



FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES  
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“Reservas de carbono en un ecosistema del desierto sudamericano: El caso de las Lomas de Amancaes (Lima, Perú)”

Tesis para optar el título profesional de:  
Ingeniero Ambiental

Presentado por:  
Victor Hugo Guerrero Palomino (0000-0001-9994-7154)

Asesor:  
Héctor Alonso Aponte Ubillús (0000-0001-5249-9534)

Lima – Perú  
2021

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

Lima, 21 de octubre 2021.

Los integrantes del Jurado de tesis:

Presidente: Dra. María de los Angeles La Torre Cuadros
Miembro: Dra. Catherine Mariela Coronado León
Miembro: Mg. Ing. Marisol Nuñez Martinez

Se reúnen para evaluar la tesis titulada:

**“Reservas de carbono en un ecosistema del desierto sudamericano: El caso de las Lomas de Amancaes (Lima, Perú)”**

Presentada por la/el estudiante/bachiller:

- **Victor Hugo Guerrero Palomino**

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Asesorado por: Dr. Héctor Alonso Aponte Ubillús

Luego de haber evaluado el informe final de tesis y evaluado el desempeño del estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental a en la sustentación, concluyen de manera unánime (X) calificar a:

Tesista: Victor Hugo Guerrero Palomino	Nota (en letras): 17.5 (Diecisiete y medio)		
Aprobado ( )	Aprobado - Muy buena(X)	Aprobado - Sobresaliente ( )	Desaprobado ( )

Los miembros del jurado firman en señal de conformidad.



**Dra. María de los Angeles La Torre Cuadros**  
Presidente



**Dra. Catherine Mariela Coronado León**  
Miembro 1



**Mg. Ing. Marisol Nuñez Martinez**  
Miembro 2



**Dr. Héctor Alonso Aponte Ubillús**  
Asesor

T// (51) 610 6738  
informes@cientific.edu.pe  
cientific.edu.pe

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Científica del Sur por el financiamiento, gracias al Concurso de Fondos de Tesis 2019-2. Al Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR) por el permiso para realizar el presente estudio. A Haydee Cerrón y Trinidad Pérez, de la asociación de Protectores Ambientales de la Flor y las Lomas de Amancaes (PAFLA), por su apoyo y soporte continuo durante toda la época de muestreo. A Karol Salazar, Victor Guerrero-Silva y Leonardo Palomino por el apoyo brindado durante la época de muestreo.

## ÍNDICE

RESUMEN.....	5
ABSTRACT .....	6
INTRODUCCIÓN.....	7
METODOLOGIA Y MATERIALES.....	9
• Metodología.....	9
✓ Área de Estudio.....	9
✓ Análisis de la biomasa vegetal y del suelo .....	10
✓ Análisis de laboratorio y cálculos del stock de carbono.....	11
▪ Determinación de la densidad aparente .....	11
▪ Determinación del porcentaje de humedad en la biomasa aérea .....	12
▪ Determinación del porcentaje de carbono en las muestras ..	12
▪ Cálculo del stock de carbono en el suelo y la biomasa aérea	12
▪ Stock de carbono en el total del ecosistema y su valoración.	13
✓ Análisis estadísticos.....	13
RESULTADOS.....	14
• Comparación de carbono por compartimentos y niveles .....	14
• Carbono total por nivel, en la loma y su valoración.....	15
DISCUSIONES.....	15
CONCLUSIONES.....	19
PARTICIPACIÓN DE AUTORES .....	19
BIBLIOGRAFIA.....	19

Reservas de carbono en un ecosistema del desierto sudamericano: El caso de las Lomas de  
Amancaes (Lima, Perú)

Carbon storage on an ecosystem of the south American desert: The case of Lomas de Amancaes  
(Lima-Perú)

**Victor H. Guerrero-Palomino**

Coastal Ecosystems of Peru Research Group, Universidad Científica del Sur, Lima, Perú. Email:  
[vhguerrerop@gmail.com](mailto:vhguerrerop@gmail.com) **Autor Corresponsal.**

**Diego Malca-Rodríguez**

Circulo de Investigación de Taxonomía, Florística y Ecología Vegetal, Universidad Nacional  
Agraria La Molina, Lima, Perú. Email: [diegomalcarodriguez@gmail.com](mailto:diegomalcarodriguez@gmail.com)

**Héctor Aponte**

Coastal Ecosystems of Peru Research Group, Universidad Científica del Sur, Lima, Perú. Email:  
[haponte@cientifica.edu.pe](mailto:haponte@cientifica.edu.pe)

**Título Abreviado:** Carbono en Lomas de Amancaes (Perú)

**RESUMEN**

La captura de carbono es un proceso fundamental que regula el clima y permite contrarrestar el calentamiento global. Este estudio estimó las reservas de carbono en las Lomas de Amancaes, un ecosistema del desierto sudamericano en Lima (Perú). Se tomaron muestras de la biomasa vegetal aérea y del suelo (0 – 20 cm de profundidad), midiendo el carbono almacenado en ambos

compartimentos. Los resultados indicaron que la cantidad de carbono almacenado (CA) es de 6 510,72 tC (29,76 tC/ha); el CA fue mayor en el suelo (28,67 tC/ha) que en la biomasa aérea (1,09 tC/ha); al comparar el CA entre rangos altitudinales (300 - 750 m s.n.m.), no se encontraron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ). Al compararlo con otros ecosistemas del desierto costero peruano, el CA de las Lomas de Amancaes es mayor a lo encontrado en tillandsiales (3,6 tC/ha), pero fue menor a los reportado para algunos humedales (38,47-305,37 tC/ha). El CA del área de estudio se asemeja a las reservas de varios ecosistemas desérticos del mundo (el valor oscila entre 0,15 - 45,55 tC/ha en desiertos de África, Zona de transición Sahel, Desierto de Negev, Desiertos en China, Desierto Mojave, Cuenca de La Paz y Los Planes) con algunas excepciones (como los desiertos templados de Asia Central, Sabana de *Acacia* y Túnez que cuentan con un CA = 40,40 - 159,2 tC/ha). Estos resultados representan una de las primeras estimaciones de las reservas de carbono en las lomas del desierto del Pacífico Sudamericano y brindan datos valiosos para su conservación.

