

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**TESIS**

**“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPTURA DE DIÓXIDO DE  
CARBONO CO<sub>2</sub> EN LAS ÁREAS VERDES DE LA URBANIZACIÓN  
PARA CHICO Y SECTOR VALLE VIEJO, TACNA, 2021”**

**PARA OPTAR:**

**TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. PIERINA RABANAL ZEGARRA**

**TACNA – PERÚ**

**2022**

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**TESIS**

**“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CAPTURA DE DIÓXIDO DE  
CARBONO CO<sub>2</sub> EN LAS ÁREAS VERDES DE LA URBANIZACIÓN PARA  
CHICO Y SECTOR VALLE VIEJO, TACNA, 2021”**

Tesis sustentada y aprobada el 28 de octubre de 2022; estando el jurado calificador integrado por:

**PRESIDENTE : Dr. GERMÁN MAMANI AGUILAR**

**SECRETARIO : Mtro. RICARDO WILLIAM NAVARRO AYALA**

**VOCAL : Msc. MARISOL MENDOZA AQUINO**

**ASESOR : Dr. RICHARD SABINO LAZO RAMOS**

## DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo, Pierina Rabanal Zegarra, en calidad de bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificada con DNI 72692179

Declaro bajo juramento que:

1. Soy autor (a) de la tesis titulada: "Evaluación comparativa de la captura de Dióxido de Carbono CO<sub>2</sub> en las Áreas Verdes de la Urbanización Para Chico y Sector Valle Viejo Tacna, 2021" la misma que presento para optar el:  
Título Profesional de Ingeniero Ambiental
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, habiéndose respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.
4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico o título profesional.
5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo frente a La Universidad cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis/trabajo de investigación, así como por los derechos sobre la obra.

En consecuencia, me hago responsable, frente a La Universidad y a terceros, de cualquier daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar como causa del trabajo presentado, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontrasen causa en el contenido de la tesis.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que la obra haya sido publicada anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Tacna, 22 de noviembre de 2022



---

Pierina Rabanal Zegarra

DNI: 72692179

## **DEDICATORIA**

A Dios, por permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mi madre, por apoyarme en todo momento, ser mi motivación y reflejo de superación, pues sin ella no lo habría logrado. A mis abuelos por el cariño, apoyo incondicional y consejos. A mi Papa Américo quien me guía desde el cielo y estuvo pendiente de cada paso que daba al igual que mis tíos, especialmente Patty y Edgar quienes estuvieron conmigo hasta el último día.

Pierina Rabanal Zegarra

## **AGRADECIMIENTO**

A mi familia por el apoyo incondicional en cada etapa de mi vida.

A mis maestros de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental quienes compartieron sus conocimientos y experiencias desde el inicio en la Universidad y dieron soporte para realizar mi tesis.

Al Sr Juan Antonio, por la paciencia y aporte durante la etapa de desarrollo.

A mis amigos quienes me apoyaron moralmente en todo momento y en la ejecución en campo al igual que mis tíos.

Pierina Rabanal Zegarra

## ÍNDICE GENERAL

PÁGINA DE JURADOS .....	ii
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE DE TABLAS .....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE ANEXOS.....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	3
1.1 Descripción del problema .....	3
1.2 Formulación del problema .....	5
1.2.1 Problema general .....	5
1.2.2 Problemas específicos .....	5
1.3 Justificación e Importancia de la Investigación .....	5
1.3.1 Justificación social.....	5
1.3.2 Justificación económica.....	6
1.3.3 Justificación ambiental .....	6
1.4 Objetivos .....	6
1.4.1 Objetivo general .....	6
1.4.2 Objetivos específicos.....	6
1.5 Hipótesis.....	7
1.5.1 Hipótesis general.....	7
1.5.2 Hipótesis específicas.....	7
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....	8
2.1 Antecedentes del estudio .....	8
2.1.1 Antecedentes nivel internacional .....	8
2.1.2 Antecedentes nivel nacional.....	9
2.1.3 Antecedentes nivel local.....	10
2.2 Bases teóricas.....	12
2.2.1 Servicios ambientales.....	12
2.2.2 La vegetación como sumidero de carbono .....	13
2.2.3 Secuestro de carbono .....	14

2.2.4	El secuestro del carbono por los “bosques urbanos” .....	15
2.2.5	Secuestro de carbono en sabanas semiáridas y bosques secos.....	17
2.2.6	Secuestro de carbono en campos agrícolas.....	18
2.2.7	Las áreas verdes y la salud humana .....	19
2.2.8	Métodos alométricos para determinar la biomasa .....	20
2.3	Definición de términos .....	21
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO .....		23
3.1	Tipo y Nivel de la investigación.....	23
3.2	Población y/o muestra de estudio .....	23
3.3	Operacionalización de variables .....	23
3.4	Técnicas e instrumentos para la recolección de datos.....	25
3.4.1	Acciones y actividades .....	25
3.4.2	Inventario de la vegetación arbórea e identificación de las especies forestales.....	26
3.4.3	Determinación de la biomasa aérea forestal por especie a partir de las relaciones alométricas.....	26
3.4.4	Determinación de la captura de CO <sub>2</sub> por especie forestal.....	27
3.4.5	Materiales y/o instrumentos.....	27
3.5	Procesamiento y análisis de datos.....	28
CAPÍTULO IV. RESULTADOS .....		29
4.1	Captura de CO <sub>2</sub> de las muestras urbano y rural.....	29
4.2	Diferencia de la captura de dióxido de carbono CO <sub>2</sub> , por los arbustos.....	31
4.2.1	Prueba de hipótesis de normalidad para los datos de las de muestras de captura de CO <sub>2</sub> por arbustos .....	32
4.2.2	Prueba de comparación de muestras de captura de CO <sub>2</sub> por arbustos.....	33
4.3	Diferencia de la captura de dióxido de carbono CO <sub>2</sub> , por los árboles.....	34
4.3.1	Prueba de normalidad para los datos de muestras de captura de CO <sub>2</sub> por arboles.....	35
4.3.2	Prueba de comparación de muestras de captura de CO <sub>2</sub> por árbol .....	36
CAPÍTULO V. DISCUSIÓN.....		37
CONCLUSIONES .....		41
RECOMENDACIONES.....		42
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		43
ANEXOS.....		53

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1. Operacionalización de variables en estudio .....	24
Tabla 2. Datos de captura de CO <sub>2</sub> por especie según área verde.....	29
Tabla 3. Resumen de cálculos de captura de CO <sub>2</sub> .....	30
Tabla 4. Resumen de análisis de normalidad para muestras de arbustos.....	32
Tabla 5. Resumen del análisis de comparación de muestras de arbustos .....	33
Tabla 6. Resumen de análisis de normalidad para muestras de arboles .....	35
Tabla 7. Resumen del análisis de comparación de muestras de arbustos .....	36



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Procedimientos a desarrollar en la investigación .....	25
Figura 2. Suma total y promedio de CO <sub>2</sub> en relación a las especies de las áreas verdes .....	30
Figura 3. Comparación de captura de CO <sub>2</sub> de arbustos de áreas verdes urbano y rural .....	31
Figura 4. Comparación de captura de CO <sub>2</sub> de árboles de áreas verdes urbano y rural .....	34

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia .....	54
Anexo 2. Áreas en estudio .....	55
Anexo 3. Registro de carbono capturado según árboles y arbustos de las unidades de estudio .....	57
Anexo 4. Relación entre el Diámetro vs Captura de CO <sub>2</sub> .....	67
Anexo 5. Relación entre el Altura de especie vs Captura de CO <sub>2</sub> .....	68
Anexo 6. Medición de especies representativas del área verde urbana Plaza la bandera .....	69
Anexo 7. Mediciones de especies representativas del área verde rural “Fundo Fortaleza” .....	70
Anexo 8. Procedimiento para la determinar la altura total de un árbol y/o arbusto..	72

## RESUMEN

El objetivo general del presente estudio fue evaluar la diferencia en la captura de dióxido de carbono CO<sub>2</sub> entre el área verde de la zona urbana del sector Para Chico y área verde rural del sector Valle Viejo de la ciudad de Tacna en el año 2021 para determinar las probables diferencias en el comportamiento de la captura del CO<sub>2</sub> en función del tipo de áreas verdes. El material de estudio fueron áreas verdes de zona urbana y rural. La población fueron las especies forestales entre árboles y arbustos. Para el cálculo de la cantidad de CO<sub>2</sub> se empleó el método indirecto no destructivo de Brown (1989). Para la comprobación de las hipótesis propuestas, previamente se evaluó la normalidad de los datos obtenidos y luego se aplicó la prueba no paramétrica de Mann-Whitney al 5 % del nivel de significancia. Se determinó que existen diferencias significativas (p valor <0,05) entre la capacidad de captura de carbono entre arbustos del área urbana (286,31 kg/año) y área rural (170,26 kg/año), además existen diferencias significativas (p valor <0,05) entre la capacidad de captura de carbono entre arboles del área urbana (2350,62 kg/año) y área rural (257,48 kg/año) siendo el área verde urbana con la mayor capacidad de captura de CO<sub>2</sub>.

**Palabras clave:** árboles, arbustos, áreas verdes, captura de CO<sub>2</sub>.

## ABSTRACT

The general objective of the present study was to evaluate the difference in the capture of carbon dioxide CO<sub>2</sub> between the green area of the urban area of the Para Chico sector and the rural green area of the Valle Viejo sector of the city of Tacna in the year 2021 to determine the probable differences in the behavior of CO<sub>2</sub> capture depending on the type of green areas. The study material was green areas in urban and rural areas. The population was forest species between trees and shrubs. To calculate the amount of CO<sub>2</sub>, the non-destructive indirect method of Brown (1989) was used. To test the proposed hypotheses, the normality of the data obtained was previously evaluated and then the non-parametric Mann-Whitney test was applied at the 5% level of significance. It was determined that there are significant differences (p value <0,05) between the carbon sequestration capacity between shrubs in the urban area (286,31 kg/year) and rural area (170,26 kg/year), in addition there are significant differences (p value <0.05) between the carbon capture capacity between trees in the urban area (2350,62 kg/year) and rural area (257,48 kg/year) being the urban green area with the highest capture capacity of CO<sub>2</sub>.

**Keywords:** CO<sub>2</sub> capture, green areas, trees, shrubs.

## INTRODUCCIÓN

Más de la mitad de la población mundial vive en áreas urbanas. Esto significa que los esfuerzos para cumplir con los objetivos de desarrollo y sostener el crecimiento económico debe concentrarse en las ciudades. Sin embargo, la búsqueda de un desarrollo urbano más próspero, inclusivo y sostenible se ve complicada por el cambio climático, que multiplica los riesgos ambientales existentes, socava la eficacia de la infraestructura existente y crea nuevas limitaciones de recursos (Gouldson et al., 2018).

El rápido crecimiento económico ha contribuido a la creciente demanda de energía actual. Una consecuencia obvia de esto es un aumento en el uso de combustibles, particularmente los combustibles fósiles convencionales (es decir, carbón, petróleo y gas natural) que se han convertido en fuentes de energía clave desde la revolución industrial. Sin embargo, el uso abundante de combustibles fósiles se ha convertido en un motivo de preocupación debido a sus efectos adversos sobre el medio ambiente, particularmente relacionados con la emisión de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), un importante gas antropógeno de efecto invernadero (GEI) (Leung et al., 2014).

Según la Base de datos de emisiones para la investigación atmosférica global (Comission European, 2011), la emisión global de CO<sub>2</sub> fue de 33,4 mil millones de toneladas en 2011, un 48% más que hace dos décadas. La CCS (captura y secuestro de carbono) en el sector energético se considera una tecnología puente para la mitigación de CO<sub>2</sub>, debido al impacto ambiental cada vez mayor de los gases de efecto invernadero emitidos por los antropogénicos.

Las vías que relacionan los beneficios para la salud con la reducción de la contaminación por la vegetación urbana siguen sin estar claras y el modo de implementación de la infraestructura verde es fundamental para evitar consecuencias no deseadas. El despliegue estratégico de infraestructura verde puede reducir la exposición a la contaminación a favor del viento. Sin embargo, el desarrollo de pautas de diseño a medida es vital para promover y optimizar los beneficios ecológicos, y medir los beneficios socioeconómicos y de salud de la infraestructura verde es clave para su aceptación. La ecologización de las ciudades para mitigar los efectos de la contaminación va en aumento y deben ir acompañadas de pruebas científicas y

directrices adecuadas. La vegetación urbana puede facilitar amplios beneficios para la salud (Kumar & Nair, 2011).

Después de llevar a cabo un análisis de las muestras en estudio, se desarrolló en base a 5 capítulos que contemplan lo siguiente:

En el capítulo I se alcanza la descripción de la identificación del problema, formulación del problema, justificación e importancia de la investigación, objetivos e hipótesis.

El capítulo II está compuesto por los antecedentes y bases teóricas.

El capítulo III se ha establecido la metodología aplicada, así como las muestras en estudio, las técnicas e instrumentos para recopilar los datos necesarios y el proceso estadístico de los mismos.

En el capítulo IV, se llevan a cabo los resultados de investigación, se muestra el diagnóstico comparativo de la captura de CO<sub>2</sub> de las muestras en estudio.

En el capítulo V, se desarrollan la discusión de los resultados obtenidos comparando con resultados de autores de investigaciones similares.

Para terminar, presentamos las conclusiones a las que se arribó según los objetivos trazados y recomendaciones convenientes para continuar y complementar la presente investigación desarrollada.

La presente tesis compara la capacidad de captura del CO<sub>2</sub> por parte de arbustos y arboles tanto de un área urbana como de una rural, a fin de conocer en el contexto del entorno de la ciudad de Tacna, que tanta diferencia existe entre ambas muestras.

## CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1 Descripción del problema

El calentamiento global es uno de los problemas importantes en el mundo. Los gases de efecto invernadero provocan un aumento de la temperatura media del sistema climático de la tierra (Juraeva et al., 2020). Por otro lado, con base en los resultados de los estudios previos, el efecto de la emisión de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) sobre el calentamiento global es mayor que el de otros gases de efecto invernadero (Smith et al., 2003).

Luego de iniciada la Revolución Industrial, este gas se ha incrementado en un 39% (Wright & Boorse, 2011). Aunque el CO<sub>2</sub> con una concentración de 426 ppm tiene un efecto negativo en la salud humana, la concentración de este gas es superior a 426 ppm en áreas urbanas y megaciudades debido a las actividades humanas y la densidad de población (Janangkakan et al., 2012).

Las plantas utilizan CO<sub>2</sub> para el crecimiento; por lo tanto, pueden utilizarse para disminuir la concentración de CO<sub>2</sub> generada por las industrias (Sunakorn & Kasemsap, 2010).

“Actualmente, con modificaciones de uso del suelo y la granja. Los avances en el desarrollo urbano, la vegetación y el suelo han sido reemplazados por concreto y asfalto. Modificaciones de uso del suelo combinado con la deforestación y la pérdida de biodiversidad, contribuyen a aumento de la emisión de gases de efecto invernadero y puede acentuar el cambio climático en la Tierra” (Rocha et al., 2017).

Nunes et al., (2020) afirma que hoy en día, “el cambio climático es asumido por muchos investigadores y académicos como una certeza y es presentado como el mayor desafío al que se ha enfrentado la humanidad. Las emisiones de gases de efecto invernadero son la principal causa que está acelerando el proceso. Por tanto, es urgente encontrar soluciones para mitigar el cambio climático, principalmente porque los efectos intensos ya han sido sentidos, en muchos casos en forma de ocurrencia de eventos climáticos extremadamente violentos. Los bosques son sin duda, una de las formas más efectivas y sencillas de proporcionar la función de sumideros de carbono. Sin embargo, es fundamental y conveniente analizar el tiempo

de permanencia de este carbono en los bosques, porque de este factor depende directamente del modelo de manejo forestal utilizado”.

El aumento de la concentración de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en la atmósfera se ha convertido en una preocupación mundial y se considera uno de los seis principales gases que causan el efecto invernadero. "Además, el vapor de agua, el metano, los óxidos de nitrógeno, el ozono y los clorofluorocarbonos están destruyendo la atmósfera y provocando el cambio climático" (IPCC, 2006).

Lo preocupante es que la deforestación, la producción y el consumo de combustibles fósiles harán que la superficie terrestre se caliente, es decir, "destruya el equilibrio natural del ecosistema en términos de estabilidad climática, lo que conlleva la pérdida de una gran cantidad de biodiversidad y cultivos" (Malhi et al., 2000).

El transporte es el mayor contribuyente a la contaminación del aire a través de la liberación de grandes cantidades de gas CO<sub>2</sub> a la atmósfera. Los métodos para calcular y analizar la huella de carbono del transporte, que es de importancia crítica en la gestión de gases de efecto invernadero que contribuyen al calentamiento global, todavía se siguen desarrollando (Yacoob & Mat, 2020)

Las plantas se consideran el almacenamiento natural de carbono. "Los ecosistemas agroforestales (la combinación de árboles y otros cultivos) almacenan carbono en forma de biomasa aérea, que cambia según las características biológicas, edad, densidad, comunidades vegetales, etc." (Escobedo & Nowak, 2009).

La vegetación se compone de arbustos, pastos, musgos y árboles, que crecen en la proporción de las zonas terrestres de las ciudades. Disminuyen la concentración de CO<sub>2</sub> porque lo utilizan para crecer (Yang et al., 2005). Varios estudios se centraron en el efecto de los árboles y los bosques sobre la contaminación del aire y los aspectos ambientales (Escobedo & Nowak, 2009).

Las plantas y los árboles son cada vez más populares para su uso en casas y autopistas, lo que mejora la calidad del aire debido a la reducción de la contaminación del aire y los gases de efecto invernadero (Jim & Chen, 2007).



Las plantas no solo pueden mejorar la calidad del aire, sino que también pueden mejorar la calidad ambiental en las megaciudades (Shan et al., 2007).

Por lo expuesto, se propone estudiar las áreas verdes tanto urbano como rural de la ciudad de Tacna en su capacidad de captura del gas de efecto invernadero ( $\text{CO}_2$ ), a fin de conocer en su conjunto de las probables diferencias aportada por las especies de arbustos y árboles que conforman dichas áreas verdes.

Es decir que el problema de investigación se establece no como una dificultad sino como un propósito del conocer las capacidades de captura de  $\text{CO}_2$  de ambas muestras en estudio y saber si existen diferencias entre ambas áreas verdes.

## **1.2 Formulación del problema**

### **1.2.1 Problema general**

¿Cuál es la diferencia en la captura del dióxido de carbono  $\text{CO}_2$  según el tipo de área verde en la ciudad de Tacna en el año 2021?

### **1.2.2 Problemas específicos**

- a. ¿Existe diferencia en cantidad de dióxido de carbono  $\text{CO}_2$  capturado por los arbustos existentes en las áreas verdes urbano y rural de la urbanización Para Chico y Sector Valle Viejo?
- b. ¿Existe diferencia en la cantidad de dióxido de carbono  $\text{CO}_2$  capturado por los árboles existentes en las áreas verdes urbano y rural de la urbanización Para Chico y Sector Valle Viejo?

## **1.3 Justificación e Importancia de la Investigación**

### **1.3.1 Justificación social**

La proliferación de proyectos de vivienda que invaden las áreas verdes de origen rural es una de las principales afectaciones al medio ambiente. A pesar que dichos proyectos de vivienda consideran áreas para parques y/o plazas no se puede considerar necesariamente que dichas adecuaciones puedan reemplazar la capacidad de contener o capturar el  $\text{CO}_2$ .

Por ello un conocimiento de la capacidad de las áreas verdes urbanas en capturar  $\text{CO}_2$ , tomando como referencia un área verde rural bien pueden aportar

conocimiento para mejorar los procesos de urbanización a fin de disponer mejor las especies de las áreas verdes para el control del CO<sub>2</sub>.

