones y Recomendaciones

## 5.1 Conclusiones

- El año 2019 se realizó una campaña de muestreo durante la temporada seca en el Bosque del Colegio Militar Francisco Bolognesi, donde se estudiaron cuatro especies forestales, dos de ellas nativas y dos introducidas, cumpliendo con el objetivo planteado de estimar la asimilación de dióxido de carbono, mostrando resultados que reflejan la importancia de la vegetación en la provisión del servicio ecosistémico de regulación denominado secuestro y almacenamiento de carbono, cabe resaltar que la zona de estudio no contaba anteriormente con un estudio de la asimilación de CO<sub>2</sub> de las especies forestales, por lo que, el presente estudio es el primero en su tipo en dicha área, para las especies de *Schinus molle* L., *Jacaranda acutifolia* Bonpl., *Fraxinus americana* L. y *Acacia saligna* (Labill.) H.L. Wendl.
- La presente investigación indica que el crecimiento impredecible de las especies forestales depende del manejo silvicultural, del material de plantación y de las variables biofísicas presentes en las zonas de plantación tales como las características de suelo pues los resultados de los análisis de suelos demostraron que las texturas presentes en las zonas de muestreo son gruesas y moderadamente gruesas, así mismo, en determinadas zonas el rango de pH se encuentra por encima de los valores normales, todo ello dificulta la disponibilidad y absorción de nutrientes así como propicia el lavado de los mismos y el drenaje acelerado del agua, por lo que existe deficiencia en la concentración de materia orgánica, agua y sales minerales necesarias para el intercambio catiónico, esto influencia en la asimilación de CO<sub>2</sub> de las especies analizadas, en diferentes cantidades, pues, según varios autores, debilita las hojas y disminuye su turgencia, de la misma manera, la asimilación de CO<sub>2</sub> se vio negativamente afectada en las cuatro especies evaluadas a las 12:00 horas, momento en el que la incidencia solar presentó su más alto nivel durante el día con 1797.6 umol de fotones/m<sup>2</sup>.s demostrando así la influencia de la intensidad solar en la asimilación de dicho gas, a pesar de ello, las especies nativas registraron valores más elevados que las especies introducidas, demostrando mayor capacidad de adaptación a dichas condiciones.

- En cuanto a los promedios de asimilación de dióxido de carbono registrados a lo largo del día, se concluye que las especies nativas evaluadas (*Schinus molle* L. y *Jacaranda acutifolia* Bonpl.) ubicadas en la zona 1, son las especies con la tasa de asimilación de CO<sub>2</sub> más elevada, ya que ambas representan el 34.61% del total asimilado en las ocho zonas de muestreo, correspondientes a las cuatro especies evaluadas, así mismo *Schinus molle* L. es la especie que presenta el mayor registro de asimilación durante el día, con 8.31 umol/m<sup>2</sup>.s a las 8:00 horas, siendo ambas especies recomendadas para plantar en áreas verdes urbanas, con el fin de disminuir la cantidad de CO<sub>2</sub> presente en la atmósfera.

La metodología empleada en la presente investigación sugiere realizar más mediciones de forma continua a lo largo del día para registrar una mayor cantidad de datos que sirvan para realizar un análisis más detallado de la cantidad de CO<sub>2</sub> asimilado por el arbolado del bosque del Colegio Militar Francisco Bolognesi, función que podría incrementarse si se mejoran las condiciones fitosanitarias y se reduce el estrés por escasez de nutrientes, pues dicho manejo incrementaría el rendimiento de las especies a la hora de llevar a cabo el proceso de asimilación de CO<sub>2</sub>.

## 5.2 Recomendaciones

- Se recomienda brindarle un adecuado manejo a los suelos presentes en el Bosque del Colegio Militar Francisco Bolognesi dado que los resultados obtenidos en la caracterización físico – química del suelo indican que estos parámetros influyen en la provisión del servicio ecosistémico de secuestro y almacenamiento de carbono, es necesario incorporar materia orgánica y fertilizantes con base de Calcio esto con el fin de mejorar la textura del suelo pues la materia orgánica es una fuente de nutrientes y permite retener la humedad del terreno y facilitar la fijación de Nitrógeno.
- Se recomienda elaborar un plan de manejo silvicultural con el fin de conocer los requerimientos de cada especie presente en el Bosque del Colegio Militar Francisco Bolognesi, para un adecuado crecimiento y desarrollo.
- Se recomienda la realización de un estudio de potencial hídrico de las especies, para un adecuado diseño de sistema de riego , que provea la cantidad de agua necesaria para evitar el estrés hídrico en las especies presentes en el Bosque del Colegio Militar Francisco Bolognesi lo cual contribuirá en un mayor rendimiento de las mismas, pues el agua en el suelo es indispensable para las plantas ya que repone las pérdidas producidas por la evapotranspiración y permite el transporte y absorción de nutrientes.
- Finalmente, se recomienda extender estos estudios a otras especies para conocer su respuesta a la asimilación de CO<sub>2</sub> y poder estudiar otros parámetros como la transpiración o conductancia estomática y los efectos de la temperatura o realizar estudios predictivos sobre la respuesta de las especies a diferentes concentraciones de CO<sub>2</sub> en el ambiente, incrementos de incidencia solar y variaciones en la humedad como variables que influyen en la asimilación de CO<sub>2</sub>, pudiendo utilizar los datos obtenidos en la presente investigación como sustento bibliográfico para contrastar valores de asimilación durante el día en las cuatro especies evaluadas, pues se presentan a modo de antecedente en un ecosistema urbano bajo las condiciones descritas.

## Referencias Bibliográficas

- Aguirre, Z., León, N., Palacios, B., & Aguirre, N. (2013) Dinámica de crecimiento de 29 especies forestales en el Jardín Botánico El Padmi, Zamora Chinchipe. Ecuador. *Centro de Estudios y Desarrollo de la Amazonía - CEDAMAZ*, 3(1), 18-36. [https://www.researchgate.net/publication/263697478\\_Dinamica\\_de\\_creCIMIENTO\\_de\\_29\\_especies\\_forestales\\_en\\_el\\_jardin\\_Botanico\\_el\\_Padmi\\_Zamora\\_Chinchipe](https://www.researchgate.net/publication/263697478_Dinamica_de_creCIMIENTO_de_29_especies_forestales_en_el_jardin_Botanico_el_Padmi_Zamora_Chinchipe)
- Andina. (2008, 31 de diciembre) *Inauguran parque ecológico de más de 14 hectáreas en Arequipa*. Andina. Consultado el 27 de junio de 2019. <https://andina.pe/agencia/noticia-inauguran-parque-ecologico-mas-14-hectareas-arequipa-211421.aspx>
- Arias, N.A. y Munévar, F. (2004). Caracterización de la fertilidad de los suelos de la Zona Central Palmera de Colombia. *Revista Palmas*, 25(especial,), 135-147. <http://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1076/1076>
- Arroyave, M., Posada, M., Nowak, D., & Hoehn, R. (2019) Remoción de contaminantes atmosféricos por el bosque urbano en el valle de Aburrá. *Colombia forestal*, 22(1), 5-16. <http://dx.doi.org/10.14483/2256201X.13695> <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/colfor/article/view/13695/14447>
- Baca, J. E. (2017). Captura de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) de especies forestales como mecanismo de compensación ambiental en una vía de alta presión vehicular (Avenida Separadora Industrial)— Lima, 2017 [tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Digital Institucional Universidad César Vallejo. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/3492>
- Barbaro, L.A., Karlanian, M.A., & Mata, D.A. (2014). *Importancia del pH y la Conductividad Eléctrica (CE) en los sustratos para plantas*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). [https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta\\_-\\_importancia\\_del\\_ph\\_y\\_la\\_conductividad\\_electrica\\_ce\\_en\\_los\\_sustratos\\_para\\_plantas.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_-_importancia_del_ph_y_la_conductividad_electrica_ce_en_los_sustratos_para_plantas.pdf)
- Bazán, R. (2017). *Manual de procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego*. Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA [https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/inia/504/1/Bazan-Manual\\_de\\_procedimientos\\_de\\_los.pdf](https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/inia/504/1/Bazan-Manual_de_procedimientos_de_los.pdf)
- Benjamín, J. A. y Masera, O. (2001). Captura de carbono ante el cambio climático. *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal (REDALYC)- Madera y bosques*, 7(1), 3-12. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61770102>
- Berenguer, S. y Bernal, F. (2000). NTP 549: El dióxido de carbono en la evaluación de la calidad del aire interior. *España: Centro Nacional de Condiciones de Trabajo*. [https://www.insst.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/501a600/ntp\\_549.pdf](https://www.insst.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/501a600/ntp_549.pdf)
- Buckman, H. y Brady, N. (1977). *Naturaleza y propiedades de los suelos*. Barcelona: Montaner y Simon. <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=LIBROS.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=003149>
- Callo, D., Krishnamurthy, L. y Alegre, J. (2001). Cuantificación del carbono secuestrado por algunos SFS´s y testigos, en tres pisos ecológicos de la amazonía del Perú. *Chile, Simposio internacional, medición y monitoreo de la captura de carbono en ecosistemas forestales*.

- Carrasco, L. (2009) Efecto de la Radiación Ultravioleta-B en Plantas. *IDESIA (Chile)*, 27(3).  
<https://doi.org/10.4067/S0718-34292009000300009>
- Carvajal, M., Mota, C., Alcaraz, C., Iglesias, M., & Martínez, M. (2011). Absorción de CO<sub>2</sub> por los cultivos más representativos de la Región de Murcia. *Less CO<sub>2</sub>*.  
[https://www.researchgate.net/publication/285295502\\_Absorcion\\_de\\_CO2\\_por\\_los\\_cultivos\\_mas\\_representativos\\_de\\_la\\_Region\\_de\\_Murcia](https://www.researchgate.net/publication/285295502_Absorcion_de_CO2_por_los_cultivos_mas_representativos_de_la_Region_de_Murcia)
- Carvalho, G. O. (2009). Especies exóticas e invasiones biológicas. *Ciencia Ahora*, 23(12), 15-21.  
<http://www.plantasvasculares.uns.edu.ar/dpv/papers%20conservaci%C3%B3n/Carvalho%20Invasiones%20biologicas.pdf>
- Castaño, B. E. (2011). Sumideros de carbono en el marco del Protocolo de Kioto. *Memorando de Derecho*, 2(2), 13-21.  
[https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as\\_sdt=0%2C5&q=Sumideros+de+carbono+en+el+marco+del+Protocolo+de+Kioto&btnG=](https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Sumideros+de+carbono+en+el+marco+del+Protocolo+de+Kioto&btnG=)
- Catalán, L. A., Lara, R., Ribaski, J., Lima, P. C., Serra, M. T., Sosa Cedillo, V. E., y Zapata, R.M. (1997). *Especies arbóreas y arbustivas para las zonas áridas y semiáridas de América Latina*. FAO-PNUMA. [http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP\\_FaoRlc/old/redes/sisag/arboles/Chischi.htm](http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/redes/sisag/arboles/Chischi.htm)
- Ciancaglini, N. (2010). *Guía para la determinación de textura de suelos por método organoléptico*. INTA EEA. [http://www.prosap.gov.ar/Docs/INSTRUCTIVO%20R001\\_Gu%C3%ADa%20para%20](http://www.prosap.gov.ar/Docs/INSTRUCTIVO%20R001_Gu%C3%ADa%20para%20)
- Congreso de la República del Perú. (2004). Ley N° 28245. *Por la cual se expide la ley marco del sistema nacional de gestión ambiental*. Diario oficial del bicentenario El Peruano. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/06/ley-general-del-ambiente.pdf>
- Congreso de la República del Perú. (2005). DS N°008-2005 PCM. *Por el cual se aprueba el reglamento de la Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental*. Diario oficial del bicentenario El Peruano. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/06/ley-general-del-ambiente.pdf>
- Congreso de la República del Perú. (2005). Ley N° 28611. *Por la cual se expide la ley general del ambiente*. Diario oficial del bicentenario El Peruano. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/06/ley-general-del-ambiente.pdf>
- Congreso de la República del Perú. (2011). Ley N° 29763. *Por la cual se expide la Ley Forestal y de Fauna Silvestre*. Diario oficial del bicentenario El Peruano. <https://leyes.congreso.gob.pe/Documentos/Leyes/29763.pdf>
- Congreso de la República del Perú. (2018). Ley N° 30754. *Por la cual se expide la ley marco sobre cambio climático*. Diario oficial del bicentenario El Peruano. <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/ley-marco-sobre-cambio-climatico-ley-n-30754-1638161-1/>
- Connolly, R. Y. y Corea, C. A. (2007). Cuantificación de la captura y almacenamiento de carbono en sistema agroforestal y forestal en seis sitios de cuatro municipios de Nicaragua [Trabajo de diploma, Universidad Nacional Agraria, UNA]. Repositorio Institucional UNA. <http://repositorio.una.edu.ni/1103/>
- Corredor, E. S., Fonseca, J. A., y Páez, E. M. (2012). Los servicios ecosistémicos de regulación: Tendencias e impacto en el bienestar humano. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 3(1), 77. <https://doi.org/10.22490/21456453.936>  
<https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/book/article/view/3119>

