



FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“EFECTOS DE LA INCORPORACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA
EN LA RESPUESTA FISIOLÓGICA DE LA ESPECIE FORESTAL
Ficus benjamina PARA LA MEJORA DE LA PROVISIÓN DE
SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN EL DISTRITO DE
CHORRILLOS”


Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERA AMBIENTAL

Presentado por:

Bach. Alisson Aguilar Tello ( <https://orcid.org/0000-0003-4039-5222>)

Asesor:

PhD. Julio Cesar Alegre Orihuela ( <https://orcid.org/0000-0002-7282-045X>)

Lima – Perú

2020

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Lima, 29 de enero de 2021.

Los integrantes del Jurado de tesis:

Presidente: Mg. Karen Ilse Eckhardt Rovalino
Miembro: Mg. Elsa María del Carmen Piccone Saponara
Miembro: Ing. Haydee Miriam Ramos León

Se reúnen para evaluar la tesis titulada: "EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN LA RESPUESTA FISIOLÓGICA DE LA ESPECIE FORESTAL *Ficus benjamina* PARA LA MEJORA DE LA PROVISIÓN DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN EL DISTRITO DE CHORRILLOS"

Presentada por el bachiller:

- Alisson Aguilar Tello

Para optar el Título Profesional de ingeniera ambiental.

Asesorada por: Dr. Julio Cesar Alegre Orihuela

Luego de haber evaluado el informe final de tesis y evaluado el desempeño de los estudiantes de la carrera de ingeniería ambiental en la sustentación, concluyen de manera unánime (X) por mayoría simple () calificar a:

Tesis: Alisson Aguilar Tello			Nota (en letras): Trece 13
Aprobado (X)	Aprobado - Muy buena ()	Aprobado - Sobresaliente ()	Desaprobado ()

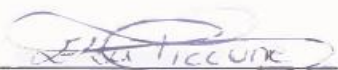
Los miembros del jurado firman en señal de conformidad.




Mg. Karen Ilse Eckhardt Rovalino
Presidente del Jurado



Dr. Julio Cesar Alegre Orihuela
Asesor



Mg. Elsa María del Carmen Piccone
Saponara
Miembro del jurado



Ing. Haydee Miriam Ramos León
Miembro del jurado

DEDICATORIA

Dedico de manera especial la presente tesis a mis padres y a mi abuela, quienes, desde que comencé, nunca dudaron de mis capacidades y han sido la base de mis valores y principios como profesional.

AGRADECIMIENTOS

Me es imposible no verme invadida por un sentimiento de individualidad que me lleva a concentrar la mayor parte del mérito al aporte que he realizado para culminar este proyecto. Debo reconocer que esta etapa de mi vida ha dejado atrás una inmensa cantidad de experiencias que han terminado de forjar mi esencia hasta el día de hoy. No obstante, al finalizar el largo proceso de convertirme en lo que proyecté para mí misma, atraer y crear lo que imaginaba que en algún momento sería imposible de terminar, me hace recordar que la única razón por la que puedo estar en el ahora, es por todas aquellas personas que me han acompañado incondicionalmente durante este hermoso, reñido y esporádicamente tortuoso camino. Considero que ver el antes de este proceso me ayuda a distinguir la magnitud del aporte de cada uno de los actores que han facilitado las cosas para que este arduo trabajo tenga un final satisfactorio. De esta forma, para mí es un verdadero placer poder hacer uso de este espacio para ser justa y consecuente con ellas, expresándoles mi mayor gratitud.

Agradezco infinitamente a mis padres, quienes han velado por mi bienestar y felicidad toda su vida sacrificando intereses propios para hacerme el ser humano más feliz dentro de sus posibilidades, no conozco a nadie en este mundo a quienes les deba más amor y espero algún día poder devolverles todo el esfuerzo que continúan realizando por mí. Me enseñaron siempre a tomar riesgos en los momentos más difíciles y a sentirme orgullosa de a donde había llegado pese a que a veces las cosas no salían como esperaba. A mi hermana, a ella la admiro por ser de esas pocas personas que se comen el mundo en silencio y por tener la extraordinaria y especial capacidad de hacerme sentir que las cosas siempre saldrán bien, aunque las situaciones puedan ser bastante complejas. A mis tres abuelas, en especial a Tati, que ha pasado la mayor parte de su vida enseñándome que todo lo puedo lograr si me lo propongo, liberándome de la preocupación de problemas que tenían solución, no por el optimismo que podía darme, sino porque siempre me hizo confiar en mi talento para afrontar nuevos retos que me convirtieron en la profesional que soy. Y a Vale, quien a pesar de entender a groso modo el contexto del proyecto siempre ofrecía su mano para aliviar no solo mi carga emocional, sino también la del presente artículo, enseñándome que el mundo es un lugar mejor cuando priorizo los pensamientos positivos en mi presente y me doy la seguridad que necesito.

Reconozco de manera especial el esfuerzo de mi asesor Julio Alegre Orihuela, quien a pesar de su ajustada disponibilidad ha sabido guiarme, corregirme y asentir a mis aciertos como investigadora. Asimismo, cabe destacar mi agradecimiento con la Universidad Científica del Sur por confiar en mi proyecto y haberme hecho acreedora del financiamiento para poder llevar a cabo actividades del mismo. Finalmente, al vivero M&C por haberme ofrecido su apoyo para el desarrollo de la fase experimental del proyecto. Sin nada más que acotar, me complazco en expresar mi mayor gratitud a todos ellos y extenderla a aquellos que han sido partícipes ciertamente indirectos de todo el ímpetu que puse para la culminación de esta tesis.

CONTENT INDEX

ABSTRACT	5
I.INTRODUCTION	6
II.METHODS	11
2.1 Study area	11
2.2 <i>Ficus benjamina</i>	12
2.3 Environmental sample	12
2.4 Experimental design	15
2.5 Calculation of the dry biomass of standing trees	16
2.6 Quantification of carbon stocks, CO ₂ sequestration and O ₂ production	17
2.7 Statistical analysis	18
III.RESULTS	18
3.1 Structure of parks called urban forest	18
3.2 Carbon storage, CO ₂ sequestration and O ₂ production	19
3.3 Organic matter treatments in <i>Ficus benjamina</i>	22
IV.DISCUSSION	25
AKNOWLEDGMENTS.....	33
LITERATURE CITED.....	65

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	34
I. INTRODUCCIÓN	35
II. MÉTODOS	40
2.1 Área de estudio.....	40
2.2 <i>Ficus benjamina</i>	41
2.3 Muestra ambiental	41
2.4 Diseño experimental.....	44
2.5 Cálculo de la biomasa seca de los árboles en pie.....	45
2.6 Cuantificación de stocks de carbono, fijación de CO ₂ y producción de O ₂	46
2.7 Análisis estadístico.....	47
III. RESULTADOS	47
3.1 Estructura de los parques llamados bosques urbanos.....	47
3.2 Secuestro de C, fijación de CO ₂ y producción de O ₂	48
3.3 Tratamientos de materia orgánica en <i>Ficus benjamina</i>	52
IV. DISCUSIÓN	55
V. CONCLUSIONES	64
AGRADECIMIENTOS	64
REFERENCIAS	65
ANEXOS	78

ABSTRACT

Ficus benjamina (*Ficus*) is one of the predominant species in the parks called urban forests of Chorrillos, Lima, Perú. It contributes significantly to mitigating climate change and improving the district's human and environmental health. The objective of this study was to evaluate the capacity of the same to store carbon (C), fix carbon dioxide (CO₂) and produce oxygen (O₂) in seven parks of the district with different states of conservation and antiquities, these being: Rosario de Villa, La Pérgola, Antonio Garland, Las Gaviotas, Los Trovadores, Número Siete and Parque Fátima. The ranges of C captured fluctuated on average from 2.16 to 9.71 t C/ha, setting from 7.89 to 35.59 t CO₂/ha and producing between 5.75 and 25.89 t O₂/ha for ecosystems characterized by DBH that varied from 29.73 - 58.14 cm and heights between 7.10 - 13.75 m. Simultaneously, to know and quantify the effects of the addition of organic matter on the physiological responses that improve the provision of the species aforementioned ecosystem services, a greenhouse trial was carried out with a completely randomized block design (CRBD) where they were tested three doses of compost (6.25%, 12.5% and 25%) and a control, each with eight repetitions. Said fertilizer presented a good C/N ratio and complied with international standards, however, it had a high salinity and a predominance of humins, positioning it as one of medium quality. Indications of chlorosis, presence of pests and different physiological growth responses were evidenced in the structural components of *Ficus*. These meant variations in the dimensions of the diameter at the root neck (DRN), heights and of the weights with respect to the biomass produced. However, the differences were only significant for the 25% treatment, capturing up to 0.028, 0.02 and 0.019 kg C in stems, leaves and roots respectively. These levels meant an equivalent reduction of emissions of 0.104, 0.073 and 0.071 kg CO₂ and of 0.076, 0.053 and 0.051 kg O₂ produced comparatively. Increases contrasted with the control fluctuated between 28.7 and 43%, which confirms that the substrates with organic amendments stimulates the physiological growth responses of *F. benjamina* and allows to improve air quality in the district.

Keywords: Carbon storage, climate change, compost, CO₂ fix, O₂ production

**INCORPORATION EFFECTS OF ORGANIC MATTER ON THE PHYSIOLOGICAL
RESPONSE OF THE FOREST SPECIES *Ficus benjamina* FOR THE PROVISION
IMPROVEMENT OF ECOSYSTEM SERVICES IN THE DISTRICT OF CHORRILLOS**

Alisson Aguilar¹ Julio Alegre^{1 2}

¹ Faculty of Environmental Sciences, Universidad Científica del Sur, Lima, Perú

² Department of Soils, Faculty of Agronomy, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú

I. INTRODUCTION

Our accelerated urbanization process has been hosting half of the world's population in cities and it is expected that by 2050 this figure will rise to 70% due to demographic overflow and migratory rates (CEPAL 2016). Cities cover 2.8% of the global surface (3, 629, 312 km²), however, to produce 80% of the world's gross domestic product (GDP), its main economic activities, which revolve around industries, transportation and construction, have raised their energy consumption to 2/3 of the global total, modifying the emission of greenhouse gases (GHG) in an exacerbated way (REN21 2019; Salahuddin et al. 2019; Zhang y Zhou 2019; Huo et al. 2020; Qiu et al. 2020).

Due to its long periods of permanence and its capacity to absorb radiation, carbon dioxide (CO₂) is classified as one of the most harmful long-lived GHGs (LLGHG) for the planet (García et al. 2006; Putman et al. 2016; Sánchez-León et al. 2016; Pincetl 2017). Between 1990 and 2018, the radioactive forcing of LLGHG increased by 43% (3.1 W/m²), with CO₂ being the precursor of approximately 66% of this activity, and in turn, responsible for 82% of global warming in the last five years (WMO 2019).

Under this context, cities are responsible for three-quarters of global CO₂ emissions (75%) and since the pre-industrialized stage in 1750 with concentrations of 278 ppm, the balanced and safe flows of this gas in the atmosphere have increased up to 146% by 2020 with 413.95 ppm, representing an unprecedented threat to human health and environmental well-being (Bardescu and Legendi 2015; Barrett et al. 2015; Franchini and Mannucci 2015; WMO 2018; Ali et al. 2019; REN21 2019; NOAA 2020).

In Peru, 76% of emissions correspond to CO₂ (MINAM 2016). Currently, Metropolitan Lima is home to 32% of the total inhabitants in the country, positioning itself as one of the Latin American capitals with the highest carbon footprint; its emissions are approximately 15.43 million t CO₂ (1.82 t CO₂/inhab) compared to cities such as Quito and La Paz with 5.16 million t CO₂ (2.32 t CO₂/inhab) and 1.43 million t CO₂ (1.7 t CO₂/inhab) respectively; so that, under this framework, the quantities emitted are fundamentally related to: (i) residential, commercial and industrial energy consumption (50.5%), (ii) the burning of fossil fuels by the transport sector (35.8%) and (iii) the decomposition of solid waste (13.7%) (Koerner and Klopatek 2002; Camargo and Vélez 2009; Velasco and Roth 2010; CAF 2014b). At metropolitan level, Chorrillos is one of the districts that emits an average of 2.03 million t CO₂ and is characterized by registering one of the highest rates, only surpassed by San Juan de Lurigancho with 4.46 million t CO₂ (Guzmán et al. 2016).

Despite the establishment of green areas being one of the strategies that outperform other techniques of adaptation to climate change in cost-efficiency due to their ability to counteract CO₂ emissions and purify the air (Benjamín and Masera 2001; Vargas-Gómez and Molina-Prieto 2013; Pimienta-Barrios et al. 2014; Lafontaine -Messier et al.

2016), in Lima they only represent 19.7% of the total coverage and their consolidation process in some of the metropolitan districts has been decreasing gradually (Lima Como Vamos 2014). In this way, Chorrillos is one of those that has 3.04 m²/inhab and is positioned well below the 10 m²/inhab suggested by the World Health Organization (WHO) (Lamela et al. 2011; Vera et al. 2017; Lima Como Vamos 2018). Likewise, their deterioration processes and inadequate maintenance techniques are factors that have limited their ability to contribute to their provision of ecosystem services (ES) (Jayasooriya 2016; Ferreira et al. 2018).

Specifically, regarding the use of trees in urban forests, little is known about their characteristics (Pretzsch et al. 2015; Riolo 2018). The physiological responses of ornamental forest species in boreal and mediterranean climates may differ from those found in tropical or subtropical areas such as Chorrillos, since they present different dynamics, due to: (i) climatic factors, (ii) meteorological phenomena, (iii) geography, (iv) rapid growth and decay rates, (v) proliferation of invasive species, and (vi) rapid urbanization rates (Duryea et al. 2007; Escobedo et al. 2010; Zhao et al. 2010). In turn, factors such as: (i) high concentrations of CO₂, (ii) annual nitrogen deposition in the atmosphere and (iii) lower concentrations of ozone in urban conglomerates would favor the natural process of photosynthesis to a greater extent (McPherson and Simpson 1999; Cabudivo 2017; Pretzsch et al. 2017)

However, the number of studies in urban forests has been higher in the first scenario (Nowak et al. 2007; Garrido et al. 2009; Liu and Li 2012; Nowak et al. 2013; Pasher et al. 2014; Russo et al. 2015; Tang et al. 2016; Lehmann et al. 2019; Lindén et al. 2020), and only a limited number have delved into scenarios such as those in the previous district,

being their study a key factor for the current urban crisis (Conolly and Correa 2007; Stoffberg et al. 2010; Timilsina et al. 2014; Villalobos et al., 2014; Bustos-Ulloa et al. 2015; Othman et al. 2016; Abhijit et al. 2017; Aldana 2017; Baca 2017 ; Devi 2017; Merino 2017; Aguirre and Quizhpe 2018; Begazo and Jave 2018; Rodríguez et al. 2018).

The optimal provision of ecosystem services (ES) and resilience of urban forests is conditioned to the correct ecological valuation by the state to promote policies and budget allocation that allow improving its management (Vásquez 2016; Conway et al. 2019; Ordóñez et al. 2020). The latter involves technical capabilities that allow a good: (i) selection of species and their space requirement, (ii) sectioning of paving, (iii) management of the structure, retention and addition of nutrients in the soil, (iv) irrigation techniques, (v) phytosanitary actions, among others (Chen and Wang 2013; García - García et al. 2016; Schram-Bijkerk et al. 2018).

Among these measures, one of the most important refers to the implementation of an adequate organic substrate that allows ensuring the quality of nutrients, protection against pests, efficient water capture and gas exchange with the atmosphere, which will finally establish the optimal conditions for the development of photosynthesis and therefore, enhance the natural balances of C storage, CO₂ sequestration and O₂ production (Haas and Köpke 1994; Saebo and Ferrini 2006; Nagase and Dunnett 2011; Sotamenou and Parrot 2013; Richnau et al. 2016; Astiaso 2017; Esteban et al. 2017).

Confirming, in turn, other ES such as: (i) provision of shade for the reduction of energy demand, (ii) aesthetics, urban recreation and tourism, (iii) carbon storage in the soil, (iv) provision of habitat, (v) damping of climatic variations, (vi) noise mitigation, (vii) metal retention and (viii) regulation of water flows (Jim and Chen 2009; Millward and Sabir 2011; Hamada et al. 2013; Baró et al. 2015; Carrus et al. 2015; Lacasta et al. 2016;

Khoshtaria and Chachava 2017; Setälä et al. 2017; Watts 2017; Wang et al. 2019; Song et al. 2018; Fung and Jim 2019).

Ficus benjamina is one of the most striking variants of the genus for its positioning in urban green areas due to its perenniality, fast growth, low production cost, tolerance to water stress and vast foliar development (Fernández-Herrera et al. 2017). Thanks to its physiological adaptations (Pérez 2013), it stores an average of 1.14 t C and sequesters 4.2 t CO₂, its capacity being higher than that of many ornamental classes sown in Metropolitan Lima such as *Schinus molle* with approximately 0.072 t C and 0.26 t CO₂ (Aldana 2017; Baca 2017).

In consideration of the district of Chorrillos, this is one of the predominant species, for every 304 trees 27.6% of them are *F. benjamina* and their density is approximately 37 individuals/ha of urban forest (Martínez 2011). In this way, it has made a significant contribution with the reduction of atmospheric CO₂, air purification, the decrease in decibels emitted by wealthy vehicular traffic, which exceed the Environmental Quality Standards for Noise by up to 77.9 dB in special protection area (≤ 50 dB), 77.1 in residential areas (≤ 60 dB) and 80.5 in commercial areas (≤ 70 dB) (OEFA, 2013). And, in turn, with the preservation of the entomofauna and avifauna of the urban forests in the district (Macedo 2015; Walther et al. 2017; Pollack et al. 2018).

Under this scenario, it is necessary to clarify the uncertainties regarding the ecological neutrality of *F. benjamina* in the urban forests of Chorrillos and integrate methodologies to analyze the relationship between the application of organic management techniques in urban soils and their influence on the increase in their ecosystem services provision. This will allow the design of conservation programs and improve decision-making regarding them with a holistic view of the advantages and disadvantages of the current

environment. In order to quantify the benefits of *F. benjamina* in the district of Chorrillos, the present study had as main objectives: (i) to estimate current C capture, CO₂ sequestration and O₂ production by the species in the urban parks of district; and (ii) evaluate the influence of good practices of agroecological management of urban soils on the physiological responses of the species, specifically the addition of organic matter in the sequestration of C, fixation of CO₂ and production of O₂ in the different components of its structure: leaves, stems and roots.

II.METHODS

2.1 Study area

The study was developed in the district of Chorrillos, located in the south of Metropolitan Lima, Perú (281 579.87 E, 8652 194.25 S). It has a population of 341,322 inhabitants in a territorial extension of 38.94 km² (Lima Cómo Vamos 2018). It has an average height of 43 m MSL and its climate is considered arid subtropical, characteristic of the desert areas of the Peruvian coast (Guillén et al. 2003; MVCS, 2010; Gallarday and Vásquez 2016). The temperature ranges between 18.5 - 19.0 ° C with an annual summer maximum of 28.0 ° C, the relative humidity fluctuates between 82 - 93%, the annual rainfall is irrelevant in a range of 0 - 16 mm and the average evaporation is 514.4 mm (Municipalidad de Chorrillos 2016). South winds predominate with an average speed of 13.9 km/h and high stratiform clouds of 6/7 that cover approximately 74.95% of the atmosphere (Álvarez and Santiago 2006).

2.2 *Ficus benjamina*

The *Ficus* genus belongs to the Moraceae family, it has 700 to 2000 species in the world (Soto et al. 2006). Among them, *F. benjamina*, is widely used ornamentally in urban areas of Mexico, Colombia and Perú (Vargas-Garzón and Molina-Prieto 2010; Cambero-Campos et al. 2012; Narrea-Cango et al. 2013; Peña-García et al. 2017). It is native to tropical and subtropical climates (Gaig et al. 1999; Fernández-Herrera et al. 2017). It is characterized by being an evergreen tree with a wide and leafy crown that freely reaches 30 m in height, developing at a temperature of no less than 4°C (Ibarra-Manríquez et al. 2012). Its bark is gray or whitish smooth with drooping stipules, it develops unisexual flowers and inflorescences called sessile syconics, it has subdistic leaves with ovate or oblong ends with round or wedge bases and caudate apices, characterized by their leathery consistency that releases a toxic milky latex when they break. (Francis 2004; Piedra-Malagón et al. 2006).

2.3 Environmental sample

This first analysis was carried out during the months of October and December 2019. They were located and selected seven sampling points (**Figure 1**). The choice of green areas was conditioned on the basis of their size (> 0.3 ha), the presence of *F. benjamina* and their proximity to the central streets of the district (Gratani et al. 2016b; Velasco and Chen 2019). Their characteristics and qualification according to their state of conservation, are described in **Table 1** (Rivera 2014). For the collection of information, a non-destructive method was used (Bustos-Ulloa et al. 2015), selecting eight individuals of the species for each park and establishing plots of 10 x 15 m for each tree. The

structural parameters evaluated were the diameters at breast height (DBH, cm) and the heights of the specimens (H, m) (Rügnitz et al., 2009).

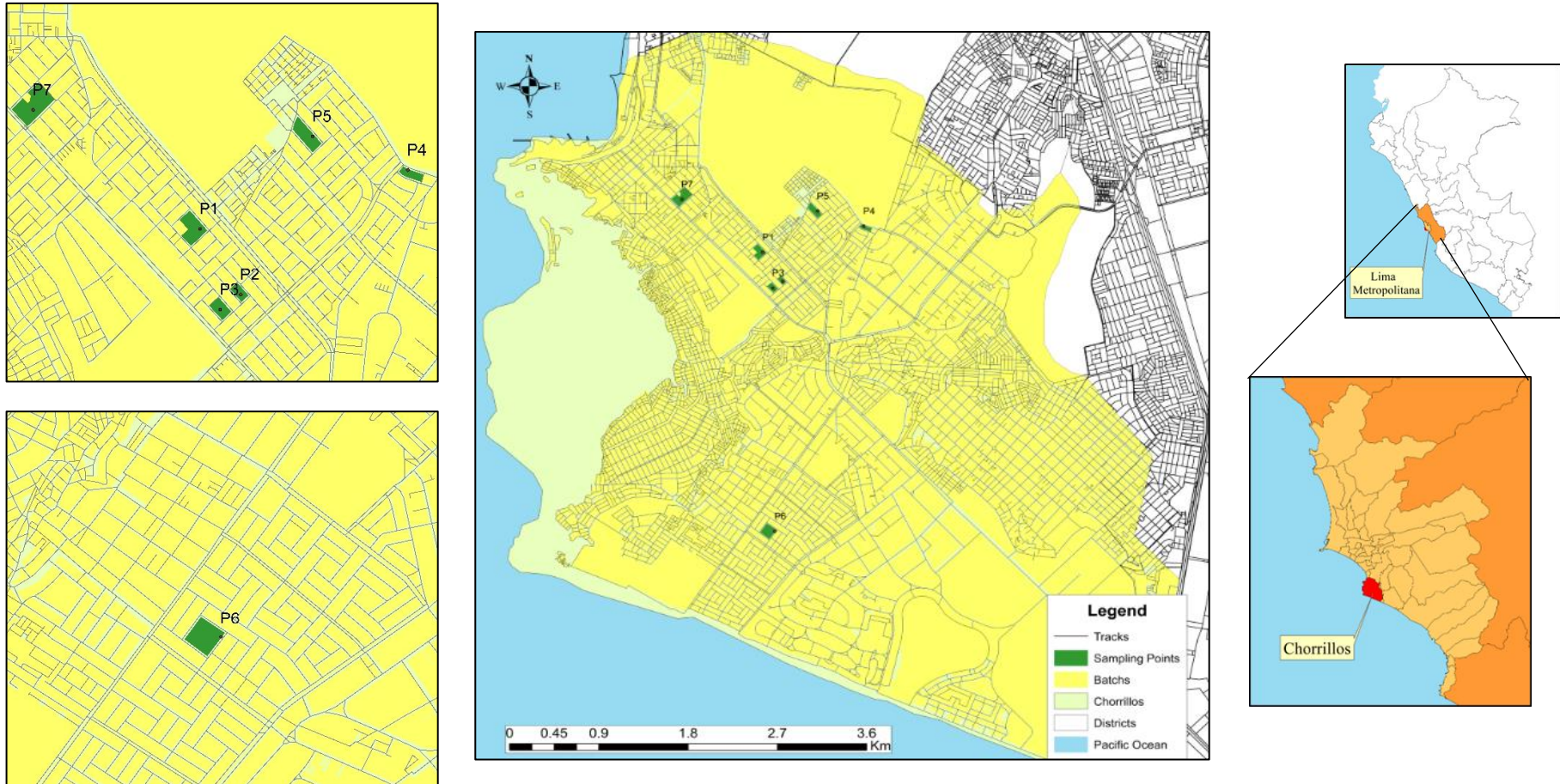


Figure 1. Map of the parks considered within the Chorrillos district. P1 = Rosario de Villa; P2 = La Pérgola; P3 = Antonio Garland; P4 = Las Gaviotas; P5 = Los Trovadores; P6 = Número Siete; P7 = Parque Fátima

Table 1. Specifications of the sampling points.

