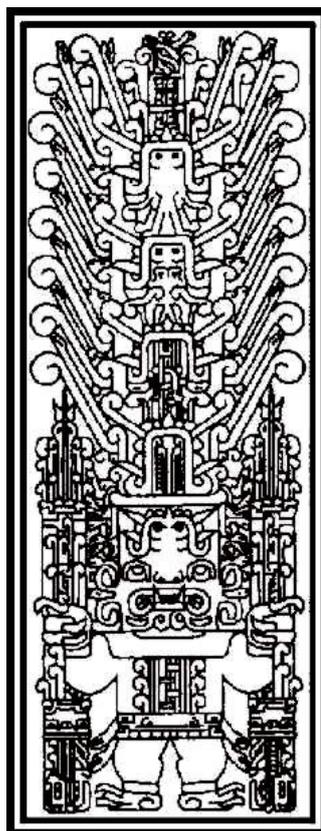


**Universidad Nacional Federico Villarreal
Escuela Universitaria de PosGrado**



TESIS

**Influencia del material particulado sedimentable en el
secuestro de carbono en la vegetación de Lima**

HUATUCO LOZANO MARIBEL MARGOT

**PARA OPTAR EL GRADO DE
MAESTRIA EN GESTIÓN AMBIENTAL**

LIMA-PERU

2018

~ 0 ~

Índice

Resumen	8
Introducción.....	10
Capítulo I: Planteamiento del Problema.....	11
1.1 Antecedentes	11
1.2 Planteamiento del problema	15
1.3 Objetivos	16
1.4 Justificación e importancia	16
1.5 Alcances y limitaciones	18
Definición de variables	18
Capítulo II: Marco teórico	19
2.1 Teorías generales.....	19
2.1.1 Contaminación atmosférica	19
2.1.2 Principales contaminantes atmosféricos	19
2.1.3 Material particulado atmosférico	21
2.1.4 Clasificación del material particulado	22
2.1.5 Efectos de la contaminación por material particulado	23
2.1.6 Vegetación urbana	25
2.1.7 Áreas verdes y sus beneficios	26
2.1.7.1 Beneficios ambientales del árbol urbano en la calidad del aire	27
2.1.7.2 Áreas verdes en Lima Metropolitana	29
2.1.8 Fijación de CO₂ por la vegetación arborea	29
2.1.9 Ciclo del carbono	29
2.2 Bases teóricas.....	31
2.2.1 Captura de carbono	31
2.2.2 Efecto del estrés ambiental sobre la fijación de CO₂	32
2.2.3 Almacenamiento de carbono	32
2.2.4 Evaluación de estado fisiológico de la vegetación	33
2.2.4.1 Área foliar	34
2.2.4.2 Utilidad del área foliar	34
2.2.4.3 Métodos para calcular el área foliar	35
2.2.4.4 Masa foliar	36

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNFV

2.2.5	Ecuaciones alométricas para estimar biomasa	37
2.2.5.1	Biomasa de un árbol.....	37
2.2.5.2	Biomasa foliar.....	38
2.2.5.3	Ecuación alométrica	39
2.2.6	Contaminación atmosférica por material particulado sedimentable	41
2.2.6.1	Material Particulado Sedimentable (MPS)	41
2.2.6.2	Efectos negativos del material particulado sedimentable.....	43
2.2.6.3	Vegetación Urbana como Bioindicadora de Contaminación atmosférica	44
2.3	Marco normativo	45
2.3.1	Normas a Nivel Nacional.....	45
2.3.2	Normas a Nivel Internacional.....	46
2.4	Marco conceptual.....	46
2.5	Hipótesis.....	47
2.5.1	Hipótesis general.....	47
2.5.2	Hipótesis específica.....	47
Capítulo III: Método y Diseño de la Investigación		48
3.1	Tipo de investigación	48
3.2	Diseño de la investigación	48
3.3	Estrategia de prueba de hipótesis.....	48
3.4	Variable	49
3.5	Población.....	49
3.6	Muestra	50
3.7	Técnicas de investigación.....	52
3.7.1	Instrumento para investigación	52
3.7.2	Procedimiento	52
3.7.2.1	Etapa N°1.- Planificación en Gabinete.....	52
3.7.2.2	Etapa N°2.- Implementación de parcelas de muestreo.....	55
3.7.2.3	Etapa N°3.- Evaluación de la contaminación atmosférica por material particulado sedimentable (MPS) empleando a la vegetación como bio-indicador (Dalmaso, Candida, & Llera, 1997).....	56
3.7.2.4	Etapa N° 4.- Determinación del estado fisiológico de la vegetación arborea	57
3.7.2.5	Etapa N°5.- Determinación de la captura o almacenamiento de carbono en vegetación (Cv)	58
3.7.2.6	Etapa N°6.- Determinación de stocks de carbono	61

3.7.3 Análisis de datos	61
Capítulo IV: Presentación de los Resultados.....	62
4.1 Delimitación del área de investigación	62
4.2 Identificación de las especies de flora	64
4.3 Contratación de la prueba de hipótesis	71
4.3.1 Evaluación de la contaminación atmosférica por material particulado sedimentable (MPS)	71
4.3.1.1 Diferencia de medianas en las mediciones interestacional del MPS (gr).....	72
Concentración de MPS gr/Kg de materia seca	72
4.3.2 Evaluación del estado fisiológico de la vegetación arbórea	75
4.3.2.1. Determinación de la Masa foliar	75
4.3.2.2 Determinación de Superficie o área foliar	76
4.3.2.3 Influencia del peso de las hojas en el área foliar	78
4.3.2.4 Prueba de t para el área foliar con el software imageJ y el determinístico	80
4.3.2.5. Influencia del peso de las hojas en la biomasa	81
4.3.3 Captura de carbono por la vegetación arbórea	83
4.3.3.1. Altura y diámetro de los árboles.....	83
4.3.3.2 Estimadores	85
4.3.3.3 Correlaciones entre las variables altura y diámetro de la planta.....	85
4.3.3.4 Estimación de la Biomasa mediante ecuaciones alométricas	86
4.3.3.5 Determinación de las diferencias de medias en las mediciones inter estacional de la biomasa por el método A y B.....	89
4.3.4 Stock de carbono en la vegetación arbórea por unidad de análisis.....	90
4.3.4.1 Determinación de las diferencias de medianas entre la captura de carbono potencial por el método A durante las estaciones de verano e invierno	91
4.3.4.2 Determinación de las diferencias de medianas entre la captura de carbono potencial por el método B durante las estaciones de verano e invierno.....	92
4.3.4.3.- Correlación entre la biomasa y la captura de carbono	93
4.3.4.4. Correlación entre la concentración de MPS y la captura de carbono	99
Capítulo V: Discusión.....	103
Conclusiones.....	109
Recomendaciones.....	110
Referencias bibliográficas	111
Anexos	122

Anexo 2: Evaluación de la contaminación atmosférica por Material Particulado Sedimentable (MPS) empleando a la vegetación como bio-indicador	124
Anexo 3: Proceso de obtención del material particulado sedimentable de las muestras de hojas.....	125
Anexo 4: Determinación de la masa foliar.....	127
Anexo 5: Escaneo de las muestras de hojas para área foliar	127
Anexo 6: Toma de muestras y mediciones	129
Anexo 7: Construcción de clinómetro	130
Anexo 8: Uso de un clinómetro hecho con un transportador	131
ANEXO 9: Área y perímetro de las unidades de análisis (parques).....	133
Anexo 10: Especies identificadas de las unidades de análisis (parques).....	138

Índice de figuras

Figura 1. Ciclo Global del carbono en la Tierra. Fuente: (Aukland, y otros, 2002).....	30
Figura 2. Diagrama simplificado de los flujos y almacenes de carbono en un ecosistema forestal. Fuente: (Ordóñez & Maser, 2001).	33
Figura 3. Los diferentes compartimentos de un árbol. Fuente: (Sola, Picard, Saint, & Henry, 2012).	38
Figura 4. Lima Metropolitana: Valor de material particulado PM10, por estaciones de medición 2014-2015 (ug/m3). Fuente: (SENAMHI. 2015).....	42
Figura 5. Numero de parques por distritos. Fuente: Elaboración propia.	49
Figura 6. Esquema de la parcela de inventario (2500m), con cuatro subparcelas y cuatro miniparcelas utilizadas para el inventario de carbono de los parques urbanos. Fuente (Freitas, y otros, 2006).	55
Figura 7. Estaciones de muestreos, parques de los distritos de Surco, San Isidro, Barranco, Miraflores, Pueblo Libre y Jesús María.	64
Figura 8. Porcentaje de especies presentes en las unidades de análisis (parque).	66
Figura 9. Densidad relativa de las especies por unidad de análisis (parque).....	71
Figura 10. Cantidad de MPS (gr) por unidad de análisis interestacional.	71
Figura 11. Concentración de MPS gr/Kg MS por especie durante la estación de verano.....	73
Figura 12. Concentración de MPS gr/Kg MS por especie durante la estación de invierno.	73
Figura 13. Grafica de la concentración de MPS gr/Kg de materia seca por unidad de análisis inter estacional.	74
Figura 14. Masa foliar de las diferentes especies identificadas en las unidades de muestreo durante la estación de verano.	76
Figura 15. Masa foliar de las diferentes especies identificadas en las unidades de muestreo durante la estación de invierno.	76
Figura 16. Superficie proyectada Vs superficie total de las diferentes especies identificadas en las unidades de muestreo durante la estación de verano.....	77

Figura 17. Superficie proyectada Vs superficie total de las diferentes especies identificadas en las unidades de muestreo durante la estación de invierno.	77
Figura 18. Grafica de la ecuación que se ajusta a la relación entre el peso foliar y el área foliar.....	78
Figura 19. Gráfico de la biomasa, área foliar determinístico, área foliar proyectada- software y peso de las hojas.....	80
Figura 20. Grafica de la ecuación que se ajusta a la relación entre el peso de las hojas y la biomasa.	82
Figura 21. Gráfica de la distribución no normal y de cajas de las variables diámetro y altura de la planta.	83
Figura 22. Gráfico de la biomasa según estaciones por unidad de análisis (Método A).	87
Figura 23. Biomasa según estaciones por unidad de análisis (Método B).	88
Figura 24. Crecimiento de biomasa estacional según unidades de análisis.....	88
Figura 25. Tasa de crecimiento de biomasa relativo por unidades de análisis.	89
Figura 26. Grafica de la ecuación que se ajusta a la relación entre la biomasa y la captura de carbono durante el verano.....	94
Figura 27. Grafica de la ecuación que se ajusta a la relación entre la biomasa y la captura de carbono durante el invierno.....	95
Figura 28. Grafica de la ecuación que se ajusta a la relación entre la biomasa y captura de carbono durante el verano.....	97
Figura 29. Grafica de la ecuación que se ajusta a la relación entre la biomasa y captura de carbono durante el invierno.....	98
Figura 30. Grafica de la ecuación que se ajusta a la relación entre la concentración de MPS y captura de carbono durante el verano.....	100
Figura 31. Grafica de la ecuación que se ajusta a la relación entre la concentración de MPS y captura de carbono durante el invierno.....	101
Figura 32. Procesamiento para la obtención de material particulado de las muestras de hojas.....	126
Figura 33. Determinación de la masa foliar.	127
Figura 34. Determinación del área foliar de las muestras de hojas.	128
Figura 35. Toma de muestra y mediciones de altura, diámetro a la altura del pecho de las especies de árboles de los diferentes parques urbanos.....	129
Figura 36. Construcción del clinómetro.....	130
Figura 37. Uso del clinómetro hecho con un transportador.....	132
Figura 38. Área y perímetro de las unidades de análisis (parques).....	137
Figura 39. Especies identificadas en las unidades de análisis (parques).	141

Índice de tablas

Tabla 1. Estados de la calidad del aire y su implicancia en la salud.....	21
Tabla 2. Lima Metropolitana: Valor mensual de material particulado (PM10), en los principales núcleos, 2014-2015 (ug/m3).	43
Tabla 3. Estratos según distritos del ámbito de la investigación para las variables área verde per cápita y número de parques.....	49

Tabla 4. Estadísticos de tendencia y dispersión de la población estudiada de parques con área verde del ámbito del estudio.....	50
Tabla 5. Distribución de la muestra según distritos y por estratos.	51
Tabla 6. Ubicación de los puntos de muestreo en la Ciudad de Lima, Perú.	53
Tabla 7. Matriz de recomendaciones de depósitos de carbono a medir, por tipo de proyecto.....	55
Tabla 8. Perímetro y Área de las estaciones de muestreo (parques).....	62
Tabla 9. Especies identificadas en las unidades de análisis.....	65
Tabla 10. Frecuencia y densidad relativa de las especies.	67
Tabla 11. Los rangos promedios del MPS en las estaciones de verano e invierno.....	72
Tabla 12. Prueba de U Mann-Whitney del MPS en las estaciones de verano e invierno.	72
Tabla 13. Los rangos promedios de la concentración MPS gr/Kg de materia seca durante las estaciones de verano e invierno	75
Tabla 14. Prueba de U Mann-Whitney de la concentración de MPS gr/Kg materia seca durante las estaciones de verano e invierno.	75
Tabla 15. Correlación de Pearson del peso foliar y área foliar.	78
Tabla 16. Regresión entre el peso foliar y el área foliar.....	79
Tabla 17. Coeficientes de la ecuación que se ajusta a la relación entre el peso foliar y el área foliar.	79
Tabla 18. Promedios de las mediciones de área foliar proyectada –software, área foliar determinístico, peso de las hojas y biomasa por unidad de análisis.....	80
Tabla 19. Prueba de t para dos muestras independientes de las áreas foliares entre los métodos del software imageJ y el determinístico (L*A).	81
Tabla 20. Correlación entre la biomasa y peso de las hojas.....	81
Tabla 21. Regresión entre el peso de las hojas y biomasa.....	82
Tabla 22. Coeficientes de la ecuación que se ajusta a la relación entre el peso de las hojas y la biomasa.....	82
Tabla 23. Estadísticos descriptivos de las variables estudiadas.	84
Tabla 24. Estimadores M.	85
Tabla 25. Estadísticos descriptivos.....	85
Tabla 26. Correlaciones entre la altura y diámetro de la panta.	86
Tabla 27. Estimación de la biomasa por el método A y Método B.	86
Tabla 28. Diferencia de medias en las mediciones del crecimiento inter estacional de la biomasa por el método A y B.....	90
Tabla 29. Estadístico de prueba U de Mann-Whitney.....	90
Tabla 30. Stock de carbono potencial por unidad de análisis según la biomasa calculada por las ecuaciones alométricas métodos (a) y (b).	91
Tabla 31 Rangos promedios de captura carbono potencial durante las estaciones de verano e invierno.....	92
Tabla 32. Estadístico de prueba de la captura carbono potencial durante las estaciones de verano e invierno.	92
Tabla 33. Rango promedio entre la captura de carbono por el método A y B.....	93
Tabla 34. Prueba de Mann-Whitney de la captura de carbono potencial.....	93
Tabla 35. Correlación de Pearson de la biomasa y captura de carbono durante el verano.....	94

Tabla 36. Regresión entre la biomasa y la captura de carbono durante el verano.....	94
Tabla 37. Coeficientes de la ecuación que se ajusta a la relación entre la biomasa y la captura de carbono durante el verano.....	94
Tabla 38. Correlación de Pearson de la biomasa y captura de carbono durante el invierno.....	95
Tabla 39. Regresión entre la biomasa y la captura de carbono durante el invierno.....	96
Tabla 40. Coeficientes de la ecuación que se ajusta a la relación entre la biomasa y la captura de carbono durante el invierno.....	96
Tabla 41. Correlación de Pearson de la biomasa y captura de carbono durante el verano.....	96
Tabla 42. Regresión entre la biomasa y la captura de carbono durante el verano.....	97
Tabla 43. Coeficientes de la ecuación que se ajusta a la relación entre la biomasa y captura de carbono durante el verano.....	97
Tabla 44. Correlación de Pearson de la biomasa y captura de carbono durante el invierno.....	98
Tabla 45. Regresión entre la biomasa y la captura de carbono durante el invierno.....	98
Tabla 46. Coeficientes de la ecuación que se ajusta a la relación entre la biomasa y captura de carbono durante el invierno.....	99
Tabla 47. Correlación de Pearson de la concentración del MPS y captura de carbono durante el verano.....	100
Tabla 48. Regresión entre la concentración del MPS y la captura de carbono durante el verano.....	100
Tabla 49. Correlación de Pearson de la concentración de MPS y captura de carbono durante el invierno.....	101
Tabla 50. Regresión entre la concentración del MPS y la captura de carbono durante el invierno.....	102

Índice de ecuaciones

$Y = \alpha + \beta X + \varepsilon$ Ecuación 1.....	40
$\ln(B) = \alpha + \beta \ln(D) + \varepsilon$ Ecuación 2.....	40
$\ln(B) = \alpha + \beta \ln(D^2H) + \varepsilon$ Ecuación 3.....	40
$\bar{y} = 1N1\bar{y}_1 + N2\bar{y}_2 + \dots + N\bar{y}_L = 1Ni = 1LNi\bar{y}_i$ Ecuación 4.....	50
$n = i = 1LNi2\sigma i2aiN2D + i = 1LNi\sigma i2$ Ecuación 5.....	50
$D = B24$ Ecuación 6.....	50
$D = C\pi$ Ecuación 7.....	58
$H = \tan(X) * D$ Ecuación 8.....	59
$B_{AU} = f(\text{datos dimensionales})$ Ecuación 9.....	60
$B_{AU} = 0.25 D^2 * H$ Ecuación 10.....	60
$B_{AU} = 0.15 D^2 * H$ Ecuación 11.....	60
$B_A = (\sum_{AU}/1000) \times (10000/\text{área de la parcela})$ Ecuación 12.....	60
$\Delta C_{BA} = (B_A * CF)$ Ecuación 13.....	61

Resumen

Influencia del material particulado sedimentable en el secuestro de carbono en la vegetación de Lima

Los gases de efecto invernadero, entre ellos el CO₂ generan una serie de cambios climáticos debido a la permanencia de este en la atmósfera por largos periodos de tiempo; de ese modo, la vegetación juega un rol fundamental en la captura de carbono. El presente estudio tiene como objetivo determinar la influencia del material particulado sedimentable en el secuestro de carbono en la vegetación de la ciudad de Lima. La metodología considera seis etapas: planificación de gabinete, implementación de las parcelas de muestreo, evaluación de la contaminación atmosférica por material particulado sedimentable (MPS) empleando a la vegetación como bio-indicador, determinación del estado fisiológico de la vegetación arbórea, determinación de la captura de carbono en vegetación (Cv) y estimación de stocks de carbono. Los resultados obtenidos señalan que el MPS ejerce influencia significativamente en la captura de carbono (p value =0.047 y R²=0.770), debido a la retención de MPS por las especies arbóreas. A diferencia del invierno, en donde la concentración del MPS no influye significativamente en la captura de carbono (p value 0.524 y R cuadrado = 0.337). Por lo tanto la concentración de MPS explica en un 33% la menor retención de MPS por las hojas, como consecuencia de las precipitaciones que se presentan en invierno.

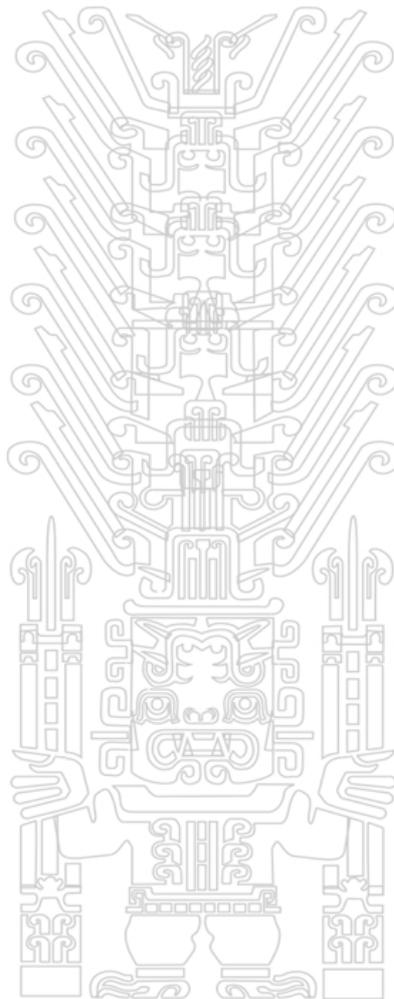
Palabras clave: Material particulado sedimentable, secuestro de carbono, vegetación.

Abstract

Influence of sedimentable particles in the sequestration of carbon in the Lima's vegetation

The greenhouse gases, including CO₂ generated a series of climate change due to the permanence of this in the atmosphere for long periods. Moreover, the vegetation plays a fundamental role in carbon capture. The present study aims to determine the influence of sedimentable particles in the sequestration of carbon in the vegetation of Lima. The methodological approach was carried out in six stages: Cabinet planning, implementation of the sampling plots, evaluation of air pollution by sedimentable particulate (SP) using vegetation as bio-indicator, based in the physiological state of timberline, determination of the carbon sequestration in vegetation (Cv) and the estimation of carbon stocks. The results were that the SP will significantly influence carbon sequestration (p value = 0.047 and R² = 0.770), due to the retention of SP by the arboreal species. Unlike the winter where the concentration of the SP does not significantly influence in the carbon sequestration (p value 0.524 and R-squared = 0.337). Therefore, the concentration of MPS will influence by 33% due to the lower withholding of MPS by the leaves because of the rainfall occurring in the winter.

Key words: Sedimentable particles, carbon sequestration, urban vegetation.



Dedicatoria

A la memoria de mis padres Esperanza
y Arcadio y mi maestro Víctor Ishigama.

A mis dos grandes amores, mi hija y el
compañero de mi vida.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNFV

Introducción

En la actualidad se está produciendo gran cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), siendo el CO₂ generado por el parque automotor y fabricas aledañas el más importante, debido a que es uno de los gases que más ha aumentado en los últimos años, por la capacidad de prevalecer al pasar el tiempo y porque genera una serie de efectos en el hombre y en el clima.

Para regular la emisión del CO₂, las áreas verdes urbanas y en general la vegetación, juega un rol fundamental debido a la capacidad de capturar o secuestrar el CO₂ del ambiente, al realizar la fotosíntesis. Además la vegetación actúa como bioindicadora de contaminación atmosférica porque tiene la capacidad de retener en su follaje el polvo atmosférico, parámetro que varía con la especie y las características morfo-anatómicas de la hoja (superficie expuesta y grado de pilosidad) (Dalmaso, Candida, & Llera, 1997). En estudios realizados en la ciudad de Chihuahua–México, las especies que concentraron mayor cantidad de polvo fueron el ciprés (*Cupressus arizonica*) y el sicomoro (*Platanus occidentalis*) (Alcalá y otros, 2008). Pero puede ocurrir obturación de los estomas como consecuencia de la acumulación del material particulado sedimentable en las hojas, de esta manera puede verse afectado la fotosíntesis, el crecimiento, reproducción y por ende la biomasa de la planta.

Con lo expuesto anteriormente, en el Perú son escasos los estudios de captura de carbono en zonas urbanas que cuentan con parques o áreas verdes, desconociéndose la cantidad de CO₂ que se almacena en la ciudad, sin embargo otros países como México, Chile y Argentina en los últimos años han venido realizando estudios para determinar el stock de carbono a partir de la vegetación urbana.

Teniendo en cuenta dichos estudios y la necesidad de proponer planes de manejo ambiental con base científica se realizó el presente estudio en los diversos parques de la capital con el fin de evaluar, capturar y estimar la cantidad de carbono almacenado en los parques de los distritos de San Isidro, Surco, Barranco, Miraflores, Jesús María y Pueblo Libre.

Por lo expuesto anteriormente la presente tesis busca establecer la influencia del material particulado sedimentable en el secuestro de carbono en la vegetación de Lima.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNFV

Capítulo I: Planteamiento del Problema

1.1 Antecedentes

La contaminación atmosférica es un problema en diversas áreas urbanas densamente pobladas e industrializadas. El tráfico generado por los vehículos automotores es la principal fuente de contaminación atmosférica, la cual contiene una mezcla de gases, material particulado y diversos componentes orgánicos. Los contaminantes son resultado de las actividades antropogénicas y afecta la salud con enfermedades respiratorias, circulatorias y del sistema nervioso central en la población (Morales, 2006).

Las actividades humanas, tales como el uso de combustibles fósiles para la producción de energía y los procesos derivados del cambio en el uso del suelo y silvicultura, están generando grandes emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) como dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), clorofluorocarbonados (CFC's), óxidos de nitrógeno (NO_x) y metano (CH_4), principalmente, siendo el CO_2 uno de los GEI más importantes por las grandes cantidades en las que se emite (Benjamín & Masera, 2001). Así como por su efecto sobre las condiciones climáticas del planeta debido a que es un gas de larga permanencia, es decir, es un gas que permanece activo en la atmósfera durante mucho tiempo (Gamarra, 2001). En ese contexto, la vegetación se encarga de la captura de CO_2 de la atmósfera por la capacidad de asimilar el carbono e incorporarlo a su estructura, es decir lo fija y lo mantiene almacenado por largos periodos, a través de la fotosíntesis (Benjamin & Masera, 200; INIFAP & PAOT, 2010).

Por otra parte, la respiración de las plantas, las quemadas y las talas para usos agrícolas incrementan en la atmósfera la concentración de emisiones de CO_2 , que unido a una tasa de deforestación alta y a las escasas medidas de reforestación aplicadas altera el balance entre emisión y captación. De esa manera la concentración de CO_2 en la atmósfera va aumentando (Mota, Alcarraz, & Carbajal, s/f).

El material particulado está compuesta principalmente por materia orgánica, pero presenta además sustancias tóxicas para las plantas, como amonio, nitratos, sulfatos y elementos metálicos como Al, Fe, Zn, Cu, Pb y Cu (Celis, Morales J.R, Zaror C.A, &

Inzunza J.C, 2004). Entre ellos, el plomo derivado de las combustiones vehiculares tiene efectos sobre la fotosíntesis y el crecimiento de la planta, inhibiendo las enzimas relacionadas con el metabolismo del nitrógeno (Singh R.P, Tripathi R.D, Sinha S. K, Maheshwari R, & Srivastava H.S, 1997). Las partículas inertes obturan los estomas, reduciendo la actividad foliar; y su acumulación sobre las hojas reduce su exposición a la radiación solar, reducción de la fotosíntesis y del crecimiento (Seoanez, 2002; Dalmaso, Candida, & Llera, 1997; Montaña, 2007).

El CO (monóxido de carbono) no es considerado comúnmente tóxico para las plantas, dado que éstas lo usan en los tejidos para la fijación de carbono. Sin embargo, varias respuestas fisiológicas están asociadas al CO y CO₂ y podrían ser indicadoras del grado de contaminación, traducido en el incremento del rendimiento no fotosintético, declinación de la respiración, acumulación de almidón y cambios en el contenido y la distribución de nitrógeno (Mousseau y otros, 1996).

Las plantas son bioindicadoras de contaminación atmosférica por el poder de retención de polvo por las hojas, parámetro que varía con la especie y las características morfo-anatómicas de la hoja (superficie expuesta y grado de pilosidad) (Dalmaso, Candida & Llera, 1997). Este efecto de retención, por la vegetación, es bien conocido en especies europeas, así *Abies pinsapo* (abeto rojo) retiene 32 Tn/ha en condiciones de bosque denso, mientras que *Populus sp.* (álamo) sólo 1 Tn/ha (Pesson, 1978; Dalmaso, Candida, & Llera, 1997). Algunas especies que han sido estudiadas en la retención de material particulado y que han sido identificadas tolerantes son *Ulmus procera*, *Platanus occidentalis*, *Junglas nigra*, *Eucalyptus globolus*, *Tilia europea*, *Abies alba* y *Larix decidua* (Nowak D. , 2000).

En otros estudios realizados para determinar la retención de polvo atmosférico en especies arbóreas indicadoras de la planeación urbana sustentable en la ciudad de Chihuahua –México, las especies que concentraron mayor cantidad de polvo fueron el ciprés (*Cupressus arizonica*) con una media de 0.04946±0.005405 (g/Kg de materia seca) y el sicomoro (*Platanus occidentalis*) con una media de 0.02554 ±0.005405 (g/Kg de materia seca) (Alcalá y otros, 2008).

Se conoce, además, el efecto perjudicial del polvo atmosférico sobre la vegetación, provocando obturación de estomas y reducción de la fotosíntesis y del crecimiento. (Dalmaso, Candida, & Llera, 1997).

El empleo de bio-indicadores de contaminación ambiental es necesario porque responden a los tóxicos ambientales con cambios específicos, así por ejemplo la disminución en la calidad del aire va ligada a la reducción y a la desaparición de los grupos de líquenes más sensibles y a la dominancia de los más resistentes. Las comunidades líquénicas se empobrecen y pasan a estar constituidas por unos pocos grupos de especies (Santoni & Lijteroff, 2006).

El secuestro de carbono en los ecosistemas terrestres a través de procesos naturales es una vía complementaria a las diversas acciones conducentes a reducir el aumento de CO₂ atmosférico. La biosfera terrestre absorbe alrededor de 1 Gt C año⁻¹ neto, equivalente a un sexto de las emisiones antropogénicas y el carbono almacenado en los ecosistemas terrestres se estima equivalente a 2.000 ± 500 años de absorción neta (Houghton y otros, 2001).

Los árboles absorben grandes cantidades de carbono, si bien en dependencia de la especie, el clima, el suelo y la selvicultura aplicada. Tras sus primeros años de vida, para los que se ha estimado una incorporación de carbono que no supera 1.90 Mg C/ha/año, se alcanza el máximo (estimado en 3 a 4.90 Mg C /ha /año) en la etapa de mayor crecimiento y desarrollo de la copa; posteriormente, en su madurez, al disminuir la tasa de crecimiento, la incorporación de carbono en su biomasa disminuye, llegando a una etapa final en la que la respiración del rodal puede exceder a la fotosíntesis y convertirse en fuente de carbono (Perry, 1994).

Uno de los parámetros que permite conocer la cantidad de carbono almacenado dentro de un árbol es la biomasa, mientras que el área foliar permite conocer los procesos de intercambio gaseoso y captura de partículas contaminantes realizados por los árboles dentro de la ciudad (Brown C. D., 2005).

Para estimar el contenido de carbono almacenado en la biomasa forestal se han desarrollado métodos directos e indirectos. Los directos consisten en un análisis destructivo para la estimación del peso verde y el peso seco de cada uno de los componentes de los árboles seleccionados. Los segundos se basan en la utilización de modelos matemáticos que estiman el peso de las diferentes fracciones del árbol a partir de variables individuales, sin embargo, para poder desarrollar los métodos indirectos es necesario contar con datos obtenidos de métodos directos. En los métodos indirectos también se ha estimado la biomasa mediante el empleo de sensores remotos (fotografía aérea, imágenes de satélite, imágenes de radar, etc) (Schlegel, B., 2001).

Cuando se desea conocer la biomasa aérea de los árboles, una respuesta práctica es la utilización de ecuaciones alométricas, es decir, mediante estimaciones indirectas del material vegetal cuya cantidad se desea conocer previa recolección de datos obtenidos de muestreos directos (Carrillo, F., Acosta, M., Jiménez, C., González, L., & Etchevers, J., 2016).

Los tipos de vegetación que presentan mayor contenido de carbono por hectárea son el oyamel, el bosque mixto, el pino y el inducido, con valores de: 93.41, 47.92, 46.95 y 28.26 Mg/ha (megagramo por hectárea) respectivamente; la estimación de carbono considera únicamente la parte aérea del arbolado (fuste, ramas y hojas). Con una confiabilidad del 95%, se estima que el contenido de carbono por hectárea para el oyamel oscila entre 83.97 y 102.85 Mg/ha (INIFAP & PAOT, 2010).

Estimaciones del contenido de carbono en plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill, mediante el desarrollo de un inventario de diámetros y alturas de árboles, con medidas adicionales de vegetación herbácea, hojarasca y suelo; arboles, 72.12 t C/ha; vegetación herbácea, 0.91 t C/ha; biomasa abajo del suelo, 21.64 t C/ha; hojarasca 4.99 t C/ha y suelos 37.39 t C/ha (Gamarra, 2001).

En estudios realizados se ajustaron las ecuaciones alométricas para cuantificar la acumulación de la biomasa (B), carbono (C) y carbono equivalente (CO₂e) en una plantación mixta de 12 años de edad de *Pinus devoniana* Lindl y *Pinus pseudostrobus* Lindl en Jerécuaro, estado de Guanajuato, México. La biomasa de cada árbol, hojas más ramas (Bbr), fuste (Bf) y total (Bt), fue calculada usando la relación entre el peso seco y peso fresco, en 20 árboles de cada especie. Los resultados indican que las ecuaciones alométricas cuantifican eficientemente los componentes de biomasa, especialmente de Bf ($R^2 > 0.85$) en *P. pseudostrobus*, mostrando esta especie los mayores incrementos en biomasa aérea. El 60.2 y 58.4% de la biomasa aérea total fue registrada en el fuste; 39.8 y 41.6% en las hojas y ramas de *P. devoniana* y *P. pseudostrobus* (Méndez Gonzales, Luckie Navarrete, Capó Arteaga, & Nájera Luna, 2011).

En la selva Lacandona en México se cosecharon 103 árboles para determinar ecuaciones alométricas para cuatro especies abundantes en los Neotropicos y con alto potencial para la restauración: *Guazuma ulmifolia*, *Trichospermum mexicanum*, *Inga vera* y *Ocroma pyramidale*. Los mejores predictores de la biomasa fueron el diámetro

plantaciones monoespecíficas de dos años de *Inga*, *Ocubroma*, *Trichospermum* y *Guazuma* se calculó en 6.60, 30.80, 47.62 y 48.12 Mg/ha. Plantaciones de restauración con las dos últimas especies son una estrategia potencial eficiente para reducir el carbono atmosférico (Douterlungne, D., Herrera, A., Ferguson, B., Siddique, I., & Soto, L., 2013).

El Zapote de la Reserva de la Biosfera "Sierra de Huautla", estado de Morelos, México, se seleccionaron doce árboles de *Quercus magnoliaefolia* Née y se determinó su biomasa en la parte aérea. El modelo alométrico quedó expresado como: $B=0.0345 * DAP^{2.9334}$ en donde B es la biomasa (Kg) y DAP es el diámetro a la altura del pecho (cm), con un coeficiente de determinación ($R^2= 0.98$; $p<0.001$). Adicionalmente se estimó la biomasa mediante una regresión lineal múltiple que consideró el área basal (AB), la densidad específica de la madera (DEM) y la altura de los árboles (H). Una alta proporción de la varianza de la biomasa fue explicada solamente por el área basal. La DEM y H no incrementaron significativamente la precisión de los modelos. El porcentaje promedio de carbono en los árboles de *Q. magnoliaefolia* fue de 47.14 con valores de 46.29% para el fuste, 46.83% para las ramas y 48.31% para el follaje. La proporción promedio de los componentes de la especie estudiada fue de 62.5% para el fuste, 27.8% para las ramas y 9.6% para el follaje (Gómez, J., Etchevers, J., Monterrosos, A., Campo, J., & Tinoco, J., 2011).

Los bosques cubren una superficie de 41.70 x 106 km² (27 % de la superficie terrestre) con proporciones de 25%, 33% y 42% respectivamente para los bosques templados, boreales y tropicales y contienen el 77% de la biomasa viva. Se estima que el 80% del carbono que vegetación y suelos intercambian con la atmósfera corresponde a los bosques. Estos, al incorporarse el carbono en el crecimiento de los árboles, actúan como sumideros (2.30 Gt C/año en términos muy amplios) y juegan un papel importante en el balance de carbono, contribuyendo a reducir el contenido en la atmósfera del CO₂ procedente de las emisiones antropogénicas (Pardos J. A., 2010).

Los bosques pueden ser, también, fuentes de carbono cuando sufren perturbaciones, por ejemplo muerte y corta de árboles, daños por agentes bióticos o abióticos, tales como plagas y enfermedades, incendios, tormentas, aludes y otros daños (Pregitzer, K., & Euskirchen, E., 2004).

- **Problema Principal**

¿Cómo influye el material particulado sedimentable en el secuestro de carbono en las áreas verdes de Lima Metropolitana durante el año 2016?

- **Problema Secundario**

- a) ¿Cuál es la concentración de material particulado sedimentable depositados en las hojas de la vegetación durante el año 2016?
- b) ¿Cómo el estado fisiológico (biomasa) en la vegetación influye en el secuestro de carbono en las áreas verdes de Lima Metropolitana durante el año 2016?
- c) ¿Cuál es el stock de captura de carbono en las áreas verdes de Lima Metropolitana durante el año 2016.