- Cuya, O. y Lombardi, I. (1991). Influencia del tamaño de la semilla en la germinación y crecimiento de plántulas de *Schinus molle* L. *Revista Forestal del Perú* 18(2): 17-27.
- Davydova, V., Skiba, Y.N., Bulgakov, S.N., Martínez, A. (1999). Modelación matemática de los niveles de contaminación en la ciudad de Guadalajara, Jalisco, México. Parte i. Microclima y monitoreo de la contaminación. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 15(2). <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/art>
- Detlefsen, G. y Somarriba, E. (2012). *Producción de madera en sistemas Agroforestales de Centroamérica. Cartago, Costa Rica*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. [https://www.researchgate.net/publication/324363425\\_Definicion\\_de\\_Agroforesteria](https://www.researchgate.net/publication/324363425_Definicion_de_Agroforesteria)
- Díaz, J., y Curiel, A. (2012). Bosques urbanos para enfriar las ciudades. *Ciencia-Academia Mexicana de Ciencias*, 63(4), 36-41. [https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/63\\_4/PDF/BosquesUrbanos.pdf](https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/63_4/PDF/BosquesUrbanos.pdf)
- Dirección General de Salud Ambiental e Inocuidad Alimentaria-DIGESA. (2005). *Inventario de emisiones de fuentes fijas cuenca atmosférica de la ciudad de Arequipa*. Sistema Nacional de Información Ambiental-SINIA. Consultado el 16 de mayo de 2020. <https://sinia.minam.gob.pe/modsinia/index.php?accion=verElemento&idElementoInformacion=13&verPor=&idTipoElemento=35&idTipoFuente=&idfuelleinformacion=20>
- Espino, K., y Fábrega, J. (2015). Asimilación de CO<sub>2</sub> en dos especies de plantas de un bosque húmedo tropical de Cerro Pelado, Gamboa. *RIDTEC*, 2 (1). [https://www.researchgate.net/publication/305680602\\_Asimilacion\\_de\\_CO2\\_en\\_dos\\_especies\\_d\\_e\\_plantas\\_de\\_un\\_bosque\\_humedo\\_tropical\\_de\\_Cerro\\_Pelado\\_Gamboa](https://www.researchgate.net/publication/305680602_Asimilacion_de_CO2_en_dos_especies_d_e_plantas_de_un_bosque_humedo_tropical_de_Cerro_Pelado_Gamboa)
- Espinoza, L., Slaton, N. A., y Mozaffari, M. (2012). *Como interpretar los resultados de los análisis de suelos*. Division of Agriculture, Research Extension, University of Arkansas System. <https://www.uaex.edu/publications/PDF/FSA-2118SP.pdf>
- Fernández, L. (2021, enero) *Qué es una especie nativa o autóctona*. Ecología verde. Consultado el 16 de febrero de 2021. <https://www.ecologiaverde.com/que-es-una-especie-nativa-o-autoctona-2290.html>
- FERTILAB. (2013) *El manejo de suelos alcalinos*. Fertilidad de Suelos S. de R.L. Consultado el 01 de abril de 2020. <https://www.fertilab.com.mx/Sitio/Vista/El-Manejo-De-Suelos-Alcalinos.php>
- Gallardo, J.F., Merino, A. (2007). El ciclo del carbono y la dinámica de los sistemas forestales. En: Bravo, F. (coord.), *El Papel de los Bosques en la mitigación del Cambio Climático* (pp. 43-62). Fundación Gas Natural.
- [https://www.researchgate.net/publication/285732513\\_El\\_ciclo\\_del\\_carbono\\_y\\_la\\_dinamica\\_de\\_los\\_sistemas\\_forestales](https://www.researchgate.net/publication/285732513_El_ciclo_del_carbono_y_la_dinamica_de_los_sistemas_forestales)
- Gardner, F. P., Brent Pearce, R., & Mitchel, R. L. (1985). *Fijación de Carbono por los cultivos*. UNNE. Consultado el 20 de mayo de 2020. <http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Fijaciondecarbono%20por%20loscultivos.pdf>
- Gerencia Regional de Agricultura de Arequipa (2008). Expediente técnico: Forestación de los terrenos eriazos del Colegio Militar Francisco Bolognesi del Distrito de Alto Selva Alegre, Provincia de Arequipa – Arequipa.
- Gerencia Regional de Salud Arequipa (2020). *La calidad de aire en la ciudad de Arequipa 2019 y 2020*. Dirección ejecutiva de salud ambiental. (C.C. comunicación personal, 12 de noviembre de 2020)
- Gerencia Regional de Salud Arequipa. (2011). *Monitoreo de aire de la ciudad de Arequipa Área Metropolitana años 2009-2010-2011*. Dirección ejecutiva de salud ambiental, área de ecología

- protección del ambiente y salud ocupacional (p. 70). (C.C. comunicación personal, 12 de noviembre de 2020)
- Gerencia Regional de Salud Arequipa. (2017). *La calidad de aire en la ciudad de Arequipa año 2017* (Informe N° 125-2017-GRA/GRS/GR-DESA). Gobierno Regional de Arequipa – Gerencia Regional de Salud, Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental. (C.C. comunicación personal, 12 de noviembre de 2020)
- Gisbert, J. M., Ibáñez Asensio, S., y Moreno, H. (2010). *La textura del suelo*. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/7775/Textura.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gonzales. M. (2011). *Capacidad de Captura de Carbono en el Campo Experimental de Tulumayo. Leoncio Prado. Tingo María, Perú* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS. <http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/550/T.FRS151.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- González - Barrios, J. L., González-Cervantes, G., & Chávez-Ramírez, E. (2012). Porosidad del suelo en tres superficies típicas de la cuenca alta del río Nazas. *Tecnología y ciencias del agua*, 3(1), 21-32. <http://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v3n1/v3n1a2.pdf>
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático IPCC. (2005). *Captura y Almacenamiento de CO2*. Green Facts - Facts on Health and the Environment. Consultado el 16 de junio de 2020. <https://www.greenfacts.org/es/captura-almacenamiento-co2/index.htm#1>
- Gutiérrez, M. C., Peña, F., Duarte, H. W., Colorado, J. F., y Silva, R. L. (2009). Un modelo para la estimación del área foliar en tres especies forestales de forma no destructiva. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 12(1), 121-130.
- Hernández, P. (2014). *Captura de carbono del arbolado urbano de la Unidad Deportiva Sierra Hermosa, Tecámac, Edo. de México* [Tesis de pregrado, Universidad Autónoma Chapingo]. Academia. [https://www.academia.edu/25002194/CAPTURA\\_DE\\_CARBONO\\_DEL\\_ARBOLADO\\_URBANO\\_DE\\_LA\\_UNIDAD\\_DEPORTIVA\\_SIERRA\\_HERMOSA\\_TEC%3%81MAC\\_EDO\\_DE\\_M%3%89XICO](https://www.academia.edu/25002194/CAPTURA_DE_CARBONO_DEL_ARBOLADO_URBANO_DE_LA_UNIDAD_DEPORTIVA_SIERRA_HERMOSA_TEC%3%81MAC_EDO_DE_M%3%89XICO)
- Horowitz, A.J. and Walling, D.E. (editors). Sediment Budgets. International Association of Hydrological Sciences. *IAHS Press*. 2(292), pp. 262-270  
<https://upcommons.upc>
- [https://www.academia.edu/34284980/Influencia\\_del\\_tama%C3%B1o\\_de\\_semilla\\_en\\_la\\_germinaci%C3%B3n\\_y\\_crecimiento\\_de\\_pl%C3%A1ntulas\\_de\\_Schinus\\_molle](https://www.academia.edu/34284980/Influencia_del_tama%C3%B1o_de_semilla_en_la_germinaci%C3%B3n_y_crecimiento_de_pl%C3%A1ntulas_de_Schinus_molle)
- Huaco León, M. J. (2020). Estimación de la captura de CO<sub>2</sub> de las especies forestales en la Alameda de las Tradiciones, Centro Poblado de Congata, Arequipa -2019 [Tesis de pregrado, Universidad Nacional San Agustín]. Repositorio UNSA. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/20.500.12773/11817>
- Infojardin (2020). *Fresno blanco, Fresno americano - Fraxinus americana*. Infojardín. Consultado el 14 de febrero de 2014. <http://fichas.infojardin.com/arboles/fraxinus-americana-fresno-blanco-americano.htm>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática – INEI (2018). Perú: Crecimiento y distribución de la población, 2017 Primeros Resultados. Instituto Nacional de Estadística e Informática. Consultado el 20 de junio de 2020. [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1530/libro.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1530/libro.pdf)