### **1.3.2 Justificación económica**

El presente trabajo, al ampliar el conocimiento de la capacidad de captura del CO<sub>2</sub> de las áreas verdes tanto urbano como rural que dispone la ciudad de Tacna. Permitirá que las decisiones de urbanización puedan ser realizadas no solo con un sustento ambiental sino de ahorro económico y beneficio simultaneo para los habitantes, puesto que replantear el diseño de un área verde urbana que no consideren una capacidad importante de captura de CO<sub>2</sub> resultaría en costos prohibitivos.

### **1.3.3 Justificación ambiental**

Considerando que, con el transcurso de los años las zonas urbanas seguirán creciendo con la consecuente afectación de las áreas rurales, esto provocara y seguirá provocando la evidente disminución de dichas áreas verdes naturales, es importante saber la magnitud de esta afectación, para conocer las medidas necesarias para mitigar y/o controlar el desarrollo urbano, pero sin afectar las áreas verdes tan necesarias para que las condiciones de vida sean adecuadas, incidiendo especialmente en la calidad del aire.

Por otro lado, los gases desprendidos por las áreas urbanas tienden a incrementarse y por lo tanto también deberían de incrementar la captura de dichos gases, específicamente en el CO<sub>2</sub> y para ello el medir y destacar la importancia de la presencia de las áreas verdes en la captura del CO<sub>2</sub> se hace muy necesario.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

Evaluar comparativamente la captura del dióxido de carbono CO<sub>2</sub> según el tipo de área verde en la ciudad de Tacna en el año 2021.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- a. Determinar la diferencia de la captura de dióxido de carbono CO<sub>2</sub>, por los arbustos existentes entre las áreas verdes de la urbanización Para Chico y Sector Valle Viejo.

- b. Establecer la diferencia de la captura de dióxido de carbono CO<sub>2</sub>, por los árboles existentes entre las áreas verdes de la urbanización Para Chico y Sector Valle Viejo.

## **1.5 Hipótesis**

### **1.5.1 Hipótesis general**

La captura del dióxido de carbono CO<sub>2</sub> es significativamente diferente según el tipo de área verde en la ciudad de Tacna en el año 2021.

### **1.5.2 Hipótesis específicas**

- a. Existe diferencia significativa en la captura de dióxido de carbono CO<sub>2</sub>, por los arbustos existentes entre las áreas verdes de la urbanización Para Chico y Sector Valle Viejo.
- b. Existe diferencia significativa en la captura de dióxido de carbono CO<sub>2</sub>, por los árboles existentes entre las áreas verdes de la urbanización Para Chico y Sector Valle Viejo.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes del estudio

#### 2.1.1 Antecedentes nivel internacional

Rocha et al., (2017) evaluaron la biomasa de árboles vivos del aire y el potencial de secuestro de carbono del Parque Natural Municipal Flor do Ipê circundante en la ciudad de Várzea Grande, MT. El área de estudio se muestreó a partir de cinco parcelas de 100 metros cuadrados asignadas al azar. En cada parcela, las especies arbóreas vivas con DAP entre 2,5 cm y 30 cm para capturar carbono. Entre las parcelas estudiadas, la especie más dominante es *Pelargonium corolla* Schott, seguida de *Zanthoxylum bungeanum* Lam y *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. La cantidad total de biomasa vegetal en el antiguo mercado es de 460,64 toneladas/ha de las cuales el almacenamiento de carbono es de 207,29 toneladas / ha. El potencial de almacenamiento de dióxido de carbono estimado es de 760,75 toneladas / ha dentro del área total del parque.

Lindén et al., (2020) evaluaron la cantidad de carbono orgánico almacenado en los árboles y suelo de parques urbanos construidos en condiciones climáticas frías en Finlandia. Más específicamente, investigaron los efectos del manejo, el tipo de vegetación y el tiempo desde la construcción sobre la cantidad de carbono almacenado en los árboles y el suelo del parque. Realizaron dos estudios de árboles y recolectaron muestras del suelo (0–90 cm) en parques construidos y administrados por la ciudad de Helsinki. La relación de almacenamiento de carbono entre el suelo y los árboles varió de 7,1 a 7,5 para terrenos permeables con vegetación y de 3,7 a 5,0 para áreas enteras del parque. Los efectos de la gestión del parque y el tipo de vegetación no se pueden separar, pero se demostró que el tiempo tiene un efecto positivo en las reservas de carbono de los árboles y el suelo. Los resultados indican que los suelos de los parques pueden contener reservas de carbono notables en un clima frío. Y la capacidad de retención de carbono del suelo del parque supera en gran medida a la de los suelos boscosos. La preservación y el aumento de las reservas de carbono en los parques urbanos implica evitar medidas drásticas de renovación de árboles y suelos.

Lu et al., (2021) establecieron que los suelos urbanos pueden, cuando no están sellados, almacenar una cantidad considerable de carbono (C), especialmente en climas fríos. Seleccionaron 27 parques urbanos de diferentes edades (jóvenes: 5 a 15 años, viejos:>70 años) y 10 bosques de referencia (>80 años) para estudiar si la

capacidad de los suelos para almacenar C se relaciona con (i) la descomposición tasa de diferentes tipos de hojarasca (recalcitrante versus lábil) y/o (ii) entrada de materia orgánica (MO) a través de la producción de raíces entre tres tipos funcionales de plantas comunes (árboles de hoja caduca, árboles de hoja perenne), césped / césped). Los resultados sugieren que la alta acumulación de C en el suelo debajo de árboles de hoja perenne resulta de una baja descomposición de la hojarasca, acompañada de un bajo nivel de CO<sub>2</sub> en el suelo. Además, la alta producción de raíces de los árboles de hoja perenne en comparación con los árboles de hoja caduca y el césped, probablemente refleja el alto porcentaje de MO debajo de los árboles de hoja perenne. Asimismo, los efectos de las plantas sobre las entradas y salidas de C están relacionados directa o indirectamente, por la edad del parque, de modo que estos efectos se acentúan en los parques antiguos. A pesar de la capacidad de los árboles de hoja perenne para acumular C en los suelos de los parques urbanos, esta capacidad es mucho menor en comparación con los suelos de los bosques de la misma edad.

### **2.1.2 Antecedentes nivel nacional**

Cabudivo, (2017) según el grado de diámetro Av. Abelardo Quiñones (Distrito Loreto –San Juan Bautista 2016, Perú) evaluó el secuestro de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y la producción de oxígeno (O<sub>2</sub>) en arboles urbanos. La avenida en estudio tiene una longitud aproximada de 5 kilómetros, con el objetivo de determinar el almacenamiento de dióxido de carbono y producción de oxígeno de árboles urbanos de diferentes categorías de diámetros. «Inventario de árboles y palmeras midiendo tallos (DAP) y altura total. El secuestro de dióxido de carbono y la producción de oxígeno están determinados por la ecuación alométrica. "Identifico 418 especies entre 17 especies de árboles y palmeras. Produjeron un total de 119,03 toneladas de biomasa, secuestraron 217,87 toneladas de CO<sub>2</sub> y produjeron 158,59 toneladas de O<sub>2</sub>".

El estudio de Tacarpo & Hidalgo, (2018) titulado "Estimación del potencial de captura de carbono de la principal flora en el bosque alto de la comunidad campesina de la provincia de Tumba-Yungai, 2018". "evaluaron la altura del bosque primitivo del departamento de Ancash, el distrito de Yungay y la comunidad campesina de Tumpa en la provincia, especialmente en el bosque de *Polylepis* sp., La altitud es de 3381 a 3932 msnm. "El método para estimar el potencial de secuestro de carbono incluye registrar el diámetro de la altura del pecho (DAP) y la altura de los árboles con un diámetro mayor a 2,50 cm, correspondientes a cinco parcelas de 25 m y 4 m de

longitud, y un muestreo aleatorio simple con una intensidad de muestreo del 3,84 %. Además, se realizaron otras evaluaciones en arbustos, hierbas, basura y suelo, “Para calcular la biomasa de los árboles se utilizó un método de cálculo indirecto, que mide en función de sus principales características biológicas. Para obtener el volumen de biomasa arbustiva / herbácea y hojarasca, se realiza un muestreo directo a 1 m x 1 m y 0,5 m. El resultado es: la biomasa de la vegetación es de 61,818 tC / ha (16%), la biomasa de los árboles es de 37,953 tC / ha, la biomasa de arbustos / hierbas es de 2,808 tC / ha, la biomasa de hojarasca es de 6.791 tC / ha”.

Rebaza & Rodriguez, (2020) desarrollaron el trabajo de investigación titulado “Cuantificación de dióxido de carbono por la captura en las áreas verdes de la Universidad Nacional de Trujillo-2020”. “El trabajo en campo consistió en realizar el inventario de las especies forestales, así como la recopilación de relaciones alométricas de los árboles, tales como la circunferencia del tronco a una altura 1,30 m del suelo, el Diámetro a la Altura del Pecho o DAP, altura total y densidad básica de la madera por cada especie y estimar la cantidad de carbono y dióxido de carbono capturado por las diferentes especies arbóreas”. «Para ello se empleó el método no destructivo indirecto basado la ecuación de estimación de biomasa» descrita por Brown et al. (1989). Asimismo, se realizó un inventario del área en metros cuadrados de césped existente en toda la ciudad universitaria para lo cual se aplicó el programa Google Earth Pro, en el cálculo digital de dichas áreas. «En diferentes puntos se marcaron 1 m<sup>2</sup> y extrajeron el grass analizando su porcentaje de materia seca, utilizando para tal medición una estufa para el secado por 2 horas a 105°C». Estimaron las cantidades de C y su equivalente en CO<sub>2</sub> capturado por las especies forestales en 89 695,28 kg y 329 181,68 kg respectivamente. “El césped captura un estimado de C y su equivalente en CO<sub>2</sub>, en 87 586,96 kg y 321 444,14 kg respectivamente”.

### **2.1.3 Antecedentes nivel local**

Pumasupa, (2018) en el estudio denominado “Cuantificación de la captura de carbono de la especie forestal *Haplorhus peruviana* carzo como servicio ambiental en el valle de cinto, provincia Jorge Basadre, región Tacna”. El trabajo en campo consistió en realizar el inventario forestal mediante la recopilación de datos dasométricos como el Diámetro a la Altura del Pecho o DAP, altura total y comercial, diámetros inferior y superior de fuste y ramas y biomasa a fin de calcular el volumen comercial del árbol por sectores y estimar la cantidad de carbono almacenado. Para ello se realizó los análisis de laboratorio para obtener los valores de gravedad

específica y la fracción de carbono de la especie forestal empleando el método no destructivo indirecto basado en el manual de Identificación de Metodologías existentes para determinar stock de carbono en ecosistemas forestales del Ministerio del Ambiente (2009), el cual, se estimó que el bosque relicto de carzo posee un stock de carbono de 4,5244 tC/ha. A partir de lo anterior se concluye que es necesario implementar proyectos, programas, políticas de conservación y gestión sostenible en el Valle de Cinto, y en un futuro acceder a los mecanismos de retribución por servicios ecosistémicos. De esta manera se demostró el potencial que tienen los bosques para mitigar el cambio climático a través del servicio ecosistémico de secuestro y almacenamiento de carbono por la especie forestal *Haplorhus peruviana*.

Toledo, (2020) en el estudio titulado “Captura de Carbono en la especie *Tillandsia werdermannii* y *Tillandsia purpurea* (siempre viva) en las Lomas Arrojadero situada entre los Distritos de Inclán y Locumba, Tacna”. Determinó el contenido de carbono orgánico en tejido vegetal y cantidad de biomasa viva y necromasa acumulada en el Tillandsial. El contenido de biomasa se estimó de manera directa con parcelas de 2 m x 2 m, tomando una muestra de 12 parcelas. El contenido de carbono orgánico se determinó por oxidación utilizando el método propuesto por Schollenberger. Entre las especies evaluadas con el mayor contenido de carbono orgánico en el tejido vegetal es *Tillandsia werdermannii* con 39,79% seguido por *Tillandsia purpurea* con 35,35%. La especie *Tillandsia werdermannii*, almacena la mayor cantidad de carbono en la biomasa vegetal con 1,781 C/ha. Por su parte, *Tillandsia purpurea* es la especie que almacena la menor cantidad de carbono con 1,66 t C/ha. El peso de la materia seca en la biomasa viva y la necromasa de la especie *Tillandsia werdermannii* es de 136,45 kg MS/m<sup>2</sup> mientras que el peso de la materia seca en la biomasa viva y la necromasa de la especie *Tillandsia purpurea* es de 133,64 kg MS/m<sup>2</sup> y por ultimo tenemos la cantidad total de biomasa viva y necromasa acumulada en la especie de Tillandsial en las Lomas de Arrojadera es de 56,27 tn MS y la cantidad total de carbono almacenado en la biomasa viva y necromasa del Tillandsial es de 25,15 tn C, que representa una captura estimada de 92,30 toneladas de CO<sub>2</sub>.

De todos los antecedentes considerados se concluye que la medición de la capacidad de la biomasa de las áreas verdes y especialmente urbanas será importante para determinar la capacidad de captura del CO<sub>2</sub> y para dicha medición se puede aplicar el método no destructivo o indirecto, pues se basa en un procedimiento de medición del área, del diámetro del árbol y altura del mismo

utilizando instrumentales para medir las alturas y diámetros que permitirán obtener los datos que podrán ser utilizados con la ecuación alométrica para estimar la biomasa arbórea que a la vez servirá para calcular la cantidad de CO<sub>2</sub> capturado por las áreas verdes.

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Servicios ambientales**

Los parques de la ciudad son paisajes verdes, no solo parte del paisaje, sino que también promueven espacios de ocio y cercanía a la naturaleza a través de sus colores, formas y aromas: pueden proporcionar servicios ambientales ilimitados. “Los servicios ambientales son los beneficios intangibles que brindan los diferentes ecosistemas o biomasa a la sociedad”. “Ellos naturalmente afectarán el mantenimiento de la vida y traerán beneficios y bienestar a las personas y comunidades” (Reyes & Gutierrez, 2010).

Los servicios que brindan los árboles urbanos a la sociedad son diversos. "Pueden mejorar la calidad de los residentes urbanos al absorber y filtrar contaminantes, y desempeñan un papel importante en la mejora de la salud y la comodidad de los residentes urbanos. Aire y agua locales" (Bolund y Hunhammar 1999) , la regulación de la temperatura mediante la reducción de la temperatura del aire y del llamado efecto isla de calor (Akbari et al., 2001).

Lorenzi, (2001) advierte que “la planificación es necesaria”. (...) “Es lógico que la mayoría de ciudades no estén planificadas y se requiera el espacio existente para árboles”. "No hay zona de absorción e infiltración de agua". Para evitar tales problemas en futuras plantaciones se deben tener en cuenta las características de los árboles a utilizar, las condiciones del suelo y el área libre compatible con el tamaño y otros requisitos de la especie para el crecimiento del árbol (De Angelis, 2000).

Según Detzel (1998) mencionado por Leal et al., (2008), el volumen de recursos aplicado por las administraciones municipales para el establecimiento de forestaciones en calles, parques y plazas, casi siempre refleja la importancia de este componente de la infraestructura para los ciudadanos. Especialmente de aquellos árboles ubicados en la vía pública, conocer estos valores tiene aplicación directa en la planificación de actividades relacionadas con la implantación y mantenimiento de forestaciones y en la optimización de los recursos destinados a la misma. La



determinación de valores también se justifica por la necesidad de aplicar multas, indemnizaciones y exenciones establecidas según criterios de valoración de probada eficacia y veracidad.

### **2.2.2 La vegetación como sumidero de carbono**

«El manejo apropiado de la vegetación permite la reducción de concentraciones de CO<sub>2</sub>, y por consecuencia la captura de CO<sub>2</sub> a través de la vegetación, se transforma en una estrategia potencial». “Debido a la degradación de la fotosíntesis y la materia seca, la vegetación almacenará y liberará carbono”. “El balance es una captura neta positiva, la cantidad depende del manejo de la cobertura vegetal y su edad, distribución de tamaño, estructura y composición” (Torres Y Guevara, 2007).

Existen varios sumideros de carbono en el mundo que se han asociado a un importante aporte de los bosques, que son responsables del 60 % del secuestro neto de dióxido de carbono (Nobel, 2009).

Se estima que los bosques del mundo capturan más de 650 tM de carbono, lo que ayuda a mitigar el cambio climático y preservar la biodiversidad (FAO, 2010).

Sin embargo, no solo los bosques capturan CO<sub>2</sub>; Se ha demostrado en varios estudios que la presencia de árboles en áreas urbanas favorece la reducción de algunos contaminantes atmosféricos y contribuye al secuestro de carbono (Sánchez et al., 2016).

El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es el componente más destacado de las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero, resultantes principalmente de la quema de combustible en el entorno construido, para actividades como la calefacción de edificios, la movilidad urbana y la cocina. La concentración de CO<sub>2</sub> cerca de la superficie en las ciudades se ve afectada por una variedad de factores, incluida la densidad del tráfico y la estabilidad atmosférica. Las plantas tienen la capacidad de secuestrar CO<sub>2</sub> a través de la fotosíntesis y, por lo tanto, pueden almacenar carbono en la biomasa vegetal y en el suelo. Las áreas verdes en la ciudad pueden afectar significativamente las concentraciones locales de CO<sub>2</sub> atmosférico, como se observa en las comparaciones entre zonas urbanas y rurales que muestran una menor concentración de CO<sub>2</sub> en presencia de vegetación (Fares et al., 2017).

### 2.2.3 Secuestro de carbono

El concepto de captura o secuestro de carbono es la absorción de una gran cantidad de dióxido de carbono presente en la atmósfera que fue consagrado por la Conferencia de Kioto en 1997, con el propósito de contener y revertir la acumulación de gases de efecto de invernadero en la atmósfera, con el fin de reducir el efecto invernadero. La conservación de las existencias de carbono en suelos, océanos, bosques y otros tipos de vegetación, la preservación de los bosques nativos, la implantación de bosques y sistemas agroforestales y la recuperación de áreas degradadas son algunas acciones que contribuyen a la reducción de la concentración de la CCb en la atmósfera, mediante el proceso de fotosíntesis (Scarpinella, 2002).

El cálculo del potencial de carbono absorbido por los árboles urbanos es muy complejo, ya que es necesario observar las diferentes especies y su tasa de crecimiento. Hay tres tipos de árboles que se pueden utilizar para neutralizar el CO<sub>2</sub> (especies de crecimiento lento, medio o rápido), porque, según Melo & Sanquetta, (2008), la diferencia en la absorción de carbono entre estas tres especies es muy grande.

“Se refiere al carbono que una unidad de área cubierta por vegetación tiene la capacidad de fijar en un periodo determinado” (Segura, 1997). «Para estimar estos flujos de carbono (tC / ha / año), se deben conocer las condiciones previas (principalmente tiempo de uso) de los agricultores.». “Estos rangos incluyen bosques primarios, áreas quemadas de cultivos anuales o plantaciones perennes, bosques secundarios de diferentes edades, pastizales; sistemas agroforestales, tierras en barbecho y sistemas agrícolas y pastorales” (Arévalo et al., 2003).

Si bien los árboles y los bosques indudablemente secuestran CO<sub>2</sub> durante sus fases de crecimiento, la madera muerta que está en proceso de descomposición también libera carbono almacenado. En el caso de los árboles, la composición de la materia seca se puede clasificar de acuerdo con la distribución de la biomasa en diferentes partes del árbol: aproximadamente el 20 % de la biomasa está en la copa, el 60% en la madera del tallo y el 20% en el sistema radicular (Fares et al., 2017).