1.3 Objetivos

Objetivo general

- Determinar la influencia del material particulado sedimentable en el secuestro de carbono en las áreas verdes de Lima Metropolitana durante el año 2016.

Objetivos específicos

- Determinar la concentración de material particulado sedimentable depositados en las hojas de la vegetación durante el año 2016.
- Evaluar el estado fisiológico (biomasa) y su influencia en el secuestro de carbono en las áreas verdes de Lima Metropolitana durante el año 2016.
- Determinar el stock de captura de carbono en las áreas verdes de Lima Metropolitana durante el año 2016.

1.4 Justificación e importancia

Justificación Económica.- La mayoría de los métodos que se emplean para evaluar la contaminación por material particulado y la captura de carbono tienen costos elevados y demanda tiempo, el presente proyecto empleará métodos básicos y de bajo costo; que ser validos podrían ser un aporte costo eficiente a la medición de la calidad del aire.

Justificación Social.- Los bosques urbanos ofrecen diversos beneficios, tanto para los habitantes, como para los animales y la infraestructura presente en la ciudad; con la información que se obtendrá al desarrollar el presente proyecto, permitirá

Tesis publicada en el repositorio institucional de la UNFV
No olvide citar esta tesis

UNFV

Justificación Ambiental.- Las ciudades contribuyen a generar la mayor proporción de gases de efecto invernadero afectando de manera significativa al cambio climático, por lo tanto el arbolado puede contribuir a reducir emisiones y mitigar los efectos del cambio climático como las altas temperaturas, la intensidad de las olas y olas de calor, reduce la temperatura y regula la humedad relativa del aire; los árboles son filtros naturales que amortiguan el ruido ambiental, absorben gases tóxicos y fijan el polvo en suspensión; ofrecen la riqueza y diversidad de volúmenes, formas y colores cambiantes que resultan de su evolución diaria, estacional y anual. Establecer la influencia de la contaminación atmosférica en el secuestro de carbono permitirá conocer en qué medida cumplen las áreas verdes de Lima Metropolitana su rol como bio-indicador de secuestro de carbono. A fin de contribuir a la mitigación de los efectos del cambio climático promoviendo el uso sostenible de los recursos naturales y un mayor bienestar de la población.

Justificación Técnico Científica.- Con los resultados obtenidos en la presente investigación se podrá hacer estimaciones de la cantidad de secuestro de Carbono en Lima Metropolitana y plantear cada que tiempo se tendría que reforestar con lo cual estaríamos contribuyendo a reducir las emisiones y mitigar los efectos del cambio climático.

Justificación Cultural.- Al determinarse la influencia del material particulado sedimentable en el secuestro de carbono en la vegetación de Lima se podrá implementar medidas de mejora, así mismo la población tomara conciencia de la importancia que tiene la vegetación en la ciudad.

Justificación Legal.- Los bonos de carbono son un mecanismo internacional de descontaminación para reducir las emisiones contaminantes al medio ambiente; es uno de los tres mecanismos propuestos en el Protocolo de Kyoto para la reducción de emisiones causantes del calentamiento global o efecto invernadero (GEI o gases de efecto invernadero).

Justificación en Salud Pública.- El presente proyecto busca determinar la influencia de los contaminantes atmosféricos en la captura de carbono, por lo tanto determinar si las áreas verdes de Lima Metropolitana contribuyen a disminuir los gases de efecto invernadero y por ende también disminuye los efectos en la salud, dado que diferentes fuentes bibliográficas señalan una alta asociación entre la

presencia de material particulado fino y las enfermedades tipo IRA (infecciones respiratorias agudas).

1.5 Alcances y limitaciones

Los alcances del presente estudio fueron la influencia del material particulado sedimentable en el secuestro de carbono en la vegetación de 09 parques de Lima Metropolitana correspondientes a los distritos de Pueblo Libre, Jesus María, Surco, San Isidro, Barranco y Miraflores.

Las limitaciones del estudio consistió, en la mínima facilidad que brindan algunos distritos para realizar los muestreos, la falta de registros de identificación de las especies arbóreas y la falta de una base de datos de secuestro de carbono en la vegetación urbana en nuestro país.

VARIABLES	INDICADORES
Dependiente: Secuestro de carbono	Biomasa Stock de captura de carbono
Independiente: Material particulado sedimentable	MPS g/kg materia seca

Definición de variables

Capítulo II: Marco teórico

2.1 Teorías generales

2.1.1 Contaminación atmosférica

Los contaminantes atmosféricos más importantes derivados de los combustibles fósiles (diésel, gasolina, petróleo y gas), que son los más usados por automóviles y buses antiguos son: el material particulado (PM), Dióxido de Azufre (SO_2), los óxidos de nitrógeno (NO_2), el monóxido de carbono (CO) y los compuestos orgánicos volátiles (COVs). Todos éstos compuestos componen lo que usualmente conocemos como humo negro vehicular (Roberts, A., & Associates, I., 2009).

Las sustancias contaminantes pueden dispersarse en mayor o menor medida dependiendo de dos tipos de factores

- Factores específicos de la sustancia contaminante: forma, tamaño, velocidad de salida, etc.
- Factores meteorológicos: Precipitaciones, velocidad del viento, gradiente de temperatura del aire, etc (Espert, V., & López, A., 2004).

2.1.2 Principales contaminantes atmosféricos

En el Perú SENAMHI monitorea las concentraciones de contaminantes gaseosos del aire en diez (10) estaciones, ubicadas en los distritos de Ate, San Borja, Jesús María (Campo de Marte), Santa Anita, Villa María del Triunfo, Huachipa, San Juan de Lurigancho (Univ. Cesar Vallejo), San Martín de Porres, Carabayllo y Puente Piedra (INEI, 2015).

En cuanto a las concentraciones detectadas en PM10 en las zonas de Lima Norte y Lima Sur, en todos los monitoreos se sobrepasó la guía de calidad de la OMS para 24 horas, equivalente a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Para el caso de Lima Este se sobrepasó la guía en el 95% de las veces monitoreadas, siendo el valor máximo registrado de

como valor límite $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$, el cual no puede ser superado más de tres veces al año (Defensoría del Pueblo, 2005).

En Lima, los picos de concentración ocurren principalmente entre las 09:00 y 13:00 horas y se encuentran sobre $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Durante los primeros cinco meses de monitoreo se superó el estándar nacional de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ hasta en seis oportunidades. De mantenerse estos niveles promedio de concentración durante todo el año, se estará superando largamente el estándar anual de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y la guía recomendada de la OMS de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Defensoría del Pueblo, 2005).

A pesar de no contar con un parque automotor particularmente grande, todos los estudios que se han realizado en Lima para medir la calidad del aire demuestran que la ciudad sufre un problema creciente de contaminación que está incrementando el riesgo de sus habitantes de sufrir enfermedades respiratorias y cardiovasculares. El material particulado, en especial el menor a 10 micras, constituye ya un serio problema de contaminación, que explicará en parte el aumento de los índices de mortalidad en la ciudad (Defensoría del Pueblo, 2005).

En la tabla 1 se presenta estándares de calidad de aire para el estudio de polvo sedimentable, cada país tiene una norma reglamentada cuyos límites se muestra a continuación cuyos los valores establecidos en cada país se debe a su ubicación y zona geográfica (Castillo, G., 2017).

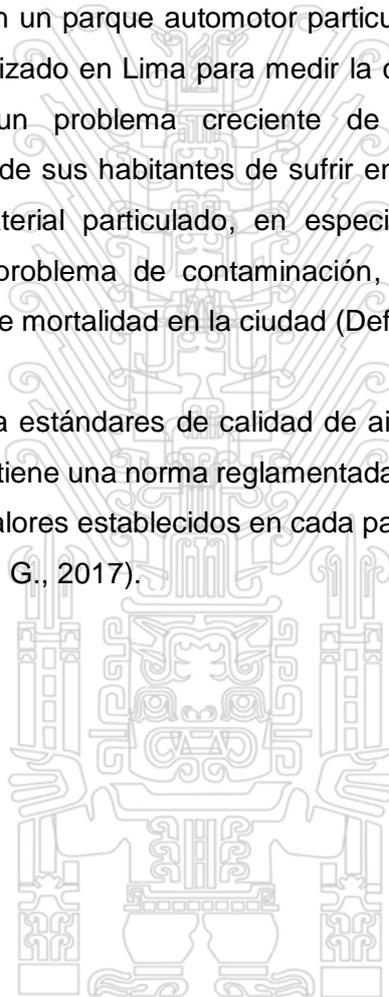


Tabla 1. Estados de la calidad del aire y su implicancia en la salud.

ESTADO	RANGO	EFECTOS DE LOS CONTAMINANTES	MEDIDAS A TOMAR POR LAS PERSONAS
Bueno	0-50	La calidad del aire se considera satisfactoria, y la contaminación del aire no representa ningún riesgo.	Toda la población puede realizar sus actividades cotidianas al aire libre sin ninguna restricción.
Moderado	>50-100	La gente de los grupos sensible (niños, ancianos y personas con enfermedades respiratorias y cardiacas), pueden presentar síntomas tales como tos y cansancio. La población en general no se ve afectada.	Personas particularmente sensitivas a la combinación del aire. Planeen actividades vigorosas al aire libre cuando mejore la calidad del aire.
Malo	>100-150	Toda la población puede padecer de síntomas tales como tos seca, ojos cansados, ardor en la nariz y garganta. Las personas de grupos vulnerables (niños, ancianos y personas con enfermedades respiratorias y cardiacas) los efectos podrían ser más graves para la salud.	Grupos sensitivos: Reduzcan o pospongan actividades vigorosas al aire libre cuando se detecte la presencia de Contaminación por partículas: personas con enfermedades cardiacas o pulmonares (incluyendo a los diabéticos), adultos de edad avanzada y niños.
Muy malo	>150-200	Toda la población puede presentar agravamiento de los síntomas tales como tos seca, ojos cansados, ardor en la nariz y garganta. Efectos aún más graves en la salud de los grupos sensibles (niños, ancianos y personas con problemas cardiacos).	Todos: Reduzcan o pospongan actividades vigorosas al aire libre. Grupos sensitivos: Eviten las actividades vigorosas al aire libre.
Alerta máxima	>200	Toda la población puede padecer riesgos graves y manifestaciones de enfermedades respiratorias y cardiovasculares. Aumento de las muertes prematuras en personas de los grupos más sensibles.	Todos: Reduzcan considerablemente las actividades físicas al aire libre. Grupos sensitivos. Eviten todas las actividades físicas al aire libre.

Fuente: Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, 2016.

2.1.3 Material particulado atmosférico

El material particulado atmosférico (MPA) se define como un conjunto de partículas sólidas y/o líquidas (a excepción del agua pura) presentes en suspensión en la atmósfera (Mészáros, E., 1999). El término material particulado atmosférico (MPA)

es un concepto amplio que engloba tanto las partículas en suspensión como las

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNFV

partículas sedimentables pudiendo ser su origen natural o antropogénico (diámetro > 20 μm) (Inza, A., Sánchez, M., Menéndez, M., Ortega, L., & Gil, J., 2006).

Existe una gran variedad de fuentes de emisiones naturales y antropogénicas que contribuyen a las concentraciones de material particulado en la atmósfera. Entre las naturales se encuentran el polvo de la superficie que es resuspendido por el viento y los aerosoles marinos y biogénicos. Entre las fuentes antropogénicas se puede citar al transporte automotor, los aviones, los barcos, los trenes, la maquinaria agropecuaria, las actividades vinculadas con la construcción, los procesos de combustión en fuentes estacionarias, las industrias (Martin P. B., 2005).

El material particulado genera un impacto negativo en la salud humana, a la vez que provoca daños en la flora y fauna. Este presenta una alta complejidad como componente de la atmósfera, su estudio consiste en un desafío científico tanto experimental como teórico (Morales, R., 2006).

2.1.4 Clasificación del material particulado

El material particulado está compuesto por una mezcla heterogénea de partículas de diferentes tamaños y composición química. Las partículas difieren de acuerdo con sus fuentes de emisión, formas, tamaños, mecanismos de formación y composición química y pueden caracterizarse por sus propiedades físicas y químicas (Martin P. B., 2005).

Entre las partículas que están formando parte del material particulado están las de mayor tamaño, el material particulado sedimentable, luego el material particulado¹⁰ y finalmente el material particulado 2.5 (Villacrés, M., 2015).

- El material particulado sedimentable está conformado por partículas sólidas o líquidas. que miden aproximadamente 10 micrones en adelante. y tienen la capacidad de permanecer suspendidas en el aire de manera temporal.
- El material particulado con un diámetro aerodinámico menor a 10 μm (micras), que se abrevia PM₁₀. Es capaz de ingresar al sistema respiratorio del ser humano; son transportadas por el aire y pueden permanecer suspendidas en el aire por minutos u horas (INEI, 2008).

➤ El material particulado que posee un diámetro menor a 2.5. que se abrevia PM2.5. su origen está principalmente en fuentes de carácter antropogénico como las emisiones de los vehículos diésel (TULSMA, 2012).

La clasificación en base al tamaño se ha dividido en dos grupos principales: las grandes o fracción gruesa, señaladas como PM10 cuyo tamaño está entre los 2.5 - 10 micrómetros; y las pequeñas, fracción fina. PM2.5 menores a los 2.5 micrómetros (García, H., 2006).

2.1.5 Efectos de la contaminación por material particulado

a) Efectos del material particulado sobre la salud

Los efectos que puede provocar la inhalación de PM en la salud humana dependen de varios factores, de los cuales los más importantes son el tamaño de partícula, el tiempo de exposición a un ambiente con elevados niveles de material particulado y su composición química (Inza, A., 2010).

Independientemente del tamaño de partícula y del tiempo de exposición, los efectos del PM en la salud dependen de la composición química de éste. Aunque su efecto no está bien determinado, la mayoría de los estudios apuntan a que el mayor impacto en la salud lo causan las partículas de carbono elemental (EC), compuestos orgánicos (OM. especialmente los PAHs), sulfatos y nitratos. y determinados metales (As. Cd. Fe. Zn. Ni) (Wichmann, E., & Peters, A., 2000).

En áreas urbanas la mayoría de las partículas con esta composición se acumulan en la fracción PM2.5, lo que contribuye a aumentar su efecto adverso sobre la salud (Inza, A., 2010)

Los efectos que causan en la salud de las personas están asociados a la exacerbación de enfermedades de tipo respiratorio, tales como la bronquitis y sus efectos sobre dolencias de tipo cardiovascular (Linares, C., & Díaz, J., 2008; Lozano, F., 2012). Los últimos trabajos científicos sugieren que este tipo de contaminación, y particularmente las partículas procedentes del tráfico urbano, está asociado con incrementos en la morbi-mortalidad de la población expuesta y al creciente desarrollo del asma y alergias entre la población infantil (Linares, C., & Díaz, J., 2008).

Las partículas sólidas son menos tóxicas para la planta, ya que se depositan sobre la superficie superior cerosa y dura de las hojas y es allí donde se deben disolver, en la humedad depositada, para penetrar en el interior de la planta a través de los estomas o a través de las secciones dañadas de la superficie de la hoja. Algunas partículas se disuelven en la cera de la superficie y penetran en la planta. De esta manera, el efecto producido por el material particulado es más localizado y no llega a dañar por completo la estructura de la hoja en la proporción en que lo hacen los contaminantes gaseosos (Vara, M., 2017).

Los contaminantes del aire, gaseosos y el material particulado, afectan a los animales de forma similar a la que afectan a los seres humanos, aunque algunos animales son menos y otros más sensibles (Martin P., 2005).

c) Impactos del material particulado atmosférico en el cambio climático.-

El material particulado atmosférico altera la cantidad de radiación solar transmitida a través de la atmósfera terrestre.

La absorción de radiación solar por partículas atmosféricas junto a la captura de radiación infrarroja emitida por la superficie terrestre por parte de ciertos gases, intensifica el calentamiento de la superficie terrestre y la baja atmósfera, es el conocido efecto invernadero. Los efectos producidos por el material particulado atmosférico, incluye la alteración de la cantidad de radiación ultravioleta procedente del Sol que llega a alcanzar la superficie terrestre lo que puede ejercer efectos en la salud humana, la biota y otros componentes ambientales (Villacrés, M., 2015).

Los efectos en el clima ocasionados por las partículas pueden ser directos e indirectos, los directos en los cuales estas partículas actúan dispersándose y absorbiendo la radiación infrarroja solar y térmica; y el efecto indirecto, en el cual actúan alterando y provocando cambios en las propiedades de las nubes (Villacrés, M., 2015).

La radiación solar en el planeta puede ser reflejada o absorbida dependiendo de la composición de las partículas presentes en el ambiente, es decir, compuestos como sulfatos, nitratos y el carbón orgánico tienen la propiedad de reflejar la radiación solar que entra al planeta, por lo cual al impedir su entrada dan lugar a un proceso de enfriamiento, por el contrario las sustancias como el hollín absorben la radiación solar dando lugar a un efecto de calentamiento. Estos dos procesos provocan un desequilibrio térmico que puede ser trascendental en el

problema del cambio climático (Instituto Nacional de Salud Pública México, 2010).

d) Disminución de la visibilidad en el ambiente.-

Esta se conoce como la distancia a la que un determinado objeto puede ser observado, tomando en cuenta al cielo como horizonte sin diferenciar con claridad y exactitud sus detalles. La diferencia de la visibilidad existente en lugares contaminados es muy marcada, así tenemos que en las zonas urbanas donde existe una concentración de material particulado 2.5 de 100 ug/m^3 se puede visualizar un objeto máximo a 8 o 10 km de distancia; en cambio en lugares donde la contaminación es menor con valores de concentración de material particulado 2.5 de 20 ug/m^3 la visibilidad se aproxima a distancia de 50 a 60 km (Instituto Nacional de Salud Pública México, 2010), (Villacrés, M., 2015).

e) Efectos en los materiales

El efecto del ensuciamiento por partículas puede observarse en ciudades y áreas industriales, donde los edificios de piedras levemente coloreadas y los ladrillos, pronto adquieren el característico color negro. La erosión de la mampostería sobre edificios de gran valor arquitectónico e histórico es realmente seria en algunas ciudades (Martin P., 2005).

2.1.6 Vegetación urbana

La vegetación urbana se define como una agregación de vegetación y espacios verdes dentro de las ciudades y sus alrededores próximos, que proveen beneficios vitales para el mejoramiento de la calidad de vida de las personas. También, queda definido como las plantas o árboles que se encuentran en parques, jardines, espacios públicos, calles, tanto en áreas comerciales como residenciales (California Air Resources Borrad, 2003).

La vegetación se refiere al conjunto de árboles, arbustos, suculentas y herbáceas. A su vez, estas pueden encontrarse en distintos espacios físicos:

- ❖ Propiedades privadas: referidas principalmente a jardines de carácter privado; estos pueden ser de casas, clubes privados, instituciones educativas, entre otras. La distribución del tipo de vegetación es proporcionalmente similar entre

los componentes herbáceas y arbustivas. menor participación presenta el componente arbóreo.

- ❖ Calles: corresponde a espacios públicos. ligados al cuidado de municipalidades o instituciones públicas. El tipo de vegetación predominante son los árboles. presentándose en una menor proporción arbustos y herbáceas.
- ❖ Áreas Verdes Públicas y Privadas: corresponde a plazas. Parques, bandejones centrales, bosques y otros tipos de estructura similar. La proporción de participación es similar para todos los componentes (Dobbs, C., 2005).

La vegetación también se considera como una estrategia de conservación de energía calórica y reducción de CO₂, siendo más rentable que otras posibilidades para el ahorro energético. Otro de los beneficios que vale la pena mencionar, se refiere a que mejoran la calidad del aire, al ofrecer una superficie donde puedan quedar atrapadas las partículas contaminantes. También funcionan como sumidero de CO₂ atmosférico, por ende su incremento en términos de cantidad, permite reducir la concentración de gases de efecto invernadero (GHG's) (Nowak, D., 1996).

Según recomendaciones de la OMS, las ciudades deben disponer como mínimo de entre 10 y 15 metros cuadrados de área verde por habitante, distribuidos equitativamente en relación a la densidad de población. En el caso de del distrito de Santiago de Surco uno de los 43 distritos de la Provincia de Lima, ubicado en el Departamento de Lima. Limita al norte con el distrito de Ate y La Molina, al este con San Juan de Miraflores y Villa María del Triunfo, al sur con Chorrillos y al oeste con los distritos de San Borja, Surquillo, Miraflores y Barranco. Tiene una población de 289597 habitantes, una densidad poblacional de 8369 hab/km² con respecto a su extensión que es de 34.6 km². El área verde es de 1206332 m² por lo que se deduce que el porcentaje de área verde por habitante es de 4.17 m²/hab (Instituto Metropolitano de Planificación, 2010).

2.1.7 Áreas verdes y sus beneficios

Las áreas verdes en las ciudades juegan un papel fundamental en la mejora de la calidad de vida. La disponibilidad y accesibilidad de estas áreas contribuye con el bienestar físico y psicológico de la población, con la mejora de la calidad del aire y además, promueve la integración social. Se recomienda que las urbes dispongan

equitativamente en relación a la densidad de población y por tanto, de la edificación (Consumer, 2002).

Los beneficios de la vegetación son variados, los roles obvios son la sombra, la fotosíntesis, la absorción de gases contaminantes, la reducción de la velocidad del viento y el aumento en el valor de una propiedad. Los menos obvios incluyen la evapotranspiración, la intercepción y el almacenaje de precipitaciones, absorción de ruidos de alta frecuencia, entre otros (California Air Resources Board, 2003).

Consideramos el tema de las áreas verdes urbanas desde una perspectiva integrada y holística de manera que puedan brindar otros beneficios sociales, económicos, ambientales, además en la gestión del riesgo más allá del uso recreativo o estético, estas áreas pueden servir de zonas de evacuación ante alguna emergencia, de albergue o de instalación de algún Centro de Operación de Emergencia para una mejor atención a damnificados. Entre otros beneficios se incluyen las mejoras en la sanidad (Instituto Metropolitano de Planificación, 2010).

A diferencia del árbol presente en los bosques o en el ámbito rural, en la ciudad el árbol cumple servicios sociales y ambientales y, en recientes estudios llevados a cabo en EEUU y Europa también se le asocia una componente económica (Gonzales de Canales, C., 2002).

2.1.7.1 Beneficios ambientales del árbol urbano en la calidad del aire

Los árboles urbanos pueden proporcionar muchos beneficios a la sociedad y al medio urbano. Estos incluyen numerosos beneficios físicos - biológicos y sociales - económicos, como son mejor microclima y calidad del aire, acrecentamiento de la salud física y mental y mayor desarrollo económico (Nowak, D., Dwyer, J., & Childs, G., 1998). A continuación se describen los beneficios ambientales del árbol urbano en la calidad del aire:

❖ **Reducción de la Temperatura.-** La vegetación influye directamente sobre la temperatura de la ciudad, amortiguando los rigores estivales y disminuyendo la intensidad de las islas de calor. Esto se justifica entre otras razones, por el incremento de la superficie protegida de la radiación solar por la sombra de los árboles. Por otro lado, la vegetación incrementa la humedad ambiental por la propia transpiración y el riego de los suelos con vegetación,

Tesis publicada con autorización del autor
con el consiguiente alivio térmico (Gonzales de Canales, C., 2002).
No olvide citar esta tesis

UNFV

❖ **Disminución de los Contaminantes.-** Los árboles disminuyen los contaminantes gaseosos del aire por medio de la captación de estos, por las estomas de las hojas. Una vez dentro de las hojas, los gases difusos entran en los espacios intracelulares y podrían ser absorbidos por películas de agua formando formas ácidas o reaccionar con las superficies internas de las hojas (Smith, W., 1990).

Los árboles constituyen una forma eficaz de retención temporal para muchas partículas atmosféricas (Gonzales de Canales, C., 2002; Nowak, D., Dwyer, J., & Childs, G., 1998). Esa eliminación estandarizada de los contaminantes difiere según la cantidad de polución atmosférica, duración de las hojas en los árboles, precipitación y otras variables atmosféricas. Árboles sanos, más grandes de 77 cm de diámetro eliminan aproximadamente 70 veces más la polución atmosférica anual (1.4 Kg/yr) que árboles de tamaño menor a 8 cm de diámetro (0.02 Kg/yr) (Nowak, D., 2000).

❖ **Absorción de Carbono.-** De hecho, en términos de reducción del CO₂ atmosférico, los árboles en áreas urbanas ofrecen el doble beneficio: el almacenamiento directo de carbono y la disminución de la producción de CO₂ por parte de las plantas de energía que utilizan combustibles fósiles (Nowak, D., y otros, 1988).

La gran importancia y ventajas potenciales que los bosques urbanos presentan están en la captación de CO₂. Así en el bosque urbano de Milwaukee, Wisconsin, secuestra 1,521.3 toneladas de carbono anualmente. En Austin, Texas, científicos han calculado que el total de los árboles que cubre el 30% de la ciudad, secuestra 5,196.3 toneladas (MacDonald, L., 1996). En Chicago, los árboles se estiman que almacenan cerca de 5.6 millones de toneladas de carbono (McPherson, E., y otros, 1995).

❖ **Emisión de Compuestos Orgánicos Volátiles.-** Algunos árboles emiten a la atmósfera compuestos orgánicos volátiles (COV), tales como el isopreno y monoterpenos. Estos compuestos son sustancias químicas naturales de las que se obtienen aceites esenciales, resinas y otros productos de las plantas; pueden ser útiles en atraer polinizadores o repeler depredadores (Kramer, P., & Kozlowski, T., 1979).

2.1.7.2 Áreas verdes en Lima Metropolitana

El área metropolitana de Lima tiene apenas 2 m² de áreas verdes por persona, ocupando el último puesto en el ranking de espacios verdes y está muy por debajo de Santiago de Chile, México DF, Bogotá y Quito (Siemens, A., 2010). Una encuesta realizada por IPSOS revela los altos niveles de insatisfacción de la mayoría de limeños por el déficit de espacios verdes. De hecho, el 58% de ellos están insatisfechos con la cantidad de parques en su distrito, mientras que el 64% lo está con el estado de conservación de estos. En los sectores C, D y E el nivel de descontento por falta de parques es aún mayor: 62%, 72% y 64%, respectivamente (El Comercio, 2015).

Por otro lado el área verde per cápita de los distritos de San Isidro fue de 18.2, Miraflores 13.6, Barranco 8.9, Surco 5.0, Jesús María 9.0 y Pueblo Libre 4.0; distritos que fueron objeto de estudio (IPSOS, 2015).

2.1.8 Fijación de CO₂ por la vegetación arbórea

La fijación de CO₂ por parte de los árboles depende de varias causas: tipo de especie, calidad del sitio (suelo, clima, topografía), manejo y cuidados.

La mayor actividad de fijación de CO₂ se presenta en la etapa vegetativa o de crecimiento de los árboles, en la etapa adulta y sobre madura la fijación se reduce, llegando a cero. Cuando el árbol muere, se inicia un proceso de descomposición, el CO₂ se libera volviendo a la atmósfera. De tal manera que si los árboles son longevos pueden retener el dióxido de carbono por muchos años, manteniendo un flujo continuo, cuando muere un árbol en el bosque, este deja el espacio para que varios árboles jóvenes ocupen el lugar e inicien el proceso de captura nuevamente del CO₂ liberado, manteniendo un constante equilibrio natural (Jairo, L., s/f).

2.1.9 Ciclo del carbono

La dinámica del ciclo terrestre del carbono comienza con la producción primaria de la fotosíntesis, donde las plantas toman del aire carbono inorgánico en forma de CO₂ y lo convierten en azúcares y almidones que son la fuente de energía necesaria para el crecimiento vegetal (Post, M., y otros, 1990). Así pasa a formar parte de los ecosistemas terrestres, a través de la respiración, el proceso de descomposición y los incendios se libera el carbono a la atmósfera. Más tarde, a través de la

atmósfera, el carbono emitido pasa a formar parte de dar a los océanos, donde el ciclo se reinicia (Figuroa, C., 2001; Sedjo, A., 1990).

Considérese que el ciclo del carbono comienza con la fijación del dióxido de carbono atmosférico a través de los procesos de fotosíntesis realizada por las plantas y ciertos microorganismos. En este proceso, el dióxido de carbono y el agua reaccionan para formar carbohidratos y simultáneamente liberar oxígeno, que pasa a la atmósfera. Parte de los carbohidratos se consumen directamente para suministrar energía a la planta y el anhídrido carbónico así formado, se libera a través de sus hojas o de sus raíces. Otra parte es consumida por los animales, que también liberan dióxido de carbono en sus procesos metabólicos. Las plantas y los animales muertos son finalmente descompuestos por microorganismos del suelo, lo que da como resultado que el carbono de sus tejidos se oxide en anhídrido carbónico y regrese a la atmósfera (Sedjo, A., 1990).

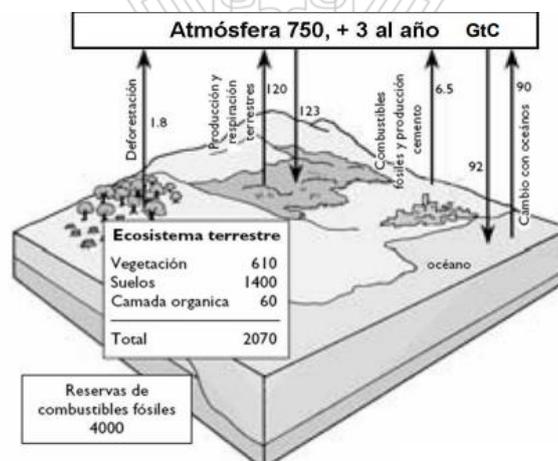


Figura 1. Ciclo Global del carbono en la Tierra

Fuente: Aukland, y otros, 2002

En la Fig. 1, se ilustra el ciclo global del carbono. Los recuadros muestran las existencias de carbono acumulados en distintas partes de la tierra y de la atmósfera. Las flechas indican los flujos anuales de carbono entre los principales componentes. Los mayores flujos de carbono ocurren de manera natural entre océanos, bosques y atmósfera (UNESA, 2005).

El ciclo del carbono en los ecosistemas terrestres se ha clasificado en los siguientes flujos: Producción Primaria Bruta (GPP, por sus siglas en inglés), la cual representa la asimilación del carbono por la fotosíntesis sin tomar en cuenta la respiración. Producción Primaria Neta (NPP_{idem}) que representa la fracción de GPP que resulta

en crecimiento cuando la respiración de la planta (R_a) es tomada en cuenta; Producción Neta del Ecosistema (NEP_{dem}) toma en cuenta la tasa anual de respiración heterotrófica de los organismos del suelo (R_h) y Producción Neta por Bioma (NBP) toma en cuenta las pérdidas no respiratorias tales como fuego y aprovechamientos (Schulze, E., Wirth, C., & Heimann, M., 2000).

En los ecosistemas forestales la dinámica del ciclo del carbono es muy compleja ya que aunque los flujos GPP y NPP se encuentran bien definidos, calcular los flujos restantes NEP y NBP resulta difícil, el carbono en el ecosistema se puede almacenar en depósitos intermedios donde puede volver a la atmósfera con relativa facilidad (Schulze, E., Wirth, C., & Heimann, M., 2000).

La NPP incluye toda la vida en los bosques desde los grandes niveles de la cadena alimenticia hasta los organismos desintegradores. La mayoría de los estudios hacen énfasis en la productividad de los procesos que ocurren sobre el suelo, sin embargo, los procesos que ocurren bajo el suelo son determinantes para mantener el equilibrio en el ecosistema (Waring, H., & Schlesinger, W., 1985).

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Captura de carbono

Las actividades antropogénicas han causado un gran impacto sobre los suelos y los bosques, dado que aproximadamente el 25% del total de las emisiones de CO_2 son causadas por la deforestación, principalmente en países tropicales. Sin embargo, la plantación de árboles o la regeneración de ecosistemas boscosos capturan el CO_2 atmosférico a medida que la vegetación crece, en un proceso llamado “captura o fijación de carbono” (UNESA, 2005).

La captación de CO_2 por los ecosistemas vegetales terrestres constituye un componente importante en el balance global de Carbono (C). A escala mundial se considera que la biosfera terrestre fija cerca de 2.000.000 toneladas/año (UNESA, 2005).

Este valor es el resultante de la pequeña diferencia entre la absorción fotosintética de CO_2 y las pérdidas por respiración, por descomposición de la materia orgánica y por perturbaciones de diferente naturaleza. A este valor le se denomina producción

netamente de la biosfera (PNB), y es la cantidad que a largo plazo queda almacenada en el sumidero (Mota, C., Alcarraz, C., & Carbajal, M., s/f).

El CO₂ secuestrado por las plantas es el resultado de las diferencias entre el CO₂ atmosférico absorbido durante el proceso de la fotosíntesis y el CO₂ emitido por la atmósfera durante la respiración. Esta diferencia es convertida en biomasa y suele oscilar entre el 45-50 % del peso seco de la planta. Por lo tanto, mientras el crecimiento sea alto, la vegetación natural y los cultivos agrícolas se convierten en los sumideros de carbono (Mota, C., Alcarraz, C., & Carbajal, M., s/f).

Los árboles y los bosques absorben grandes cantidades de carbono cuando son jóvenes y crecen rápidamente. A medida que los rodales se acercan a la madurez y los índices de crecimiento disminuyen, también la absorción neta de carbono disminuye (Palomino, D., 2007).

2.2.2 Efecto del estrés ambiental sobre la fijación de CO₂

Los estreses ambientales como la salinidad, la sequía, las altas o bajas temperaturas o la disminución de la radiación solar alteran la estructura y metabolismo de las plantas, por lo tanto afectan a su crecimiento y su papel como secuestradores de CO₂ (Martínez-Ballesta, M., López-Pérez, L., Muries, B., Muñoz-Azcarrae, O., & Carvajal, M., 2009). Por lo tanto, el efecto de esos estreses pueden tener consecuencias para los cultivos, variando tanto desde respuestas fisiológicas a corto plazo en las plantas de forma individual, como cambios a largo plazo en la estructura y función de las plantas (Mota, C., Alcarraz, C., & Carbajal, M., s/f).

Se estima que la fijación de CO₂ se verá incrementada en los próximos 60 años debido al aumento en la temperatura. Se espera que la fijación de CO₂ se incremente el 1% por cada °C en regiones donde la temperatura media anual es de 30 °C y el 10% en regiones donde la temperatura media anual es de 10 °C. Las tasas fotosintéticas, al duplicarse la concentración de CO₂, subirían un 25-75% en las plantas de fotosíntesis C₃ (las más comunes en latitudes medias y altas). Los datos son menos concluyentes en el caso de las plantas cuya modalidad fotosintética es la C₄, típica de lugares cálidos, siendo los intervalos de respuesta desde 0% hasta un 10-25% de incremento (UNESA. 2005).

Los principales almacenes de C en los ecosistemas son el suelo, la vegetación y el mantillo. La vegetación es la encargada de incorporar el C atmosférico al ciclo biológico por medio de la fotosíntesis. Los bosques del mundo (templados y tropicales) capturan y conservan más carbono que cualquier otro ecosistema terrestre y participan con el 90% del flujo anual de carbono entre la atmósfera y el suelo (Brown, S., y otros, 1993).

El carbono se deposita en el follaje, los tallos, sistemas radiculares y sobre todo, en el tejido leñoso de los troncos y en las ramas principales de los árboles. Debido a la longevidad de la mayoría de los árboles y a su tamaño relativamente grande, los árboles y los bosques son almacenes de carbono (Palomino, D., 2007).

El diagrama representa los flujos y almacenes de carbono en un ecosistema forestal, donde el follaje, las ramas, las raíces, el tronco, los desechos, los productos y el humus estable son almacenes de carbono, mismos que se reincorporan al ciclo por descomposición y/o quema de la biomasa forestal (Fig. 2) (Ordóñez, J., & Masera, O., 2001).