- Intagri (2019). *La capacidad de intercambio catiónico del suelo*. Intagri S. C. Consultado el 14 de febrero de 2020. <https://www.intagri.com/articulos/suelos/la-capacidad-de-intercambio-cationico-del-suelo>
- Jaramillo, V. J. (2004). El ciclo global del carbono. En Martínez, J., Fernández, A. (compiladores), *Cambio climático: una visión desde México* (pp. 77-84). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Instituto Nacional de Ecología. [http://cambioclimatico.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/publicaciones/129/437\\_2004\\_Cambio\\_clima\\_desde\\_Mexico.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://cambioclimatico.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/publicaciones/129/437_2004_Cambio_clima_desde_Mexico.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Julca-Otiniano, Alberto, Meneses-Florián, Liliana, Blas-Sevillano, Raúl, & Bello-Amez, Segundo. (2006). La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura. *Idesia (Arica)*, 24(1), 49-61. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292006000100009>
- Kass, D. (1996). *Fertilidad de Suelos*. EUNED.
- Krishnamurthy, L., Nascimento, J. R., Keipi, K., Nowak, D. J., Dwyer, J. F., & Childs, G. (1998). Áreas verdes urbanas en América Latina: Una introducción. En Krishnamurthy, L. y Rente, J. (eds), *Áreas verdes urbanas en Latinoamérica y el Caribe - Memoria del Seminario Internacional celebrado en la ciudad de México*. Chapingo, México. (pp. 17-29). Universidad Autónoma Chapingo, Centro de Agroforestería para el Desarrollo Sostenible. <https://publications.iadb.org/es/publicacion/15813/areas-verdes-urbanas-en-latinoamerica-y-el-caribe>
- Lamprea López, G. (2019.). *La Energía y los Ciclos Biogeoquímicos en la Vida*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio UNAL. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/69795/30334228.2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Li-cor 6800. (2016). *Using the Li-6800, Portable Photosynthesis System*. (pp.1/2 – 1/4). Li-cor Biosciences. <https://licor.app.boxenterprise.net/s/6afbbpwybdanht6xrbgwicur4yohpx1n>
- Li-cor Biosciences (2016). *Using the Li-6800 Portable Photosynthesis System for Bluestem Operating System 1.0*. (pp. 1-2). Li-cor Inc. [https://www.catec.nl/uploads/pdf/Li-6800-manual\\_851.pdf](https://www.catec.nl/uploads/pdf/Li-6800-manual_851.pdf)
- López Párraga, G. M., y Zamora Mera, A. R. (2016). *Diagnóstico de la fertilidad del suelo en el área de Investigación, Innovación y Desarrollo de la ESPAM-MFL* [Tesis de bachillerato, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López]. Repositorio ESPAM. <http://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/270/1/TA54.pdf>
- López Valenzuela, G. C. (2015). *Valoración económica del servicio ambiental de captura de carbono en el fundo Violeta (Distrito de Tahuaman-Madre de Dios)* [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio PUCP. [http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/5926/LOPEZ\\_VALENZUELA\\_GERMAN\\_VALORACION\\_VIOLETA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/5926/LOPEZ_VALENZUELA_GERMAN_VALORACION_VIOLETA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- López, C. F. V., Vargas, J. A. C., Romero, J. C. T., Lenis, A. R. G., Ausique, V. F. F., Chaves, C. M. D., y Gómez, S. P. M. (2019). *Secuestro y almacenamiento de carbono* (pp. 106-117). Universidad Nacional Abierta y a Distancia.
- Louman, B., Nilsson, M., Quirós, D. (2001). *Silvicultura de bosques latifoliados húmedos con énfasis en América Central*. (pp.16). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. <http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/handle/11554/3971>
- Lynn, P. (2010). *Electricity from sunlight – An introduction to photovoltaics*. (289 p.). Jhon Wiley and Sons. West Sussex, Reino Unido. <https://www.wiley.com/en-gb/Electricity+from+Sunlight%3A+An+Introduction+to+Photovoltaics-p-9781119965039>

- Maciel, C. A., Manríquez, N., Octavio, P., y Sanchez, G. (2015). El área de distribución de las especies: Revisión del concepto. *SciELO*, 25(2). <https://doi.org/10.15174/au.2015.690>  
[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-62662015000200001#:~:text=El%20C3%A1rea%20de%20distribuci%C3%B3n%20se,%20%20fisiol%C3%B3gicos%20as%C3%AD%20como%20ecol%C3%B3gicos](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-62662015000200001#:~:text=El%20C3%A1rea%20de%20distribuci%C3%B3n%20se,%20%20fisiol%C3%B3gicos%20as%C3%AD%20como%20ecol%C3%B3gicos)
- Maita Anco, L. F. (2018). Concentración de nitratos en lechuga (*Lactuca sativa* VAR. WALMAN) producidas en un sistema hidropónico de raíz flotante utilizando tres soluciones nutritivas, Arequipa-Perú. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional San Agustín]. Repositorio UNSA. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/5080>
- Málaga, N., Giudice, R., Vargas, C., & Rojas, E. (2014). *Estimación de los contenidos de carbono de la biomasa aérea en los bosques de Perú*. Ministerio del Ambiente, Perú. [http://www.bosques.gob.pe/archivo/libro\\_carbono.pdf](http://www.bosques.gob.pe/archivo/libro_carbono.pdf)
- Mansilla, P. (2013). Evaluación de la alteración y restauración de los ciclos biogeoquímicos en bosques de *Nothofagus pumilio* de Tierra del Fuego afectados por prácticas de manejo forestal [Tesis doctoral, Universidad de Buenos Aires]. Biblioteca digital de la Universidad de Buenos Aires. [https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis\\_n5336\\_Mansilla.pdf](https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis_n5336_Mansilla.pdf)
- Martínez, J., Fernández, A., Osnaya, P., y Mexiko (2005). *Cambio climático: Una visión desde México*. Primera reimpresión. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología. [http://cambioclimatico.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/publicaciones/129/437\\_2004\\_Cambio\\_clima\\_desde\\_Mexico.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://cambioclimatico.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/publicaciones/129/437_2004_Cambio_clima_desde_Mexico.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Martínez, M. (2016). *Radiación Solar – Conceptos y Aplicaciones*. (pp. 1- 4). Instituto de Investigaciones Agropecuarias – Centro de Investigación Especializado en Agricultura del Desierto y Altiplano (CIE). <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/informativos/NR40616.pdf>
- Melo-Cruz, O., Rodríguez-Santos, N., & Rojas-Ramírez, F. (2012). Patrones de arquitectura foliar asociados al crecimiento funcional de cinco especies leñosas nativas de la cordillera oriental utilizadas en restauración ecológica en la sabana de Bogotá. *Colombia forestal*, 15(1), 119-130. <https://www.redalyc.org/pdf/4239/423939617004.pdf>
- Medina, C.I.; Martínez, E.; Lobo, M.; López, J.C.; Riaño, N (2006). Comportamiento bioquímico y del intercambio gaseoso del lulo (*Solanum quitoense* lam.) a plena exposición solar en el bosque húmedo montano bajo del oriente antioqueño colombiano. *Revista de la Facultad Nacional de Agronomía de Medellín*, 59-1. p.3123-3146- 2006. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/36574/24292-85142-1-PB.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Metz, B. (2005). *Special report on carbon dioxide capture and storage*. Intergovernmental Panel on Climate Change. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/srccs\\_wholereport-1.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/srccs_wholereport-1.pdf)
- Ministerio de Agricultura (2015). Decreto Supremo N° 020-2015-MINAGRI. *Por el cual se aprueba el reglamento para la gestión de las plantaciones forestales y los sistemas agroforestales*. Diario Oficial del Bicentenario El Peruano. <https://www.minagri.gob.pe/portal/download/pdf/marcolegal/normaslegales/decretossupremos/2015/ds20-2015>
- Ministerio del Ambiente del Perú (2019). Decreto Supremo N° 013-2019-MINAM. *Por el cual se aprueba el reglamento de la Ley N° 30754, Ley marco sobre cambio climático*. Diario Oficial del Bicentenario El Peruano. <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/decreto-supremo-que-aprueba-el-reglamento0-de-la-ley-n-30754-decreto-supremo-n-013-2019-minam-1842032-2/>

- Ministerio del Ambiente. (2015). *Guía de inventario de la flora y vegetación*. Ministerio del Ambiente. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-guia-inventario-flora-vegetacion>
- Montesinos, D. B. (2012). Árboles y leñosas de Arequipa: Soluciones para mitigar la contaminación. (pp. 17, 47 - 49). Cuzzi y Cía., S.A.
- Naciones Unidas (1992). *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático* (pp. 3-4). Naciones Unidas. <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>
- Nava, A.D., Ramirez, I., Peña, C.B., Díaz, G., Gonzáles, V.A. (2009). Características del intercambio gaseoso en hojas de Guayabo (*Psidium guajava* L.). *Revista Chapingo-Serie horticultura*, 15(2). <http://www.scielo.org.mx/pdf/rcsh/v15n2/v15n2a3.pdf>
- Novoa, M. A., Miranda, D., & Melgarejo, L. M. (2018). Efecto de las deficiencias y excesos de fósforo, potasio y boro en la fisiología y el crecimiento de plantas de aguacate (*Persea americana*, cv. Hass). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 12(2), 293-307. [https://revistas.uptc.edu.co/revistas/index.php/ciencias\\_hortícolas/article/view/8092](https://revistas.uptc.edu.co/revistas/index.php/ciencias_hortícolas/article/view/8092)
- Nowak, D. J., Dwyer, J. F., & Childs, G. (1997). *Los beneficios y costos del enverdecimiento urbano*. Áreas verdes urbanas en Latinoamérica y el Caribe, 17-38.
- Ocampo, N.O. (2014). *Fotosíntesis* (pp. 2). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. [https://www.uaeh.edu.mx/docencia/VI\\_Lectura/bachillerato/documentos/2014/LECT110.pdf](https://www.uaeh.edu.mx/docencia/VI_Lectura/bachillerato/documentos/2014/LECT110.pdf)
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - FAO (1996). *Ecología y Enseñanza Rural, Nociones Ambientales Básicas para Profesores Rurales y Extensionistas*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación-FAO. Consultado el 30 de mayo de 2019. <http://www.fao.org/3/w1309s/w1309s04.htm>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - FAO (2009). *Glosario de agricultura orgánica*. (pp. 28 y 54). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación-FAO. [http://www.fao.org/fileadmin/templates/organicag/files/Glossary\\_on\\_Organic\\_Agriculture.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/organicag/files/Glossary_on_Organic_Agriculture.pdf)
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - FAO (2009). *Guía para la descripción de suelo*. Cuarta edición. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación-FAO.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - FAO (2012). *Guía para la aplicación de normas fitosanitarias en el sector forestal*. Estudio FAO – Montes, 164. (pp. 95), Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación-FAO. <http://www.fao.org/3/i2080s/i2080s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - FAO (2020). *Servicios ecosistémicos y biodiversidad*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Consultado el 19 de marzo de 2020. <http://www.fao.org/ecosystem-services-biodiversity/background/regulating-services/es/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - FAO (2020). *Propiedades del suelo, porosidad del suelo*. Portal de Suelos de la FAO. Consultado el 19 de marzo de 2020. <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - FAO (2020). *Bosques urbanos ayudan a enfrentar la contaminación, el cambio climático y la falta de suministro de agua*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación-FAO. Consultado el 20 de marzo de 2020. <http://www.fao.org/americas/noticias/ver/es/c/1110183/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - FAO (s.f.). *Textura de suelo*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación-FAO – Consultado el