**Palabras clave:** calentamiento global, reserva de carbono, ecosistemas desérticos, lomas costeras, biomasa vegetal.

## ABSTRACT

Carbon capture is a fundamental process that regulates climate regulation and enables to counteract global warming. The study estimated the carbon stocks in Lomas de Amancaes, an ecosystem of the South American desert located in Lima (Peru). Soil (0 - 20 cm deep) and aerial plant biomass samples were taken, subsequently measuring the stored carbon in both compartments. The results indicate that the amount of stored carbon (CA) in this ecosystem is 6 510.72 tC (29.76 tC/ha); the

CA was higher in the soil (28.67 tC/ha) than in the aerial biomass (1.09 tC/ha); when comparing the CA between altitudinal ranges (300 - 750 m.a.s.l), no significant differences were found ( $p>0.05$ ). When compared with other ecosystems of the Peruvian coastal ecosystems is higher than that found in tillandsiales (3.6 tC/ha) but lower than many wetland plant communities (38.47 - 305.37 tC/ha). The CA of the study area resembles the reserves of several desert ecosystems in the world (the value ranges between 0.15-55.99 tC/ha in African deserts, Sahel transition zone, Negev desert, Chinese deserts, Mojave Desert, La Paz watershed and Los Planes basin), with some exceptions such as the temperate deserts of Central Asia, Acacia woodland savannah and Tunisia (CA = 40.40 - 159.20 tC/ha). These results represent one of the first estimates of carbon stocks in lomas of the South American Pacific desert and provide valuable data for their conservation.

**Keywords:** global warming; carbon stock; desert ecosystem; fog oases (lomas), plant biomass.

## INTRODUCCIÓN

Las lomas costeras se desarrollan a lo largo de la costa oeste de América del Sur, entre las latitudes 5°S y 30°S. Estos ecosistemas ocupan las estribaciones de la Cordillera de los Andes, entre los 100 y 1000 m s.n.m. (Dillon & Haas, 2003; Kalicki et al., 2014; Lleellish et al., 2015; Manrique et al., 2010; Rundel et al., 1991). Las lomas se caracterizan por presentar dos estaciones: la estación húmeda durante el invierno austral y la estación seca durante el verano austral, diferenciadas principalmente por la presencia de una densa capa de nubes durante la estación húmeda (Rundel et al., 1991). La nubosidad permite el crecimiento de una vegetación principalmente herbácea (64-73%), acompañada de algunos arbustos, árboles, cactus, líquenes, musgos y epífitas (Engel, 1973; Manrique et al., 2014; Muñoz-Schick et al., 2001; Rundel, 1978; Trinidad et al., 2012). Esta vegetación se distribuye a través de una gradiente altitudinal, reflejando la variación de la disponibilidad de agua y las propiedades del suelo: a mayor disponibilidad del agua y nutrientes en el suelo, existe un mayor desarrollo de la vegetación, condiciones que, por lo general, se cumplen por debajo de las cumbres (Dillon & Rundel, 1990; Muenchow et al., 2013).

Las lomas se han interrelacionado con las diversas civilizaciones, las cuales han aprovechado estos ecosistemas. Se conocen crónicas coloniales y republicanas en las que estos ecosistemas cumplían un rol de espacio público de celebración para todas las clases sociales (Nieuwland & Mamani, 2017); asimismo, se conoce que en Lima en las lomas de Pacta, Quebrada Verde y Lúcumo, los pobladores locales utilizan las lomas con fines ganaderos y agrícolas (Vásquez, 2008). En la década de los cincuenta, el crecimiento de las ciudades costeras trajo consigo la búsqueda de nuevas áreas donde poder asentarse y desarrollarse, lo que conllevó a la invasión del territorio de muchas lomas costeras; la ciudad de Lima es un ejemplo de dichos procesos urbanos (Aguilar et al., 2015; Maguiña, 2016; Orrego, 2011). Como resultado, Lima presenta en la actualidad un mosaico de

urbanizaciones y lomas en el centro de la ciudad; algunas lomas de mayor extensión se desarrollan todavía en la zona periurbana (Lleellish et al., 2015).

El estudio tuvo como objetivo estimar y valorar las reservas del carbono en una de las lomas costeras icónicas de la ciudad de Lima: las lomas de Amancaes. Estas lomas se encuentran presentes en crónicas coloniales y republicanas, en las que estos ecosistemas cumplían un rol de espacio público de celebración para todas las clases sociales, como lo fue La Fiesta de Amancaes (Nieuwland & Mamani, 2017). Las lomas nos brindan beneficios por medio de servicios ecosistémicos como la provisión de recursos genéticos, la provisión de un ambiente adecuado para realizar actividades científicas, turísticas, educativas y espirituales, así como la regulación del clima por medio de la captura de carbono (Aponte, 2015; Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2018). Lamentablemente, crecimiento urbano afectó la parte baja de las lomas teniendo a la fecha un ecosistema reducido pero resiliente y diverso (Trinidad et al., 2012). Con el presente estudio buscamos contribuir en el conocimiento de las reservas de carbono de este ecosistema, generando con ello una de las primeras estimaciones de reservas de carbono para las lomas del desierto costero sudamericano.

## **METODOLOGÍA Y MATERIALES**

### **Metodología**

#### **Área de Estudio**

Las Lomas de Amancaes se encuentran en la ciudad de Lima entre los distritos de Independencia, Rímac y San Juan de Lurigancho (Figura 1). Esta loma presenta pendientes pronunciadas de 55% a 85%, conformadas por sustrato rocoso tanto en laderas como en quebradas (Cuya & Sánchez,

1991), que se desarrollan entre los 220 a 750 m s.n.m. (Resolución Ministerial N° 0404, 2013).