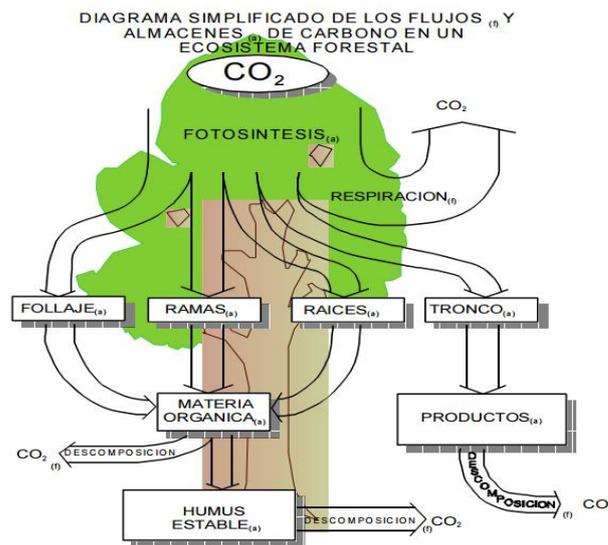


Figura 2. Diagrama simplificado de los flujos y almacenes de carbono en un ecosistema forestal

Fuente: Ordóñez, J., & Masera, O., 2001

2.2.4 Evaluación de estado fisiológico de la vegetación

Las plantas tienen la capacidad de captar el CO₂ atmosférico y mediante procesos fotosintéticos metabolizarlo para la obtención de azúcares y otros compuestos que requieren para el normal desarrollo de su ciclo vital. Las plantas, a través de la fotosíntesis, extraen el carbono de la atmósfera (en forma de CO₂) y lo convierten en biomasa. La biomasa al descomponerse se convierte en parte del suelo el proceso de bio-degradación en el suelo es más complejo que la sola formación de humus en CO₂ (a través de la respiración de los microorganismos que procesan la biomasa (Montaño, C., 2007).

2.2.4.1 Área foliar

El área foliar (ÁF) alcanzada por una planta durante ciertos estadios específicos del desarrollo es un dato indispensable para la calibración, adaptación y en general para la aplicación racional de los modelos de simulación agroambientales. Es bien conocido que la magnitud del área foliar define la capacidad de la cubierta vegetal para interceptar la radiación fotosintéticamente activa (RFA), la cual es la fuente primaria de energía utilizada por las plantas para la fabricación de tejidos y elaboración de compuestos alimenticios (Tsuji, G., Uehara, G., & Balas, S., 1994).

El área foliar está asociada con la mayoría de procesos agronómicos, biológicos, ambientales y fisiológicos, que incluyen el análisis de crecimiento, la fotosíntesis, la transpiración, la interceptación de luz, la asignación de biomasa y el balance de energía (Kucharik, Ch., Norman, J., & Gower, S., 1998).

La estimación del área foliar constituye un índice importante para establecer la capacidad de las plantas para interceptar la luz, realizar fotosíntesis y producir bienes agrícolas. En general, una alta productividad requiere una interceptación adecuada que aproveche al máximo la radiación solar incidente (Herbert, T., 2004).

2.2.4.2 Utilidad del área foliar

El empleo de modelos matemáticos para el cálculo del área foliar en plantas es de gran importancia en cuanto a la fisiología vegetal, ya que nos permite determinar la eficiencia fotosintética que la planta posee en su etapa adulta, así

como la estimación del crecimiento celular que posee la planta al momento de tomar referencia de otras plantas que se encuentren en medios de cultivo que les proporcionan nutrientes necesarios para la generación de giberelinas así como de ácido abscísico, etileno, factores que influyen en el crecimiento y proliferación de tejidos en plantas y que son de vital importancia al momento de estrés abiótico ya que puede estimular o inhibir el desarrollo de la planta (Galindo, J., & Clavijo, J., 2007).

2.2.4.3 Métodos para calcular el área foliar

Los métodos para calcular el área foliar en especies forestales se clasifican en:

- ❖ Métodos Directos: Miden el área foliar propiamente sobre el material.
- ❖ Métodos Indirectos: Derivan el área foliar de parámetros más fácilmente medibles.
- ❖ Métodos destructivos: Estos son métodos que requieren arrancar las hojas de la planta. es decir requieren la destrucción de la muestra objeto de estudio. La mayoría de esos métodos se realizan en el laboratorio y entre los más comunes se pueden citar el método de las figuras geométricas o gravimétricas.
- ❖ Métodos de estimación: Estos métodos se basan en la demostración de una relación matemática entre algunas característica biométricas de la hoja (longitud, ancho, diámetro) o de la biomasa (peso fresco o seco).
- ❖ Método no destructivo: En esta categoría se incluyen aquellos métodos que pueden ser usados a campo sin necesidad de destruir la muestra. usualmente han sido derivados de los métodos utilizados en el laboratorio como por ejemplo la medición con plantillas con medidas lineales (Galindo, J., & Clavijo, J., 2007).

Para medir el área u otros parámetros de crecimiento de hojas se han desarrollado sistemas altamente sensibles, precisos y costosos. Esos equipos se componen básicamente de cámaras de video o scanners acoplados a computadores con software especializado para análisis de imágenes que determinan el área de las hojas (Kolukisaoglu, Ú., & Thurow, K., 2010).

La disponibilidad de computadores, software y cámaras digitales ha favorecido el análisis de imágenes. El análisis de imágenes comprende la generación de imágenes por diferentes métodos, la eliminación posterior de elementos indeseables para mejorar la calidad y finalmente el uso de algoritmos para análisis computarizado (Rincón, N., Olarte, M., & Pérez, J., 2012).

Para el análisis de imágenes existen en internet plataformas de software libre como ImageJ (Rasband, W., 2007), que permite determinar el área de objetos gráficos en los que se introduce una referencia de tamaño conocido. Si se acoplan estos elementos para la medición del área u otros parámetros de crecimiento foliar, se tendrá un sistema portátil, económico y preciso que apoyaría la investigación y toma de decisiones, aún en lugares con recursos tecnológicos muy limitados (Rincón, N., Olarte, M., & Pérez, J., 2012).

En estudios realizados para comparar dos métodos de evaluación para la estimación del área foliar empleando el integrador de área foliar y el software ImageJ en cultivos del frijol. Las hojas fueron retiradas, identificadas y colocadas sobre una hoja de papel A4 blanco, con un marcado negro de área conocida (45 cm²) y posteriormente, fotografiadas y evaluadas a través del medio Integrador de área foliar. A partir de los valores obtenidos en cada método, se comprobó que, para la mayoría de las evaluaciones, los valores de área foliar estimados para ambos métodos tienen una distribución normal, los promedios y las variaciones no difieren entre sí y los valores de índice de concordancia de Willmott fueron elevados para los genotipos de frijol estudiados. De esta forma, el método para la estimación del área foliar que utiliza el software ImageJ puede utilizarse en lugar de los métodos del integrador de área foliar (Martin, T., y otros, 2013).

2.2.4.4 Masa foliar

La proporción de masa foliar (LMF) se define como la fracción del total de biomasa que la planta distribuye a hojas; es decir una medida de su inversión en órganos fotosintéticos (Valladares, F., 2004).

La masa foliar específica puede indicar si la contaminación afecta la fijación de carbono, dado que mediante la fotosíntesis las plantas transforman CO₂ en compuestos carbonados que pueden pasar a integrar los tejidos de la planta, lo cual se traduce en un aumento del peso seco. En general las plantas realizan la fotosíntesis con la principal finalidad de fabricar azúcares simples para obtención de energía, en condiciones de exceso de CO₂ atmosférico la enzima Rubisco tiende a aumentar las tasas de fijación de carbono y cuando las concentraciones de azúcares en el interior de la planta llegan al óptimo para el

funcionamiento bioquímico, el carbono restante es convertido en carbohidratos más complejos, sean para almacenamiento de reservas o para la construcción de la pared celular de nuevas células (Montaño, C., 2007).

2.2.5 Ecuaciones alométricas para estimar biomasa

La biomasa es importante para cuantificar la cantidad de nutrientes en diferentes partes de las plantas y estratos de la vegetación, permite comparar distintos tipos de especies o vegetación o comparar especies y tipo de vegetación similares en diferentes sitios. La cuantificación de la biomasa y el crecimiento de la vegetación en los ecosistemas son críticos para las estimaciones de fijación de C. un tema actualmente relevante por sus implicaciones en relación al cambio climático (Budowski, B., 1999; Malhi, Y., & Grace, J., 2000).

2.2.5.1 Biomasa de un árbol

Las reservas de carbono se estiman a partir de la biomasa del árbol, es decir, a partir de la masa seca de materia orgánica. Para obtener el valor de biomasa es necesario por tanto pesar todos los elementos constitutivos de un árbol (Fig.3). Estas medidas se hacen difíciles o imposibles a escala de bosque por dos razones:

- (1) se trata de mediciones destructivas y, por lo tanto, es indeseable o estas prohibida efectuarlas a gran escala.
- (2) El costo y el tiempo necesario para el trabajo son excesivos.

En los árboles, la biomasa varía según se trate de ramas, fuste, hojas y raíces dependiendo de distintos factores como la edad, el sitio, especie o tratamiento silvicultural. Sin embargo, existen tendencias que permiten configurar una idea de la distribución de la biomasa dentro de un sistema (Bown, H.,1992).

Con respecto a la biomasa subterránea, además, el trabajo de medición es aún más desafiante y, muchas veces, en lugar de medirla directamente, se calcula a través de factores de multiplicación específicos a partir de la biomasa aérea (Sola, G., Picard, N., Saint, L., & Henry, M., 2012).

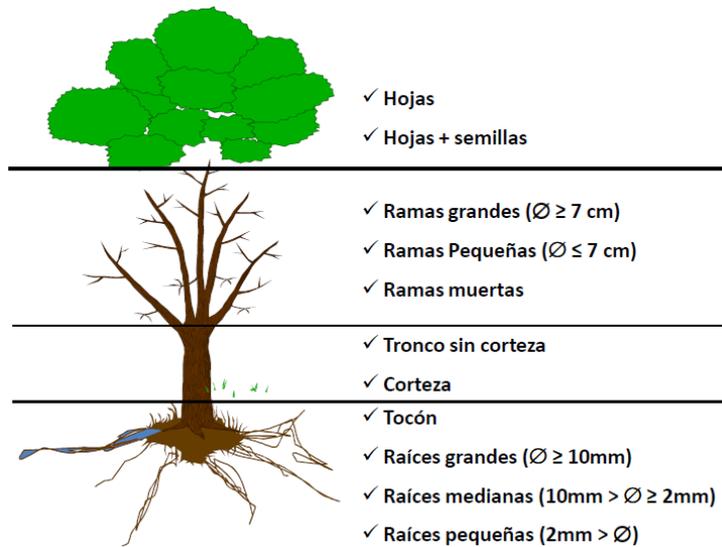


Figura 3. Los diferentes compartimentos de un árbol

Fuente: Sola, G., Picard, N., Saint, L., & Henry, M.,

Otro método más accesible para obtener una estimación de la biomasa de un árbol consiste en utilizar la relación existente entre el diámetro de árbol y de la biomasa. Es en este nivel las ecuaciones entran en juego, la alometría estudia las relaciones existentes entre las características dimensionales de los individuos en una población. De hecho, existe una relación estadística entre cantidades fáciles de medir a gran escala (diámetro, altura, densidad de madera) y variables difíciles de medir, como biomasa o el volumen. Por lo tanto las mediciones costosas y destructivas podrían ser limitadas a una muestra de árboles y tendrán como objetivo identificar estadísticamente los parámetros alométricos para todo el conjunto de árboles presentes en el área de investigación (Sola, G., Picard, N., Saint, L., & Henry, M., 2012).

2.2.5.2 Biomasa foliar

La importancia de estudios de biomasa foliar en ambientes urbanos va dirigido a evaluar los procesos de intercambio gaseoso y contaminación. lo que permitiría desarrollar sistemas de manejo del arbolado urbano dirigido hacia planes de descontaminación de forma costo efectiva (De la Maza, C., Hernández, J., Rodríguez, M., Escobedo, F., & Nowak, D., 2003). Se relaciona con la contaminación atmosférica en términos de la remoción de contaminantes

inadecuado de la biomasa se materializa en un detrimento de la calidad de vida de las personas, afectando su productividad económica (Escobedo, F., y otros, 2004).

2.2.5.3 Ecuación alométrica

La ecuación alométrica es una fórmula aproximada, simplificada. Su principio es una expresión de interdependencia y organización de procesos fisiológicos (crecimiento). Los parámetros pueden ser ajustados para conseguir una relación de potencia entre la biomasa y el diámetro del árbol. El ajuste consiste en determinar estadísticamente los parámetros a y b que dan la mejor relación entre biomasa y el diámetro (Picard, Laurent, & Matieu, 2012).

$$\text{Biomasa} = b \times \text{Diámetro}^a$$

└──────────┘ └──────────┘
Variable a Variable
explicar explicativa

Para mejorar el conocimiento sobre las ecuaciones alométricas y facilitar su desarrollo, se tiene la siguiente metodología estructurada en siete etapas:

- ❖ Selección de las variables a considerar y del área de validez del modelo
- ❖ Diseño del plan de muestreo y selección de árboles a medir
- ❖ Preparación y ejecución de la campaña de medición en campo y en laboratorio
- ❖ Entrada de Datos
- ❖ Exploración gráfica de los datos
- ❖ Ajuste de la ecuación alométrica a partir de los datos
- ❖ Predicción y validación de modelos (Picard, N., Laurent, A., & Matieu, H., 2012).

Generar ecuaciones alométricas de biomasa es importante ya que permiten evaluar la estructura y condición de un bosque, cuantificar su productividad, determinar la cantidad de carbono fijado, la tasa de fijación de CO_2 , y con ello valorar el impacto en la mitigación de gases efecto invernadero (Méndez Gonzales, Luckie Navarrete, Capó Arteaga, & Nájera Luna, 2011).

monocultivo, barbechos y bosques naturales, o incluso para árboles dispersos) y tipo de componente (Brown C. D., 2005).

La mayoría de las ecuaciones alométricas emplean el diámetro a la altura del pecho (DAP) como la única variable independiente y establecen una relación entre esta variable y los componentes de la biomasa del árbol (Gower, S., Kucharik, C., & Norman, J., 1999; Návar, J., 2009). Algunos estudios proponen incluir la altura de los árboles (H) como la segunda variable predictora y desarrollan ecuaciones con variables combinadas de DAP-H para mejorar la precisión de la estimación de la biomasa (Ketterings, Q., Coe, R., Van Noordwijk, M., Ambagau, Y., & Palm, C., 2001; Sampaio, E., y otros, 2010), mientras que otras incluyen, adicionalmente a las variables mencionadas, la densidad específica de la madera (DEM) (Gómez, J., Etchevers, J., Monterrosos, A., Campo, J., & Tinoco, J., 2011; Rojas, F., De Jong, B., Martínez, P., & Paz, F., 2015).

Ajuste de un modelo lineal: La regresión lineal simple es el más simple de los modelos lineales y supone:

- i) que no hay más que una sola variable explicativa X.
- ii) que la relación entre la variable de respuesta Y y X tiene la forma de una recta:

$$Y = \alpha + \beta X + \varepsilon$$

Ecuación 1

Donde: α es la intersección de la recta y β su pendiente.

- iii) que los residuos tienen una varianza constante: $\text{Var}(\varepsilon) = (\sigma^2)$

Por ejemplo, el modelo

$$\ln(B) = \alpha + \beta \ln(D) + \varepsilon$$

Ecuación 2

es un ejemplo de regresión lineal simple, que tiene como variable de respuesta $Y = \ln(B)$ y como variable explicativa $X = \ln(D)$. Corresponde a un modelo de potencia para la biomasa: $B = \exp(\alpha) D^\beta$. Este modelo se usa frecuentemente para ajustar un modelo de biomasa monoespecífico. Otro ejemplo es el modelo de biomasa de dos entradas:

2.2.6 Contaminación atmosférica por material particulado sedimentable

2.2.6.1 Material Particulado Sedimentable (MPS)

El material particulado sedimentable está constituido por partículas que se encuentran en el aire y que se depositan por efecto de la acción gravitacional (deposición seca de gases, partículas y aerosoles), y por contaminantes en estado gaseoso, y partículas no sedimentables que son arrastradas por la lluvia o nieve (deposición húmeda de ácidos disueltos) (Instituto Nacional de Salud Pública México, 2010).

El MPS está constituido por partículas contaminantes sólidas de un diámetro equivalente mayor o igual a 10 micras ($D \geq 10\mu$); tamaño y peso que está dentro de la influencia de la fuerza de atracción gravitatoria terrestre (gravedad), por lo que sedimentan y se depositan en forma de polvo en las diferentes superficies (edificios y objetos en general de exteriores e interiores. áreas verdes, avenidas y calles con o sin asfalto), desde donde vuelven a ser inyectados al aire por los llamados flujos turbulentos de las zonas urbanas.

Partículas sedimentables (> 10 micras), son partículas que por su peso tienden a precipitarse con facilidad, razón por lo cual permanecen suspendidas en el aire en periodos cortos de tiempo (Castillo, G., 2017). Este MPS se produce principalmente por la desintegración de partículas, a través de procesos mecánicos, el polvo, el polen, las esporas, el moho, el hollín, partículas metálicas, cemento, los fragmentos de plantas e insectos, polvo tóxico de las fábricas y agricultura y de materiales de construcción. El PM10 también se genera por el alto contenido de azufre de los combustibles diesel agravándose por la antigüedad y mal estado del parque automotor especialmente de los vehículos que transportan pasajeros (INEI, 2008).

Las PM o material particulado, forma parte de los denominados contaminantes criterio que son los considerados como de mayor impacto en la salud humana, por lo cual, se ha generado una normatividad donde se marcan límites permisibles de concentración en un período de tiempo buscando reducir sus efectos nocivos (García, H., 2006).

En el mes de marzo de 2015, el máximo valor obtenido de PM10 se registró en el distrito de Villa María del Triunfo (240.3 ug/m³), seguida de Puente Piedra (158.5 ug/m³), Huachipa (131.5 ug/m³), San Juan de Lurigancho (122.6 ug/m³), Santa Anita (109.8 ug/m³), Carabayllo (99.6 ug/m³), Ate (78.5 ug/m³), San Martín de Porres (64.9 ug/m³) y Jesús María (52.4 ug/m³) (Fig. 4), (Tabla 3) (INEI, 2015).

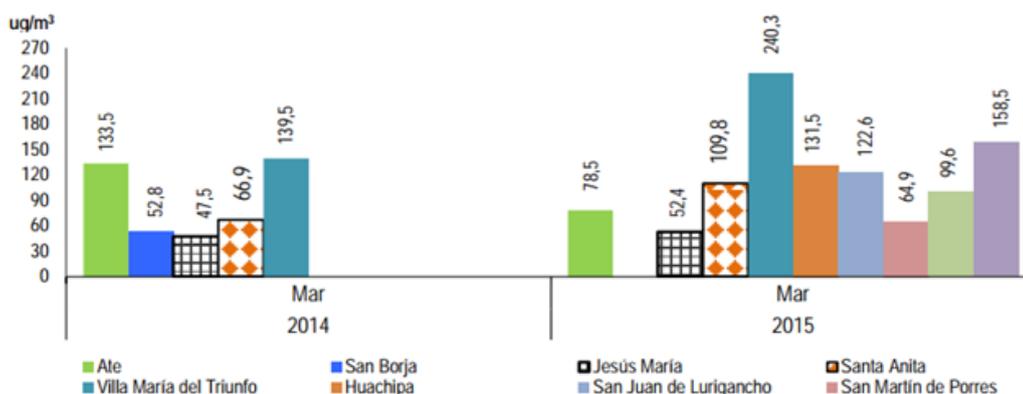


Figura 4. Lima Metropolitana: Valor de material particulado PM10, por estaciones de medición 2014-2015 (ug/m³)

Fuente: SENAMHI, 2015

Según la tabla 2 en el distrito de Jesús María (Campo de Marte), la concentración promedio de PM10 fue de 52.4 ug/m³, valor que aumentó en 26.0% respecto al mes anterior; y en 10.3% en relación a similar mes del año anterior. En el distrito de Santa Anita alcanzó 109.8 ug/m³, mayor en 34.1% en relación con el mes anterior, y en 64.1% respecto a similar mes del año anterior. En el distrito de Villa María del Triunfo el valor promedio de PM10 fue 240.3 ug/m³, cifra que aumentó en 89.8% con respecto al mes anterior; y en 72.3% con relación al mes del año anterior. En el distrito de Huachipa la concentración promedio de PM10 registró 131.5 ug/m³, valor mayor en 28.4% en relación con el mes anterior (INEI, 2015).

Tabla 2. Lima Metropolitana: Valor mensual de material particulado (PM10), en los principales núcleos, 2014-2015 (ug/m3)

Núcleos	2014										2015			Variación porcentual	
	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	OCT	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Respecto a similar mes del año anterior	Respecto al mes anterior
Ate	133.5	143.4	90.3	92.7	106.0	119.9	107.4	107.8	98.5	109.3	111.0	124.2	78.5	-41.2	-36.8
San Borja	52.8	41.8	34.6	43.7	69.3	58.8	58.2	56.0	...	...	...	...	...	...	...
Jesus Maria (Campo de Marte)	47.5	51.7	40.3	57.4	51.1	44.8	48.8	39.9	40.1	38.3	35.1	41.6	52.4	10.3	26.0
Santa Anita	66.9	72.7	55.8	...	79.4	87.4	...	...	...	69.1	70.0	81.9	109.8	64.1	34.1
Villa Maria del Triunfo	139.5	105.5	57.4	...	55.3	59.4	...	...	...	130.5	108.6	126.6	240.3	72.3	89.8
Huachipa	.....	.....	113.6	...	89.5	106.0	95.1	114.6	117.0	99.0	92.5	102.4	131.5	...	28.4
San Juan de Lurigancho	.....	.....	101.9	...	85.4	99.9	89.4	89.3	78.0	77.2	67.2	92.2	122.6	..	33.0
San Martin de Porres	.....	.....	72.5	...	...	47.5	49.7	48.6	48.1	...	38.2	46.7	64.9	...	39.0
Carabaylo	.....	.....	104.9	...	54.5	61.7	69.1	95.4	84.8	86.3	73.4	86.0	99.6	...	15.8
Puente Piedra	.....	.....	147.0	...	86.4	104.5	...	116.7	108.3	123.5	120.1	137.8	158.5	...	15.0

Fuente: INEI, 2015

2.2.6.2 Efectos negativos del material particulado sedimentable

Las partículas que se sedimentan pueden provenir de varios procesos de transformación y dependiendo de su composición son potencialmente dañinos para los suelos, la vegetación, la vida animal y humana. Además dentro de los efectos que tiene el material particulado sedimentable sobre el ambiente están el deterioro de los bienes materiales sobre los que estos se depositan, además empobrecen el paisaje y pueden provocar una contaminación considerable en la vegetación y en el suelo (Villacrés, M., 2015).

La deposición de partículas puede darse sobre varias partes de las plantas, quedándose allí por largos periodos de tiempo, provocando que estas partículas sean absorbidas o removidas, esto puede generar alteraciones en la fotosíntesis, cambios en la composición química del suelo, modificaciones en el crecimiento y reproducción de las plantas (Instituto Nacional de Salud Pública

compuestos derivados del nitrógeno, azufre y metales pesados, entre otros (Villacrés, M., 2015).

2.2.6.3 Vegetación Urbana como Bioindicadora de Contaminación atmosférica

Aunque las mediciones de contaminantes por métodos físico-químicos son importantes, no permiten obtener conclusiones sobre los efectos que las concentraciones de contaminantes tienen sobre los seres vivos. Para ello, se utilizan los llamados bioindicadores, que complementan a los citados métodos físicoquímicos y aportan información sobre los efectos de la contaminación sobre los organismos (Klumpp, A., Ansel, W., & Klumpp, G., 2004). Los bioindicadores son organismos o comunidades de ellos que pueden responder a la contaminación ambiental mediante alteraciones en su fisiología o a través de su capacidad para acumular polutantes (Pignata, M., 2003).

Bioindicadores miden los efectos de la contaminación en seres vivos, por lo tanto, ofrecen información sobre los riesgos para otros organismos, ecosistemas y el hombre.

Las plantas, además de otros organismos, responden de diferentes maneras a estímulos externos como contaminantes atmosféricos. Pueden servir como indicadores de la actividad biológica de los contaminantes atmosféricos porque no solo son sensibles, pero también proveen respuestas características a contaminantes atmosféricos frecuentes (Guderian, R., 1985).

El follaje de los vegetales puede cumplir un importante papel como receptor del polvo atmosférico y como parámetro de referencia sobre el grado diferencial de contaminación. Es bien conocido el efecto de filtrado del polvo atmosférico por la vegetación, principalmente, la arbórea (CEPAL, 1991). Los bosques y los espacios verdes urbanos tienen un efecto benéfico sobre la calidad del aire, dado que lo filtran fijando los agentes de polución (polvos) (Dalmaso, A., Candida, R., & Llera, C., 1997).

El poder de retención de polvo por las hojas varía con la especie y las características morfo-anatómicas de la hoja (superficie expuesta y grado de pilosidad). Este efecto de retención por la vegetación es bien conocido en

especies europeas, así *Abies pinsapo* (abeto rojo) retiene 32 Tn/ha en condiciones de bosque denso, mientras que *Populus sp.*, álamo) sólo 1 Tn/ha (Pesson, P., 1978).

La velocidad y cantidad de material depositado fluctúa según el tamaño de partículas, por variaciones espaciales, temporales y condiciones micrometeorológicas (Moreno, G., Martínez, E., Faggi, A., & Vento, B., 2008). Conocer la cantidad y calidad de contar polvo sedimentable que se acumula sobre la vegetación, permite inferir el grado de contaminación y la distribución de ésta (Dalmaso, A., Candida, R., & Llera, C., 1997).

2.3 Marco normativo

2.3.1 Normas a Nivel Nacional

❖ **Constitución política del Perú**

El Artículo 2 inciso 22 establece que es deber primordial del Estado garantizar el derecho de toda persona a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado para el desarrollo de su vida. Así mismo, el Artículo 67° señala que el Estado determina la política nacional del ambiente y promueve el uso sostenible de los recursos naturales (El Peruano, 1993).

❖ **Ley N° 28611: Ley General del Ambiente**

El Artículo 33 inciso 2 de la elaboración de ECA y LMP, la Autoridad Ambiental Nacional, en el proceso de elaboración de los ECA, LMP y otros estándares o parámetros para el control y la protección ambiental, debe tomar en cuenta los establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) o de las entidades de nivel internacional especializadas en cada uno de los temas ambientales (El Peruano, 2005).

❖ **Ley N° 27446: Ley del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental**

En el artículo 5, nos menciona los criterios de protección ambiental. la protección de la calidad ambiental, tanto del aire, del agua, del suelo, como la incidencia que pueda producir el ruido y los residuos sólidos, líquidos y emisiones gaseosas y radioactivas (El Peruano, 2001).

❖ **Decreto supremo N° 047- 2001-MTC.** establecen límites máximos permisibles de emisiones contaminantes para vehículos automotores que circulen en la red vial El Artículo 5 establece que los vehículos automotores cuyas emisiones superen los Límites Máximos Permisibles (LMPs). serán sancionados conforme lo establece el Reglamento Nacional de Tránsito (El Peruano, 2001).

❖ **Norma de calidad ambiental o nivel referencial**

En el Perú no se presenta ninguna norma o ley con respecto a los límites máximos permisibles para polvo sedimentable, sin embargo, instituciones como DIGESA Y SENAMHI cogen normas de OMS para establecer estudios de monitoreo (Marcos, R., Cabrera, M., Laos, H., Mamani, D., & Valderrama, A., 2008).

❖ **Ordenanza Municipal de Lima Metropolitana N°1862-2014**

Que regula el proceso de planificación del desarrollo territorial urbano del área metropolitana de Lima, en el Artículo N°16 establece los tipos de zonificación de los usos del suelo de acuerdo con el funcionamiento de las actividades económicas y sociales en la ciudad (Municipalidad Metropolitana de Lima, 2016).

2.3.2 Normas a Nivel Internacional

En el protocolo de Kyoto, se establecieron compromisos vinculantes de reducción de las emisiones de los GEI por parte de los países industrializados. empleando el mecanismo de flexibilidad existente, siendo uno de ellos el proyecto Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), que a través de los cuales se podrían incentivar las plantaciones agroforestales y forestales con fines de captura de carbono, estas a su vez pueden beneficiarse ambientalmente mediante el secuestro de carbono, disminuyendo la presión de los bosques naturales, regulando el clima. etc (CONAM, 2001; (Concha, J., Alegre, J., & Pocomucha, V., 2007).

2.4 Marco conceptual

❖ **Material Particulado Sedimentable.-** constituido por partículas que se encuentran en el aire y que se depositan por efecto de la acción gravitacional (deposición seca de gases. partículas y aerosoles), y por contaminantes en estado gaseoso. y partículas no sedimentables que son arrastradas por la lluvia o nieve (deposición húmeda de ácidos disueltos) (Instituto Nacional de Salud Pública México, 2010).

- ❖ **Secuestro de Carbono.-** Es un servicio ambiental basado en la capacidad de los árboles para absorber y almacenar el carbono atmosférico en forma de biomasa. Los niveles de absorción pueden ser mejorados con el manejo adecuado de los ecosistemas forestales. evitando su conversión en fuentes emisoras de gases de efecto invernadero (GEI) (Fondo Nacional del Ambiente-Perú, 2017).
- ❖ **Vegetación urbana.-** Se refiere al conjunto de árboles, arbustos, suculentas y herbáceas (California Air Resosurces Borrada, 2003).
- ❖ **Biomasa.-** Es la cantidad total de materia viva presente en un sistema biológico, generalmente se expresa en unidades de peso seco por unidad de superficie (Newbould, P., 1967). Otro tipo de definición se refiere a la materia orgánica seca total o energía contenida en un organismo viviente que está presente en un momento específico y en una unidad definida (comunidad. ecosistema. etc.) de la superficie de la tierra (O'Hara, F., 1990).

2.5 Hipótesis

2.5.1 Hipótesis general

- La influencia del material particulado en el secuestro de carbono en las áreas verdes de Lima Metropolitana durante el año 2016 es significativa.

2.5.2 Hipótesis específica

- La concentración de material particulado sedimentable depositados en las hojas de la vegetación durante el año 2016 es significativa.
- La evaluación del estado fisiológico (biomasa) y su influencia en el secuestro de carbono en las áreas verdes de Lima Metropolitana durante el año 2016 es significativa.
- El stock de captura de carbono en las áreas verdes de Lima Metropolitana durante el año 2016 es significativo.

Capítulo III: Método y Diseño de la Investigación

3.1 Tipo de investigación

Se utilizó los métodos: cuantitativo, hipotético - deductivo y cuasi experimental.

3.2 Diseño de la investigación

La investigación corresponde a un diseño cuasi experimental, conformado por dos grupos experimentales, que tiene el siguiente diagrama:

Ap	G ₁	X ₁	Ei ₁ , Ei ₂ , Ei ₃.....Ei ₉	X ₃
Ap	G ₂	X ₂	Ef ₁ , Ef ₂ , Ef ₃.....Ef ₉	X ₄

En donde:

Ap= Asignación de los sujetos al grupo experimental de manera aleatoria.

G₁= Grupo experimental evaluado en la estación verano

G₂= Grupo experimental evaluado en la estación invierno

Ei₁, Ei₂, Ei₃.....Ei₉= Evaluación inicial de los subgrupos experimentales estación verano

Ef₁, Ef₂, Ef₃...Ef₉= Evaluación final de los subgrupos experimentales estación invierno

X₁, X₂= Trabajo en campo de los grupos experimentales.

X₃, X₄= Trabajo en gabinete de los grupos experimentales.

3.3 Estrategia de prueba de hipótesis

Se realizó un análisis de varianza con comparación de medias con la prueba de Mann-Whitney entre los grupos de tratamientos bajo un diseño de bloques completamente al azar, estimación analítica de regresión alométrica de escalamiento para lo cual se aplicó el paquete estadístico SPSS versión 23.

3.4 Variable

El presente estudio de investigación planteó como variable dependiente “Secuestro de carbono” y como indicador “crecimiento”; la variable independiente “Material particulado sedimentable” y el indicador “MPS g/kg materia seca.

3.5 Población

La población correspondió a 111 parques conformados por los distritos de Pueblo Libre, Jesús María, San Isidro, Barranco, Surco y Miraflores de la ciudad de Lima (Fig. 5).

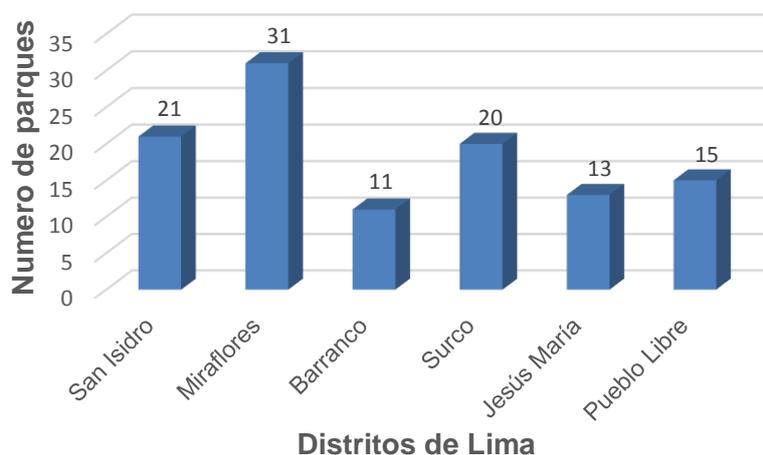


Figura 5. Numero de parques por distritos

Fuente: Elaboración propia.

Los parques del ámbito de investigación fueron delimitados siguiendo las consideraciones de las variables área verde per cápita y numero de parques expuestos en la tabla 3.

Tabla 3. Estratos según distritos del ámbito de la investigación para las variables área verde per cápita y número de parques

Estrato	Distritos	AV/pc	Número de parques
A	San Isidro	15.31	21
	Miraflores	10.05	31
	Barranco	5.05	11
	Surco	4.83	20
B	Jesús María	6.80	13
	Pueblo Libre	1.00	15
	Total		111

3.6 Muestra

El estudio se desarrolló en una muestra significativa correspondiente a los distritos de Pueblo Libre, Jesús María, San Isidro, Barranco, Surco y Miraflores de la ciudad de Lima.

La estimación de la muestra (n), según el muestreo aleatorio estratificado (MAE), se hizo sobre la base de los estadísticos de dispersión y tendencia central que se presentan en la tabla 4.

Tabla 4. Estadísticos de tendencia y dispersión de la población estudiada de parques con área verde del ámbito del estudio

Estrato	Número de parques (N)	Media (X)	Mediana (Me)	Varianza (σ^2)	SD (σ)	a_i
A	83.00	20.75	20.5	40.2	7.1	0.75
B	28.00	14.0	14.0	1.0	1.0	0.25

Conforme a los señalamientos metodológicos del MAE, dado que se quiere inferir sobre la media poblacional, cuyo estimador insesgado es:

$$\bar{y} = \frac{1}{N} [N_1\bar{y}_1 + N_2\bar{y}_2 + \dots + N_L\bar{y}_L] = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^L N_i\bar{y}_i \quad \text{Ecuación 4}$$

De ese modo, el procedimiento para la estimación del tamaño de la muestra con MAE, (n) o tamaño de muestra está dado por:

$$n = \frac{\sum_{i=1}^L \frac{N_i^2 \sigma_i^2}{a_i}}{N^2 D + \sum_{i=1}^L N_i \sigma_i^2} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde, a_i es la fracción de observaciones afijadas en el estrato i . σ_i^2 es la varianza poblacional para el estrato i , y en la cual D expresa el error máximo permisible a cometer, en caso de estimar μ .

De la tabla 4 se deduce que la población (N) es la suma de las poblaciones por cada estrato, es decir de N_1 y N_2 , en este caso 111 parques con áreas verdes y cuyas correspondientes a_i son: 0.75 y 0.25 respectivamente. De otro lado, las respectivas varianzas σ_1 y σ_2 las cuales serán aproximadas con base a s^2_1 y s^2_2 que provienen de un experimento anterior, in facto del detalle expresado en la tabla 5, siguiendo la recomendación de Scheaffer, Mendenhall & Lyman (2007) Así se tiene que:

$$\sum_{i=1}^3 \frac{N_i^2 \sigma_i^2}{a_i} = 373009.95$$

Luego se estima:

$$\sum_{i=1}^3 N_i \sigma_i^2 = 3360.45$$

Si se considera que el valor de B es 2.99, entonces:

$$N^2 D = 36926.04$$

Entonces, se tiene que el tamaño de muestra (n) sería:

$$n = \frac{\sum_{i=1}^L \frac{N_i^2 \sigma_i^2}{a_i}}{N^2 D + \sum_{i=1}^L N_i^2 \sigma_i^2} = 9.26 \approx 9$$

Los 09 parques se distribuyen en los estratos, conforme se aprecia en la tabla 5, según la cual la proporción de la asignación a_i se ha mantenido. La relación de las unidades de análisis (parques) se detallan en el ítem delimitación del área de investigación.