- 4 de marzo de 2020.  
[http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO\\_Training/FAO\\_Training/General/x6706s/x6706s06.htm](http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s06.htm)
- OSINFOR. (2013). *Protocolo para la herborización: Colección y preservado de ejemplares botánicos en procesos de supervisión forestal*. OSINFOR.  
[https://www.osinfor.gob.pe/portal/data/destacado/adjunto/protocolo\\_herborizacion\\_julio2013.pdf](https://www.osinfor.gob.pe/portal/data/destacado/adjunto/protocolo_herborizacion_julio2013.pdf)
- Peper, P. J., Alzate, C.P., Mcneil, J.W., Hashemi, J. (2014), Ecuaciones alométricas para árboles urbanos (*Fraxinus* spp.) en Oakville al sur de Ontario, Canadá. *Urban forestry and urban greening*, 13 (1), 175-183.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1618866713000794?via%3Dihub>
- Petteri, S. (2002). Secuestro de carbono a través de plantaciones de eucalipto en el trópico húmedo Foresta Veracruzana. *REDALYC*, 4(2), 51-58. <https://www.redalyc.org/pdf/497/49740208.pdf>
- Piedrahita, O. (2011). *Capacidad de Intercambio Catiónico*. [http://www.nuprec.com/Nuprec\\_Sp\\_archivos/Literatura/CAPACIDAD%20DE%20INTERC%20AMBIO%20CATIONICO.pdf](http://www.nuprec.com/Nuprec_Sp_archivos/Literatura/CAPACIDAD%20DE%20INTERC%20AMBIO%20CATIONICO.pdf)
- Pons, X. (1996). *Estimación de la Radiación Solar a partir de modelos digitales de elevaciones. Propuesta Metodológica* (pp.2-8). Universidad Autónoma de Barcelona.  
[https://ddd.uab.cat/pub/poncom/1996/200247/Pons\\_1996\\_Estimacion\\_de\\_la\\_radiacion\\_solar\\_a\\_partir\\_de\\_modelos\\_digitales\\_de\\_elevaciones\\_Propuesta\\_metodologica\\_OCR.pdf](https://ddd.uab.cat/pub/poncom/1996/200247/Pons_1996_Estimacion_de_la_radiacion_solar_a_partir_de_modelos_digitales_de_elevaciones_Propuesta_metodologica_OCR.pdf)
- Pyo y, Gierth M, Schroeder JI, Cho MH. 2010. High-affinity K + transport in Arabidopsis: AtHAK5 and AKT1 are vital for seedling establishment and postgermination growth under low K + conditions. *PlantPhysiol* 153: 863–875.
- Quiroz, R. (2013). Efectos del cambio climático en el Perú [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio UNC.  
<http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/422/T%20K10%20Q8%202013.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Raynaud, D., Jouzel, J., Barnola, M., Chapellaz, J., Delmas, R.J., Lorius C. (1993). The ice record of greenhouse gases. *Science*, 259 (5097).  
[https://www.researchgate.net/publication/230890201\\_The\\_Ice\\_Record\\_of\\_Greenhouse\\_Gases](https://www.researchgate.net/publication/230890201_The_Ice_Record_of_Greenhouse_Gases)
- Rioja, M. (2007). *Anexo a estudio climático*. Upcommons. Consultado el 12 de oct.2015.
- Ruiz, N., Rincón, F., Martínez, J., Martínez, J. M., y Olvera, M. (2013). *Sistemas de Producción y Asimilación de CO<sub>2</sub> en la Variedad Jaguan de Maíz Criollo Mejorado*. Universidad Autónoma Agraria.  
[https://www.researchgate.net/publication/260706161\\_SISTEMAS\\_DE\\_PRODUCCION\\_Y\\_ASIMILACION\\_DE\\_CO2\\_EN\\_LA\\_VARIEDAD\\_JAGUAN\\_DE\\_MAIZ\\_CRIOLLO\\_MEJORADO](https://www.researchgate.net/publication/260706161_SISTEMAS_DE_PRODUCCION_Y_ASIMILACION_DE_CO2_EN_LA_VARIEDAD_JAGUAN_DE_MAIZ_CRIOLLO_MEJORADO)
- Rzedowski, J. (1996). Análisis preliminar de la flora vascular de los bosques mesófilos de montaña de México. *Acta Botánica Mexicana* 35: 25-44.  
[https://www.researchgate.net/publication/26471042\\_Analisis\\_preliminar\\_de\\_la\\_flora\\_vascular\\_de\\_los\\_bosques\\_mesofilos\\_de\\_montana\\_de\\_Mexico](https://www.researchgate.net/publication/26471042_Analisis_preliminar_de_la_flora_vascular_de_los_bosques_mesofilos_de_montana_de_Mexico)
- Sánchez, E. (2016). Estimación del intercambio de CO<sub>2</sub> entre la atmósfera y tres especies nativas de la reserva del Pedregal de San Angel (REPSA), Ciudad de México [Tesis doctoral, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio UNAM.  
[https://repositorio.unam.mx/contenidos?c=pgR5Rm&d=false&q=\\*&i=1&v=1&t=search\\_0&as=0](https://repositorio.unam.mx/contenidos?c=pgR5Rm&d=false&q=*&i=1&v=1&t=search_0&as=0)

- Sanclemente, M.A.; Peña, E.J. (2008). Crecimiento y eficiencia fotosintética de *Ludwigia decurrens* Walter (ONAGRACEAE) bajo diferentes concentraciones de nitrógeno. *Acta Biológica Colombiana*, 13(1), 175-186. <http://www.scielo.org.co/pdf/abc/v13n1/v13n1a12.pdf>
- Santa Fe (s.f.) *Fichas técnicas de árboles*. Santa Fe Presente. Consultado el 02 de mayo de 2020. [https://campuseducativo.santafe.gov.ar/wp-content/uploads/Fichas-t%C3%A9cnicas-%C3%A1rboles-\\_12.pdf](https://campuseducativo.santafe.gov.ar/wp-content/uploads/Fichas-t%C3%A9cnicas-%C3%A1rboles-_12.pdf)
- Santibañez González, Ernesto. (2014). Captura y almacenamiento de carbono para mitigar el cambio climático: modelo de optimización aplicado a Brasil. *Revista internacional de contaminación ambiental*. *Scielo*, 30(3). [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-49992014000300001&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992014000300001&lng=es&tlng=es)
- Sarcca Huisa, Y. R. (2017). Valoración económica del servicio ecosistémico de secuestro y almacenamiento de carbono en el bosque de *Polylepis* del Pichu, Arequipa-2016 [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Repositorio UNSA. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/2787>
- Shaxson, F., & Barber, R. (2005). *Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal: El significado de la porosidad del suelo*. Boletín de Suelos. 79.FAO. Consultado el 25 de mayo de 2020. <http://www.fao.org/tempref/docrep/fao/008/y4690s/y4690s00.pdf>
- Schyman, Anna (2018). Photosynthesis response to temperatures – A study of fertilized and unfertilized *Picea abies* [Tesis de pregrado, Universidad Linne]. Repositorio de la Institución para la Tecnología del Bosque y la Madera. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1232541/FULLTEXT01.pdf>
- Sierra, C. (s.f.). *El Boro en el suelo y las plantas*. El Mercurio. Consultado el 5 de marzo de 2020. <https://www.elmercurio.com/Campo/Noticias/Analisis/2016/04/19/El-boro-en-el-suelo-y-las-plantas.aspx?disp=1>
- Sosa, J.O. (2016). Valoración económica del secuestro de CO<sub>2</sub> en tres tipos de bosque en el distrito del Alto Nanay, Loreto-Perú-2014. (pp. 39). [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, Iquitos, Perú]. Repositorio UNAP. <http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/UNAP/4283>
- Speer, J. H. (2001). *Oak mast history from dendrochronology: a new technique demonstrated in the Southern Appalachian region*. University of Tennessee. [https://www.researchgate.net/publication/34249558\\_Oak\\_mast\\_history\\_from\\_dendrochronology\\_a\\_new\\_technique\\_demonstrated\\_in\\_the\\_southern\\_Appalachian\\_region](https://www.researchgate.net/publication/34249558_Oak_mast_history_from_dendrochronology_a_new_technique_demonstrated_in_the_southern_Appalachian_region)
- Taiz, L. y Zeiger, E. (1998). *Plant Physiology* (pp.15). Sinauer. [https://www.google.com.pe/?gws\\_rd=cr&ei=zIGFUf1BYzlsAT5gIHgDA#q=La+captura](https://www.google.com.pe/?gws_rd=cr&ei=zIGFUf1BYzlsAT5gIHgDA#q=La+captura)
- Taiz, L. y Zeiger, E. (2006). *Fisiología Vegetal*. (pp. 109). Universidad Jaume. <https://fisiologiavegetalundec.files.wordpress.com/2018/04/fv-taiz-zeiger-vol-i.pdf>
- Tavera, J. (2018). *Un bosque de protección al servicio de una ciudad* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio UNALM. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3619/tavera-cologna-javier-oswaldo.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Tecniagrícola. (2013. 19 de febrero). *La capacidad de campo de un suelo*. Tecniagrícola. Consultado el 20 de marzo de 2020. <https://www.tecnicoagricola.es/la-capacidad-de-campo-de-un-suelo/>
- Torres, A., Ramirez, H., Bastidas, M., Larez, N., Ramirez, I., Vilanoval, E., & Ormeño, M. A. (2006). Avances sobre el Manejo de Plantaciones de Fresno en Montaña y Perspectivas de Uso Múltiple de la Tierra en San Javier del Valle, Estado Mérida, Venezuela. INIA.

- [https://www.researchgate.net/publication/306960547\\_AVANCES\\_SOBRE\\_EL\\_MANEJO\\_DE\\_PLANTACIONES\\_DE\\_FRESNO\\_EN\\_TROPICOS](https://www.researchgate.net/publication/306960547_AVANCES_SOBRE_EL_MANEJO_DE_PLANTACIONES_DE_FRESNO_EN_TROPICOS) (2019). *Acacia saligna* (Labill.) H.L. Wendl. Tropicos. Consultado el 9 de agosto del 2019. <http://www.tropicos.org/NamePage.aspx?nameid=13024476>
- Tropicos (2019). *Fraxinus Americana* L. Tropicos. Consultado el 9 de agosto del 2019. <http://www.tropicos.org/NamePage.aspx?nameid=23000132>
- Tropicos (2019). *Jacaranda acutifolia* Bonpl. Tropicos. Consultado el 9 de agosto del 2019. <http://www.tropicos.org/Name/3700278>
- Tropicos (2019). *Schinus molle* L. Tropicos. Consultado el 9 de agosto del 2019. <http://www.tropicos.org/Name/1300267>
- Valderrama, C., Castillo, J., Torres, J., Guzmán, A., Forero, V., Duque, C., Sepúlveda, Y., & Montenegro, S. (s. f.). *Secuestro y almacenamiento de carbono: Capturas de carbono por pagos de servicios*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD - Escuela de ciencias agrícolas, pecuarias y del medio ambiente. [https://www.researchgate.net/publication/332973374\\_Capitulo\\_6\\_Secuestro\\_y\\_almacenamiento\\_de\\_carbono\\_capturas\\_de\\_carbono\\_por\\_pagos\\_de\\_servicios\\_ambientales](https://www.researchgate.net/publication/332973374_Capitulo_6_Secuestro_y_almacenamiento_de_carbono_capturas_de_carbono_por_pagos_de_servicios_ambientales)
- Vargas, P. (2009). *El cambio climático y sus efectos en el Perú*. (pp. 5). Perú: Banco Central de Reserva del Perú. <https://sinia.minam.gob.pe/modsinia/public/docs/1745.pdf>
- Villanueva Díaz, J., Pérez Evangelista, E. R., Beramendi Orozco, L., & Cerano Paredes, J. (2015). Crecimiento radial anual del fresno (*Fraxinus udhei* (Wenz.) Lingelsh.) en dos parques de la Comarca Lagunera. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 6(31), 40-57.
- Villanueva, J., Pérez, R., Beramendi, L., & Cerano, J. (2015). Crecimiento radial anual del fresno (*Fraxinus udhei* (Wenz.) Lingelsh.) en dos parques de la Comarca Lagunera. *Scielo*, 6 (40-57). <http://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v6n31/v6n31a4.pdf>
- Ya-jun, R. E. N. (2010). Effects of Different Water Temperature on Seeds Germination of *Jacaranda acutifolia*. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 14.
- Zeballos, C. (2019). *Atlas Ambiental de Arequipa*. Arequipa, Perú: Universidad Católica de Santa María.
- Zotarelli, L., Dukes, Y., & Morgan, T. (2013). Interpretación del Contenido de la Humedad del Suelo para Determinar Capacidad de Campo y Evitar Riego Excesivo en Suelos Arenosos Utilizando Sensores de Humedad. The Institute of Food and Agricultural Sciences (IFAS). <https://edis.ifas.ufl.edu/pdf/FILES/AE/AE49600.pdf>