#### **2.2.4 El secuestro del carbono por los “bosques urbanos”**

Los suelos urbanos juegan un papel importante en el secuestro de carbono (C) en los ecosistemas terrestres (Pouyat et al., 2006) y pueden secuestrar cantidades iguales de C o incluso más que los suelos forestales y agrícolas (Cambou et al., 2018).

La mayor parte del C en las áreas urbanas se almacena en suelos de espacios verdes (Lindén et al., 2020), incluidos parques, patios residenciales y bosques remanentes, mientras que la capacidad de los suelos urbanos sellados para almacenar C es muy baja especialmente en ciudades con clima boreal (Lu et al., 2020).

Aunque los suelos de espacios verdes son de suma importancia para secuestrar y almacenar C, la influencia de las características de la vegetación, como el tipo funcional de la planta y especialmente los mecanismos por los cuales las plantas controlan la acumulación de C y materia orgánica (MO) en entornos urbanizados es poco conocido.

En los sistemas naturales, el tipo funcional de la planta es fundamental para afectar la formación del suelo y controlar los servicios ecosistémicos relacionados con el suelo. Estudios previos han demostrado que la acumulación de C difiere bajo diferentes tipos de plantas en el mismo sitio forestal (Mueller et al., 2012), por lo que, por ejemplo, los suelos con coníferas tienen mayor C existencias que los suelos debajo de árboles latifoliados (Gurmesa et al., 2013).

De manera similar, el contenido de C del suelo en los espacios verdes urbanos también puede ser controlado por los tipos de plantas dominantes (Bae & Ryu, 2015). Setälä et al., (2016) afirman que los suelos debajo de árboles de hoja perenne tenían un mayor contenido de C en el suelo que los suelos debajo de árboles de hoja caduca y césped en parques urbanos con clima boreal.

Asimismo, Bae & Ryu, (2015) encontraron que, en climas templados, los suelos de los parques debajo de los árboles contenían más C que los que estaban debajo de los césped urbano.

Pocos estudios han evaluado la importancia de especies individuales en lo que respecta a su contribución a la captura y emisión de CO<sub>2</sub> en el medio ambiente. Esta

información proporciona conocimiento sobre el papel de la vegetación. Los bosques urbanos pueden contribuir significativamente a la reducción de la contaminación del aire al aliviar la intensidad de la isla de calor (Yang et al., 2005).

Velasco et al., (2013) mencionaron que la vegetación en un área urbana contribuye a la captura de CO<sub>2</sub> durante el día y promueve el enfriamiento del aire local por transpiración, sirviendo como una alternativa de mitigación del cambio climático.

Estudios han demostrado que las existencias de C en los suelos de los parques aumentan con la edad del parque (Lindén et al., 2020), lo que probablemente esté asociado con el tiempo que las plantas y sus suelos y biota subyacentes han interactuado entre sí. De hecho, se sabe que la biomasa microbiana del suelo y la composición de la comunidad cambian con la edad del parque (Francini et al., 2018).

Sin embargo, se desconocen los mecanismos a través de los cuales los tipos de plantas modifican los suelos en su rizosfera en parques urbanos de distintas edades. Además, todavía no está claro si las frecuentes alteraciones y prácticas de manejo (corte y rastrillado frecuentes, remoción de plantas no deseadas, etc.) comunes en los espacios verdes urbanos obstaculizan la acumulación de MO en estos suelos y, por lo tanto, potencialmente evitan que los parques urbanos acumulen altas cantidades de MO que tipifican los suelos relativamente inalterados en las afueras de las ciudades boreales (Lu et al., 2021).

Los paisajes urbanos se están expandiendo rápidamente a nivel mundial y están transformando la estructura y función de las áreas urbanas, lo que influye en la calidad de vida. Las ciudades representan más del 70 % de la energía relacionada con los gases de efecto invernadero y se espera que para el 2030 aumente hasta el 76 %, asimismo más del 50 % de la población mundial vive en ciudades y para el 2050 se estima que serán más de los dos tercios, entonces el problema de mitigar la concentración del CO<sub>2</sub> es muy serio. Las áreas urbanas son sumideros importantes de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) al almacenar carbono a través de la fotosíntesis que formar biomasa vegetal, por eso el secuestro del CO<sub>2</sub> es un servicio ecosistémico importante, aunque la relación entre la vegetación del parque urbano y la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> no está completamente aclarada (Gratani et al., 2016).

Las áreas verdes (es decir, segmentos de áreas urbanas cubiertos por parques, jardines, campos deportivos, avenidas arboladas y setos) tienen un papel importante en el ciclo local del carbono de la ciudad. La vegetación de las ciudades, en particular los árboles, puede afectar la calidad del aire urbano. Las plantas son un sumidero de CO<sub>2</sub> al almacenar carbono durante la fotosíntesis para formar biomasa vegetal (Gratani & Varone, 2007).

Además, las áreas verdes tienen una función recreativa que generan efectos sociales y psicológicos positivos mejorando la calidad de vida. Por lo tanto, la ecologización urbana puede generar importantes servicios ecosistémicos (es decir, todos aquellos beneficios relacionados con los ecosistemas, que pueden tener un impacto directo o indirecto en las actividades económicas). En las ciudades, los parques y espacios verdes tienen una importancia estratégica para la calidad de vida (Chiesura, 2004).

### **2.2.5 Secuestro de carbono en sabanas semiáridas y bosques secos**

Datos globales muestran amplios rangos de existencias de carbono en biomasa (20-150 Mg C ha<sup>-1</sup>), producción primaria neta (2-15 Mg C ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>) y producción de hojarasca (2-10 Mg C ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>) para los trópicos semiáridos. Aunque los rangos de carbono del suelo también son amplios, una cifra promedio para los 20 cm superiores es probablemente de 10 g C kg<sup>-1</sup>, o alrededor de 25 Mg C ha<sup>-1</sup> (Tiessen et al., 1998).

En el noreste de Brasil, aproximadamente el 40 % de las tierras tienen vegetación nativa "cercana al clímax". Menos del 10 % del área se planta anualmente, pero alrededor de 3-4 veces esa área se ve afectada por la agricultura migratoria que tiene un ciclo promedio de 5 años de uso arable seguido de 20 años o más de recuperación. La biomasa nativa muestra casi el rango global completo con 2-50 Mg C ha<sup>-1</sup>. La hojarasca que cae alrededor de 1-2 Mg C ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> se descompone en parte y los animales la consumen en parte, lo que da como resultado niveles medios bajos de C en el suelo cercanos a 8 g kg<sup>-1</sup>, o 20 Mg C ha<sup>-1</sup>. Bajo cultivo, el secuestro de C disminuye y los suelos pierden aproximadamente la mitad de sus reservas de C antes de ser abandonados.

Las mejoras en el secuestro de C en estas regiones semiáridas dependen de un aumento en la producción de cultivos bajo rotaciones adecuadas, un mejor barbecho y cría de animales, y una limitación en la quema de biomasa. Se requiere el uso de fertilizantes para mejorar la productividad, pero las limitaciones

socioeconómicas impiden en gran medida tales mejoras, lo que da como resultado un alcance muy limitado para cambios en el manejo del C del suelo (Tiessen et al., 1998).

### **2.2.6 Secuestro de carbono en campos agrícolas**

Los árboles y la biomasa leñosa juegan un papel importante en el ciclo global del carbono. La biomasa forestal representa más del 45 % de las existencias de carbono terrestre, con aproximadamente un 70 % y un 30 % contenido en la biomasa aérea y subterránea, respectivamente (Mokany et al., 2006).

Sin embargo, no todos los árboles existen dentro de los bosques. Los árboles ocupan un lugar destacado en los paisajes agrícolas de todo el mundo. Casi la mitad de toda la tierra agrícola mantiene al menos un 10 % de cubierta arbórea (Zomer et al., 2014).

A pesar de su amplia distribución, los árboles fuera de los bosques (TOF, por sus siglas en inglés) son un reservorio de carbono a menudo descuidado y hay poca información disponible sobre las reservas de carbono en estos sistemas o su potencial de secuestro de carbono (De Foresta et al., 2013).

La ubicuidad y el uso de árboles en los paisajes agrícolas es importante para los medios de vida de los pequeños agricultores y modifica el clima local pero también contribuye a la mitigación del cambio climático global (Noordwijk, 2011).

Incluso cuando se plantan a bajas densidades, la acumulación de carbono agregado en los árboles puede ayudar a combatir el cambio climático debido a la gran extensión espacial cubierta (Zomer et al., 2009)

Se estima que tales árboles acumulan de 3 a 15 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> solo en biomasa aérea, una cantidad no trivial si se compara con otros sumideros de carbono como el suelo. Al mismo tiempo, los árboles diversifican las dietas, reducen la erosión del suelo y amplían las oportunidades de mercado para los pequeños agricultores (Noordwijk, 2011).

Por lo tanto, los árboles en los paisajes agrícolas ofrecen oportunidades para mitigar el cambio climático y mejorar los medios de vida de los pequeños agricultores (Kumar & Nair, 2011).

La sinergia entre la adaptación climática y la mitigación a través de árboles en tierras agrícolas ahora está recibiendo atención explícita (Duguma et al., 2014).

### **2.2.7 Las áreas verdes y la salud humana**

Los entornos naturales al aire libre, incluidos los espacios verdes, juegan un papel importante en la preservación de la salud y el bienestar de la población en las ciudades y brindar servicios ecosistémicos y beneficios ecológicos, además de tener valores recreativos, sociales y culturales. Muchos estudios han asociado los espacios verdes con efectos beneficiosos para la salud, incluida una mejor restauración, una mejor percepción del bienestar y la salud mental, reducción de enfermedades cardiovasculares. Además, los espacios verdes están asociados con una disminución de la mortalidad por causas naturales (Gascon et al., 2016).

El 75 % de la población europea vive en entornos urbanos. Las grandes poblaciones urbanas, junto con la fuerte evidencia epidemiológica que vincula los espacios verdes y la salud, han puesto las intervenciones verdes en la agenda de los planificadores urbanos y los formuladores de políticas como una forma de promover entornos urbanos saludables. Sobre la base de un informe de un grupo de trabajo de expertos, la OMS recomienda que los espacios verdes (de al menos 0,5 hectáreas) deben ser accesibles dentro de una distancia lineal de 300 m de las residencias (OMS, 2016).

El informe de la OMS sugiere que el Porcentaje de Área Verde (%GA) obtenido de los mapas de uso y cobertura del suelo (es decir, el Atlas Urbano Europeo) debería ser útil como indicador principal; y el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), obtenido de imágenes satelitales, y las medidas basadas en la percepción también podrían ser aplicables como indicadores secundarios. Sin embargo, los planificadores urbanos y los formuladores de políticas buscan evidencia y cuantificación más sólidas para introducir políticas e intervenciones en las ciudades (Gascon et al., 2016).

No está claro qué tipo y cantidad de espacios verdes podrían promover mejores resultados de salud. Los indicadores de uso frecuente son %GA y NDVI. Ambos indicadores muestran fuertes asociaciones con la mortalidad, pero también difieren en su forma de definir el espacio verde. El %GA representa el uso del suelo que se define oficialmente como espacio verde y que generalmente es de acceso público

(por ejemplo, parques, plazas, jardines comunitarios) y el NDVI detecta vegetación viva y, por lo tanto, representa la cantidad total de verde (todos los tipos y tamaños) de un área específica, capturando el verde circundante general (por ejemplo, árboles de la calle, corredores verdes, espacios verdes privados y vegetación general). Por lo tanto, cada indicador representa diferentes tipos de exposiciones a espacios verdes que pueden afectar la salud de manera diferente y, en consecuencia, podrían tener una asociación diferente con los impactos de mortalidad (Rojas et al., 2019).

### **2.2.8 Métodos alométricos para determinar la biomasa**

Los modelos alométricos “son ecuaciones matemáticas, que mediante una regresión lineal o no lineal relacionan la biomasa con variables medidas en campo, tales como DAP, altura total o comercial, diámetro de copa, densidad de la madera y área basal y/o variables ambientales” (Chave et al., 2014)

Los modelos alométricos “se utilizan para extrapolar los datos del muestreo, tanto in situ como de forma remota a un área más grande con las mismas características” (Chave et al., 2014).

Según Brown et al., (1989) citado por (Manrow, 2017), “las estimaciones de biomasa aérea requieren de un muestreo destructivo o del uso de métodos indirectos, el segundo caso es el más práctico y menos costoso”.

Para Acosta et al., (2002) el uso de ecuaciones alométricas permite una estimación más confiable y directa de la biomasa, ya que en la misma ecuación se contempla la variabilidad presentada por los árboles por edad y competencia, y su crecimiento refleja la productividad del sitio.

Se usan diferentes métodos para estimar la biomasa a partir de mediciones simples como la aplicación de una ecuación o modelos de regresión específica (ecuaciones alométricas) o tablas específicas de biomasa para cada especie a partir de mediciones de árboles individuales (diámetro a la altura del pecho (dap) y altura principalmente), información fácil de obtener y de bajo costo. Los modelos relacionan la biomasa con variables de árboles en pie (DAP, altura comercial y total, crecimiento diamétrico, etc.) (Segura & Andrade, 2008).



Estos modelos pueden ser contruidos usando un mínimo de 30 árboles bien seleccionados (Manrow, 2017).

Se prefiere el uso de modelos que transforman valores de volumen de madera de fuste en biomasa, debido a que la densidad de la madera varía entre árboles de una especie (Návar, 2009).

En general se recomienda utilizar modelos que tienen como variable independiente el diámetro, porque es muy simple de medir y se obtiene en la mayoría de estudios donde se recoge información para el manejo de las áreas verdes, esto es una ventaja adicional ya que permite estimar la biomasa a partir de una sola variable (Fonseca et al., 2013).

### **2.3 Definición de términos**

a) Arbusto: se define como una planta leñosa que es más pequeña que un árbol y generalmente tiene una forma redondeada. La principal diferencia entre los dos es que un arbusto tiene varios tallos principales que crecen desde el suelo, en lugar de un solo tronco.” (Richins, 2021)

b) Árbol: Las diferencias entre árboles y arbustos pueden ser más difíciles de identificar. La definición generalmente reconocida de árbol, según Universidad del Estado de Utah (USU), es una planta leñosa que tiene un tallo perenne erecto (tronco) de al menos 3 pulgadas de diámetro en un punto o 4 1/2 pies sobre el suelo, una corona de follaje definitivamente formada y una altura madura de al menos 13 pies (3,96 m) (Richins, 2021).

c) Biomasa aérea: «es la cantidad de materia seca producida por las plantas, expresada en términos de peso y referida a una determinada superficie (t/ha). La forma clásica para determinar la biomasa de los árboles en el tronco, es a partir del cálculo del volumen maderable y la densidad básica de la madera» (MINAM, 2015).

d) Área urbana: Un área urbana es la región que rodea a una ciudad. La mayoría de los habitantes de las áreas urbanas tienen trabajos no agrícolas. Las áreas urbanas están muy desarrolladas, lo que significa que hay una densidad de

estructuras humanas como casas, edificios comerciales, carreteras, puentes y vías férrea (National Geographic Society, 2022).

e) Bosque urbano: Se refiere a todos los árboles dentro de un área densamente poblada, incluidos los árboles en los parques, en las calles y en la propiedad privada (Safford et al., 2013).

f) Medidas alométricas: Son medidas de la relación entre altura y diámetro, entre tamaño de copa y diámetro, y entre biomasa y diámetro. Siguen las mismas reglas para todos los árboles vivos en las mismas condiciones. De menor a mayor” (Dietze et al., 2008).

## CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

### 3.1 Tipo y Nivel de la investigación

- a) Tipo de Investigación: Es un estudio experimental, prospectivo, transversal y analítico.
- b) Nivel de Investigación: Explicativo porque pretende demostrar las relaciones de causa y efecto entre las variables independiente y dependientes propuestas en el estudio.

### 3.2 Población y/o muestra de estudio

- a) Población de estudio: Áreas verdes de zona urbana (Anexo 2a) parque de la bandera de la urbanización Para Chico y zona rural de una chacra del Sector Valle Viejo (Anexo 2b).
- b) Muestra de estudio: Para el caso de la Plaza de la Bandera (urbanización Para Chico) de 8462 m<sup>2</sup> las especies estuvieron conformadas por 65 arbustos y 20 árboles y se analizó toda la población. Para el caso del Fundo la Fortaleza (Sector Valle Viejo) de 10020 m<sup>2</sup> está conformado por 73 arbustos y 75 árboles analizándose toda esa población.

### 3.3 Operacionalización de variables

La Tabla 1 muestra la forma como se operacionalizaron las variables en estudio destacando a la variable área verde que es de tipo cualitativo mientras que la variable Captura de carbono es de tipo cuantitativo.

**Tabla 1***Operacionalización de variables en estudio*

<b>Variables</b>	<b>Definición conceptual</b>	<b>Dimensión</b>	<b>indicadores</b>
<b>Independiente:</b> <b>Área verde</b>	Puede referirse a árboles y vegetación que brindan beneficios ecológicos en áreas urbanas, y también a estructuras diseñadas como sistemas de drenaje urbano sostenibles (Benedict & McMahon, 2006).	Área urbana	Arbusto Árbol
		Área rural	Arbusto Árbol
<b>Dependiente:</b> <b>Captura de Carbono (CO<sub>2</sub>)</b>	El carbono capturado se estima utilizando diferentes modelos, que evalúan parámetros fotosintéticos y ambientales, otros evalúan el balance de carbono entre las plantas y la atmósfera. Varios estudios experimentales de fotosíntesis utilizan analizadores de CO <sub>2</sub> y mediciones in situ (Sánchez et al., 2016).	Cantidad de CO <sub>2</sub> capturado por cada especie	kg CO <sub>2</sub> /especie (Captura total)

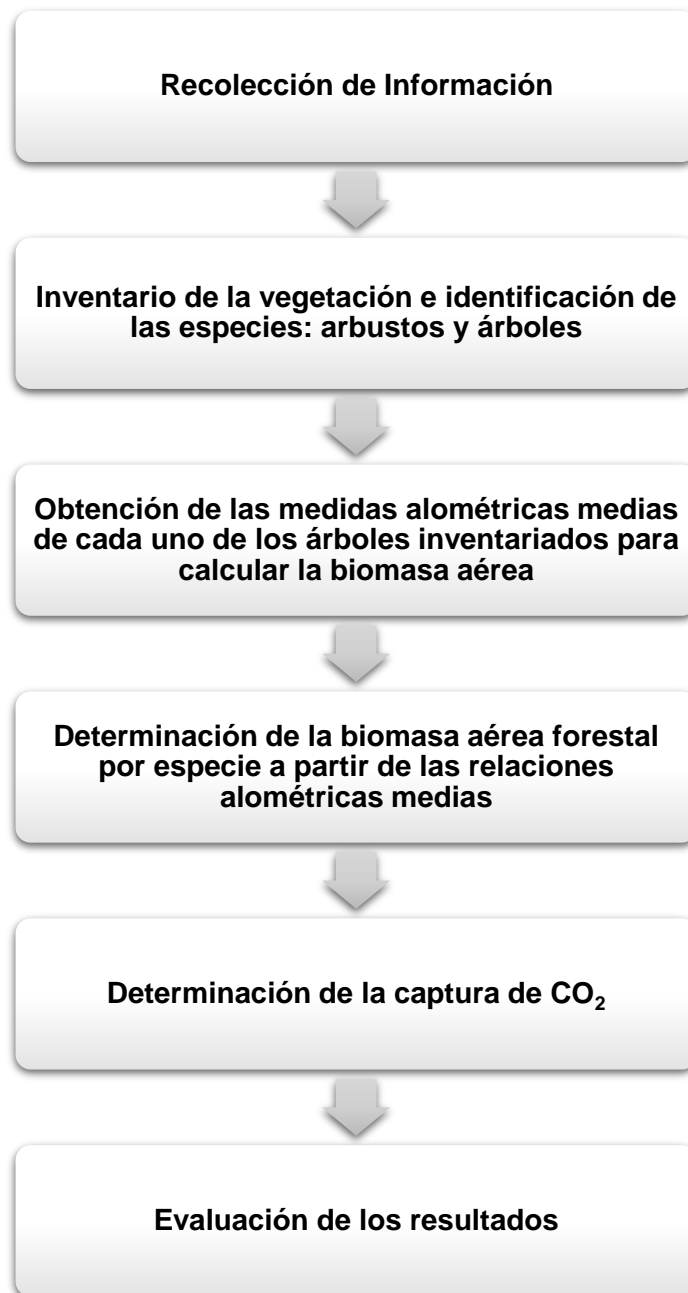
### 3.4 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

#### 3.4.1 Acciones y actividades

Las secuencias de los pasos seguidos en el presente trabajo de investigación se visualizan en la Figura 1:

**Figura 1**

*Procedimientos a desarrollar en la investigación*



### 3.4.2 Inventario de la vegetación arbórea e identificación de las especies forestales

Se efectuó el inventario forestal identificando las especies existentes y determinando el número de individuos de cada una de ellos.