Sampling Points	Features			Qualification	
	UTM Coordinates (18L Zone)		Altitude (m MSL)		
	East	South			
Park 1 "Rosario de Villa"	280892.48	8653150.03	48	1.4	A
Park 2 "La Pérgola"	281092.53	8652840.47	43	0.42	D
Park 3 "Antonio Garland"	280992.97	8652769.66	41	0.6	A
Park 4 "Las Gaviotas"	281910.59	8653428.63	44	0.45	D
Park 5 "Los Trovadores"	281444.41	8653587.18	43	1.04	A
Park 6 "Número Siete"	281013.98	8650182.80	23	1.53	D
Park 7 "Parque Fátima"	280076.31	8653712.11	70	2.27	O

Note: O = Optimum; A = Acceptable; D = Deteriorated; I = Ineligible

2.4 Experimental design

The second phase of the study was developed in the M&C nursery, Chorrillos (UTM 18L 280621.21E, 8650961.09S). Both the organisms of the *Ficus* species and the soil and compost were acquired from this center. The analysis was developed during the dry and wet season between the months of February and September 2019. A completely randomized block design (CRBD) was used with four treatments (three concentrations of compost and a control) and eight repetitions for each one (**Table 2**). A total of 32 previously selected seedlings of one year old and 40 cm tall were used and then transplanted into 8 kg culture bags with a substrate composed of topsoil and concentrations of 6.25% compost (0.5kg), 12.5% (1kg) and 25% (2kg) (Álvarez de la Puente 2000; Teodoro et al. 2019). The initial root neck diameters (DRN) of the seedlings were measured and water was supplied weekly to each as needed to maintain soil moisture (Loh et al. 2003).

Table 2. Experimental design scheme.

Treatments	Blocks							
	1	2	3	4	5	6	7	8
C (0%)	C ₀₁	C ₀₂	C ₀₃	C ₀₄	C ₀₅	C ₀₆	C ₀₇	C ₀₈
T₁ (6.25%)	T ₁₁	T ₁₂	T ₁₃	T ₁₄	T ₁₅	T ₁₆	T ₁₇	T ₁₈
T₂ (12.5%)	T ₂₁	T ₂₂	T ₂₃	T ₂₄	T ₂₅	T ₂₆	T ₂₇	T ₂₈
T₃ (25%)	T ₃₁	T ₃₂	T ₃₃	T ₃₄	T ₃₅	T ₃₆	T ₃₇	T ₃₈

At the end of the eight months established for the test, the final heights and DRN of the seedlings were measured before being removed from their respective substrates to section them. The leaves were separated from the stems as well as the roots and each of the components were weighed fresh, by repetition and treatment, having a total of 96 samples to be processed. These were transferred to the Laboratory of the Faculty of Environmental Engineering of Universidad Científica del Sur, Villa el Salvador (284806.26 E, 8648312.85 S) where between 15 – 50 g of each section were weighed in order to be dried in a forced air oven at 70°C between two and three days, bringing them to constant weight to obtain the dry weight of each of the subsamples (Bustos - Ulloa et al. 2015).

2.5 Calculation of the dry biomass of standing trees

The estimation of the dry biomass content in the sampled trees derived from urban forests was carried out based on a general allometric equation (**Equation 1**) (Chavé et al. 2005), which met the geographical requirements of *F. benjamina* (Liu and Li 2012; Douterlungne et al. 2013; Navar - Cháidez et al. 2013; Nowak et al. 2013; Santoyo-Gómez et al. 2014; Timilsina et al. 2014; Velasco et al. 2016, Boukili et al. 2017); and also, has been used in previous studies for the species (Aldana, 2017; Baca, 2017).

$$M = \rho w * e^{(-0.67 + 1.78 \ln(\text{DBH}) + 0.207 (\ln(\text{DBH}))^2 - 0.028 (\ln(\text{DBH}))^3)} \dots\dots\dots (\text{Eq. 1})$$

Where M is the accumulated dry biomass of the tree in kg, ρ_w is the specific density of the wood given by the factor 0.65 (Reyes et al. 1992; Brown 1997; Yoon et al. 2013) and DBH is the diameter at breast height in cm.

For the calculation of the biomass of the experimental seedlings, the dry weight / fresh weight ratio was used for each of the components (**Equation 2**), being the sum of the dry weight of each section, the total dry biomass of each seedling (Gómez et al. 2011; Aguirre and Quizhpe 2018).

$$DB_{\text{component}} = (DW_{\text{sample}} / FW_{\text{sample}}) * FB_{\text{component}} \dots\dots\dots (\text{Eq. 2})$$

Where, $DB_{\text{component}}$ is the dry biomass of the component in kg; DW_{sample} is the dry weight of the sample; FW_{sample} is the fresh or wet weight of the sample; and, finally, $FB_{\text{component}}$ refers to the fresh biomass of the component measured in the field.

2.6 Quantification of carbon stocks, CO₂ sequestration and O₂ production

The variability of the carbon content depends on the tree species and its tissue; however, it is assumed that 50% of the biomass is rich in carbon (Brack 2002; Gayoso and Guerra, 2005; Timilsina et al., 2014). Such is, that both the amount of total carbon stored in a tree and its sections is the result of multiplying the dry biomass by the conversion factor 0.5 (Nowak and Crane 2002; Whittinghill et al. 2014; Aguirre and Quizhpe 2018; Fu et al. 2018). The estimation of fixed CO₂ was found by multiplying the carbon stocks by the factor 3,667 derived from the division of the molecular weights of CO₂ and C (Aguaron and McPherson 2012; Pasher et al. 2014; Weissert et al. 2014; Gratani et al. 2016a; Rodríguez et al. 2018). In the same way, we proceeded for the O₂ produced, but by the coefficient 2,667, the product of the fractionation between the atomic weights of O₂ and C (Nowak et al. 2007; Cabudivo 2017).

2.7 Statistical analysis

Using the software SPSS V.25, a statistical analysis of the data found in urban forests was performed, using a Boxplot diagram for its graphic representation. To analyze the tests and determine if C storage, CO₂ sequestration and O₂ production were significant in any of the treatments for the three structural components, the ANOVA and Tukey post hoc tests were performed for multiple comparisons at one level confidence of 0.95. Previous evaluation of normality and homogeneity of variances with the Shapiro - Wilk ($n < 40$) and Levene tests respectively.

III.RESULTS

3.1 Structure of parks called urban forest

The dasometric values of the *Ficus benjamina* species vary according to the urban forest evaluated (**Table 3**). Approximately 71.43% of the parks presented averages of DBH $\leq 46.94 \pm 4.32$ cm. On the other hand, the remaining percentage, represented by the urban forests of Rosario de Villa and Antonio Garland, obtained mean diameter classes $\geq 51.79 \pm 11.28$ cm. However, despite the fact that the diameter data in all the parks evaluated have insignificant coefficients of variation $< 80\%$, these last two urban forests are the ones that present the greatest heterogeneity and dispersion of DBH between the groups, in which maximum values of up to 86.26 and 71.30 cm were registered with coefficients of variation of 32.02% and 21.78% respectively. The urban forests of Rosario de Villa, La Pérgola, Antonio Garland and Parque Fátima make up 66.67% of the groups that have average heights $\geq 11.08 \pm 2.62$ m. The first of them is the one that has the greatest dispersion of heights with a variability coefficient equal to 46.91%, while in the

rest of the evaluated groups it presents greater homogeneity of heights with coefficients of variation $\leq 23.64\%$.

3.2 Carbon storage, CO₂ sequestration and O₂ production

The highest averages of C capture and CO₂ sequestration by *Ficus benjamina* occurred in the urban forests of Rosario de Villa, Antonio Garland and La Pérgola, followed by Las Gaviotas, Parque Fátima, Número Siete and Los Trovadores (**Table 3**). Rosario de Villa and Antonio Garland parks represent the 28.57% of the groups that have specimens that capture, sequester and produce higher amounts of C $> 0.88 \pm 0.39$ t, CO₂ $> 3.22 \pm 1.44$ t and O₂ $> 3.11 \pm 2.02$ t. Likewise, they are places where the sampling that was carried out has had the greatest dispersion of tons assimilated between the groups studied.

The densities of C, CO₂ and O₂ assimilated by the species are presented in **Figure 2**. These were higher in the parks of Rosario de Villa (9.71 ± 6.31 t C/ha, 35.59 ± 23.11 t CO₂/ha and 25.89 ± 16.81 t O₂/ha), Antonio Garland (7.32 ± 3.26 t C/ha, 26.84 ± 11.96 t CO₂/ha and 19.52 ± 8.70 t O₂/ha), La Pérgola (5.74 ± 1.15 t C/ha, 21.06 ± 4.21 t CO₂/ha and 15.32 ± 3.05 t O₂/ha), followed by Las Gaviotas (5.67 ± 1.53 t C/ha, 20.81 ± 5.61 t CO₂/ha and 15.13 ± 4.08 t O₂/ha), Parque Fátima (3.81 ± 1.27 t C/ha, 13.95 ± 4.67 t CO₂/ha and 10.14 ± 3.40 t O₂/ha), Número Siete (2.57 ± 0.99 t C/ha, 9.41 ± 3.67 t CO₂/ha and 6.84 ± 2.67 t O₂/ha) and Los Trovadores (2.16 ± 0.71 t C/ha, 7.89 ± 2.63 t CO₂/ha and 5.75 ± 1.90 t O₂/ha). The ornamental species *F. benjamina* was found to have higher average densities in the first three urban forests. Among them, Rosario de Villa and Antonio Garland, have higher dispersions in the variables analyzed. On the other hand, the highest data homogeneity occurs for the Los Trovadores and Número Siete parks.

Table 3. Provision of ecosystem services by *Ficus benjamina* and its structural characteristics in the urban forests of the Chorrillos district.

Sampling points	C Storage (t)			CO ₂ Sequestration (t)			O ₂ Production (t)			DBH (cm)			H (m)		
	M (SD)	95% CI	CV	M (SD)	95% CI	CV	M (SD)	95% CI	CV	M (SD)	95% CI	CV	M (SD)	95% CI	CV
Park 1 "Rosario de Villa"	1.17 (0.76)	1.80 ± 0.53	64.96%	4.27 (2.77)	6.59 ± 1.95	64.87%	3.11 (2.02)	4.79 ± 1.42	64.95%	58.14 (18.72)	73.79 ± 42.47	32.20%	13.75 (6.45)	19.14 ± 8.36	46.91%
Park 2 "La Pérgola"	0.69 (0.14)	0.81 ± 0.57	20.29%	2.50 (0.51)	2.95 ± 2.11	20.40%	1.84 (0.37)	2.15 ± 1.53	20.11%	46.94 (4.32)	50.55 ± 43.33	9.20%	12.47 (1.77)	13.94 ± 10.99	14.19%
Park 3 "Antonio Garland"	0.88 (0.39)	1.21 ± 0.55	44.32%	3.22 (1.44)	4.42 ± 2.02	44.72%	2.34 (1.04)	3.23 ± 1.47	44.44%	51.79 (11.28)	61.22 ± 42.35	21.78%	11.31 (1.92)	12.92 ± 9.70	16.98%
Park 4 "Las Gaviotas"	0.68 (0.18)	0.83 ± 0.53	26.47%	2.50 (0.67)	3.06 ± 1.94	26.80%	1.82 (0.49)	2.23 ± 1.41	26.92%	46.50 (5.97)	51.50 ± 41.50	11.59%	10.11 (1.22)	11.13 ± 9.09	12.07%
Park 5 "Los Trovadores"	0.26 (0.09)	0.33 ± 0.19	34.62%	0.95 (0.31)	1.21 ± 0.68	32.63%	0.69 (0.23)	0.88 ± 0.50	33.33%	29.73 (4.33)	33.35 ± 26.10	14.56%	7.10 (0.93)	7.88 ± 6.33	13.10%
Park 6 "Número Siete"	0.31 (0.12)	0.41 ± 0.21	38.71%	1.13 (0.44)	1.50 ± 0.76	38.94%	0.82 (0.32)	1.09 ± 0.55	39.02%	32.08 (5.30)	36.51 ± 27.64	16.52%	10.48 (1.98)	12.13 ± 8.82	18.89%
Park 7 "Parque Fátima"	0.46 (0.15)	0.58 ± 0.33	32.61%	1.68 (0.56)	2.15 ± 1.21	33.33%	1.22 (0.41)	1.56 ± 0.87	33.61%	38.44 (6.20)	43.62 ± 33.25	16.13%	11.08 (2.62)	13.27 ± 8.90	23.65%

Note: n = 8; M = Mean; SD = Standard deviation; CI = Confidence interval; CV = Coefficient of variation; DBH = Diameter at breast height; H = Height

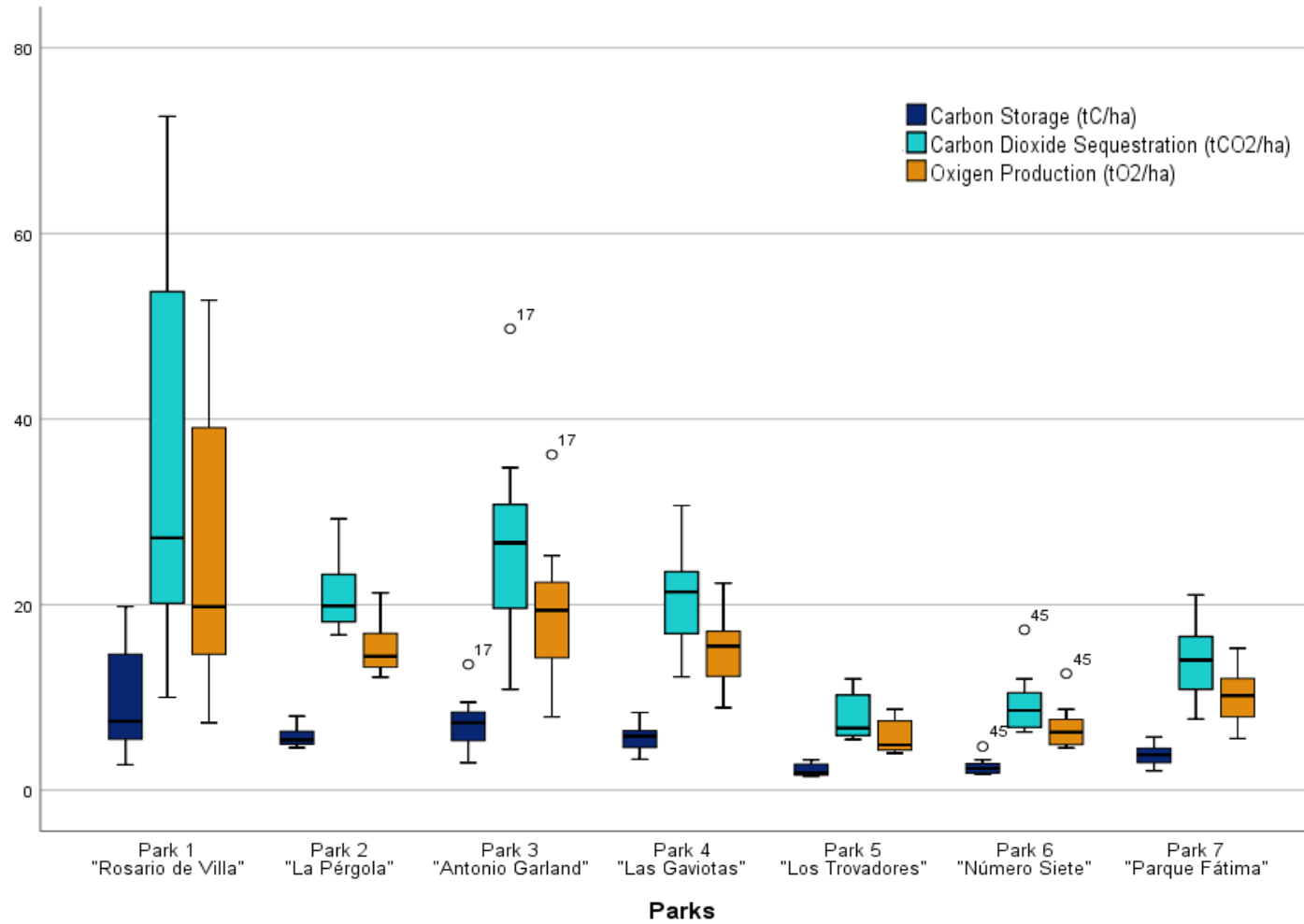


Figure 2. Densities of carbon storage, CO₂ sequestration and O₂ production in the urban forests evaluated in the Chorrillos district.

3.3 Organic matter treatments in *Ficus benjamina*

The averages of the structural parameters referring to DRN and heights of the individuals evaluated in the different treatments are presented at the end of the test with compost amendments for *Ficus* (Table 4).

Table 4. Structural parameters of *Ficus benjamina* in different concentrations, at the beginning and end of the test.

Treatments	1 st Month		8 th Month	
	DRN (cm)	H (m)	DRN (cm)	H (m)
C(0%)	1.31	0.40	1.81	0.60
T1(6.25%)	1.47	0.40	2.10	0.77
T2(12.5%)	1.49	0.40	2.18	0.83
T3(25%)	1.64	0.40	2.48	0.91

Note : DRN = Diameter of the root neck; H = Height

The structural parameters analyzed showed an increase at the end of the trial. The DCRs varied up to 38.17%, 42.86%, 46.31% and 53.09% with respect to the initial values for the control and treatments 1 (6.25%), 2 (12.5%) and 3 (25%) respectively. In contrast to the control, the individuals of *F. benjamina* for the eighth month of study increased their diameters up to an average of 0.79 cm (T1), 0.87 cm (T2) and 1.17 cm (T3). On the other hand, the heights of the seedlings at the beginning of the tests did not remain homogeneous and increased up to 50%, 92.5%, 107.5% and 127.5% with respect to the values in the first month for the control and the treatments 1, 2 and 3 correspondingly. Compared to the control, by the end of the investigation the heights in the species increased by an average of 0.37 m (T1), 0.43 m (T2) and 0.51 m (T3).

Table 5. Statistical data of the effects of compost at different concentrations in the sequestration of C, fixation of CO₂ and production of O₂ in the different structural components of *Ficus benjamina*.

Variables/Treatments	Leaves				Stems				Roots			
	M (SD)	S - W (p > 0.05)	Levene (p > 0.05)	ANOVA (p < 0.05)	M (SD)	S - W (p > 0.05)	Levene (p > 0.05)	ANOVA (p < 0.05)	M (SD)	S - W (p > 0.05)	Levene (p > 0.05)	ANOVA (p < 0.05)
C Storage (kg)												
C (0%)	0.0140 (0.0012)	0.417			0.0221 (0.0038)	0.200			0.0141 (0.0023)	0.719		
T1 (6.25%)	0.0164 (0.0012)	0.362	0.050	0.000	0.0232 (0.0016)	0.204	0.061	0.003	0.0143 (0.0025)	0.365	0.248	0.001
T2 (12.5%)	0.0164 (0.0012)	0.690			0.0231 (0.0015)	0.350			0.0144 (0.0022)	0.921		
T3 (25%)	0.0200 (0.0031)	0.994			0.0284 (0.0050)	0.323			0.0194 (0.0037)	0.700		
CO₂ Sequestration (kg)												
C (0%)	0.0512 (0.0043)	0.440			0.0810 (0.1394)	0.197			0.0518 (0.0086)	0.690		
T1 (6.25%)	0.0601 (0.0045)	0.340	0.051	0.000	0.0852 (0.0060)	0.240	0.065	0.003	0.0526 (0.0094)	0.374	0.254	0.001
T2 (12.5%)	0.0602 (0.0081)	0.668			0.0847 (0.0057)	0.377			0.0527 (0.0079)	0.921		
T3 (25%)	0.0733 (0.0113)	0.994			0.1043 (0.0183)	0.322			0.0713 (0.0135)	0.689		
O₂ Production (kg)												
C (0%)	0.0373 (0.0031)	0.459			0.0589 (0.0102)	0.192			0.0377 (0.0063)	0.687		
T1 (6.25%)	0.0437 (0.0032)	0.336	0.050	0.000	0.0620 (0.0043)	0.222	0.064	0.003	0.0382 (0.0068)	0.384	0.261	0.001
T2 (12.5%)	0.0438 (0.0059)	0.662			0.0616 (0.0042)	0.387			0.0384 (0.0058)	0.929		
T3 (25%)	0.0533 (0.0082)	0.994			0.0758 (0.0133)	0.323			0.0529 (0.0098)	0.688		

Note: n=8; M = Mean; SD = Standard deviation; S-W = Shapiro - Wilk Test

On the other hand, the results of C storage, CO₂ fixation and O₂ production in *Ficus* structural components decrease distinctively in stems> leaves> roots (**Table 5**). The production of aerial biomass was higher than the underground one, this was verified by the dimensions and weights of the shoots, foliage and rooting observed during the sampling. In this way, the assimilation of the compounds in the stems was up to 44.91% more than in the leaves and 55.13% more than in the roots.

The *p* values recorded for the statistical tests performed are showed in **Table 5**. It was determined that at least one treatment had significant effects regarding C storage, CO₂ fixation and O₂ production of the stems, leaves and roots of *Ficus benjamina*. Although the results varied, the amendments had benefits at low, medium and high application rates. However, the proportion of compost used in treatments 1 (6.25%) and 2 (12.5%) did not have significant differences with respect to the control; on the other hand, treatment 3 (25%) did have them in comparison to the rest of the groups (**Table 6**). *Ficus* leaves were the most sensitive to 25% amendment and captured 42.86% more C, sequestered 43.16% more CO₂ and produced 42.9% more O₂ than those grown only in topsoil; followed by the roots with 37.59, 37.64 and 37.67% and 28.51, 28.77 and 28.69% respectively for the stems. Likewise, during the evaluation period, the treatments enriched with compost presented better developments with respect to the DRN and heights of the seedlings, however, in the control concentration there were more qualitative indications of soil compaction, chlorosis and pests.

Table 6. Tukey multiple tests for comparison of averages of C sequestration, CO₂ fixation and O₂ production in leaves, stems and roots of *Ficus benjamina*.