Tabla 5. Distribución de la muestra según distritos y por estratos

Estrato	Distritos	Número de parques	Fi	Tamaño de N en el estrato L	Tamaño de N en el estrato L (reasignado)
A	San Isidro	21.00	0.18	1.64	2
	Miraflores	31.00	0.27	2.43	2
	Barranco	11.00	0.10	0.86	1
	Surco	20.00	0.17	1.57	2
B	Jesús María	13.00	0.11	1.02	1
	Pueblo Libre	19.00	0.17	1.49	1
		115.00		9.00	9

3.7 Técnicas de investigación

3.7.1 Instrumentos para investigación

Los principales instrumentos que se utilizó en la investigación son:

- Equipos e instrumental de laboratorio para la evaluación de la contaminación atmosférica por material particulado sedimentable en la vegetación de Lima.
- Equipos e instrumental de campo para la determinación de la biomasa.
- Equipo y software Image J versión 1.46 para la determinación del área foliar.
- Formatos de registro de datos para la determinación de la captura y almacenamiento de carbono.

3.7.2 Procedimiento

La investigación se realizó según la metodología establecida en la “Guía para la Determinación de Carbono en Pequeñas Propiedades Rurales” perteneciente al *World Agroforestry Center* (ICRAF) para la determinación de carbono (Rügnitz, M., Chacón, M., & Porro, R., 2008) debido a que no existe una bibliografía especializada para la determinación de carbono en parques de la zona urbana. Los muestreos fueron realizados en dos épocas del año correspondiente a las estaciones de verano e invierno del año 2016 comprendiendo seis etapas:

3.7.2.1 Etapa N°1.- Planificación en Gabinete

La cual consistió en la búsqueda bibliográfica, reuniones con el asesor, la delimitación del área de investigación, estratificación del área de investigación, identificación de las especies de flora por el método de transecto y determinación de los depósitos de carbono.

❖ Fase N°1: Delimitación del área de investigación

El área de estudio correspondió a los parques de los distritos de Surco, San Isidro, Barranco, Miraflores, Pueblo Libre y Jesús María. En la tabla 6 se indican 09 Estaciones de muestreo (parques) con sus respectivas coordenadas para su ubicación.

Tabla 6. Ubicación de los puntos de muestreo en la Ciudad de Lima, Perú.

Estaciones de muestreo	Coordenadas		Ubicación
E-1 Parque Monterrico	12° 5'56.90"S	76°58'23.26"O	Av. Manuel Olgúin con la Av. el Derby – Monterrico-Surco
E-2 Plazuela Faustino Sánchez Carrión	12° 8'42.14"S	76°59'21.64"O	Av. Santiago de Surco con Av. Monte de los Olivos – Surco
E-3 Plaza de Armas Barranco	12° 8'57.90"S	77° 1'17.17"O	Av. El Libertador San Martín con Pje. Chabuca Grande – Barranco
E-4 Parque El Reducto	12° 7'37.58"S	77° 1'19.31"O	Av. Benavides con Paseo de la República - Miraflores
E-5 Miguel Grau	12° 7'10.12"S	77° 2'39.99"O	Malecón Cisneros con Av. José Pardo - Miraflores
E-6 Parque Mora	12° 6'35.89"S	77° 2'47.71"O	Av. Angamos Oeste con Av. Gral. Córdova - San Isidro
E-7 Alfonso Ugarte	12° 5'45.94"S	77° 2'57.51"O	Av. Javier Prado Oeste con Calle los Eucaliptos - San Isidro
E-8 Parque Los Bomberos	12° 4'3.13"S	77° 2'37.52"O	Av. de la Peruanidad con Av. Horacio Urteaga - Jesús María (costado Campo de Marte)
E-9 Plaza Bolívar	12° 4'39.24"S	77° 3'45.23"O	Av. Gral. Manuel Vivanco con Jirón Carlos de los Héroes - Pueblo Libre

Fuente: Elaboración propia

❖ Fase N°2: Estratificación del área de investigación

La cual consistió en la determinación del área de investigación correspondiente a los 09 parques de los distritos de Surco, San Isidro, Barranco, Miraflores, Pueblo Libre y Jesús María las mismas que pertenecían a un solo estrato, de acuerdo a la Municipalidad de Lima, el Plan Metropolitano de Desarrollo de Acondicionamiento Territorial y Desarrollo Urbano de Lima (PLAM de Lima y Callao, 2008), la zonificación urbana corresponde a la habilitación recreacional (HR) es decir zonas destinadas a la realización de actividades recreativas activas y/o pasivas, tales como plazas, parques. etc.

❖ Fase N°3: Identificación de las especies de flora por el Método de Transecto

El método utilizado para la identificación de las especies de flora en el sitio de muestreo fue el "método del transecto" que consistió en la toma de una porción

alargada de vegetación que sirve como muestra o unidad muestral. Se realizó los siguientes pasos: (Palomino, 2007).

- Se seleccionó de cada estación de muestreo (parque) la zona de estudio la cual presentó la mayor uniformidad catalogada como “área estandarizada”, considerando: frecuencia, densidad y cobertura, se registró en un formato (Ver anexo 1).
- Se obtuvieron muestras de vegetación para identificar las especies, lo que permitió tener la flora característica, estimando el valor de los parámetros de la población. si su valor es constante. Con la unidad de muestreo (unidad de la población) se realizó mediciones u observaciones simples de los caracteres de la vegetación.
- De cada comunidad se tomó una muestra aleatoria para las evaluaciones correspondientes.

❖ **Fase N° 4: Determinación de los depósitos de carbono a medir**

Esta fase consistió en determinar el tipo de depósito de carbono a medir para ello se tuvo que tener en cuenta la selección del tipo de proyecto “Conservación del bosque” (tabla 7) adecuándose para los 09 parques de los distritos de Surco, San Isidro, Barranco, Miraflores, Pueblo Libre y Jesús María dentro del cual se seleccionaron los siguientes depósitos:

- (i) “S” o “Necesarios” (árboles o vegetación arbórea)
- (ii) “Q” o “Quizás” (vegetación no arbórea).

Por lo tanto se definió la biomasa viva sobre el suelo, evaluándose por separado la biomasa aérea arbórea, y la biomasa aérea no arbórea (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2005), (Rügnitz, Chacón, & Porro, 2008), (Brown S. , 2002).

Tabla 7. Matriz de recomendaciones de depósitos de carbono a medir, por tipo de proyecto.

Objetivo del proyecto	Tipo de Proyecto	Tipo de depósitos de carbono					
		Biomasa viva			Biomasa muerta		Suelo
		Árboles	Vegetación no arbórea	Raíces	Madera Muerta	Hojarasca	
Reducción (evitar) emisión de carbono	Conservación del bosque	S	Q	R	Q	S	R
	Manejo de Impacto Reducido del bosque	S	Q	R	Q	S	Q
Reforestación (captura de carbono)	Restaurar vegetación nativa	S	Q	R	S	S	Q
	Plantaciones forestales	S	N	R	Q	Q	R
	Plantaciones agroforestales	S	S	Q	S	S	R

Fuente: (Brown S. , 2002)

S: Si necesario; R: recomendado; N: no recomendado; Q: quizás, dependiendo de las exigencias del mercado.

3.7.2.2 Etapa N°2.- Implementación de parcelas de muestreo

❖ Fase N°1: Tipo y tamaño de la parcela

La evaluación de la biomasa para cuantificar el carbono acumulado en el ecosistema se efectuó a través de parcelas de muestreo temporales cuadradas (Fig. 6).

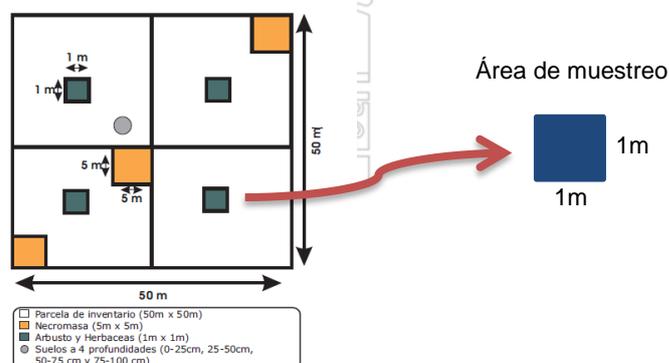


Figura 6. Esquema de la parcela de inventario (2500m), con cuatro subparcelas y cuatro miniparcelas utilizadas para el inventario de carbono de los parques urbanos. Fuente (Freitas, y otros, 2006).

❖ **Fase N°2: Selección de los árboles**

En visitas preliminares al área de estudio, se realizaron observaciones fisonómicas, evaluándose la composición y la estructura de las comunidades de plantas. En un inventario rápido en parcelas de 2x50 m. se identificó la abundancia de las especies (Freitas, y otros, 2006), (Palomino, 2007).

3.7.2.3 Etapa N°3.- Evaluación de la contaminación atmosférica por material particulado sedimentable (MPS) empleando a la vegetación como bio-indicador (Dalmaso, Candida, & Llera, 1997).

❖ **Fase N°1: Toma de muestra en campo**

- De los árboles seleccionados en la etapa anterior se extrajeron las muestras de hojas a una altura variable entre 2.5 y 3.5 m por la facilidad de acceso.
- Las muestras de las 15 hojas extraídas fueron acondicionadas en bolsas de papel, codificadas para su posterior evaluación en el laboratorio.

❖ **Fase N°2: Determinación de MPS**

- La extracción del MPS se efectuó mediante lavado y agitación periódica con agua corriente de 15 hojas por muestra.
- Se empleó un pequeño pincel para favorecer el desprendimiento de las partículas las cuales fueron depositadas en frascos de vidrio de un litro de capacidad.
- El extracto obtenido fue filtrado en un embudo Buchner a través de papel de filtro Whatman N° 42 (tarado), se secó en estufa y se registró el peso del MPS.
- Las hojas lavadas libres de MPS, fueron pesadas, luego de secadas en estufa a 65° C hasta obtener un peso constante (aproximadamente 48 hs).
- Los datos se expresaron en gramos de MPS por kg de materia seca de hojas (g/kg) y registrado en un formato (Ver anexo 2 y 3).

3.7.2.4 Etapa N° 4.- Determinación del estado fisiológico de la vegetación arborea

❖ Fase N°1: Toma de muestra en Campo

- Se colectó muestras de 15 hojas frescas de la vegetación arbórea a una altura variable entre 2.5 y 3.5 m. por la facilidad de acceso por cada especie identificada en cada zona de muestreo.
- Las muestras de hojas extraídas fueron codificadas y acondicionadas en bolsas de papel para su posterior evaluación en el laboratorio.

❖ Fase N°2: Determinación de la masa foliar

- Se procedió a pesar cada hoja de cada grupo de 15 hojas por especie identificada en cada zona de muestreo.
- Se obtuvo el peso seco de las hojas.
- La biomasa foliar específica se midió como gr. de biomasa foliar /cm². (Ver anexo 4).

❖ Fase N°3: Determinación del área foliar con software imageJ

Con ayuda del programa ImageJ se procedió a determinar el área foliar de las muestras de hojas colectadas en el ítem anterior. Para ello se procedió de la siguiente manera:

- Se procedió a escanear o fotografiar cada muestra de hoja colectada sobre un papel de color rosado con una línea de referencia de 2 cm de longitud dibujada al lado del sitio de ubicación de las hojas. Para extender las hojas completamente se cubrieron con un vidrio transparente de 15 x 20 cm y 3 mm de espesor, de superficie esmerilada para evitar brillos (Ver anexo 5).
- Para la determinación del área de las imágenes de las hojas se abrió una fotografía en el software libre ImageJ (Versión 1.46) y se fijó una medida de referencia de tamaño para los análisis posteriores (Rasband, 2007).
- Para ello, sobre la fotografía visible en la pantalla de la computadora se trazó una línea de referencia sobre la marca de 2 cm dibujada anteriormente sobre el papel rosado.
- Luego se usaron secuencialmente los comandos Analyze> Set Scale> Known distance: 2. Unit of length: cm. Global scale.
- En algunos casos dependiendo de la forma de la hoja se trazó una línea

- Para procesar imágenes se usaron los comandos: Process> Binary> Make binary. Cuando la imagen de la hoja no apareció negra sobre fondo blanco. se invirtió la imagen con los comandos Edit>invert.
- Para la medición de área se seleccionó la región de la hoja con la herramienta “Wand” y se utilizaron los comandos Analyze>Measure.
- Para determinar otra área foliar se borró el área seleccionada.
- Se dio clic al comando Edit> Selection> Select none y luego los comandos Analyze> Set Scale para establecer nuevamente la escala de la nueva imagen de la muestra de hoja seleccionada (Ferreira & Rasband, 2012)
- A partir del peso seco de las muestras se estableció la relación superficie/peso foliar.
- Las fotografías se analizaron en el software ImageJ 1.46 instalado en un mini computador portátil HP Pavolon 14 Ultrabook (procesador Intel® CORE I3. 1.6 GHz. 2 GB RAM).

3.7.2.5 Etapa N°5.- Determinación de la captura o almacenamiento de carbono en vegetación (Cv)

Se realizó en los 09 parques de los distritos de Surco. San Isidro. Barranco. Miraflores. Pueblo Libre y Jesús María mediante el método indirecto (no destructivo), el cual consistió en la utilización de ecuaciones alométricas que permitieron relacionar las dimensiones básicas de diámetro a la altura del pecho DAP y altura total que fueron obtenidas durante el trabajo de campo sin dañar a los árboles para la estimación de la biomasa (Nowak. 1996), (Rügnitz, Chacón, & Porro, 2008), (López, 2015).

❖ Fase N°1: Medición de diámetro de árboles

- El diámetro de los árboles fue medido con la corteza. a la altura del pecho (1.3 m.), siendo designado DAP empleándose una cinta métrica convencional (Ver anexo 6)
- Se realizó la conversión del valor de la circunferencia al diámetro mediante la siguiente conversión:

$$D = \frac{C}{\pi} \quad \text{Ecuación 7}$$

Dónde:

D es el diámetro

C es la circunferencia y

π (PI) equivale a 3.1415

❖ Fase N°2: Medición de altura de árboles

- La medición de la altura de los árboles se realizó por medio del clinómetro que será construido como se indicó en el anexo 7.
- El responsable en registrar los datos debió posicionarse en la base del árbol a ser medida y el otro miembro del equipo se posicionó a una distancia definida para realizar los siguientes pasos:
- Se procedió a tomar una distancia suficiente del árbol a ser medida (de 15 a 40 metros, dependiendo de la visibilidad total que se tiene del árbol). Se realizó la medición de la distancia y para reducir errores de medición, la distancia debió ser aproximada a la altura del propio árbol.
- Se realizó la corrección de la inclinación del terreno. Se debió obtener la distancia horizontal del árbol seleccionado a pesar del grado de inclinación del terreno. Cuando el terreno es plano, las distancias pudieron ser medidas directamente. Entre tanto, si el terreno es inclinado ($\geq 15\%$), se recomendó aplicar un factor de corrección.
- Observación y medición de la base del árbol, es decir la medición del ángulo a la referencia del árbol se realizó utilizando el clinómetro (Ver anexo 8).
- Observación y medición del ángulo al ápice del árbol utilizando clinómetro
- Cálculo de las mediciones: Suma o resta de los resultados de medición.
- Para medir la altura de cada árbol se utilizó la siguiente fórmula:

$$H = \tan(X) * D \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

H = altura en metros

Tang. (X) = tangente del ángulo en grados

D = distancia en metros.

❖ Fase N°3: Estimación de biomasa sobre el suelo

Para la medición de biomasa viva sobre el suelo, se evaluó por separado la biomasa aérea arbórea, y la biomasa aérea no arbórea (Rügnitz, Chacón, &

a) Estimación de la Biomasa de vegetación arbórea

Por la baja densidad de árboles se procedió de la siguiente manera:

- Se registró todos los árboles (especie, diámetro a la altura del pecho (DAP) y altura).
- Para estimar la biomasa total se utilizó la ecuación alométrica de acuerdo con la situación local (clima, ecosistema, especie y diámetro).
- Cálculo de biomasa arbórea sobre el suelo utilizando ecuación alométrica genérica:

$$B_{AU} = f(\text{datos dimensionales}) \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

B_{AU} = es la biomasa arbórea sobre el suelo de una unidad, en kilogramos de materia seca por árbol (kg M.S./árbol);

f (datos dimensionales): es una ecuación alométrica relacionando la biomasa sobre el suelo (kg M.S./árbol) a los datos dimensionales medidos en campo (ej. Diámetro a la altura del pecho (DAP) y altura total del árbol, etc).

- Se utilizó dos ecuaciones alométricas para la determinación de la biomasa sobre el suelo, las cuales fueron denominadas como método A y método B (Vázquez-Rowe, Ian; Kahhat, Ramzy; Santillán - Saldivar, Jair; Quispe, Isabel; Bentín, Miguel; 2016).

Método A:

$$B_{AU} = 0.25 D^2 * H \quad \text{Ecuación 10}$$

Método B:

$$B_{AU} = 0.15 D^2 * H \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde:

D = Diámetro de la planta

H = Altura

- Luego se calculó la biomasa arbórea por hectárea a través de la siguiente fórmula:

$$B_A = (\sum_{AU}/1000) \times (10000/\text{área de la parcela}) \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde:

B_A = Biomasa arbórea sobre el suelo (t MS/ha);

\sum_{AU} = Sumatoria de la biomasa arbórea de todos los árboles de la parcela (kg)

M.S./área de la parcela);

Factor 1000 = Conversión de las unidades de la muestra de kg MS/t MS

Factor 10000 = Conversión del área (m²) a hectárea.

3.7.2.6 Etapa N°6.- Determinación de *stocks* de carbono

❖ Determinación del *stock* de carbono en la vegetación arbórea

Se calculó el *stock* de carbono en la vegetación arbórea por hectárea utilizando la siguiente ecuación:

$$\Delta C_{BA} = (B_A * CF) \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde:

ΔC_{BA} = Cantidad de carbono en la biomasa sobre el suelo (t C/ha);

B_A = Biomasa arbórea sobre el suelo (t MS/ha);

CF = Fracción de carbono (t C /t MS). El valor estándar del IPCC para

CF = 0.5.

3.7.3 Análisis de datos

Se realizó un análisis de varianza con comparación de medias con la prueba de Mann-Whitney entre los grupos de tratamientos bajo un diseño de bloques completamente al azar, estimación analítica de regresión alométrica de escalamiento para lo cual se aplicó el paquete estadístico SPSS versión 23.

Capítulo IV: Presentación de los Resultados

4.1 Delimitación del área de investigación

El estudio se realizó en 09 parques de Lima Metropolitana correspondientes a los distritos de Surco, San Isidro, Barranco, Miraflores, Pueblo Libre y Jesús María. En la tabla 8 se registró el perímetro, área y ubicación de cada una de las estaciones de muestreo (parques) empleando para ello el Google Earth y la captura de las imágenes para el registro fotográfico de cada uno de ellos (Fig. 7), (Ver anexo 9).

Tabla 8. Perímetro y Área de las estaciones de muestreo (parques)..

Estaciones de muestreo	Perímetro m	Área m ²	Coordenadas		Ubicación
E-1 Parque Monterrico	494	7152	12° 5'56.90"S	76°58'23.26"O	Av. Manuel Olgún con la Av. el Derby – Monterrico-Surco
E-2 Plazuela Faustino Sánchez Carrión	404	4667	12° 8'42.14"S	76°59'21.64"O	Av. Santiago de Surco con Av. Monte de los Olivos – Surco
E-3 Plaza de Armas Barranco	307	5205	12° 8'57.90"S	77° 1'17.17"O	Av. El Libertador San Martín con Pje. Chabuca Grande – Barranco
E-4 Parque El Reducto	724	30729	12° 7'37.58"S	77° 1'19.31"O	Av. Benavides con Paseo de la República – Miraflores
E-5 Parque Miguel Grau	511	11673	12° 7'10.12"S	77° 2'39.99"O	Malecón Cisneros con Av. José Pardo - Miraflores
E-6 Parque Mora	286	5430	12° 6'35.89"S	77° 2'47.71"O	Av. Angamos Oeste con Av. Gral. Córdova - San Isidro
E-7 Parque Alfonso Ugarte	515	16088	12° 5'45.94"S	77° 2'57.51"O	Av. Javier Prado Oeste con Calle los Eucaliptos - San Isidro
E-8 Parque Los Bomberos	375	4830	12° 4'3.13"S	77° 2'37.52"O	Av. de la Peruanidad con Av. Horacio Urteaga - Jesús María (costado Campo de Marte)
E-9 Plaza Bolívar	232	3334	12° 4'39.24"S	77° 3'45.23"O	Av. Gral. Manuel Vivanco con Jirón Carlos de los Héroes - Pueblo Libre



Fig. N°7-A.- Parque Monterrico



Fig. N°7-B.- Plazuela Faustino Sánchez Carrión



Fig. N° 7-C.- Plaza Armas de Barranco



Fig. N°7-D.-Parque El Reducto



Fig.N°7-E.- Parque Miguel Grau



Fig.7-F.- Parque Mora



Fig.7-G.- Parque Alfonso Ugarte



Fig.7-H.- Parque Los Bomberos



Fig.7-I.- Plaza Bolívar

Figura 7. Estaciones de muestreos, parques de los distritos de Surco, San Isidro, Barranco, Miraflores, Pueblo Libre y Jesús María.

4.2 Identificación de las especies de flora

En la tabla 9 se registró las especies identificadas en las unidades de análisis comprendida entre los 09 parques de los distritos de Surco, San Isidro, Barranco, Miraflores, Pueblo Libre y Jesús María. También se realizó el registro fotográfico de las especies identificadas (Ver anexo 10).

En la Fig. 8, la gráfica muestra el porcentaje de especies por parque, siendo el parque el Derby quien presentó mayor variedad de especies con un 24%, seguido del parque Alfonso Ugarte con 18% y Faustino Sánchez Carrión con 16%, sin embargo, los parques Bolívar y Bomberos ambos tuvieron el 5% y el parque de la Plaza Barranco alcanzó a penas el 3% de especies.

Tabla 9. Especies identificadas en las unidades de análisis.

Parque N°1: El Derby		
Familia	Nombre científico	Nombre común
Anacardiaceae	<i>Schinus terebinthifolius</i>	Pimentero brasileño
Fabaceae	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Oreja de elefante
Anacardiaceae	<i>Schinus molle</i>	Falso pimentero
Myrtaceae	<i>Eucalyptus</i>	Eucalipto
Aceraceae	<i>Acer japonicum</i>	Arce japonés
Fabaceae	<i>Prosopis pallida</i>	Algarrobo pálido
Cupressaceae	<i>Cupressus sempervirens</i>	Ciprés comun
Fabaceae	<i>Deltonix regia</i>	Ponciana

Parque N°2: Faustino Sánchez Carrión		
Familia	Nombre científico	Nombre común
Sapindaceae	<i>Harpullia arborea</i>	Jabonaria
Araliaceae	<i>Schefflera actinophylla</i>	Chefflera
Moraceae	<i>Ficus benjamina</i>	<i>Ficus benjamina</i>
Araucariaceae	<i>Araucaria excelsa</i>	Pino de Norfolk
Juglandaceae	<i>Junglans regia</i>	Nogal común
Oleaceae	<i>Ligustrum lucidum</i>	Aligustre

Parque N° 3 Plaza Barranco		
Familia	Nombre científico	Nombre común
Fabaceae	<i>Deltonix regia</i>	Ponciana

Parque N°4: Reducto		
Familia	Nombre científico	Nombre común
Fagaceae	<i>Fagus sylvatica</i>	Hayas
Araliaceae	<i>Schefflera actinophylla</i>	Cheflera
Oleaceae	<i>Fraxinus excelsior L</i>	Fresno

Parque N° 5: Miguel Grau		
Familia	Nombre científico	Nombre común
Sapindaceae	<i>Acer griseum</i>	Arce chino
Arecaceae	<i>Phoenix roebelenii</i>	Palmera enana
Arecaceae	<i>Livistona chinensis</i>	Palmera de abanico
Araucariaceae	<i>Araucaria excelsa</i>	Pino de Norfolk

Parque N°6: Mora		
Familia	Nombre científico	Nombre común
Rutaceae	<i>Zanthoxylum martinicense</i>	Espino rubial
Rutaceae	<i>Zanthoxylum rhoifolium</i>	Tambetari grande

Ebenaceae	<i>Diospyros kaki</i>	Caqui o palosanto
Moraceae	<i>Ficus benjamina</i>	<i>Ficus</i>
Fabaceae	<i>Deltonix regia</i>	Ponciana

Parque N°7: Alfonso Ugarte		
Familia	Nombre científico	Nombre común
Pinaceae	<i>Cedrus</i>	Cedro
Moraceae	<i>Ficus benjamina</i>	Ficus
Rutaceae	<i>Zanthoxylum martinicense</i>	Espino rubial
Moraceae	<i>Ficus benjamina</i>	Ficus
Rutaceae	<i>Zanthoxylum rhoifolium</i>	Tambetari grande
Ebenaceae	<i>Diospyros kaki</i>	Caqui o palosanto
Fabaceae	<i>Deltonix regia</i>	Ponciana
Arecaceae	<i>Washingtonia filifera</i>	Palmera

Parque N°8: Los Bomberos		
Familia	Nombre científico	Nombre común
Sapindaceae	<i>Koelreuteria paniculata</i>	Papelillo
Caprifoliaceae	<i>Sambucus nigra</i>	Sauco

Parque N°9: Plaza Bolívar		
Familia	Nombre científico	Nombre común
Moraceae	<i>Ficus benjamina</i>	Ficus
Magnoliatae	<i>Myoporum laetum</i>	Mioporo



Figura 3. Porcentaje de especies presentes en las unidades de análisis (parque).

En la tabla 10 se registró la frecuencia y densidad relativa de las especies identificadas en los 09 parques en la cual se observó que en el parque el Derby la densidad relativa más alta la tuvo la especie *Schinus terebinthifolius* con 36.84% a diferencia de *Cupressus sempervirens* que alcanzó el 5.26%. Sin embargo en el parque Faustino Sánchez Carrión, la especie *Juglans regia* presentó el 32% seguido de *Ficus benjamina* con 26%, la misma especie se encontró en el parque Reducto con un 41%; mientras *Deltonix regia* en los parques Mora, Plaza Barranco y Alfonso Ugarte fue la especie que presentó mayor densidad relativa de 84.3%, 50% y 43% respectivamente y en el parque Miguel Grau *Phoenix roebelenii* presentó el 50% (Fig. 9).

Tabla 10. Frecuencia y densidad relativa de las especies.

Parque Derby				
N°	Nombre científico	Numero individuos ni	Frecuencia relativa	Densidad relativa
1	<i>Schinus terebinthifolius</i>	7	0.37	36.84
2	<i>Schinus molle</i>	3	0.16	15.79
3	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	5	0.26	26.32
4	<i>Prosopis pallida</i>	3	0.16	15.79
5	<i>Cupressus sempervirens</i>	1	0.05	5.26
6	<i>Acer japonicum</i>	3	0.158	15.79
	Nro. Total individuos (N)	19	1.000	100.0

Parque Faustino Sánchez Carrión				
N°	Nombre científico	Numero individuos ni	Frecuencia relativa	Densidad relativa
1	<i>Cedrus</i>	3	0.16	16
2	<i>Ficus benjamina</i>	5	0.26	26
3	<i>Araucaria excelsa</i>	1	0.05	5
4	<i>Juglans regia</i>	6	0.32	32
5	<i>Ligustrum lucidum</i>	4	0.21	21
	Nro. Total individuos (N)	19	1	100

Parque Plaza Barranco				
N°	Nombre científico	Numero individuos ni	Frecuencia relativa	Densidad relativa
1	<i>Deltonix regia</i>	7	0.5	50
2	<i>Washingtonia filifera</i>	7	0.5	50
	<i>Nro. Total individuos (N)</i>	14	1.0	100

Parque Reducto				
N°	Nombre científico	Numero individuos ni	Frecuencia relativa	Densidad relativa
1	<i>Ficus benjamina</i>	11	0.41	41
2	<i>Fagus sylvatica</i>	6	0.22	22
3	<i>Schefflera actinophyla</i>	6	0.22	22
4	<i>Fraxinus excelsior L.</i>	4	0.15	15
	<i>Nro. Total individuos (N)</i>	27	1.00	100

Parque Miguel Grau				
N°	Nombre científico	Numero individuos ni	Frecuencia relativa	Densidad relativa
1	<i>Phoenix roebelenii</i>	13	0.565	56.52
2	<i>Livistona chinensis.</i>	5	0.217	21.74
3	<i>Araucaria excelsa</i>	5	0.217	21.74
	<i>Nro. Total individuos (N)</i>	23	1.0	100

Parque Mora				
N°	Nombre científico	Numero individuos ni	Frecuencia relativa	Densidad relativa
1	<i>Cedrus</i>	1	0.0196	1.9
2	<i>Zanthoxylum martinicense</i>	3	0.058	5.8
3	<i>Zanthoxylum rhoifolium</i>	3	0.058	5.8
4	<i>Ficus benjamina</i>	1	0.0196	1.9
5	<i>Deltonix regia</i>	43	0.843	84.3
	<i>Nro. Total individuos (N)</i>	51	1	100

Parque Alfonso Ugarte				
N°	Nombre científico	Numero individuos ni	Frecuencia relativa	Densidad relativa
1	<i>Zanthoxylum martinicense</i>	2	0.05	5
2	<i>Zanthoxylum rhoifolium</i>	2	0.05	5
3	<i>Diospyros kaki</i>	1	0.03	3
4	<i>Deltonix regia</i>	17	0.43	43
5	<i>Washingtonia filifera</i>	1	0.03	3
6	<i>Ficus benjamina</i>	9	0.23	23
7	<i>Araucaria excelsa</i>	1	0.03	3
8	<i>Palmera comun</i>	6	0.15	15
	Nro. Total individuos (N)	39	1	100

Parque Bomberos				
N°	Nombre científico	Numero individuos ni	Frecuencia relativa	Densidad relativa
1	<i>Koelreuteria paniculata</i>	16	0.46	46
2	<i>Sambucus nigra</i>	19	0.54	54
	Nro. Total individuos (N)	35	1.00	100

Parque Bolívar				
N°	Nombre científico	Numero individuos ni	Frecuencia relativa	Densidad relativa
1	<i>Ficus benjamina</i>	10	0.63	63
2	<i>Myoporum laetum</i>	6	0.37	37
	Nro. Total individuos (N)	16	1	100

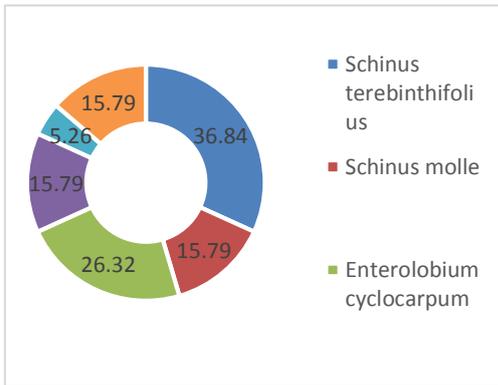


Fig.N°9-A.-Densidad relativa del parque el Derby.

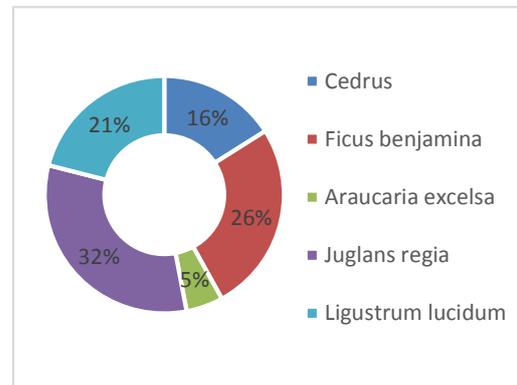


Fig.N°9-B.-Densidad relativa del parque Faustino Sánchez Carrión.

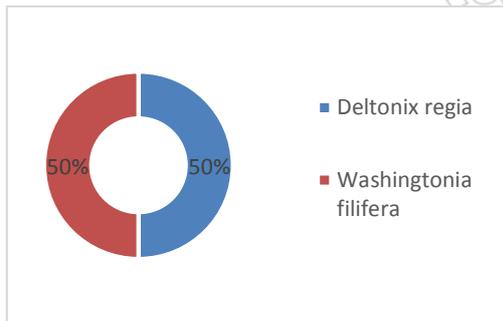


Fig.N°9-C.-Densidad relativa Plaza Barranco.

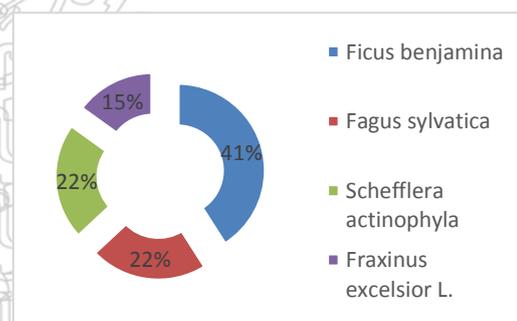


Fig.N°9-D.-Densidad relativa del parque Reducto.

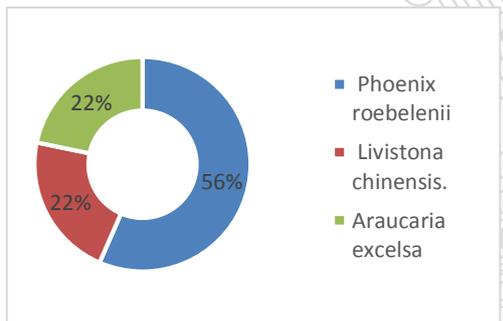


Fig.N°9-E.-Densidad relativa del parque Miguel Grau.

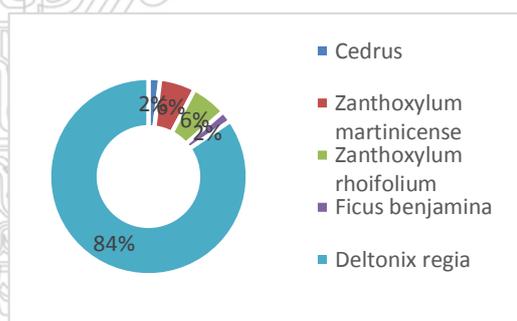


Fig.N°9-F.-Densidad relativa del parque Mora.

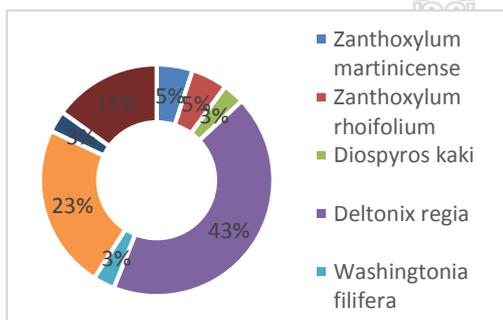


Fig.N°9-G.-Densidad relativa del parque Alfonso Ugarte.

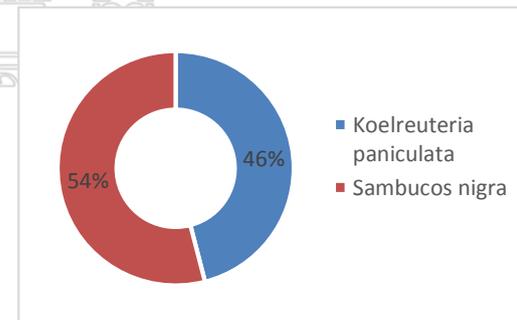


Fig.N°9-H.-Densidad relativa del parque Bomberos.

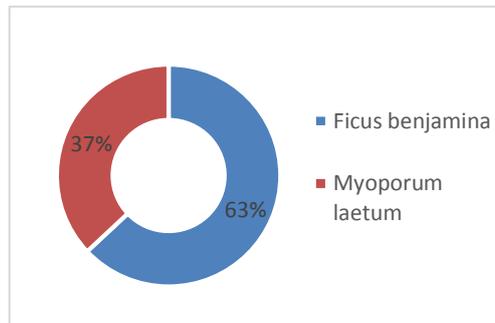


Fig.9-I.- Densidad relativa del parque Bolívar.

Figura 9. Densidad relativa de las especies por unidad de análisis (parque).