### 3.4.3 Determinación de la biomasa aérea forestal por especie a partir de las relaciones alométricas

El método para medir y estimar la biomasa arbórea sobre del suelo fue el método indirecto o no destructivo descrito por Brown et al. (1989) como se citó en Manrow, (2017) y recomendado por Pradhan et al., (2022) por ser una ecuación común para el cálculo de la biomasa y que consiste en:

- Uso de factores de expansión de la biomasa tomando como referencia el volumen del componente comercial (tronco principal);
- Uso del modelo alométrico de tipo exponencial cuenta con un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0,97 lo que lo hace considerar razonable para aplicarlo por la circunstancia de que solo requiere de las variables diámetro (D) y altura total (H).
- La medición del diámetro (D) de los árboles se realizó a la altura del pecho (DAP) y a 1,20 m (parque) y 1,5 (chacra) sobre el nivel del suelo, usando una cinta métrica en cm.
- La altura total (H) es la medida de la distancia vertical entre el nivel del suelo y el extremo superior del árbol, se utilizó una regla y posicionándose a una distancia que cubra el tamaño del árbol (Anexo 13), se aplica una regla de tres simple medir la altura total.
- Una vez que se cuente con todos los datos necesarios se aplicara la ecuación alométrica para estimar la biomasa.

$$Bt = e^{(-2,409+0,9522 \ln (D^2 H))} \quad (1)$$

Donde:

Bt = biomasa aérea total (kg)

e = base de logaritmo natural (2,718271)

D = diámetro a la altura del pecho (cm)

H = altura total del árbol (m)

La ecuación de regresión requerirá de las unidades expresadas en kg, en consecuencia, serán las unidades de entrada para las variables de la ecuación alométrica.

#### 3.4.4 Determinación de la captura de CO<sub>2</sub> por especie forestal

Una vez obtenido el inventario de la biomasa aérea de la vegetación arbórea, se desarrollarán las respectivas transformaciones para alcanzar los valores en términos de kilogramos de CO<sub>2</sub> almacenadas, para ello se empleó la fracción de carbono, tomando en consideración, las normas establecidas por el (IPCC, 2006) que recomiendan “utilizar 0,5 como fracción de carbono ( $F_{CO_2}$ ) en materia seca en caso de no existir datos disponibles”. Asimismo, las investigaciones efectuadas por Brown (1989) determinaron “en base a las estimaciones de la cantidad de carbono almacenado para diversos tipos de bosques naturales, bosques secundarios, repoblaciones y especies forestales, que el valor de la fracción de carbono en materia seca es de un 50% para todas las especies en general” (Brown et al., 1989).

Para calcular el CO<sub>2</sub> fijado en los árboles, “se multiplicará por el factor de conversión 3,67, pues una molécula de carbono pesa 12 g/mol y una molécula de CO<sub>2</sub> pesa 44 g/mol, la relación  $44/12 = 3,67$  y una tonelada de carbono fijada en un árbol equivale a fijar 3,67 de CO<sub>2</sub>” (Rebaza & Rodriguez, 2020)

$$\text{Captura } CO_2 = B_t \times F_{CO_2} \times F_c \quad (2)$$

Donde:

$B_t$  = Biomasa aérea total

$F_{CO_2}$  = Fracción de carbono (0,5)

$F_c$  = Factor de conversión (3,67)

#### 3.4.5 Materiales y/o instrumentos

##### 3.4.5.1 En campo

- Cuaderno de apuntes            2 unid.
- Lapiceros                            1 caja
- Wincha de 10 m                    1 unid.
- Plumón de tinta indeleble    2 unid.
- Regla 30 cm                        1 unid

### 3.4.5.2 Equipos

- Cámara fotográfica 1 unid.
- Laptop Hp 1 unid.

## 3.5 Procesamiento y análisis de datos

Para la presentación comparativa de los datos de captura de CO<sub>2</sub> (Anexo 4) se utilizó la figura de distribución de barras y gráfica de caja y bigote al 95 % de confianza, presentado los estadígrafos de posición y dispersión.

Para la comprobación de las hipótesis propuestas, previamente se evaluó la normalidad de los datos obtenidos y luego se aplicó la prueba de comparación de dos muestras independientes no paramétrica de Mann-Whitney al 5 % del nivel de significancia.

Para los cálculos respectivos se aplicó el software SPSS 22.



## CAPÍTULO IV: RESULTADOS

### 4.1 Captura de CO<sub>2</sub> de las muestras urbano y rural

**Tabla 2**

*Cálculos biométricos de captura de CO<sub>2</sub> en kg por especie según área verde*

Rural				Urbano		
Arbusto		Árbol		Arbusto	Árbol	
7,54	165,53	29,74	148,40	29,31	215,51	124,59
47,39	166,25	37,11	150,01	45,56	222,83	127,73
49,08	169,61	43,30	155,07	52,29	237,69	205,33
55,05	171,07	45,92	158,51	53,41	264,02	206,72
55,88	174,46	47,16	164,86	57,55	269,40	282,14
58,32	174,46	57,29	167,61	62,61	287,62	293,69
60,81	177,40	58,07	183,79	75,58	333,26	402,77
60,81	182,19	63,45	189,53	81,56	339,23	463,81
61,31	192,00	67,26	207,53	83,92	343,11	526,42
63,56	193,83	71,65	217,40	91,37	366,09	898,76
71,44	193,83	71,65	217,52	93,97	383,38	1313,32
73,78	203,16	77,44	222,36	96,85	401,17	1374,45
76,48	209,18	78,45	222,45	99,54	406,74	1894,61
78,36	210,95	89,25	227,25	101,36	426,90	2425,96
83,07	217,83	89,66	229,81	107,80	435,50	2945,86
83,25	223,54	94,90	274,14	109,39	475,52	3922,27
87,10	227,66	95,94	289,89	111,02	482,53	5837,09
90,17	227,66	96,09	317,43	111,02	488,20	6773,74
92,11	227,66	99,31	317,43	118,49	496,50	7027,19
92,47	232,27	101,01	317,43	130,53	496,60	9965,95
93,47	237,08	103,76	319,28	133,67	615,36	
94,56	237,18	105,01	320,57	146,04	666,11	
100,56	252,58	106,66	326,52	146,90	733,84	
114,44	257,03	108,48	335,65	153,25	747,37	
123,26	257,09	108,54	342,05	163,58	925,12	
126,04	266,43	109,58	342,05	163,58	1318,11	
127,60	266,43	112,01	353,63	165,17	1360,47	
129,89	266,84	116,64	377,76	169,14		
131,00	271,40	119,49	384,80	169,46		
135,44	272,24	120,43	393,89	175,88		
145,00	331,12	121,92	402,60	176,32		
145,00	344,81	123,91	630,27	184,97		
145,63	344,81	123,91	648,89	188,05		
146,61	467,66	131,39	765,07	195,66		
148,65	700,00	139,08	1052,42	200,47		
148,65		139,97	1112,75	207,53		
156,03		142,16	3234,48	207,61		
156,03		142,16		211,51		

La Tabla 2 muestra los cálculos de captura del CO<sub>2</sub> en kg con valores mínimos y máximos para cada especie de las muestras en estudio sector Urbana parque Plaza de la Bandera y sector Rural “Fundo la Fortaleza”. Diferenciándose en árboles y arbustos por el tamaño de los mismos siendo hasta 4 m considerado arbusto y mayor de 4 m se consideró árbol, donde ambas muestras registraron más arbustos que árboles. En la Tabla 3 se muestra el resumen de los valores de la captura de CO<sub>2</sub> según sus promedios y suma total en kilogramos.

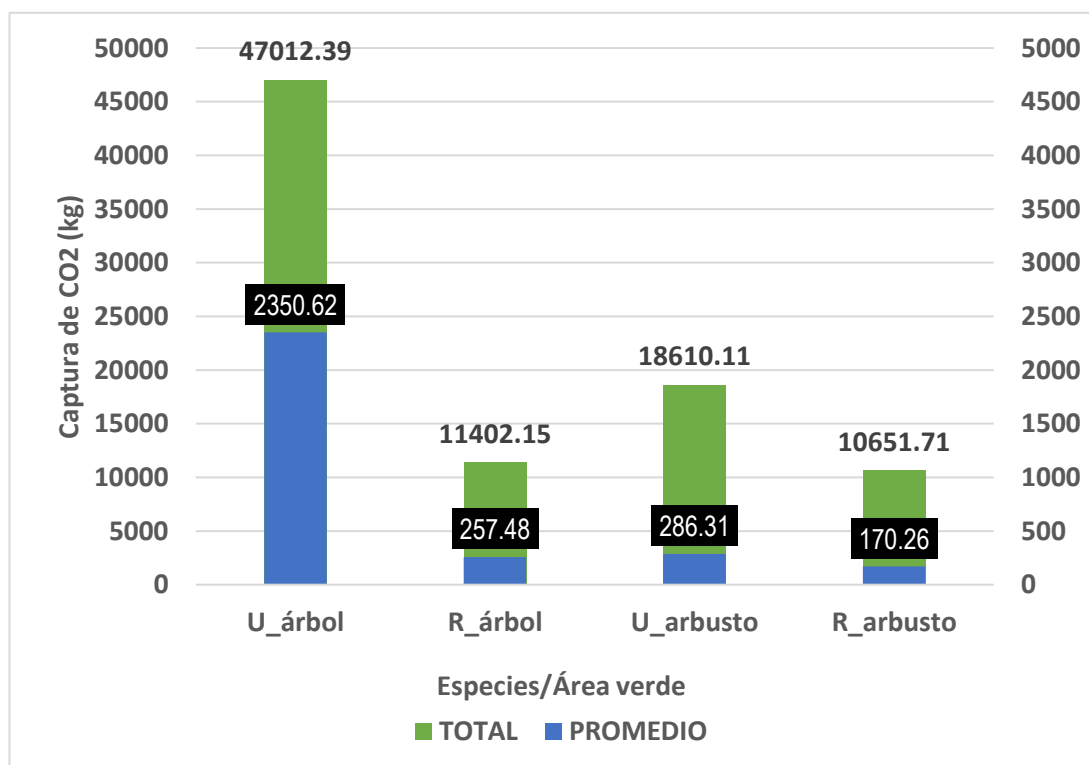
**Tabla 3**

*Resumen de cálculos de captura de CO<sub>2</sub>*

Área verde	Especie	Número de especie	Promedio	Suma	Mínimo	Máximo
Urbana	Arbusto	65	286,31	18610,11	29,31	1360,47
	Árbol	20	2350,62	47012,39	124,59	9965,95
Rural	Arbusto	73	170,26	10651,71	7,54	700,00
	Árbol	75	257,48	11402,15	29,74	3234,48

**Figura 2**

*Suma total y promedio de CO<sub>2</sub> en relación a las especies de las áreas verdes*

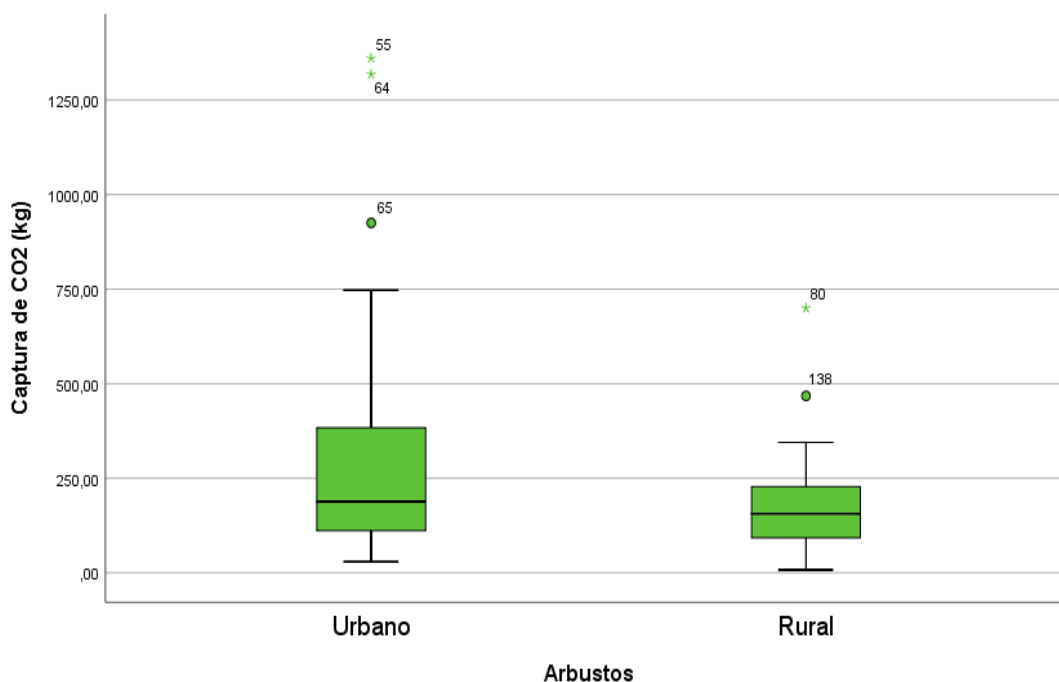


La Figura 2 destaca los promedios de captura agrupados en especies para cada área verde, donde las especies categorizadas como árbol del sector urbano son los que mayor cantidad promedio han reportado mientras que el de menor captura resultaron los arbustos del área verde rural

#### 4.2 Diferencia de la captura de dióxido de carbono CO<sub>2</sub>, por los arbustos

**Figura 3**

*Comparación de captura de CO<sub>2</sub> de arbustos de áreas verdes urbano y rural*



La Figura 3 de gráfica de caja, muestra comparativamente las diferencias en la captura del CO<sub>2</sub> entre los arbustos de las áreas verdes urbano y rural, donde se destaca que la distribución de la captura de carbono para los arbustos del área rural es menos dispersa en sus valores, es decir en general los arbustos rurales además de ser de menor capacidad son homogéneos en capturar CO<sub>2</sub>, es decir que en general son arbustos de poco desarrollo en comparación con los arbustos del parque que muestra una tendencia a ser mayor que su promedio, es decir que son arbustos desarrollados.

#### 4.2.1 Prueba de hipótesis de normalidad para los datos de las de muestras de captura de CO<sub>2</sub> por arbustos

##### Planteamiento de Hipótesis

- Ho: Las muestras sigue una distribución normal
- H1: Las muestras no sigue una distribución normal
- Establecer nivel de Significancia (alfa)  $\alpha = 0,05$
- Seleccionar estadístico de prueba: para muestra grandes  $> 50$ ; K\_S

**Tabla 4**

*Resumen de análisis de normalidad para muestras de arbustos*

		Arbusto_R	Arbusto_U
Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>	Estadístico	0,110	0,208
	gl	73	65
	Sig.	0,029	0,000
Shapiro-Wilk	Estadístico	0,852	0,756
	gl	73	65
	Sig.	0,000	0,000

- Lectura del p-valor: La Tabla 4 muestra que la probabilidad de la hipótesis alterna es de 0,000 para ambas muestras
- Toma de decisiones: como el p valor es menor que el nivel de significancia, rechazamos la Ho y aceptamos la H1.
- Interpretación: La muestra sigue una distribución no normal o no paramétrica.

Por lo tanto, se aplicó la prueba no paramétrica de Mann-Whitney para determinar la existencia de diferencia en la cantidad de dióxido de carbono CO<sub>2</sub>

capturado por los arbustos existentes en las áreas verdes urbano y rural de la urbanización Para Chico y Sector Valle Viejo.

#### 4.2.2 Prueba de comparación de muestras de captura de CO<sub>2</sub> por arbustos

Planteamiento de Hipótesis

- Ho: No existe diferencia significativa en la captura de CO<sub>2</sub> entre las muestras
- H1: Existe diferencia significativa en la captura de CO<sub>2</sub> entre las muestras
- Establecer nivel de Significancia (alfa)  $\alpha = 0,05$
- Seleccionar estadístico de prueba: No paramétrica para muestras independientes U de Mann-Whitney

**Tabla 5**

*Resumen del análisis de comparación de muestras de arbustos*

Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
La distribución de CO <sub>2</sub> _arbustos es la misma entre categorías de ARBUSTOS.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	0,017	Rechace la hipótesis nula.

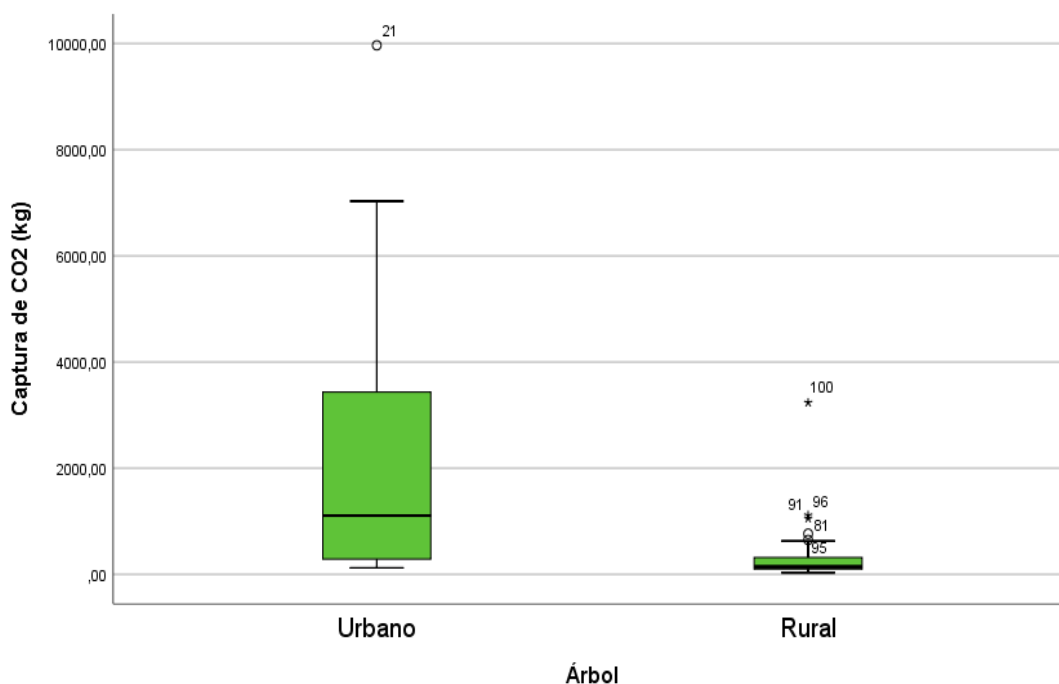
- Lectura del p-valor: La Tabla 5 muestra que la probabilidad de la hipótesis alterna es de 0,017.
- Toma de decisiones: como el p valor es menor que el nivel de significancia, rechazamos la Ho y aceptamos la H1.
- Interpretación: Existe diferencia significativa en la captura de CO<sub>2</sub> entre las muestras.