## Anexos

### Anexo 1. Modelo de Datos de Campo para Determinación Taxonómica

Datos del colector
Nombre del colector
Datos del lugar de la colecta
Región
Provincia
Distrito
Localidad
Fecha de colecta
Número de colecta
Número de duplicados
Dimensiones del árbol
DAP
Altura Total
Altura del fuste
Suelo
Pendiente
Drenaje
Pedregosidad
Clima
Origen
Nativo
Naturalizado
Cultivado
Hábitat
Caracterización
Usos del árbol
Coordenadas geográficas
Altura

**Anexo 2.** Inventario Forestal – Fresno (*Fraxinus americana* L.), Zona 1.

N°	Altura total (m)	Altura fuste (m)	Longitud de arco (m)	DAP (m)	Diámetro de fronda (m)	Hc (m)	Distancia (m)	Área de copa (m <sup>2</sup> )
1	1.50	1.12	0.17	0.05	1.00	0.38	3	0.60
2	3.10	1.78	0.11	0.04	1.85	1.32	3	3.84
3	3.50	1.35	0.13	0.04	1.50	2.15	3	5.07
4	3.20	1.87	0.16	0.05	1.00	1.33	3	2.09
5	2.90	1.45	0.09	0.03	1.50	1.45	3	3.42
6	1.70	1.10	0.09	0.03	1.25	0.60	3	1.18
7	2.80	1.42	0.12	0.04	1.00	1.38	3	2.17
8	2.70	1.15	0.12	0.04	1.10	1.55	3	2.68
9	1.75	0.70	0.09	0.03	1.25	1.05	3	2.06
10	3.00	1.40	0.09	0.03	1.40	1.60	3	3.52
11	1.75	1.20	0.09	0.03	0.90	0.55	3	0.78
12	1.80	1.12	0.12	0.04	0.98	0.68	3	1.04
13	2.95	1.35	0.12	0.04	0.85	1.60	3	2.14
14	3.20	1.60	0.17	0.05	0.94	1.60	3	2.35
15	1.80	0.71	0.3	0.10	0.98	1.09	3	1.67
16	1.90	0.98	0.12	0.04	1.25	0.92	3	1.81
17	2.30	1.40	0.09	0.03	0.99	0.90	3	1.39
18	2.15	1.00	0.1	0.03	1.10	1.15	3	1.99
19	1.85	1.26	0.1	0.03	1.06	0.59	3	0.98
20	1.00	0.35	0.13	0.04	1.30	0.65	3	1.33
21	2.84	1.23	0.10	0.03	1.25	1.61	3	3.17
22	2.05	1.10	0.07	0.02	1.09	0.95	3	1.62
23	2.58	0.95	0.08	0.03	1.21	1.63	3	3.10
24	2.37	0.91	0.08	0.03	1.20	1.46	3	2.75
25	2.12	1.25	0.06	0.02	1.13	0.87	3	1.54
26	2.39	1.35	0.02	0.01	1.01	1.04	3	1.66
27	1.45	1.00	0.15	0.05	0.99	0.45	3	0.70
28	2.32	1.40	0.12	0.04	1.09	0.92	3	1.57
29	2.34	1.32	0.07	0.02	1.11	1.02	3	1.78
30	2.30	0.44	0.07	0.02	1.30	1.86	3	3.80
Promedio	2.32	1.18	0.11	0.03	1.15	1.15	3.00	2.13
Máximo	1.00	0.35	0.02	0.01	0.85	0.38	3	0.78
Mínimo	3.50	1.87	0.30	0.10	1.85	2.15	3	3.80

**Anexo 3.** Inventario Forestal – Fresno (*Fraxinus americana* L.), Zona 2

Nº	Altura total (m)	Altura fuste (m)	Longitud arco (m)	de DAP (m)	Diámetro de fronda (m)	Hc (m)	Distancia (m)	Área de copa (m <sup>2</sup> )
1	4.00	1.50	0.18	0.06	1.00	2.50	3	3.93
2	3.00	1.79	0.10	0.03	0.88	1.21	3	1.66
3	2.80	1.00	0.15	0.05	0.80	1.80	3	2.26
4	3.50	1.69	0.16	0.05	1.48	1.81	3	4.19
5	2.60	1.87	0.16	0.05	0.80	0.73	3	0.92
6	2.40	1.50	0.09	0.03	1.50	0.90	3	2.12
7	3.00	1.00	0.10	0.03	0.85	2.00	3	2.67
8	3.50	1.60	0.15	0.05	0.85	1.90	3	2.54
9	3.80	1.50	0.18	0.06	0.85	2.30	3	3.07
10	2.50	1.60	0.16	0.05	1.85	0.90	3	2.62
11	2.60	1.55	0.15	0.05	1.35	1.05	3	2.27
12	4.18	1.67	0.15	0.05	1.16	2.51	3	4.58
13	2.86	1.61	0.35	0.11	1.27	1.25	3	2.50
14	2.86	1.43	0.24	0.08	1.55	1.43	3	3.49
15	3.00	1.55	0.23	0.07	1.35	1.45	3	3.08
16	3.06	1.50	0.14	0.08	1.22	1.56	3	2.98
17	3.04	1.49	0.20	0.08	1.32	1.55	3	3.20
18	3.08	1.54	0.30	0.11	1.27	1.54	3	3.06
19	3.10	1.68	0.12	0.06	1.35	1.43	3	3.02
20	3.97	1.60	0.23	0.07	1.35	2.37	3	5.03
21	3.18	1.56	0.20	0.08	1.10	1.62	3	2.80
22	3.01	1.25	0.26	0.11	1.18	1.76	3	3.28
23	2.97	1.54	0.25	0.13	1.24	1.43	3	2.79
24	3.01	1.60	0.23	0.13	1.45	1.41	3	3.21
25	2.94	1.20	0.38	0.16	1.20	1.74	3	3.26
26	2.97	1.65	0.39	0.18	1.29	1.32	3	2.66
27	4.03	2.10	0.24	0.08	1.27	1.93	3	3.86
28	3.04	1.60	0.28	0.11	1.39	1.44	3	3.14
29	2.99	1.40	0.30	0.12	1.28	1.59	3	3.18
30	2.91	1.60	0.12	0.05	1.28	1.31	3	2.63
Promedio	3.13	1.54	0.21	0.08	1.22	1.59	3.00	2.99
Máximo	2.40	1.00	0.09	0.03	0.80	0.73	3	0.92
Mínimo	4.18	1.87	0.18	0.06	1.85	2.50	3	4.19

**Anexo 4.** Inventario Forestal – Mimosa (*Acacia saligna* (Labill.) H.L. Wendl), zona 1.

N°	Altura total (m)	Altura fuste (m)	Longitud de arco (m)	DAP (m)	Diámetro de fronda (m)	Hc (m)	Distancia (m)	Área de copa (m <sup>2</sup> )
1	3.30	1.56	0.43	0.14	4.00	1.74	3	10.93
2	3.00	1.50	0.62	0.20	3.60	1.50	3	8.48
3	3.60	1.29	0.62	0.20	3.80	2.31	3	13.79
4	3.70	2.03	0.35	0.11	4.00	1.67	3	10.49
5	2.60	1.80	0.40	0.13	5.00	0.80	3	6.2832
6	4.10	1.34	0.45	0.14	2.58	2.76	3	11.16
7	2.50	1.00	0.48	0.15	2.25	1.50	3	5.30
8	2.95	1.02	0.30	0.10	2.25	1.93	3	6.82
9	3.10	1.23	0.34	0.11	2.25	1.87	3	6.61
10	2.45	0.88	0.50	0.16	3.55	1.57	3	8.75
11	2.30	1.41	0.14	0.04	3.75	0.89	3	5.24
12	2.00	0.50	0.16	0.05	4.50	1.50	3	10.60
13	3.85	1.53	0.58	0.18	3.75	2.32	3	13.67
14	1.97	0.60	0.31	0.10	3.30	1.37	3	7.10
15	3.50	2.20	0.38	0.12	3.35	1.30	3	6.84
16	4.10	1.40	0.50	0.16	3.60	2.70	3	15.27
17	3.80	1.26	0.29	0.09	3.75	2.54	3	14.96
18	3.90	1.50	0.31	0.10	4.00	2.40	3	15.08
19	1.95	0.73	0.15	0.05	2.40	1.22	3	4.59
20	3.10	1.61	0.17	0.05	2.65	1.49	3	6.20
21	2.80	1.44	0.12	0.04	2.60	1.36	3	5.55
22	3.15	1.00	0.73	0.23	3.50	2.15	3	11.82
23	4.10	1.23	0.72	0.23	4.00	2.87	3	18.03
24	3.10	2.00	0.65	0.21	3.90	1.10	3	6.74
25	2.50	0.80	0.42	0.13	3.78	1.70	3	10.09
26	4.60	1.07	0.54	0.17	2.50	3.53	3	13.86
27	4.40	1.00	0.80	0.25	3.50	3.40	3	18.69
28	3.90	1.25	0.41	0.13	3.65	2.65	3	15.19
29	3.05	1.28	0.62	0.20	2.83	1.77	3	7.08
30	5.90	1.25	0.41	0.13	3.73	4.65	3	27.21
Promedio	3.30900	1.29027	0.43000	0.13688	3.41033	2.01873	3.00000	10.74920
Mínimo	1.95	0.50	0.12	0.04	2.25	0.80	3	4.60
Máximo	5.90	2.20	0.80	0.25	5.00	4.65	3	27.21

**Anexo 5.** Inventario Forestal – Mimosa (*Acacia saligna* (Labill.) H.L. Wendl), Zona 2

Nº	Altura total (m)	Altura fuste (m)	Longitud de arco (m)	DAP (m)	Diámetro de fronda (m)	Hc (m)	Distancia (m)	Área de copa (m <sup>2</sup> )
1	3.00	1.60	0.30	0.10	2.90	1.40	3	6.38
2	3.20	1.00	0.20	0.06	2.90	2.20	3	10.02
3	3.10	1.50	0.15	0.05	3.70	1.60	3	9.29
4	2.80	1.25	0.32	0.10	4.00	1.55	3	9.74
5	4.00	2.30	0.23	0.07	4.00	1.70	3	10.68
6	3.70	1.37	0.20	0.06	2.90	2.33	3	10.61
7	3.80	1.90	0.33	0.11	2.90	1.90	3	8.65
8	3.50	1.89	0.25	0.08	2.90	1.61	3	7.33
9	4.00	1.48	0.48	0.15	4.10	2.52	3	16.23
10	3.60	2.10	0.35	0.11	4.15	1.50	3	9.78
11	2.80	1.20	0.20	0.06	3.42	1.60	3	8.59
12	2.50	1.40	0.37	0.12	3.75	1.10	3	6.48
13	1.90	1.10	0.16	0.05	3.60	0.80	3	4.52
14	2.60	1.30	0.25	0.08	2.95	1.30	3	6.02
15	3.30	1.28	0.28	0.09	3.47	2.02	3	10.99
16	3.10	0.98	0.25	0.08	2.65	2.12	3	8.82
17	2.90	1.10	0.30	0.10	3.15	1.80	3	8.91
18	2.80	1.49	0.25	0.08	3.00	1.31	3	6.17
19	2.30	1.45	0.09	0.03	3.12	0.85	3	4.17
20	1.60	1.10	0.09	0.03	3.15	0.50	3	2.47
21	1.70	1.00	0.10	0.03	3.50	0.70	3	3.85
22	2.20	1.05	0.15	0.05	3.40	1.15	3	6.14
23	1.72	1.26	0.14	0.04	3.08	0.46	3	2.21
24	2.48	1.21	0.13	0.04	2.77	1.27	3	5.52
25	2.41	1.65	0.36	0.12	3.44	0.76	3	4.11
26	2.21	1.19	0.35	0.11	3.14	1.02	3	5.05
27	2.10	1.09	0.34	0.11	3.20	1.01	3	5.08
28	2.81	1.35	0.25	0.08	3.36	1.46	3	7.70
29	2.30	1.40	0.25	0.08	3.10	0.90	3	4.38
30	2.97	1.24	0.23	0.07	3.17	1.73	3	8.61
Promedio	2.7799	1.3743	0.2448	0.0779	3.2953	1.4056	3.0000	7.2847
Mínimo	1.60	0.98	0.09	0.03	2.65	0.46	3	2.21
Máximo	4.00	2.30	0.48	0.15	4.15	2.52	3	16.23