Variables	Treatments	Leaves		Stems		Roots		
		Dif. means	p - value	Dif. means	p - value	Dif. means	p - value	
C Storage (kg)	C (0%)	T1 (6.25%)	-0.0024	0.117	-0.0011	0.903	-0.0002	0.998
		T2 (12.5%)	-0.0024	0.112	-0.0010	0.932	-0.0003	0.996
		T3 (25%)	-0.0060	0.000*	-0.0063	0.004*	-0.0053	0.003*
	T1 (6.25%)	C (0%)	0.0024	0.117	0.0011	0.903	0.0002	0.998
		T2 (12.5%)	0.0000	1.000	0.0001	1.000	-0.0001	1.000
		T3 (25%)	-0.0036	0.009*	-0.0052	0.021*	-0.0051	0.005*
	T2 (12.5%)	C (0%)	0.0024	0.112	0.0010	0.932	0.0003	0.996
		T1 (6.25%)	0.0000	1.000	-0.0001	1.000	0.0001	1.000
		T3 (25%)	-0.0036	0.009*	-0.0053	0.017*	-0.0051	0.005*
	T3 (25%)	C (0%)	0.0060	0.000*	0.0063	0.004*	0.0053	0.003*
		T1 (6.25%)	0.0036	0.009*	0.0052	0.021*	0.0051	0.005*
		T2 (12.5%)	0.0036	0.009*	0.0053	0.017*	0.0051	0.005*
CO ₂ Sequestration (kg)	C (0%)	T1 (6.25%)	-0.0089	0.116	-0.0042	0.904	-0.0008	0.999
		T2 (12.5%)	-0.0089	0.114	-0.0037	0.932	-0.0010	0.997
		T3 (25%)	-0.0220	0.000*	-0.0232	0.004*	-0.0196	0.003*
	T1 (6.25%)	C (0%)	0.0089	0.116	0.0042	0.904	0.0008	0.999
		T2 (12.5%)	0.0000	1.000	0.0005	1.000	-0.0002	1.000
		T3 (25%)	-0.0131	0.01*	-0.0191	0.021*	-0.0188	0.005*
	T2 (12.5%)	C (0%)	0.0089	0.114	0.0037	0.932	0.0010	0.997
		T1 (6.25%)	0.0000	1.000	-0.0005	1.000	0.0002	1.000
		T3 (25%)	-0.0131	0.010*	-0.0196	0.017*	-0.0186	0.005*
	T3 (25%)	C (0%)	0.0220	0.000*	0.0232	0.004*	0.0196	0.003*
		T1 (6.25%)	0.0131	0.010*	0.0191	0.021*	0.0188	0.005*
		T2 (12.5%)	0.0131	0.010*	0.0196	0.017*	0.0186	0.005*
O ₂ Production (kg)	C (0%)	T1 (6.25%)	-0.0065	0.113	-0.0030	0.905	-0.0006	0.999
		T2 (12.5%)	-0.0065	0.114	-0.0027	0.929	-0.0007	0.997
		T3 (25%)	-0.0160	0.000*	-0.0169	0.004*	-0.0142	0.003*
	T1 (6.25%)	C (0%)	0.0065	0.113	0.0030	0.905	0.0006	0.999
		T2 (12.5%)	0.0000	1.000	0.0003	1.000	-0.0002	1.000
		T3 (25%)	-0.0095	0.010*	-0.0139	0.021*	-0.0137	0.005*
	T2 (12.5%)	C (0%)	0.0065	0.114	0.0027	0.929	0.0007	0.997
		T1 (6.25%)	0.0000	1.000	-0.0003	1.000	0.0002	1.000
		T3 (25%)	-0.0096	0.009*	-0.0142	0.017*	-0.0135	0.005*
	T3 (25%)	C (0%)	0.0160	0.000*	0.0169	0.004*	0.0142	0.003*
		T1 (6.25%)	0.0095	0.010*	0.0139	0.021*	0.0137	0.005*
		T2 (12.5%)	0.0096	0.009*	0.0142	0.017*	0.0135	0.005*

Note: * Different means

IV. DISCUSSION

The highest provision of ecosystem services by *F. benjamina* in Chorrillos district occurred in the urban forests of Rosario de Villa (1.17 t C, 4.27 t CO₂ and 3.11 t O₂) and Antonio Garland (0.88 t C, 3.22 t CO₂ and 3.41 t O₂). The assimilation ranges by the species were similar to those found in a study carried out in the urban ecosystem of Av. Separadora Industrial in La Molina, which determined that *Ficus* stored an average 1.14

t C and sequestered 4.20 t CO₂ (Baca 2017). However, in similar investigations carried out on Av. Trapiche in Comas, it was found that the values are significantly lower with 0.04 t C and 0.15 t CO₂ average (Aldana 2017). Despite not finding comparative specific data regarding O₂ productions for *F. benjamina*, being subject to the multiplication of the assimilated t C by its conversion factor, the O₂ estimates found in Chorrillos would be similar to those presented by La Molina and higher than those of Comas district.

The factors that diversified in the assimilation of C, sequestration of CO₂ and production of O₂ of *F. benjamina* in the studied districts of Metropolitan Lima are attributed to: (i) the density of the specimens evaluated by urban ecosystem (trees/ha), (ii) their ages, (iii) diameter classes and (iv) state of conservation. In turn, these vary according to the intrinsic municipal management in each of the sites compared. It can be inferred through the information collected, that the provision of ecosystem services in the district of Comas was lower due to the fact that the maintenance conditions in which the species develops are deficient in reference to some of the indicators for the management of green areas, be these: (i) signs of depredation in the urban ecosystem, (ii) low sustainable human carrying capacity, (iii) low projection of municipal investment, (iv) soil management and (v) limited plant cover (Guerrero et al. 2007). On the other hand, in the urban ecosystem evaluated in La Molina and in both Rosario de Villa and Antonio Garland, the aspects in question decrease their severity or are not part of a problem.

Together with their best state of conservation, the urban forests of Rosario de Villa and Antonio Garland are two of the five oldest in the district of Chorrillos (> 45 years), therefore, long-lived specimens of diameter classes >77 cm were found to store up to

1000 times more C and sequester 90 times more CO₂ than those individuals with DBH <8 cm within the same growth stage (Nowak and Crane 2002). Specifically, in these parks the mean DBH is $\geq 51.79 \pm 11.28$ cm with high data heterogeneity ($C.V \leq 40\%$), since 10% of those analyzed are DBH ≥ 77 cm (McPherson 1998). In this sense, *F. benjamina*, reached the highest average densities in these urban ecosystems with 9.71 ± 6.31 t C/ha, 35.59 ± 23.11 t CO₂/ha and 25.89 ± 16.81 t O₂/ha and 7.32 ± 3.26 t C/ha, 26.84 ± 11.96 t CO₂/ha and 19.52 ± 8.70 t O₂/ha; with maximum DBH values ranging between 86.26 - 71.30 cm respectively. Unlike relatively young urban ecosystems (<20 years) such as Comas, where 56.3% of the evaluated data analyze DBH <30 cm and some of their individuals are the product of reforestation typical of comprehensive road maintenance plans such as the from Av. Trapiche. However, it is recognized that the sampling efforts could be a reason why higher maximum values were found in La Molina with DBH ≤ 90.91 cm.

Likewise, the two urban forests with the best provision are adjacent to the avenues most polluted by CO₂ in Chorrillos (Av. Ariosto Matellini, Paseo de la República and Defensores del Morro), this should reduce their foliar area and destroy their pigments; however, the adaptations of *Ficus benjamina* to optimal irrigation conditions in parks allow the relative water content in the plant to help maintain the physiological balance under stress conditions due to air pollution and facilitate photosynthetic activity at low ranges of light, increasing the net rate of CO₂ assimilation in the places most affected by this gas and chlorophyll contents (Pérez 2013). There are urban species in Lima that do not have comparatively significant rates of C capture, CO₂ sequestration and O₂ production such as *Shinus molle*, possibly due to their low adaptive capacity (Aldana 2017; Baca 2017), however, some of them with a tropical and subtropical origin such as *Eucalyptus*

globulus (2716.23 t C/ha), *Tamarindus indica* (1929.98 t C/ha), *Aegle marmelos* (1501.74 t of C/ha), *Areca catechu* (1481.08 t of C/ha), *Delonix regia* (1350.41 t of C/ha) and *Ficus religiosa* (1073.70 t C/ha) (Abhijit et al. 2017), manage to considerably exceed the averages found for *F. benjamina* in urban areas and even a conglomerate of species that make up the urban ecosystems in boreal and mediterranean climates such as Jersey City (5.02 t C/ha), Sacramento (46.91 t/ha) and Beijing (43.70 t/ha) in the United States and China respectively (Nowak and Crane 2002; Liu and Li 2012).

The lowest provision of regulation services by *F. benjamina* occurred in the parks La Pérgola > Las Gaviotas > Parque Fátima > Número Siete > Los Trovadores. These have DBH $\leq 46.94 \pm 4.32$ cm and the first three make up the rest of the oldest mentioned above. However, the urban forests of Parque Fátima and Los Trovadores are characterized by having been modified with artificial materials of limited permeability and having specimens in their first stages of growth (<10 years) as a result of reforestations typical of the improvement of green areas in the district, so they do not suggest significant assimilation rates and densities. On the other hand, the scant management of ecosystems such as Número Siete and La Pérgola, has produced fragments of bare soil and qualitatively, up to 30% of its vegetation cover has been significantly lost, which has resulted in their compaction by the high traffic of humans and animals, affecting the connection of the ecosystem in terms of: (i) lack of catchment, infiltration and dispersion of water and (ii) loss of habitat for soil biodiversity, slowing down nutrient cycles and in turn, biomass production in the species that develop in the urban forest. Likewise, its low assimilations may be due to the lack of specific maintenance techniques such as pruning, which allow higher flows of C and therefore of CO₂ and O₂ (Ferreira et al. 2018).

One of the limitations of the study was the limited information on urban forests in Chorrillos. Given this, not only is the implementation of a forest inventory necessary, but also studies of plant physiology for each ornamental species in order to know the effects of pollution on each one, given that some of them are less resilient to atmospheric dust deposited on their leaves surfaces that decrease stomatal conductance and more harmful gases such as NO₂ and SO₂ (Pérez 2013). In the same way, the monitoring of their growth rates and provision of ecosystem services, since they vary locally, decrease their O₂ production to become sources of urban CO₂, when they are closet to death (Nowak et al. 2013). The information collected serves to implement selection strategies for ornamental species and to understand that the interconnection of urban patches of a single layer of tree species with similar ages should be stratified with native shrub or herb species to improve the interaction of the urban forest and its provision of ecosystem services (Liu and Li 2012). At the same time, it is necessary to clarify that maintenance techniques particularly favor the assimilation of C and CO₂ reduction, but not the production of O₂ and that the studies of this last variable are not significant, since the highest percentage of this gas is already in the atmosphere (21%) and these ecosystems are not representative sources. (Nowak et al. 2007).

In relation to the tests carried out on *Ficus benjamina*, the addition of the amendment only significantly benefited the production of biomass, C capture, CO₂ fixation and O₂ production at its highest dose (25%). This generated increases in the physiological parameters of growth such as DRN, heights, dry weight of each organ and the total weight in each seedling. There are studies that in the same way analyze the effects of the addition of compost in the DRN and heights at successive concentrations in the

volume of the substrate (10%, 25% and 40%) for different ornamental forest species, comparatively species such as *Ceratonia siliqua* and *Olea europaea* showed similar increases in these parameters of up to 23 and 30% with respect to their DRN and 126 and 112% for their heights at the highest dose of the amendment (40%), being similar to those found for *F. benjamina* with 51.22 and 127.5% respectively (Álvarez de la Puente 2000).

The analyzes of fertility and quality of organic matter carried out, show compliance with most of the standards for amendments according to NTC 5167 and NCh 2880 (ICONTEC 2011; INN 2015) (**Table 7**). It can be inferred that the best physiological growth responses at the highest dose are attributed to the optimal macronutrient contents in the *F. benjamina* substrate (NPK \geq 1%). Deficiencies in nitrogen (N) levels, in general, represent extensive root development compared to foliar and shoot growth, however, it played an important role as a growth engine for leaves and stems, also, it allowed the correct absorption of the rest of micronutrients and the thickening of the latter (DRN), in turn, elements such as phosphorus (P) were essential for the transfer of energy allowing greater photosynthetic efficiency, finally, the values found for potassium (K) favored the synthesis of carbohydrates and proteins and also improved the water regime of the seedlings by increasing their tolerance to the intermittent periods without irrigation that could be generated throughout the trial and to excess salts in the amendment (EC = 31 dS/m), being *F. benjamina*, a species with medium intrinsic tolerance to these (UC 2011; FAO 2013; Barbaro et al. 2014).

Table 7. Analysis of fertility and quality of the compost used.

Parameters	Unit	Value	Range established by NCh 2880	Range established by NTC 5167
p H	-	8.36	5.0 - 8.5	4.0 - 9.0
Electric conductivity	dS/m	31	< 8	*
Humidity	%	36.05	30 - 45	20 - 35
Organic matter content	%	44.58	≥ 20	-
C/N Relation	-	14.57	10 - 25	*
Organic carbon	%	24.77	-	≥ 15
Total nitrogen	%	1.7	≥ 0.5	≥ 1
Phosphorus (P)	%	2.33	-	≥ 1
Potassium (K)	%	2.46	-	≥ 1
Calcium (Ca)	%	4.14	-	**
Magnesium (Mg)	%	1.06	-	**
Sodium (Na)	%	0.92	< 1	*
Fulvic acids	%	2.19	-	-
Humic acids	%	5.04	-	-
Humines	%	36.53	-	-

Note: - No unit/Value; * Report/No estimates, ** Report only if < 2% /No estimates

Additionally, it was observed that the seedlings enriched with compost presented mild symptoms of chlorosis and attacks by pests unlike the controls, specifically, the health of the seedlings was compromised by the phytophagous *Toxoptera aurantii* known as “thrips” that causes closures progressive foliar mainly in shoots and also by the ectoparasitic fungi that cause powdery mildew popularly called "blanquilla". It is recognized that the evaluation of *F. benjamina* could be affected by these pathogens, due to its susceptibility to them and its spread by various means within the nursery (Narrea-Cango et al. 2013). Despite this, the nutritional enrichment by K increased the resistance and control of pests in the treatments (6.25%, 12.5% and 25%), qualitatively reducing the amount of foliage affected by these diseases (Esteban et al. 2017; Stewart-Wade 2019).

The higher concentration of compost in the substrate showed lush *Ficus* seedlings with better vigor, greenery and production of aerial biomass than the underground, in this way, the capture of C, fixation of CO₂ and production of O₂ was higher in stems (0.0284

kg C , 0.1043 kg CO₂ and 0.0758 kg O₂)> leaves (0.0200 kg C, 0.0733 kg CO₂ and 0.0533 kg O₂)> roots (0.0194 kg C, 0.0713 kg CO₂ and 0.0529 kg O₂) regarding their control. Some studies deduce that one of the physiological changes that allows the application of organic matter is the increase in stomatal opening and pigments such as chlorophyll and carotenoids, which allow the photosynthetic rates to be higher and therefore the provision of said ecosystem services (Esteban et al. 2017; Teodoro et al. 2019). The growth and production of root biomass did not show constancy, because the best rooting of *Ficus benjamina* are only > 61% in the spring season, in addition, the gradual watering along with the adequate levels of K and its ability to maintain a regime adequate water did not suggest the extension of their roots in search of water (FAO 2013; Soto et al. 2006). However, the assimilations of the compounds were on average 42.97% better than the control in the leaves, because under beneficial conditions it enhances the thickness of its leaves and its high content of C in the cell walls, therefore, the amounts of dry matter are higher; it is likely that this combination of traits is associated with their resistance to a variety of biotic and abiotic stresses (Veneklaas et al. 2001).

As it is one of the first investigations that relate the addition of compost in urban soils with the physiological growth responses that improve the provision of ecosystem services of ornamental forest species in Lima, no comparable data was found for this section of the study. The foregoing would give a scope of the reasons why significant differences were found, despite this, it is necessary to generate more data, since the data collected does not cover all the physiological responses, it is advisable to delve into others that determine more specific reactions to the amendment used. And in turn,

evaluate better organic substrates for longer periods until the definitive establishment of the seedlings in parks.

In the same way, it is important to note that the conditions in which urban species develop are often difficult due to the high traffic of people and animals, for which organic fertilization with good quality compost would ensure the establishment and survival of the specimens in their early stages, making it advisable to carry out tests with various forest species in Lima in the same way. This makes it possible to assess organic amendments and promote plans that include the segregation of urban waste in the district, which in addition to remains of weeds (product of municipal and private pruning) with provisions not regulated in the district can be used to generate own fertilizers with the fulfillment of international standards and that allow to improve the air quality by the specimens of *F. benjamina* already established in Chorrillos.

ACKNOWLEDGMENTS

This research was financed by the Internal Funds of Universidad Científica del Sur, RD N° 02-DGIDI-CIENTIFICA-2018. Likewise, the collaboration provided by the members of the M&C nursery and the technical team involved in the implementation of the project is appreciated and recognized.

RESUMEN

Ficus benjamina (*Ficus*) es una de las especies predominantes en los parques llamados bosques urbanos de Chorrillos, Lima, Perú. Esta contribuye significativamente con la mitigación del cambio climático y la mejora de la salud humana y medioambiental del distrito. El objetivo de este estudio fue evaluar la capacidad de la misma para almacenar carbono (C), fijar dióxido de carbono (CO₂) y producir oxígeno (O₂) en siete parques del distrito con diferentes estados de conservación y antigüedades, siendo estos: Rosario de Villa, La Pérgola, Antonio Garland, Las Gaviotas, Los Trovadores, Número Siete y Parque Fátima. Los rangos de C capturados fluctuaron en promedio de 2.16 hasta 9.71 t C/ha, secuestrando de 7.89 a 35.59 t CO₂/ha y produciendo entre 5.75 y 25.89 t O₂/ha para ecosistemas caracterizados por DAP que variaron de 29.73 - 58.14 cm y alturas entre 7.10 - 13.75 m. Simultáneamente, para conocer y cuantificar los efectos de la adición de materia orgánica en las respuestas fisiológicas que mejoran la provisión de dichos servicios ecosistémicos por la especie, se realizó un ensayo de invernadero con un diseño de bloques completamente aleatorizado (DBCA) donde se probaron tres dosis de compost (6.25%, 12.5% y 25%) y un control, cada una con ocho repeticiones. Dicho fertilizante presentó una buena relación C/N y cumplía con los estándares internacionales, sin embargo, poseía una alta salinidad y predominancia de huminas posicionándolo como uno de calidad media. Se evidenciaron indicios de clorosis, presencia de plagas y respuestas fisiológicas de crecimiento distintas en los componentes estructurales de *Ficus*. Estas significaron variaciones en las dimensiones del diámetro al cuello de la raíz (DCR), alturas y de los pesos respecto a la biomasa producida. No obstante, las diferencias solo fueron significativas para la dosis de compost al 25%, capturando hasta 0.028, 0.02 y 0.019 kg C en tallos, hojas y raíces respectivamente. Estos niveles significaron un equivalente de reducción de emisiones de 0.104, 0.073 y 0.071 kg CO₂ y de 0.076, 0.053 y 0.051 kg O₂ producido comparativamente. Dichos incrementos contrastados con el control fluctuaron entre 28.7 y 43%, lo cual comprueba que los sustratos con enmiendas orgánicas favorecen las respuestas fisiológicas de crecimiento en *F. benjamina* y permiten mejorar la calidad de aire en el distrito.

Palabras clave: Cambio climático, secuestro de carbono, compost, producción de O₂, fijación de CO₂

EFFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN LA RESPUESTA FISIOLÓGICA DE LA ESPECIE FORESTAL *Ficus benjamina* PARA LA MEJORA DE LA PROVISIÓN DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN EL DISTRITO DE CHORRILLOS

Alisson Aguilar ¹ Julio Alegre ^{1 2}

¹ Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad Científica del Sur, Lima, Perú

² Departamento de Suelos, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú

I. INTRODUCCIÓN

Nuestro acelerado proceso de urbanización viene acogiendo en las ciudades a la mitad de la población mundial y se espera que para el 2050 esta cifra ascienda a 70% debido al desborde demográfico y las tasas migratorias (CAF 2014a; CEPAL 2016). Las urbes abarcan el 2.8% (3, 629, 312 km²) de la superficie global, no obstante, para producir el 80% del producto bruto interno (PBI) mundial, sus actividades económicas principales, que giran en torno a las industrias, el transporte y la construcción, han elevado su consumo de energía a los 2/3 del total global, modificando de manera exacerbada la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) (REN21 2019; Salahuddin et al. 2019; Zhang y Zhou 2019; Huo et al. 2020; Qiu et al. 2020).

Debido a sus largos periodos de permanencia y su capacidad de absorción de radiación, el dióxido de carbono (CO₂), es catalogado como uno de los GEI de larga vida (GEILV) más perjudiciales para el planeta (García et al. 2006; IPCC 2014; Putman et al. 2016; Sánchez-León et al. 2016; Pincetl 2017). Entre los años 1990 y 2018 el forzamiento radioactivo de los GEILV incrementó en 43% (3.1 W/m²), siendo el CO₂ precursor de aproximadamente el 66% de esta actividad, y a su vez, el responsable del 82% del calentamiento global en los últimos cinco años (WMO 2019).

Bajo dicho contexto, las ciudades son responsables de las tres cuartas partes de las emisiones globales de CO₂ (75%) y desde la etapa pre industrializada en 1750 con

concentraciones de 278 ppm, los flujos equilibrados e inoos de este gas en la atmósfera han incrementado hasta en 146% para el año 2020 con 413.95 ppm, representando una amenaza sin precedentes para la salud humana y el bienestar medioambiental (Bardescu y Legendi, 2015; Barrett et al. 2015; Franchini y Mannucci 2015; WMO 2018; Ali et al. 2019; REN21 2019; NOAA 2020).

En el Perú, el 76% de las emisiones corresponden al CO₂ (MINAM 2016). Actualmente, Lima Metropolitana alberga al 32% de habitantes totales en el país, posicionándose como una de las capitales latinoamericanas con la más alta huella de carbono; sus emisiones son de aproximadamente 15.43 mills t CO₂ (1.82 t CO₂/hab) en comparación a urbes como Quito y La Paz con 5.16 mills t CO₂ (2.32 t CO₂/hab) y 1.43 mills t CO₂ (1.7 t CO₂/hab) respectivamente; de manera que, bajo este marco, las cantidades emitidas se encuentran fundamentalmente relacionadas a: (i) el consumo de energía residencial, comercial e industrial (50.5%), (ii) la quema de combustibles fósiles por el sector transporte (35.8%) y (iii) la descomposición de los residuos sólidos (13.7%) (Koerner y Klopatek 2002; Camargo y Vélez 2009; Velasco y Roth 2010; CAF 2014b). A nivel metropolitano, Chorrillos es uno de los distritos que emite en promedio 2.03 mills t CO₂ y se caracteriza por registrar una de las mayores tasas, únicamente superada por San Juan de Lurigancho (4.46 mills t CO₂) (Guzmán et al. 2016).

Pese a ser el establecimiento de áreas verdes una de las estrategias que superan en costo-eficiencia a otras técnicas de adaptación al cambio climático en las ciudades, debido a su capacidad para contrarrestar las emisiones de CO₂ y purificar el aire (Benjamín and Masera 2001; Vargas-Gómez and Molina-Prieto 2013; Pimienta-Barrios et al. 2014; Lafontaine -Messier et al. 2016), en Lima solo representan el 19.7% de la

cobertura total y su proceso de consolidación en algunos de los distritos viene decreciendo paulatinamente (Lima Cómo Vamos, 2014). De esta manera, Chorrillos es uno de los que cuenta con 3.04 m²/hab y se posiciona muy por debajo de los 10 m²/hab sugeridos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) (Lamela et al. 2011; Vera et al. 2017; Lima Como Vamos 2018). Así mismo, los procesos de deterioro de las mismas y las técnicas de mantenimiento inadecuadas son factores que han limitado su habilidad para contribuir con su provisión de servicios ecosistémicos (SE) (Jayasooriya 2016; Ferreira et al. 2018).

Específicamente, en lo que respecta al uso de árboles en bosques urbanos poco es lo que se conoce acerca de sus características (Pretzsch et al. 2015; Riolo 2018). Las respuestas fisiológicas de las especies forestales ornamentales en climas boreales y mediterráneos pueden diferir de aquellas encontradas en zonas tropicales o subtropicales como las de Chorrillos, puesto que presentan distintos dinamismos, debido a: (i) factores climáticos, (ii) fenómenos meteorológicos, (iii) geografía, (iv) rápidas tasas de crecimiento y descomposición, (v) proliferación de especies invasoras e (vi) índices de urbanización veloces (Duryea et al. 2007; Escobedo et al. 2010; Zhao et al. 2010). A su vez, factores como: (i) altas concentraciones de CO₂, (ii) deposiciones anuales de nitrógeno en la atmósfera y (iii) menores concentraciones de ozono en los conglomerados urbanos favorecerían en mayor proporción el proceso natural de fotosíntesis (McPherson and Simpson 1999; Cabudivo 2017; Pretzsch et al. 2017).

No obstante, la cantidad de estudios en bosques urbanos ha sido superior en el primer escenario (Nowak et al. 2007; Garrido et al. 2009; Liu and Li 2012; Nowak et al. 2013; Pasher et al. 2014; Russo et al. 2015; Tang et al. 2016; Lehmann et al. 2019; Lindén et al.

2020), y solo una limitada cifra ha profundizado en escenarios como los que posee la dicho distrito, siendo su estudio un factor clave para la crisis actual urbana (Conolly and Correa 2007; Stoffberg et al. 2010; Timilsina et al. 2014; Villalobos et al., 2014; Bustos-Ulloa et al. 2015; Othman et al. 2016; Abhijit et al. 2017; Aldana 2017; Baca 2017; Devi 2017; Merino 2017; Aguirre and Quizhpe 2018; Begazo and Jave 2018; Rodríguez et al. 2018).

La óptima provisión de SE y resiliencia de los bosques urbanos, está condicionada a la correcta valoración ecológica por parte del estado para fomentar políticas y asignación de presupuestos que permitan mejorar la gestión de dichos ecosistemas (Vásquez 2016; Conway et al. 2019; Ordóñez et al. 2020). Esto último involucra capacidades técnicas que permitan realizar una buena: (i) selección de especies y su requerimiento de espacio, (ii) seccionamiento de pavimentación, (iii) manejo de la estructura, retención y adición de nutrientes en el suelo, (iv) técnicas de riego, (v) acciones fitosanitarias, entre otras (Chen and Wang 2013; García - García et al. 2016; Schram-Bijkerk et al. 2018).