Es decir que se confirma la evidente diferencia observada en la Figura 3 de diferencias en los niveles de capturas de CO<sub>2</sub> por los arbustos del área urbano respecto al rural.

#### 4.3 Diferencia de la captura de dióxido de carbono CO<sub>2</sub>, por los árboles

**Figura 4**

*Comparación de captura de CO<sub>2</sub> de árboles de áreas verdes urbano y rural*



La Figura 4 de gráfica de caja, muestra comparativamente las diferencias en la captura del CO<sub>2</sub> por parte de los árboles de las áreas verdes urbano y rural, donde se observa que la dispersión de los datos de captura de carbono es menor en los árboles rurales, que se muestran más homogéneos en la captura CO<sub>2</sub>, que con respecto a los árboles del sector urbano que muestra una tendencia a ser mayor que su promedio, incluso con valores muy extremos y sesgados a alcanzar valores de captura muy elevados, alcanzando casi los 10 000 kg.

Para la prueba de hipótesis de comparación de ambas muestras de árboles, se aplicó la prueba no paramétrica de Mann-Whitney puesto que el análisis previo de normalidad resultó significativa.

### 4.3.1 Prueba de normalidad para los datos de muestras de captura de CO<sub>2</sub> por arboles

#### Planteamiento de Hipótesis

- Ho: Las muestras sigue una distribución normal
- H1: Las muestras no sigue una distribución normal
- Establecer nivel de Significancia (alfa)  $\alpha = 0,05$
- Seleccionar estadístico de prueba: para muestra grandes y pequeñas > 50; K\_S, y S\_W

**Tabla 6**

*Resumen de análisis de normalidad para muestras de árboles*

		Árbol_R	Árbol_U
Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>	Estadístico	0,286	0,233
	gl	75	20
	Sig.	0,000	0,006
Shapiro-Wilk	Estadístico	0,430	0,777
	gl	75	20
	Sig.	0,000	0,000

- Lectura del p-valor: La Tabla 6 muestra que la probabilidad de la hipótesis alterna es de 0,000 para ambas muestras
- Toma de decisiones: como el p valor es menor que el nivel de significancia, rechazamos la Ho y aceptamos la H1.
- Interpretación: Las muestras siguen una distribución no normal o no paramétrica.

Por lo tanto, se aplicó la prueba no paramétrica de Mann-Whitney para determinar la existencia de diferencia en la cantidad de dióxido de carbono CO<sub>2</sub>

capturado por los arbustos existentes en las áreas verdes urbano y rural de la urbanización Para Chico y Sector Valle Viejo.

#### 4.3.2 Prueba de comparación de muestras de captura de CO<sub>2</sub> por árbol

Planteamiento de Hipótesis

- Ho: No existe diferencia significativa de captura de CO<sub>2</sub> entre las muestras
- H1: Existe diferencia significativa de captura de CO<sub>2</sub> entre las muestras
- Establecer nivel de Significancia (alfa)  $\alpha = 0,05$
- Seleccionar estadístico de prueba: No paramétrica para muestras independientes U de Mann-Whitney

**Tabla 7**

*Resumen del análisis de comparación de muestras de árbol*

Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
La distribución de CO <sub>2</sub> _Arboles es la misma entre categorías de ARBOLES.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	0,000	Rechace la hipótesis nula.

La Tabla 7 muestra que el valor p (0,000) es mucho menor que el valor  $\alpha$ , entonces se acepta que las medianas de captura de las muestras de árboles son estadísticamente diferentes.

Es decir que se confirma la evidente diferencia observada en la Figura 4 entre los niveles de capturas de CO<sub>2</sub> por los árboles del área urbano respecto al rural.



## CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en el presente estudio coinciden con lo afirmado por Yang et al., (2005) y Velasco et al., (2013) quienes concluyen que los bosques urbanos pueden contribuir significativamente a la reducción de la contaminación del aire al aliviar la intensidad de la isla de calor, además mencionan que la vegetación en un área urbana contribuye a la captura de CO<sub>2</sub> durante el día y promueve el enfriamiento del aire local por transpiración, es decir que desde el punto de vista urbano al menos en la región Tacna si es posible establecer propuesta de mitigación como una alternativa para aportar en el control del cambio climático.

McHale et al., (2009) afirmaron que actualmente que para evaluar el CO<sub>2</sub> absorbido por la vegetación urbana, generalmente los métodos aplicados se basan en estimaciones indirectas y son propensos a incertidumbres. Eso se ha comprobado con el presente estudio, pues tampoco estuvo libre de la incertidumbre de los datos recogidos, específicamente de las dispersiones de los datos en lo que respecta a los árboles del área verde urbana donde se lograron registrar capturas de CO<sub>2</sub> con valores muy extremos.

En las zonas urbanas, los árboles han sido uno de los depósitos de carbono orgánico mejor estudiados y los estudios han demostrado que, en general, los bosques urbanos almacenan aproximadamente la mitad de carbono que los bosques nativos. Un problema potencialmente importante con la mayoría de estos análisis es que carecen de una medición directa del volumen de árboles urbanos y biomasa (Pataki et al., 2006).

Estas afirmaciones explicarían, porque el parque urbano presenta mayor capacidad de captura del CO<sub>2</sub> que el área rural y considerando la característica leñosa como criterio de evaluación, en el parque se han encontrado árboles antiguos, mientras en el área verde rural abunda árboles de altura destacable pero que al mismo tiempo denotan juventud. Es decir que en Tacna al menos, no solo basta tener un área verde frondosa de hojas, sino que para efecto de control del CO<sub>2</sub> son más eficientes aquellos árboles que logren un desarrollo notable de su corteza, he ahí la importancia de no solo sembrar árboles, sino permitir que se desarrollen. Prueba de ello es que los análisis de correlaciones de Pearson entre el diámetro DAP y captura de CO<sub>2</sub> de arbustos o árboles presentaron valores cercanos a 1 (Anexo 5 y 6), resultados similares a lo obtenido por Nogueira et al., (2014) al correlacionar DAP<sup>2</sup>

tuvo la mayor correlación con la biomasa; es decir que para explicar la mayor captura de CO<sub>2</sub> el factor más importante es el diámetro sobre la altura de la especie, ya sea árbol o arbusto. Esto confirma lo enunciado por Golubiewski, (2006) quien indica que la vegetación leñosa en particular puede ser una reserva de almacenamiento de carbono notable y su importancia tiende a aumentar con la madurez de los bosques urbanos.

Con respecto al cálculo de captura de CO<sub>2</sub> Townsend & Czimczik, (2010) indican que una evaluación más completa debería incluir las emisiones asociadas con la gestión de los árboles (es decir, cebado, corte, riego, fertilización, eliminación de escombros, etc.) que podrían compensar aún más cualquier reducción de carbono. Es decir que, para el caso de las áreas verdes sobre todo rural, como es el caso del Fundo La Fortaleza, se deben considerar dichos criterios pues el ambiente en el cual se crecen los árboles y arbustos están bajo la acción precisamente de fertilizantes y escombros con riegos y cortes controlados, labores que bien podría afectar en la acción de la captura del carbono.

Con respecto a las políticas de mitigación del cambio climático basadas en la promoción de la plantación de árboles, la preservación de espacios verdes y la arquitectura verde Velasco et al., (2016) sostienen que muchas ciudades están desarrollando políticas para promover la vegetación como una medida para reducir sus emisiones netas de gases de efecto invernadero. Los estudios sugieren que los bosques urbanos pueden representar una importante reserva de carbono. Sin embargo, el potencial para eliminar directamente el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) de la atmósfera por medio de la vegetación urbana todavía está poco respaldado por la evidencia científica. Es decir que, para diseñar un área verde urbana, esta debe ser capaz de contener las emisiones de CO<sub>2</sub> que genere el área urbana.

Los árboles frutales identificados (ciruelos, manzanos, paltos y nísperos) son en general propios de la región, pero de reciente adaptación como se verificó al momento de realizar las mediciones. Es decir que su beneficio sería evidente si lograsen convertirse en árboles, pero dado el propósito por el que se cultivan en una zona rural, es poco probable que eso ocurra pues el productor pretende desarrollar árboles de fácil acceso al fruto y de no tan avanzada edad.

Rocha et al., (2017) determinaron que para una cantidad total de biomasa vegetal en el parque en estudio es de 460,64 toneladas/ha el almacenamiento de carbono es de 207,29 toneladas/ha. Estableciendo que el potencial de almacenamiento de dióxido de carbono estimado es de 760,75 toneladas / ha dentro del área total del parque que en realidad es un bosque protegido. Dichos valores de captura son elevados en comparación los obtenidos tanto a nivel del parque y de la chacra del sector Valle Viejo. es decir que cuenta con árboles de elevada altura y veteranos, que son las condiciones que dan a entender que son especies que si están efectuando una captura significativa del CO<sub>2</sub>.

Lindén et al., (2020) establecieron que los efectos de la gestión del parque y el tipo de vegetación no se pueden separar y además sostienen que el tiempo tiene un efecto positivo en las reservas de carbono de los árboles y el suelo. Es decir, sugieren que se debe considerar en el cálculo de la captura del CO<sub>2</sub> la juventud o veteranía de las especies de árboles y arbustos pues tal como sucedió con la muestra de especies de la zona rural, la menor capacidad de captura se explicaría porque el terreno presenta mayormente frutales de reciente desarrollo mientras que el parque sus arbustos y arboles ya son de larga data.

Tal como lo indican Gratani & Varone, (2007) la vegetación de áreas urbanas puede reducir potencialmente la concentración atmosférica de CO<sub>2</sub> al fijar el carbono durante la fotosíntesis y almacenar el exceso como biomasa en los tejidos vegetales. a ritmos diferentes. Comportamiento que también coincide con los resultados obtenidos puesto que el área verde del parque (0,8462 ha) supero en capacidad de captura al área verde de la zona rural (1,0020 ha) tanto a nivel de árboles como a nivel de arbustos.

Tacargo & Hidalgo, (2018) determinaron la captura de carbono del bosque de *Polylepis sp.*, presento una biomasa de los árboles es de 37,953 tC / ha, valores elevados con respecto a los obtenidos en el presente estudio, y se puede entender porque las especies de *Polylepis sp* se obtuvieron de un bosque andino, a diferencia de una chacra joven de la región costa, las de región andina capturan más, sin embargo son los bosques los que realmente presentan valores considerables, aunque Pumasupa, (2018) estimó que el bosque relicto de carzo posee un stock de carbono de 4,5244 tC/ha, valor que si bien es alto, no es de considerable diferencia con lo obtenido, resultado que le permite sostener que los bosques de pueden ayudar

a mitigar el cambio climático a través del servicio ecosistémico de secuestro y almacenamiento de carbono.

Aparentemente el área verde urbana del parque “Plaza de la Bandera” presenta mejores condiciones de captura del CO<sub>2</sub> en comparación con el área verde rural, y eso destacaría más porque dicha área verde es cercana a la zona poblada afectando de manera positiva en el ornato del sector en consecuencia la mejora de la calidad de vida de los pobladores. Al respecto Grunewald et al., (2017) sostienen que la proximidad a los espacios verdes urbanos (UGS), tiene impacto positivo en el bienestar humano, como beneficios para la salud física y mental, así como la cohesión social frente a la urbanización en curso en todo el mundo, también la política reconoció la necesidad de acceso UGS.

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible recomienda el suministro de UGS seguros y accesibles, en particular para grupos de población vulnerables como ancianos y niños (United Nations, 2015). Los indicadores para evaluar la accesibilidad espacial a UGS incluyen métricas como UGS per cápita (Badiu et al., 2016) o por bloque (Larondelle & Lauf, 2016).

Asimismo, el área rural del “Fundo Fortaleza” mantiene una distancia del área urbana de aproximadamente 1 km, sin embargo, esa distancia se está acortando en la medida que, con los años, los alrededores van urbanizándose y prácticamente dicha condición bien la ubicaría ya no como área verde rural sino urbana al disminuir su distancia de ubicación. Bajo esa consideración Kabisch et al., (2016) afirman que las proximidades residenciales se definen, por ejemplo, por espacios verdes de un tamaño mínimo de 2 ha dentro de una distancia entre 300 y 500 m o a escala nacional en Alemania por espacios verdes de al menos 1 ha dentro de una distancia de camino de 500 m.

Bajo estas consideraciones, Artmann et al., (2019) consideran como información importante para la planificación urbana, el cumplimiento mínimos requisitos para asegurar un suministro suficiente de áreas verdes urbanas AVU. Sin embargo, indican que al evaluar la accesibilidad a AVU, se presentan algunos límites y vacíos de investigación en términos metodológicos y contextuales, es decir que aún no se establecen parámetros que sirvan de referencia para diseñar condiciones de área y cercanía de una determinada urbanización hacia una determinada área verde.

## CONCLUSIONES

El estudio determinó que existen diferencias en la capacidad de captura del CO<sub>2</sub> (p valor <0,05) entre los arbustos del área urbana y área rural, siendo el área verde urbana la que presentó mayor captura, pues se obtuvo un promedio de captura de 286,31 kg/año mientras que los arbustos del área rural reportaron un promedio de 170,26 kg/año; diferencias que probablemente sean a causa de los cuidados para ambas áreas, como es el ornato por parte de parques y jardines (urbano) y la producción de frutales por parte del fundo (rural).

También se determinó que existe diferencia significativa (p valor <0,05) entre los árboles de áreas urbanas y del área rural, donde los árboles del área urbana presentaron un promedio de captura de 2350,6 kg/año mientras que los árboles del área rural reportaron un promedio de 257,48 kg/año; donde las probables diferencias sean en el caso del en el área urbana, el cuidado del árbol en el crecimiento, mientras en el área rural prioriza la facilidad del manejo agrícola más que el crecimiento.

## RECOMENDACIONES

Las autoridades municipales deben mostrar preocupación en el aumento de las áreas verdes en la ciudad, priorizando el cuidado de los árboles para que logren el desarrollo de la corteza similar como si estuvieran en un bosque y favorezca la captura del CO<sub>2</sub>.

En el caso de las áreas verdes urbanas, se debería considerar las especies nativas de la región Tacna (Vilca, pino, molle) para favorecer su desarrollo y por ende ser significativos en su capacidad de captura del CO<sub>2</sub>, así como realizar campañas de plantación masiva de árboles.

Realizar más estudios sobre cuantificación de CO<sub>2</sub> en la región, para establecer comparaciones entre especies, áreas y factores ambientales que pueden influir.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, M., Hernández, J. J. V., Martínez, A. V., & Barra, J. D. E. (2002). Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. *Agrociencia*, 36(6), 725-736.
- Akbari, H., Pomerantz, M., & Taha, H. (2001). Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. *Solar Energy*, 70(3), 295-310. [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(00\)00089-X](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(00)00089-X)
- Arévalo, L., Alegre, J., & Palm, C. (2003). *Manual de reservas de carbono en diferentes Sistemas de uso de la tierra*. Grafica Miguel Alvarez.
- Artmann, M., Mueller, C., Goetzlich, L., & Hof, A. (2019). *Supply and Demand Concerning Urban Green Spaces for Recreation by Elderlies Living in Care Facilities: The Role of Accessibility in an Explorative Case Study in Austria*. *Front. Environ. Sci.*
- Bae, J., & Ryu, Y. (2015). Land use and land cover changes explain spatial and temporal variations of the soil organic carbon stocks in a constructed urban park. *Landsc. Urban Plan*, 136, 57-67.
- Benedict, M., & McMahon, E. (2006). *Green Infrastructure: Linking Landscapes and Communities: Vol. June*). Urban Land.
- Brown, S., Gillespie, A. J. R., & Lugo, A. E. (1989). Biomass Estimation Methods for Tropical Forests with Applications to Forest Inventory Data. *Forest Science*, 35(4), 881-902. <https://doi.org/10.1093/forestscience/35.4.881>
- Cabudivo, K. (2017). Secuestro de CO<sub>2</sub> y producción de oxígeno en árboles urbanos de la Av. Abelardo Quiñones—Distrito San Juan Bautista, Loreto—Perú, 2016. *Universidad Nacional de la Amazonía Peruana*. <https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/20.500.12737/4694>

- Cambou, A., Shaw, R., Huot, H., & Vidal-Beaudet, L. (2018). Estimation of soil organic carbon stocks of two cities, New York City and Paris. *Sci. Total Environ.*, *644*, 452-464.
- Chave, J., Réjou-Méchain, M., Búrquez, A., Chidumayo, E., Colgan, M. S., Delitti, W. B. C., Duque, A., Eid, T., Fearnside, P. M., Goodman, R. C., Henry, M., Martínez-Yrizar, A., Mugasha, W. A., Muller-Landau, H. C., Mencuccini, M., Nelson, B. W., Ngomanda, A., Nogueira, E. M., Ortiz-Malavassi, E., ... Vieilledent, G. (2014). Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology*, *20*(10), 3177-3190. <https://doi.org/10.1111/gcb.12629>
- Chiesura, A. (2004). The role of urban parks for the sustainable city. *Landscape Urban Plann.*, 129-138.
- Comission European. (2011). *Emission database for global atmospheric research EDGAR, European Commission*. Obtenido de. <https://edgar.jrc.ec.europa.eu/>
- De Angelis, B. (2000). *A praça no contexto das cidades. O caso de Maringá-PR | História «Sérgio Buarque de Holanda»* [Doctorado em Geografia, Universidade do Sao Paolo]. <https://caph.fflch.usp.br/node/2712>
- De Foresta, H., Somarriba, E., Temu, A., Boulanger, D., Feuilly, H., & Gauthier, M. (2013). *Towards the Assessment of Trees Outside Forests* (Working Paper N.º 183). In: Resources Assessment.
- Dietze, M., Wolosin, M., & Clark, J. (2008). *Capturing diversity and interspecific variability in allometries: A hierarchical approach. 1939–1948: Forest Ecology and Management*. 256.
- Duguma, L., Minang, P., & Van Noordwijk, M. (2014). Climate change mitigation and adaptation in the land use sector: From complementarity to synergy. *Environ Management*, *54*(3), 420-432.
- Escobedo, F., & Nowak, D. (2009). Spatial heterogeneity and air pollution removal by an urban forest. *Landsc. Urban Plann.*, *90*, 102-110.



- FAO. (2010). *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010*. FAO.
- Fares, S., Paoletti, E., Calfapietra, C., Samson, R., & Le Thiec, D. (2017). *Carbon Sequestration by Urban Trees*. Springer.
- Fonseca, G., Ruíz, L., Rojas, M., & Alice, F. (2013). Modelos alométricos para la estimación de biomasa y carbono en *Alnus acuminata*. *Revista de Ciencias Ambientales*, 46, 37-50.
- Francini, G., Hui, N., Jumpponen, A., Kotze, D., Romantschuk, M., & Allen, J. (2018). Soil biota in boreal urban greenspace: Responses to plant type and age. *Soil Biol*, 118, 145-155.
- Gascon, M., Triguero, M., Martínez, D., Dadvand, P., Rojas, D., & Plasencia, A. (2016). *Residential green spaces and mortality: A systematic review* (P. Med, Ed.).
- Golubiewski, N. (2006). Urbanization increases grassland carbon pools: Effects of landscaping in Colorado's Front Range. *Ecol Appl*, 16, 555-571.
- Gouldson, A., Sudmant, A., Khreis, H., & Papargyropoulou, E. (2018). *The Economic and Social Benefits of Low-Carbon Cities: A Systematic Review of the Evidence*. Coalition for Urban Transitions.
- Gratani, L., Catoni, R., Puglielli, G., Varone, L., Crescente, M., Sangiorgio, S., & Lucchetta, F. (2016). Carbon Dioxide (CO<sub>2</sub>) Sequestration and Air Temperature Amelioration Provided by Urban Parks in Rome. *Energy Procedia*, 408-415.
- Gratani, L., & Varone, L. (2007). Plant crown traits and carbon sequestration capability by *Platanus hybrida* Brot. *Landscape and Urban Planning*, 81, 282-286.
- Grunewald, K., Richter, B., Meinel, G., Herold, H., & Syrbe, R. (2017). Proposal of indicators regarding the provision and accessibility of green spaces for assessing the ecosystem service recreation in the city" in Germany. *Int. J. Biodivers. Sci*, 26-39.