4.3 Contrastación de la prueba de hipótesis

4.3.1 Evaluación de la contaminación atmosférica por material particulado sedimentable (MPS)

En la Fig. 10 los parques Alfonso Ugarte, Mora y Los Bomberos registraron los valores más bajos de MPS de 0.08 gr, 0.19gr y 0.27 gr respectivamente a diferencia del parque Bolívar que alcanzó 0.79 gr y Faustino Sánchez Carrión 0.61 gr de MPS durante el verano. Sin embargo, en el invierno los parques Miguel Grau, Reducto y Plaza Barranco tuvieron 0.02 gr, 0.10 gr y 0.20 gr de MPS mientras que los parques Plaza Bolívar y Los Bomberos, ambos presentaron valores de 0.43 gr y el parque Alfonso Ugarte registró 0.35 gr de MPS. Por lo tanto el follaje de los vegetales puede cumplir un importante papel como receptor de material particulado y por ende mejoran la calidad del aire (CEPAL, 1991), (Moreno , Martínez , Duplancic, & Alcalá, 2016).

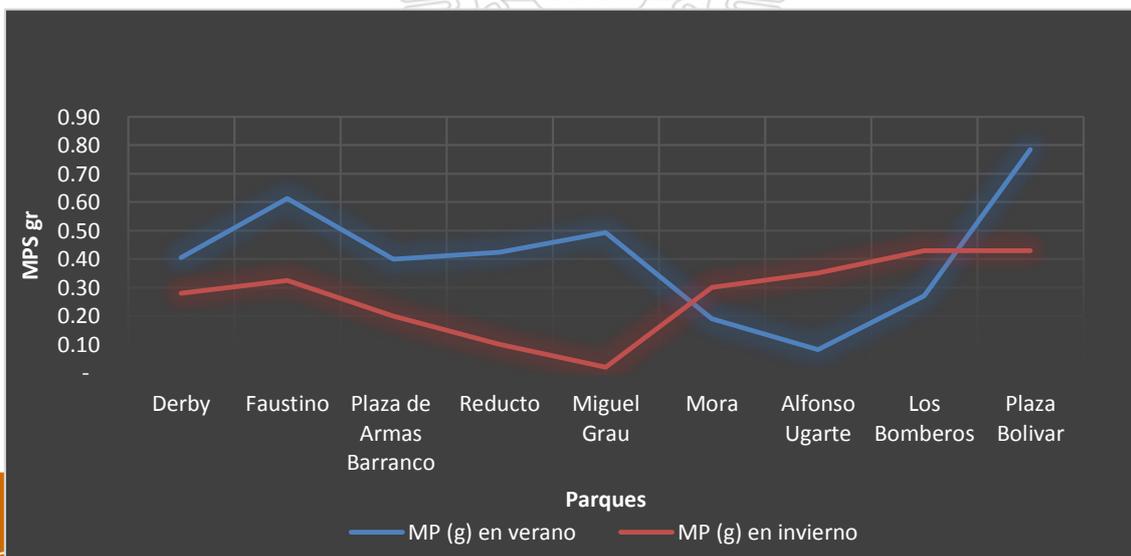


Figura 10. Cantidad de MPS (gr) por unidad de análisis interestacional.

4.3.1.1 Diferencia de medianas en las mediciones interestacional del MPS (gr)

Para la determinación de las diferencias de medianas en las mediciones interestacional del MPS se utilizó la Prueba de Mann-Whitney, para ello se planteó las siguientes hipótesis:

Ho: No hay diferencia entre los valores del MPS durante las estaciones de verano e invierno.

Ha: Si hay diferencia entre los valores del MPS durante las estaciones de verano e invierno.

Según la tabla 11 se evidencia los rangos promedios que son muy similares entre los valores del material particulado sedimentable tanto en verano como en invierno y en la tabla 12 el p value obtenido del estadístico de prueba fue de 0.697 por lo tanto se acepta la hipótesis nula de que no hay diferencia significativa entre los valores del material particulado sedimentable durante las estaciones de verano e invierno.

Tabla 11. Los rangos promedios del MPS en las estaciones de verano e invierno.

	Estaciones	N	Rango promedio	Suma de rangos
MPS	invierno	28	32.43	908.00
	verano	38	34.29	1303.00
	Total	66		

Tabla 12. Prueba de U Mann-Whitney del MPS en las estaciones de verano e invierno.

	MP
U de Mann-Whitney	502.000
W de Wilcoxon	908.000
Z	-.390
Sig. asintótica (bilateral)	.697

a. Variable de agrupación: Estaciones

Concentración de MPS gr/Kg de materia seca

En la Fig. 11 se observa que las especies que han retenido mayor concentración de MPS gr/Kg MS durante el verano fue *Schinus terebinthifolius*, con 1,080.55 gr/Kg MS; seguida de *Araucaria excelsa*, con 777.78 gr/Kg MS; *Cupressus sempervirens* con 403.41 gr/Kg MS y *Ficus*

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

benjamina 351.24 gr/Kg MS. Sin embargo en la Fig. 12 se pueden apreciar

UNFV

que las especies que retienen mayor cantidad de MPS fueron *Acer japonicum* con 111.11 gr/Kg MS; *Sambucus nigra* con 151.42 gr/Kg MS y *Fagus sylvatica* con 88.10 gr/Kg MS, con lo cual se comprueba que los árboles contribuyen a remover partículas reteniendolas sobre la superficie (Nowak, y otros, 1988).

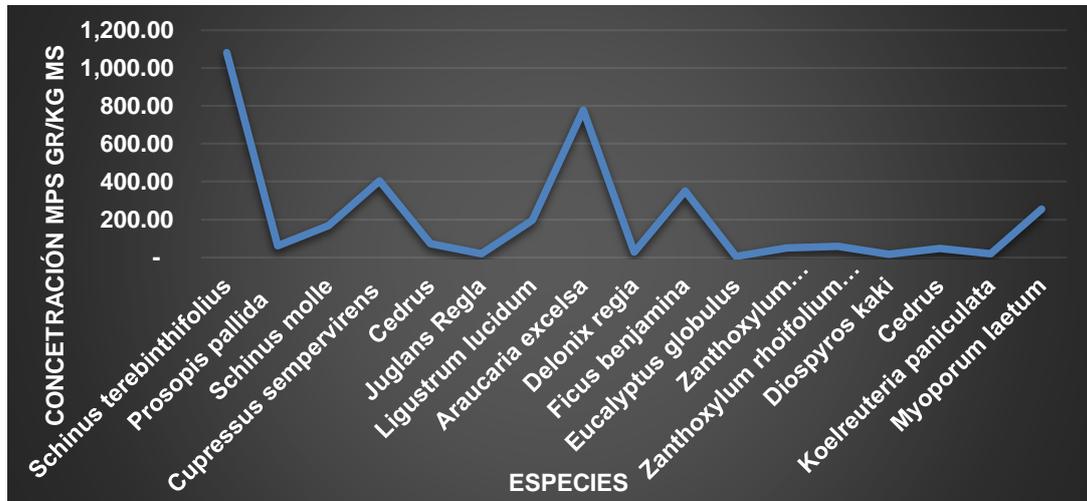


Figura 11. Concentración de MPS gr/Kg MS por especie durante la estación de verano..

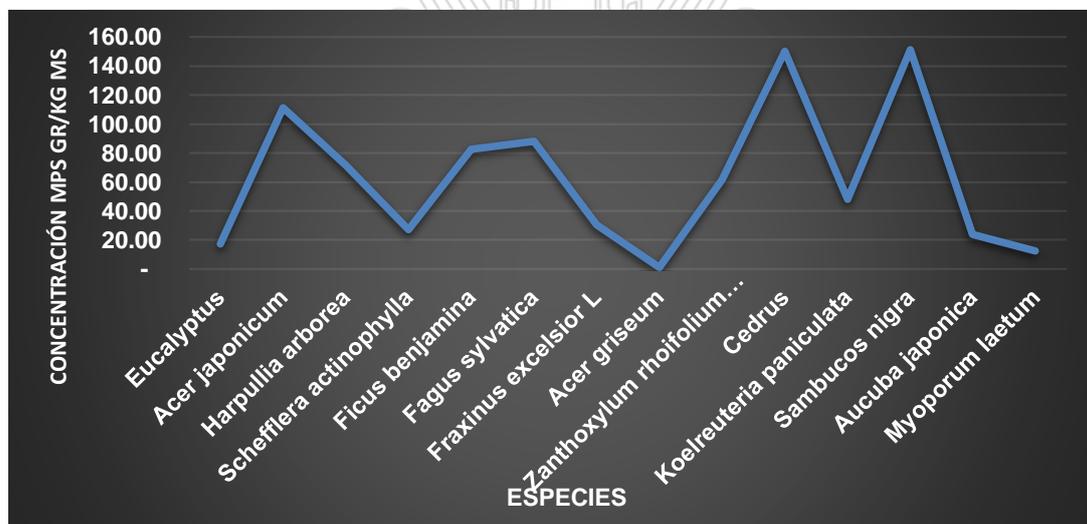


Figura 12. Concentración de MPS gr/Kg MS por especie durante la estación de invierno.

En la Fig. 13 se observan que los parques el Derby y Plaza Bolívar fueron los que registraron mayor retención de MPS durante la estación de verano cuya concentración fue de 329.01gr/Kg de materia seca y 350.10 gr/Kg de materia seca respectivamente, a diferencia de la estación de invierno, en donde el parque Alfonso Ugarte presentó la mayor retención de MPS de 99 gr/Kg de materia seca y los parques los Bomberos y Miguel Grau registraron valores muy bajos de retención de MPS, esto posiblemente se deba a las precipitaciones que se generaron produciendo un lavado en las hojas y por

ende una limpieza del material particulado sedimentable o por la disminución de las emisiones de contaminantes, quienes pueden influir para que sean temporadas bajas en la retención de partículas por los árboles (Alcalá, y otros, 2008).

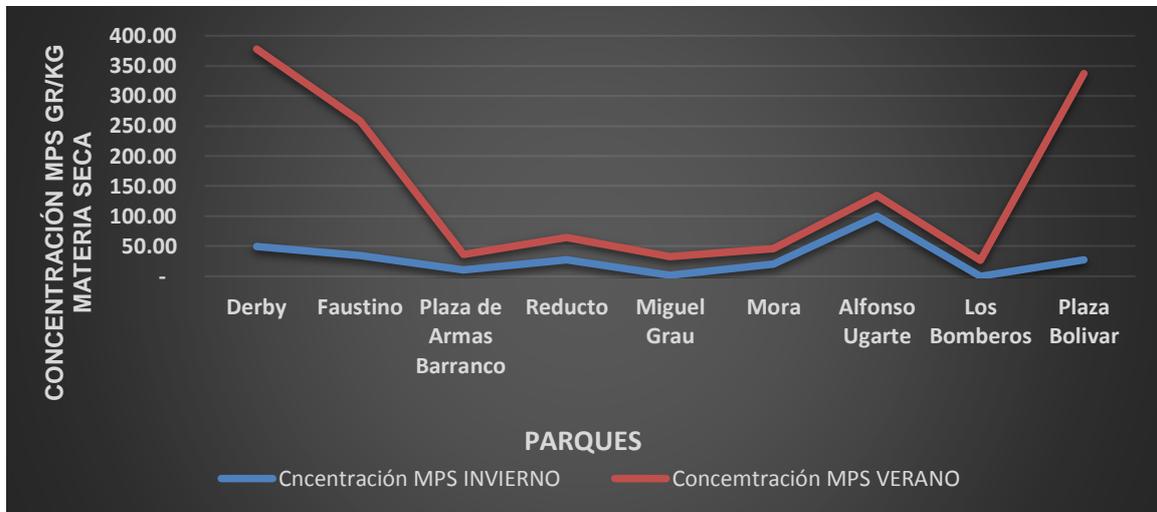


Figura 13. Grafica de la concentración de MPS gr/Kg de materia seca por unidad de análisis inter estacional.

Para la determinación de las diferencias de medianas entre la concentración de MPS gr/Kg de materia seca durante las estaciones de verano e invierno, se utilizó la Prueba de Mann-Whitney, para ello se planteó las siguientes hipótesis:

H₀: No hay diferencia significativa entre la concentración de MPS gr/Kg de materia seca durante las estaciones de verano e invierno.

H_a: Si hay diferencia significativa entre la concentración de MPS gr/Kg de materia seca durante las estaciones de verano e invierno.

Según la tabla 13 se evidencia los rangos promedios que son diferentes entre la concentración de MPS gr/Kg de materia seca durante las estaciones de verano e invierno y en la tabla 15 se observa un p value, obtenido del estadístico de prueba de 0.011 el cual es menor a 0.05, por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, de que si hay diferencia significativa entre la concentración de MPS gr/Kg de materia seca durante las estaciones de verano e invierno. Con lo cual se demuestra lo señalado en los párrafos anteriores en relación a las Fig. 11 y 12.

Tabla 13. Los rangos promedios de la concentración MPS gr/Kg de materia seca durante las estaciones de verano e invierno

	Estaciones	N	Rango promedio	Suma de rangos
Concentración MP gr/Kg materia seca	invierno	28	26.52	742.50
	verano	38	38.64	1468.50
	Total	66		

Tabla 14. Prueba de U Mann-Whitney de la concentración de MPS gr/Kg materia seca durante las estaciones de verano e invierno.

	Concentración MPS gr/Kg materia seca
U de Mann-Whitney	336.500
W de Wilcoxon	742.500
Z	-2.537
Sig. asintótica (bilateral)	.011

a. Variable de agrupación: Estaciones

4.3.2 Evaluación del estado fisiológico de la vegetación arbórea

4.3.2.1. Determinación de la Masa foliar

La especie vegetal que tuvo la mayor masa foliar durante la estación de verano fue *Zanthoxylum martinicense* con 4.13 gr correspondiente al parque Alfonso Ugarte (Fig. 14) a diferencia de la estación de invierno en donde la masa foliar de *Myoporum laetum* del parque Plaza Bolívar fue de 2.59 gr seguido de *Eucaliptus* del parque el Derby con 2.04 gr y *Ficus benamina* del parque Faustino Sánchez Carrión con 1.05 gr (Fig. 15).

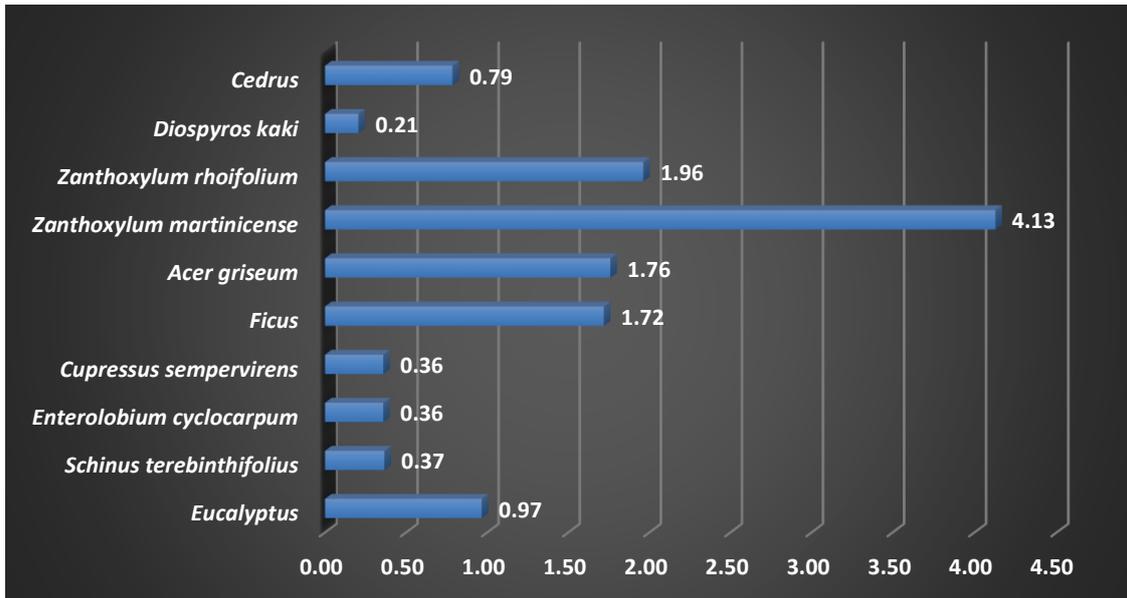


Figura 14. Masa foliar de las diferentes especies identificadas en las unidades de muestreo durante la estación de verano.

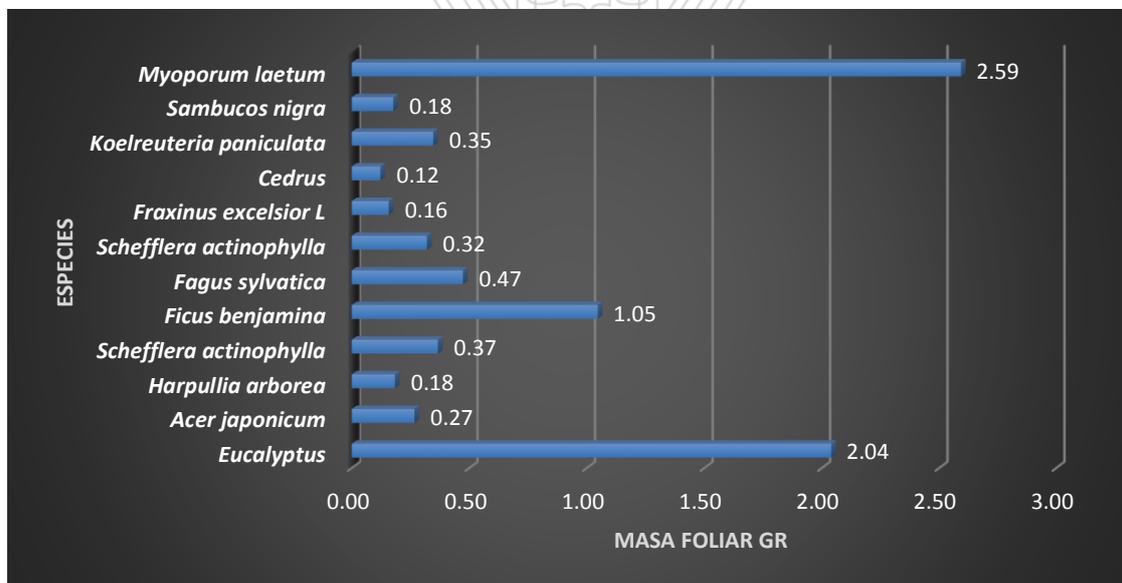


Figura 15. Masa foliar de las diferentes especies identificadas en las unidades de muestreo durante la estación de invierno.

4.3.2.2 Determinación de Superficie o área foliar

Durante la estación de verano la superficie o área foliar de las especies que tuvieron mayor superficie empleando el software imageJ fueron *Juglans regia* del parque Faustino Sánchez Carrión con 49.19 cm² seguido de *Acer griseum* con 40.81 cm² del parque Miguel Grau, esta misma especie con el método determinístico (largo por ancho) tuvo 70.15 cm² seguido de *Diospyros kaki* del parque Mora con 34.05 cm² (Fig. 16).

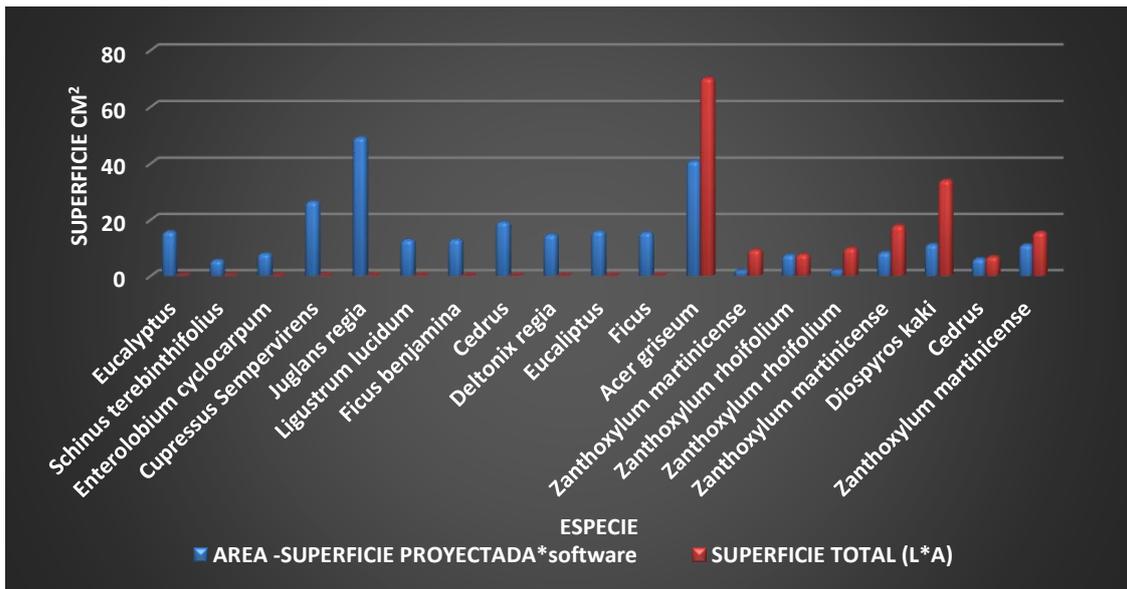


Figura 16. Superficie proyectada Vs superficie total de las diferentes especies identificadas en las unidades de muestreo durante la estación de verano..

La superficie foliar de las especies que tuvieron mayor superficie empleando el software imageJ fueron del parque Faustino Sánchez Carrión, *Juglans regia* con 75.82 cm² y del parque Reducto, *Fagus sylvatica* con 59.46 cm² mientras que empleando el método determinístico (largo por ancho) las especies con mayor superficie fueron *Juglans regia* del parque Faustino Sánchez Carrión con 130.75 cm² y *Myoporum laetum* del parque Plaza Bolívar con 68.67 cm² durante la estación de invierno (Fig. 17).

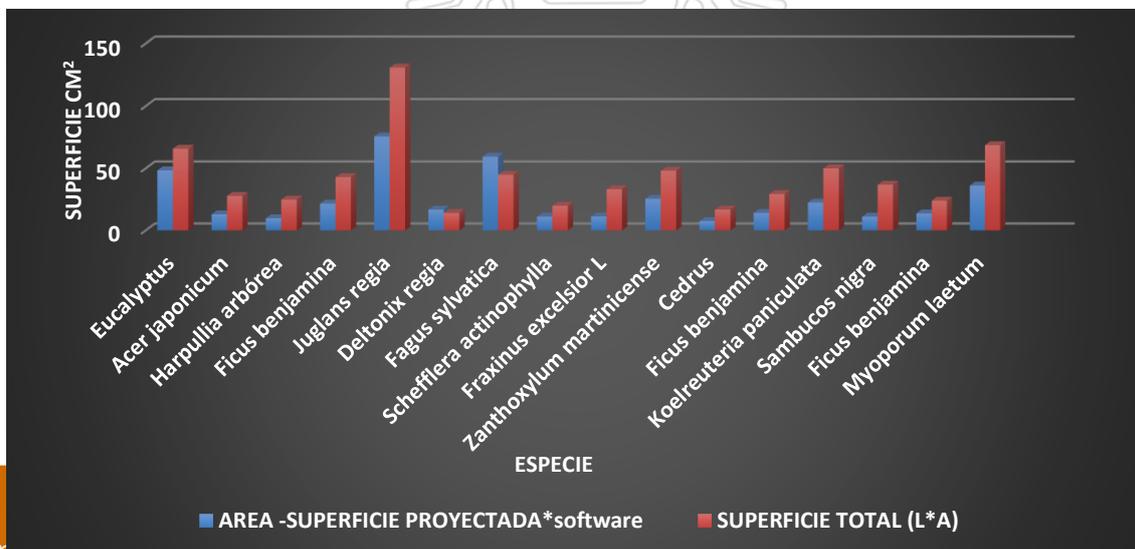


Figura 17. Superficie proyectada Vs superficie total de las diferentes especies identificadas en las unidades de muestreo durante la estación de invierno.

4.3.2.3 Influencia del peso de las hojas en el área foliar

Según la tabla 15 la correlación de Pearson del peso foliar y área foliar fue de 0.812, por lo tanto una correlación positiva como se evidencia sin embargo no hay una asociación significativa lineal, en la Fig. 18 la gráfica es ascendente y el modelo se ajusta a una ecuación cubica.

Se determinó la influencia del peso de las hojas en el área foliar para lo cual se realizó una regresión, siendo la ecuación que se ajusta al modelo la siguiente:

$$Y = -0.073 + 85.838 X + 75.693 X^2 + 23.142 X^3$$

, con un R cuadrado de 0.782 por lo tanto el peso de las hojas va a influenciar en un 78% en el área foliar (tabla 17 y tabla 18).

Tabla 15. Correlación de Pearson del peso foliar y área foliar.

		pesohojas	areafolsoft
pesohojas	Correlación de Pearson	1	,812**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	21	21
areafolsoft	Correlación de Pearson	,812**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	21	21

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (2 colas).

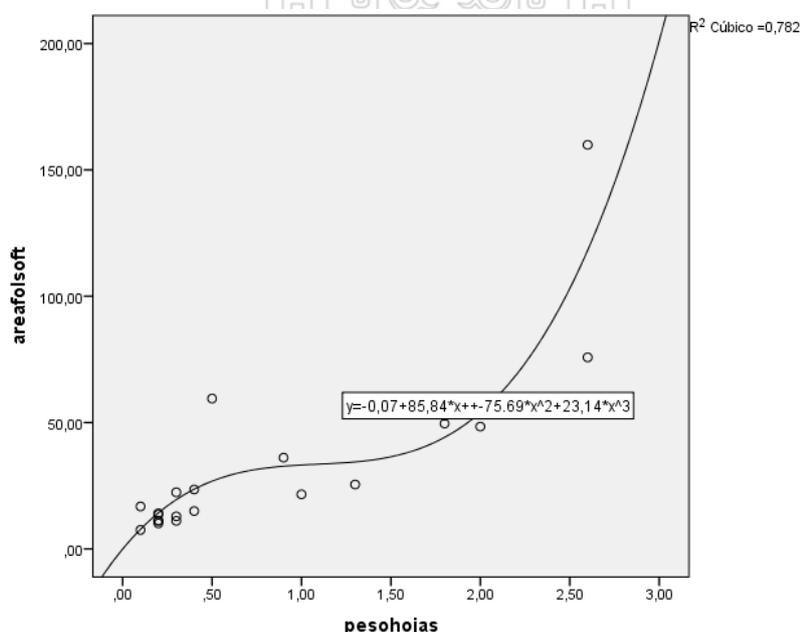


Tabla 16. Regresión entre el peso foliar y el área foliar.

R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
,885	,782	,744	17,623

La variable independiente es pesohojas.

Tabla 17. Coeficientes de la ecuación que se ajusta a la relación entre el peso foliar y el área foliar.

Coeficientes					
	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		
	B	Error estándar	Beta	t	Sig.
pesohojas	85,838	53,715	2,072	1,598	,128
pesohojas ** 2	-75,693	48,506	-4,716	-1,560	,137
pesohojas ** 3	23,142	11,795	3,608	1,962	,066
(Constante)	-,073	12,223		-,006	,995

En la tabla 18 se registraron los promedios del peso foliar y superficie o área foliar por dos métodos, método A: el software imageJ y el método B: el determinístico de las especies por unidad de análisis, en la cual el parque Alfonso Ugarte fue el que registró el mayor peso foliar de 2.45 gr a diferencia de la Plaza de Armas de Barranco cuyo peso foliar fue 0.14 gr y los parques que registraron mayor área foliar utilizando el software imageJ fueron Plaza Bolívar con 34.94 cm² seguido del parque el Faustino Sánchez Carrión con 28.23 cm² el Derby con 25.95 cm² y el Reducto con 24.01 cm², mientras que los parques con mayor área foliar empleando el método determinístico fueron Plaza Bolívar con 52.21 cm² y Parque Mora con 40.26 cm² (Fig. 19).

Tabla 18. Promedios de las mediciones de área foliar proyectada –software, área foliar determinístico, peso de las hojas y biomasa por unidad de análisis.

Parques	Peso en gr (15 hojas)	Área foliar (proyectada-software)	Área foliar (determinístico)	Biomasa (Kg/m ² *10 ⁻¹)
Derby	0.93	25.95	29.93	11.96
Faustino Sánchez				
Carrión	0.53	28.23	28.81	11.21
Plaza Armas Barranco	0.14	15.75	7.02	12.45
Reducto	0.52	24.01	16.30	11.17
Mora	1.15	20.85	40.26	13.44
Alfonso Ugarte	2.45	17.65	31.57	20.80
Los Bomberos	0.15	9.51	22.19	12.40
Plaza Bolívar	0.62	34.94	52.21	12.30
Miguel Grau	0.88	20.40	35.08	8.82

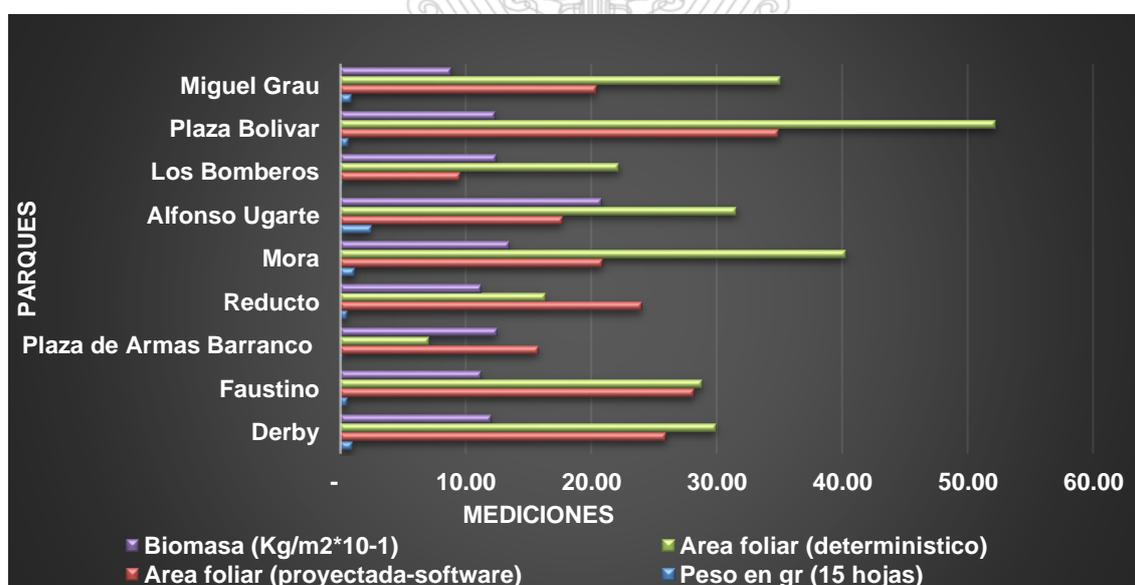


Figura 19. Gráfico de la biomasa, área foliar determinístico, área foliar proyectada-software y peso de las hojas.

4.3.2.4 Prueba de t para el área foliar con el software imageJ y el determinístico

H₀: No hay diferencias en las áreas foliares entre el método A, software imageJ y método B, determinístico (L*A).

H_a: Si hay diferencias en las áreas foliares entre el método A, software imageJ y método B, determinístico (L*A).

Según la tabla 19, en la prueba de Levene el p value fue 0.250, es decir mayor

a p=0.05 por lo tanto se asumen varianzas iguales y en la prueba de t el p value fue de 0.166 mayor p=0.05 por lo tanto se acepta la H₀ de que no hay

diferencia en las áreas foliares entre el método A, software imageJ y el método B, determinístico (L*A).

Tabla 19. Prueba de t para dos muestras independientes de las áreas foliares entre los métodos del software imageJ y el determinístico (L*A).

Prueba de muestras independientes											
		Prueba de Levene de calidad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias							
		F	Sig.	T	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		
										Inferior	Superior
Área foliar	Se asumen varianzas iguales	1.427	.250	-1.451	16	.166	-7.34222	5.06052	-18.07004	3.38560	
	No se asumen varianzas iguales			-1.451	12.608	.171	-7.34222	5.06052	-18.30948	3.62504	

4.3.2.5. Influencia del peso de las hojas en la biomasa

Según la tabla 20 la correlación de Pearson del peso foliar y biomasa fue de 0.787, por lo tanto una correlación positiva sin embargo no hay una asociación significativa lineal.

Se determinó la influencia del peso de las hojas en la biomasa para lo cual se realizó una regresión, siendo la ecuación cubica la que se ajusta al modelo (Fig. 20), con un R cuadrado de 0.891 por lo tanto el peso de las hojas va a influenciar en un 89% en la biomasa (tabla 21).

En la tabla 22 se muestra los coeficientes de la ecuación donde,

$$Y = 13.74 + -9.51 * X + 9.35 * X^2 + -1.75 * X^3$$

Tabla 20. Correlación entre la biomasa y peso de las hojas.

		Biomasa	Peso hojas
Biomasa	Correlación de Pearson	1	.787*
	Sig. (bilateral)		.012
	N	9	9
Peso hojas	Correlación de Pearson	.787*	1
	Sig. (bilateral)	.012	
	N	9	9

*. La correlación es significativa en el nivel 0.05 (2 colas).

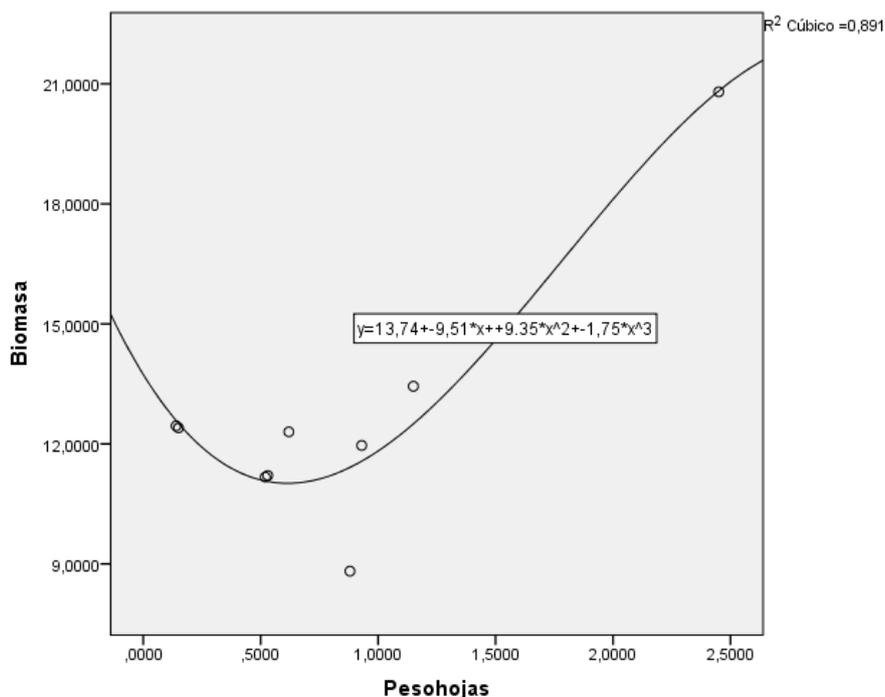


Figura 20. Grafica de la ecuación que se ajusta a la relación entre el peso de las hojas y la biomasa.

Tabla 21. Regresión entre el peso de las hojas y biomasa.

Resumen del modelo			
R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
.944	.891	.825	1.376

La variable independiente es Pesohojas.

Tabla 22. Coeficientes de la ecuación que se ajusta a la relación entre el peso de las hojas y la biomasa.

	Coeficientes				
	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		
	B	Error estándar	Beta	t	Sig.
Pesohojas	-9.515	8.211	-2.021	-1.159	.299
Pesohojas ** 2	9.351	9.586	5.358	.975	.374
Pesohojas ** 3	-1.750	2.688	-2.542	-.651	.544
(Constante)	13.737	1.771		7.755	.001

4.3.3 Captura de carbono por la vegetación arbórea

4.3.3.1. Altura y diámetro de los árboles

Las mediciones de las variables de estudio (altura, H; diámetro a la altura de pecho, DAP; diámetro de la planta, D) que se realizaron en las especies arbóreas de los 09 parques según el estadístico Kolmogorov-Smirnov presentaron una distribución no normal siendo el p value ≤ 0.05 .

Según la tabla 23 las medidas de dispersión de las variables estudiadas altura y diámetro de la planta presentaron una media de 120.869 y 335.196 respectivamente, con distribución asimétrica, es decir, se evidenció que hay más valores agrupados hacia la izquierda de la curva y leptocúrtica es decir que la curva o grafica es más elevada o picuda. Por lo tanto, se corroboró que los datos presentaron una distribución no normal (Fig. 21).