Durante la temporada húmeda, se observa una vasta vegetación herbácea, arbustiva y con algunas especies arbóreas, que hacen un total de 51 especies de plantas vasculares (Trinidad et al., 2012).

El muestreo se realizó entre diciembre 2020 y enero 2021; en los meses previos se reportó en la costa de Lima un periodo frío (evento “La Niña”; agosto 2020 – noviembre 2020). La Figura 2 resume las principales condiciones meteorológicas en el área de estudio los meses previos al muestreo.

Para esta investigación, se evaluó el piso altitudinal entre los 300 y 750 m s.n.m., esto debido a que el área comprendida entre 220 y 300 m.s.n.m. se encontró con mucha influencia urbana (AA.HH. 6 de agosto, Los Eucaliptos, Las Brisas, Jardines ampliación, Horacio Zevallos 1 y 2). Con fines comparativos, la loma se dividió en tres niveles que representan las diferentes densidades vegetales y comunidades de plantas en esta loma (Aponte et al., 2005): bajo (entre los 300-450 m s.n.m.), medio (450-600 m s.n.m.) y alto (>600 m s.n.m.).

### **Análisis de la biomasa vegetal y del suelo**

Los puntos evaluados se determinaron teniendo en cuenta su accesibilidad, extensión, presencia de estructuras rocosas, y la complementariedad de las especies vegetales por cada nivel. Para la toma de muestras se identificaron secciones que cumplieron con estas características en las cuales se ubicaron transectos de 10 m lineales de manera aleatoria estratificada (mediante un punto aleatorio en un espacio de 10 m x 10 m); en estos transectos, se colocaron aleatoriamente cuatro parcelas de 1 m x 1 m donde se caracterizó la vegetación y se tomaron las muestras de suelo; en el nivel bajo las especies predominantes fueron *Fuertesimalva peruviana* y *Sicyos baderoa*; en el nivel medio predominó *F. peruviana*; en el nivel alto las especies predominantes fueron *Nasa urens* y *F.*

*peruviana* (las coordenadas y el detalle de cada parcela se encuentran en el Material suplementario 1).

La toma de muestras de biomasa vegetal aérea (BA) y de suelo se realizó entre diciembre 2020 y enero 2021 (época seca; para este momento, el área presentaba únicamente vegetación muerta o necromasa). Para ello se realizó una cosecha destructiva, de toda la BA en cada parcela; se pesó la BA utilizando una balanza manual; asimismo, se tomaron muestras de suelo a dos profundidades (0-10 cm y 10-20 cm); en cada profundidad, se recolectó una muestra utilizando un cilindro metálico de 205 ml, que fue ubicado en las esquinas de la parcela. Esta metodología utilizó como referencia trabajos previos en ecosistemas herbáceos, en donde el número de parcelas permitió tener muestras representativas de estas comunidades (Ampuero & Aponte, 2020; Aponte et al., en prensa; Corvacho, 2020). En cada parcela se determinó la densidad aparente utilizando un barreno de 31.4 ml siguiendo las pautas del método del cilindro (Blake & Hartge, 1986).

### **Análisis de laboratorio y cálculos del *stock* de carbono**

La determinación de la densidad aparente y la humedad de la biomasa vegetal fueron realizadas en el laboratorio de Microbiología y Ecología Forense de la Policía Nacional del Perú; la cuantificación de carbono en las muestras de suelo y biomasa fueron realizadas por el Laboratorio de Análisis de Suelos y Plantas de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Los procedimientos que se siguieron se describen a continuación:

#### **a) Determinación de la densidad aparente**

Se determinó la densidad aparente ( $\rho_a$ ) siguiendo la técnica del método del cilindro (Blake & Hartge, 1986). En este método, la muestra de suelo se colectó con un cilindro metálico de 31.4 ml de volumen (V). Luego se secó a 105 °C hasta llegar a peso constante ( $P_{ss}$ ) (Ec. 1).

$$\rho a(g/cm^3) = \frac{P_{ss}}{V} \dots \text{Ecuación 1}$$

La  $\rho a$  se multiplicó por la profundidad (10 cm) para la determinación de la cantidad de suelo por parcela (S).

**b) Determinación del porcentaje de humedad en la biomasa aérea**

Se determinó el porcentaje de biomasa seca (%BS) empleando el método gravimétrico, que consiste en la obtención del peso seco hasta alcanzar un peso constante (Ec. 2).

$$\% BS = \frac{P_s}{P_0} \dots \text{Ecuación 2}$$

Donde:  $P_s$  es el peso de la biomasa seca una vez alcanzado un peso constante y  $P_0$  es el peso inicial de la biomasa.

**c) Determinación del porcentaje de carbono en las muestras**

Para la determinación de carbono, se siguió el método de Walkley & Black (1934), la cual ha sido previamente utilizada en otros ecosistemas herbáceos de la costa de Lima (Ampuero & Aponte, 2020; Arévalo & Aponte, 2020) facilitando su comparación. Esta técnica consiste en la oxidación húmeda de la muestra con dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ) en un medio ácido; este procedimiento permite la oxidación parcial del carbono y su posterior titulación con sulfato ferroso amónico ( $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ ) para la obtención del porcentaje de carbono; a su vez, este porcentaje se divide entre 100 para obtener la fracción de carbono (FC) (Ec. 3). Fueron analizadas tres muestras por parcela: a) biomasa aérea; b) suelo de 0-10 cm y c) suelo de 10-20 cm.

$$FC = \frac{\%C}{100} \dots \text{Ecuación 3}$$

**d) Cálculo del *stock* de carbono en el suelo y la biomasa aérea**

El carbono en suelo por parcela (CSP) se obtuvo mediante el producto de la S y su FC respectivo (Ec. 4). El carbono en biomasa aérea por parcela (CBP) se obtuvo multiplicando BA por su respectivo %BS y su correspondiente FC (Ec. 5).

$$CSP = S * FC \dots \text{Ecuación 4}$$

$$CBP = BA * \%BS \dots \text{Ecuación 5}$$

Se verificó que la muestra fuera representativa de cada zona utilizando una curva de *performance* (Carpenter et al., 1999); se consideró que la muestra fue representativa toda vez que la cantidad de carbono alcanzara una meseta cuya variación fuera menor a 2 tC/ha.