**Anexo 6.** Inventario Forestal – Molle Serrano (*Schinus Molle* L.), Zona 1

N°	Altura total (m)	Altura fuste (m)	Longitud de arco (m)	DAP (m)	Diámetro de fronda (m)	Hc (m)	Distancia (m)	Área de copa (m <sup>2</sup> )
1	5.00	2.00	0.64	0.20	2.90	3.00	3	13.67
2	2.80	1.10	0.18	0.06	4.15	1.70	3	11.08
3	7.10	1.80	0.18	0.06	3.50	5.30	3	29.14
4	5.00	1.54	0.46	0.15	2.25	3.46	3	12.23
5	5.20	1.40	0.49	0.16	3.55	3.80	3	21.19
6	6.00	1.40	1.04	0.33	2.45	4.60	3	17.70
7	2.90	1.27	0.24	0.08	3.50	1.63	3	8.96
8	4.70	1.32	0.66	0.21	3.10	3.38	3	16.46
9	3.00	1.30	0.25	0.08	3.50	1.70	3	9.35
10	3.50	1.68	0.22	0.07	3.00	1.82	3	8.58
11	2.50	1.20	0.17	0.05	3.00	1.30	3	6.13
12	2.50	1.27	0.20	0.06	3.15	1.23	3	6.08
13	4.00	1.35	0.48	0.15	2.75	2.65	3	11.45
14	3.00	0.93	0.39	0.12	2.95	2.07	3	9.59
15	3.50	1.82	0.27	0.09	2.70	1.68	3	7.12
16	2.30	1.28	0.19	0.06	2.50	1.02	3	4.01
17	4.50	0.95	0.53	0.17	3.75	3.55	3	20.91
18	3.50	1.21	0.34	0.11	3.25	2.29	3	11.69
19	4.47	1.42	0.41	0.13	3.22	3.04	3	15.40
20	4.43	1.43	0.87	0.28	3.09	3.00	3	14.58
21	3.92	1.38	0.85	0.27	3.06	2.55	3	12.22
22	3.81	1.35	0.87	0.28	3.11	2.46	3	12.01
23	3.57	1.30	1.08	0.34	3.04	2.26	3	10.83
24	3.94	1.35	0.57	0.18	3.07	1.94	3	9.36
25	5.22	1.35	0.43	0.14	2.96	1.87	3	8.71
26	5.20	1.31	0.86	0.27	3.03	1.89	3	9.01
27	4.33	1.31	0.84	0.27	2.98	1.92	3	8.95
28	3.19	1.26	0.32	0.10	2.97	1.93	3	9.00
29	4.30	1.27	1.05	0.33	2.97	2.03	3	9.48
30	3.50	1.21	0.65	0.21	3.25	2.29	3	11.69
Promedio	4.03	1.36	0.52	0.17	3.09	2.45	3	11.58
Mínimo	2.30	0.93	0.17	0.05	2.25	1.02	3	2.21
Máximo	7.10	2.00	1.08	0.34	4.15	5.30	3	29.14

**Anexo 7.** Inventario Forestal – Molle Serrano (*Schinus molle L.*), Zona 2

Nº	Altura total (m)	Altura fuste (m)	Longitud de arco (m)	DAP (m)	Diámetro de fronda (m)	Hc (m)	Distancia (m)	Área de copa (m <sup>2</sup> )
1	2.50	1.50	0.12	0.04	1.60	1.00	3	2.51
2	1.25	0.56	0.11	0.03	3.75	0.69	3	4.06
3	1.39	0.60	0.11	0.03	1.90	0.79	3	2.36
4	2.00	1.08	0.12	0.04	1.10	0.92	3	1.59
5	2.10	1.55	0.12	0.04	1.50	0.55	3	1.29
6	1.65	1.05	0.09	0.03	1.25	0.60	3	1.18
7	1.77	0.74	0.07	0.02	1.50	1.03	3	2.43
8	1.90	0.75	0.07	0.02	3.50	1.15	3	6.32
9	2.10	1.60	0.11	0.03	1.90	0.50	3	1.49
10	1.65	0.98	0.10	0.03	1.85	0.67	3	1.95
11	1.70	0.72	0.08	0.02	1.50	0.98	3	2.31
12	1.67	1.10	0.10	0.03	1.25	0.57	3	1.12
13	3.00	0.75	0.40	0.13	1.55	2.25	3	5.48
14	2.10	0.95	0.15	0.05	3.50	1.15	3	6.32
15	1.50	0.65	0.15	0.05	3.70	0.85	3	4.94
16	2.80	1.57	0.20	0.06	1.90	1.23	3	3.67
17	1.80	0.40	0.03	0.01	2.00	1.40	3	4.39
18	1.20	0.42	0.05	0.02	1.55	0.78	3	1.89
19	2.30	1.00	0.16	0.05	1.65	1.30	3	3.36
20	1.72	1.00	0.06	0.02	1.55	0.72	3	1.75
21	1.83	1.10	0.21	0.07	1.35	0.73	3	1.54
22	1.77	0.99	0.10	0.03	2.05	0.78	3	2.51
23	1.82	1.04	0.10	0.03	1.81	0.78	3	2.21
24	1.86	1.06	0.10	0.03	1.76	0.80	3	2.21
25	1.82	1.06	0.09	0.03	1.78	0.76	3	2.12
26	1.93	0.96	0.13	0.04	1.79	0.97	3	2.72
27	1.09	0.95	0.13	0.04	2.07	0.14	3	0.46
28	1.95	0.94	0.14	0.05	2.34	1.02	3	3.74
29	1.07	1.04	0.16	0.05	2.14	0.03	3	0.10
30	1.83	1.10	0.21	0.07	1.35	0.73	3	1.55
Promedio	1.84	0.97	0.12	0.04	1.95	0.86	3	2.65
Mínimo	1.07	0.40	0.03	0.01	1.10	0.03	3	0.10
Máximo	3.00	1.60	0.40	0.13	3.75	2.25	3	6.32

**Anexo 8.** Inventario Forestal – Jacarandá (*Jacaranda acutifolia* Bonpl.), Zona 1

Nº	Altura total (m)	Altura fuste (m)	Longitud de arco (m)	DAP (m)	Diámetro de fronda (m)	Hc (m)	Distancia (m)	Área de copa (m <sup>2</sup> )
1	1.66	0.70	0.09	0.03	1.90	0.96	3	2.86
2	1.88	0.30	0.11	0.04	0.95	1.58	3	2.35
3	1.87	0.80	0.09	0.03	1.25	1.07	3	2.10
4	1.53	0.80	0.09	0.03	1.73	0.73	3	1.97
5	1.75	1.00	0.64	0.20	2.35	0.75	3	2.76
6	1.80	0.10	0.73	0.23	2.18	1.70	3	5.80
7	1.70	0.70	0.65	0.21	2.05	1.00	3	3.22
8	1.15	0.10	0.30	0.10	2.00	1.05	3	3.29
9	0.60	0.20	0.64	0.30	1.00	0.40	3	0.62
10	1.95	1.40	0.09	0.03	1.65	0.55	3	1.42
11	1.90	1.40	0.06	0.02	1.05	0.50	3	0.82
12	1.50	0.50	0.35	0.11	1.15	1.00	3	1.80
13	2.41	1.50	0.11	0.04	1.95	0.91	3	2.78
14	1.63	0.20	0.05	0.02	2.05	1.43	3	4.60
15	4.36	1.36	0.30	0.12	1.40	3.00	3	6.59
16	2.20	0.20	0.12	0.04	2.05	2.00	3	6.44
17	1.60	1.30	0.13	0.04	2.05	0.30	3	0.96
18	2.30	1.20	0.72	0.23	2.23	1.10	3	3.84
19	1.35	0.60	0.12	0.04	2.88	0.75	3	3.38
20	1.30	0.54	0.10	0.03	2.05	0.76	3	2.44
21	1.69	1.30	0.25	0.08	2.05	0.39	3	1.25
22	1.80	1.40	0.10	0.03	1.80	0.40	3	1.13
23	1.70	0.80	0.00	0.00	1.40	0.90	3	1.97
24	1.69	0.58	0.12	0.04	2.65	1.11	3	4.61
25	1.08	0.48	0.56	0.18	2.58	0.60	3	2.41
26	1.20	0.58	0.06	0.02	2.18	0.62	3	2.10
27	1.35	0.65	0.46	0.15	1.79	0.70	3	1.97
28	1.07	0.72	0.46	0.15	1.48	0.35	3	0.82
29	1.70	1.40	0.20	0.06	2.05	0.30	3	0.96
30	1.65	0.80	0.44	0.14	1.40	0.85	3	1.86
Promedio	1.71	0.78	0.27	0.09	1.84	0.92	3.00	2.64
Mínimo	0.60	0.10	0.00	0.00	0.95	0.30	3	0.63
Máximo	4.36	1.50	0.73	0.30	2.88	3.00	3	6.60

**Anexo 9.** Inventario Forestal – Jacarandá (*Jacaranda acutifolia* Bonpl.), Zona 2.

Nº	Altura total (m)	Altura fuste (m)	Longitud de arco (m)	DAP (m)	Diámetro de fronda (m)	Hc (m)	Distancia (m)	Área de copa (m <sup>2</sup> )
1	2.00	0.90	1.41	0.45	1.40	1.10	3	2.41
2	1.23	1.10	2.04	0.65	1.75	0.13	3	0.35
3	1.80	1.20	2.67	0.85	2.00	0.60	3	1.88
4	1.70	1.30	1.10	0.35	2.65	0.40	3	1.66
5	2.00	1.20	0.89	0.28	1.90	0.80	3	2.38
6	3.40	1.50	0.25	0.08	1.95	1.90	3	5.81
7	1.77	0.90	0.14	0.05	1.75	0.87	3	2.39
8	1.80	1.25	0.16	0.05	1.75	0.55	3	1.51
9	1.85	1.50	0.11	0.04	2.00	0.35	3	1.09
10	1.83	1.00	0.50	0.16	2.05	0.83	3	2.67
11	1.80	1.12	0.40	0.07	1.90	0.68	3	2.02
12	4.28	2.10	0.50	0.16	1.95	2.18	3	6.67
13	3.20	1.20	0.65	0.21	1.75	2.00	3	5.49
14	2.78	1.68	1.70	0.54	1.75	1.10	3	3.02
15	2.85	1.50	2.73	0.87	1.75	1.35	3	3.71
16	2.10	1.10	0.71	0.23	1.90	1.00	3	2.98
17	1.90	1.00	0.30	0.10	2.65	0.90	3	3.74
18	2.90	1.00	0.89	0.28	2.00	1.90	3	5.96
19	2.40	1.80	0.16	0.05	1.90	0.60	3	1.79
20	2.30	1.30	0.14	0.04	1.95	1.00	3	3.06
21	2.00	1.46	0.17	0.06	1.90	0.54		1.61
22	2.31	1.30	0.23	0.07	1.97	1.01	3	3.14
23	3.35	1.34	1.51	0.48	1.95	2.01	3	6.14
24	3.15	1.36	0.99	0.32	1.86	1.79	3	5.24
25	3.18	1.35	0.95	0.30	1.86	1.83	3	5.36
26	3.10	1.30	0.96	0.31	1.93	1.80	3	5.44
27	3.25	1.31	0.95	0.30	1.95	1.94	3	5.93
28	3.54	1.36	0.96	0.31	1.96	2.18	3	6.71
29	3.50	1.30	0.98	0.31	1.95	2.20	3	6.74
30	2.35	1.46	0.98	0.31	1.90	0.89	3	2.66
Promedio	2.52	1.31	0.87	0.28	1.93	1.21	3	3.66
Mínimo	1.23	0.90	0.11	0.04	1.40	0.13	3	0.36
Máximo	4.28	2.10	2.73	0.87	2.65	2.20	3	6.74