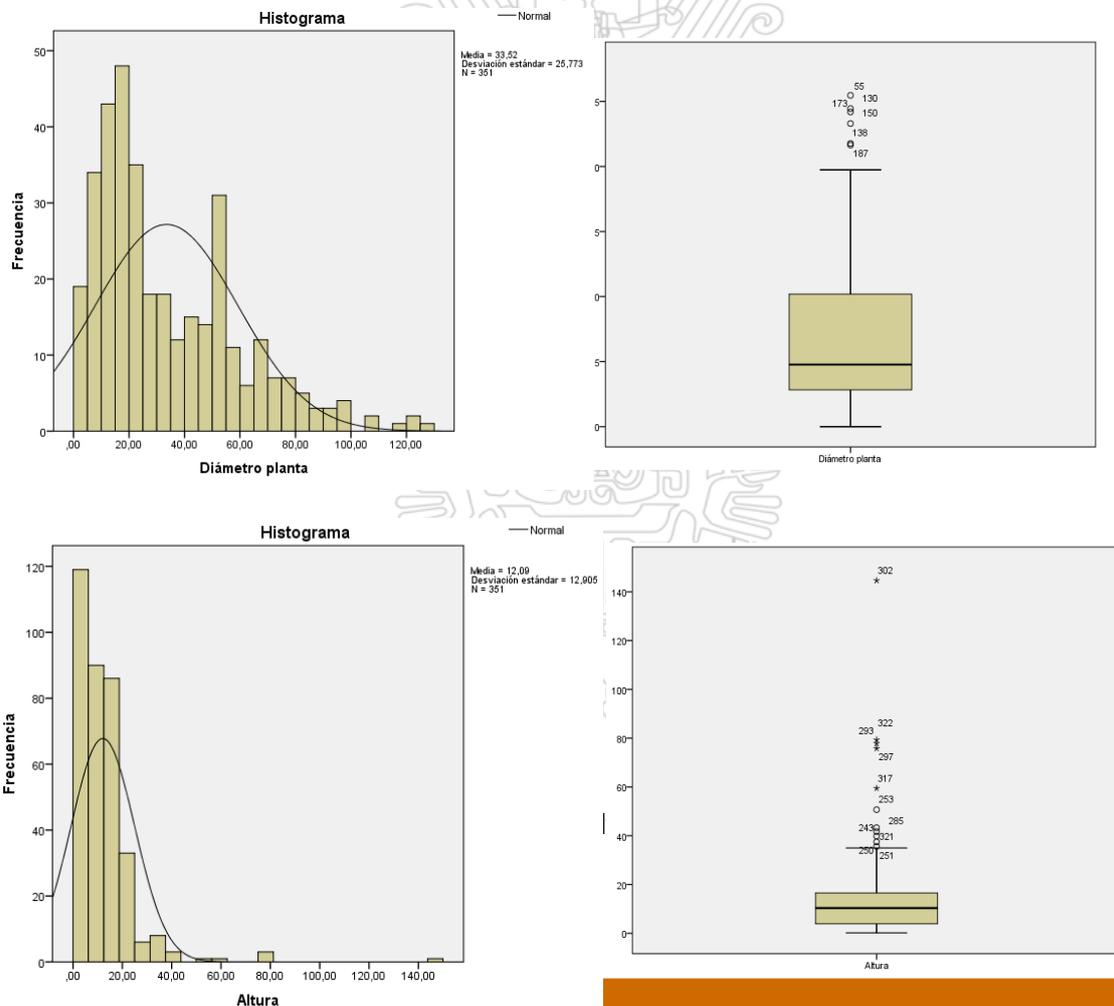


Tabla 23. Estadísticos descriptivos de las variables estudiadas.

	N	Rango	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Varianza	Desviación estándar	Asimetría	Curtosis
	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico
Distancia	351	682.00	.00	682.00	89.4660	24.5000	14238.348	119.32455	1.929	3.998
Angulo de elevación	351	217.09	.00	217.09	42.3295	37.0000	990.898	3.147.853	2.100	6.370
Altura	351	144.44	.18	144.62	12.0869	10.3300	166.533	12.90477	4.612	36.538
Diámetro a la altura del pecho	351	400.00	.00	400.00	102.9762	61.0000	67.34186	82.06209	1.096	.745
Diámetro planta	351	127.32	.00	127.32	33.5196	23.8700	664.245	25.77295	1.074	.809

4.3.3.2 Estimadores

Según la tabla 24 se determinó que el estimador M de Huber para la variable altura, la media poblacional fue 10.1442 y para el diámetro de planta fue 28.7247.

Tabla 24. Estimadores M.

	Estimador M de Huber ^a	Biponderado de Tukey ^b	Estimador M de Hampel ^c	Onda de Andrews ^d
Distancia	32.8554	16.0927	22.2592	16.0274
Angulo de elevación	37.3211	35.3403	35.7430	35.2783
Altura	10.1442	9.7969	10.1663	9.7905
Diámetro a la altura del pecho	83.2280	73.1872	84.7701	72.9401
Diámetro planta	28.7247	26.8595	29.3928	26.8176

a. La constante de ponderación es 1.339.

b. La constante de ponderación es 4.685.

c. Las constantes de ponderación son 1.700, 3.400 y 8.500

d. La constante de ponderación es $1.340 \cdot \pi$.

4.3.3.3 Correlaciones entre las variables altura y diámetro de la planta

H0: No existe correlación entre la variable altura y la variable diámetro de planta.

Ha: Existe correlación entre la variable altura y la variable diámetro de planta.

Según la tabla 25 la media de la altura y la del diámetro de la planta fue de 12.5215 y 33.5196 respectivamente mientras que en la tabla 26 el p value fue mayor a 0.05 es decir no existe correlación entre la variable altura y diámetro de planta por lo tanto se acepta H0 de independencia entre las variables.

Tabla 25. Estadísticos descriptivos.

	Media	Desviación estándar	N
Altura	12.5215	12.93685	390
Diámetro planta	33.5196	25.77295	351

Tabla 26. Correlaciones entre la altura y diámetro de la panta.

		Altura	Diámetro planta
Altura	Correlación de Pearson	1	.077
	Sig. (bilateral)		.152
	N	390	351
Diámetro planta	Correlación de Pearson	.077	1
	Sig. (bilateral)	.152	
	N	351	351

4.3.3.4 Estimación de la Biomasa mediante ecuaciones alométricas

La estimación de la biomasa se realizó por dos métodos diferentes, es decir se estimó la biomasa por dos ecuaciones alométricas (el método A: $B = 0.25 D^2 * H$ y el método B: $B = 0.15 D^2 * H$) para cada uno de los parques que conforman la muestra durante las estaciones de invierno y verano.

En la tabla 27 se observó que de los 09 parques muestreados para el cálculo de biomasa, se obtuvo que en la estación de verano el parque el Derby registró los promedios más altos de 18.40 y 11.04 tanto por el método A como por el método B respectivamente, mientras que en la estación de invierno el parque Alfonso Ugarte presentó el promedio más alto de 23.85 y 14.31 también en ambos métodos.

Tabla 27. Estimación de la biomasa por el método A y Método B.

Parque	Biomasa Método (a)		Biomasa Método (b)		Crecimiento inter estacional		Crecimiento inter estacional	
	Inv.	Ver.	Inv.	Ver.	Dif (a)	Dif (b)	Met. (a) en %	Met. (b) en %
Derby	5.52	18.40	3.31	11.04	12.88	7.73	2.33	2.33
Faustino Sánchez Carrión	4.24	18.17	2.55	10.90	13.93	8.36	3.28	3.28
Plaza de Armas Barranco	7.30	17.60	4.38	10.56	10.29	6.18	1.41	1.41
Reducto	4.73	17.62	2.84	10.57	12.89	7.73	2.72	2.72
Miguel Grau	5.95	17.65	3.57	10.59	11.70	7.02	1.97	1.97
Mora	9.18	17.69	5.51	10.62	8.51	5.11	0.93	0.93
Alfonso Ugarte	23.85	17.74	14.31	10.65	-6.10	-3.66	-0.26	-0.26
Los Bomberos	7.02	17.78	4.21	10.67	10.76	6.46	1.53	1.53
Plaza Bolívar	6.79	17.82	4.08	10.69	11.02	6.61	1.62	1.62

En la Fig. 22, la biomasa según estaciones por unidad de análisis para el método A presentó la biomasa más alta de 23.85 en la estación de invierno para el Parque Alfonso Ugarte mientras que en la estación de verano el parque El Derby registró la biomasa más alta de 18.40. Sin embargo en la estación de invierno el parque Faustino Sánchez Carrión y en la estación de verano la Plaza Barranco fueron los que tuvieron los valores más bajos de biomasa de 4.24 y 17.60 respectivamente.

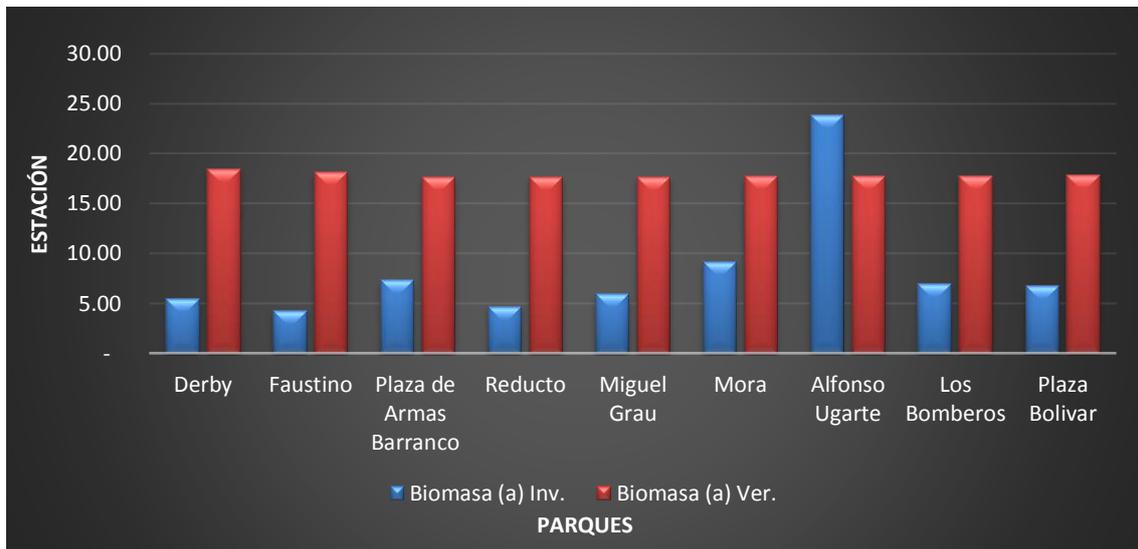


Figura 22. Gráfico de la biomasa según estaciones por unidad de análisis (Método A).

En la Fig. 23 la biomasa según estaciones por unidad de análisis para el método B presentó la biomasa más alta de 14.31 en la estación de invierno para el parque Alfonso Ugarte y el más bajo fue del parque Faustino Sánchez Carrión ubicado en el distrito de Surco siendo de 2.55. Sin embargo para la estación de verano los valores del promedio de biomasa fluctúan entre 10.56 a 11.04.

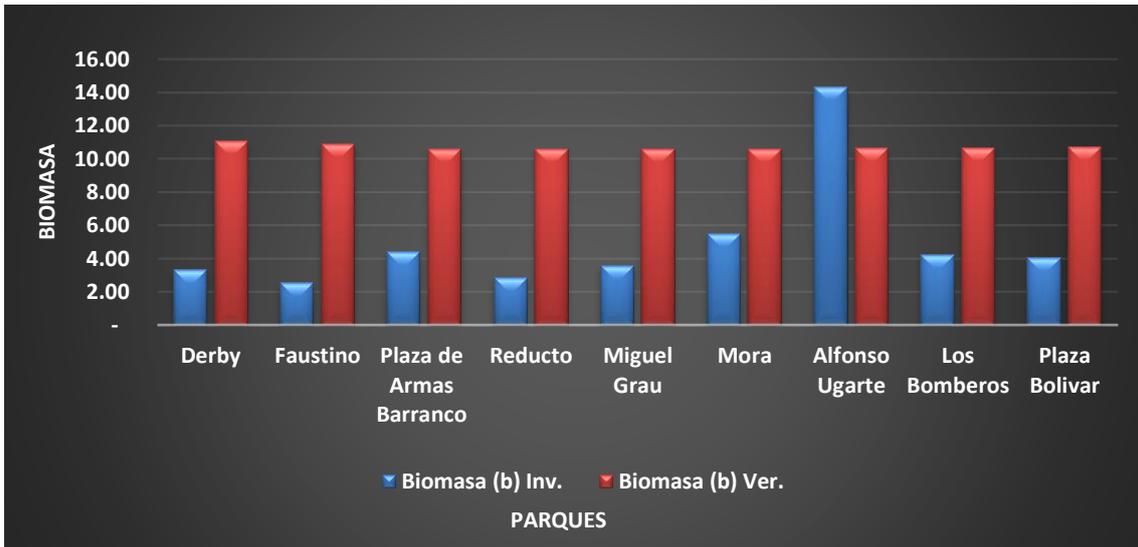


Figura 23. Biomasa según estaciones por unidad de análisis (Método B).

En la Fig. 24, el crecimiento de biomasa estacional según unidades de análisis se observó que en el método A. la biomasa que tuvo mayor crecimiento fue del parque Faustino Sánchez Carrión el que registró un incremento de 13.93 y con el método B el parque Faustino Sánchez Carrión alcanzó un crecimiento de 8.36 seguido del parque el Derby y el Reducto ambos con 7.73 de incremento.

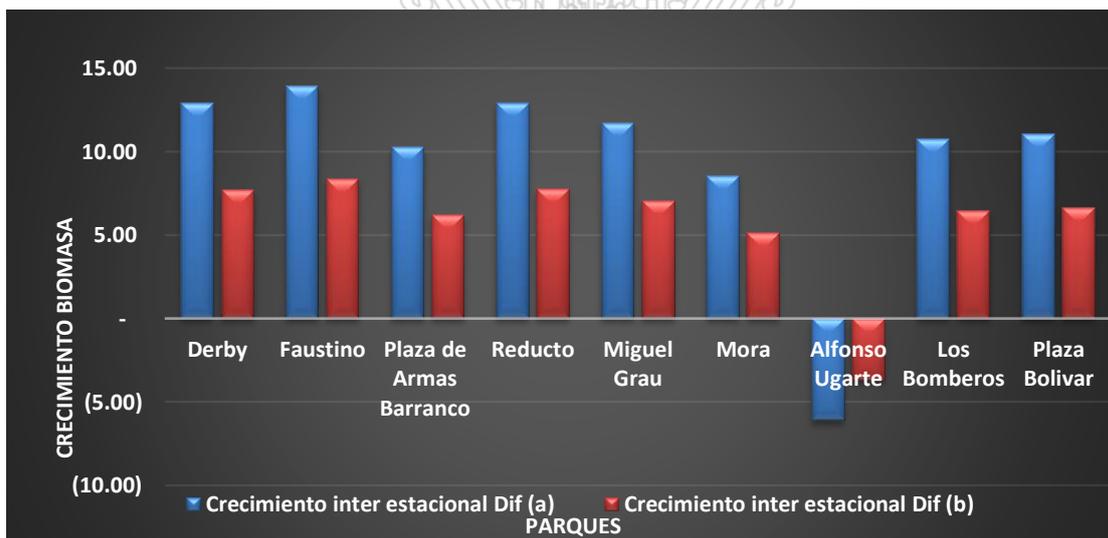


Figura 24. Crecimiento de biomasa estacional según unidades de análisis.

En la Fig. 25 la tasa de crecimiento de biomasa relativo por unidades de análisis se evidenció que tanto por el método A como por el método B en el parque Faustino Sánchez Carrión alcanzó el 3.28 %, seguido del parque el Reducto con 2.72% y los valores más bajos en la tasa de crecimiento fue de 0.93 en el parque Mora y un decremento de -0.26 en el parque Alfonso Ugarte.

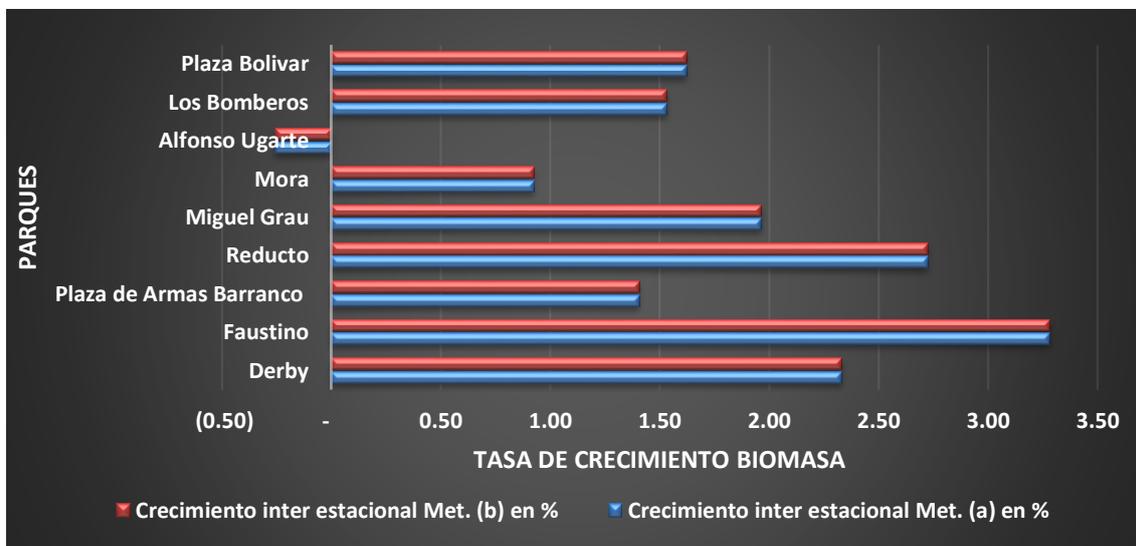


Figura 25. Tasa de crecimiento de biomasa relativo por unidades de análisis.

4.3.3.5 Determinación de las diferencias de medias en las mediciones inter estacional de la biomasa por el método A y B

Para la determinación de las diferencias de medias en las mediciones inter estacional de la biomasa por el método A y B se utilizó la Prueba de Mann-Whitney para ello se planteó las siguientes hipótesis:

Ho: Los valores obtenidos en las mediciones del crecimiento inter estacional de la biomasa por los método A y B son similares.

Ha: Los valores obtenidos en las mediciones del crecimiento inter estacional de la biomasa por los métodos A y B son diferentes.

Según la tabla 28 y tabla 29 el p value obtenido del estadístico de prueba fue de 0.005 por lo tanto se rechaza la hipótesis nula de que los valores obtenidos en las mediciones del crecimiento inter estacional de la biomasa por los método A y B son similares, en consecuencia se acepta la hipótesis alternativa de que existe diferencia en las mediciones del crecimiento inter estacional de la biomasa por el método A y B.

Tabla 28. Diferencia de medias en las mediciones del crecimiento inter estacional de la biomasa por el método A y B.

		Rangos		
	Grupo	N	Rango promedio	Suma de rangos
Dif.Med.biomasa	Met. A	9	13.00	117.00
	Met. B	9	6.00	54.00
	Total	18		

Tabla 29. Estadístico de prueba U de Mann-Whitney.

	Dif. Med. biomasa
U de Mann-Whitney	9.000
W de Wilcoxon	54.000
Z	-2.783
Sig. asintótica (bilateral)	.005
Significación exacta [2*(sig. unilateral)]	.004 ^b

a. Variable de agrupación: Grupo

b. No corregido para empates.

4.3.4 Stock de carbono en la vegetación arbórea por unidad de análisis

En la tabla 30 se registró los valores del stock de carbono total almacenado por unidad de análisis a partir de la biomasa estimada con la ecuación alométrica ($0.25 \cdot D^2 \cdot H$) en ella se observa que el parque Mora presentó el valor más alto en el stock de carbono en verano e invierno de 336.16 t C/ha y 174.47t C/ha respectivamente, así mismo el parque Alfonso Ugarte registró en verano 239.55 t C/ha y durante el invierno fue de 321.92 t C/ha. Cuando la biomasa se estima con la ecuación alométrica ($0.15 \cdot D^2 \cdot H$) el stock de carbono más alto fueron para el parque Mora, en verano de 201.70 t C/ha y en invierno de 104.68 t C/ha; mientras que para el parque Alfonso Ugarte en verano fue de 143.73 t C/ha y en invierno de 193.15 t C/ha.

Tabla 30. Stock de carbono potencial por unidad de análisis según la biomasa calculada por las ecuaciones alométricas métodos (a) y (b).

Carbono potencial				
t C/ha				
Parque	Método A		Método B	
	Ver.	Inv.	Ver.	Inv.
Derby	174.81	52.47	104.89	31.48
Faustino	181.72	42.44	109.03	25.46
Plaza de Armas Barranco	87.98	36.52	52.79	21.91
Reducto	149.75	40.21	89.85	24.12
Miguel Grau	176.47	59.51	105.88	35.71
Mora	336.16	174.47	201.70	104.68
Alfonso Ugarte	239.55	321.92	143.73	193.15
Los Bomberos	124.44	49.11	74.66	29.47
Plaza Bolívar	71.32	118.87	187.06	311.77

4.3.4.1 Determinación de las diferencias de medianas entre la captura de carbono potencial por el método A durante las estaciones de verano e invierno

Para la determinación se utilizó la Prueba de Mann-Whitney para ello se planteó las siguientes hipótesis:

Ho: No hay diferencia significativa entre la captura de carbono potencial por el método A durante las estaciones de verano e invierno.

Ha: Si hay diferencia significativa entre la captura de carbono potencial por el método A durante las estaciones de verano e invierno.

Según la tabla 31 se evidencia los rangos promedios que son diferentes entre la captura carbono potencial durante las estaciones de verano e invierno y en la tabla 32 el p value obtenido del estadístico de prueba fue de 0.019 por lo tanto se rechaza la hipótesis nula.

y se acepta la hipótesis alternativa de que si hay diferencia significativa entre la captura de carbono potencial por el método A durante las estaciones de verano e invierno.

Tabla 31 Rangos promedios de captura carbono potencial durante las estaciones de verano e invierno.

	Grupos	N	Rango promedio	Suma de rangos
CapturaC-met.A	verano	9	12.44	112.00
	invierno	9	6.56	59.00
	Total	18		

Tabla 32. Estadístico de prueba de la captura carbono potencial durante las estaciones de verano e invierno.

	CapturaC-met.A
U de Mann-Whitney	14.000
W de Wilcoxon	59.000
Z	-2.340
Sig. asintótica (bilateral)	.019
Significación exacta [2*(sig. unilateral)]	.019 ^b

a. Variable de agrupación: grupos

b. No corregido para empates.

4.3.4.2 Determinación de las diferencias de medianas entre la captura de carbono potencial por el método B durante las estaciones de verano e invierno

Ho: No hay diferencia significativa entre la captura de carbono potencial por el método B durante las estaciones de verano e invierno.

Ha: Si hay diferencia significativa entre la captura de carbono potencial por el método B durante las estaciones de verano e invierno.

Según la tabla 33 se evidencia los rangos promedios que son diferentes entre la captura carbono potencial durante las estaciones de verano e invierno y en la tabla 34, el p value obtenido del estadístico de prueba fue de 0.070, por lo tanto se acepta la hipótesis nula de que no hay diferencia significativa entre la captura de carbono potencial durante las estaciones de verano e invierno.

Tabla 33. Rango promedio entre la captura de carbono por el método A y B.

	grupos	N	Rango promedio	Suma de rangos
METB	verano	9	11.78	106.00
	invierno	9	7.22	65.00
	Total	18		

Tabla 34. Prueba de Mann-Whitney de la captura de carbono potencial.

	METB
U de Mann-Whitney	20.000
W de Wilcoxon	65.000
Z	-1.810
Sig. asintótica (bilateral)	.070
Significación exacta [2*(sig. unilateral)]	.077 ^b

a. Variable de agrupación: grupos

b. No corregido para empates.

4.3.4.3.- Correlación entre la biomasa y la captura de carbono

➤ Durante el verano Método A

Según la tabla 35 la correlación de Pearson de la biomasa y captura de carbono durante el verano fue de 0.517, por lo tanto una correlación positiva, sin embargo no hay una asociación significativa lineal. Como se evidencia en la Fig. 26, la gráfica es ascendente y el modelo se ajusta a una ecuación cubica, con un R cuadrado de 0.691 por lo tanto la biomasa va a influenciar en un 69% en la captura de carbono teniendo en cuenta que durante esta estación hay retención de MPS en las hojas del arbolado urbano de las diferentes unidades de análisis (tabla 36).

Se determinó la influencia de la biomasa y captura de carbono durante el verano para lo cual se realizó una regresión, siendo los coeficientes de la ecuación que se ajusta al modelo la siguiente (tabla 37):

$$Y = 1489.623 + -21.360X + 0.114X^2 + 1.71E^{-4}X^3$$

Tabla 35. Correlación de Pearson de la biomasa y captura de carbono durante el verano.

		CapCVerMetA	BiomverA
CapCVerMetA	Correlación de Pearson	1	,517
	Sig. (bilateral)		,154
	N	9	9
BiomverA	Correlación de Pearson	,517	1
	Sig. (bilateral)	,154	
	N	9	9

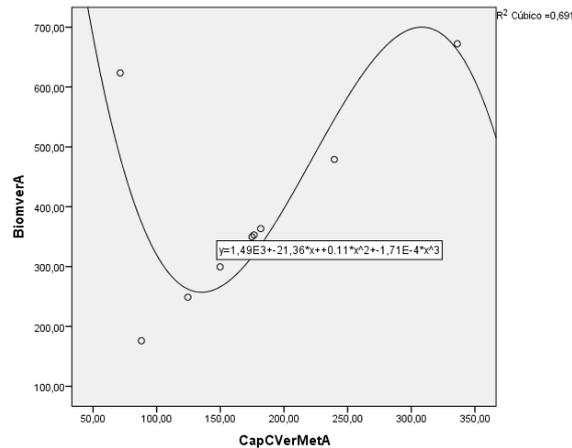


Figura 26. Grafica de la ecuación que se ajusta a la relación entre la biomasa y la captura de carbono durante el verano.

Tabla 36. Regresión entre la biomasa y la captura de carbono durante el verano.

R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
,831	,691	,505	116,521

La variable independiente es CapCVerMetA.

Tabla 37. Coeficientes de la ecuación que se ajusta a la relación entre la biomasa y la captura de carbono durante el verano.

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		
	B	Error estándar	Beta	t	Sig.
CapCVerMetA	-21,360	11,175	-10,355	-1,911	,114
CapCVerMetA ** 2	,114	,063	22,760	1,804	,131
CapCVerMetA ** 3	,000	,000	-12,201	-1,628	,164
(Constante)	1489,623	584,855		2,547	,051

➤ **Durante el invierno Método A**

Según la tabla 38 la correlación de Pearson de la biomasa y captura de carbono durante el invierno fue de 1, por lo tanto una correlación positiva con p value menor a 0.05, es decir una asociación significativa lineal como se evidencia en la Fig. 27 cuya grafica es ascendente y el modelo se ajusta a una ecuación lineal.

Se determinó la influencia de la biomasa y captura de carbono durante el invierno para lo cual se realizó una regresión, con un R cuadrado de 1 por lo tanto la biomasa va a influenciar en un 100% en la captura de carbono durante el invierno (tabla 39), siendo la ecuación que se ajusta al modelo la siguiente (tabla 40):

$$Y = -0.002 + 2.000X$$

Tabla 38. Correlación de Pearson de la biomasa y captura de carbono durante el invierno.

		CapCInvMetA	BiomInvA
CapCInvMetA	Correlación de Pearson	1	1,000**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	9	9
BiomInvA	Correlación de Pearson	1,000**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	9	9

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (2 colas).

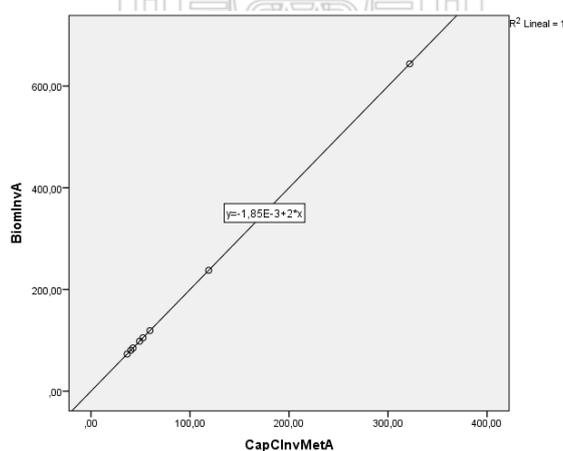


Figura 27. Grafica de la ecuación que se ajusta a la relación entre la biomasa y la captura de carbono durante el invierno.

Tabla 39. Regresión entre la biomasa y la captura de carbono durante el invierno.

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	1,000 ^a	1,000	1,000	,00638

a. Predictores: (Constante), CapCInvMetA

Tabla 40. Coeficientes de la ecuación que se ajusta a la relación entre la biomasa y la captura de carbono durante el invierno.

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		
		B	Error estándar	Beta	t	Sig.
1	(Constante)	-,002	,003		-,582	,579
	CapCInvMetA	2,000	,000	1,000	84441,288	,000

a. Variable dependiente: BiomInvA

➤ **Durante el verano Método B**

Según la tabla 41 la correlación de Pearson de la biomasa y captura de carbono durante el verano fue de 1, por lo tanto, una correlación positiva con un p value menor a 0.05, como se evidencia en la Fig. 28 cuya grafica es ascendente y el modelo se ajusta a una ecuación lineal.

Se determinó la influencia de la biomasa y captura de carbono durante el verano para lo cual se realizó una regresión, con un R cuadrado de 1 por lo tanto la biomasa va a influenciar en un 100% en la captura de carbono durante el verano (tabla 42), siendo la ecuación que se ajusta al modelo la siguiente (tabla 43):

$$Y = -0.003 + 2.000 X$$

Tabla 41. Correlación de Pearson de la biomasa y captura de carbono durante el verano.

		CapCVerMetB	BiomVerB
CapCVerMetB	Correlación de Pearson	1	1,000**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	9	9
BiomVerB	Correlación de Pearson	1,000**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	9	9

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (2 colas).

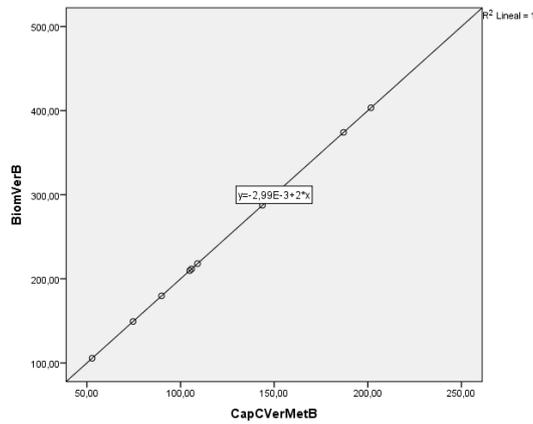


Figura 28. Gráfica de la ecuación que se ajusta a la relación entre la biomasa y captura de carbono durante el verano.

Tabla 42. Regresión entre la biomasa y la captura de carbono durante el verano.

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	1,000 ^a	1,000	1,000	,00305

a. Predictores: (Constante), CapCVerMetB

Tabla 43. Coeficientes de la ecuación que se ajusta a la relación entre la biomasa y captura de carbono durante el verano.

Modelo		Coeficientes				
		Coeficientes no estandarizados		estandarizados		
		B	Error estándar	Beta	t	Sig.
1	(Constante)	-,003	,003		-1,078	,317
	CapCVerMetB	2,000	,000	1,000	92012,150	,000

a. Variable dependiente: BiomVerB

➤ Durante el invierno Metodo B

Según la tabla 44 la correlación de Pearson de la biomasa y captura de carbono durante el invierno fue de 0.621, por lo tanto una correlación positiva, sin embargo no hay una asociación significativa lineal. Como se evidencia en la Fig. 29 la gráfica es ascendente y el modelo se ajusta a una ecuación cubica.

Se determinó la influencia de la biomasa y captura de carbono durante el invierno para lo cual se realizó una regresión, con un R cuadrado de 0.999 por lo tanto la biomasa va a influir en un 99% en la captura de carbono durante el invierno (tabla 45), siendo la ecuación que se ajusta al modelo la siguiente (tabla 46):

$$Y = 33.508 + 0.247X + 0.021 X^2 + -6.588E^{-5} X^3$$

Tabla 44. Correlación de Pearson de la biomasa y captura de carbono durante el invierno.

		CapCInvMetB	BiomInvB
CapCInvMetB	Correlación de Pearson	1	,621
	Sig. (bilateral)		,075
	N	9	9
BiomInvB	Correlación de Pearson	,621	1
	Sig. (bilateral)	,075	
	N	9	9

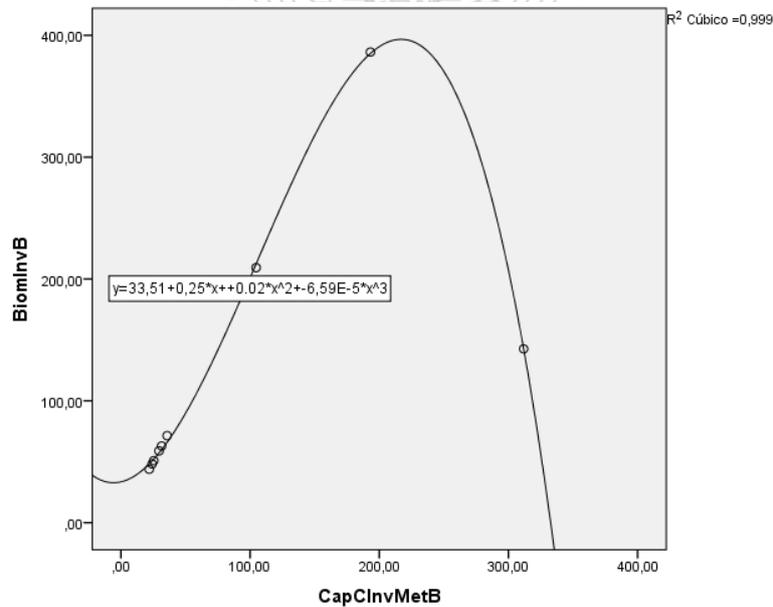


Figura 29. Gráfica de la ecuación que se ajusta a la relación entre la biomasa y captura de carbono durante el invierno.

Tabla 45. Regresión entre la biomasa y la captura de carbono durante el invierno.

R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1,000	,999	,999	4,012

La variable independiente es CapCInvMetB.

Tabla 46. Coeficientes de la ecuación que se ajusta a la relación entre la biomasa y captura de carbono durante el invierno.

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		
	B	Error estándar	Beta	t	Sig.
CapCInvMetB	,247	,223	,220	1,107	,319
CapCInvMetB ** 2	,021	,002	5,938	12,072	,000
CapCInvMetB ** 3	-6,588E-5	,000	-5,781	-18,878	,000
(Constante)	33,508	5,525		6,064	,002

4.3.4.4. Correlación entre la concentración de MPS y la captura de carbono

Para realizar las pruebas estadísticas correspondientes se consideró los datos de la captura de carbono a partir de la biomasa calculada por el método A ($B=0.25 D^2 * H$) debido a que en párrafos anteriores se determinó que existe diferencia significativa entre la captura de carbono durante las estaciones de verano e invierno.

➤ Durante el verano

Según la tabla 47 la correlación de Pearson de la concentración del MPS y captura de carbono durante el verano fue de 0.331, con un p value de 0.385 mayor a 0.05 por lo tanto aceptamos la hipótesis nula, por consiguiente la concentración de MPS no está relacionado significativamente con la captura de carbono durante el verano, sin embargo en la Fig. 30 se tiene una gráfica y el modelo se ajusta a una ecuación cubica.

Se determinó la influencia de la concentración del MPS y la captura de carbono durante el verano para lo cual se realizó una regresión con una significancia de p value 0.47 menor a 0.05, siendo la ecuación que se ajusta al modelo la siguiente:

$$Y = 267.001 + -5.434 X + 0.034 X^2 + -5.846E^{-5} X^3$$

, con un R cuadrado de 0.770 por lo tanto la concentración de MPS va a influenciar en un 77% en la captura de carbono durante el verano debido a la retención de MPS por las especies arbóreas de las distintas unidades de análisis (tabla 48).

Tabla 47. Correlación de Pearson de la concentración del MPS y captura de carbono durante el verano.