#### e) *Stock* de carbono en el total del ecosistema y su valoración

El carbono total de cada parcela (CTP) se obtuvo sumando CSP y CBP. Por cada nivel, se promediaron todos los valores de CTP; con dicho promedio y con el área de cada nivel se calculó el carbono almacenado en cada nivel. La suma de la reserva de carbono de cada nivel representó el carbono total en almacenado en la loma.

El valor económico de la reserva de carbono fue determinado mediante el método de precios en el mercado, utilizando para ello el menor y el mayor precio del carbono el cual se encuentra en un rango de 10 a 188 USD/tC (Mogas & Micaló, 2005).

### **Análisis estadísticos**

Se emplearon análisis estadísticos descriptivos (promedios y coeficiente de variación) para caracterizar el carbono almacenado por compartimiento (biomasa aérea, suelo 0-10 cm y suelo 10-20 cm) y por nivel (bajo, medio y alto). Se utilizó la prueba de Shapiro Wilk y la prueba de Levene

para verificar la normalidad y la homocedasticidad de las varianzas, respectivamente. Al encontrar que en algunos casos no seguían una distribución normal y/o no cumplían con el criterio de homocedasticidad ( $p < 0.05$ ), se utilizó la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis a fin de comparar el carbono almacenado entre los compartimentos y niveles. Adicionalmente, se calculó el carbono almacenado en el suelo (0-20 cm, obtenido de la suma de las dos profundidades evaluadas) y se comparó según el nivel y con el almacenado en la biomasa aérea. Todos estos análisis fueron realizados en el software Past 4.05 (Hammer et al., 2001).

## RESULTADOS

### *Comparación de carbono por compartimentos y niveles*

La Fig. 1 muestra el almacenamiento de carbono en los compartimentos y niveles evaluados. A continuación, se detallan los resultados por compartimento y en el total del área de estudio. Las curvas de *performance* mostraron que la estimación fue representativa (Material suplementario 2).

En la Tabla 1, se puede observar la cantidad de carbono en el suelo en cada uno de los niveles evaluados. Al comparar el almacenamiento de carbono entre niveles no se encontraron diferencias significativas (Fig. 2;  $p > 0.05$ ); al comparar el almacenamiento de carbono según la profundidad, fue mayor en la profundidad de 0-10 cm (21.21 tC/ha) comparado con la de 10-20 cm (7.69 tC/ha;  $p > 0.05$ ).

La Tabla 2 muestra la cantidad de carbono en la biomasa vegetal en cada uno de los niveles evaluados. Se puede observar que la mayor cantidad de carbono se encuentra en el nivel alto (1.18 tC/ha), seguido del nivel medio (1.06 tC/ha) y del nivel bajo (1.04 tC/ha); al compararlos, no se encontraron diferencias significativas (Fig. 1;  $p > 0.05$ ).

El carbono total en el suelo (0-20 cm) fue mayor para el nivel alto (30.79 tC/ha), seguido del nivel medio (29.01 tC/ha) y el nivel bajo (26.22 tC/ha); no se encontraron diferencias significativas entre estos niveles ( $p>0.05$ ). Al comparar el carbono almacenado en la biomasa vegetal y el carbono almacenado en el suelo, este último fue mayor ( $p<0.05$ ).

### ***Carbono total por nivel, en la loma y su valoración***

La Tabla 3 presenta los valores de carbono total por nivel. El nivel bajo tiene una mayor reserva de carbono, con 2717.24 tC, seguido del nivel medio, con 2577.62 tC y, por último, el nivel alto, con 1215.92 tC; no se encontraron diferencias significativas entre ellos ( $p>0.05$ ) (Fig. 1). El *stock* de carbono total para las Lomas de Amancaes fue de 6510.72 tC, que estaría valorizado entre USD 65 107.2-1 224 015.36.

## **DISCUSIONES**

La costa peruana es una región árida, donde encontramos un importante corredor biológico, conformado por las lomas costeras, tillandsiales y humedales (Aponte, 2015). Al respecto, existe abundante bibliografía sobre la composición vegetal, características y distribución de las lomas (Dillon & Haas, 2003; Dillon & Rundel, 1990; Manrique et al., 2014; Muenchow et al., 2013; Rolando et al., 2017), pero se cuenta con pocos datos respecto a sus reservas de carbono. Algunos avances se han obtenido para los tillandsiales (un tipo particular de ecosistema desértico no estacional compuesto por plantas del género *Tillandsia*), donde se ha estimado un almacenamiento entre 2.75 y 25.15 tC/ha, resaltando la importancia que tienen estos ecosistemas también por su reserva de agua (Arévalo & Aponte, 2020; Chino, 2019; Toledo, 2020). Otro grupo de estudios han abordado el almacenamiento de carbono en comunidades vegetales de los humedales costeros de