**Anexo 10. Informe Meteorológico**

Estación MAP La Pampilla			
Parámetro	Unidad	Valores promedio	
Precipitación total mensual	mm	0.00	0.00
Humedad Relativa Media Mensual	%	58.00	47.00
Temperatura Máxima Media Mensual	°C	24.90	5.10
Temperatura Mínima Media Mensual	°C	9.10	8.10
Viento: Velocidad Media Mensual	m/s	4.60	4.50
Viento: Dirección Media Mensual		SW	SW

Estación CO Huasacache			
Parámetro	Unidad	Valores promedio	
Precipitación total mensual	mm	0.00	0.00
Humedad Relativa Media Mensual	%	47.00	40.00
Temperatura Máxima Media Mensual	°C	24.30	24.00
Temperatura Mínima Media Mensual	°C	8.50	7.80
Viento: Velocidad Media Mensual	m/s	3.60	4.00
Viento: Dirección Media Mensual		E	E

Anexo 11. Análisis de Agua



PERÚ Ministerio de Agricultura y Riego



"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"

"Año de la lucha contra la corrupción y la impunidad"

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, AGUAS Y SEMILLAS  
ESTACION EXPERIMENTAL AGRARIA AREQUIPA - INIA

NOMBRE O RAZON SOCIAL DEL SOLICITANTE	CARMEN TRINIDAD MORALES PINO
PROCEDENCIA	ALTO SELVA ALEGRE
MUESTRA	AGUA: Pozo

CÓDIGO DE LABORATORIO	FECHA DE INGRESO	PROCEDENCIA DE LA MUESTRA	LOTE	TIPO DE ANALISIS	Nº DE INFORME
8605	17/07/2019	Alto Selva Alegre	1	COMPLETO	8602

ANÁLISIS QUÍMICO

ELEMENTO	CATIONES		GRADO DE RESTRICCIÓN			
	EQUIVALENCIA	VALOR	NINGUNO	BAJO	ALTO	SEVERO
Sodio (Na)	meq/l	1.304	██████████			
Potasio (K)	meq/l	0.410	██████████			
Magnesio (Mg)	meq/l	0.867	██████████			
Calcio (Ca)	meq/l	2.000	██████████			
SUMATORIA		4.581				

ELEMENTO	ANIONES		GRADO DE RESTRICCIÓN			
	EQUIVALENCIA	VALOR	NINGUNO	BAJO	ALTO	SEVERO
Cloruros (Cl)	meq/l	1.083	██████████			
Sulfatos (SO4)	meq/l	0.416	██████████			
carbonatos (CO3)	meq/l	0.000	██████████			
Bicarbonatos (HCO3)	meq/l	1.067	██████████			
SUMATORIA		2.566				

C.E	EQUIVALENCIA	VALOR	GRADO DE RESTRICCIÓN			
			NO SALINO	BAJO	ALTO	SEVERO
	dS/m	0.22	██████████			
			ACIDO	NEUTRO		ALCALINO
pH		7.52	██████████			

SAR		1.09				
PSI		28.47				
	CLASE	C1-S1				
BORO (B)	ppm					
DUREZA TOTAL ppm CaCO3						
VALOR	MUY BLANDA	BLANDA	SEMIBLANDA	SEMIDURA	DURA	MUY DURA
126.67	██████████	██████████				

Según la clasificación de Riverside es un agua de clase C1-S1, agua de baja salinidad, adecuado para el riego de cultivos, sin embargo puede existir problemas en suelos de baja permeabilidad, agua con bajo contenido de sodio sin riesgo. (Dureza de agua: Blanda)

MINISTERIO DE AGRICULTURA  
INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACIÓN AGRARIA  
INIA  
DIRECCIÓN DE AGUAS Y SUELOS  
EE. AREQUIPA - 2014

INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACIÓN AGRARIA  
ING. MARCELO HERNÁNDEZ MORALES  
DIRECTOR  
EE. AREQUIPA

Calle Saco Olivares 402 Cerro Juli  
José Luis Bustamante y Rivero - Arequipa  
T: (054) 421338  
www.inia.gob.pe  
www.minagri.gob.pe

**Anexo 12.** Análisis de Desviación Estándar en Mediciones de Asimilación de Dióxido de Carbono por Zona de Muestreo.

Fresno ( <i>Fraxinus americana</i> L.) Zona 1				
Hora	Promedio de asimilación de CO <sub>2</sub> (μmol.m <sup>-2</sup> . s <sup>-1</sup> )	Desviación estándar	Límite inferior	Límite superior
8:00	6.68	2.41	1.95	11.41
10:00	7.89	6.10	-4.07	19.84
12:00	3.07	1.40	0.32	5.82
14:00	1.92	0.92	0.11	3.73
16:00	3.82	2.55	-1.17	8.81

Fresno ( <i>Fraxinus americana</i> L.) Zona 2				
Hora	Promedio de asimilación de CO <sub>2</sub> (μmol.m <sup>-2</sup> . s <sup>-1</sup> )	Desviación estándar	Límite inferior	Límite superior
8:00	6.39	4.04	-1.53	14.30
10:00	2.88	2.84	-2.68	8.45
12:00	3.79	1.61	0.64	6.94
14:00	2.59	1.10	0.43	4.75
16:00	3.98	2.50	-0.92	8.88

Mimosa ( <i>Acacia saligna</i> (Labill.) H.L. Wendl) Zona 1				
Hora	Promedio de asimilación de CO <sub>2</sub> (μmol.m <sup>-2</sup> . s <sup>-1</sup> )	Desviación estándar	Límite inferior	Límite superior
8:00	3.19	1.41	0.43	5.95
10:00	1.86	0.75	0.40	3.32
12:00	3.22	1.34	0.60	5.85
14:00	2.43	1.07	0.33	4.54
16:00	4.00	3.59	-3.03	11.03

Mimosa (*Acacia saligna* (Labill.) H.L. Wendl) Zona 2

Hora	Promedio de asimilación de CO <sub>2</sub> (μmol.m <sup>-2</sup> . s <sup>-1</sup> )	de Desviación estándar	Límite inferior	Límite superior
8:00	6.05	3.02	0.14	11.96
10:00	2.32	1.07	0.22	4.42
12:00	2.99	1.42	0.20	5.78
14:00	1.37	0.33	0.72	2.01
16:00	4.34	1.93	0.55	8.13

Molle serrano (*Schinus molle* L.) Zona 1

Hora	Promedio de asimilación de CO <sub>2</sub> (μmol.m <sup>-2</sup> . s <sup>-1</sup> )	de Desviación estándar	Límite inferior	Límite superior
8:00	8.31	4.21	0.05	16.58
10:00	3.03	0.99	1.10	4.97
12:00	5.14	2.81	-0.36	10.64
14:00	4.22	1.67	0.95	7.50
16:00	3.66	1.68	0.37	6.95

Molle serrano (*Schinus molle* L.) Zona 2

Hora	Promedio de asimilación de CO <sub>2</sub> (μmol.m <sup>-2</sup> . s <sup>-1</sup> )	de Desviación estándar	Límite inferior	Límite superior
8:00	3.80	2.69	-1.47	9.08
10:00	0.69	1.01	-1.28	2.66
12:00	2.85	1.36	0.19	5.51
14:00	1.95	1.00	-0.02	3.91
16:00	2.27	1.00	0.31	4.24

---

Jacaranda (*Jacaranda acutifolia* Bonpl.) Zona 1

---

Hora	Promedio de asimilación de CO <sub>2</sub> (μmol.m <sup>-2</sup> . s <sup>-1</sup> )	Desviación estándar	Límite inferior	Límite superior
8:00	5.11	3.99	-2.72	12.94
10:00	3.99	2.89	-1.68	9.66
12:00	5.72	4.25	-2.61	14.05
14:00	3.13	1.52	0.14	6.12
16:00	7.96	5.28	-2.38	18.30

---

Jacaranda (*Jacaranda acutifolia* Bonpl.) Zona 2

---

Hora	Promedio de asimilación de CO <sub>2</sub> (μmol.m <sup>-2</sup> . s <sup>-1</sup> )	Desviación estándar	Límite inferior	Límite superior
8:00	2.30	0.81	0.71	3.88
10:00	1.53	0.12	1.29	1.76
12:00	0.77	0.43	-0.07	1.62
14:00	3.16	1.36	0.49	5.83
16:00	0.83	0.46	-0.08	1.73

**Anexo 13.** Incidencia Solar con Respecto al Horario de Muestreo.

Hora	Incidencia Solar ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )								
	Fresno ( <i>Fraxinus americana</i> L.)		Mimosa ( <i>Acacia saligna</i> (Labill.) H.L. Wendl)		Molle Serrano ( <i>Schinus molle</i> L.)		Jacarandá ( <i>Jacaranda acutifolia</i> Bonpl.)		
	Zona 1	Zona 2	Zona 1	Zona 2	Zona 1	Zona 2	Zona 1	Zona 2	
8:00	Mínimo	1298,94806	1198,66677	1298,03387	1199,55323	1299,30548	1299,91871	1298,99387	1195,7971
	Máximo	1300,38065	1273,99197	1300,00903	1200,06355	1359,00968	1300,80903	1358,87082	1200,11129
	Promedio	1299,73622	1229,30794	1299,77603	1199,90811	1327,70083	1300,36327	1327,51945	1198,95658
10:00	Mínimo	1699,76226	1599,18484	1699,99419	1528,30139	1597,73323	1599,18903	1697,94323	1698,17194
	Máximo	1802,3129	1700,07548	1800,45677	1599,99806	1799,65355	1706,7671	1800,28903	1699,72581
	Promedio	1752,11838	1635,01024	1757,50015	1557,33503	1659,17251	1646,13342	1752,26858	1699,07729
12:00	Mínimo	1799,76226	1799,76774	1799,93677	1600,04097	1799,82129	1799,83323	1799,53387	1798,92419
	Máximo	1800,138	1800,16226	1800,23871	1800,03161	1800,39	1800,52226	1800,22548	1799,78968
	Promedio	1799,9765	1799,94596	1800,10447	1778,63475	1800,09541	1800,02941	1800,03066	1799,2552
14:00	Mínimo	1399,57097	1497,92032	1400,00935	1499,87806	1499,97452	1499,91355	1396,43097	1499,10323
	Máximo	1502,36677	1501,0629	1500,14516	1500,08548	1500,39581	1500,46065	1502,06968	1499,82774
	Promedio	1445,26514	1499,98132	1452,437	1500,01309	1500,22249	1500,30388	1433,7334	1499,69691
16:00	Mínimo	799,963355	699,988484	799,917032	899,319452	799,93771	699,957097	798,504097	699,714421
	Máximo	800,448	900,101677	800,084871	900,196613	800,287903	900,185968	800,362355	899,971387
	Promedio	800,083871	850,1925	800,027673	899,972126	800,125123	826,199703	799,682425	839,957678

**Anexo 14.** Análisis de Varianza de un Factor (ANOVA) para Datos de Asimilación de CO<sub>2</sub> en Zona 1 y 2 de las 04 especies evaluadas.