		CapCVerMetA	Conc.MPSVer
CapCVerMetA	Correlación de Pearson	1	,331
	Sig. (bilateral)		,385
	N	9	9
Conc.MPSVer	Correlación de Pearson	,331	1
	Sig. (bilateral)	,385	
	N	9	9

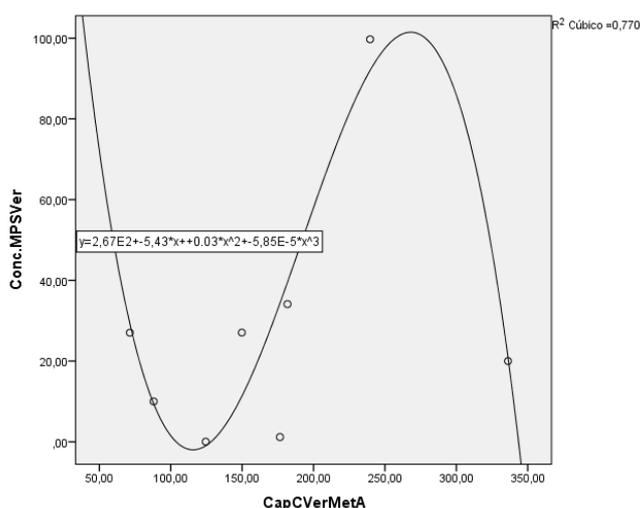


Figura 30. Gráfica de la ecuación que se ajusta a la relación entre la concentración de MPS y captura de carbono durante el verano.

Tabla 48. Regresión entre la concentración del MPS y la captura de carbono durante el verano.

Variable dependiente: Conc.MPSVer

Ecuación	Resumen del modelo					Estimaciones de parámetro			
	R cuadrado	F	df1	df2	Sig.	Constante	b1	b2	b3
Cúbico	,770	5,582	3	5	,047	267,001	-5,434	,034	-5,846E-5

La variable independiente es CapCVerMetA.

➤ **Durante el invierno**

Según la tabla 49 la correlación de Pearson de la concentración del MPS y captura de carbono durante el invierno fue de 0.189, con un p value de 0.627 mayor a 0.05 por lo tanto aceptamos la hipótesis nula, por consiguiente la concentración de MPS

no está relacionado significativamente con la captura de carbono durante el invierno, sin embargo en la Fig. 31 se tiene una gráfica y el modelo se ajusta a una ecuación cubica.

Se determinó la influencia de la concentración del MPS y la captura de carbono durante el invierno, para lo cual se realizó una regresión, siendo la ecuación que se ajusta al modelo la siguiente:

$$Y = -411.168 + 16.467 X + -0.118 X^2 + 2.2E^{-4} X^3$$

, con un R cuadrado de 0.337 por lo tanto la concentración de MPS va a influenciar en un 33% y con p value 0.524 mayor a 0.05 por lo tanto el MPS no influye en la captura de carbono debido a que hay menor retención de MPS por las precipitaciones que se presentan en invierno (tabla 50).

Tabla 49. Correlación de Pearson de la concentración de MPS y captura de carbono durante el invierno.

		CapCInvMetA	Conc.MPSInv
CapCInvMetA	Correlación de Pearson	1	-,189
	Sig. (bilateral)		,627
	N	9	9
Conc.MPSInv	Correlación de Pearson	-,189	1
	Sig. (bilateral)	,627	
	N	9	9

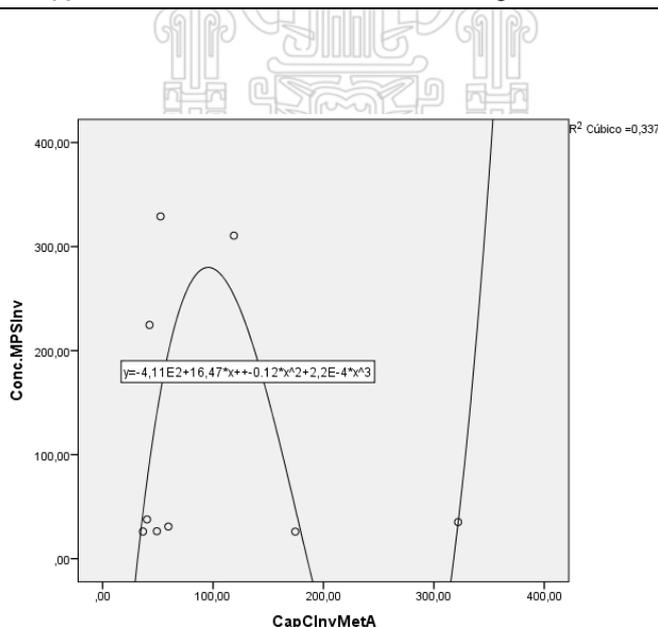


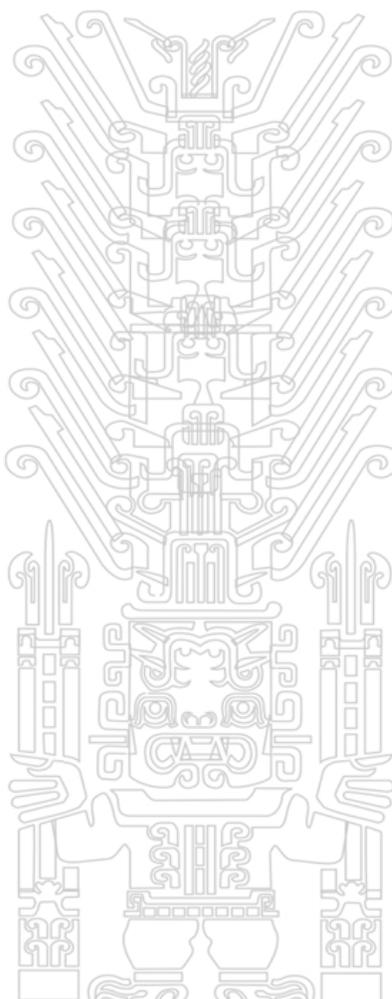
Figura 31. Grafica de la ecuación que se ajusta a la relación entre la concentración de MPS y captura de carbono durante el invierno.

Tabla 50. Regresión entre la concentración del MPS y la captura de carbono durante el invierno.

Variable dependiente: Conc.MPSInv

Ecuación	Resumen del modelo					Estimaciones de parámetro			
	R cuadrado	F	df1	df2	Sig.	Constante	b1	b2	b3
Cúbico	,337	,848	3	5	,524	-411,168	16,467	-,118	,000

La variable independiente es CapCInvMetA.



Capítulo V: Discusión

Actualmente no se registran estudios relacionados con el arbolado urbano en los parques de Lima Metropolitana por lo tanto el presente estudio a la vegetación arbórea de los parques, específicamente de los distritos de Surco, San Isidro, Barranco, Miraflores, Pueblo Libre y Jesús María como bioindicador **a** de contaminación atmosférica por material particulado sedimentable (MPS), determinó su biomasa y el stock de carbono potencial almacenado.

5.1 Concentración de MPS depositados en las hojas durante el año 2016

Se determinó que los parques que registraron mayor retención de MPS fueron el Derby con 329.01 gr/Kg MS y Plaza Bolívar con 310.50 gr/Kg MS durante el verano, mientras que durante el invierno el parque Alfonso Ugarte alcanzó una retención de MPS de 99.72 gr/Kg MS, siendo los valores más bajos en los parques Bombero y Miguel Grau para la misma estación. Se evidenció que existe diferencia significativa entre la concentración de material particulado sedimentable gr/Kg MS de hojas durante las estaciones de verano e invierno con una significancia de 0.011 mientras que en otros estudios realizados las interacciones significativas fueron entre los factores especie y temporada (primavera, verano y otoño) con valores de $p < 0.0008$ y especie-sitio con un $p < 0.0333$ (Alcalá, y otros, 2008).

Las especies que presentaron mayor retención de MPS fueron *Ficus benjamina* con 178.81 gr/Kg MS del parque Alfonso Ugarte; *Sambucus nigra* con 151.42 gr/Kg MS del parque Bomberos y *Acer japonicum* con 111.11 gr/Kg MS del Derby, sin embargo en otras investigaciones sobre polvo atmosférico en especies arbóreas indicadoras de la planeación urbana sustentable en la ciudad de Chihuahua, México fueron *Cupressus arizonica* con una media de 0.04946 +/- 0.005405 (gr/Kg MS) y *Platanus occidentalis* con una media de 0.02554 +/- 0.005505 (gr/Kg MS) (Alcalá, y otros, 2008), en otros estudios realizados en las inmediaciones del Municipio de Malagueño-La Calera. Córdova la especie *Acacia caven* fue la especie más conspicua en constancia y acumulación de polvo atmosférico en los tres sectores de muestreo con valores de retención de 36.22 gr/Kg MS, 16.01 gr/Kg MS y 11.84 gr/Kg MS (Dalmaso, Candida, & Llera, 1997); en Mendoza-Argentina, se estudió por método gravimétrico y lectura óptica del MPS en hojas de la especie *Morus alba* resultando adecuado para evaluar la distribución según tamaños y el papel que cumple dicha especie dentro del ecosistema urbano como bioindicador de contaminación ambiental (Moreno, Martínez, Duplancic,

& Alcalá, 2016). La vegetación, especialmente en áreas urbanas, actúa limpiando la atmósfera por absorción de gases y retención de material particulado principalmente a través del follaje (McDonald, y otros, 2007) por lo tanto las plantas mejoran la calidad del aire al absorber el material particulado (MP) (Moreno, Martínez, Faggi, & Vento, 2008).

5.2 Evaluación del estado fisiológico (biomasa) y su influencia en el secuestro de carbono en las áreas verdes de Lima Metropolitana durante el año 2016

El desarrollo del arbolado urbano puede verse afectadas por la retención de material particulado sedimentable en las hojas debido a ello la superficie foliar o área foliar y el peso foliar de una especie en cuestión, presupone el estudio del crecimiento de las hojas, órganos especializados en la realización del proceso fotosintético, responsables de producir compuestos primarios, que luego por diferentes transformaciones bioquímicas y la translocación de estos compuestos a otros sitios de la planta dará lugar a la producción del cultivo (Jerez Mompie, Martín Martín, & Díaz Hernández, 2014). Para ello se determinó la influencia del peso de las hojas en el área foliar cuyo R^2 fue de 0.78 por lo tanto el peso de las hojas va a influenciar en un 78% en el área foliar con un p value menor a 0.05 de significancia, siendo la ecuación que se ajusta al modelo cúbica $Y = -0.073 + 85.838 X - 75.693 X^2 + 23.142 X^3$, sin embargo otros autores realizaron estudios en cultivares de soya, las ecuaciones obtenidas fueron significativas ($p < 0.000$ y R^2 de 0.74 a 0.97) para cada estrato y para la planta entera cuya relación del área foliar fue de $Y = 45.53X + 19.03$ para peso fresco (Garcés Fiallos & Forcelini, 2011), otros estudios en plantas de pimiento (*Capsicum annum L.*) se establecieron la relación de tendencia entre el área foliar y el peso seco y se encontró que la relación entre ambas variables responde a modelos matemáticos de segundo orden $Y = -1.939X^2 + 192.86X - 164.94$, con un R^2 de 0.9092 (Gutiérrez Hernández, y otros, 2008). Así mismo se determinó la influencia del peso de las hojas en la biomasa del arbolado urbano con un R cuadrado de 0.891 por lo tanto el peso de las hojas va a influenciar en un 89% en la biomasa con una significancia p value de 0.012 y por ende están relacionadas ambas variables y responden a un modelo matemático que se ajusta a una ecuación cúbica $Y = 13.74 + -9.51 * X + 9.35 * X^2 + -1.75 * X^3$. En consecuencia la evaluación del estado fisiológico del arbolado urbano se evidenció con la influencia del peso foliar en el área foliar así como su influencia con la biomasa del arbolado urbano.

La biomasa del arbolado urbano fue determinado mediante los parámetros de medición, altura (H) y diámetro (D), las ecuaciones alométricas empleadas fueron (Método A: $B_{AU} = 0.25 D^2 * H$ y Método B: $B_{AU} = 0.15 D^2 * H$) (Vázquez-Rowe, Iain,

Kahhat, Ramzy; Santillán - Saldivar, Jair; Quispe, Isabel; Bentín, Miguel; (2016), con dichas ecuaciones se estableció el crecimiento de la biomasa estacional según las unidades de análisis mediante el método A, siendo el parque Faustino Sánchez Carrión quien tuvo un incremento de 13.93 sin embargo con el método B alcanzó un crecimiento de 8.36 seguido del parque el Derby y el Reducto ambos con 7.73 de incremento, estadísticamente los resultados obtenidos presentaron un p value 0.005 por lo tanto existe diferencia significativa entre las mediciones del crecimiento inter estacional de la biomasa por el método A y B. En otros estudios las ecuaciones alométricas que se ajustan a la estimación de la biomasa en el ejido El Zapote de la Reserva de la Biosfera “Sierra de Huautla”, estado de Motelo, México en la especie *Quercus magnoliaefolia* quedó expresado como $B = 0.0345 \cdot DAP^{2.9334}$ en donde B es la biomasa (Kg) y DAP el diámetro a la altura del pecho (cm) con un coeficiente de determinación ($R^2 = 0.98$; $P < 0.001$) (Gómez, Etchevers, Monterrosos, Campo, & Tinoco, 2011). Así mismo en otros estudios realizados en Jerécuaro, estado de Guanajuato, México se ajustaron las ecuaciones alométricas para cuantificar la acumulación de la biomasa (B), carbono (C) y carbono equivalente (CO_2e) en una plantación mixta de 12 años de edad de *Pinus devonisns Lindl* y *Pinus pseudostrobus Lindl*. La biomasa de cada árbol, hojas más ramas (Bbr), fuste (Bf) y total (Bt), fue calculada usando la relación entre el peso seco y peso fresco, en 20 árboles de cada especie. Los resultados indican que las ecuaciones alométricas cuantifican eficientemente los componentes de biomasa, especialmente de Bf ($R^2 > 0.85$) en *P. pseudostrobus*, mostrando esta especie los mayores incrementos en biomasa aérea. El 60.2 y 58.4% de la biomasa aérea total fue registrada en el fuste; 39.8 y 41.6% en las hojas y ramas de *P. devonisns* y *P. pseudostrobus* (Méndez Gonzales, Luckie Navarrete, Capó Arteaga, & Nájera Luna, 2011).

5.3 Stock de captura de carbono en las áreas verdes de Lima Metropolitana durante el año 2016

El stock de carbono almacenado del arbolado urbano a partir de la biomasa estimada con la ecuación alométrica (Método A: $Y = 0.25 \cdot D^{2 \cdot H}$) en el parque Mora fue de 336.16 t C/ha para la estación de verano y 174.47 t C/ha en el invierno, así mismo el parque Alfonso Ugarte registró en verano 239.55 t C/ha y durante el invierno fue de 321.92 t C/ha. Según el estadístico de Prueba de Mann-Whitney existe diferencia significativa entre la captura de carbono potencial por el método A durante las estaciones de verano e invierno con p value de 0.019. En investigaciones realizadas sobre la captura de CO_2 en los parques de Tijuana se usó el programa en línea “i-tree design v6.0” elaborado por el USDA Forest Service de EU (U.S Forest Service, 2010). Se obtuvieron los

kilogramos de CO₂ capturado anualmente en el año 2015 por cada individuo de acuerdo a su especie y tamaño, usando ecuaciones alométricas específicas para cada caso. Los resultados varían dependiendo del número especies e individuos de cada una presentes, su DAP, su estado o condición y la superficie arbolada del parque, ya que algunos parques presentan áreas con caminos, juegos, kiosco, área de bancas, etc. Sin embargo, los parques capturaron un promedio de 1.57 Kg de CO₂/m² que equivale a 15,700 tCO₂/ha (considerando la superficie arbolada y no arbolada) (Domínguez Madrid, 2016), en otros estudios en las Laderas de México, los sistemas vegetales con mayor cantidad de carbono almacenado en la parte aérea fueron el bosque de liquidambar en la región de Mazateca, el bosque de encino en la región de Cuicateca y un acahual de aproximadamente 10 años de la región Mixe; con 103.52 y 33 Mg.ha⁻¹ respectivamente. Este resultado puede atribuirse a la edad; la especie; la densidad, siendo esta responsable de que se considere que los árboles urbanos a nivel individual capturen más CO₂ que un árbol en un bosque natural debido a que presentan una considerable biomasa en su follaje, su copa del árbol tiene una mayor exposición a la luz y se enfrenta a menos competencia por árboles cercanos, menor estrés y enfermedades, aparte se tiene que añadir la irrigación, uso de fertilizantes y otros factores de mantenimiento lo que les permite estar más vigorosos y sanos lo que conduce a una alta tasa de crecimiento (McPherson & Simpson, 1999); la condición es decir, los individuos jóvenes retienen el carbono a tasas más altas que los árboles maduros (Stoffberg, Van Rooyen, Van der Linde, & Groeneveld, 2010), así mismo el incremento de la biomasa dependerá principalmente de las condiciones edafológicas y climáticas que influirán en la tasa de rendimiento y dependiendo de la capacidad de respuesta que presenten las especies, será la capacidad de crecimiento y por lo tanto de captura de carbono (Acosta, Quednow, Etchevers, & Monreal, 2001). También influyen las características del sitio en el que se encuentra el parque: el clima, la composición, estado, distribución, estructura de cada una de las especies y del manejo que se le da al parque (Pardos J. , 2010).

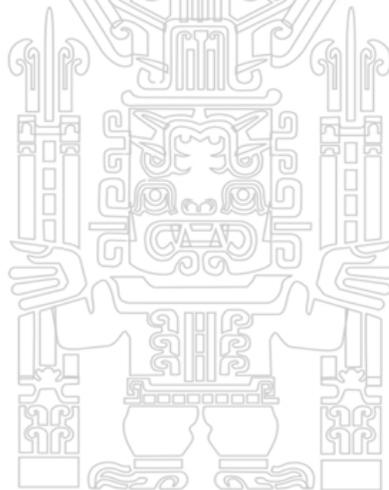
Pero cuando la biomasa se estima con la ecuación alométrica (Método B: $Y=0.15 \cdot D^2 \cdot H$) el stock de carbono más alto fueron para el parque Mora, en verano de 201.70 t C/ha y en invierno de 104.68 t C/ha; mientras que para el parque Alfonso Ugarte en verano fue de 143.73 t C/ha y en invierno de 193.15 t C/ha. Según el estadístico de Prueba de Mann-Whitney no hay diferencia significativa entre la captura de carbono potencial durante las estaciones de verano e invierno con el p value de 0.070. Sin

geográficas donde ese encuentra el bosque de niebla, su orografía y cercanía con el Golfo de México conforman una barrera natural de esta manera se descargan gran cantidad de humedad en forma de lluvia o de niebla, con temperaturas bajas, permitiendo que los árboles ramas, hojas, etc. caídos al suelo permanezcan sin descomponerse conservando el carbono secuestrado por muchos años (Rodríguez Laguna, Jiménez Pérez, Aguirre Calderón, & Treviño Garza, 2006). Otros análisis comparativos han encontrado que existe una diferencia en el potencial de captura CO₂ entre bosques naturales y urbanos (Hyun-Kil, 2002).

Algunos estudios previos han resaltado el papel que juegan los árboles urbanos en el mejoramiento de la calidad del aire, cuantificando su potencial de captura de carbono (Yang, McBride, Zhou, & Sun, 2005)

Debido a que uno de los parámetros que permite conocer la cantidad de carbono almacenado dentro de un árbol es la biomasa (Brown C. D., 2005), así como también es un parámetro para la evaluación del estado fisiológico del arbolado se estableció su relación con la captura de carbono. Con el método A, durante el verano se presentó una correlación positiva de 0.57, así como también la influencia, siendo la ecuación que se ajusta al modelo, cubica ($Y = 1489.623 + -21.360X + 0.114X^2 + 1.71E^{-4}X^3$), con un R cuadrado de 0.691 por lo tanto la biomasa va a influenciar en un 69% en la captura de carbono. Así mismo durante el invierno la correlación de Pearson fue de 1 y el modelo se ajusta a una ecuación lineal ($Y = -0.002 + 2.000X$), con un R cuadrado de 1 por lo tanto la biomasa va a influenciar en un 100% en la captura de carbono durante el invierno. Empleando el método B en la determinación de la biomasa y su relación en la captura de carbono durante el verano fue de 1 y el modelo se ajusta a una ecuación lineal ($Y = -0.003 + 2.000 X$), con un R cuadrado de 1 por lo tanto la biomasa va a influenciar en un 100%. Mientras que durante el invierno la correlación entre la biomasa y la captura de carbono fue de 0.621 y el modelo se ajusta a una ecuación cubica ($Y = 33.508 + 0.247X + 0.021 X^2 + -6.588E^{-5} X^3$), con un R cuadrado de 0.999 por lo tanto la biomasa va a influenciar en un 99% en la captura de carbono. Otros autores determinaron la cantidad de carbono almacenado en los bosques templados lluviosos en la región centro-sur de Chile, siendo la acumulación más alta de 662.06 tC/ha en la Cordillera de los Andes a diferencia de la Cordillera de la Costa que alcanzó 423.86 t C/ha, para lo cual la ecuación alométrica que mejor estimo la biomasa fue $Y = a * X^b$ con transformación logarítmica e incluyen variables de DAP, diámetro del tocon y altura total el cual presentó un alto R cuadrado con una significancia de $p < 0.05$ para luego calcular el carbono acumulado (Schlegel, 2001).

Durante la estación del verano la concentración de MPS no está relacionado significativamente con la captura de carbono, con un p value de 0.385 mayor a 0.05, sin embargo se determinó la influencia de la concentración del MPS y la captura de carbono, con un R cuadrado de 0.770 por lo tanto la concentración de MPS va a influenciar en un 77%, debido a que hay mayor retención de MPS en las hojas del arbolado urbano, siendo la ecuación que se ajusta al modelo una ecuación cubica $Y = 267.001 + -5.434 X + 0.034 X^2 + -5.846E^{-5} X^3$. Algo similar ocurre durante la estación de invierno donde la concentración del MPS tampoco está relacionado significativamente con la captura de carbono, con un p value de 0.627 mayor a 0.05 y el modelo se ajusta a una ecuación cubica $Y = -411.168 + 16.467 X + -0.118 X^2 + 2.2E^{-4} X^3$, con un R cuadrado de 0.337, debido a que hay menor retención de MPS en las hojas por las lluvias que se presentan durante la estación, por lo tanto la concentración de MPS va a influenciar a penas en un 33% en la captura de carbono. Otras investigaciones realizadas demuestran que en el arbolado urbano, la frecuencia del MP depositado en hojas de *Morus alba* considerando la ubicación y época del año en la ciudad de Mendoza, Argentina, mostró variaciones significativas entre sitios y las épocas del año. Se observó un aumento en la frecuencia media del MPS hacia otoño y disminución en verano esto puede deberse a las lluvias estivales que lavan gran parte del material particulado de las hojas (Moreno , Martínez , Duplancic, & Alcalá, 2016).



Conclusiones

- La influencia del material particulado en la captura de carbono en las áreas verdes de Lima Metropolitana durante el año 2016, solo fue significativa durante el verano con un p value de 0.047 lo que indica que el modelo ($Y = 267.001 + -5.434 X + 0.034 X^2 + -5.846E-5 X^3$) que se está probando mejora significativamente la predicción de la variable dependiente, con un R cuadrado de 0.770, por lo tanto la concentración de MPS va a influenciar en un 77% en la captura de carbono debido a la retención de MPS por las especies arbóreas de las distintas unidades de análisis. A diferencia del invierno en donde la concentración del MPS no influye significativamente en la captura de carbono (p value 0.524 mayor a 0.05) con un R cuadrado de 0.337 por lo tanto la concentración de MPS va a influenciar en un 33% debido a que hay menor retención de MPS por las hojas como consecuencia de las precipitaciones que se presentan en invierno.
- La concentración de material particulado sedimentable depositados en las hojas durante el año 2016 es significativa, presentó un p value, de 0.011 el cual es menor a 0.05, por lo tanto, si hay diferencia significativa entre la concentración de MPS gr/Kg de materia seca durante las estaciones de verano e invierno.
- La evaluación del estado fisiológico (biomasa) y su influencia en la captura de carbono en las áreas verdes de Lima Metropolitana durante el año 2016, solo fue significativo durante el invierno con un p value menor a 0.05 y un $R^2 = 1.000$ mientras que en el verano el R^2 fue de 0.691 es decir la biomasa influye en un 69% y un p value de 0.096 mayor a 0.05 por lo que no es significativo.
- El stock de captura de carbono en las áreas verdes de Lima Metropolitana durante el año 2016 es significativo, con un p value de 0.019 por lo tanto si hay diferencia significativa entre la captura de carbono potencial por el método A. Sin embargo, con el método B, el p value fue de 0.070, por lo tanto, se acepta la hipótesis nula de que no hay diferencia significativa entre la captura de carbono potencial durante las estaciones de verano e invierno.

Recomendaciones

Las principales recomendaciones que se desprenden del estudio realizado son:

- a) Es necesario determinar la influencia del material particulado en el secuestro de carbono a nivel de especie. De esta manera se podría seleccionar especies que toleran el MPS para forestar los parques.
- b) En la evaluación del estado fisiológico se tendría que considerar la concentración de la clorofila y su influencia en el secuestro de carbono en la vegetación arbórea y no arbórea debido a que es un parámetro directo para evaluar su influencia en el secuestro de carbono.
- c) Se requiere determinar el stock de la captura de carbono en la vegetación no arbórea en la vegetación de Lima. Así como su determinación a nivel de especie para la selección de especies que se emplearían para forestar los parques, las que proporcionen la mayor cantidad de captura de carbono.



Referencias bibliográficas

- (s.f.). Obtenido de www.munlima.gob.pe/formularios-del-tupa/doc.../447513470-ordenanza-n-1862
- Acosta, M., Quednow, K., Etchevers, J., & Monreal, C. (18 al 20 de Octubre de 2001). *Un modelo para la medición del carbono almacenado en la parte aérea de sistemas con vegetación natural e inducida en terrenos de Ladera en México*. Valdivia, Chile: INIFAP. Recuperado el 15 de Enero de 2018, de www.uach.cl
- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. (Enero de 2016). *Guía de la calidad del aire sobre la contaminación por partículas*.
- Alcalá, J., Soza, M., Moreno, M., Quintana, C., Campos, A., & Holguin, C. (2008). Retención de polvo atmosférico en especies arbóreas indicadoras de la planeación urbana sustentable: ciudad de Chihuahua, México. *Multequina*(17), 17-28.
- Aubriot, L., & Bonilla, S. (Setiembre de 2013). *limno.fcien.edu*. Recuperado el 17 de Febrero de 2016, de <http://limno.fcien.edu.uy/pdf/course/PROTOCOLO-CLOROFILA-ALCOHOL.pdf>
- Aukland, L., Moura Costa, P., Bass, S., Huq, S., Landell-Mills, N., Tipper, R., & Carr, R. (2002). *Laying the Foundations for Clean Development: Preparing the Land Use Sector. A quick guide to the Clean Development Mechanism*. London: IIED. Obtenido de <http://pubs.iied.org/pdfs/9136IIED.pdf>
- Becerra, J. (2014). *Evaluación del crecimiento vegetativo y rendimiento del cultivo de pepino (Cucumis sativus) bajo acolchado con películas fotodegradables. Tesis para obtener el grado de Ingeniero Agrónomo en Irrigación*. Mexico.
- Benjamín, J., & Masera, O. (2001). Captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosques*, 7(1), 3-12.
- Bown, H. (1992). *Biomasa en bosques de Lengua en la provincia de Última Esperanza, XII Región. Memoria de Título*. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Chile.
- Brown, C. D. (2005). *Construcción de Modelos de Estimación de Biomasa y Área Foliar para Diez especies Arbóreas Urbanas de la Ciudad de Santiago*. Santiago, Chile: Tesis para Optar el Título Profesional de Ingeniero Forestal. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Chile.
- Brown, S. (2002). Measuring, monitoring, and verification for carbon benefits for forest-referenciad projects. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A*, 360, 1669-1683.
- Brown, S., Hall, C., Knabe, W., Raich, J., Trexler, M., & Woome, P. (1993). Tropical forest: their past, present and potencial future role in the terrestrial carbon budget. *Wwater, Air and Soil Pollution*(70), 71-94.

Tesis publicada por autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNFV

- Budowski, B. (Abril de 1999). Secuestro de carbono y gestión forestal en América Tropical. *Bosques y Desarrollo*, 20-21, 17-20.
- Cabezas-Gutiérrez, M., Peña, F., Duarte, H., Colorado, J., & Lora Silva, R. (2009). Un modelo para la estimación del área foliar en tres especies forestales de forma no destructiva. *U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 12(1), 121-130.
- California Air Resources Board. (2003). *Urban Vegetation Air Quality Information Program*. California: Department of the California Environmental Protection Agency.
- Carrillo, F., Acosta, M., Jiménez, C., González, L., & Etchevers, J. (01 de Abril-Mayo de 2016). Ecuaciones alométricas para estimar la biomasa y el carbono de la parte aérea de *Pinus hartwegii* en el Parque Nacional Ixta-Popo, México. *Ciencias Agrícolas*, 7(3), 681-691.
- Castillo, G. M. (2017). *Partículas sedimentables del aire y su influencia en las infecciones respiratorias agudas en la ciudad de Tayabamba*. Tingo María: Universidad Nacional Agraria de la Selva. Facultad de Recursos Naturales Renovables. Departamento Académico de Ciencias Ambientales.
- CATIE. (1982). *Agroambiente*. Turrialba- Costa Rica.
- Celis, J., Morales J.R, Zaror C.A, & Inzunza J.C. (2004). A study of the particulate matter PM10 composition in the atmosphere of Chile. *Chemosphere*, 541-550.
- CEPAL. (1991). Impacto Ecológico de Contaminantes. *Comisión Económica para América Latina y el Caribe*, 8 pág.
- CONAM. (2001). Primera Comunicación Nacional del Perú para la Convención de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático.
- Concha, J., Alegre, J., & Pocomucha, V. (2007). Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de sistemas agroforestales de *Theobroma cacao* L. en el departamento de San Martín, Perú. *Ecología Aplicada*, 6(1-2), 75-82.
- Consumer. (Noviembre de 2002). Zonas verdes urbanas: 36 parques, un estudio Equipamiento y seguridad, aspectos a mejorar. *CONSUMER*(60).
- Dalmaso, A., Candida, R., & Llera, C. (1997). La vegetación como indicadora de la contaminación por polvo atmosférico Multequina. *REDALYC*(6), 85-91.
- De la Maza, C., Hernández, J., Rodríguez, M., Escobedo, F., & Nowak, D. (2003). *Proyecto FONDEFF D001 1078 Informe Técnico Biomasa. Desarrollo de un sistema de la vegetación urbana con fines de descontaminación atmosférica y de apoyo a la toma de decisiones a nivel municipal*. Santiago: Facultad de Ciencias Forestales. Departamento de Manejo de Recursos Forestales. Universidad de Chile.

- Devlin, R. (1982). *Fisiología Vegetal*. Barcelona: Omega.
- Dobbs Brown, C. (2005). *Construcción de modelos de estimación de biomasa y área foliar para diez especies arbóreas urbanas de la Ciudad de Santiago. Memoria para optar al Título*. Santiago, Chile: Universidad de Chile Facultad de Ciencias Forestales Escuela de Ciencias Forestales Departamento de Manejo de Recursos Forestales.
- Domínguez Madrid, A. Y. (2016). *Estimaciones de captura de los parques y emisiones de CO2 vehicular en Tijuana, B.C.* Tijuana, Baja California, México. Recuperado el 25 de Enero de 2018, de www.colef.mx/posgrado/wp-content/uploads/2016/12/TESIS-Domínguez-Madrid-Ana-Yurendy.pdf
- Douterlungne, D., Herrera, Á., Ferguson, B., Siddique, I., & Soto, L. (2013). Ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono de cuatro especies leñosas neotropicales con potencial para la restauración. *Agrociencia*, 47(4), 385-397.
- DÜring, H., & Loveys, R. (1996). Stomatal patchiness of field-grown Sultana leaves: Diurnal changes and light effects. *Vitis*, 7-10.
- El Comercio. (01 de Abril de 2015). Mayoría de limeños insatisfechos por el déficit de áreas verdes. *El Comercio*.
- El Peruano. (1993). Constitución Política del Perú. *El Peruano*.
- El Peruano. (2001). Decreto Supremo N°047-2001-MTC. *El Peruano*.
- El Peruano. (2001). Ley N° 27446: Ley del sistema nacional de evaluación del impacto ambiental. *El Peruano*.
- El Peruano. (2005). Ley N°28611: Ley general del ambiente. *El Peruano*.
- Escobedo, F., Hernández, J., De la Maza, C., Rodríguez, M., Nowak, D., & Crane, D. (2004). Determinando los efectos del arbolado urbano sobre la calidad del aire, caso Santiago de Chile. *USDA Forest Service NE Research Station*, 19-25.
- Espert, V., & López, A. (2004). *Dispersión de contaminantes en la atmósfera*. México-Distrito Federal: Alfaomega.
- Ferreira, T., & Rasband, W. (2012). *ImageJ User Guide IJ 1.46r*.
- Figuroa, C. (2001). *Comparación de la concentración de carbono en diferentes tipos de vegetación en la sierra norte de Oaxaca*. México.
- Fondo Nacional del Ambiente-Perú. (27 de Julio de 2017). *Fonam*. Obtenido de <http://fonamperu.org.pe/secuestro-de-carbono/>
- Freitas, L., Otárola, E., Del Castillo, D., Linares, C., Martínez, C., & Malca, A. (2006). *Servicios ambientales de almacenamiento y secuestro de carbono del ecosistema Aguajal en la Reserva Nacional Pacaya Samiria, Loreto - Perú*. Iquitos, Perú.

- Galindo, J., & Clavijo, J. (2007). Fisiología vegetal y de cultivos, modelos alométricos para estimar el área foliar de la arveja (*Pisum sativum* L.) . *Revista Corpoica-Ciencia y Tecnología Agropecuaria.*, 8(1), 37-43.
- Gamarra, J. (18 a 20 de Octubre de 2001). Estimación del contenidos de Carbono en Plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill en Junín, Perú. *Simposio Internacional. Medición y monitoreo de la captura de carbono en ecosistemas forestales*. Valdivia, Chile.
- Garcés Fiallos , F., & Forcelini, C. A. (22 de Junio de 2011). Peso de hojas como herramienta para estimar el área foliar en soya. *Ciencia y Tecnología*, 4(1), 13-18.
- García, L. H. (2006). *Evaluación del riesgo por emisiones de partículas en fuentes estacionarias de combustión. Estudio de caso: Bogotá*. Bogotá, Colombia.
- Gómez , J., Etchevers, J., Monterrosos, A., Campo, J., & Tinoco, J. (2011). Ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Quercus magnoliaefolia*. *Chipping Serie Ciencias y del Ambiente.*, 17(2), 261-272.
- Gonzales de Canales, C. (2002). *Beneficios del arbolado urbano*.
- González Rodríguez, Á. (1998). *Caracterización fotosintética de árboles de la Laurisilva canaria (Laurus azorica, Persea indica y Myrica faya)*. Tenerife-España.
- Gower, S., Kucharik, C., & Norman, J. (1999). Direct and Indirect Estimation of Leaf Area Index, fAPAR, and Net Primary Production of Terrestrial Ecosystems. *Remote Sensing Environment*, 70, 29-51.
- Guderian, R. (1985). *Air Pollution by Photochemical Oxidants*. Berlin, Alemania: Springer-Verlag.
- Gutiérrez Hernández, L., Arozarena Daza, N., Lino Brito, A., Cabrera, M., Fernández Alonso, J., Palacio Odio, Z., . . . Ortega Lemus, Y. (2008). Relaciones funcionales área foliar/peso seco en plantas de pimiento (*Capsicum annuum*, L.) bajo condiciones de casa de cristal. *Agrotecnia*. Recuperado el 12 de Enero de 2018, de <http://www.actaf.co.cu>
- Herbert, T. (2004). A simple model of canopy photosynthesis.
- Hernández, R. (29 de Enero de 2014). *Foresr.ula.ve*, 2.0. Recuperado el 20 de Enero de 2016, de <http://www.forest.ula.ve/~rubenhg/fotosintesis/>
- Herrick, J. (2005). *Wiki how*. Recuperado el 25 de Febrero de 2016, de <http://es.wikihow.com/hacer-un-clin%C3%B3metro>
- Houghton , J., Ding, Y., Noguier, M., Linden, P., Dai, X., Maskell, K., & Jonhson, C. (2001). The Scientific Basis: Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Hyun-Kil, J. (Febrero de 2002). Impacts of urban greenspace on offsetting carbon emissions for middle Korea. *Journal of Environmental Management*, 64(2), 115-116.