esta región desértica, encontrando valores que se encuentran entre 28.50 y 305.37 tC/ha (Ampuero & Aponte, 2020; Palomino & Cabrera, 2007; Pérez et al., 2015). Es importante mencionar que la estimación de carbono corresponde a las especies vegetales predominantes (*Fuertesimalva peruviana*, *Nasa urens* y *Sicyos baderoa*) en los niveles evaluados; esta estimación puede variar de acuerdo a las especies predominantes de cada loma costera (Tovar et al., 2018; Trinidad et al., 2012). Este estudio muestra los primeros datos sobre la reserva de carbono para las lomas costeras, encontrando que sus valores son mayores a los encontrados en los tillandsiales, pero menores a los registrados en humedales. Si se compara el valor del almacenamiento de carbono obtenido, con otros valores conocidos para ecosistemas desérticos en el mundo (Tabla 4), estos se asemejan a los niveles de captación de carbono en ecosistemas desérticos en África (25 tC/ha), Zona de transición Sahel (20.65 tC/ha), Desierto de Negev (0-30.30 tC/ha), Sabana de Acacia (55.99 tC/ha), Desiertos en China (23.20 tC/ha), Desierto Mojave (10.30 tC/ha), Cuenca de La Paz y Los Planes (0.15-45.55 tC/ha) y la Estación experimental Las Cardas (36.5 tC/ha) (Alam, Starr, & Clark, 2013; Ayala-Niño et al., 2020; Evans et al., 2014; Feng, Endo, & Guodong, 2002; Henry, Valentini, & Bernoux, 2009; Hoffmann, Yair, Hikel, & Kuhn, 2012; Woomer, Touré, & Sall, 2004), pero son menores a los encontrados en Túnez y los desiertos templados de Asia Central (Brahim et al., 2010; Li et al., 2015). La captación de carbono de los ecosistemas desérticos depende de la disponibilidad de agua, ya que este recurso limita la productividad vegetal afectando las reservas de carbono en el suelo (Laban et al., 2018; Lal, 2019). Entre otras variables a considerar se encuentran también el tipo de vegetación (Li et al., 2015), los tipos de suelo (Díaz-Hernández et al., 2003) y las características propias del área de estudio (Feng et al., 2002). El estudio de todas estas variables en relación con las reservas de carbono será importante en el futuro con la finalidad de comprender mejor las variaciones espacio-temporales que puedan tener las reservas de carbono de estos ecosistemas desérticos en relación con los componentes bióticos y abióticos de estos ecosistemas.

En el Perú, se ha buscado la protección de las lomas costeras mediante distintas leyes (Ley N° 27308 y Ley N° 28611). A pesar de la existencia de esta normativa, el ecosistema de lomas no ha dejado de ser vulnerable frente el accionar antropogénico, llevando a la reducción e incluso a su desaparición (Aponte, 2015; Orrego, 2011; Vega-Centeno, 2017). Hasta el momento, seis lomas han sido reconocidas como Áreas Naturales Protegidas; si bien esto es un gran paso para la protección de estos ecosistemas, aún queda una gran cantidad de lomas por proteger: solo en Lima se han identificado al menos 20 lomas (Moat et al., 2021). Los cambios del uso del suelo reduce las fuentes de captación del carbono atmosférico, las reservas de carbono en el suelo y en la biomasa, liberando el carbono almacenado (Ussiri & Lal, 2017). Los datos del presente estudio contribuirán al conocimiento de las reservas de carbono de estos ecosistemas desérticos, permitiendo a los tomadores de decisión tener más herramientas que sustenten la protección de estos ecosistemas costeros.

Debido a que las lomas dependen principalmente de la disponibilidad de humedad de la neblina, estas son altamente sensibles a eventos extremos, como “El Niño” (El Niño Southern Oscillation, ENSO) (Manrique et al., 2010; Muñoz-Schick et al., 2001). Estos cambios repercuten en la duración de la estacionalidad de la temporada de lomas, la germinación de especies vegetales, la migración de especies y el flujo génico (Dillon et al., 2011; Eichler & Londoño, 2013; Manrique et al., 2010; Tovar et al., 2018). Entre muchas de las posibles consecuencias producidas por el cambio climático es posible que ocurra el aumento en la frecuencia e intensidad del fenómeno ENSO (Cai et al., 2015), los cuales repercutirían sobre los patrones climáticos, influyendo directamente la formación y el desarrollo del ecosistema de lomas, pudiendo afectar el ciclo de carbono y sus reservas. Por lo general, en los periodos ENSO, hay una prolongación de la época de lomas (Dillon & Rundel, 1990; Tovar et al., 2018), por lo que se esperaría un aumento de las

reservas en estos años y una disminución durante los periodos fríos (denominados “La Niña”). Son necesarios mayores estudios para conocer la relación de las reservas de carbono durante eventos como ENSO; para ello, son necesarios mayores estudios en periodos climáticos complementarios o estudios sedimentológicos, de manera que se pueda determinar si existen correlaciones.

Desde finales de los años 90, el Pacífico Sur-Este se encuentra bajo una interfaz de enfriamiento de la costa y calentamiento continental (Falvey & Garreaud, 2009). El enfriamiento responde a la intensificación de la fase negativa del PDO (Pacific Decadal Oscillation), la cual ha traído consigo la disminución de la temperatura superficial del océano y del aire, así como la intensificación del Anticiclón del Pacífico, disminuyendo la frecuencia de lluvias y nubosidad, aumentando la aridez, y reduciendo la altitud de la capa de inversión térmica (100 m/década) (del Río et al., 2018; Schulz et al., 2011, 2012). Estos efectos han ocasionado la reducción de la cobertura vegetal y la pérdida de algunas especies perennes (Koch et al., 2020; Schulz et al., 2011). La intensificación de la fase negativa del PDO es atribuida al calentamiento global y se estima que sus efectos puedan verse intensificados a lo largo del siglo XXI. Si la tendencia de enfriamiento continuase, se esperaría una reducción de la vegetación de las lomas (del Río, 2019; Koch et al., 2020; Schulz et al., 2011); por consiguiente, esta disminución en la vegetación afectaría la alta diversidad de especies y los servicios ecosistémicos, particularmente el servicio de captura y almacenamiento de carbono, resultando en la reducción del stock de carbono de las lomas.

El crecimiento desordenado de las ciudades y el cambio climático amenazan la conservación de los ecosistemas de lomas. La información sobre el stock de carbono en el suelo provista en esta investigación, favorecerá el desarrollo de mejores estrategias para la protección, conservación y manejo de este ecosistema. Los resultados del presente estudio constituyen unas de las primeras estimaciones del almacenamiento de carbono para el ecosistema de lomas y permite comprender

su rol como regulador del clima; las lomas de Amancaes se presentan como un importante sumidero de carbono para la ciudad de Lima.