Dentro de dichas medidas, una de las más importantes hace referencia a implementación de un adecuado sustrato orgánico que permita asegurar la calidad de nutrientes, protección contra plagas, captación eficaz de agua y el intercambio gaseoso con la atmósfera, que finalmente establecerán las condiciones óptimas para el desenvolvimiento de la fotosíntesis y por ende, potenciar los balances naturales de almacenaje de C, secuestro de CO₂ y producción de O₂ (Haas and Köpke 1994; Saebo and Ferrini 2006; Nagase and Dunnett 2011; Sotamenou and Parrot 2013; Richnau et al. 2016; Astiaso 2017; Esteban et al. 2017). Confiriendo a su vez otros SE como: (i) aprovisionamiento de sombra para la reducción de la demanda de energía, (ii) estética,

recreación y turismo urbanos, (iii) almacenaje de carbono en el suelo, (iv) provisión de hábitat, (v) amortiguación de variaciones climáticas, (vi) mitigación de ruidos, (vii) retención de metales y (viii) regulación de flujos de agua (Jim and Chen 2009; Millward and Sabir 2011; Hamada et al. 2013 ; Baró et al. 2015; Carrus et al. 2015; Lacasta et al. 2016; Khoshtaria and Chachava 2017; Setälä et al. 2017; Watts 2017; Wang et al. 2019; Song et al. 2018; Fung and Jim 2019).

Ficus benjamina es una de las variantes del género más llamativas para su posicionamiento en áreas verdes urbanas por su perennidad, crecimiento rápido, bajo costo de producción, tolerancia al estrés hídrico y vasto desarrollo foliar (Fernández-Herrera et al. 2017). Gracias a sus adaptaciones fisiológicas (Pérez 2013), almacena en promedio 1.14 t C y secuestra 4.2 t CO₂, siendo su capacidad superior a la de muchas clases ornamentales sembradas en Lima Metropolitana como *Schinus molle* con aproximadamente 0.072 t C y 0.26 t CO₂ (Aldana 2017; Baca 2017).

En consideración al distrito de Chorrillos, esta es una de las especies predominantes, por cada 304 árboles el 27.6% de ellos son *F. benjamina* y su densidad es de aproximadamente 37 individuos/ha de bosque urbano (Martínez 2011). De esta manera, viene siendo de contribución significativa con la reducción de CO₂ atmosférico, la purificación del aire, la disminución de los decibeles emitidos por el acaudalado tráfico vehicular, los cuales exceden a los Estándares de Calidad Ambiental para Ruido hasta en 77.9 dB en zona de protección especial (≤ 50 dB), 77.1 en zonas residenciales (≤ 60 dB) y 80.5 en zonas comerciales (≤ 70 dB) (OEFA, 2013). Y a su vez, con la preservación de la entomofauna y avifauna de los bosques urbanos en el distrito (Macedo 2015; Walther et al. 2017; Pollack et al. 2018).

Bajo este escenario, se hace necesario esclarecer las incertidumbres respecto a la neutralidad ecológica de *F. benjamina* en los bosques urbanos en Chorrillos e integrar metodologías para analizar la relación entre la aplicación de técnicas de manejo orgánico en suelos urbanos y su influencia en el incremento de la provisión de los servicios ecosistémicos por dicha especie. Esto, permitirá diseñar programas de conservación y mejorar la toma de decisiones respecto a las mismos con una mirada holística de las ventajas y desventajas del medio actual. Con la finalidad de cuantificar los beneficios de *F. benjamina* en el distrito de Chorrillos, el presente estudio tuvo como objetivos principales: (i) estimar la captura de C, secuestro de CO₂ y producción de O₂ actuales por parte de la especie en los parques urbanos del distrito; y (ii) evaluar la influencia de las buenas prácticas de manejo agroecológico de suelos urbanos en las respuestas fisiológicas de la especie, específicamente la adición de materia orgánica en el secuestro de C, fijación de CO₂ y producción de O₂ en los distintos componentes de su estructura: hojas, tallos y raíces.

II. MÉTODOS

2.1 Área de estudio

El estudio fue desarrollado en el distrito de Chorrillos, ubicado al sur de Lima Metropolitana, Perú (281579.87 E, 8652194.25 S). Este tiene una población de 341,322 habitantes en una extensión territorial de 38.94 km² (Lima Cómo Vamos 2018). Presenta una altura promedio de 43 msnm y su clima es considerado subtropical árido característico de las zonas desérticas del litoral peruano (Guillén et al. 2003; MVCS, 2010; Gallarday and Vásquez 2016). La temperatura oscila entre 18.5 - 19.0°C con un máximo estival anual de 28.0° C, la humedad relativa fluctúa entre 82 – 93%, las

precipitaciones anuales son irrelevantes en un rango de 0 - 16 mm y la evaporación promedio es de 514.4 mm (Municipalidad de Chorrillos 2016). Predominan los vientos del sur con una velocidad promedio de 13.9 km/h y altas nubosidades estratiformes habituales de 6/7 que llegan a cubrir aproximadamente el 74.95% de la atmósfera (Álvarez y Santiago 2006).

2.2 *Ficus benjamina*

El género *Ficus* pertenece a la familia Moraceae, este posee de 700 a 2000 especies en el mundo (Soto et al. 2006). Dentro de ellas, *F. benjamina*, es ampliamente utilizada ornamentalmente en zonas urbanas de México, Colombia y Perú (Vargas-Garzón and Molina-Prieto 2010; Cambero-Campos et al. 2012; Narrea-Cango et al. 2013; Peña-García et al. 2017). Es originaria de climas tropicales y subtropicales (Gaig et al. 1999; Fernández-Herrera et al. 2017). Se caracteriza por ser un árbol siempreverde de copa ancha y frondosa que alcanza libremente los 30 m de altura desarrollándose a una temperatura no menor a 4°C (Ibarra-Manríquez et al. 2012). Su corteza es gris o blanquecina lisa con estípulas caedizas, desarrolla flores unisexuales e inflorescencias denominadas siconos sésiles, posee hojas subdísticas de terminaciones ovadas u oblongas con bases redondas o cuneadas y ápices caudados caracterizándose por su consistencia coriácea que a su quiebre libera un látex lechoso tóxico (Francis 2004; Piedra-Malagón et al. 2006).

2.3 Muestra ambiental

Este primer análisis fue realizado durante los meses de octubre y diciembre del 2019. Se ubicaron y seleccionaron siete puntos de muestreo (**Figura 1**). La elección de las áreas verdes fue condicionada en base a su tamaño (>0.3 ha), la presencia de *F. benjamina* y

su proximidad a las calles centrales del distrito (Gratani et al. 2016b; Velasco and Chen 2019). En la **Tabla 1**, se describen sus características y la calificación de las mismas según su estado de conservación (Rivera 2014). Para la recopilación de información, se utilizó un método no destructivo (Bustos-Ulloa et al. 2015), seleccionándose ocho individuos de la especie por cada parque y estableciéndose parcelas de 10 x 15 m para cada árbol. Los parámetros estructurales evaluados fueron los diámetros a la altura del pecho (DAP, cm) y las alturas de los ejemplares (A, m) (Rügnitz et al. 2009).

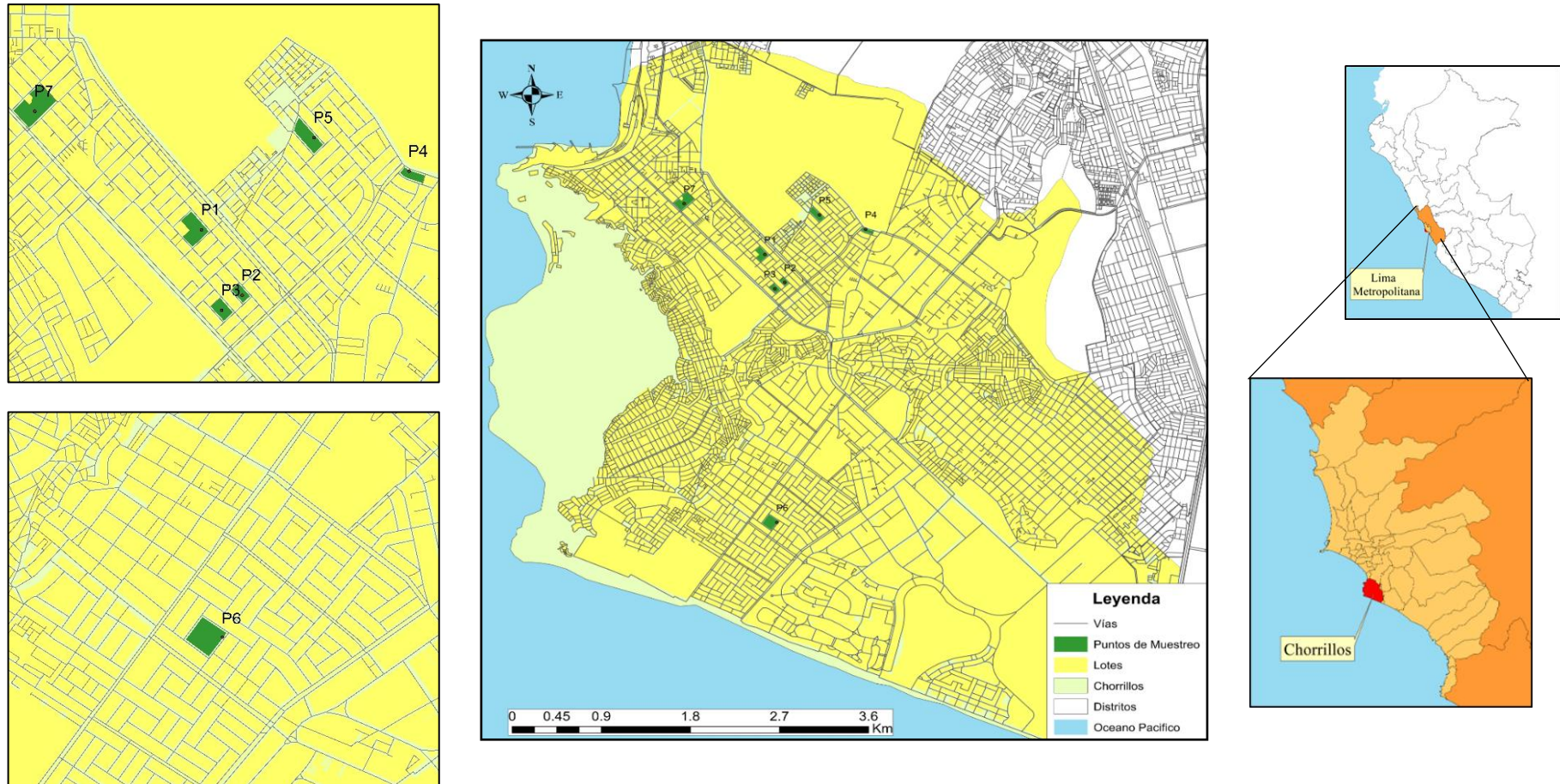


Figura 1. Mapa de los parques considerados dentro del distrito de Chorrillos. P1= Rosario de Villa; P2=La Pérgola; P3=Antonio Garland; P4=Las Gaviotas; P5=Los Trovadores; P6=Número Siete; P7=Parque Fátima

Tabla 1. Especificaciones de los puntos de muestreo.

Punto de Muestreo	Características			Calificación	
	Coordenadas UTM (Zona 18L)		Altitud (m.s.n.m)		Área (ha)
	Este	Sur			
Parque 1 "Rosario de Villa"	280892.48	8653150.03	48	1.4	A
Parque 2 "La Pérgola"	281092.53	8652840.47	43	0.42	D
Parque 3 "Antonio Garland"	280992.97	8652769.66	41	0.6	A
Parque 4 "Las Gaviotas"	281910.59	8653428.63	44	0.45	D
Parque 5 "Los Trovadores"	281444.41	8653587.18	43	1.04	A
Parque 6 "Número Siete"	281013.98	8650182.80	23	1.53	D
Parque 7 "Parque Fátima"	280076.31	8653712.11	70	2.27	O

Nota : O = Óptimo; A = Aceptable; D = Deteriorado; NA = No Apto

2.4 Diseño experimental

La segunda fase del estudio fue desarrollada en el vivero M&C, Chorrillos (UTM 18L 280621.21E, 8650961.09S). Tanto los organismos de la especie *Ficus* como la tierra y el compost fueron adquiridos de este centro. El análisis se desarrolló durante época seca y húmeda entre los meses de febrero y septiembre del 2019. Se utilizó el diseño de bloques completamente aleatorizado (DBCA) con 4 tratamientos (tres concentraciones de compost y un control) y 8 repeticiones por cada uno (**Tabla 2**). Se utilizó un total de 32 plántones de un año y 40 cm de altura que fueron seleccionados previamente para después realizar el trasplante a bolsas de cultivo de 8 kg con un sustrato compuesto de tierra vegetal y concentraciones de compost al 6.25% (0.5kg), 12.5% (1kg) y 25% (2kg) (Álvarez de la Puente 2000; Teodoro et al. 2019). Se midieron los diámetros al cuello de la raíz (DCR) iniciales de los plántones y se suministró agua a cada uno semanalmente según su necesidad para mantener la humedad del suelo (Loh et al. 2003).

Tabla II. Esquema de diseño experimental.

Tratamientos	Bloques							
	1	2	3	4	5	6	7	8
C (0%)	C ₀₁	C ₀₂	C ₀₃	C ₀₄	C ₀₅	C ₀₆	C ₀₇	C ₀₈
T₁ (6.25%)	T ₁₁	T ₁₂	T ₁₃	T ₁₄	T ₁₅	T ₁₆	T ₁₇	T ₁₈
T₂ (12.5%)	T ₂₁	T ₂₂	T ₂₃	T ₂₄	T ₂₅	T ₂₆	T ₂₇	T ₂₈
T₃ (25%)	T ₃₁	T ₃₂	T ₃₃	T ₃₄	T ₃₅	T ₃₆	T ₃₇	T ₃₈

Al término de los ocho meses establecidos para el ensayo, se procedió a medir las alturas y DCR finales de los plántones antes de ser retirados de sus respectivos sustratos para seccionarlos. Las hojas se separaron de los tallos al igual que las raíces y se pesó en fresco cada uno de los componentes, por repetición y tratamiento teniendo un total de 96 muestras a procesar. Estas fueron trasladadas al Laboratorio de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Científica del Sur, Villa el Salvador (284806.26 E, 8648312.85 S) en donde se pesaron entre 15 – 50 g de cada sección para ser secadas en una estufa de aire forzado a 70 °C entre dos y tres días llevándolas a peso constante para obtener el peso seco de cada una de las submuestras (Bustos - Ulloa et al. 2015).

2.5 Cálculo de la biomasa seca de los árboles en pie

La estimación del contenido de biomasa seca en los árboles muestreados derivados de los bosques urbanos se realizó en base a una ecuación alométrica general (**Ecuación 1**) (Chavé et al. 2005), la cual se acoplaba a los requisitos geográficos de *F. benjamina* (Liu and Li 2012; Douterlungne et al. 2013; Navar - Cháidez et al. 2013; Nowak et al. 2013; Santoyo-Gómez et al. 2014; Timilsina et al. 2014; Velasco et al. 2016, Boukili et al. 2017); y que a su vez, ha sido utilizada en estudios previos para la especie (Aldana, 2017; Baca, 2017).

$$M = \rho_w * e^{(-0,67+1,78 \ln (DAP)+0,207(\ln (DAP))^2-0,028(\ln (DAP))^3)} \dots\dots\dots (\text{Ec. 1})$$

En donde, M es la biomasa seca acumulada del árbol en kg, ρ_w es la densidad específica de la madera dada por el factor 0.65 (Reyes et al. 1992; Brown 1997; Yoon et al. 2013) y DAP es el diámetro a la altura del pecho en cm.

Para el cálculo de la biomasa de los plantones en experimentación se utilizó la relación peso seco/peso fresco para cada uno de los componentes (**Ecuación 2**), siendo la suma del peso seco de cada sección, la biomasa seca total de cada plantón (Gómez et al. 2011; Aguirre y Quizhpe 2018).

$$BS_{\text{componente}} = (PS_{\text{muestra}} / PH_{\text{muestra}}) * BH_{\text{componente}} \dots\dots\dots (\text{Ec. 2})$$

En donde, $BS_{\text{componente}}$ es la biomasa seca del componente en kg; PS_{muestra} es el peso seco de la muestra; PH_{muestra} es el peso fresco o húmedo de la muestra; y, por último, $BH_{\text{componente}}$ hace referencia a la biomasa fresca del componente medida en campo.

2.6 Cuantificación de stocks de carbono, fijación de CO₂ y producción de O₂

La variabilidad del contenido de carbono depende de la especie de árbol y su tejido, sin embargo, se asume que el 50% de la biomasa es rica en carbono (Brack 2002; Gayoso and Guerra, 2005; Timilsina et al., 2014). Tal es, que tanto la cantidad de carbono total almacenado en un árbol como la de sus secciones, es el resultado de la multiplicación de la biomasa seca por el factor de conversión 0.5 (Nowak and Crane 2002; Whittinghill et al. 2014; Aguirre and Quizhpe 2018; Fu et al. 2018). La estimación del CO₂ fijado, se halló al multiplicar los stocks de carbono por el factor 3.667 derivado de la división de los pesos moleculares del CO₂ y el C (Aguaron and McPherson 2012; Pasher et al. 2014; Weissert et al. 2014; Gratani et al. 2016a; Rodríguez et al. 2018). De la misma manera, se procedió para el O₂ producido, pero por el coeficiente 2.667, producto del

fraccionamiento entre los pesos atómicos del O₂ y el C (Nowak et al. 2007; Cabudivo 2017).

2.7 Análisis estadístico

Mediante el software estadístico SPSS V.25, se realizó un análisis estadístico de los datos encontrados en los bosques urbanos, utilizándose un diagrama Boxplot para su representación gráfica. Para el analizar las pruebas y determinar si el almacenamiento de C, secuestro de CO₂ y la producción de O₂ fueron significativos en alguno de los tratamientos para los tres componentes estructurales, se realizaron las pruebas ANOVA y post hoc de Tukey para comparaciones múltiples a un nivel de confianza de 0.95. Previa evaluación de normalidad y homogeneidad de varianzas con los test Shapiro – Wilk (n <40) y Levene respectivamente.

III. RESULTADOS

3.1 Estructura de los parques llamados bosques urbanos

Los valores dasométricos de la especie *Ficus benjamina* varían según el bosque urbano evaluado (**Tabla 3**). El 71.43% de los parques presentó promedios de DAP $\leq 46.94 \pm 4.32$ cm. Por otro lado, el porcentaje restante, representado por los bosques urbanos de Rosario de Villa y Antonio Garland, obtuvieron clases diamétricas promedio $\geq 51.79 \pm 11.28$ cm. Sin embargo, pese a que los datos de diámetros en la totalidad de parques evaluados poseen coeficientes de variación poco significativos < 80%, estos últimos dos bosques urbanos son los que presentan la mayor heterogeneidad y dispersión de DAP entre los grupos, en los cuales se registraron valores máximos de hasta 86.26 y 71.30 cm con coeficientes de variación de 32.02% y 21.78% respectivamente. Los bosques urbanos de Rosario de Villa, La Pérgola, Antonio Garland y Parque Fátima conforman el

66.67% de los grupos que poseen alturas promedio $\geq 11.08 \pm 2.62$ m. El primero de ellos, es aquel que posee la mayor dispersión de alturas con un coeficiente de variabilidad igual a 46.91%, mientras que en el resto de los grupos evaluados presenta mayor homogeneidad de alturas con coeficientes de variación \leq a 23.64%.

3.2 Secuestro de C, fijación de CO₂ y producción de O₂

Los mayores promedios de captura de C y secuestro de CO₂ por *Ficus benjamina* se dieron en los bosques urbanos de Rosario de Villa, Antonio Garland y La Pérgola, seguido de Las Gaviotas, Parque Fátima, Número Siete y Los Trovadores (**Tabla 3**). Rosario de Villa y Antonio Garland representan el 28.57% de los grupos que poseen ejemplares que captan, secuestran y producen cantidades superiores de C $> 0.88 \pm 0.39$ t, CO₂ $> 3.22 \pm 1.44$ t y O₂ $> 3.11 \pm 2.02$ t. Asimismo, son lugares en los que el muestreo realizado ha tenido la mayor dispersión de toneladas asimiladas entre los grupos estudiados.

Las densidades de C, CO₂ y O₂ asimiladas por la especie se presentan en la **Figura 2**. Estas fueron superiores en los parques de Rosario de Villa (9.71 \pm 6.31 t C/ha, 35.59 \pm 23.11 t CO₂/ha y 25.89 \pm 16.81 t O₂/ha), Antonio Garland (7.32 \pm 3.26 t C/ha, 26.84 \pm 11.96 t CO₂/ha y 19.52 \pm 8.70 t O₂/ha), La Pérgola (5.74 \pm 1.15 t C/ha, 21.06 \pm 4.21 t CO₂/ha y 15.32 \pm 3.05 t O₂/ha), seguido de Las Gaviotas (5.67 \pm 1.53 t C/ha, 20.81 \pm 5.61 t CO₂/ha y 15.13 \pm 4.08 t O₂/ha), Parque Fátima (3.81 \pm 1.27 t C/ha, 13.95 \pm 4.67 t CO₂/ha y 10.14 \pm 3.40 t O₂/ha), Número Siete (2.57 \pm 0.99 t C/ha, 9.41 \pm 3.67 t CO₂/ha y 6.84 \pm 2.67 t O₂/ha) y Los Trovadores (2.16 \pm 0.71 t C/ha, 7.89 \pm 2.63 t CO₂/ha y 5.75 \pm 1.90 t O₂/ha). Se encontró que la especie ornamental *F. benjamina* tuvo densidades promedio mayores en los tres primeros bosques urbanos. Entre ellos, Rosario de Villa y Antonio Garland, poseen dispersiones superiores en las variables analizadas. Por otro lado, la

más alta homogeneidad de datos se da para los parques de Los Trovadores y Número Siete.

Tabla 3. Provisión de servicios ecosistémicos por *Ficus benjamina* y sus características estructurales en los bosques urbanos del distrito de Chorrillos.