- Gurmesa, G., Schmidt, I., Gundersen, P., & Vesterdal, L. (2013). Soil carbon accumulation and nitrogen retention traits of four tree species grown in common gardens. *For*, 309, 47-57.
- IPCC. (2006). *IPCC. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (Vol. 4). Agriculture, Forestry and Other Land Use. The Intergovernmental Panel on Climate Change . [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4\\_Volume4/V4\\_04\\_Ch4\\_Forest\\_Land.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_04_Ch4_Forest_Land.pdf)
- Janangkakan, B., Chavalparit, O., & Kanchanapiya, P. (2012). Carbon footprint of an academic organization: A case study of the department of environmental engineering, Chulalongkorn university. *Journal of Environmental Research*, 34, 23-35.
- Jim, Y., & Chen, W. (2007). Assessing the ecosystem service of air pollutant removal by urban trees in Guangzhou (China). *J. Environ. Manag.*, 88, 665-676.
- Juraeva, M., Ryu, K., Jeong, S., & Song, D. (2020). Exploration and corrective measures of greenhouse gas emission from fossil fuel power stations for Bangladesh. *J. Clean*, 114-120.
- Kumar, B., & Nair, P. (2011). *Carbon Sequestration Potential of Agroforestry Systems: Opportunities and Challenges*. Advances in Agroforestry 8. Springer Science+Business Media BV.
- Larondelle, N., & Lauf, S. (2016). Balancing demand and supply of multiple urban ecosystem services on different spatial scales. *Ecosyst. Serv*, 18-31.
- Leal, L., Biondi, D., & Rochadelli, R. (2008). Custos de implantação e manutenção da arborização de ruas da cidade de Curitiba, PR. *Revista Árvore*, 32, 557-565. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622008000300016>
- Leung, D., Caramannab, G., & Maroto, M. (2014). An overview of current status of carbon dioxide capture and storage technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 426-443.

- Lindén, L., Riikonen, A., Setälä, H., & Yli-Pelkonen, V. (2020). Quantifying carbon stocks in urban parks under cold climate conditions. *Urban Forestry & Urban Greening*, 9. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1618866719303073>
- Lorenzi, H. (2001). *O homem deve se adaptar á árvore nao ela ao homem. Folha do meio ambiente cultura viva* (pp. 12, 17).
- Lu, C., Kotze, D., & Setälä, H. (2020). Soil sealing causes substantial losses in C and N storage in urban soils under cool climate. *Science of the Total Environment*, 725.
- Lu, C., Kotze, J., & Setälä, H. (2021). *Evergreen trees stimulate carbon accumulation in urban soils via high root production and slow litter decomposition*. Science of The Total Environment.
- Malhi, Y., Grace, J., Malhi, Y., & Grace, J. (2000). Tropical forests and atmospheric carbon dioxide. *Trends in Ecology & Evolution*, 15(8), 332-337. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(00\)01906-6](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(00)01906-6)
- Manrow, M. (2017). *Relación entre la biomasa arriba del suelo y la retrodispersión del sensor ALOS PALSAR en un gradiente de tipos de bosque, como base para el estudio de degradación de carbono en ecosistemas forestales de Costa Rica*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- McHale, M., Burke, I., Lefsky, M., Peper, P., & McPherson, E. (2009). Urban forest biomass estimates: Is it important to use allometric relationships developed specifically for urban trees? *Urban Ecosystems*, 12, 95-113.
- Melo, C., & Sanquetta, R. (2008). *Qualificação de biomassa e carbono em reflorestamento de restaurado*. [Relatório parcial de projeto pesquisa]. Secretaria do Meio Ambiente. Floresta estadual de Assis, Lutécia.
- MINAM. (2015). *Guía de inventario de la flora y vegetación*. <https://www.gob.pe/institucion/minam/informes-publicaciones/2683-guia-de-inventario-de-la-flora-y-vegetacion>

- Mokany, K., Raison, R., & Prokushkin, A. (2006). Critical analysis of root shoot:ratios in terrestrial biomes. *Global Change Biology*, *12*, 84-96.
- National Geographic Society. (2022). *Urban Area | National Geographic Society*. <https://education.nationalgeographic.org/resource/urban-area>
- Návar, J. (2009). Allometric equations and expansion factors for tropical dry trees of eastern Sinaloa, Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, *10*, 45-52.
- Nobel, P. (2009). *Physicochemical and environmental plant physiology*. Academic Press.
- Nogueira, L. R., Engel, V. L., Parrotta, J. A., Melo, A. C. G. de, & Ré, D. S. (2014). Allometric equations for estimating tree biomass in restored mixed-species Atlantic Forest stands. *Biota Neotropica*, *14*. <https://doi.org/10.1590/1676-06032013008413>
- Noordwijk, M. van (Ed.). (2011). *How trees and people can co-adapt to climate change: Reducing vulnerability in multifunctional landscapes*. World Agroforestry Centre.
- Nunes, L. J. R., Meireles, C. I. R., Pinto Gomes, C. J., & Almeida Ribeiro, N. M. C. (2020). Forest Contribution to Climate Change Mitigation: Management Oriented to Carbon Capture and Storage. *Climate*, *8*(2), 21. <https://doi.org/10.3390/cli8020021>
- OMS. (2016). *Urban green spaces and health—A review of evidence*. Regional office for europe, 80. [https://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0005/321971/Urban-green-spaces-and-health-review-evidence.pdf](https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/321971/Urban-green-spaces-and-health-review-evidence.pdf)
- Pataki, D., Alig, R., Fung, A., & Golubiewski, N. (2006). Urban ecosystems and the North American carbon cycle. *Glob Chang Biol*, *12*, 2092-2102.
- Pouyat, R., Yesilonis, I., & Nowak, D. (2006). Carbon storage by urban soils in the United States. *J. Environ. Qual.*, *35*, 1566-1575.

- Pradhan, R., Sarkar, B. Ch., Abha Manohar, K., Shukla, G., Tamang, M., Vineeta, Bhat, J. A., Kumar, M., & Chakravarty, S. (2022). Biomass carbon and soil nutrient status in urban green sites at foothills of eastern Himalayas: Implication for carbon management. *Current Research in Environmental Sustainability*, 4, 100168. <https://doi.org/10.1016/j.crsust.2022.100168>
- Pumasupa, M. (2018). *Cuantificación de la captura de carbono de la especie forestal Haplorhus peruviana carzo como servicio ambiental en el valle de cinto, provincia Jorge Basadre, región Tacna*. Universidad Privada de Tacna. [https://repositorio.upt.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12969/558/Pumasupa\\_Solorzano\\_Marly.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.upt.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12969/558/Pumasupa_Solorzano_Marly.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Rebaza, L., & Rodriguez, K. (2020). *Cuantificación de dióxido de carbono por la captura en las áreas verdes de la Universidad Nacional de Trujillo*.
- Reyes, I., & Gutierrez, J. J. (2010). Los servicios ambientales de la arborización urbana: Retos y aportes para la sustentabilidad de la Ciudad de Toluca. *Quivera (México) Num. 1 Vol. 12*. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/39090>
- Richins, V. (2021). *What Is the Difference Between a Tree and a Shrub?* The Spruce. <https://www.thespruce.com/the-difference-between-trees-and-shrubs-3269804>
- Rocha, W., Pereira, A. M., Silva, D., & Fraga, J. A. (2017). Estimativa de biomassa vegetal e sequestro de carbono no Parque Natural Municipal Flor do Ipê, Várzea Grande, MT. *Multitemas*, 22, 51.
- Rojas, D., Nieuwenhuijsen, M., Gascon, M., Perez, D., & Mudu, P. (2019). Green spaces and mortality: A systematic review and meta-analysis of cohort studies. *Lancet Planet Health*, 469-477.
- Safford, H., Larry, E., McPherson, E., Nowak, D., & Westphal, L. (2013). *Urban Forests and Climate Change | Climate Change Resource Center*. <https://www.fs.usda.gov/ccrc/topics/urban-forests>

- Sánchez, E., Castro, T., Peralta, Ó., Álvarez-Ospina, H., Espinosa, M. D. L. L., Martínez-Arroyo, A., Sánchez-León, E., Castro, T., Peralta, Ó., Álvarez-Ospina, H., Espinosa, M. D. L. L., & Martínez-Arroyo, A. (2016). Estimated carbon dioxide exchange for three native species in an ecological reserve of Mexico City. *Atmósfera*, 29(3), 189-196. <https://doi.org/10.20937/ATM.2016.29.03.01>
- Scarpinella, G. (2002). *Reflorestamento no Brasil e o Protocolo de Quioto* (p. 182) [Dissertação de Mestrado]. USP.
- Segura, M., & Andrade, H. (2008). ¿Cómo hacerlo? ¿Cómo construir modelos alométricos de volumen, biomasa o carbono de especies leñosas perennes? *Agroforestería de las Américas*, 46, 89-96.
- Setälä, H., Francini, G., Allen, J., Hui, N., Jumpponen, A., & Kotze, J. (2016). Vegetation Type and Age Drive Changes in Soil Properties, Nitrogen, and Carbon Sequestration in Urban Parks under Cold Climate. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 4:93. <https://doi.org/10.3389/fevo.2016.00093>
- Shan, Y., Jingping, C., Liping, C., Zhemin, S., Xiaodong, Z., Dan, W., & Wenhua, W. (2007). Effects of vegetation status in urban green spaces on particle removal in a street canyon atmosphere. *Acta Ecol*, 27, 4590-4595.
- Smith, K., Ball, T., Conen, F., Dobbie, K., Massheder, J., & Rey, A. (2003). Exchange of greenhouse gases between soil and atmosphere: Interactions of soil physical factors and biological processes. *Eur. J. Soil Sci*, 779-791.
- Sunakorn, P., & Kasemsap, P. (2010). CO2 uptake performance of climbing plant wall. *Journal of Architectural/Planning Research and Studies*, 7, 175-190.
- Tacargo, A., & Hidalgo, P. (2018). *Estimación del potencial de captura de carbono de la principal flora en el bosque alto de la comunidad campesina de la provincia de Tumba-Yungai*. 2018. <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/2780>

- Tiessen, H., Feller, C., Sampaio, B., & Garin, P. (1998). Carbon Sequestration and Turnover in Semiarid Savannas and Dry Forest. *Climatic Change*, 105-117.
- Toledo, A. (2020). *Captura de Carbono en la especie Tillandsia werdermannii y Tillandsia purpurea (siempre viva) en las Lomas Arrojadero situada entre los Distritos de Inclán y Locumba, Tacna*. Universidad Privada de Tacna.
- Townsend, A., & Czimczik, C. (2010). Carbón sequestration and greenhouse gas emissions in urban turf. *Geophysical Research Letters*, 37.
- United Nations. (2015). *Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development | United Nations Development Programme*. UNDP. <https://www.undp.org/kyrgyzstan/publications/transforming-our-world-2030-agenda-sustainable-development>
- Velasco, E., Roth, M., Norford, L., & Molina, L. (2016). Does urban vegetation enhance carbon sequestration? *Landscape and Urban Planning*, 99-107.
- Velasco, E., Roth, M., Tan, H., Quak, S., Nabarro, A., & Norford, L. (2013). The role of vegetation in the CO<sub>2</sub> flux from a tropical urban neighborhood. *Atmos. Chem*, 7267-7310.
- Wright, R., & Boorse, D. (2011). *Environmental Science: Toward a Sustainable Future*. Prentice Hall.
- Yacoob, N., & Mat, M. (2020). *A Review of the Measurement Method, Analysis and Implementation Policy of Carbon Dioxide Emission from Transportation*. 5873.
- Yang, J., McBride, J., Zhou, J., & Sun, Z. (2005). The urban forest in Beijing and its role in air pollution reduction. *Urban For*, 65-78.
- Zomer, R., Trabucco, A., Coe, R., & Place, F. (2009). Trees on farm: Analysis of global extent and geographical patterns of agroforestry. *ICRAF Working Paper - World Agroforestry Centre*, No.89. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20093258088>
- Zomer, R., Trabucco, A., Coe, R., Place, F., & Van Noordwijk, M. (2014). *Trees on farms: An update and reanalysis of agroforestry's global extent and socio-*

*ecological characteristics* (Working Paper N.º 179). Bogor, Indonesia: World Agroforestry Centre (ICRAF) SEA Regional Program.



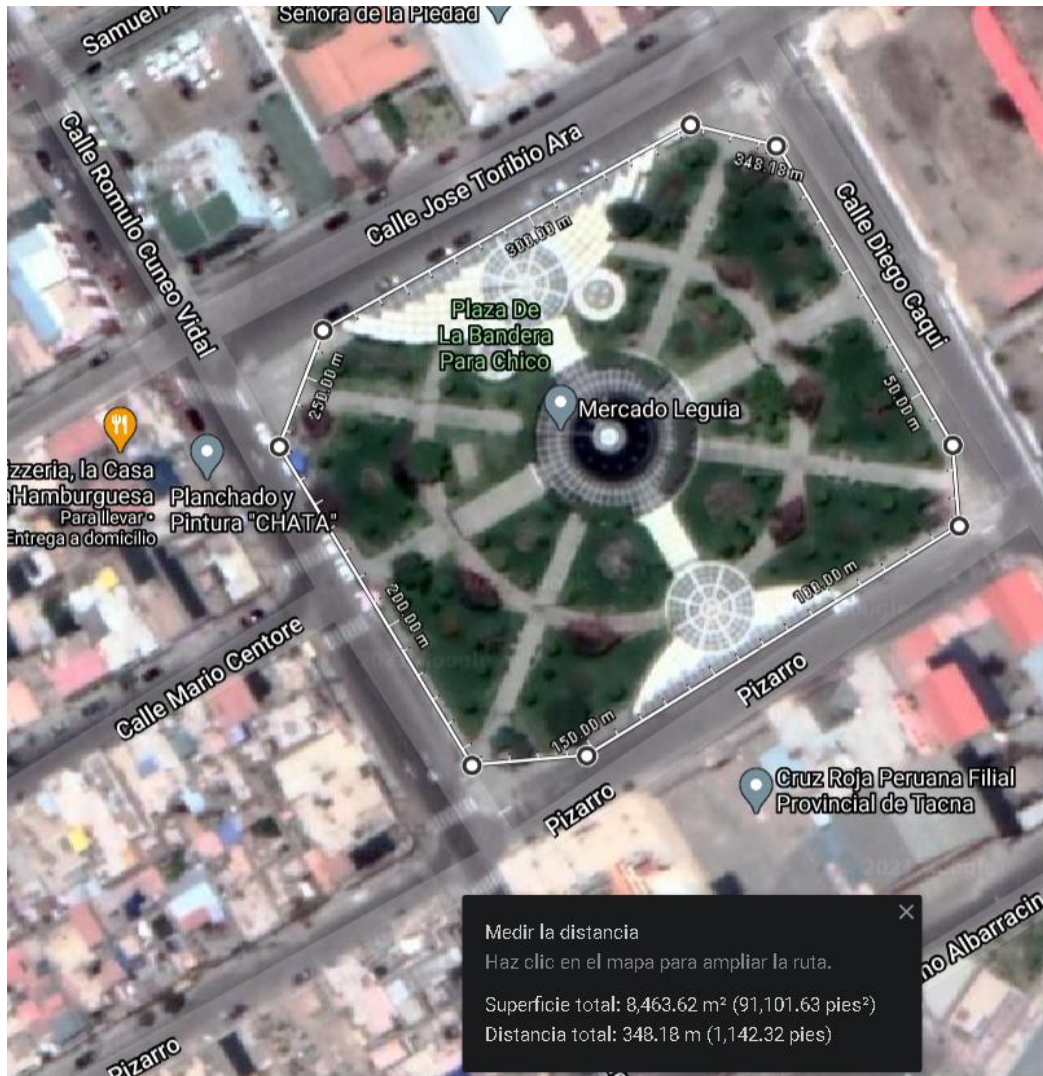
**ANEXOS**

### Anexo 1: Matriz de consistencia

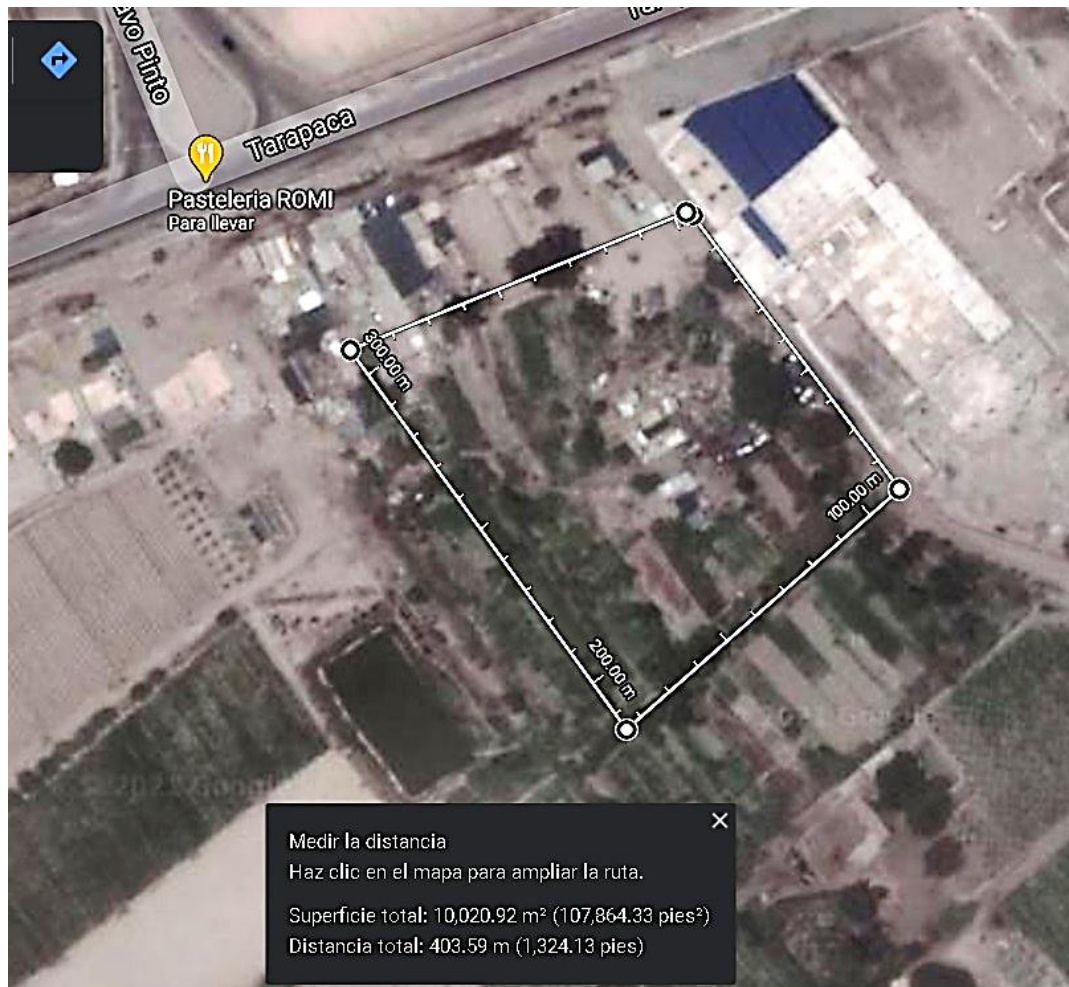
Planteamiento de problema	Objetivo	Hipótesis	Variables	Indicador	Método	Estadística
General	General	General				
¿Cuál es la diferencia en la captura del dióxido de carbono CO <sub>2</sub> según el tipo de área verde en la ciudad de Tacna en el año 2021?	Evaluar comparativamente la captura del dióxido de carbono CO <sub>2</sub> según el tipo de área verde en la ciudad de Tacna en el año 2021.	La captura del dióxido de carbono CO <sub>2</sub> es significativamente diferente según el tipo de área verde en la ciudad de Tacna en el año 2021.				<p><b>Nivel:</b> Explicativo  <b>Tipo:</b> Experimental  <b>Tipo de diseño:</b> Diseño experimental de 2 grupos o muestras</p>
Específicos	Específicos	Específicos				
¿Existe diferencia en cantidad de dióxido de carbono CO <sub>2</sub> capturado por los arbustos existentes en las áreas verdes urbano y rural de la urbanización Para Chico y Sector Valle Viejo?	Determinar la diferencia de la captura de dióxido de carbono CO <sub>2</sub> , por los arbustos existentes entre las áreas verdes de la urbanización Para Chico y Sector Valle Viejo.	Existe diferencia significativa en la captura de dióxido de carbono CO <sub>2</sub> , por los arbustos existentes entre las áreas verdes de la urbanización Para Chico y Sector Valle Viejo.	<p><b>Independiente:</b></p> <p>Área verde</p>	<p>Área urbana  Área rural</p>	<p>En Biomasa:  Método indirecto no destructivo de Brown (1989).</p> <p>De captura de CO<sub>2</sub>:  Medición indirecta por el factor 3,67</p>	<p><b>Prueba estadística:</b>  Prueba de comparación de 2 muestras grandes prueba U Mann-Whitney al 5 % de significancia</p>
¿Existe diferencia en la cantidad de dióxido de carbono CO <sub>2</sub> capturado por los árboles existentes en las áreas verdes urbano y rural de la urbanización Para Chico y Sector Valle Viejo?	Establecer la diferencia de la captura de dióxido de carbono CO <sub>2</sub> , por los árboles existentes entre las áreas verdes de la urbanización Para Chico y Sector Valle Viejo.	Existe diferencia significativa en la captura de dióxido de carbono CO <sub>2</sub> , por los árboles existentes entre las áreas verdes de la urbanización Para Chico y Sector Valle Viejo.	<p><b>Dependiente:</b></p> <p>Captura de CO<sub>2</sub></p>	<p>kg CO<sub>2</sub>/especie (Captura total)</p>		<p><b>Muestras:</b>  Plaza de la Bandera (urbanización Para Chico): 8 462 m<sup>2</sup></p> <p>Fundo la Fortaleza (Sector Valle Viejo): 10 020 m<sup>2</sup></p>