## **CONCLUSIONES**

Se estimó la reserva de carbono del ecosistema Lomas de Amancaes en 29.77 tC/ha y un total de 6510.72 tC, cuyo valor económico se encuentra entre los USD 65 107.2-1 224 015. La cantidad de carbono fue similar en todos los niveles evaluados. Este ecosistema es un sumidero de carbono importante para la ciudad de Lima, y contribuye en la mitigación de los impactos que puede producir el cambio climático. Los resultados del almacenamiento de carbono del presente estudio aportan con la ampliación de información, que puede ayudar a la promoción de la conservación y protección de este ecosistema y otros similares. Se recomienda fomentar la investigación del ecosistema de lomas, a fin de poder generar más información referente al servicio de captura y almacenamiento de carbono.

## **PARTICIPACIÓN DE AUTORES**

VHGP y HA planearon y diseñaron el estudio y analizaron la información recolectada. Todos los autores participaron del trabajo de campo, escribieron el artículo, contribuyeron en las revisiones y aprobaron la versión final.

## **BIBIOGRAFÍA**

Aguilar, M., Orbegoso, F., & Diaz, B. (2015). El problema de la vivienda en el distrito de Pillco

- Marca: 2012-2014. *Investigación Valdizana*, 9 (1), 27–30.
- Alam, S. A., Starr, M., & Clark, B. J. F. (2013). Tree biomass and soil organic carbon densities across the Sudanese woodland savannah: A regional carbon sequestration study. *Journal of Arid Environments*, 89, 67–76. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2012.10.002>
- Ampuero, W., & Aponte, H. (2020). “Estimación del carbono almacenado en la comunidad del junco (*schoenoplectus americanus*) bajo dos escenarios de crecimiento en el humedal costero Refugio de Vida Silvestre Pantanos de Villa (Lima-Perú).” 27(1), 157–164. <https://doi.org/http://doi.org/10.22497/arnaldoa.271.27117>
- Aponte, H. (2015). Ecosistemas potenciales para el turismo en la costa de Lima y Callao: oportunidades y perspectivas. *No Vum Otium*, 1, 57–64.
- Aponte, H., Corvacho, M. F., Lértora, G., & Ramírez, D. (n.d.). Reserva de carbono en un humedal del desierto costero de Sudamérica. *Gayana Botánica*.
- Aponte, H., Romero, P., Cano, A., & Arana, C. (2005). Analisis preliminar de la distribución altitudinal de la vegetación en las lomas de Lima. *XIV RC ICBAR*.
- Arévalo, J., & Aponte, H. (2020). Almacenamiento de carbono y agua en *Tillandsia latifolia* meyen en un sector del Tillandsial de Piedra Campana (Lima / Perú). *Ecología Aplicada*, 19(1), 9. <https://doi.org/10.21704/rea.v19i1.1441>
- Ayala-Niño, F., Maya-Delgado, Y., García-Calderón, N. E., Olmedo, G., Guevara, M., & Troyo-Diéguez, E. (2020). Spatial distribution of soil carbon storage in desert shrubland ecosystems of northwest Mexico. *Journal of Arid Environments*, 183, 104251. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104251>

- Blake, G. R., & Hartge, K. H. (1986). Bulk Density. In *Methods of Soil Analysis: Part 1—Physical and Mineralogical Methods* (pp. 363–375). Soil Science Society of America, American Society of Agronomy. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2ed.c13>
- Brahim, N., Bernoux, M., Blavet, D., & Tahar, G. (2010). Tunisian Soil Organic Carbon Stocks. *International Journal of Soil Science*, 5, 34–40. <https://doi.org/10.3923/ijss.2010.34.40>
- Cai, W., Santoso, A., Wang, G., Yeh, S., An, S., Cobb, K. M., Collins, M., Guilyardi, E., Jin, F., Kug, J., Lengaigne, M., McPhaden, M. J., Takahashi, K., Timmermann, A., Vecchi, G., Watanabe, M., & Wu, L. (2015). ENSO and greenhouse warming. *Nature Climate Change*, 5(9), 849–859. <https://doi.org/10.1038/nclimate2743>
- Carpenter, A. T., Elzinga, C. L., Salzer, D. W., & Willoughby, J. W. (1999). Measuring and Monitoring Plant Populations. *Journal of Range Management*, 52(5), 544. <https://doi.org/10.2307/4003786>
- Chino, E. (2019). *Evaluación del servicio ambiental de captura y almacenamiento de carbono en la comunidad de Tillandsial (Bromeliaceae) en las pampas de Cerro Intiorko en la provincia de Tacna, 2016* [Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann]. <http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/3719>
- Corvacho, M. F. (2020). *Estimación del carbono almacenado en los totrales y gramadales del refugio de vida silvestre Los Pantanos de Villa, Lima, Perú* [Universidad Científica del Sur]. [https://repositorio.cientifica.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12805/1203/TL-Corvacho M-Ext.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.cientifica.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12805/1203/TL-Corvacho_M-Ext.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Cuya, O., & Sánchez, S. (1991). Flor de Amancaes: Lomas que deben conservarse. *Boletín de Lima*, 13(76), 59–64.