- INEI. (2008). *Estadísticas Ambientales. Instituto Nacional de Estadística e Informática*. Lima, Perú.
- INEI. (2015). *Estadística Ambientales. Marzo 2015*. Lima.
- INIFAP, & PAOT. (05 de MAYO de 2010). Recuperado el 14 de Noviembre de 2014
- Instituto Metropolitano de Planificación. (Diciembre de 2010). *Inventario de áreas verdes a nivel Metropolitano*. Recuperado el 22 de Octubre de 2016, de Urbanistasperu: <http://www.urbanistasperu.org/imp/inventariodeareasverdes/PDF/Inventario%20de%20Areas%20Verdes%20a%20nivel%20Metropolitano.pdf>
- Instituto Nacional de Salud Pública México. (14 de Mayo. 2016 de 2010). *Importancia de las partículas PM 2.5*. Obtenido de INECC: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/695/importancia.pdf>.
- Instituto Nacional de Salud Pública México. (2010). *Importancia de las partículas PM 2.5*.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2005). *Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas para UTCUTS. Orientación sobre las buenas prácticas para uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura*. Recuperado el 08 de Abril de 2017, de www.ipcc-nggip.iges.or.jp: http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf_languages.html
- Inza Aguirre, A. (2010). *Estudio de series temporales y composición química del material particulado atmosférico en distintas áreas del país Vasco. Tesis para optar el grado de Doctor. Universidad del País Vasco*. Vasco: Universidad del País Vasco. Euskal Herriko Unibertsitateko Argitalpen Zerbitzua.
- Inza, A., Sánchez, M. E., Menéndez, M., Ortega, L. Á., & Gil, J. I. (2006). *Estudio de los niveles de PM10 y PM2.5 en un área urbana con influencia industrial siderometalúrgica (Basaauri, Vizcaya)*.
- IPSOS. (Marzo de 2015). Encuesta metropolitana por encargo del Diario El Comercio . *EL Comercio*.
- Jairo, L. (s/f). *Fijación de CO2 por parte de los árboles Urbanos propuesta para un program de captura para Bogotá D.C*. Recuperado el 20 de Diciembre de 2014, de <https://wbchallenge.imaginatik.com>: [https://wbchallenge.imaginatik.com/wbchallengecomp.nsf/x/476FA5AAC58E0547852579D30018014B/\\$File/FIJACI%C3%93N%20DE%20CO2%20arboles%20urbanos%20Bogota.pdf](https://wbchallenge.imaginatik.com/wbchallengecomp.nsf/x/476FA5AAC58E0547852579D30018014B/$File/FIJACI%C3%93N%20DE%20CO2%20arboles%20urbanos%20Bogota.pdf)
- Jerez Mompie, E., Martín Martín, R., & Díaz Hernández, Y. (Enero-marzo de 2014). Estimación de la superficie foliar en dos variedades de papa 8Solanum tuberosum L.) por métodos no destructivos. *Cultivos tropicales*, 35(1), 57-61.
- Ketterings, Q., Coe, R., Van Noordwijk, M., Ambagau, Y., & Palm, C. (2001). Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground

- tree biomass in mixed secondary forests. *Forest Ecology and management*(146), 199-209.
- Klumpp, A., Ansel, W., & Klumpp, G. (2004). *EuroBionet, European Network for the Assessment of Air Quality by the Use of Bioindicator Plants, Reporte Final*. Atuttgart, Alemania: Universidad de Hohenheim.
- Kolukisaoglu, Ü., & Thurow, K. (2010). Future and frontiers of automated screening in plant sciences. *Plant Science*, 178(6), 476-486.
- Kramer, P., & Kozlowski, T. (1979). *Physiology of Woody Plants*. New York: Academic Press.
- Kriedemann, P., & Buttrose, M. (1971). Chlorophyll content and photosynthetic activity within woody shoots of *Vitis vinifera* L. *Photosynthetica*, 22-27.
- Kucharik, C., Norman, J., & Gower, S. (1998). Measurements of branch area and adjusting leaf area index to indirect measurements. *Agric. Forest Meteorol.* , 91, 69-88.
- Linares, C., & Díaz, J. (Setiembre de 2008). Las PM2,5 y su impacto sobre la salud. El caso de la ciudad de Madrid. *Ecosostenible*, 35(58), 32-37.
- Lissarrague, J., Baeza, P., & Sánchez de Miguel, P. (2007). Recuperado el 28 de Enero de 2016, de <http://ocw.upm.es/produccion-vegetal/viticultura/contenidos/Fotosintesisvid.pdf>
- López, G. (2015). *Valoración Económica del Servicio Ambiental de Captura de Carbono en el Fundo Violeta (Distrito de Tahuamanu – Madre de Dios)*. Tesis para optar el título de Licenciado en Geografía y Medio Ambiente. Facultad de Letras y Ciencias Humanas. Pontificia Universidad Católica del Perú. Recuperado el 28 de Junio de 2017
- Lozano, F. (2012). *Determinación del Grado de Partículas Atmosféricas Sedimentables, Mediante el Método de Muestreo Pasivo, Zona Urbana Ciudad de Moyobamba*. Moyobamba, Perú: Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto. Facultad de Ecología. Escuela Académica Profesional de Ingeniería Ambiental.
- MacDonald, L. (1996). *Global problems, local solutions: measuring the value of the urban*.
- Malhi, Y., & Grace, J. (2000). Tropical forests and atmospheric carbon dioxide. *Trends in Ecology and Evolution* , 15(8), 332-336.
- Marcos, R., Cabrera, M., Laos, H., Mamani, D., & Valderrama, A. (2008). *Estudio comparativo para la determinación del polvo atmosférico sedimentable empleando las metodologías de tubo pasivo y de placas receptoras en la Ciudad Universitaria de San Marcos – Lima*. Lima: Centro de Desarrollo e Investigación en Termofluidos. Recuperado el 28 de Abril de 2016, de <http://sisbib.unmsm.edu.pe>
- Martin, P. B. (2005). *Contaminación del aire por material particulado en la Ciudad de Buenos Aires*. Tesis para optar el título de Doctor de la Universida de Buenos Aires. Buenos Aires.

- Martin, T., Marchese, J., Fernandes de Sousa, A., Curti, G., Fogolari, H., & Dos Santos Cu, V. (Diciembre de 2013). Uso do software ImageJ na estimativa de área foliar para a cultura do feijão. *Interciencia*, 38(12), 843-848. Recuperado el 05 de Mayo de 2017, de http://www.interciencia.org/v38_12/843.pdf
- Martinez Fernandez, J., Martinez Fernandez, J., Romero, M., López Bermúdez, F., & Belmonte Serrano, F. (1996). Biomasa e Índice de área foliar de *Rosmarinus officinalis* L. en Matorral Semarido (Cuenca de Mula, Murcia). *Biología Ambiental*, 83-92.
- Martinez-Ballesta, M., Lopez -Perez, L., Muries, B., Muñoz.Azcarae, O., & Carvajal , M. (2009). Climate change and plant water balance. *The role of aquaporins Sustainable Agricultural Reviews.*, 2, 71-89.
- Mcdonald, A., Bealey, W., Fowler, D., Dragosits, U., Skiba, U., Smith, R., . . . Nemitz, E. (2007). Quantifying the effect of urban tree planting on concentrations and depositions of PM10 in two UK conurbations. *Atmos Environ.*, 41(38), 8455-8467.
- McPherson, E., Nowak, D., Heisler, G., Grimmond, S., Souch, C., Grant, R., & Rowntree, R. (1995). *Results of the Chicago Urban Forest Climate Project.* in Kollin. C. and Barratt. M. (eds). New York: Proceedings of the 7th National Urban Fforest Conference.
- McPherson, G., & Simpson, J. (1999). *Carbon dioxide reduction through urban forestry: guidelines for professional and volunteer tree planters.* Albany, California: USDA - Forest Service - Pacific Southwest Research Station.
- Méndez Gonzales, J., Luckie Navarrete, L., Capó Arteaga, Á., & Nájera Luna, A. (Mayo-Junio de 2011). Ecuaciones alométricas y Estimación de incrementos en biomasa aérea y carbono en una plantación mixta de *Pinus devoniana* Lindl. y *P. pseudostrobus* Lindl., en Guanajuato, México. *Agrociencia*, 45(7), 479-491.
- Mészáros, E. (1999). *Fundamentals of Atmospheric Aerosol Chemistry.* Budapest: Akadémiai Kiado.
- Montaño, C. R. (2007). *Evaluación de los Posibles Efectos de la Contaminación sobre el Arbolado Urbano.* Bogotá: Sub Dirección Científica.
- Morales, R. (2006). *Contaminación atmosférica urbana.* Santiago de Chile., Chile: Universitaria.
- Moreno , G., Martínez , E., Duplancic, A., & Alcalá, J. (Junio de 2016). Frecuencia de diferentes tamaños de material particulado en hojas de *Morus alba* en el arbolado urbano de Mendoza (Argentina). *Multequina*, 25(5), 5-12. Recuperado el 04 de Enero de 2018, de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-73292016000100001
- Moreno, G., Martinez, E., Faggi, A., & Vento, B. (2008). Sedimentación atmosférica seca en hojas de *Morus alba* L.en la ciudad de San Juan Argentina. *Interciencia*, 33(11), 844-849.

- Mota, C., Alcaraz .Lopez, C., Iglesias, M., Martinez- Baltazar, M., & Carbajal , M. (s/f). Investigación sobre la absorción de CO2 por los cultivos más representativos. *Consejo Superior de Investigaciones Científicas*, 7-8.
- Mota, C., Alcarraz, C., & Carbajal, M. (s/f). Investigación sobre la Absorción de CO2 por los cultivos más representativos de la Región de Murcia.
- Mousseau, M., Dufréne, E., Kohem, A., Epron, D., Godard, D., Liozon, R., . . . Saugier, B. (1996). *Growth Strategy and Tree Response to Elevated CO2: A Comparison of Beech (Fagus sylvatica) and Sweet Chestnut (Castanea sativa Mill.)*. Carbon Dioxide and Terrestrial Ecosystems.
- Municipalidad Metropolitana de Lima. (25 de Febrero de 2016). *Municipalidad de Lima*. Obtenido de www.munilima.gob.pe
- Murray, N. (2005). *Introducción a la botánica*. Pearson.
- Návar, J. (2009). Allometric equations for tree species and carbon stocks for forest of northwestern Mexico. *Forest ecology and Management*, 257, 427- 434.
- Newbould, P. (1967). Methods for estimating the primary production of forests. *IBP.*, 59.
- Nowak, D. (2000). Tree species selection, design, and management to improve air quality. *ASLA Annual Meeting Proceedings. American Society Landscape Architects*.
- Nowak, D., Dwyer, J., & Childs, G. (1998). *Los beneficios y costos del enverdecimiento urbano. In: Krishnamurthy, L. and J.R. Nascimento (eds). Areas Verdes Urbanas en Latinoamerica y el Caribe (Proc. of International Seminar on Urban Greening in Latin America and the Caribbean)*. Centro de Agroforesteria para el Desarrollo Sostenible, Universidad A. Recuperado el 12 de Febreo de 2017
- Nowak, D., McHale, P., Ibarra, M., Crane, D., Stevens, J., & Luley, C. (1988). *Modelling the effects of urban vegetation on air pollution. Air pollution and its applications*. XII. Plenum Press.
- Nowak, David. (1996). Estimating leaf area and leaf biomass of open-grown deciduous urban trees. *Forest Science*, 42(4), 504-507.
- O'Hara, F. (1990). *Biomass. Carbon Dioxide Information Analysis Center*. Oak Ridge National Labotatory.
- Ordóñez, J. A., & Maser, O. (2001). Captura de carbono ante el cambio climático. *Redalyc*, 7(001), 3-12.
- Palomino, D. (2007). *Estimación del servicio ambiental de captura del CO2 en la flora de Los Humedales de Puerto Viejo*. Lima: UNMSM.
- Pardos, J. (2010). *Los ecosistemas forestales y el secuestro de carbono ante el calentamiento global*. Madrid, España: Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria -

- Alimentaria Ministerio de Ciencia e Innovación. Recuperado el 25 de Enero de 2018, de http://www.inia.es/GCONTREC/PUB/60587OT_LIBRO_WEB_1277883079734.pdf
- Pardos, J. A. (Junio de 2010). *Los ecosistemas forestales y el secuestro de carbono ante el calentamiento global*. Madrid: Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria.
- Pérez-Urria, E. (2009). *Serie Fisiología Vegetal*. Madrid: Reduca.
- Perry, D. (1994). *Forest Ecosystems*. The Johns Hopkins University Press.
- Pesson, P. (1978). *Ecología Forestal. El Bosque: clima, suelo, árboles, fauna*. Madrid: Mundiprensa.
- Picard, N., Laurent, A., & Matieu, H. (2012). *Manual de construcción de ecuaciones alométricas para estimar el volumen y la biomasa de los árboles. Del trabajo de campo a la predicción*. Rome, Italia: Las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement.
- Pignata, M. (2003). *Empleo de biomonitores en estudios de contaminación atmosférica*. La Paz, Bolivia: Instituto de Ecología .
- PLAM de Lima y Callao. (2008). *Plan Metropolitano de Desarrollo Urbano*. Recuperado el 20 de Mayo de 2017, de [munlima.gob.pe](http://www.munlima.gob.pe): <http://www.munlima.gob.pe/images/descargas/region-lima/asamblea-metropolitana/PLAN-METROPOLITANO-DE-DESARROLLO-URBANO.pdf>
- Post, M., Peng, T. H., Emanuel, A. W., King, A. W., Dale, V. H., & De Angelis, D. L. (1990). The global carbon cycle. *American Scientist*, 310-326.
- Pregitzer, K., & Euskirchen, E. (2004). Carbon Cycling and Storage in World Forests. *Global Change Biology*, 2052-2077.
- Rasband, W. (2007). Recuperado el 15 de Abril de 2016, de [rsbweb: http://rsbweb.nih.gov/ij/](http://rsbweb.nih.gov/ij/)
- Rincón, N., Olarte, M., & Pérez, J. (2012). Determinación del Área Foliar en Fotografías Tomadas con una Cámara Web, un Teléfono Celular o una Cámara Semiprofesional. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 65(1), 6399-6405. Recuperado el 21 de Mayo de 2016, de <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v65n1/v65n1a10.pdf>
- Roberts, A., & Associates, I. (2009). *Manual de Control de la Calidad del Aire*. Mexico.
- Rodríguez Laguna, R., Jiménez Pérez, J., Aguirre Calderón, Ó., & Treviño Garza, E. (Abril-Junio de 2006). Estimación del carbono almacenado en un bosque de niebla en Tamaulipas, México. *Ciencia Universidad Autónoma de Nuevo León*, IX(2), 179-187.
- Rojas, F., De Jong, B., Martínez, P., & Paz, F. (2015). Database of 478 allometric equations to estimate biomass for Mexican trees and forests. *Annals of Forest Science*, 2015(72), 835-864.

- Rojas, M. (2003). Concepto sobre Fisiología Vegetal Reproductiva. *Ciencia UANL*, 171-175 pág.
- Rügnitz, M., Chacón, M., & Porro, R. (2008). *Guía para la determinación de Carbono en Pequeñas Propiedades Rurales*. Belén.
- Sampaio, E., Gasson, P., Bacarat, A., Cutler, D., Pareyn, F., & Costa-Lima, K. (2010). Tree biomass estimation in regenerating areas of tropical dry vegetation in northeast Brazil. *Forest Ecology and Management*(259), 1135-1140.
- Santoni, C. S., & Lijteroff, R. (2006). Evaluación de la calidad del aire mediante el uso de bioindicadores en la Provincia de San Luis, Argentina. 49-58.
- Scheaffer, R., Mendenhal, W., & Lyman, R. (2007). *Elementos de muestreo*. México: Thomson.
- Schlegel, B. (18 al 20 de Octubre de 2001). Estimación de la biomasa y carbono en bosques del tipo forestal siempreverde. *Simposio Internacinal Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales* (pág. 13). Valdivia, Chile.: Universidad Austral de Chile. Recuperado el 20 de enero de 2017, de <https://www.uach.cl>
- Schulze, E., Wirth, C., & Heimann, M. (2000). Managing forests after Kyoto. *Science*, 2058-2059.
- Sedjo, A. (1990). The global carbon cycle. Are forests the missing sink? *Journal of Forestry*, 33-34.
- SENAMHI. (2015). Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. . *Dirección General de Investigación yAsuntos Ambientales*.
- Seoanez, M. (2002). Tratado de la Contaminación Atmosferica: Problemas, tratamiento y gestión. *Mundi - Prensa*, 1112.
- Siemens, A. (2010). *Índice de Ciudades Verdes de América Latina*. Munich, Alemania: Comunicaciones corporativas y Asuntos Gubernamentales. Recuperado el 25 de Mayo de 2016, de https://www.siemens.com/press/pool/de/events/corporate/2010-11-lam/study-latin-american-green-city-index_spain.pdf
- Singh R.P, Tripathi R.D, Sinha S. K, Maheshwari R, & Srivastava H.S. (1997). Response of higher plants to lead contaminated environment. *Chemosphere*, 34, 2467-2493.
- Smith, W. (1990). *Air pollution and Forest*. Springer- Verlag. New York.
- Sola, G., Picard, N., Saint, L., & Henry, M. (2012). *Resumen del Manual de construcción de ecuaciones alométricas para estimar el voluimen y la biomasa de los árboles: del trabajo de campo a la predicción*. Roma- Montpellier: Las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura yel Centro de Cooperación Internacional en Investigación Agrícola para el Desarrollo.
- Stoffberg, G. H., Van Rooyen, M., Van der Linde, M. J., & Groeneveld, H. T. (2010). Carbon sequestration estimates of indigenous street in the City of Tshwane, South Africa. *Urban forest and urban greening, Elsevier.*, 9(1), 9-14.

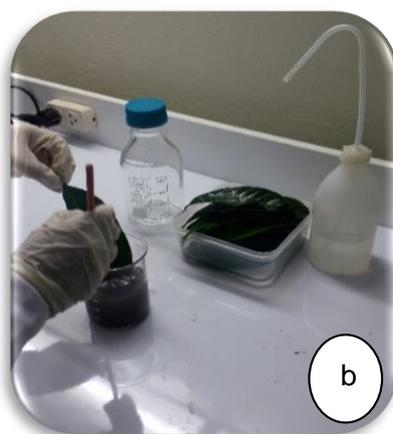
- Tsuji, G., Uehara, G., & Balas, S. (1994). *DSSAT. University of Hawaii, Honolulu*. Hawaii.
- TULSMA. (2012). *Libro VI. Anexo 4. Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. Norma de calidad del aire ambiente*.
- U.S Forest Service. (2010). Tree Ecosystem Analysis Washington, Urban Forest effects and values. *Tree y UFORE*.
- UNESA. (2005). *Forestación y Reforestación. Sumideros de Carbono. En: Metodologías para la Implementación de los Mecanismos flexibles de Kioto - Mecanismo de Desarrollo Limpio en Latinoamérica*. Asociación Española de la Industria Electrica.
- Valladares, F. (2004). *Tasas de crecimiento en especies leñosas: aspectos funcionales e implicaciones ecológicas*. Madrid, España.: EGRAF.
- Vara Licon, M. E. (2017). *Contaminación atmosférica con material particulado en la Ciudad del Cusco - y su comportamiento- 2016*. Arequipa, Perú: Universidad Nacional San Agustín de Arequipa. Recuperado el 15 de Noviembre de 2017, de repositorio.unsa.edu.pe
- Vázquez-Rowe, Ian; Kahhat, Ramzy; Santillán - Saldivar, Jair; Quispe, Isabel; Bentín, Miguel;. (19 de January de 2016). Carbon footprint of pomegranate (*Punica granatum*) cultivation in a hyper-arid region in coastal Peru. *The International Journal of Life Cycle Assessment*(Springer -Verlag).
- Vernon, L. (1960). Spectrophotometric determination of chlorophylls and pheophytins in plant extracts. *Anal. Chem*, 1144-1150.
- Villacrés, M. (2015). *Evaluación de la contaminación atmosférica de la ciudad de Ambato relacionada con el material particulado sedimentable. Tesis para optar el grado académico de Ingeniería en Biotecnología Ambiental*. Riobamba, Ecuador.
- Waring, H., & Schlesinger, W. (1985). *Forest ecosystems. Concepts and management*. Academic Press, 340.
- Wichmann, E., & Peters, A. (2000). Epidemiological evidence of the effects of ultrafine particle exposure. *Philosophical Transactions A*, 358. doi:10.1098/rsta.2000.0682
- Yang, J., McBride, J., Zhou, J., & Sun, Z. (Enero de 2005). The urban forest in Beijing and its role in air pollution reduction. *Urban Forestry and Urban Greening, Elsevier*, 3(2), 65-78.

Anexos

Anexo 3: Proceso de obtención del material particulado sedimentable de las muestras de hojas



a



b



c

Fig.32-a) y b) Limpieza de cada hoja con ayuda de un pincel.

Fig.32-c) Después del lavado de las 15 hojas se observa el agua con abundante material



d



e

Fig.32-d) y e) Muestras de hojas lavadas listas para ser secadas



f

Fig.32-f) Pesado de las muestras de hojas secas.



Fig.32-g) Filtrado del material particulado colectado de las muestras de hojas

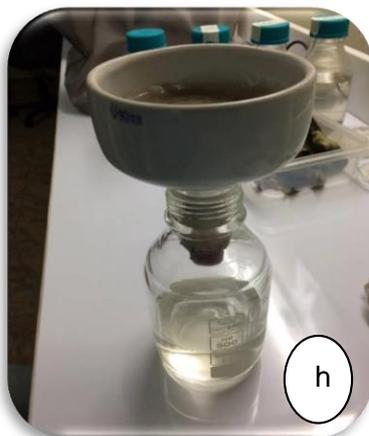


Fig.32-h) e i) Material particulado obtenido en el papel de filtro.

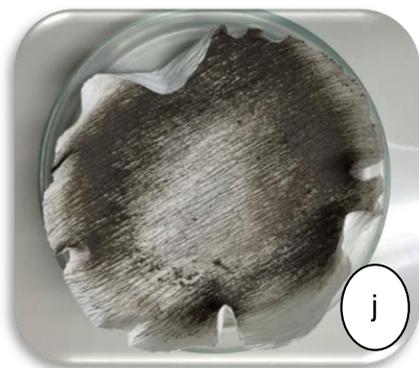


Fig.32-j) Papel filtro con material particulado sedimentable.



Fig.32-k) Diferentes muestras de material particulado colectado.

Figura 32. Procesamiento para la obtención de material particulado de las muestras de hojas.

Anexo 4: Determinación de la masa foliar

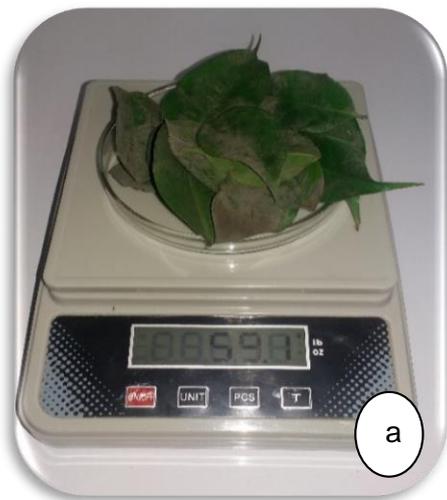


Fig.33-a) Peso fresco de las hojas.



Fig.33-b) Peso seco a 80°C cada 30 minutos.

Figura 33. Determinación de la masa foliar.

Anexo 5: Escaneo de las muestras de hojas para área foliar



Fig.34- Colocación de las muestras de hojas sobre un papel blanco para proceder a escanear.

Figura 34. Determinación del área foliar de las muestras de hojas.

Anexo 6: Toma de muestras y mediciones



Fig.35-A.- Toma de muestra de las hojas.



Fig.35-B.- Medición del diámetro a la altura del pecho.



Figura 35. Toma de muestra y mediciones de altura, diámetro a la altura del pecho de las especies de árboles de los diferentes parques urbanos

Anexo 7: Construcción de clinómetro

- Pega una pajilla de plástico recta sobre o cerca del borde recto del transportador. Asegúrate de que la pajilla pase a través de ambas marcas de 0° (o cero) en los extremos opuestos del borde recto.
- Ata una cuerda a través del agujero pequeño en el borde recto del transportador. Asegúrate de que la cuerda cuelgue unos 5 cm por debajo del transportador.
- Ata un peso pequeño al extremo colgante de la cuerda (una arandela de metal).
- Al sostener el clinómetro de modo que la cuerda caiga más allá del borde circular del transportador, el peso tirará de ella directamente hacia abajo pasando por la marca de un ángulo, como por ejemplo 60° . Esto te indica a qué ángulo estás sosteniendo el clinómetro, el cual puedes emplear para hallar la altura de objetos distantes (Herrick, 2005).

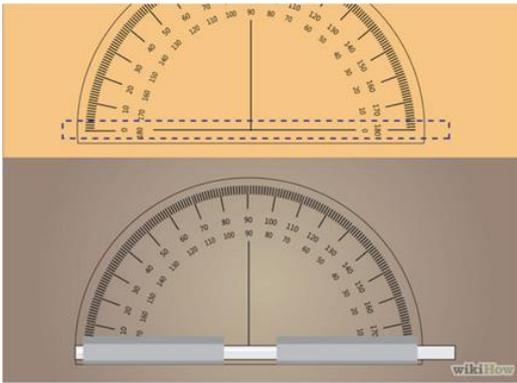


Fig.36-A.- Pegar una pajilla en el transportador.

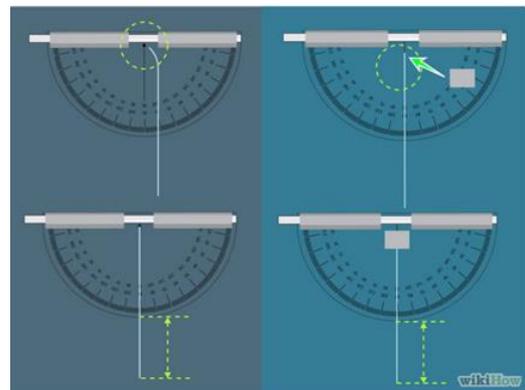


Fig.36-B.- Ata una cuerda a través del agujero pequeño en el borde recto del transportador

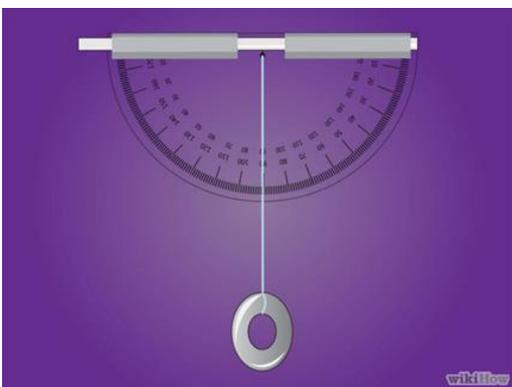


Fig.36-C.- Ata un peso pequeño al extremo colgante de la cuerda

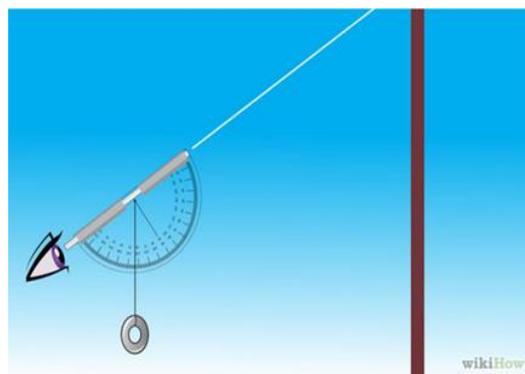


Fig.36-D.- Posición que debe tener el clinómetro para ser utilizado.

Figura 36. Construcción del clinómetro.

Anexo 8: Uso de un clinómetro hecho con un transportador

- **Mira la parte superior de un objeto a través de la pajilla.-** Sostén el clinómetro de modo que el borde curvo del transportador apunte hacia abajo. Inclina el clinómetro hasta que puedas ver a través de la pajilla o tubo de papel la parte superior del objeto que quieres medir, como por ejemplo un edificio. Puedes usar este método para medir el ángulo entre tú y la parte superior de dicho objeto o incluso la altura de este.
- **Mide el ángulo utilizando el transportador.-** Mantén el clinómetro firme en esa posición hasta que la cuerda colgante deje de moverse. Calcula el ángulo entre el punto medio del transportador (90°) y el punto en el que la cuerda cruza el borde mediante una resta. Por ejemplo, si la cuerda cruza el borde a 60° , el *ángulo de elevación* entre tú y la parte superior del objeto es de $90 - 60 = 30^\circ$, Si la cuerda cruza el borde a 150° , el ángulo de elevación es de $150 - 90 = 60^\circ$.
- El ángulo de elevación siempre será menor que 90° , puesto que este es un ángulo recto que mira hacia el cielo.
- La respuesta siempre será un número positivo (mayor que 0°). Si restas el número mayor del menor y obtienes un número negativo, solo invierte el signo menos para obtener la respuesta correcta. Por ejemplo, si calculas que $60 - 90 = -30^\circ$, el ángulo real de elevación es de $+30^\circ$.
- **Calcula la tangente de este ángulo.-** La tangente de un ángulo se define como el lado de un triángulo rectángulo opuesto al ángulo dividido por el lado adyacente a dicho ángulo. En este caso, el triángulo se forma por tres puntos: tú, la base del objeto y la parte superior del mismo. El lado "opuesto" de este ángulo es la altura del objeto mientras que el lado adyacente es la distancia entre tú y la base del objeto.
Puedes usar una calculadora científica o una gráfica, una calculadora de tangentes en línea, o un gráfico donde se indiquen tangentes para varios ángulos.
Para calcular la tangente en una calculadora, presiona el botón TAN e ingresa el ángulo que hallaste. Si la respuesta está por debajo de 0 o por encima de 1, configura tu calculadora a grados en lugar de radianes e intenta nuevamente.
- **Mide la distancia desde el objeto.-** Si quieres averiguar la altura del objeto, necesitarás saber a qué distancia estás de su base. Utiliza una cinta métrica para hacer la medición. Si no tienes una, cuenta la cantidad de pasos regulares que te toma llegar hasta el objeto, luego mide la longitud de un paso una vez que consigas

una regla. La distancia total es la longitud de un paso multiplicada por el número de pasos que diste.

- Algunos transportadores tienen reglas marcadas a lo largo de su borde recto. Utiliza las mediciones que hiciste para calcular la altura del objeto. Recuerda, la tangente del ángulo es: (la altura del objeto) / (la distancia entre tú y el objeto). ¡Multiplica la tangente por la distancia que mediste y obtendrás la altura del objeto! Por ejemplo, si el ángulo de elevación fue de 35° y la distancia entre tú y el objeto fue de 45 unidades, la altura de este último es igual a $45 \times \text{la tangente}(35^\circ)$ o 31.5 unidades. Suma a la respuesta tu propia altura a partir del nivel de los ojos, ya que esa es la distancia a la que se encontraba el clinómetro por encima del suelo.

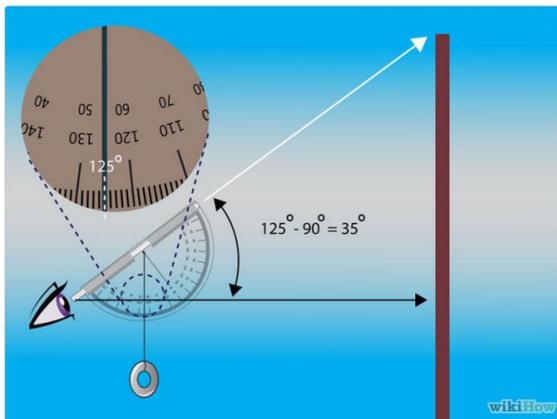


Fig.37-A.- Posición del clinómetro y cálculo del ángulo.



Fig.37-B.- Se mide la distancia del objeto.

Figura 37. Uso del clinómetro hecho con un transportador.

ANEXO 9: Área y perímetro de las unidades de análisis (parques)

PERÍMETRO: 494 m

ÁREA: 7152 m²



Fig.38-A.-E-1 PARQUE MONTERRICO

PERÍMETRO: 404 m

ÁREA: 4667 m²

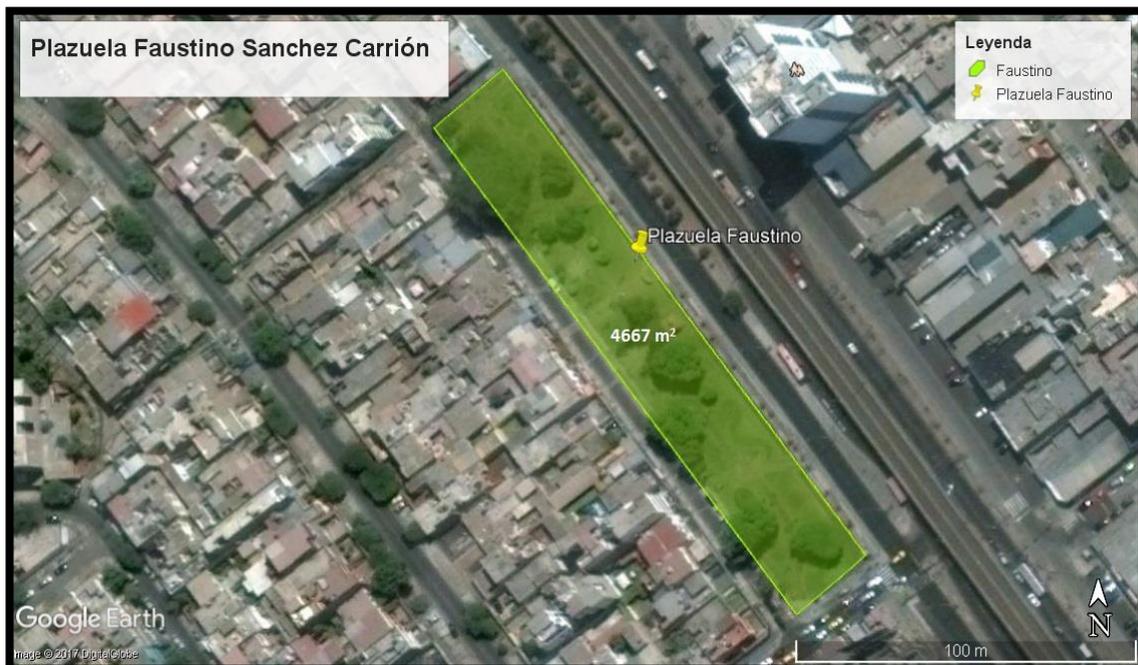


Fig.38-B.-E-2 PLAZUELA FAUSTINO SANCHEZ CARRIÓN

PERÍMETRO: 307 m
ÁREA: 5205 m²



Fig.38-C.-E-3 PLAZA DE ARMAS DE BARRANCO

PERÍMETRO: 724 m
ÁREA: 30729 m²



Fig.38-D.-E-4 PARQUE REDUCTO

PERÍMETRO: 511 m
ÁREA: 11673 m²



Fig.38-E.-E-5 PARQUE MIGUEL GRAU

PERÍMETRO: 286m
ÁREA: 5430 m²



Fig.38-F.-E-6 PARQUE MORA

PERÍMETRO: 515 m
ÁREA: 16088 m²



Fig.38-G.-E-7 PARQUE ALFONSO UGARTE

PERÍMETRO: 375 m
ÁREA: 4830 m²



Fig.38-H.-E-8 PARQUE LOS BOMBEROS

PERÍMETRO: 232 m
ÁREA: 3334 m²



Fig.38-I.-E-9 PLAZA BOLIVAR

Figura 38. Área y perímetro de las unidades de análisis (parques).

Anexo 10: Especies identificadas de las unidades de análisis (parques)



Schinus molle



Cupressus sempervirens



Schinus terebinthifolius



Prosopis pallida



Enterolobium cyclocarpum

Fig.39-A.- Especies identificadas del Parque El Derby



Araucaria excelsa



Ligustrum lucidum



Juglans regia



Cedro

Fig.39-B.- Especies identificadas del Parque Faustino Sánchez Carrión



Harpullia arborea



Deltonix regia

Fig.39-C.- Especies identificadas de la Plz. Armas de Barranco



Ficus benjamina

Fig.39-D.- Especies identificadas del
Parque Reducto



Deltonix regia

Fig.39-E.- Especies identificadas
del Parque Alfonso Ugarte



Araucaria excelsa



Phoenix roebelenii

Fig.39-E.- Especies identificadas del Parque Miguel Grau



Zanthoxylum martinicense



Ficus benjamina

Fig.39-F.- Especies identificadas del Parque Mora

Figura 39. Especies identificadas en las unidades de análisis (parques)