## Anexo 2: Áreas en estudio

## a) Área verde urbana



## b) Área verde rural



## Anexo 3: Registro de carbono capturado según árboles y arbustos de las unidades de estudio

## A) Zona urbana (Parque La Bandera)

Especie		D (cm)	h (cm)	D (cm)	h (cm)	D prom (cm)	h prom (cm)	H real (m)	Biomasa aérea Bt	Fracción 0,5	Captura total de CO: por especie en kg
Ficus	3.D.4	21	14	21	14	21,00	14,00	<b>2,571</b>	72,8	36,4	133,67
Ficus	1D.1	17	13	17,5	13,5	17,25	13,25	<b>2,717</b>	52,8	26,4	96,85
Ficus	2D.4	31,1	13	30	13,5	30,55	13,25	<b>2,717</b>	156,7	78,4	287,62
Buganvilla	3C.3	18	13,5	17	13	17,50	13,25	<b>2,717</b>	54,2	27,1	99,54
Ficus	2D.2	15	13,5	15	13	16,00	13,25	<b>2,717</b>	45,7	22,9	83,92
Ficus	2B.4	34	13	17		25,50	13,00	<b>2,769</b>	113,1	56,6	207,61
Ficus	2B.5	23,6	13	49		36,30	13,00	<b>2,769</b>	221,7	110,8	406,74
Ficus	3B.8	23	13	22	13	22,50	13,00	<b>2,769</b>	89,1	44,6	163,58
Ficus	3D.2	24	13	24	13	24,00	13,00	<b>2,769</b>	100,8	50,4	184,97
Vilca	3.D.3	33	13	33	13	33,00	13,00	<b>2,769</b>	184,9	92,4	339,23
Ficus	4.A.3	15	13	15	13	15,00	13,00	<b>2,769</b>	41,2	20,6	75,58
Buganvilla	4.A.6	11,5	13	11,5	13	11,50	13,00	<b>2,769</b>	24,8	12,4	45,56
Buganvilla	4.A.7	12,5	13	12,5	13	12,50	13,00	<b>2,769</b>	29,1	14,6	53,41
Ficus	4.A.8	17	13	18	13	17,50	13,00	<b>2,769</b>	55,2	27,6	101,36
Buganvilla	4.B.1	13	13	13	13	13,00	13,00	<b>2,769</b>	31,4	15,7	57,55
Ficus	4.C.5	22,5	13	22,5	13	22,50	13,00	<b>2,769</b>	89,1	44,6	163,58
Vilca	1C.2	27,5	12	22,5	13	25,00	12,50	<b>2,880</b>	113,1	56,5	207,53

Ficus	1D.3	21,5	12	11	13	16,25	12,50	<b>2,880</b>	49,8	24,9	91,37
Ficus	1D.7	17	12	34	13	25,50	12,50	<b>2,880</b>	117,4	58,7	215,51
Ficus	4.A.4	18	12,5	18	12,5	18,00	12,50	<b>2,880</b>	60,5	30,3	111,02
Ficus	2C.4	17,5	13	33,5	12	25,25	12,50	<b>2,880</b>	115,3	57,6	211,51
Ficus	2D.1	38	12,5			18,00	12,50	<b>2,880</b>	60,5	30,3	111,02
Ficus	3A.5	12	12	12	12,5	12,00	12,25	<b>2,939</b>	28,5	14,2	52,29
Ficus	3C.4	23	12	21,5	12,5	22,25	12,25	<b>2,939</b>	92,3	46,2	169,46
Ficus	1A.4	20	12,5	27	12	23,50	12,25	<b>2,939</b>	102,5	51,2	188,05
Vilca	1B.1	41	12	35,5	12,5	38,25	12,25	<b>2,939</b>	259,1	129,6	475,52
Vilca	2A.4	48	11,5	49	13	48,50	12,25	<b>2,939</b>	407,3	203,6	747,37
Ficus	2C.2	22	12			22,00	12,00	<b>3,000</b>	92,2	46,1	169,14
Ficus	3A.3	23	12	12	12	17,50	12,00	<b>3,000</b>	59,6	29,8	109,39
Ficus	4B.3			15	12	15,00	12,00	<b>3,000</b>	44,4	22,2	81,56
Ficus	3B.7	18,5	12	18	12	18,25	12,00	<b>3,000</b>	64,6	32,3	118,49
Ficus	3D.1	33	12	33	12	33,00	12,00	<b>3,000</b>	199,5	99,8	366,09
Ficus	3B.5	22,5	11,5	22	12	22,25	11,75	<b>3,064</b>	96,1	48,0	176,32
Ficus	1A.9	20	11,5	18	12	19,00	11,75	<b>3,064</b>	71,1	35,6	130,53
Ficus	1C.4	38,5	10,5	37	13	37,75	11,75	<b>3,064</b>	263,0	131,5	482,53
Ficus	1D.5	23,5	11	23,5	12,5	23,50	11,75	<b>3,064</b>	106,6	53,3	195,66
Ficus	2A.1	23	11	20	12,5	21,50	11,75	<b>3,064</b>	90,0	45,0	165,17
Buganvilla	1C.1	12	12	39,5	11	25,75	11,50	<b>3,130</b>	129,5	64,8	237,69
Ficus	1D.4	34,5	11	20,5	12	27,50	11,50	<b>3,130</b>	146,8	73,4	269,40
Ficus	2B.2	21	11,5	40,5	11,5	30,75	11,50	<b>3,130</b>	181,6	90,8	333,26
Buganvilla	3.A.2	11		23	11,5	17,00	11,50	<b>3,130</b>	58,7	29,4	107,80

Ficus	4.C.4	20	11,5	20	11,5	20,00	11,50	<b>3,130</b>	80,1	40,0	146,90
Vilca	1B.2	37	11	38	11,5	37,50	11,25	<b>3,200</b>	270,6	135,3	496,60
Vilca	1B.3	38,5	11	35	11	36,75	11,00	<b>3,273</b>	266,0	133,0	488,20
Ficus	1C.3	58	11	25	11	41,50	11,00	<b>3,273</b>	335,3	167,7	615,36
Ficus	3B.4	22	11	21	11	21,50	11,00	<b>3,273</b>	95,8	47,9	175,88
Ficus	4.C.1	20	11	20	11	20,00	11,00	<b>3,273</b>	83,5	41,8	153,25
Ficus	4.D.1	19,5	11	19,5	11	19,50	11,00	<b>3,273</b>	79,6	39,8	146,04
Ficus	4.D.2	12,5	11	12,5	11	12,50	11,00	<b>3,273</b>	34,1	17,1	62,61
Ficus	3A.4	35	12	33,5	10	34,25	11,00	<b>3,273</b>	232,6	116,3	426,90
Ficus	2B.1	32	10,5	32	11	32,00	10,75	<b>3,349</b>	208,9	104,5	383,38
Ficus	2C.3	55	10,5	55	11	45,00	10,75	<b>3,349</b>	399,9	200,0	733,84
Ficus	1A.2	24	10	21	11	22,50	10,50	<b>3,429</b>	109,2	54,6	200,47
Ficus	4.B.3	26	10,5	26	10,5	26,00	10,50	<b>3,429</b>	143,9	71,9	264,02
Ficus	3B.6	63	11	60	10	61,50	10,50	<b>3,429</b>	741,4	370,7	1360,47
Ficus	1A.5	29	7,5	18	13	23,50	10,25	<b>3,512</b>	121,4	60,7	222,83
Ficus	2A.2	32	9,5	32	11	32,00	10,25	<b>3,512</b>	218,6	109,3	401,17
Ficus	1A.1	19,5	10	63	10	41,25	10,00	<b>3,600</b>	363,0	181,5	666,11
Ficus	3A.1	15	10	14,5	10	14,75	10,00	<b>3,600</b>	51,2	25,6	93,97
Ficus	3.D.5	33	10	33	10	33,00	10,00	<b>3,600</b>	237,3	118,7	435,50
Buganvilla	4.A.5	8	10	8	10	8,00	10,00	<b>3,600</b>	16,0	8,0	29,31
Ficus	1A.8	25	12	32,5	7,5	28,75	9,75	<b>3,692</b>	187,0	93,5	343,11
Ficus	2A.3	33	9,5	35	9	34,00	9,25	<b>3,892</b>	270,6	135,3	496,50
Ficus	4.C.2	56	9	56	9	56,00	9,00	<b>4,000</b>	718,3	359,2	1318,11
<b>Ficus</b>	<b>4.C.3</b>	<b>46,5</b>	<b>9</b>	<b>46,5</b>	<b>9</b>	<b>46,50</b>	<b>9,00</b>	<b>4,000</b>	<b>504,2</b>	<b>252,1</b>	<b>925,12</b>

Ficus	3B.1	16	9	16	8,5	16,00	8,75	<b>4,114</b>	67,9	33,9	124,59
Ficus	2B.7	20,5	8	20,5	9	20,50	8,50	<b>4,235</b>	111,9	55,9	205,33
Ficus	1D.9	32	7	15	9	23,50	8,00	<b>4,500</b>	153,8	76,9	282,14
Ficus	2B.8	24	8			24,00	8,00	<b>4,500</b>	160,0	80,0	293,69
Ficus	4.A.2	15,5	8	15,5	8	15,50	8,00	<b>4,500</b>	69,6	34,8	127,73
Ficus	1D.8	42	7,5	43	8	42,50	7,75	<b>4,645</b>	489,8	244,9	898,76
Buganvilla	1A.6	9	6,5	29	8	19,00	7,25	<b>4,966</b>	112,7	56,3	206,72
Ficus	1A.7	32	7	21		26,50	7,00	<b>5,143</b>	219,5	109,7	402,77
Ficus	4.A.1	30,5	7	30,5	7	30,50	7,00	<b>5,143</b>	286,9	143,4	526,42
Ficus	1D.10	12,5	6,5	42,5		27,50	6,50	<b>5,538</b>	252,8	126,4	463,81
Ficus	3B.2	46	6,5	49	6,5	47,50	6,50	<b>5,538</b>	715,7	357,9	1313,32
Ficus	1A.3	107	6	109	6	108,00	6,00	<b>6,000</b>	3691,4	1845,7	6773,74
Vilca	3C.1	45	5,5	44,5	5,5	44,75	5,50	<b>6,545</b>	749,0	374,5	1374,45
Vilca	1D.2	50	5	51	5	50,50	5,00	<b>7,200</b>	1032,5	516,2	1894,61
Vilca	2B.6	57,5	5			57,50	5,00	<b>7,200</b>	1322,1	661,0	2425,96
Vilca	3C.2	120	5	121,5	5	120,75	5,00	<b>7,200</b>	5431,0	2715,5	9965,95
Vilca	4.B.2	74	5	74	5	74,00	5,00	<b>7,200</b>	2137,5	1068,7	3922,27
Vilca	1D.6	100	4,8	99	5	99,50	4,90	<b>7,347</b>	3829,5	1914,8	7027,19
Vilca	2C.1	86,5	4,5			86,50	4,50	<b>8,000</b>	3181,0	1590,5	5837,09
Vilca	2B.3	101,4	4	12,5		56,95	4,00	<b>9,000</b>	1605,4	802,7	2945,86

Nota: (1) Valor recomendado por (IPCC , 2006). y = 1,2 m; h = 30 cm



## B) Zona rural (Fundo La Fortaleza):

Especie	Código	D (cm)	h (cm)	D (cm)	h (cm)	D prom (cm)	h prom (m)	H real (m)	Biomasa aerea Bt	Fracción 0,5	Captura total de CO: por especie en kg
Ciruelo	20-	18	14	18	14	18	14	<b>3,214</b>	67,2	33,6	123,26
Ciruelo	41-	15	14	15	14	15	14	<b>3,214</b>	47,5	23,7	87,10
Ciruelo	5-	14	14	15	14	14,5	13,8	<b>3,273</b>	45,3	22,6	83,07
Durazno	54-	11	14	11	14	11	13,8	<b>3,273</b>	26,7	13,4	49,08
Ciruelo	120-	27	14	27	14	27	13,8	<b>3,273</b>	147,9	74,0	271,40
Palto	145-	26	14	26	14	26	13,8	<b>3,273</b>	137,6	68,8	252,58
Durazno	38-	15	14	15,4	14	15,2	13,5	<b>3,333</b>	50,4	25,2	92,47
Palto	62-	12	14	12,5	14	12,25	13,5	<b>3,333</b>	33,4	16,7	61,31
Ciruelo	66-	19	14	19,5	14	19,25	13,5	<b>3,333</b>	79,0	39,5	145,00
Ciruelo	78-	19	14	19,5	14	19,25	13,5	<b>3,333</b>	79,0	39,5	145,00
Ciruelo	90-	18	14	18,5	14	18,25	13,5	<b>3,333</b>	71,4	35,7	131,00
Palto	94-	15	14	15	14	15	13,5	<b>3,333</b>	49,1	24,6	90,17
Palto	128-	18	14	18	14	18	13,5	<b>3,333</b>	69,5	34,8	127,60
Durazno	37-	14	14	13	13	13,5	13,5	<b>3,333</b>	40,2	20,1	73,78
Pacay	83-	44	13	44	14	44	13,5	<b>3,333</b>	381,5	190,7	700,00
Níspero	106-	26	14	26	13	26	13,5	<b>3,333</b>	140,1	70,0	257,03
Durazno	115-	17	14	17	13	17	13,5	<b>3,333</b>	62,4	31,2	114,44
Palto	35-	18,5	13	18,3	14	18,4	13,3	<b>3,396</b>	73,8	36,9	135,44
Palto	42-	22	13	21	14	21,5	13,3	<b>3,396</b>	99,3	49,6	182,19
Palto	57-	14	13	14,5	14	14,25	13,3	<b>3,396</b>	45,4	22,7	83,25
Ciruelo	112-	18	13	18	14	18	13,3	<b>3,396</b>	70,8	35,4	129,89
Ciruelo	8-	13	14	13,3	13	13,15	13,3	<b>3,396</b>	38,9	19,5	71,44
Durazno	138-	22	13	22	13	22	13	<b>3,462</b>	105,6	52,8	193,83

Ciruelo	3-	3	13	5	13	4	13	<b>3,462</b>	4,1	2,1	7,54
Palto	9-	17,5	13	17,6	13	17,55	13	<b>3,462</b>	68,7	34,3	126,04
Palto	12-	12	13	12,5	13	12,25	13	<b>3,462</b>	34,6	17,3	63,56
Palto	28-	15	13	15	13	15	13	<b>3,462</b>	50,9	25,5	93,47
Palto	49-	21	13	21	13	21	13	<b>3,462</b>	96,7	48,3	177,40
Palto	58-	20	13	20,5	13	20,25	13	<b>3,462</b>	90,2	45,1	165,53
Palto	67-	22	13	22	13	22	13	<b>3,462</b>	105,6	52,8	193,83
Durazno	79-	13,5	13	13,5	13	13,5	13	<b>3,462</b>	41,7	20,8	76,48
Ciruelo	88-	10	13	11	13	10,5	13	<b>3,462</b>	25,8	12,9	47,39
Ciruelo	95-	19	13	19	13	19	13	<b>3,462</b>	79,9	39,9	146,61
Níspero	100-	22,6	13	22,5	13	22,55	13	<b>3,462</b>	110,7	55,4	203,16
Palto	134-	26	13	26	13	26	13	<b>3,462</b>	145,2	72,6	266,43
Palto	142-	24	13	22	13	23	13	<b>3,462</b>	115,0	57,5	210,95
Palto	150-	26	13	26	13	26	13	<b>3,462</b>	145,2	72,6	266,43
Ciruelo	36-	11,5	13	11	13	11,25	12,8	<b>3,529</b>	30,0	15,0	55,05
Durazno	24-	23	13	23,5	13	23,25	12,5	<b>3,600</b>	121,8	60,9	223,54
Durazno	44-	19	13	19,5	13	19,25	12,5	<b>3,600</b>	85,0	42,5	156,03
Durazno	50-	19	13	19,5	13	19,25	12,5	<b>3,600</b>	85,0	42,5	156,03
Durazno	22-	20	12	20	13	20	12,3	<b>3,673</b>	93,2	46,6	171,07
Durazno	27-	21	12	21,5	13	21,25	12,3	<b>3,673</b>	104,6	52,3	192,00
Ciruelo	13-	11	12	11,5	12	11,25	12	<b>3,750</b>	31,8	15,9	58,32
Ciruelo	46-	22	12	22	12	22	12	<b>3,750</b>	114,0	57,0	209,18
Ciruelo	52-	23,5	12	23,5	12	23,5	12	<b>3,750</b>	129,3	64,6	237,18
Ciruelo	61-	14,5	12	14,5	12	14,5	12	<b>3,750</b>	51,5	25,8	94,56
Ciruelo	64-	11	12	11	12	11	12	<b>3,750</b>	30,5	15,2	55,88
Ciruelo	82-	11,5	12	11,5	12	11,5	12	<b>3,750</b>	33,1	16,6	60,81
Vilca	86-	28	12	28	12	28	12	<b>3,750</b>	180,4	90,2	331,12