- del Río, C. (2019). *Spatiotemporal characteristics of coastal fog in the Atacama Desert* [Heidelberg University]. <https://archiv.ub.uni-heidelberg.de/volltextserver/27922/>
- del Río, C., Rivera, D., Siegmund, A., Wolf, N., Cereceda, P., Larraín, H., Lobos, F., Garcia, J., Osses, P., Zanetta, N., & Lambert, F. (2018). ENSO Influence on Coastal Fog-Water Yield in the Atacama Desert, Chile. *Aerosol and Air Quality Research*, 18(1), 127–144. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2017.01.0022>
- Dillon, M. O., & Haas, J. (2003). El Niño in Peru : biology and culture over 10,000 years : Papers from the VIII Annual A. Watson Armour III Spring Symposium, May 28-29, 1999, Chicago. In J. Haas & M. Dillon (Eds.), *Botany* (Issue January 2003). Field Museum of Natural History,. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.2569>
- Dillon, M. O., Leiva González, S., Zapata Cruz, M., Asencio, P. L., & Silvestre, V. Q. (2011). Floristic Checklist of the Peruvian Lomas Formations-Catálogo florístico de las Lomas peruanas. *Arnaldoa*, 18(1), 07–32. <https://www.researchgate.net/publication/266617058>
- Dillon, M. O., & Rundel, P. W. (1990). The Botanical Response of the Atacama and Peruvian Desert Floras to the 1982-83 El Niño Event. In *Elsevier Oceanography Series* (Vol. 52, Issue C, pp. 487–504). [https://doi.org/10.1016/S0422-9894\(08\)70047-3](https://doi.org/10.1016/S0422-9894(08)70047-3)
- Díaz-Hernández, J. L., Fernández, E. B., & González, J. L. (2003). Organic and inorganic carbon in soils of semiarid regions: a case study from the Guadix–Baza basin (Southeast Spain). *Geoderma*, 114(1–2), 65–80. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(02\)00342-7](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(02)00342-7)
- Eichler, T. P., & Londoño, A. C. (2013). ENSO impacts on lomas formation in south coastal Peru: Implications for the Pliocene? *Advances in Meteorology*, 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/175947>

- Engel, F. (1973). New Facts about Pre-Columbian Life in the Andean Lomas. *Current Anthropology*, 14(3), 271–280. <https://doi.org/10.1086/201330>
- Evans, R. D., Koyama, A., Sonderegger, D. L., Charlet, T. N., Newingham, B. A., Fenstermaker, L. F., Harlow, B., Jin, V. L., Ogle, K., Smith, S. D., & Nowak, R. S. (2014). Greater ecosystem carbon in the Mojave Desert after ten years exposure to elevated CO<sub>2</sub>. *Nature Climate Change*, 4(5), 394–397. <https://doi.org/10.1038/nclimate2184>
- Falvey, M., & Garreaud, R. D. (2009). Regional cooling in a warming world: Recent temperature trends in the southeast Pacific and along the west coast of subtropical South America (1979–2006). *Journal of Geophysical Research*, 114(D4), D04102. <https://doi.org/10.1029/2008JD010519>
- Feng, Q., Endo, K. N., & Guodong, C. (2002). Soil carbon in desertified land in relation to site characteristics. *Geoderma*, 106(1–2), 21–43. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(01\)00099-4](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(01)00099-4)
- Hammer, Ø., Harper, D., & Ryan, P. (2001). PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4(1), 9. [http://palaeo-electronica.org/2001\\_1/past/issue1\\_01.htm](http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm)
- Henry, M., Valentini, R., & Bernoux, M. (2009). Soil carbon stocks in ecoregions of Africa. *Biogeosciences Discussions*, 6, 797–823. <https://doi.org/10.5194/bgd-6-797-2009>
- Hoffmann, U., Yair, A., Hikel, H., & Kuhn, N. J. (2012). *Soil organic carbon in the rocky desert of northern Negev ( Israel )*. 811–825. <https://doi.org/10.1007/s11368-012-0499-8>
- Kalicki, P., Kalicki, T., & Kittel, P. (2014). The Influence of El Niño on Settlement Patterns in Lomas de Lachay, Central Coast, Peru. *Interdisciplinaria Archaeologica: Natural Sciences*

- in Archaeology*, *V*(2), 147–160. <https://doi.org/10.24916/iansa.2014.2.5>
- Koch, M. A., Stock, C., Kleinpeter, D., Río, C., Osses, P., Merklinger, F. F., Quandt, D., & Siegmund, A. (2020). Vegetation growth and landscape genetics of *Tillandsia lomas* at their dry limits in the Atacama Desert show fine-scale response to environmental parameters. *Ecology and Evolution*, *10*(23), 13260–13274. <https://doi.org/10.1002/ece3.6924>
- Laban, P., Metternicht, G., & Davies, J. (2018). Soil biodiversity and soil organic carbon: keeping drylands alive. In *Soil biodiversity and soil organic carbon: keeping drylands alive*. IUCN, International Union for Conservation of Nature. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2018.03.en>
- Lal, R. (2019). Carbon Cycling in Global Drylands. *Current Climate Change Reports*, *5*(3), 221–232. <https://doi.org/10.1007/s40641-019-00132-z>
- Li, C., Zhang, C., Luo, G., Chen, X., Maisupova, B., Madaminov, A. A., Han, Q., & Djenbaev, B. M. (2015). Carbon stock and its responses to climate change in Central Asia. *Global Change Biology*, *21*(5), 1951–1967. <https://doi.org/10.1111/gcb.12846>
- Lleellish, M., Odar, J., & Trinidad, H. (2015). *Guía de Flora de las Lomas de Lima* (1a ed.). Servicio Nacional de Flora y Fauna Silvestre. <https://doi.org/https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4431.0564>
- Maguiña, E. (2016). Esbozo de las migraciones internas en el siglo XX y primera década del siglo XXI y su relación con los modelos de desarrollo económico en el Perú. *Anales Científicos*, *77* (1)(1), 17–28. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.21704/ac.v77i1.622>
- Manrique, R., Ferrari, C., & Pezzi, G. (2010). The influence of El Niño Southern Oscillation (ENSO) on fog oases along the Peruvian and Chilean coastal deserts. *5th International on*

*Fog, Fog Collection and Dew, July*, 25–30. <https://doi.org/10.13140/2.1.2522.7207>

Manrique, R., Ricotta, C., Ferrari, C., & Pezzi, G. (2014). Latitudinal pattern in plant composition along the Peruvian and Chilean fog oases. *Plant Biosystems*, 148(5), 1002–1008. <https://doi.org/10.1080/11263504.2014.918059>

Resolución Ministerial N° 0404, (2013).