Punto de Muestreo	Captura de C (t)			Secuestro de CO ₂ (t)			Producción de O ₂ (t)			DAP (cm)			A (m)		
	M (DE)	95% IC	CV	M (DE)	95% IC	CV	M (DE)	95% IC	CV	M (DE)	95% IC	CV	M (DE)	95% IC	CV
Parque 1 "Rosario de Villa"	1.17 (0.76)	1.80 ± 0.53	64.96%	4.27 (2.77)	6.59 ± 1.95	64.87%	3.11 (2.02)	4.79 ± 1.42	64.95%	58.14 (18.72)	73.79 ± 42.47	32.20%	13.75 (6.45)	19.14 ± 8.36	46.91%
Parque 2 "La Pérgola"	0.69 (0.14)	0.81 ± 0.57	20.29%	2.50 (0.51)	2.95 ± 2.11	20.40%	1.84 (0.37)	2.15 ± 1.53	20.11%	46.94 (4.32)	50.55 ± 43.33	9.20%	12.47 (1.77)	13.94 ± 10.99	14.19%
Parque 3 "Antonio Garland"	0.88 (0.39)	1.21 ± 0.55	44.32%	3.22 (1.44)	4.42 ± 2.02	44.72%	2.34 (1.04)	3.23 ± 1.47	44.44%	51.79 (11.28)	61.22 ± 42.35	21.78%	11.31 (1.92)	12.92 ± 9.70	16.98%
Parque 4 "Las Gaviotas"	0.68 (0.18)	0.83 ± 0.53	26.47%	2.50 (0.67)	3.06 ± 1.94	26.80%	1.82 (0.49)	2.23 ± 1.41	26.92%	46.50 (5.97)	51.50 ± 41.50	11.59%	10.11 (1.22)	11.13 ± 9.09	12.07%
Parque 5 "Los Trovadores"	0.26 (0.09)	0.33 ± 0.19	34.62%	0.95 (0.31)	1.21 ± 0.68	32.63%	0.69 (0.23)	0.88 ± 0.50	33.33%	29.73 (4.33)	33.35 ± 26.10	14.56%	7.10 (0.93)	7.88 ± 6.33	13.10%
Parque 6 "Número Siete"	0.31 (0.12)	0.41 ± 0.21	38.71%	1.13 (0.44)	1.50 ± 0.76	38.94%	0.82 (0.32)	1.09 ± 0.55	39.02%	32.08 (5.30)	36.51 ± 27.64	16.52%	10.48 (1.98)	12.13 ± 8.82	18.89%
Parque 7 "Parque Fátima"	0.46 (0.15)	0.58 ± 0.33	32.61%	1.68 (0.56)	2.15 ± 1.21	33.33%	1.22 (0.41)	1.56 ± 0.87	33.61%	38.44 (6.20)	43.62 ± 33.25	16.13%	11.08 (2.62)	13.27 ± 8.90	23.65%

Nota : n = 8; M = Media; DE = Desviación estándar; IC = Intervalo de confianza; CV = Coeficiente de variación

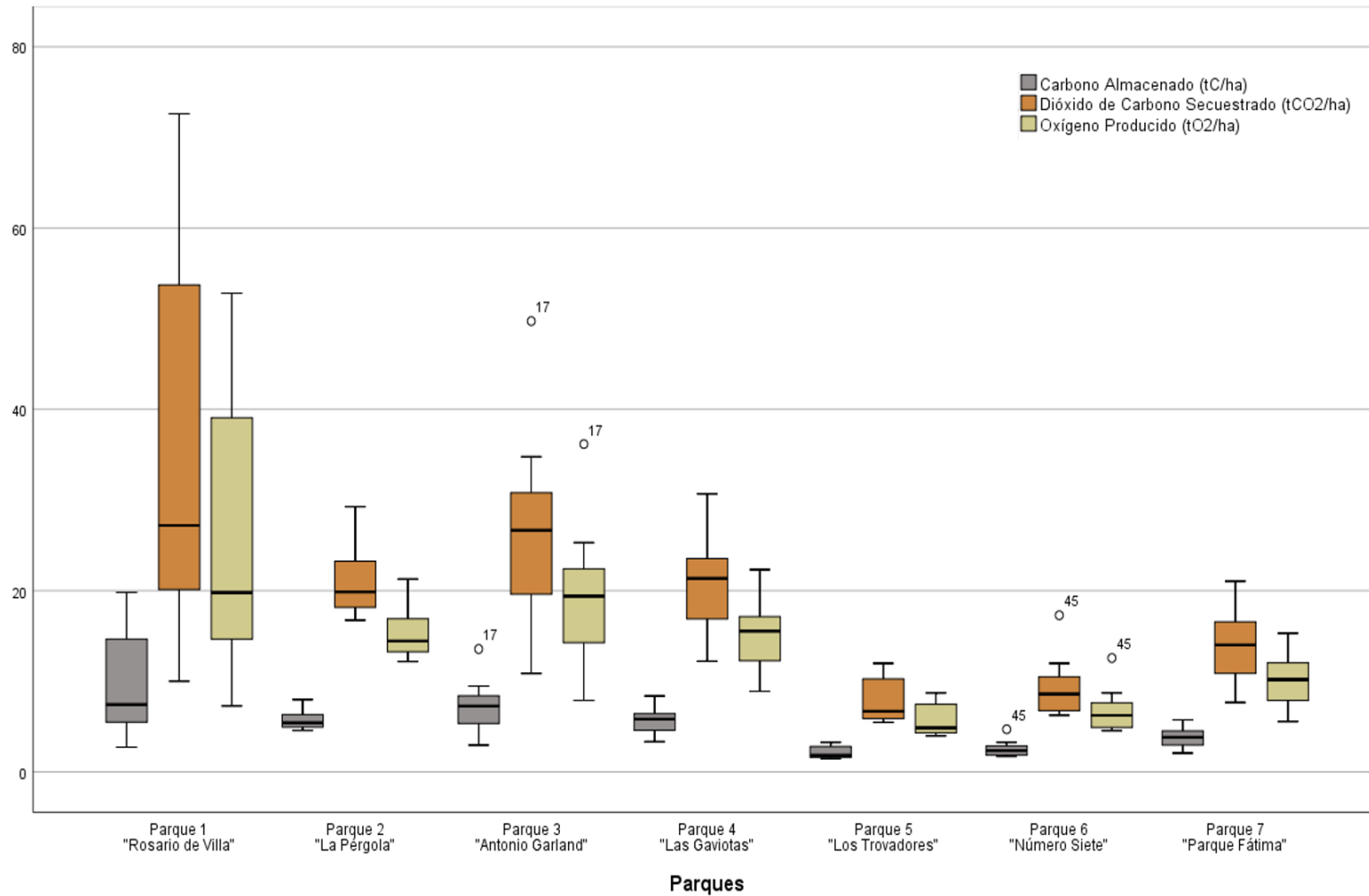


Figura 2. Densidades de C, secuestro de CO₂ y producción de O₂ en los bosques urbanos evaluados en el distrito de Chorrillos

3.3 Tratamientos de materia orgánica en *Ficus benjamina*

En la **Tabla 4**, se presentan los promedios de los parámetros estructurales referentes a los (DCR) y alturas de los individuos evaluados en los diferentes tratamientos, al término del ensayo con enmiendas de compost para *Ficus*.

Tabla 4. Parámetros estructurales de *Ficus benjamina* en diferentes concentraciones, al inicio y término de ensayo.

Tratamiento	1 ^{er} Mes		8 ^{avo} Mes	
	DCR (cm)	A (m)	DCR (cm)	A (m)
C(0%)	1.31	0.40	1.81	0.60
T1(6.25%)	1.47	0.40	2.10	0.77
T2(12.5%)	1.49	0.40	2.18	0.83
T3(25%)	1.64	0.40	2.48	0.91

Nota : D = Diámetro al cuello de la raíz; A = Altura

Los parámetros estructurales analizados evidenciaron un incremento al término del ensayo. Los DCR variaron hasta en 38.17%, 42.86%, 46.31% y 53.09% respecto a los valores iniciales para el control y los tratamientos 1 (6.25%), 2 (12.5%) y 3 (25%) respectivamente. En contraste al testigo, los individuos de *F. benjamina* para el octavo mes de estudio aumentaron sus diámetros hasta en un promedio de 0.79 cm (T1), 0.87 cm (T2) y 1.17 cm (T3). Por otra parte, las alturas de los plantones al inicio de las pruebas no se mantuvieron homogéneas y se acrecentaron hasta en 50%, 92.5%, 107.5% y 127.5% respecto a los valores en el primer mes para el control y los tratamientos 1, 2 y 3 correspondientemente. En comparación al testigo, para el final de la investigación las alturas en la especie incrementaron en un promedio de 0.37 m (T1), 0.43 m (T2) y 0.51 m (T3).

Tabla 5. Datos estadísticos de los efectos del compost a distintas concentraciones en el secuestro de C, fijación de CO₂ y producción de O₂ en los distintos componentes estructurales de *Ficus benjamina*.

Variables/Tratamientos	Hojas				Tallos				Raíces			
	M (DE)	S - W (p > 0.05)	Levene (p > 0.05)	ANOVA (p < 0.05)	M (DE)	S - W (p > 0.05)	Levene (p > 0.05)	ANOVA (p < 0.05)	M (DE)	S - W (p > 0.05)	Levene (p > 0.05)	ANOVA (p < 0.05)
Captura de C (kg)												
C (0%)	0.0140 (0.0012)	0.417			0.0221 (0.0038)	0.200			0.0141 (0.0023)	0.719		
T1 (6.25%)	0.0164 (0.0012)	0.362	0.050	0.000	0.0232 (0.0016)	0.204	0.061	0.003	0.0143 (0.0025)	0.365	0.248	0.001
T2 (12.5%)	0.0164 (0.0012)	0.690			0.0231 (0.0015)	0.350			0.0144 (0.0022)	0.921		
T3 (25%)	0.0200 (0.0031)	0.994			0.0284 (0.0050)	0.323			0.0194 (0.0037)	0.700		
Secuestro de CO₂ (kg)												
C (0%)	0.0512 (0.0043)	0.440			0.0810 (0.1394)	0.197			0.0518 (0.0086)	0.690		
T1 (6.25%)	0.0601 (0.0045)	0.340	0.051	0.000	0.0852 (0.0060)	0.240	0.065	0.003	0.0526 (0.0094)	0.374	0.254	0.001
T2 (12.5%)	0.0602 (0.0081)	0.668			0.0847 (0.0057)	0.377			0.0527 (0.0079)	0.921		
T3 (25%)	0.0733 (0.0113)	0.994			0.1043 (0.0183)	0.322			0.0713 (0.0135)	0.689		
Producción de O₂ (kg)												
C (0%)	0.0373 (0.0031)	0.459			0.0589 (0.0102)	0.192			0.0377 (0.0063)	0.687		
T1 (6.25%)	0.0437 (0.0032)	0.336	0.050	0.000	0.0620 (0.0043)	0.222	0.064	0.003	0.0382 (0.0068)	0.384	0.261	0.001
T2 (12.5%)	0.0438 (0.0059)	0.662			0.0616 (0.0042)	0.387			0.0384 (0.0058)	0.929		
T3 (25%)	0.0533 (0.0082)	0.994			0.0758 (0.0133)	0.323			0.0529 (0.0098)	0.688		

Nota : n=8; DE = Desviación estándar; M = Media; S-W = Prueba Shapiro - Wilk

Por otro lado, los resultados de secuestro de C, fijación de CO₂ y producción de O₂ en los componentes estructurales de *Ficus* disminuyen distintivamente en tallos > hojas > raíces (**Tabla 5**). La producción de biomasa aérea fue mayor que la subterránea, esto fue contrastado por las dimensiones y pesos de los vástagos, follajes y enraizamientos observados durante la toma de muestras. De este modo, la asimilación de los compuestos en los tallos fue de hasta 44.91% más que en las hojas y 55.13% más que en las raíces.

La **Tabla 5**, presenta los valores *p* consignados para las pruebas estadísticas realizadas. Se determinó que al menos un tratamiento tuvo efectos significativos respecto al secuestro de C, fijación de CO₂ y producción de O₂ de los tallos, hojas y raíces de *Ficus benjamina*. Aunque los resultados variaron, las enmiendas tuvieron beneficios a tasas de aplicación bajas, medias y altas. No obstante, la proporción del compost utilizado en los tratamientos 1 (6.25%) y 2 (12.5%) no tuvo diferencias significativas respecto al control (0%); por otro lado, el tratamiento 3 (25%), sí las tuvo comparativamente con el resto de grupos (**Tabla 6**). Las hojas de *Ficus* fueron las más sensibles al 25% de enmienda y capturaron 42.86% más C, secuestraron 43.16% más CO₂ y produjeron 42.9% más O₂ que aquellas desarrolladas solo en tierra vegetal; seguidas de las raíces con 37.59, 37.64 y 37.67% y 28.51, 28.77 y 28.69% respectivamente para los tallos. Asimismo, durante el período de evaluación, los tratamientos enriquecidos con compost presentaron mejores desarrollos respecto a los DCR y alturas de los plantones, sin embargo, en la concentración control se tuvieron indicios de compactación de suelos, clorosis y plagas.

Tabla 6. Prueba múltiple Tukey para la comparación de promedios de secuestro de C, fijación de CO₂ y producción de O₂ en hojas, tallos y raíces de *Ficus benjamina*.

Variables	Tratamientos	Hojas		Tallos		Raíces		
		Dif. medias	p - valor	Dif. medias	p - valor	Dif. medias	p - valor	
Captura de C (kg)	C (0%)	T1 (6.25%)	-0.0024	0.117	-0.0011	0.903	-0.0002	0.998
		T2 (12.5%)	-0.0024	0.112	-0.0010	0.932	-0.0003	0.996
		T3 (25%)	-0.0060	0.000*	-0.0063	0.004*	-0.0053	0.003*
	T1 (6.25%)	C (0%)	0.0024	0.117	0.0011	0.903	0.0002	0.998
		T2 (12.5%)	0.0000	1.000	0.0001	1.000	-0.0001	1.000
		T3 (25%)	-0.0036	0.009*	-0.0052	0.021*	-0.0051	0.005*
	T2 (12.5%)	C (0%)	0.0024	0.112	0.0010	0.932	0.0003	0.996
		T1 (6.25%)	0.0000	1.000	-0.0001	1.000	0.0001	1.000
		T3 (25%)	-0.0036	0.009*	-0.0053	0.017*	-0.0051	0.005*
	T3 (25%)	C (0%)	0.0060	0.000*	0.0063	0.004*	0.0053	0.003*
		T1 (6.25%)	0.0036	0.009*	0.0052	0.021*	0.0051	0.005*
		T2 (12.5%)	0.0036	0.009*	0.0053	0.017*	0.0051	0.005*
Secuestro de CO ₂ (kg)	C (0%)	T1 (6.25%)	-0.0089	0.116	-0.0042	0.904	-0.0008	0.999
		T2 (12.5%)	-0.0089	0.114	-0.0037	0.932	-0.0010	0.997
		T3 (25%)	-0.0220	0.000*	-0.0232	0.004*	-0.0196	0.003*
	T1 (6.25%)	C (0%)	0.0089	0.116	0.0042	0.904	0.0008	0.999
		T2 (12.5%)	0.0000	1.000	0.0005	1.000	-0.0002	1.000
		T3 (25%)	-0.0131	0.01*	-0.0191	0.021*	-0.0188	0.005*
	T2 (12.5%)	C (0%)	0.0089	0.114	0.0037	0.932	0.0010	0.997
		T1 (6.25%)	0.0000	1.000	-0.0005	1.000	0.0002	1.000
		T3 (25%)	-0.0131	0.010*	-0.0196	0.017*	-0.0186	0.005*
	T3 (25%)	C (0%)	0.0220	0.000*	0.0232	0.004*	0.0196	0.003*
		T1 (6.25%)	0.0131	0.010*	0.0191	0.021*	0.0188	0.005*
		T2 (12.5%)	0.0131	0.010*	0.0196	0.017*	0.0186	0.005*
Producción de O ₂ (kg)	C (0%)	T1 (6.25%)	-0.0065	0.113	-0.0030	0.905	-0.0006	0.999
		T2 (12.5%)	-0.0065	0.114	-0.0027	0.929	-0.0007	0.997
		T3 (25%)	-0.0160	0.000*	-0.0169	0.004*	-0.0142	0.003*
	T1 (6.25%)	C (0%)	0.0065	0.113	0.0030	0.905	0.0006	0.999
		T2 (12.5%)	0.0000	1.000	0.0003	1.000	-0.0002	1.000
		T3 (25%)	-0.0095	0.010*	-0.0139	0.021*	-0.0137	0.005*
	T2 (12.5%)	C (0%)	0.0065	0.114	0.0027	0.929	0.0007	0.997
		T1 (6.25%)	0.0000	1.000	-0.0003	1.000	0.0002	1.000
		T3 (25%)	-0.0096	0.009*	-0.0142	0.017*	-0.0135	0.005*
	T3 (25%)	C (0%)	0.0160	0.000*	0.0169	0.004*	0.0142	0.003*
		T1 (6.25%)	0.0095	0.010*	0.0139	0.021*	0.0137	0.005*
		T2 (12.5%)	0.0096	0.009*	0.0142	0.017*	0.0135	0.005*

Nota: * Media distintas

IV. DISCUSIÓN

La mayor provisión de servicios ecosistémicos por *F. benjamina* en el distrito de Chorrillos se dio en los bosques urbanos de Rosario de Villa (1.17 t C, 4.27 t CO₂ y 3.11 t O₂) y Antonio Garland (0.88 t C, 3.22 t CO₂ y 2.34 t O₂). Los rangos de asimilación por la especie fueron similares a los hallados en un estudio realizado en el ecosistema urbano de la Av. Separadora Industrial en La Molina, el cual determinó que *Ficus* almacenó en promedio 1.14 t C y secuestró 4.20 t CO₂ (Baca 2017). No obstante, en investigaciones

semejantes llevadas a cabo en la Av. Trapiche en Comas, se encontró que los valores son significativamente inferiores con 0.04 t C y 0.15 t CO₂ promedio (Aldana 2017). Pese a no encontrar datos específicos comparativos respecto a las producciones de O₂ para *F. benjamina*, al estar sujetos a la multiplicación de las t C asimiladas por su factor de conversión, las estimaciones de O₂ halladas en Chorrillos serían similares a las que presenta la Molina y superiores a las del distrito de Comas.

Los factores que diversificaron la asimilación de C, secuestro de CO₂ y producción de O₂ de *F. benjamina* en los distritos estudiados de Lima Metropolitana se le atribuye a: (i) la densidad de los ejemplares evaluados por ecosistema urbano (árboles/ha), (ii) sus edades, (iii) clases diamétricas y (iv) estados de conservación. A su vez, estos varían de acuerdo a la gestión municipal intrínseca en cada uno de los sitios comparados. Se puede inferir a través de la información recopilada, que la provisión de servicios ecosistémicos en el distrito de Comas fue menor debido a que las condiciones de mantenimiento en las que se desarrolla la especie son deficientes en referencia a algunos de los indicadores para el manejo de áreas verdes, sean estos: (i) signos de depredación en el ecosistema urbano, (ii) baja capacidad de carga humana sostenible, (iii) escasa proyección de inversión municipal, (iv) manejo de suelos y (v) limitada cobertura vegetal (Guerrero et al. 2007). Por otra parte, en el ecosistema urbano evaluado en la Molina y tanto en Rosario de Villa como en Antonio Garland, los aspectos en cuestión disminuyen su severidad o no forman parte de una problemática.

Conjuntamente a sus mejores estados de conservación, los bosques urbanos de Rosario de Villa y Antonio Garland son dos de los cinco más antiguos en el distrito de Chorrillos

(> 45 años), por consiguiente, se encontraron ejemplares longevos de clases diamétricas > 77 cm que almacenan hasta 1000 veces más C y secuestran 90 veces más CO₂ que aquellos individuos que poseen DAP < 8 cm en el mismo estado de crecimiento (Nowak y Crane 2002). Específicamente, en dichos parques los DAP promedio son $\geq 51.79 \pm 11.28$ cm con una alta heterogeneidad de datos (C.V $\leq 40\%$), debido a que el 10% de los analizados son DAP ≥ 77 cm (McPherson 1998). En tal sentido, *F. benjamina*, alcanzó las mayores densidades promedio en dichos ecosistemas urbanos con 9.71 ± 6.31 t C/ha, 35.59 ± 23.11 t CO₂/ha y 25.89 ± 16.81 t O₂/ha y 7.32 ± 3.26 t C/ha, 26.84 ± 11.96 t CO₂/ha y 19.52 ± 8.70 t O₂/ha; con valores máximos de DAP que oscilan entre 86.26 - 71.30 cm respectivamente. A diferencia de ecosistemas urbanos relativamente jóvenes (< 20 años) como los de Comas, en donde el 56.3% de los datos evaluados analiza DAP < 30 cm y algunos de sus individuos son producto de reforestaciones propias de planes integrales de mantenimiento de vías como el de la Av. Trapiche. Sin embargo, se reconoce que los esfuerzos de muestreo pudieron ser un motivo por el cual se encontraron valores máximos superiores en La Molina con DAP ≤ 90.91 cm.

Asimismo, los dos bosques urbanos de mejor provisión colindan con las avenidas más contaminadas por CO₂ en Chorrillos (Av. Ariosto Matellini, Paseo de la República y Defensores del Morro), esto debería de reducir su área foliar y destruir sus pigmentos; sin embargo, las adaptaciones de *Ficus benjamina* a condiciones óptimas de riego en los parques permiten que el contenido relativo de agua en la planta ayude a mantener el equilibrio fisiológico en condiciones de estrés por la contaminación del aire y facilite la actividad fotosintética a bajos rangos de luz, aumentando la tasa neta de asimilación de CO₂ en los lugares más afectados por este gas y los contenidos de clorofila (Pérez 2013).

Existen especies urbanas en Lima que comparativamente no poseen tasas significativas de captura de C, secuestro de CO₂ y producción de O₂ como *Schinus molle*, posiblemente por su baja capacidad adaptativa (Aldana 2017; Baca 2017), no obstante, algunas de origen tropical y subtropical como *Eucaliptus globulus* (2716.23 t de C/ha), *Tamarindus indica* (1929.98 t de C/ha), *Aegle marmelos* (1501.74 t de C/ha), *Areca catechu* (1481.08 t de C/ha), *Delonix regia* (1350.41 t de C/ha) y *Ficus religiosa* (1073.70 t de C/ha) (Abhijit et al., 2017), logran superar considerablemente los promedios encontrados para *F. benjamina* en áreas urbanas e incluso a un conglomerado de especies que conforman los ecosistemas urbanos en climas boreales y mediterráneos como los de Jersey City (5.02 tC/ha), Sacramento (46.91 t/ha) y Beijing (43.70 t/ha) en Estados Unidos y China respectivamente (Nowak y Crane 2002; Liu y Li 2012).

La menor provisión de servicios de regulación por *F. benjamina* se dio en los parques La Pérgola > Las Gaviotas > Parque Fátima > Número Siete > Los Trovadores. Estos poseen DAP $\leq 46.94 \pm 4.32$ cm y los tres primeros conforman el resto de los más antiguos antes mencionados. Sin embargo, los bosques urbanos de Parque Fátima y los Trovadores se caracterizan por haber sido modificados con materiales artificiales de permeabilidad limitada y contar con ejemplares en sus primeros estadios de crecimiento (< 10 años) producto de reforestaciones propias del mejoramiento de áreas verdes en el distrito, por lo que no sugieren tasas y densidades de asimilación significativas. Por otro lado, el escaso manejo de ecosistemas como el de Número Siete y La Pérgola, ha producido fragmentos de suelo desnudo y cualitativamente se ha perdido significativamente hasta un 30% de su cobertura vegetal, lo cual ha resultado en la compactación de los mismos por la alta traficabilidad de humanos y animales, afectando la conexión del ecosistema

en términos de: (i) falta de captación, infiltración y dispersión de agua y (ii) pérdida de hábitat para la biodiversidad del suelo, ralentizando ciclos de nutrientes y a su vez, la producción de biomasa en las especies que se desarrollan en el bosque urbano. Igualmente, sus bajas asimilaciones pueden deberse a falta de técnicas de mantenimiento específicas como las podas que permiten mayores flujos de C y por ende de CO₂ y O₂ (Ferreira et al. 2018).

Una de las limitantes del estudio fue la escasa información de los bosques urbanos en Chorrillos. Ante esto se hace necesario no solo la implementación de un inventario forestal, sino también estudios de fisiología vegetal para cada especie ornamental con la finalidad de conocer los efectos de la contaminación en cada una, en vista a que algunas de ellas son menos resilientes a el polvo atmosférico depositado en sus superficies foliares que disminuyen la conductancia estomatal y a gases más nocivos como el NO₂ y SO₂ (Pérez 2013). De la misma manera, el monitoreo de sus tasas de crecimiento y provisión de servicios ecosistémicos, puesto que varían localmente y pasan a disminuir su producción de O₂ para convertirse en fuentes de CO₂ urbano mientras más cerca de su muerte se encuentren (Nowak et al. 2013). La información recopilada sirve para implementar estrategias de selección de especies ornamentales y comprender que la interconexión de los parches urbanos de una sola capa de especies arbóreas con edades similares, debe de ser estratificada con especies arbustivas o hierbas para mejorar la interacción del bosque urbano y su provisión de servicios ecosistémicos (Liu y Li 2012). Al mismo tiempo, es necesario aclarar que las técnicas de mantenimiento favorecen particularmente a la asimilación de C y reducción de CO₂, mas no a la producción de O₂ y que los estudios de esta última variable no son significativos,

puesto que el mayor porcentaje de este gas ya se encuentra en la atmósfera (21%) y estos ecosistemas no son fuentes representativas (Nowak et al. 2007)

En relación a los ensayos realizados en *Ficus benjamina*, la adición de la enmienda solo benefició significativamente la producción de biomasa, captura de C, fijación de CO₂ y producción de O₂ a su dosis más alta (25%). Esto generó aumentos en los parámetros fisiológicos de crecimiento como DCR, alturas, peso seco de cada órgano y el peso total en cada plantón (**Anexo 09**). Existen estudios que de la misma manera analizan los efectos de la adición de compost en los DCR y alturas a concentraciones sucesivas en el volumen del substrato (10%, 25% y 40%) para distintas especies forestales ornamentales, comparativamente especies como *Ceratonia siliqua* y *Olea europaea* presentaron incrementos similares en dichos parámetros de hasta 23 y 30% respecto a sus DCR y 126 y 112% para sus alturas a la dosis más alta de la enmienda (40%), siendo similares a las encontradas para *F. benjamina* con 51.22 y 127.5% respectivamente (Álvarez de la Puente 2000).