Ciruelo	93-	11,5	12	11,5	12	11,5	12	<b>3,750</b>	33,1	16,6	60,81
Durazno	107-	20	12	20	12	20	12	<b>3,750</b>	95,1	47,5	174,46
Palto	118-	23	12	23	12	23	12	<b>3,750</b>	124,1	62,0	227,66
Palto	123-	25	12	25	12	25	12	<b>3,750</b>	145,4	72,7	266,84
Durazno	126-	20	12	20	12	20	12	<b>3,750</b>	95,1	47,5	174,46
Ciruelo	129-	19,5	12	19,5	12	19,5	12	<b>3,750</b>	90,6	45,3	166,25
Palto	132-	23	12	23	12	23	12	<b>3,750</b>	124,1	62,0	227,66
Palto	144-	23	12	23	12	23	12	<b>3,750</b>	124,1	62,0	227,66
Ciruelo	56-	13	12	13	12	13	11,8	<b>3,830</b>	42,7	21,4	78,36
Palto	99-	25	12	25	12	25	11,8	<b>3,830</b>	148,4	74,2	272,24
Durazno	111-	23	12	23	12	23	11,8	<b>3,830</b>	126,6	63,3	232,27
Durazno	139-	18	12	18	12	18	11,8	<b>3,830</b>	79,4	39,7	145,63
Durazno	60-	19,5	12	19,5	12	19,5	11,8	<b>3,830</b>	92,4	46,2	169,61
Níspero	10-	28	11	28	12	28	11,5	<b>3,913</b>	187,9	94,0	344,81
Níspero	25-	23	12	23	11	23	11,5	<b>3,913</b>	129,2	64,6	237,08
Ciruelo	32-	18	12	18	12	18	11,5	<b>3,913</b>	81,0	40,5	148,65
Ciruelo	81-	18	12	18	12	18	11,5	<b>3,913</b>	81,0	40,5	148,65
Palto	89-	24	11	24	12	24	11,5	<b>3,913</b>	140,1	70,1	257,09
Palto	96-	22	12	22	12	22	11,5	<b>3,913</b>	118,7	59,4	217,83
Palto	130-	28	12	28	12	28	11,5	<b>3,913</b>	187,9	94,0	344,81
Durazno	18-	14	11	14	12	14	11,5	<b>3,913</b>	50,2	25,1	92,11
Ciruelo	11-	14,5	12	14,5	11	14,5	11,3	<b>4,000</b>	54,8	27,4	100,56
Palto	<b>39-</b>	<b>32</b>	<b>12</b>	<b>33</b>	<b>11</b>	32,5	<b>11,3</b>	<b>4,000</b>	254,9	127,4	467,66
Palto	1-	22	11	21	11	21,5	11	<b>4,091</b>	118,5	59,3	217,52
Ciruelo	14-	10	11	9	11	9,5	11	<b>4,091</b>	25,0	12,5	45,92
Durazno	31-	15	11	15	11	15	11	<b>4,091</b>	59,7	29,9	109,58
Níspero	40-	28	11	27,5	11	27,75	11	<b>4,091</b>	192,7	96,4	353,63

Ciruelo	45-	25	11	25	11	25	11	<b>4,091</b>	158,0	79,0	289,89
Ciruelo	48-	16	11	16	11	16	11	<b>4,091</b>	67,5	33,8	123,91
Ciruelo	55-	27	11	27	11	27	11	<b>4,091</b>	182,9	91,5	335,65
Durazno	59-	22	11	21,5	11	21,75	11	<b>4,091</b>	121,2	60,6	222,36
Durazno	63-	19	11	18,5	11	18,75	11	<b>4,091</b>	91,3	45,7	167,61
Durazno	68-	18	11	18	11	18	11	<b>4,091</b>	84,5	42,3	155,07
Palto	80-	22	11	22	11	22	11	<b>4,091</b>	123,8	61,9	227,25
Ciruelo	91-	20	11	20	11	20	11	<b>4,091</b>	103,3	51,6	189,53
Ciruelo	92-	17	11	17	11	17	11	<b>4,091</b>	75,8	37,9	139,08
Ciruelo	104-	12	11	12	11	12	11	<b>4,091</b>	39,0	19,5	71,65
Ciruelo	113-	12,5	11	12,5	11	12,5	11	<b>4,091</b>	42,2	21,1	77,44
Ciruelo	117-	14	11	14	11	14	11	<b>4,091</b>	52,4	26,2	96,09
Ciruelo	119-	16	11	16	11	16	11	<b>4,091</b>	67,5	33,8	123,91
Ciruelo	122-	12	11	12	11	12	11	<b>4,091</b>	39,0	19,5	71,65
Ciruelo	136-	16,5	11	16,5	11	16,5	11	<b>4,091</b>	71,6	35,8	131,39
Ciruelo	140-	13,5	11	13,5	11	13,5	11	<b>4,091</b>	48,9	24,4	89,66
Ciruelo	146-	15,5	11	15,5	11	15,5	11	<b>4,091</b>	63,6	31,8	116,64
Durazno	65-	14	11	13,5	11	13,75	10,8	<b>4,186</b>	51,7	25,9	94,90
Ciruelo	74-	15	11	14,5	11	14,75	10,8	<b>4,186</b>	59,1	29,6	108,48
Ciruelo	85-	18	11	18	11	18	10,8	<b>4,186</b>	86,4	43,2	158,51
Ciruelo	98-	15	11	15	11	15	10,8	<b>4,186</b>	61,0	30,5	112,01
Durazno	109-	26	11	26	11	26	10,8	<b>4,186</b>	174,0	87,0	319,28
Ciruelo	125-	14,5	11	14,5	11	14,5	10,8	<b>4,186</b>	57,2	28,6	105,01
Durazno	143-	17	11	17	11	17	10,8	<b>4,186</b>	77,5	38,7	142,16
Ciruelo	97-	17	12	17	10	17	10,8	<b>4,186</b>	77,5	38,7	142,16
Palto	101-	24	12	24	10	24	10,8	<b>4,186</b>	149,4	74,7	274,14
Ciruelo	19-	11	11	11	11	11	10,5	<b>4,286</b>	34,6	17,3	63,45

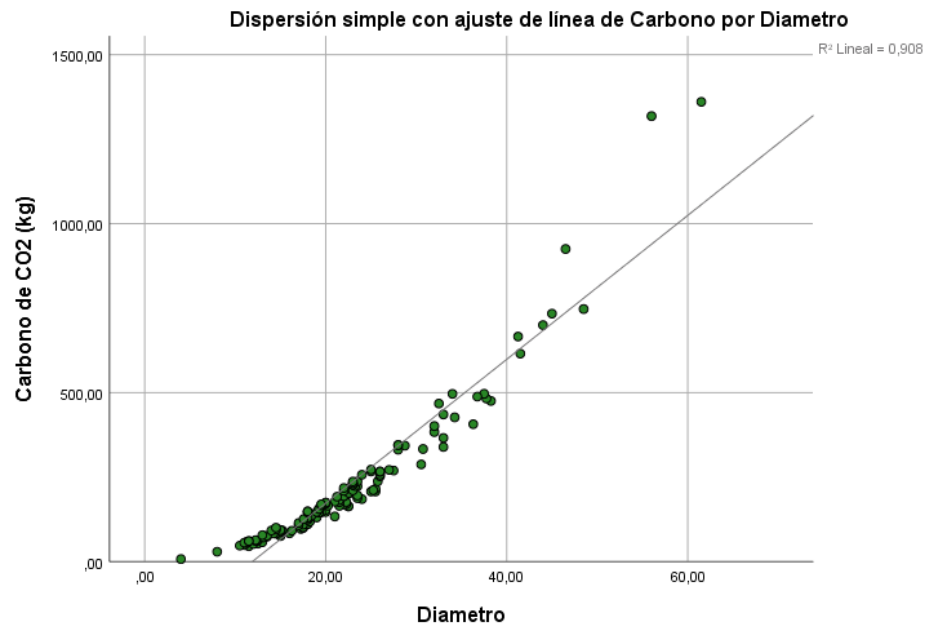
Durazno	34-	21	11	21	10	21	10,5	<b>4,286</b>	118,5	59,2	217,40
Ciruelo	108-	15,3	11	15,5	11	15,4	10,5	<b>4,286</b>	65,6	32,8	120,43
Ciruelo	116-	8,3	11	8,3	11	8,3	10,5	<b>4,286</b>	20,2	10,1	37,11
Ciruelo	127-	9	11	9	11	9	10,5	<b>4,286</b>	23,6	11,8	43,30
Ciruelo	137-	10,5	11	10,5	11	10,5	10,5	<b>4,286</b>	31,6	15,8	58,07
Palto	87-	26	11	25,5	10	25,75	10,5	<b>4,286</b>	174,7	87,3	320,57
Palto	141-	26	11	26	10	26	10,5	<b>4,286</b>	177,9	89,0	326,52
Ciruelo	72-	9,3	10	9,3	11	9,3	10,3	<b>4,390</b>	25,7	12,9	47,16
Ciruelo	75-	7,3	10	7,3	11	7,3	10,3	<b>4,390</b>	16,2	8,1	29,74
Ciruelo	105-	10,3	10	10,3	11	10,3	10,3	<b>4,390</b>	31,2	15,6	57,29
Durazno	6-	13,5	10	14	11	13,75	10,3	<b>4,390</b>	54,1	27,1	99,31
Ciruelo	21-	13	10	13	11	13	10,3	<b>4,390</b>	48,6	24,3	89,25
Palto	103-	21	10	21	11	21	10,3	<b>4,390</b>	121,2	60,6	222,45
Durazno	16-	26	10	26	10	26	10	<b>4,500</b>	186,4	93,2	342,05
Durazno	51-	28	10	28	10	28	10	<b>4,500</b>	214,7	107,3	393,89
Palto	73-	26	10	26	10	26	10	<b>4,500</b>	186,4	93,2	342,05
Ciruelo	76-	12	10	12	10	12	10	<b>4,500</b>	42,8	21,4	78,45
Ciruelo	114-	20	10	20	10	20	10	<b>4,500</b>	113,1	56,5	207,53
Ciruelo	121-	21	10	21,2	10	21,1	10	<b>4,500</b>	125,2	62,6	229,81
Durazno	131-	25	10	25	10	25	10	<b>4,500</b>	173,0	86,5	317,43
Durazno	135-	25	10	25	10	25	10	<b>4,500</b>	173,0	86,5	317,43
Palto	148-	25	10	25	10	25	10	<b>4,500</b>	173,0	86,5	317,43
Ciruelo	2-	17,5	9,5	17,5	10	17,5	9,75	<b>4,615</b>	89,8	44,9	164,86
Ciruelo	53-	13	10	13	9	13	9,5	<b>4,737</b>	52,3	26,1	95,94
Palto	30-	35	9	35	9,5	35	9,25	<b>4,865</b>	353,6	176,8	648,89
Ciruelo	15-	14	9	14,7	9	14,35	9	<b>5,000</b>	66,4	33,2	121,92
Ciruelo	17-	13	9	13	9	13	9	<b>5,000</b>	55,0	27,5	101,01

Palto	23-	34	9	34	9	34	9	<b>5,000</b>	343,5	171,7	630,27
Palto	77-	13,5	9	13,5	9	13,5	9	<b>5,000</b>	59,1	29,6	108,54
Palto	124-	10,5	9	10,5	9	10,5	9	<b>5,000</b>	36,7	18,3	67,26
Durazno	149-	17	9	15	9	16	9	<b>5,000</b>	81,7	40,9	150,01
Palto	102-	13	9	13	8,5	13	8,75	<b>5,143</b>	56,5	28,3	103,76
Palto	133-	14	9	14	8,5	14	8,75	<b>5,143</b>	65,1	32,6	119,49
Palto	110-	13	8	13	9	13	8,5	<b>5,294</b>	58,1	29,1	106,66
Níspero	26-	43	8	43,5	9	43,25	8,5	<b>5,294</b>	573,5	286,8	1052,42
Palto	71-	25,5	8,5	25,5	8,5	25,5	8,5	<b>5,294</b>	209,7	104,8	384,80
Palto	29-	24,5	8	24,5	8	24,5	8	<b>5,625</b>	205,9	102,9	377,76
Durazno	70-	15	8	15	8	15	8	<b>5,625</b>	80,9	40,4	148,40
Palto	4-	29	5	28,5	5,5	28,75	5,25	<b>8,571</b>	416,9	208,5	765,07
Vilca	43-	35	5,5	35	5	35	5,25	<b>8,571</b>	606,4	303,2	1112,75
Vilca	84-	11,5	5	11,5	5	11,5	5	<b>9,000</b>	76,3	38,1	139,97
Vilca	33-	13	4,6	13	5	13	4,8	<b>9,375</b>	100,2	50,1	183,79
Pacay	7-	19	4	19	5	19	4,5	<b>10,000</b>	219,4	109,7	402,60
Palto	69-	53,5	4	53,5	4	53,5	4	<b>11,250</b>	1762,7	881,3	3234,48

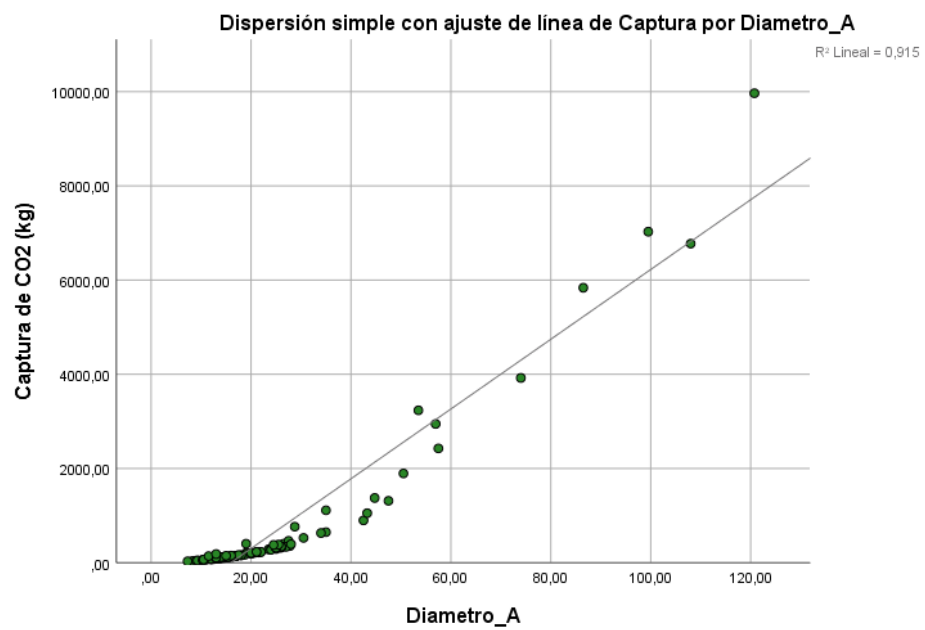
Nota: (1) Valor recomendado por (IPCC , 2006). y = 1,5 m; h= 30 cm

Anexo 4: Relación entre el Diámetro vs Captura de CO<sub>2</sub>

## Arbustos

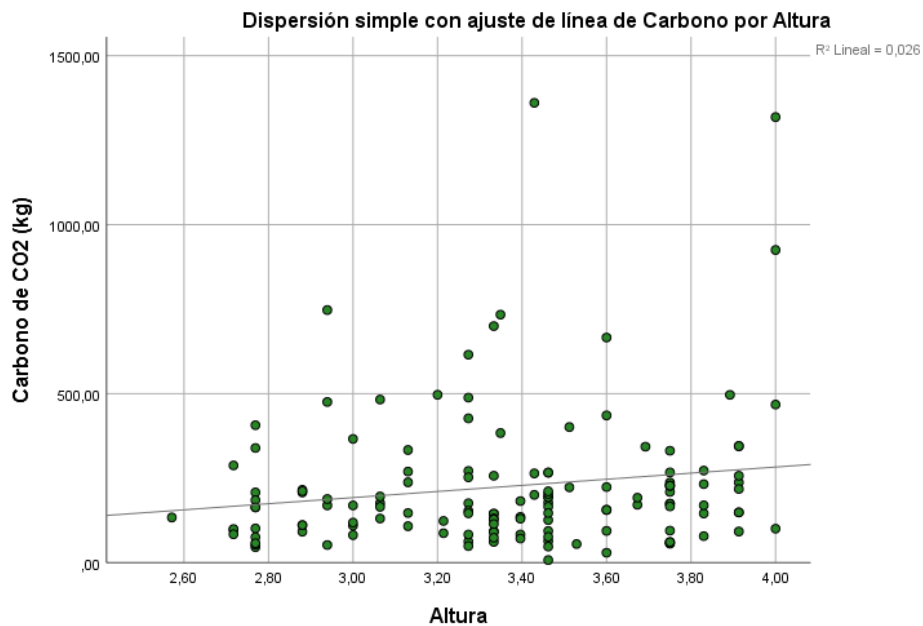


## Árbol

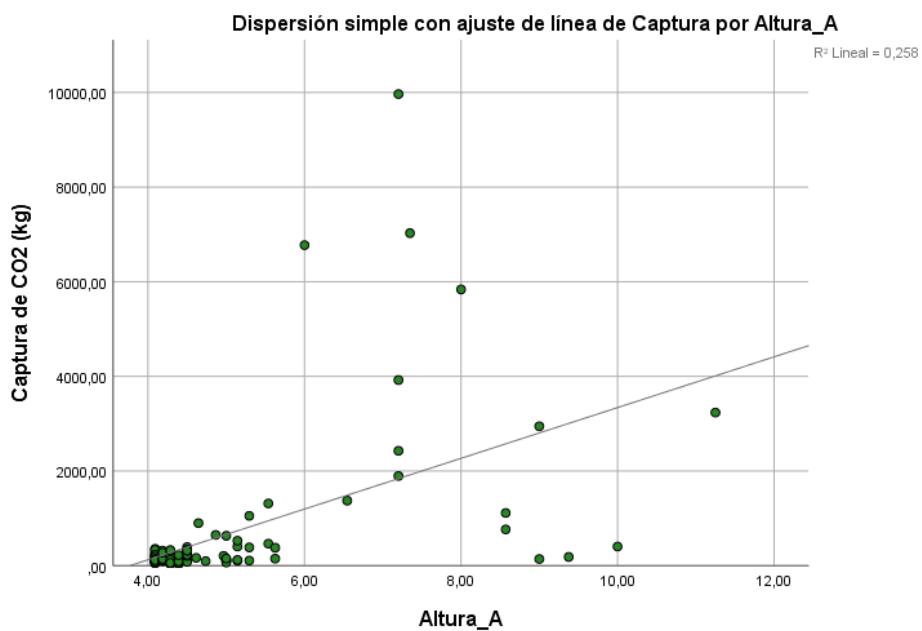


Anexo 5: Relación entre el Altura vs Captura de CO<sub>2</sub>;

## Arbustos



## Árbol





Anexo 6: Medición de especies representativas del área verde urbana Plaza la bandera



Medición de diámetro y altura en especie Ficus



Mediciones de diámetro y altura en especie vilca (*Piptadenea grata*).

Anexo 7: Mediciones de especies representativas del área verde rural “Fundo Fortaleza”



Medición de altura de especie palta (*Persea americana*)



Medición de altura y diámetro de especie palta (*Persea americana*)



Medición de altura de especie palta (*Persea americana*)



Medición de altura de especie durazno (*Prunus persica*)



Medición de especie ciruela (*Prunus domestica*)

## Anexo 8: Procedimiento para determinar la altura total de un árbol y/o arbusto