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Fresno 1	5	23.37740656	4.675481312	6.300918297
Fresno 2	5	19.63733132	3.927466265	2.239238666
Mimosa 1	5	14.70088828	2.940177655	0.673747432
Mimosa 2	5	17.07088054	3.414176109	3.34656855
Molle 1	5	24.37313105	4.874626211	4.29972904
Molle 2	5	11.56214205	2.312428411	1.320939743
Jacaranda 1	5	25.90719186	5.181438371	3.413529137
Jacaranda 2	5	8.581640863	1.716328173	1.032749726

ANÁLISIS DE  
VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	55.2907089	4	7.898672706	2.793	0.022	2.31274118
Dentro de los grupos	90.5096823	32	2.828427574			7
Total	145.800391	39				

**Anexo 15.** Análisis de Especificidad de Tukey para Datos de Asimilación de CO<sub>2</sub> en Zona 1 y 2 de las 04 especies evaluadas.

PRUEBA DE TUKEY

Diferencia honestamente significativa

Multiplicador

Cuadrado del error medio

Tamaño de muestra de los grupos

HSD 3.40  
 Q alfa de Tukey 4.52  
 Mse 2.828427574  
 n 5

Promedios		Fresno 1	Fresno 2	Mimosa 1	Mimosa 2	Molle 1	Molle 2	Jacaranda 1	Jacaranda 2
		4.675481312	3.927466265	2.940177655	3.414176109	4.874626211	2.31242841	5.18143837	1.71632817
Fresno 1	4.675481312		0.748015047	1.735303657	1.261305203	-0.199144899	2.3630529	-0.50595706	2.95915314
Fresno 2	3.927466265	-0.748015047	0	0.987288609	0.513290156	-0.947159946	1.61503785	-1.25397211	2.21113809
Mimosa 1	2.940177655	-1.735303657	-0.987288609	0	-0.473998453	-1.934448555	0.62774924	-2.24126072	1.22384948
Mimosa 2	3.414176109	-1.261305203	-0.513290156	0.473998453	0	-1.460450102	1.1017477	-1.76726226	1.69784794
Molle 1	4.874626211	0.199144899	0.947159946	1.934448555	1.460450102	0	2.5621978	-0.30681216	3.15829804
Molle 2	2.312428411	-2.363052901	-1.615037854	-0.627749245	-1.101747698	-2.5621978	0	-2.86900996	0.59610024
Jacaranda 1	5.181438371	0.50595706	1.253972107	2.241260716	1.767262263	0.306812161	2.86900996	0	3.4651102
Jacaranda 2	1.716328173	-2.959153139	-2.211138092	-1.223849483	-1.697847936	-3.158298038	-0.59610024	-3.4651102	0


**Anexo 16.** Caudales de riego registrados en zonas de muestreo.


Zona	Tipo riego	de Volumen (ml)	Tiempo (s)	Caudal (ml/s)	Conversión (ml/s a L/hora)	Promedio L/h
					3.60	
Fresno	Goteo	29.5735	23.18	0.78	2.82	3.15
	Goteo		24.90	0.84	3.03	
	Goteo		30.92	1.05	3.76	
	Goteo		24.43	0.83	2.97	
Mimosa	Goteo	29.5735	22.56	0.76	2.75	3.03
	Goteo		24.36	0.82	2.97	
	Goteo		26.76	0.90	3.26	
	Goteo		25.84	0.87	3.15	
Jacaranda	Goteo	29.5735	20.20	0.68	2.46	2.91
	Goteo		31.10	1.05	3.79	
	Goteo		21.49	0.73	2.62	
	Goteo		22.71	0.77	2.76	
Molle Serrano	Goteo	29.5735	45.15	1.53	5.50	3.11
	Goteo		22.50	0.76	2.74	
	Goteo		7.50	0.25	0.91	
	Goteo		27.12	0.92	3.30	
Promedio general						3.05

**Anexo 17.** Encuesta realizada a encargados de mantenimiento del Bosque del Colegio Militar Francisco Bolognesi.

**CUESTIONARIO PARA RECOLECCIÓN DE DATOS DE CAMPO**

1. ¿En qué año se creó el bosque?  
2006
2. ¿Cuál era el uso del suelo antes de convertirlo en bosque?  
Escobrería, ceno, descampado
3. ¿En qué año donaron los árboles?  
2006
4. ¿Qué instituciones donaron los árboles?  
Gobierno Regional
5. ¿Qué institución implementó el sistema de riego?  
GR
6. ¿De dónde obtienen el agua?  
Del canal del río Chili, y se sedimenta en las piscinas de almacenamiento y sedimentación
7. ¿Cada cuánto tiempo riegan los árboles?  
Diario, 3 especies por día, llaves sectorizadas, 3h por sector desde las 3 am hasta las 3 pm
8. ¿Con qué tipo de abono y cada cuánto tiempo nutren el terreno?  
Abono 20-20, estanque, delvudo en el estanque
9. ¿Quiénes apoyan en el cuidado del bosque?  
Solamente 2 personas

  
Nombre: Carmen Pallo  
DNI : 43155085

  
Nombre: Horacio Huaringa  
DNI : 29489375

**Anexo 18.** Resultados de análisis de caracterización de suelos (INIA).

Especie	N° de muestra	zona	Profundidad (cm)	ANÁLISIS FÍSICO								ANÁLISIS QUÍMICO								CAPACIDAD DE INTERCAMBIO GASEOSO (meq/100g de suelo)							
				Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Textura	Porosidad (%)	Capacidad de campo (%)	Agua disponible (%)	Punto de marchitez permanente (%)	Materia Orgánica (%)	Nitrógeno total (%)	Fósforo (ppm)	Potasio (ppm)	CO3Ca (%)	Conductividad Eléctrica (dS/m)	PH	Boro (mg/Kg)	Ca	Mg	Na	K	CIC	Suma de bases	PSI	Interpretación CIC
Fresno	1	1	0-30	78.4	18.6	3	Arena Franca	37	8.5	6.2	2.3	0.29	0.01	13.55	162.47	0.3	0.06	7.86	0	0.8	0.8	0.061	0.308	1.969	1.969	3.098	Muy Bajo
	2		30-60	86.4	10.6	3.03	Arena Franca	37	8.5	6.2	2.3	0.29	0.01	7.42	137.49	0.3	0.1	7.54	0	0.56	0.4	0.061	0.231	1.252	1.252	4.872	Muy Bajo
	3	2	0-30	72.4	23.6	4	Franco Arenoso	38	11.3	7.9	3.4	0.35	0.02	10.92	99.99	0.2	0.54	7.49	0	3.2	0.56	0.13	0.169	4.059	4.059	3.203	Muy Bajo
	4		30-60	81.6	14.4	4	Arena Franca	37	8.5	6.2	2.3	0.18	0.01	3.93	99.99	0	0.06	7.84	0	0.8	0.8	0.156	0.179	1.935	1.935	8.062	Muy Bajo
Mimosa	5	1	0-30	76.4	18.6	5	Arena Franca	37	8.5	6.2	2.3	0.8	0.04	8.73	374.97	0.3	0.48	7.14	0	0.56	0.4	0.061	0.487	1.508	1.508	4.045	Muy Bajo
	6		30-60	84.4	11.6	4	Arena Franca	37	8.5	6.2	2.3	0.44	0.02	4.8	199.98	0	1.06	7.15	0	1.6	0.8	0.061	0.308	2.769	0.769	2.203	Muy Bajo
	7	2	0-30	54.4	39.6	6	Franco Arenoso	38	11.3	7.9	3.4	0.62	0.03	10.92	274.98	0	0.1	7.45	0	0.8	0.8	0.043	0.487	2.13	2.13	2.019	Muy Bajo
	8		30-60	76.4	18.6	5	Franco Arenoso	38	11.3	7.9	3.4	0.29	0.01	6.29	187.49	0	0.36	7.32	0	0.8	0.8	0.043	0.308	1.951	1.951	2.204	Muy Bajo
Molle Serrano	9	1	0-30	75.6	20.8	3.6	Franco Arenoso	38	11.3	7.9	3.4	1.51	0.08	15.72	349.97	0	0.13	7.1	0	0.4	0.4	0.061	0.692	1.553	1.553	3.928	Muy Bajo
	10		30-60	84.6	10.8	4.6	Arena Franca	37	8.5	6.2	2.3	0.62	0.03	6.11	169.99	0	0.39	7.23	0	0.4	0.4	0.087	0.282	1.169	1.169	7.442	Muy Bajo
	11	2	0-30	65.6	26.8	7.6	Franco Arenoso	38	11.3	7.9	3.4	0.62	0.03	10.04	337.47	0	1.15	7.01	0	3.2	0.96	0.061	0.631	4.852	4.852	1.257	Muy Bajo
	12		30-60	59.6	34.8	5.6	Franco Arenoso	38	11.3	7.9	3.4	0.29	0.01	7.42	487.46	0	1.62	6.99	0	3.6	1.2	0.3	0.897	5.827	5.827	2.231	Muy Bajo
Jacarandá	13	1	0-30	80.6	13.8	5.6	Arena Franca	37	8.5	6.2	2.3	0.8	0.04	5.23	149.99	0	0.04	7.7	0	0.4	0.4	0.061	0.308	1.169	1.169	5.218	Muy Bajo
	14		30-60	87.6	8.8	3.6	Arena Franca	37	8.5	6.2	2.3	0.44	0.02	4.8	112.49	0	0.04	7.6	0	0.4	0.4	0.061	0.205	1.066	1.066	5.722	Muy Bajo
	15	2	0-30	81.6	12.8	5.6	Arena Franca	37	8.5	6.2	2.3	1.33	0.07	20.52	249.98	0	0.16	7.01	0	0.8	0.8	0.043	0.436	2.079	2.079	2.68	Muy Bajo
	16		30-60	87.6	8.8	3.6	Arena Franca	37	8.5	6.2	2.3	0.44	0.02	7.42	149.99	0	0.04	7.34	0	0.8	0.4	0.043	0.272	1.515	1.515	2.838	Muy Bajo

**Anexo 19.** Constancia de determinación taxonómica de herbario HUSA.



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN**  
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE BIOLOGÍA  
**HERBARIUM AREQVIPENSE (HUSA)**



**CONSTANCIA Nº 037-2019-HUSA**

El Director del *Herbarium Arequipense* (HUSA) de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.

HACE CONSTAR:

Que la muestra fresca del espécimen presentada por Carmen Trinidad Morales Pino bachiller de la escuela de Ingeniería Ambiental de la Universidad Católica de Santa María, para la ejecución de su Tesis "Estimación del servicio de regulación, de especies forestales del parque ecológico del Colegio Militar Francisco Bolognesi, Alto Selva Alegre-Arequipa". Las 4 muestras fueron traídas al Laboratorio de Botánica al estado fenológico fresco, para su determinación en el *Herbarium Arequipense* (HUSA) y corresponde a la siguiente clasificación y especie.

1. *Schinus molle* L.
2. *Fraxinus americana* L.
3. *Jacaranda acutifolia* Bonpl.
4. *Acacia saligna* (Labill.) H.L.Wendl

Se expide la presente a solicitud del interesado para los fines que se estimen convenientes.

Arequipa, 25 de abril del 2019.

  
Bigo. Leoncio Mariño Herrera  
DIRECTOR  
*Herbarium Arequipense* (HUSA)



Avenida Daniel Alcides Carrión s/n cercado  
Teléfono: (054) 237755 / 993659045  
Apartado Postal: 0028  
AREQUIPA - PERÚ