Los análisis de fertilidad y calidad de materia orgánica realizados evidencian el cumplimiento de la mayoría de estándares para enmiendas según la NTC 5167 y la NCh 2880 (ICONTEC 2011; INN 2015) (**Tabla 7**). Se puede inferir que las mejores respuestas fisiológicas de crecimiento a la dosis más alta se les atribuye a los contenidos óptimos de macronutrientes en el substrato de *F. benjamina* (NPK \geq 1%). Las deficiencias en los niveles de nitrógeno (N), por lo general, representan desarrollos radiculares extensos en comparación al foliar y de vástagos, sin embargo, desempeñó un papel importante como motor de crecimiento de hojas y tallos, asimismo, permitió la correcta absorción del

resto de micronutrientes y el engrosamiento de estos últimos (DCR), a su vez, elementos como el fósforo (P) fueron esenciales para la transferencia de energía permitiendo una mayor eficiencia fotosintética, por último, los valores encontrados de potasio (K) favorecieron la síntesis de carbohidratos y proteínas y además, mejoraron el régimen hídrico de los plantones aumentando su tolerancia a los intermitentes periodos sin riego que pudieron generarse a lo largo del ensayo y al exceso de sales en la enmienda (CE = 31 dS/m), siendo *F. benjamina* una especie de tolerancia intrínseca media a estas (UC 2011; FAO 2013; Barbaro et al. 2014).

Tabla 7. Análisis de fertilidad y calidad del compost utilizado

Parámetros	Unidad	Valor	Rango establecido por la NCh 2880	Rango establecido por la NTC 5167
p H	-	8.36	5.0 - 8.5	4.0 - 9.0
Conductividad electrica	dS/m	31	< 8	*
Humedad	%	36.05	30 - 45	20 - 35
Materia orgánica	%	44.58	≥ 20	-
Relación C/N	-	14.57	10 - 25	*
Carbono orgánico	%	24.77	-	≥ 15
Nitrógeno total	%	1.7	≥ 0.5	≥ 1
Fósforo	%	2.33	-	≥ 1
Potasio	%	2.46	-	≥ 1
Calcio	%	4.14	-	**
Magnesio	%	1.06	-	**
Sodio	%	0.92	< 1	*
Ácidos fúlvicos	%	2.19	-	-
Ácidos húmicos	%	5.04	-	-
Huminas	%	36.53	-	-

Nota: - Sin Unidad/Valor; * Reporte/Sin estimados, ** Reporte solo si son < a 2% /Sin estimados

A su vez, se observó que los plantones enriquecidos con compost presentaron síntomas leves de clorosis y ataque por plagas a diferencia de los controles, específicamente, la salud de los plantones se vio comprometida por el fitófago *Toxoptera aurantii* conocido como “trips” causante de cierres foliares progresivos principalmente en brotes y además

por los hongos ectoparásitarios causantes de oídio popularmente denominado “blanquilla”. Se reconoce que la evaluación de *F. benjamina* pudo verse afectada por dichos patógenos, debido a la susceptibilidad de la misma ante los mismos y su propagación por diversos medios dentro del vivero (Narrea-Cango et al. 2013). Pese a ello, el enriquecimiento nutricional por K, aumentó la resistencia y el control de plagas en los tratamientos (6,25%, 12.5% y 25%), disminuyendo cualitativamente la cantidad de follaje afectado por dichas enfermedades (FAO 2013; Stewart-Wade 2019).

La mayor concentración de compost en el sustrato evidenció plantones lozanos de *Ficus* con mejores vigores, verdores y producciones de biomasa aérea que la subterránea, de esta manera, la captura de C, fijación de CO₂ y producción de O₂ fue mayor en tallos (0.0284 kg C, 0.1043 kg CO₂ y 0.0758 kg O₂) > hojas (0.0200 kg C, 0.0733 kg CO₂ y 0.0533 kg O₂) > raíces (0.0194 kg C, 0.0713 kg CO₂ y 0.0529 kg O₂) respecto al control de los mismos. Algunos estudios deducen que uno de los cambios fisiológicos que permite la aplicación de materia orgánica, es el incremento de la apertura estomática y de pigmentos como la clorofila y los carotenoides, lo cual permite que las tasas fotosintéticas sean mayores y por ende la provisión de dichos servicios ecosistémicos (Esteban et al. 2017; Teodoro et al. 2019). El crecimiento y producción de biomasa radicular no presentó constancia, debido a que los mejores enraizamientos de *Ficus benjamina* solo son > 61% en la época de primavera, además, los riegos paulatinos sumados a los niveles adecuados de K y su capacidad para mantener un régimen hídrico adecuado no sugirieron la extensión de sus raíces en búsqueda de agua (Soto et al. 2006; FAO 2013). No obstante, las asimilaciones de los compuestos fueron en promedio 42.97% mejor que el control en las hojas, debido a que a condiciones beneficiosas

potencia el grosor de sus hojas y su alto contenido de C en las paredes celulares, por ende, las cantidades de materia seca son mayores; es probable que esta combinación de rasgos esté asociada con su resistencia a la variedad de estrés biótico y abióticos (Veneklaas et al. 2001).

Al ser una de las primeras investigaciones que relacionan la adición de compost en suelos urbanos con las respuestas fisiológicas de crecimiento que mejoran la provisión de servicios ecosistémicos de especies forestales ornamentales en Lima, no se encontraron datos comparables para la presente sección del estudio. Lo expuesto anteriormente daría un alcance de las razones por las cuales se encontraron diferencias significativas, pese a ello, es necesaria la generación de mayor data, puesto que los datos recopilados no cubren la totalidad de las respuestas fisiológicas, siendo recomendable ahondar en otras que determinen reacciones más específicas ante la enmienda usada. Y a su vez evaluar mejores sustratos orgánicos durante periodos más largos hasta el establecimiento definitivo de los plántones en parques.

De la misma manera, es importante destacar que las condiciones en las que se desarrollan las especies urbanas son a menudo difíciles por la alta traficabilidad de personas y animales, para lo cual la fertilización orgánica con compost de buena calidad aseguraría el establecimiento y supervivencia de los ejemplares en sus primeros estadios, siendo aconsejable ejercer de la misma manera pruebas con diversas especies forestales en Lima. Esto, permite valorar las enmiendas orgánicas y fomentar planes que incluyan la segregación de residuos urbanos en el distrito, que junto a restos de maleza (producto de podas municipales y privadas) con disposiciones no normadas en el distrito

puedan ser utilizados para generar abonos propios con el cumplimiento de estándares internacionales y que permitan mejorar la calidad de aire por los ejemplares de *F. benjamina* ya establecidos en Chorrillos.

V. CONCLUSIONES

Se estimó que la captura promedio actual por *Ficus Benjamina* ejerce un rol importante en los bosques urbanos del distrito de Chorrillos, esta fluctúa de 0.26 - 1.17 t C, lo cual representa una disminución de entre 0.95 - 4.27 t CO₂ y una producción de hasta 0.69 - 3.11 t O₂. Por otro lado, los efectos de las buenas prácticas de manejo agroecológico en suelos urbanos lograron influenciar significativamente las respuestas fisiológicas de crecimiento en los distintos órganos de la especie tan solo al 25% de la concentración del compost en el sustrato, mejorando de manera efectiva su provisión de servicios ecosistémicos mediante el almacenamiento de hasta 0.02, 0.0284 y 0.0194 kg C; secuestrando 0.0733, 0.1043 y 0.0713 kg CO₂ y produciendo 0.0533, 0.0758 y 0.0529 kg O₂ en hojas, tallos y raíces respectivamente.

AGRADECIMIENTOS

El presente estudio fue financiado por los Fondos Internos de la Universidad Científica del Sur, RD N° 02-DGIDI-CIENTIFICA-2018. Asimismo, se aprecia y reconoce la colaboración brindada por parte de los miembros del vivero M&C y al equipo técnico participe en la implementación del proyecto.

REFERENCIAS / LITERATURE CITED

- Abhijit M, Ray Tanmay Ray C, Nabonita P, Sufia Z, Ankita M. 2017. Oxygen Generation by Dominant Urban Trees: A Case Study from Konnagar Municipality, West Bengal, India. *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research*. 1 (1):49–57.
- Aguaron E, McPherson EG. 2012. Comparison of Methods for Estimating Carbon Dioxide Storage by Sacramento's Urban Forest. *Carbon Sequestration in Urban Ecosystems*. Ohio, Estados Unidos de Norteamérica, *Springer*. p. 43–47.
- Aguirre Z, Quizhpe W. 2018. Estimación del carbono acumulado en una parcela permanente de bosque andino en el parque universitario Francisco Vivar Castro, Loja, Ecuador. *Arnaldoa*. 25 (3):939–952.
- Aldana R. 2017. Equilibrio entre el CO₂ del ambiente y CO₂ capturado por biomasa de especies forestales ornamentales y en el suelo en la Av. Trapiche, Comas 2017 [tesis]. Comas (LIM, PE): Universidad César Vallejo.
- Ali R, Bakhsh K, Yasin M. 2019. Impact of urbanization on CO₂ emissions in emerging economy: Evidence from Pakistan. *Sustainable Cities and Society*. 48: 101553.
- Álvarez de la Puente JM. 2000. Procesos de co-compostaje y su aplicación en paisajismo, reforestación, cultivos forestales y agrícolas en Andalucía. XXVIII Conferencia Anual Tratamiento biológico de residuos. Sevilla (España): Empresa de Gestión Medioambiental (EGMASA).
- Álvarez J, Agredo G. 2013. Pérdida de la cobertura vegetal y de oxígeno en la montaña del trópico andino, caso cuenca urbana San Luis (Manizales). *Revista Luna Azul*. 37, 30–48.
- Álvarez PP, Santiago CA. 2006. Ausencia de biotoxina Domoico en los Pantanos de Villa, Chorrillos, Perú. *Ecología Aplicada*. 5 (1,2):165–170.
- Astiaso D. 2017. Green areas management and bioengineering techniques for improving urban ecological sustainability. *Sustainable Cities and Society*. 30, 108–117.
- Baca JE. 2017. Captura de dióxido de carbono (CO₂) de especies forestales como mecanismo de compensación ambiental en una vía de alta presión vehicular (Avenida separadora Industrial) - Lima 2017 [tesis]. (LIM, PE): Universidad César Vallejo.
- Banco de Desarrollo de América Latina (CAF). 2014 a. Índice de vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en la región de América Latina y El Caribe. Caracas (Venezuela): CAF. 211 p.
- Banco de Desarrollo de América Latina (CAF). 2014 b. Reporte de Síntesis. *Proyecto Huella de Ciudades*. La Paz-Quito-Lima, La Paz: Alianza Clima y Desarrollo.

- Barbaro L, Karlanian M, Mata D. 2014. Importancia del pH y la conductividad eléctrica (CE) en los sustratos para plantas. Buenos Aires (Argentina).
- Bardescu L, Legendi A. 2015. Carbon dioxide –significant emission sources and decreasing solutions. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 180, 1122–1128.
- Baró F, Haase D, Gómez-Baggethun E, Frantzeskaki N. 2015. Mismatches between ecosystem services supply and demand in urban areas: A quantitative assessment in five European cities. *Ecological Indicators*. 55, 146–158.
- Barrett B, Charles JW, Temte JL. 2015. Climate change, human health and epidemiological transition. *Preventive Medicine*. 70, 69–75.
- Begazo K, Jave J. 2018. Estimación de la biomasa aérea total y por componente estructural en especies arbóreas de Lima, Perú. *Revista Forestal del Perú*. 33 (1):76–90.
- Benjamín JA, Masera O. 2001. Captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosques*. 7 (1):3–12.
- Boukili VKS, Bebbber DP, Mortimer T, Venicx G, Lefcourt D, Chandler M, Eisenberg C. 2017. Assessing the performance of urban forest carbon sequestration models using direct measurements of tree growth. *Urban Forestry & Urban Greening*. 24, 212–221.
- Brack CL. 2002. Pollution mitigation and carbon sequestration by an urban forest. *Environmental Pollution*. 116, 195–200.
- Brown S. 1997. Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests: a Primer. (FAO Forestry Paper - 134). Department of Natural Resources and Environmental Sciences, University of Illinois, Urbana (Illinois/USA): A Forest Resources Assessment publication.
- Bustos-Ulloa D, Morales-Rangel A, Cambrón-Sandoval VH, Ledesma-Colunga MC. 2015. Estimación de la capacidad de captura de carbono de la vegetación del Parque Nacional “El Cimatarío, Querétaro”. *DIGITAL CIENCIA@UAQRO* .1–11.
- Cabudivo K. 2017. Secuestro de CO₂ y producción de oxígeno en árboles urbanos de la Av. Abelardo Quiñones - Distrito San Juan Bautista, Loreto - Perú, 2016 [tesis]. Iquitos (LO, PE): Universidad Nacional de la Amazonía Peruana.
- Camargo Y, Vélez A. 2009. Emisiones de biogás producidas en rellenos sanitarios. II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos. 24 y 25 de septiembre de 2009. Barranquilla. Colombia: Universidad del Norte.
- Camero-Campos J, Carvajal-Cazola C, Ulloa-Rubio K, Ríos-Velasco C, Berlanga-Reyes D, Robles-Bermúdez A, Santillán-Ortega C. 2012. Entomófagos y efectividad de hongos entomopatógenos en *Gynaikothrips uzeli* (Thysanoptera: Phlaeothripidae)

en *Ficus benjamina* (Moraceae). *Revista Mexicana de Ciencia Agrícolas*. 3 (4):765–770.

Carrus G, Scopelliti M, Laforteza R, Colangelo G, Ferrini F, Salbitano F, Agrimi M, Portoghesi L, Semenzato P, Sanesi G. 2015. Go greener, feel better? The positive effects of biodiversity on the well-being of individuals visiting urban and peri-urban green areas. *Landscape and Urban Planning*. 134, 221–228.

Chavé J, Andalo C, Brown S, Cairns MA, Chambers JQ, Eamus D, Fölster H, Fromard F, Higuchi N, Kira T, Lescure JP, Nelson BW, Ogawa H, Puig H, Riéra B, Yamakura T. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*. 145, 87–99.

Chen WY, Wang DT. 2013. Economic development and natural amenity: An econometric analysis of urban green spaces in China. *Urban Forestry & Urban Greening*. 12 (4):435–442.

Comisión Económica para América Latina y El Caribe (CEPAL). 2016. Vulnerabilidad y adaptación de las ciudades de América Latina al cambio climático. Santiago (Chile): Documentos de Proyectos EUROCLIMA. 81 p

Conolly RY, Correa CA. 2007. Cuantificación de la captura y almacenamiento de carbono en el sistema agroforestal y forestal en seis sitios de cuatro municipios de Nicaragua [tesis]. Managua, (MN, NI):72 p.

Conway TM, Almas AD, Coore D. 2019. Ecosystem services, ecological integrity, and native species planting: How to balance these ideas in urban forest management?. *Urban Forestry & Urban Greening*. 41, 1–5.

Devi R. 2017. Carbon storage by trees in urban parks: A case study of Jammu, Jammu and Kashmir, India. *International Journal of Advanced Research and Development*. 2 (4):250–253.

Douterlungne D, Herrera-Gorocica AM, Ferguson BG, Siddique Ilyas, Soto-Pinto Lorena. 2013. Ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono de cuatro especies leñosas neotropicales con potencial para la restauración. *Agrociencia*. 47 (4):385–397.

Duryea ML, Kamp, E, Littell RC, Rodríguez-Pedraza CD. 2007. Hurricanes and the urban forest: II. Effects on tropical and subtropical tree species. *Arboriculture and Urban Forestry*. 33 (2):98–112.

Escobedo F, Varela S, Zhao M, Wagner JE, Zipperer W. 2010. Analyzing the efficacy of subtropical urban forests in offsetting carbon emissions from cities. *Environmental Science and Policy*. 13, 362–372.

- Esteban W, Pacheco P, Angel, Y, Bastías E. 2017. Efecto de la incorporación de materia orgánica en la respuesta fisiológica y química de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cultivadas en condiciones de salinidad y exceso de boro. *Idesia (Arica)*, 35(2), 33-39.
- Fernández-Herrera E, Moreno-Salazar SF, Rentería-Martínez ME, Atarria-Castro AA, Villar-Luna E. 2017. *Neoscytalidium dimidiatum*: causal agent of dieback in *Ficus benjamina* L. in Mexico. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 23 (3):83–90.
- Ferreira CSS, Walsh RPD, Ferreira AJD. 2018. Degradation in Urban Areas. *Current Opinion in Environmental Science & Health*. 5, 19–25.
- Franchini M, Mannucci PM. 2015. Impact on human health of climate changes. *European Journal of Internal Medicine*. 26, 1-5.
- Francis JK. 2004. Tropical Ecosystems/*Ficus* spp. (and other important Moraceae). Encyclopedia of Forest Sciences. San Juan (PR/USA): Elsevier Ltd. p. 1699–1704.
- Fu D, Bu B, Wu J, Prasad R. 2018. Investigation on the carbon sequestration capacity of vegetation along a heavy traffic load expressway. *Journal of Environmental Management*. 241 (1):549–557.
- Fung CKW, Jim CY. 2019. Microclimatic resilience of subtropical woodlands and urban-forest benefits. *Urban Forestry & Urban Greening*. 42: 100–112.
- Gaig P, Bartolomé B, Enrique E, García-Ortega P, Palacios R. 1999. Hipersensibilidad a *Ficus benjamina*. *Alergol Inmunol Clin*. 14 (4):212–217.
- Gallarday T, Vásquez JR. 2016. Resistencia de los estratos de suelos cuaternarios a las cargas estáticas en el malecón Grau, distrito de Chorrillos - Lima. *Revista del Instituto de Investigación, FIGMMG-UNMSM*. 19 (38):29–33.
- García A, Laurín M, Llosá MJ, González V, Sanz MJ, Porcuna JL. 2006. Contribución de la agricultura ecológica a la mitigación del cambio climático en comparación con la agricultura convencional. *Agroecología*. 1, 75–88.
- García-García MJ, Sánchez-Medina A, Alfonso-Corzo E, Gonzalez C. 2016. An index to identify suitable species in urban green areas. *Urban Forestry & Urban Greening*. 16, 43–49.
- Garrido F, Bravo F, Ordoñez C. 2009. Evaluación del CO₂ fijado por el arbolado urbano en la ciudad de Palencia. S.E.C.F.- Junta de Castilla y León. Montes y sociedad: Saber qué hacer. 5º Congreso Forestal Español; 21 - 25 de setiembre 2009; Ávila. (España): Sociedad Española de Ciencias Forestales. 8 p.
- Gayoso J, Guerra, J. 2005. Contenido de carbono en la biomasa aérea de bosques nativos en Chile. *Bosque*. 26 (2):33–38.

- Gómez-Díaz JD, Etchevers-Barra JD, Monterrosos-Rivas AI, Campo-Alvez J, Tinoco-Rueda JA. 2011. Ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Quercus magnoliaefolia*. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 17 (2):261–272.
- Gratani L, Varone L, Bonito A. 2016 a. Carbon sequestration of four urban parks in Rome. *Urban Forestry & Urban Greening*. 19 (1):184–193.
- Gratani L, Catoni R, Puglietti G, Varone L, Crescente MF, Sangiorio S, Lucchetta F. 2016 b. Carbon dioxide (CO₂) sequestration and air temperature amelioration provided by urban parks in Rome. *Energy Procedia*. 101, 408–415.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). 2014. Cambio climático 2014: Informe de Síntesis. Ginebra (Suiza): Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. 157 p.
- Guillén G, Morales E, Severino R. 2003. Adiciones a la fauna de protozoarios de los Pantanos de Villa, Lima, Perú. *Revista Peruana de Hidrología*. 10 (2):175–182.
- Guerrero E, García Huber S, Culós G. 2007. Indicadores ambientales en la gestión de espacios verdes. El parque Cerro La Movediza. Tandil, Argentina. *Espacios*. 28 (1), 17 - 19.
- Guzmán R, Barreno E, Medina R. 2016. Sistema de Información de emisiones de CO₂. *Interfases*. 9, 117–147.
- Haas G, Köpke U. 1994. Vergleich der Klimarelevanz ökologischer und konventioneller Landwirtschaft. In Enquete Kommission Schutz der Erdatmosphäre des Deutschen Bundestages (ed): Schutz der Grünen Erde, Klimaschutz durch umweltgerechte Landwirtschaft und Erhalt der Wälder. Bonn, Economica Verlag 92–196.
- Hamada S, Tanaka T, Ohta T. 2013. Impacts of land use and topography on the cooling effect of green areas on surrounding urban areas. *Urban Forestry & Urban Greening*. 12 (4):426–434.
- Huo T, Li X, Cai W, Zuo J, Jia F, Wei H. 2020. The impact of urbanization on urban building carbon emissions in China: An empirical study based on provincial panel data. *Sustainable Cities and Society*. 50.
- Ibarra-Manríquez G, Cornejo-Tenorio G, González-Castañeda N, Piedra-Malagón, Luna A. 2012. El género *Ficus* L. (Moraceae) en México. *Botanical Sciences*. 90 (4):389–452.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). 2011. Norma Técnica Colombiana (NTC) 5167. Productos para la industria agrícola. Productos

orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo. Segunda actualización. Bogotá (Colombia) .

- Instituto Nacional de Normalización. 2015. Norma Chilena (NCh) 2880. Compost - Requisitos y clasificación. Santiago (Chile).
- Jayasooriya VM, Ng AWM, Muthukumaran S, Perera BJC. 2016. Green Infrastructure Practices for Improvement of Urban Air Quality. *Urban Forestry and Urban Greening*. 21, 34–47.
- Jim CY, Chen WY. 2009. Ecosystem services and valuation of urban forests in China. *Cities*. 26, 187–189.
- Jim CY, Liu H. 2001. Species diversity of three major urban forest types in Guangzhou City, China. *Forest Ecology and Management*. 146, 99–114.
- Khoshtaria TK, Chachava NT. 2017. The planning of urban green areas and its protective importance in resort cities (case of Georgian resorts). *Annals of Agrarian Science*. 15 (2):217–223.
- Koerner B, Klopatek J. 2002. Anthropogenic and natural CO₂ emission sources in an arid urban environment. *Environmental Pollution*. 116, S45–S51.
- Lacasta AM, Penaranda A, Cantalapiedra IR, Auguet C, Bures S, Urrestarazu M. 2016. Acoustic evaluation of modular greenery noise barriers. *Urban Forestry & Urban Greening*. 20 (1):172–179.
- Lafontaine-Messier M, Gélinas N, Olivier A. 2016. Profitability of food trees planted in urban public green areas. *Urban Forestry & Urban Greening*. 16, 197–207.
- Lamela A, Moliní F, Salgado M. 2011. En búsqueda de unas recomendaciones urbanísticas mundiales de densidad y espacios verdes. *Nimbus*. 27-18, 95–118.
- Lehmann LM, Lysák M, Schafer L, Henriksen CB. 2019. Quantification of the understory contribution to carbon storage in a peri-urban temperate food forest. *Urban Forestry & Urban Greening*. 45.
- Lima Cómo Vamos. 2014. ¿Cómo vamos en Lima y Callao? Quinto Informe de Indicadores sobre Calidad de Vida. Lima (Perú): IO-PUCP. N°. 9. p 1- 101.
- Lima Cómo Vamos. 2018. ¿Cómo vamos en Lima y Callao? Noveno Informe de Indicadores sobre Calidad de Vida. Lima (Perú): IO-PUCP. N°. 9. p 1 - 10.
- Lindén L, Riikonen A, Setälä H, Yli-Pelkonen V. 2020. Quantifying Carbon Stocks in urban parks under cold climate conditions. *Urban Forestry & Urban Greening*. 49, 126633.

- Liu C, Li X. 2012. Carbon storage and sequestration by urban forests in Shenyang, China. *Urban Forestry and Urban Greening*. 11 (2):121–128.
- Loh FCW, Grabosky JC, Bassuk NL. 2003. Growth response of *Ficus benjamina* to limited soil volume and soil dilution in skeletal soil container study. *Urban Forestry and Urban Greening*. 2, 53–62.
- Macedo JL. 2015. Inventario de la entomofauna asociada a *Ficus benjamina* L. y *Ficus microcarpa* L.f. (Urticales: Moraceae) en la provincia de Lima [tesis]. (LIM, PE): Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Martínez MI. 2011. Interconexión de las áreas verdes en áreas urbanas. Estudio de caso: Urbanización de los Cedros de Villa 1° Etapa - Distrito Chorrillos, Lima [tesis]. Chorrillos (LIM, PE): Pontificia Universidad Católica del Perú.
- McPherson EG. 1998. Atmospheric Carbon Dioxide Reduction By Sacramento's Urban Forest. *Journal of Arboriculture*. 24(4): 215 - 223
- McPherson EG, Simpson JR 1999. Carbon dioxide reduction through urban forestry: Guidelines for professional and volunteer tree planters. Gen. Tech. Rep. PSWGTR-171. Albany, CA: Pacific Southwest Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture; 237 p.
- Merino K. 2017. Retención de polvo atmosférico sedimentable en las especies *Ficus benjamina* y *Schinus terebinthifolius* en las zonas residencial y comercial de la Avenida Brasil – Pueblo Libre 2017 [tesis]. Pueblo Libre (LIM, PE): Universidad César Vallejo.
- Millward AA, Sabir S. 2011. Benefits of a forested urban park: What is the value of Allan Gardens to the city of Toronto, Canada. *Landscape and Urban Planning*. 100 (3):177–188.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS). 2010. Microzonificación sísmica del distrito de Chorrillos. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres. 48 p.
- Ministerio del Ambiente (MINAM). 2016. El Perú y el Cambio Climático. Lima (Perú). N° 3. 326 p.
- Mitra A, Ray Chaudhuri T, Pal N, Zaman S, Mitra A. 2017. Oxygen Generation by Dominant Urban Trees: A Case Study from Konnagar Municipality, West Bengal, India. *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research*. 1 (1):49–57.
- Municipalidad de Chorrillos. 2016. Plan Desarrollo Concertado 2017-2021. Lima (Perú): Municipalidad de Chorrillos.

- Nagase A, Dunnett N. 2011. The relationship between percentage of organic matter in substrate and plant growth in extensive green roofs. *Landscape and Urban Planning*. 103 (2):230–236.
- Narrea-Cango M, Vergara-Cobián C, Malpartida-Cevallos J. 2013. Insectos fitófagos asociados a *Ficus benjamina* L. y *A. F. microcarpa* L. (Urticales: Moraceae) en Lima, Perú. *Ecología Aplicada*. 12 (2):67–74.
- Návar-Cháidez J, Rodríguez-Flores F, Domínguez- Calleros PA. 2013. Ecuaciones alométricas para árboles tropicales: Aplicación al inventario forestal de Sinaloa, México. *Agronomía Mesoamericana*. 24 (2):347–356.
- Nowak DJ, Crane DE. 2002. Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA. *Environmental Pollution*. 116, 381–389.
- Nowak DJ, Greenfield EJ, Hoehn RE, Lapoint E. 2013. Carbon storage and sequestration by trees in urban and community areas of the United States. *Environmental Pollution*. 178 (2013):229–236.
- Nowak DJ, Hoehn R, Crane DE. 2007. Oxygen Production by Urban Trees in the United States. *Arboriculture & Urban Forestry*. 33 (3):220–226.
- Ordóñez C, Threlfall CG, Livesley SJ, Kendal D, Fuller RA, Davern M, van der Reea R, Hochuli DF. 2020. Decision-making of municipal urban forest managers through the lens of governance. *Environmental Science and Policy*. 104, 136–147.
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA). 2013. Monitoreo de ruido ambiental en el distrito de Chorrillos - Lima. Lima (Perú): Ministerio del Ambiente (MINAM). No. 699. 10 p.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2013. Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina. Santiago (Chile).E-ISBN 978-92-5-307845-5.
- Othman R, Noor NFM, Hassim KSH, Yaman M, Abdullah F, Suid S. 2016. Assessment of Urban Park Landscape Setting Design Towards Carbon Sequestration Rate. *The Total Sciences*. 11 (2):4918–4923.
- Pasher J, McGovern M, Khoury M, Duffe J. 2014. Assessing carbon storage and sequestration by Canada's urban forests using high resolution earth observation data. *Urban Forestry & Urban Greening*. 13 (3):484–494.
- Peña-García LE, Marciel-Flores R, Rosas-Elguera J. 2017. Presencia de metales pesados en hojas de *Ficus benjamina* en la zona metropolitana de Guadalajara, México. *Revista de Operaciones Tecnológicas*. 1 (2):27–32.
- Pérez DI. 2013. Evaluación de la respuesta fisiológica de *Ficus (Ficus benjamina L.)* al CO₂ atmosférico [tesis]. (JC, MEX): Universidad de Guadalajara.

- Piedra-Malagón EM, Ramírez R. 2006. El género *figus* (Moraceae) en el Estado de Morelos, México. *Acta Botánica Mexicana*. 75, 45–75.
- Pimienta-Barrios E, Robles-Murguía C, Carvajal S, Muñoz-Urias A, Martínez-Chávez C, de León-Santos S. 2014. Servicios ambientales de la vegetación en ecosistemas urbanos en el contexto del cambio climático. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 5 (22):26–39.
- Pincetl S. 2017. Cities in the Age of the Anthropocene: Climate Change Agents and the Potential for Mitigation. *Anthropocene*. 20, 47–82.
- Pollack LE, Rodríguez EF, Gutierrez J, Mora M. 2018. Aves silvestres asociadas a la flora urbana del distrito de Trujillo, región La Libertad, Perú, 2016-2017. *Arnaldoa*. 25 (1) 241–272.
- Pretzsch H, Biber P, Uhl E, Dahlhausen J, Rötzer T, Caldentey J, Koike T, van Con T, Chavanne A, Seifert T, du Toit B, Farnden C, Pauleit S. 2015. Crown size and growing space requirement of common tree species in urban centres, parks, and forests. *Urban Forestry & Urban Greening*. 14 (3):466–479.
- Pretzsch H, Biber P, Uhl E, Dahlhausen J, Schütze G, Perkins D, Rötzer T, Caldentey J, Koike T, van Con T, Chavanne A, du Toit B, Foster K, Lefer B. 2017. Climate change accelerates growth of urban trees in metropolises worldwide. *Scientific Reports*. 7:15403.
- Putman WM, Ott L, Darmenov A, daSilva A. 2016. A global perspective of atmospheric carbon dioxide concentrations. *Parallel Computing*. 55, 2–8.
- Qiu T, Song C, Zhang Y, Liu H, Vose J. 2020. Urbanization and climate change jointly shift land surface phenology in the northern mid-latitude large cities. *Remote Sensing of Environment*. 236, 111477.
- Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21). 2019. Renewables in Cities 2019 Global Status Report. París (Francia). 135 p.
- Reyes G, Brown S, Chapman J, Lugo AE. 1992. Wood Densities of Tropical Tree Species. New Orleans (LA/USA): United States Department of Agriculture. 15 p.
- Richnau G, Brunet J, Nielsen AB, Wiström B. 2016. Planting clonal shade-tolerant herbs in young urban woodlands—Effects of compost on plant growth, flowering and survival. *Urban Forestry & Urban Greening*. 17 (1):158–165.
- Riolo, F. 2018. The social and environmental value of public urban food forests: The case study of the Picasso Food Forest in Parma, Italy. *Urban Forestry & Urban Greening*. 45.

- Rivera LM. 2014. Los parques urbanos como indicadores de calidad de vida, símbolos de bienestar y espacios de uso recreativo: una investigación en Bucaramanga (Colombia). *Universidad & Empresa*. 17 (27):215–237.
- Rodríguez Y, Ajete A, Orta S, Rondón D, Rivera J. 2018. Comportamiento del carbono retenido en el arbolado urbano en el sur de la ciudad de Guantánamo. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*. 6 (3):284–299.
- Rügnitz MT, Chacón ML, Porro R. 2009. Guía para la Determinación de Carbono en Pequeñas Propiedades Rurales. Lima (Perú): Centro Mundial Agroforestal (ICRAF), *Consorcio Iniciativa Amazônica*. (IA). 79 p.
- Russo A, Escobedo FJ, Timilsina N, Zerbe S. 2015. Transportation carbon dioxide emission offsets by public urban trees: A case study in Bolzano, Italy. *Urban Forestry & Urban Greening*. 14 (2):398–403.
- Sæbø A, Ferrini F. 2006. The use of compost in urban green areas – A review for practical application. *Urban Forestry & Urban Greening*. 4, 159–169.
- Salahuddin M, Gow J, Ali MI, Hossain MR, Al-Azami KS, Akbar D, Gedikli A. 2019. Urbanization-Globalization-CO₂ emissions nexus revisited: empirical evidence from South Africa. *Heliyon*. 5 (6) e01974.
- Sánchez-León E, Castro T, Peralta O, Álvarez-Ospina H, Espinoza M, Martínez-Arroyo. 2016. Estimated carbon dioxide exchange for three native species in an ecological reserve of Mexico City. *Atmósfera*. 29 (3)189–196.
- Santoyo-Gómez GH, Rojas-García F, Benavides-Meza HM. 2014. Ecosistemas Terrestres. In: Paz F, Wong J. *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo de Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2014*. Programa Mexicano del Carbono. 182 p.
- Schram-Bijkerk D, Otte P, Dirven L, Breure AM. 2018. Indicators to support healthy urban gardening in urban management. *Science of the Total Environment*. 621, 863–871.
- Setälä H, Francini G, Allen JA, Jumpponen A, Hui N, Kotze DJ. 2017. Urban parks provide ecosystem services by retaining metals and nutrients in soils. *Environmental Pollution*. 231 (1):451–461.
- Song XP, Tan PY, Edwards P, Richards D. 2018. The economic benefits and costs of trees in urban forest stewardship: A systematic review. *Urban Forestry & Urban Greening*. 29, 162–170.
- Sotamenou J, Parrot L. 2013. Sustainable urban agriculture and the adoption of composts in Cameroon. *International Journal of Agricultural Sustainability*. 11 (3):283–295.
- Soto, LE. 2006. Efecto de diferentes dosis de AIB sobre el enraizamiento de *Ficus benjamina* L. en diferentes épocas del año. *Ra Ximhai*. 2 (3):795–814.

- Stoffberg GH, van Rooyen MW, van der Linde MJ, Groeneveld HT. 2010. Carbon sequestration estimates of indigenous street trees in the City of Tshwane, South Africa. *Urban Forestry & Urban Greening*. 9, 9–14.
- Stewart-Wade SM. 2019. Efficacy of organic amendments used in containerized plant production: Part 1 – Compost-based amendments. *Scientia Horticulturae*. 266: 108856.
- Tang YJ, Chen AP, Zhao SQ. 2016. Carbon Storage and Sequestration of Urban Street Trees in Beijing, China. *Frontiers in Ecology and Evolution*. 4:53.
- Teodoro M, Trakal L, Gallagher BN, Šimek P, Soudek P, Pohořelý M, Beesley L, Jačka L, Kovář M, Seyedsadr M, Mohan D. 2019. Application of co-composted biochar significantly improved plant-growth relevant physical/chemical properties of a metal contaminated soil. *Chemosphere*. 242, 125–255.
- The National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA) Earth System Research Laboratories (ESRL). 2020. The NOAA Annual Greenhouse Gas Index (AGGI). Denver (CO, USA). [Acceso 2020 Jul 24]. <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/global.html>
- Timilsina N, Staudhammer CL, Escobedo FJ, Lawrence A. 2014. Tree biomass, wood waste yield, and carbon storage changes in an urban forest. *Landscape and Urban Planning*. 127: 18–27.
- Universidad de Caldas (UC). 2011. Sistemas de producción vegetal II - Proyecto UNICA. Primera edición. Manizales (Caldas, Colombia).
- Vargas-Garzón B, Molina-Prieto LF. 2010. Cinco árboles urbanos que causan daños severos en las ciudades. *Revista Nodo*. 5 (9):115–126.
- Vargas-Gómez O, Molina-Prieto LF. 2020. Arborizaciones urbanas: estrategia para mitigar el calentamiento global. *Revista Nodo*. 8 (16): 99–108.
- Vásquez, AE. 2016. Infraestructura verde, servicios ecosistémicos y sus aportes para enfrentar el cambio climático en ciudades: el caso del corredor ribereño del río Mapocho en Santiago de Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*. 63: 63-86.
- Velasco E, Chen KW. 2019. Carbon storage estimation of tropical urban trees by an improved allometric model for aboveground biomass based on terrestrial laser scanning. *Urban Forestry & Urban Greening*. 44, 126–387.
- Velasco E, Roth M, Norford L, Molina LT. 2016. Does urban vegetation enhance carbon sequestration?. *Landscape and Urban Planning*. 148, 99-107.
- Velasco E, Roth M. 2010. Cities as Net Sources of CO₂: Review of CO₂ Atmospheric Exchange in Urban Environments Measured by Eddy Covariance Technique. *Geography Compass*. 4, 1238–1259.

- Veneklaas EJ, Santos Silva MPRM, den Ouden F. 2002. Determinants of growth in *Ficus benjamina* L. compared to related faster-growing woody and herbaceous species. *Scientia Horticulturae*. 93: 75–84.
- Vera LN, Ramírez ML, Pértile VC. 2017. Disponibilidad de espacios verdes en la ciudad de resistencia: Estudio mediante la aplicación de sistemas de información geográfica. VII Seminario de Políticas Urbanas, Gestión Territorial y Ambiental para el Desarrollo Local, Ecuador: IPUR - BAT.
- Villalobos KK, Suárez EM, Yauli GG, Manta MI. 2014. Evaluación fitosanitaria de árboles ornamentales en la Av. Monte de los Olivos, distrito de Surco, Lima. *Xilema*. 27, 33–42.
- Walther BA, Geier J, Chou LS, Bain A. 2017. The figs of winter: Seasonal importance of fruiting fig trees (*Ficus*: Moraceae) for urban birds. *Acta Oecologica*. 90, 28–34.
- Wang Y, Kotze DJ, Vierikko K, Niemelä J. 2019. What makes urban greenspace unique – relationships between citizens’ perceptions on unique urban nature, biodiversity and environmental factors. *Urban Forestry & Urban Greening*. 42, 1–9.
- Watts G. 2017. The effects of “greening” urban areas on the perceptions of tranquillity. *Urban Forestry & Urban Greening*. 26,11–17.
- Weissert LF, Salmond JA, Schwendenmann L. 2014. A review of the current progress in quantifying the potential of urban forests to mitigate urban CO₂ emissions. *Urban Climate*. 8, 100–125.
- Whittinghill LJ, Rowe DB, Schutzki R, Cregg BM. 2014. Quantifying carbon sequestration of various green roof and ornamental landscape systems. *Landscape and Urban Planning*. 123, 41–48.
- World Meteorological Organization (WMO). 2018. The State of Greenhouse Gases in the Atmosphere Based on Global Observations through 2017. Geneva (Switzerland): World Meteorological Organization, Global Atmosphere Watch. No. 14.
- World Meteorological Organization (WMO). 2019. The State of Greenhouse Gases in the Atmosphere Based on Global Observations through 2018. Geneva (Switzerland): World Meteorological Organization, Global Atmosphere Watch. No. 15.
- Xu Q, Dong Y, Yang R. 2018. Urbanization impact on carbon emissions in the Pearl River Delta region: Kuznets curve relationships. *Journal of Cleaner Production*. 180, 514–523.
- Yoon TK, Park CW, Lee SJ, Ko S, Kim KN, Son Y, Lee KH, Oh S, Lee WK, Son Y. 2013. Allometric equations for estimating the aboveground volume of five common urban street tree species in Daegu, Korea. *Urban Forestry & Urban Greening*. 12 (3):344–349.

Zhang W, Zhou T. 2019. Increasing impacts from extreme precipitation on population over China with global warming. *Science Bulletin*. 65 (30):243–252.

Zhao M, Escobedo F, Staudhammer, C, 2010. Spatial patterns of a subtropical, coastal urban forest: implications for land tenure, hurricanes, and invasives. *Urban Forestry and Urban Greening*. 9, 205–214.

ANEXOS

Anexo 01. Evidencia de envío a revista científica Arboriculture and Urban Forestry

11/1/2021

ScholarOne Manuscripts

 Arboriculture & Urban Forestry

 Home

 Author

 Review

Submission Confirmation

 Print

Thank you for your submission

Submitted to

Arboriculture & Urban Forestry

Manuscript ID

AUF-21-0002

Title

Effects on the physiological responses in *Ficus benjamina* by the incorporation of organic matter for the optimization of its current ecosystem services provision in Chorrillos

Authors

Aguilar-Tello, Alisson

Date Submitted

11-Jan-2021

Author Dashboard

<https://mc.manuscriptcentral.com/auf>

1/2

11/1/2021

ScholarOne Manuscripts

© Clarivate Analytics | © ScholarOne, Inc., 2021. All Rights Reserved.
ScholarOne Manuscripts and ScholarOne are registered trademarks of ScholarOne, Inc.
ScholarOne Manuscripts Patents #7,257,767 and #7,263,655.

[@ScholarOneNews](#) | [System Requirements](#) | [Privacy Statement](#) | [Terms of Use](#)

<https://mc.manuscriptcentral.com/auf>

2/2

11/1/2021

Gmail - Arboriculture & Urban Forestry - Manuscript ID AUF-21-0002



Alisson Aguilar <aaguilartello@gmail.com>

Arboriculture & Urban Forestry - Manuscript ID AUF-21-0002

1 mensaje

Arboriculture & Urban Forestry <onbehalf@manuscriptcentral.com>

11 de enero de 2021 a las 15:15

Responder a: auf@isa-arbor.com

Para: aaguilartello@gmail.com

11-Jan-2021

Dear Miss Aguilar-Tello,

Thank you for your submission to Arboriculture & Urban Forestry. Your manuscript entitled "Effects on the physiological responses in *Ficus benjamina* by the incorporation of organic matter for the optimization of its current ecosystem services provision in Chorrillos" has been successfully submitted online and is presently being given full consideration for publication.

Your manuscript number is AUF-21-0002. Please mention this number in all future correspondence with the Editorial Office regarding this submission.

If there are any changes to your contact information, please log in to ScholarOne at <https://mc.manuscriptcentral.com/auf> and edit your user information as soon as possible.

You can view the status of your manuscript at any time by checking your Author Center after logging into <https://mc.manuscriptcentral.com/auf>. If you have difficulty using this site, please click the 'Get Help Now' link at the top right corner of the site.

Thank you for submitting your manuscript to Arboriculture & Urban Forestry.

Sincerely,

Arboriculture & Urban Forestry Editorial Office
auf@isa-arbor.com

<https://mail.google.com/mail/u/0?ik=78fe8f4df4&view=pt&search=all&permthid=thread-f%3A1688622743550329689&simpl=msg-f%3A168862274355...> 1/1

Anexo 02. Constancia de aprobación por Comité de Ética

**COMITÉ INSTITUCIONAL DE ÉTICA
EN INVESTIGACIÓN CON ANIMALES
Y BIODIVERSIDAD**



Constancia N° 38-CIEI-AB-CIENTÍFICA-2018

El presidente del Comité Institucional de Ética en Investigación con Animales y Biodiversidad de la Universidad Científica del Sur (CIEI-AB-CIENTÍFICA) da constancia que el proyecto de investigación, cuyos datos se registran a continuación, ha sido **aprobado**.

Código de registro: **073-2018-PRE11**
 Título: **Efectos de la incorporación de materia orgánica en la respuesta fisiológica de la especie forestal *Ficus benjamina* para la mejora de servicios ecosistémicos en el distrito de Chorrillos**
 Investigador principal: **Alisson Aguilar Tello**

La aprobación del proyecto de investigación implica que el documento presentado a evaluación cumple con los lineamientos de Universidad en materia de investigación y ética, los cuales se sustentan en la normativa internacional vigente.

En tal sentido, esta aprobación carecerá de valor si es que el proyecto de investigación arriba indicado es modificado de cualquier forma. Toda enmienda, añadido, eliminación o eventualidad (eventos adversos, etc.) posterior a la fecha de aprobación debe ser reportado al CIEI-AB-CIENTÍFICA.

La vigencia de la aprobación de este documento es de dieciocho (18) meses (**hasta el 02 de junio del 2020**), periodo en el que puede desarrollarse el proyecto. Cualquier trámite para su renovación deberá ser enviado antes del término de la vigencia de este documento, debiendo suspenderse todo desarrollo hasta que la renovación sea aprobada.

Villa El Salvador, 03 de diciembre de 2018




Méd. Vet. Gianmarco Paolo Rojas Moreno
 Presidente
 Comité Institucional de Ética en Investigación
 con Animales y Biodiversidad

T.º (510) 630 5400
 opción 3
www.cientifica.edu.pe

Campus
 Panamericana Sur
 km 99 - Lima 42

Anexo 03 . Resolución de aprobación de proyecto de tesis



RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N°057-2020-DACIA-DAFCA-U.CIENTIFICA

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Lima 25 de febrero del 2020

VISTO:

El informe de revisión independiente académica y la aprobación de un Comité de Ética del proyecto de tesis titulado: **Efectos de la incorporación de materia orgánica en la respuesta fisiológica de la especie forestal *Ficus benjamina* para la mejora de servicios ecosistémicos en el distrito de Chorrillos**, presentado por:

- **Aguilar Tello Alisson**

CONSIDERANDO:

Que, de acuerdo al Reglamento General de la Universidad Científica del Sur y los reglamentos de pregrado para obtener el título profesional de **Ingeniera Ambiental** en la **Facultad de Ciencias Ambientales**, se debe desarrollar un trabajo de investigación.

Que, de acuerdo a la normativa vigente de la Universidad Científica del Sur, en uso de las atribuciones conferidas al Director Académico de Carrera.

SE RESUELVE:

Aprobar e inscribir el proyecto de tesis titulado: **Efectos de la incorporación de materia orgánica en la respuesta fisiológica de la especie forestal *Ficus benjamina* para la mejora de servicios ecosistémicos en el distrito de Chorrillos** con N° de registro: **073-2018-PRE11**, y establecer el inicio del periodo de ejecución del mencionado proyecto.

Nombrar al docente/colaborador **Julio Cesar Alegre Orihuela** como asesor para el desarrollo de la tesis en cuestión.

Regístrese, comuníquese y archívese,


Mg. González Francisco Flores Roca
Director Académico
Carrera de Ingeniería Ambiental

T: (01) 6066400
opción 2
www.cientificosur.edu.pe

Campus
Piraymericana Sur
Km 19 - Lima 42

Anexo 04. Resolución de extensión de proyecto de tesis



RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N°027-2020-DACIA-DAFCA-U.CIENTIFICA

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Lima 14 de enero del 2020

VISTO:
La solicitud presentada por: **Alisson Aguilar Tello** con el fin de extender la fecha de aprobación del proyecto de tesis titulado: **Efectos de la incorporación de materia orgánica en la respuesta fisiológica de la especie forestal *Ficus behjamina* para la mejora de servicios ecosistémicos en el distrito de Chorrillos**, previamente fijada el día: 11 de diciembre de 2019.

CONSIDERANDO:
Que, de acuerdo a lo dispuesto en los reglamentos de pre y posgrado de la Universidad Científica del Sur (artículos 93 y 46, respectivamente) el tesista tiene como máximo un (1) año para la ejecución y sustentación de la tesis, pudiendo solicitar una prórroga a la Dirección Académica de Carrera hasta por seis (6) meses, previa justificación”.

Que, recibida la justificación del tesista en donde indica los motivos que sustentan su solicitud a la extensión del plazo para la sustentación de tesis.

SE RESUELVE:
Aprobar aprobar la solicitud para la extensión del plazo de la aprobación del proyecto de tesis titulada: **Efectos de la incorporación de materia orgánica en la respuesta fisiológica de la especie forestal *Ficus Behjamina* para la mejora de servicios ecosistémicos en el distrito de Chorrillos**, indicando como fecha final para la presentación del informe final de tesis el día: 08 de junio de 2020.

Regístrese, comuníquese y archívese.





Mg. Gonzalo Francisco Flores Roca
Director Académico
Carrera de Ingeniería Ambiental

Tel: (051) 056400
+51 912
www.cien@csd.edu.pe

Campus
Panamericana Sur
Km 33 - Lima 42

Anexo 06. Resultados de muestreo de parques en el distrito de Chorrillos

	Área (ha)	Longitud	Latitud	Maricación	Distancia (m)	Inclinación Arriba (1) (°)	Inclinación Abajo (2)(°)	Tan (1)	Tan (2)	Altura (m)	Circunferencia (cm)	DAP (cm)	Biomasa (kg)	Biomasa (t)	C Almacenado (t)	CO ₂ Secuestro (t)	O ₂ Producido (t)
Parque 1 (P1) "Rosario de Villa"	1.4	77°0'49.32" O	12°10'34.32" S	P1A1	18	43	4	0.9325	0.0699	18.04	200	63.66	2584.72	2.58	1.29	4.74	3.45
				P1A2	23	30	5	0.5774	0.0875	15.29	156	49.66	1540.20	1.54	0.77	2.82	2.05
				P1A3	24	45	4	1	0.0699	25.68	271	86.26	4752.69	4.75	2.38	8.71	6.34
				P1A4	16	24	5	0.4452	0.0875	8.52	133	42.34	1095.79	1.10	0.55	2.01	1.46
				P1A5	15	31	5	0.6009	0.0875	10.33	161	51.25	1646.31	1.65	0.82	3.02	2.20
				P1A6	27	30	3	0.5774	0.0524	17.00	262	83.40	4447.95	4.45	2.22	8.16	5.93
				P1A7	16	16	7	0.2867	0.1228	6.55	173	55.07	1914.44	1.91	0.96	3.51	2.55
				P1A8	19	20	5	0.364	0.0875	8.58	105	33.42	655.13	0.66	0.33	1.20	0.87
Parque 2 (P2) "La Pérgola"	0.38	77°0'42.78" O	12°10'44.44" S	P2A1	17	33	5	0.6494	0.0875	12.53	133	42.34	1095.79	1.10	0.55	2.01	1.46
				P2A2	18	33	4	0.6494	0.0699	12.95	150	47.75	1417.29	1.42	0.71	2.60	1.89
				P2A3	18	32	4.5	0.6249	0.0787	12.66	133	42.34	1095.79	1.10	0.55	2.01	1.46
				P2A4	20	29	4	0.5543	0.0699	12.48	160	50.93	1624.82	1.62	0.81	2.98	2.17
				P2A5	17	34	5	0.6745	0.0875	12.95	145	46.16	1318.60	1.32	0.66	2.42	1.76
				P2A6	18	25	5	0.4663	0.0875	9.97	143	45.52	1280.08	1.28	0.64	2.35	1.71
				P2A7	26	29	3	0.5543	0.0524	15.77	173	55.07	1914.44	1.91	0.96	3.51	2.55
				P2A8	24	20	4	0.364	0.0699	10.41	143	45.52	1280.08	1.28	0.64	2.35	1.71
Parque 3 (P3) "Antonio Garland"	0.6	77°0'46.09" O	12°10'46.72" S	P3A1	18	30	5	0.5774	0.0875	11.97	224	71.30	3254.98	3.25	1.63	5.97	4.34
				P3A2	15	27	4	0.5095	0.0699	8.69	124	39.47	941.91	0.94	0.47	1.73	1.26
				P3A3	17	24	3	0.4452	0.0524	8.46	109	34.70	711.16	0.71	0.36	1.30	0.95
				P3A4	20	31	5	0.6009	0.0875	13.77	166	52.84	1755.74	1.76	0.88	3.22	2.34
				P3A5	19	32	4	0.6249	0.0699	13.20	188	59.84	2275.68	2.28	1.14	4.17	3.03
				P3A6	18	29	6	0.5543	0.1051	11.87	160	50.93	1624.82	1.62	0.81	2.98	2.17
				P3A7	18	28	4	0.5317	0.0699	10.83	165	52.52	1733.59	1.73	0.87	3.18	2.31
				P3A8	18	29	5.5	0.5543	0.0963	11.71	166	52.84	1755.74	1.76	0.88	3.22	2.34
Parque 4 (P4) "Las Gaviotas"	0.45	77°0'15.00" O	12°10'26.30" S	P4A1	16	31	5	0.6009	0.0875	11.01	135	42.97	1131.53	1.13	0.57	2.07	1.51
				P4A2	18	29	5	0.5543	0.0875	11.55	159	50.61	1603.47	1.60	0.80	2.94	2.14
				P4A3	17	28	5	0.5317	0.0875	10.53	150	47.75	1417.29	1.42	0.71	2.60	1.89
				P4A4	17	29	5.5	0.5543	0.0963	11.06	153	48.70	1478.14	1.48	0.74	2.71	1.97
				P4A5	17	24	5.5	0.4452	0.0963	9.21	132	42.02	1078.13	1.08	0.54	1.98	1.44
				P4A6	17	28	5	0.5317	0.0875	10.53	148	47.11	1377.40	1.38	0.69	2.53	1.84
				P4A7	16	25	5	0.4663	0.0875	8.86	177	56.34	2007.97	2.01	1.00	3.68	2.68
				P4A8	15	24	5.5	0.4452	0.0963	8.12	115	36.61	799.57	0.80	0.40	1.47	1.07
Parque 5 (P5) "Los Trovadores"	1.04	77°0'30.96" O	12°10'20.23" S	P5A1	17	19	6	0.3443	0.1051	7.64	112	35.65	754.71	0.75	0.38	1.38	1.01
				P5A2	17	18	6	0.3249	0.1051	7.31	83	26.42	388.95	0.39	0.19	0.71	0.52
				P5A3	21	18	5.5	0.3249	0.0963	8.85	80	25.47	358.20	0.36	0.18	0.66	0.48
				P5A4	19	17	5	0.3057	0.0875	7.47	100	31.83	588.38	0.59	0.29	1.08	0.78
				P5A5	17	16	4	0.2867	0.0699	6.06	85	27.06	410.20	0.41	0.21	0.75	0.55
				P5A6	17	18	4	0.3249	0.0699	6.71	83	26.42	388.95	0.39	0.19	0.71	0.52
				P5A7	17	15	5	0.2679	0.0875	6.04	114	36.29	784.47	0.78	0.39	1.44	1.05
				P5A8	15	19	6	0.3443	0.1051	6.74	90	28.65	465.90	0.47	0.23	0.85	0.62
Parque 6 (P6) "Número Siete"	1.53	77°0'46.03" O	12°10'15.79" S	P6A1	16	28	6	0.5317	0.1051	10.19	85	27.06	410.20	0.41	0.21	0.75	0.55
				P6A2	17	34	5	0.6745	0.0875	12.95	114	36.29	784.47	0.78	0.39	1.44	1.05
				P6A3	15	30	5.5	0.5774	0.0963	10.11	100	31.83	588.38	0.59	0.29	1.08	0.78
				P6A4	16	30.5	6	0.589	0.1051	11.11	88	28.01	443.17	0.44	0.22	0.81	0.59
				P6A5	15	36	6	0.7265	0.1051	12.47	135	42.97	1131.53	1.13	0.57	2.07	1.51
				P6A6	19	24	4	0.4452	0.0699	9.79	88	28.01	443.17	0.44	0.22	0.81	0.59
				P6A7	15	18	6	0.3249	0.1051	6.45	99	31.51	575.47	0.58	0.29	1.06	0.77
				P6A8	18	27	5	0.5095	0.0875	10.75	97	30.88	550.09	0.55	0.28	1.01	0.73
Parque 7 (P7) "Parque Fátima"	2.27	77°1'16.15" O	12°10'15.79" S	P7A1	15	31	6.5	0.6009	0.1139	10.72	122	38.83	909.28	0.91	0.45	1.67	1.21
				P7A2	15	30	5	0.5774	0.0875	9.97	123	39.15	925.52	0.93	0.46	1.70	1.23
				P7A3	16	30	7	0.5774	0.1228	11.20	93	29.60	501.09	0.50	0.25	0.92	0.67
				P7A4	17	35	7	0.7002	0.1228	13.99	148	47.11	1377.40	1.38	0.69	2.53	1.84
				P7A5	18	38	6	0.7813	0.1051	15.96	123	39.15	925.52	0.93	0.46	1.70	1.23
				P7A6	18	21	5	0.3839	0.0875	8.49	122	38.83	909.28	0.91	0.45	1.67	1.21
				P7A7	16	24	6	0.4452	0.1051	8.80	94	29.92	513.12	0.51	0.26	0.94	0.68
				P7A8	15	28	6	0.5317	0.1051	9.55	141	44.88	1242.11	1.24	0.62	2.28	1.66

Anexo 08. Resultados de ensayo con *F. benjamina*

Diseño Experimental	Seccion	Codigo - Muestra	Biomasa Humeda (Sección) (g)	Peso Humedo (Muestra) (g)	Peso Seco (Muestra) (g)	Biomasa Seca (Sección) (g)	Biomasa Seca (Sección) (kg)	Carbono Almacenado (kg)	CO ₂ Captado (kg)	O ₂ Producido (kg)
Control	Hojas	CH1	84.23	48.34	16.93	29.50	0.03	0.0147	0.0541	0.0393
Control	Tallos	CT1	78.23	50.31	22.67	35.25	0.04	0.0176	0.0646	0.0470
Control	Raices	CR1	60.23	17.11	7.2	25.35	0.03	0.0127	0.0465	0.0338
Control	Hojas	CH2	73.23	44.22	17.17	28.43	0.03	0.0142	0.0521	0.0379
Control	Tallos	CT2	98.23	51.27	22.42	42.96	0.04	0.0215	0.0788	0.0573
Control	Raices	CR2	62.23	17.62	6.24	22.04	0.02	0.0110	0.0404	0.0294
Control	Hojas	CH3	82.23	49.42	17.98	29.92	0.03	0.0150	0.0549	0.0399
Control	Tallos	CT3	108.23	51.3	23.43	49.43	0.05	0.0247	0.0906	0.0659
Control	Raices	CR3	65.23	17.06	6.71	25.66	0.03	0.0128	0.0470	0.0342
Control	Hojas	CH4	63.23	48.77	17.86	23.16	0.02	0.0116	0.0425	0.0309
Control	Tallos	CT4	97.23	50.1	22.89	44.42	0.04	0.0222	0.0814	0.0592
Control	Raices	CR4	61.23	17.11	7.03	25.16	0.03	0.0126	0.0461	0.0335
Control	Hojas	CH5	77.23	48.5	19.25	30.65	0.03	0.0153	0.0562	0.0409
Control	Tallos	CT5	96.23	52.53	21.64	39.64	0.04	0.0198	0.0727	0.0529
Control	Raices	CR5	70.23	17.1	7.26	29.82	0.03	0.0149	0.0547	0.0398
Control	Hojas	CH6	75.23	48.92	18.31	28.16	0.03	0.0141	0.0516	0.0375
Control	Tallos	CT6	127.23	34.08	16.1	60.11	0.06	0.0301	0.1102	0.0802
Control	Raices	CR6	72.23	17.3	6.83	28.52	0.03	0.0143	0.0523	0.0380
Control	Hojas	CH7	78.23	48.5	16.86	27.20	0.03	0.0136	0.0499	0.0363
Control	Tallos	CT7	91.23	50.55	22.54	40.68	0.04	0.0203	0.0746	0.0542
Control	Raices	CR7	77.23	16.92	7.24	33.05	0.03	0.0165	0.0606	0.0441
Control	Hojas	CH8	67.23	47.75	18.85	26.54	0.03	0.0133	0.0487	0.0354
Control	Tallos	CT8	91.23	50	22.54	41.13	0.04	0.0206	0.0754	0.0548
Control	Raices	CR8	68.23	16.52	8.8	36.35	0.04	0.0182	0.0666	0.0485
Tratamiento 1	Hojas	T1H1	82.23	49.25	17.95	29.97	0.03	0.0150	0.0550	0.0400
Tratamiento 1	Tallos	T1T1	97.23	32.98	13.49	39.77	0.04	0.0199	0.0729	0.0530
Tratamiento 1	Raices	T1R1	83.23	16.83	4.19	20.72	0.02	0.0104	0.0380	0.0276
Tratamiento 1	Hojas	T1H2	81.23	49.93	18.84	30.65	0.03	0.0153	0.0562	0.0409
Tratamiento 1	Tallos	T1T2	101.23	51.62	23.55	46.18	0.05	0.0231	0.0847	0.0616
Tratamiento 1	Raices	T1R2	86.23	17.1	6.71	33.84	0.03	0.0169	0.0620	0.0451
Tratamiento 1	Hojas	T1H3	80.23	47.27	19.1	32.42	0.03	0.0162	0.0594	0.0432
Tratamiento 1	Tallos	T1T3	107.23	55.23	23.44	45.51	0.05	0.0228	0.0834	0.0607
Tratamiento 1	Raices	T1R3	82.23	17.72	5.55	25.75	0.03	0.0129	0.0472	0.0343
Tratamiento 1	Hojas	T1H4	87.23	49.18	17.45	30.95	0.03	0.0155	0.0567	0.0413
Tratamiento 1	Tallos	T1T4	117.23	49.98	21.43	50.26	0.05	0.0251	0.0922	0.0670
Tratamiento 1	Raices	T1R4	89.23	16.95	5.05	26.58	0.03	0.0133	0.0487	0.0355
Tratamiento 1	Hojas	T1H5	83.23	43.5	17.91	34.27	0.03	0.0171	0.0628	0.0457
Tratamiento 1	Tallos	T1T5	111.23	49.11	20.16	45.66	0.05	0.0228	0.0837	0.0609
Tratamiento 1	Raices	T1R5	98.23	17.23	4.39	25.03	0.03	0.0125	0.0459	0.0334
Tratamiento 1	Hojas	T1H6	88.23	49.74	17.96	31.86	0.03	0.0159	0.0584	0.0425
Tratamiento 1	Tallos	T1T6	105.23	50.62	22.32	46.40	0.05	0.0232	0.0851	0.0619
Tratamiento 1	Raices	T1R6	93.23	16.97	6.19	34.01	0.03	0.0170	0.0624	0.0453
Tratamiento 1	Hojas	T1H7	99.23	48.41	17.51	35.89	0.04	0.0179	0.0658	0.0479
Tratamiento 1	Tallos	T1T7	98.23	47.58	23.43	48.37	0.05	0.0242	0.0887	0.0645
Tratamiento 1	Raices	T1R7	80.23	17.34	7.53	34.84	0.03	0.0174	0.0639	0.0465
Tratamiento 1	Hojas	T1H8	92.23	49.08	19.41	36.47	0.04	0.0182	0.0669	0.0486
Tratamiento 1	Tallos	T1T8	115.23	49.72	21.36	49.50	0.05	0.0248	0.0908	0.0660
Tratamiento 1	Raices	T1R8	81.23	17.13	6.01	28.50	0.03	0.0142	0.0523	0.0380
Tratamiento 2	Hojas	T2H1	83.23	48.39	17.63	30.32	0.03	0.0152	0.0556	0.0404
Tratamiento 2	Tallos	T2T1	111.23	49.9	21.55	48.04	0.05	0.0240	0.0881	0.0641
Tratamiento 2	Raices	T2R1	81.23	17.28	5.13	24.12	0.02	0.0121	0.0442	0.0322
Tratamiento 2	Hojas	T2H2	88.23	49.99	15.65	27.62	0.03	0.0138	0.0506	0.0368
Tratamiento 2	Tallos	T2T2	106.23	49.19	22.91	49.48	0.05	0.0247	0.0907	0.0660
Tratamiento 2	Raices	T2R2	81.23	17.36	4.75	22.23	0.02	0.0111	0.0408	0.0296
Tratamiento 2	Hojas	T2H3	102.23	50.47	17.61	35.67	0.04	0.0178	0.0654	0.0476
Tratamiento 2	Tallos	T2T3	96.23	48.86	20.72	40.81	0.04	0.0204	0.0748	0.0544
Tratamiento 2	Raices	T2R3	89.23	17.26	6.86	35.46	0.04	0.0177	0.0650	0.0473
Tratamiento 2	Hojas	T2H4	90.23	49.55	15.17	27.62	0.03	0.0138	0.0506	0.0368
Tratamiento 2	Tallos	T2T4	117.23	49.52	19.83	46.94	0.05	0.0235	0.0861	0.0626
Tratamiento 2	Raices	T2R4	94.23	16.6	4.92	27.93	0.03	0.0140	0.0512	0.0372
Tratamiento 2	Hojas	T2H5	86.23	48.81	18.14	32.05	0.03	0.0160	0.0588	0.0427
Tratamiento 2	Tallos	T2T5	98.23	50.77	22.31	43.17	0.04	0.0216	0.0791	0.0576
Tratamiento 2	Raices	T2R5	87.23	17.07	6.45	32.96	0.03	0.0165	0.0604	0.0440
Tratamiento 2	Hojas	T2H6	96.23	47.81	17.85	35.93	0.04	0.0180	0.0659	0.0479
Tratamiento 2	Tallos	T2T6	103.23	50.68	23.25	47.36	0.05	0.0237	0.0868	0.0632
Tratamiento 2	Raices	T2R6	88.23	17.12	5.48	28.24	0.03	0.0141	0.0518	0.0377
Tratamiento 2	Hojas	T2H7	83.23	46.15	18.26	32.93	0.03	0.0165	0.0604	0.0439
Tratamiento 2	Tallos	T2T7	116.23	51.94	22.11	49.48	0.05	0.0247	0.0907	0.0660
Tratamiento 2	Raices	T2R7	80.23	17.15	6.5	30.41	0.03	0.0152	0.0558	0.0405
Tratamiento 2	Hojas	T2H8	112.23	49.06	17.68	40.44	0.04	0.0202	0.0742	0.0539
Tratamiento 2	Tallos	T2T8	106.23	50.57	21.12	44.37	0.04	0.0222	0.0813	0.0592
Tratamiento 2	Raices	T2R8	83.23	17.45	6.03	28.76	0.03	0.0144	0.0527	0.0384
Tratamiento 3	Hojas	T3H1	91.23	47.43	18.15	34.91	0.03	0.0175	0.0640	0.0466
Tratamiento 3	Tallos	T3T1	110.23	48.22	20.47	46.79	0.05	0.0234	0.0858	0.0624
Tratamiento 3	Raices	T3R1	125.23	17.04	5.55	40.79	0.04	0.0204	0.0748	0.0544
Tratamiento 3	Hojas	T3H2	122.23	49.85	18.41	45.14	0.05	0.0226	0.0828	0.0602
Tratamiento 3	Tallos	T3T2	124.23	48.42	22.27	57.14	0.06	0.0286	0.1048	0.0762
Tratamiento 3	Raices	T3R2	128.23	16.34	4.49	35.24	0.04	0.0176	0.0646	0.0470
Tratamiento 3	Hojas	T3H3	130.23	48.53	18.69	50.15	0.05	0.0251	0.0920	0.0669
Tratamiento 3	Tallos	T3T3	176.23	50.42	21.98	76.83	0.08	0.0384	0.1409	0.1024
Tratamiento 3	Raices	T3R3	132.23	16.68	6.56	52.00	0.05	0.0260	0.0953	0.0693
Tratamiento 3	Hojas	T3H4	107.23	50.14	17.67	37.79	0.04	0.0189	0.0693	0.0504
Tratamiento 3	Tallos	T3T4	156.23	51.09	20.73	63.39	0.06	0.0317	0.1162	0.0845
Tratamiento 3	Raices	T3R4	100.23	17.53	5.49	31.39	0.03	0.0157	0.0576	0.0419
Tratamiento 3	Hojas	T3H5	100.23	50.73	18.91	37.36	0.04	0.0187	0.0685	0.0498
Tratamiento 3	Tallos	T3T5	118.23	51.69	21.95	50.21	0.05	0.0251	0.0921	0.0669
Tratamiento 3	Raices	T3R5	102.23	17.1	5.92	35.39	0.04	0.0177	0.0649	0.0472
Tratamiento 3	Hojas	T3H6	127.23	50.75	16.06	40.26	0.04	0.0201	0.0738	0.0537
Tratamiento 3	Tallos	T3T6	134.23	50.61	22.46	59.57	0.06	0.0298	0.1092	0.0794
Tratamiento 3	Raices	T3R6	130.23	17.21	5.72	43.28	0.04	0.0216	0.0794	0.0577
Tratamiento 3	Hojas	T3H7	102.23	51.22	15.32	30.58	0.03	0.0153	0.0561	0.0408
Tratamiento 3	Tallos	T3T7	132.23	52.04	18.53	47.08	0.05	0.0235	0.0863	0.0628
Tratamiento 3	Raices	T3R7	108.23	18.17	7.29	43.42	0.04	0.0217	0.0796	0.0579
Tratamiento 3	Hojas	T3H8	113.23	45.12	17.33	43.49	0.04	0.0217	0.0797	0.0580
Tratamiento 3	Tallos	T3T8	129.23	49.74	20.74	53.88	0.05	0.0269	0.0988	0.0719
Tratamiento 3	Raices	T3R8	121.23	17.48	4.28	29.68	0.03	0.0148	0.0544	0.0396

Anexo 09. Hoja de recepción y pago de muestras



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS Y PLANTAS
Teléfono: 614 7800 Anexo: 222 Teléfono Directo: 349 5622
Celular: (511) 946 505 254
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe



HOJA DE RECEPCION N° 072418 - 20 20
SOLICITANTE: ALISSON AGUILAR TELLO Telf.: 951044519 Fecha: 18/08/2020

PROCEDECENCIA: Departamento: **LIMA** Provincia: **LIMA**
Distrito: **CHORRILLOS** Predio:
MUESTRAS DE: **COMPOST** CANTIDAD: **0.1**

ANÁLISIS SOLICITADOS	P.U. S/.	US\$
() Análisis Suelo Fertilidad		
() Análisis Suelo Caracterización		
() Análisis Suelo Salinidad		
() Análisis Agua		
() Análisis Foliar		
(x) Otros (Especificar) M.O. COMPLETA MAS ACIDOS HUMICOS		S/ 300.00

CANCELADO
18 AGO 2020
LASPAF.-UNALM

Entregado por: **ELLA MISMA** A cuenta:
Recibido por: **GISELLA VELÁSQUEZ** Total S/ **S/ 300.00** USS

Anexo 10. Resultados de laboratorio

INFORME DE ANALISIS DE MATERIA ORGÁNICA

SOLICITANTE : ALISSON AGUILAR TELLO
 PROCEDENCIA : LIMA/ LIMA/ CHORRILLOS
 MUESTRA DE : COMPOST
 REFERENCIA : H.R. 72418
 BOLETA : 4180
 FECHA : 03/09/2020

Nº LAB	CLAVES	pH	C.E. dS/m	M.O. %	N %	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %
360	-	8.36	31.00	44.58	1.70	2.33	2.46


Nº LAB	CLAVES	CaO %	MgO %	Hd %	Na %
360	-	4.14	1.06	36.05	0.92

Nº LAB	CLAVES	Acido húmico %	Acido fúlvico %	Humina %
360	-	5.04	2.19	36.53

Ing. Braulio La Torre Martínez
Jefe de Laboratorio

Anexo 11. Solicitud de Equipos de muestreo

UNIVERSIDAD
CIENTÍFICA
DEL SUR



R.U.C. 20421239275
GUIA DE REMISION
REMITENTE
0003 - Nº 011347

DOM. FISCAL: CAR. ANTIGUA PANAMERICANA SUR KM. 19 - VILLA EL SALVADOR - LIMA
CAL. CANTUARIAS 385 - MIRAFLORES - LIMA - LIMA
TEL: 610-6400

FECHA DE EMISIÓN: 10/07/19
FECHA DE INICIO DE TRASLADO: 10/07/19

PUNTO DE PARTIDA: Car. Antigua Panamericana Sur Km. 19 Villa I
PUNTO DE LLEGADA: Chorrillos.

DESTINATARIO: Apellidos y Nombre o Razón Social: Aguilar Tello Alisson
R.U.C.: 71405943

Tipo de documento de identidad: 71405943

Marca y Número de la Placa: UNIDAD DE TRANSPORTE
N° Constancia de Inscripción: 7
N° de Licencia de Conducir:

Tipo y N° de Comprobante de Pago: Orden de Compra:

CODIGO	CANTIDAD	UNID.	DESCRIPCIÓN	PESO
50656	01	Unid	GPS Garmin 64s	
-	01	Unid	Cinta metrica Kamasa 50 mt	
2287	01	Unid	Clinometro Suunto PM-5/360 PC	

[Signature]
Rafael Alvis Davila
Jefe de Laboratorio
Ing. Ambiental e Ing. Agroforestal
Universidad Científica del Sur

[Signature]
VICTOR CRUZADO
COORDINADORA DE LABORATORIOS CIENTÍFICOS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

1. VENTA 3. CONSIGNACIÓN 5. TRASL. ENTRE ESTBL. DE UNA MISMA EMPRESA

COMPRA 4. DEVOLUCIÓN 6. OTROS

RES DIVINO NIÑO S.A.C.
9936
CAL. 88922231
91 al 13500
91011

Retorno: 22/07/19

DESTINATARIO

Anexo N° 12. Muestreo de parques



Anexo N° 13. Muestreo de parques



Anexo N° 14. Muestreo de parques



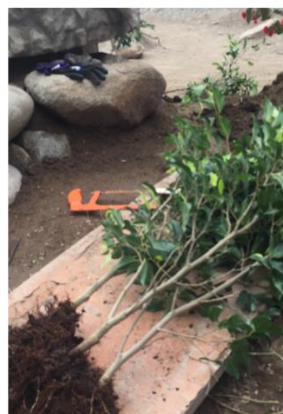
Anexo N° 15. Imlementación de ensayo con Ficus benjamina



Anexo N° 16. Observaciones periodicas del ensayo



Anexo N° 17. Mediciones y seccionamiento final de los plantones de Ficus benjamina



Anexo N° 18. Pesado en fresco de hojas, tallos y raíces de Ficus benjamina



Anexo N° 19. Procesado y secado de muestras en laboratorio