Moat, J., Orellana-Garcia, A., Tovar, C., Arakaki, M., Arana, C., Cano, A., Faundez, L., Gardner, M., Hechenleitner, P., Hepp, J., Lewis, G., Mamani, J.-M., Miyasiro, M., & Whaley, O. Q. (2021). Seeing through the clouds – Mapping desert fog oasis ecosystems using 20 years of MODIS imagery over Peru and Chile. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 103(pre-print), 102468. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102468>

Mogas, J., & Micaló, P. (2005). El valor de la fijación de carbono en los programas de forestación. *Boletín Económico de ICE, Información Comercial Española*, 13–28.

Muenchow, J., Hauenstein, S., Bräuning, A., Bäumler, R., Rodríguez, E. F., & Von Wehrden, H. (2013). Soil texture and altitude, respectively, largely determine the floristic gradient of the most diverse fog oasis in the Peruvian desert. *Journal of Tropical Ecology*, 29(5), 427–438. <https://doi.org/10.1017/S0266467413000436>

Muñoz-Schick, M., Pinto, R., Mesa, A., & Moreira-Muñoz, A. (2001). " Oasis de neblina " en los cerros costeros del sur de Iquique , región de Tarapacá , Chile , durante el evento El Niño 1997-1998. *Rev. Chil. Hist. Nat.*, 74(2), 1–15. <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2001000200014>

Nieuwland, B., & Mamani, J. M. (2017). Las lomas de Lima: enfocando ecosistemas desérticos como espacios abiertos en Lima metropolitana. *Espacio y Desarrollo*, 133(29), 109–133.

<https://doi.org/10.18800/espacioydesarrollo.201701.005>

Orrego, J. L. (2011). *San Juan de Lurigancho*. Blog Pucp.

<http://blog.pucp.edu.pe/blog/juanluisorrego/2011/09/20/san-juan-de-lurigancho/>

Palomino, D., & Cabrera, C. (2007). Estimación del servicio ambiental de captura del CO<sub>2</sub> en la flora de los humedales de Puerto Viejo. *Revista Del Instituto de Investigaciones FIGMMG*, 10(20), 49–59.

[http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/geologia/vol10\\_n20/a07.pdf%0Ahttp://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/cybertesis/800/Palomino\\_cd.pdf;jsessionid=6C49A8A48509296B554AFF9B3B5923B9?sequence=1](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/geologia/vol10_n20/a07.pdf%0Ahttp://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/cybertesis/800/Palomino_cd.pdf;jsessionid=6C49A8A48509296B554AFF9B3B5923B9?sequence=1)

Perez-Quezada, J. F., Delpiano, C. A., Snyder, K. A., Johnson, D. A., & Franck, N. (2011). Carbon pools in an arid shrubland in Chile under natural and afforested conditions. *Journal of Arid Environments*, 75(1), 29–37. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2010.08.003>

Pérez, H., Luccini, E., Herrera, L., Parodi, M., Matar, M., Barrea, L., Mechni, M., & Masramón, E. (2015). Cuantificación de la captura de CO<sub>2</sub> por la flora nativa de totora en un humedal costero en Perú. *Energeia*, 13(13), 73–80. [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5\\_SYR\\_FINAL\\_All\\_Topics.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_All_Topics.pdf)

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2018). *Retos y oportunidades en la conservación de las lomas de Lima Metropolitana*.

Rolando, J. L., Del Castillo, J. D., Padilla, D., Quinteros, Z., & Sánchez, E. (2017). Annual seasonality and diversity patterns of the plant community in a fog oasis ecosystem in the city of Lima. *Tropical Ecology*, 58(4), 781–791.

Rundel, P. W. (1978). Ecological Relationships of Desert Fog Zone Lichens. *The Bryologist*, 81(2),

277. <https://doi.org/10.2307/3242189>

Rundel, P. W., Dillon, M. O., Palma, B., Mooney, H. A., Gulmon, S. L., & Ehleringer, J. R. (1991).

The Phytogeography and Ecology of the Coastal Atacama and Peruvian Deserts. *Aliso*, 13(1), 1–49. <https://doi.org/10.5642/aliso.19911301.02>

Schulz, N., Aceituno, P., & Richter, M. (2011). Phytogeographic divisions, climate change and

plant dieback along the coastal desert of northern Chile. *Erdkunde*, 65(2), 169–187. <https://doi.org/10.3112/erdkunde.2011.02.05>

Schulz, N., Boisier, J. P., & Aceituno, P. (2012). Climate change along the arid coast of northern

Chile. *International Journal of Climatology*, 32(12), 1803–1814. <https://doi.org/10.1002/joc.2395>

Toledo, A. (2020). *Captura de Carbono en la especie Tillandsia werdermannii y Tillandsia*

*purpurea en las Lomas Arrojadero situada entre los Distritos de Inclán y Locumba, Tacna* [Universidad Privada de Tacna]. <http://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/1710>

Tovar, C., Infantas, E. S., & Roth, V. T. (2018). Plant community dynamics of lomas fog oasis of

Central Peru after the extreme precipitation caused by the 1997-98 El Niño event. *PLoS ONE*, 13(1). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0190572>

Trinidad, H., Huamán-Melo, E., Delgado, A., & Cano, A. (2012). Flora vascular de las lomas de

Villa María y Amancaes, Lima, Perú. *Revista Peruana de Biología*, 19(2), 149–158. <https://doi.org/10.15381/rpb.v19i2.834>

Ussiri, D. A. N., & Lal, R. (2017). Introduction to Global Carbon Cycling: An Overview of the

Global Carbon Cycle. In *Carbon Sequestration for Climate Change Mitigation and Adaptation* (Issue C, pp. 61–76). Springer International Publishing.

[https://doi.org/10.1007/978-3-319-53845-7\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-53845-7_3)

Vásquez, M. (2008). Comparación de dos métodos de muestreo para el estudio de la comunidad herbácea de Las Lomas. *Zonas Áridas*, 12(1), 166–183.

Vega-Centeno, P. (2017). La dimensión urbana de las centralidades de Lima Norte: cambios y permanencias en la estructura metropolitana. *EURE (Santiago)*, 43(129), 5–25.  
<https://doi.org/10.4067/S0250-71612017000200001>

Walkley, A., & Black, I. (1934). An examination of the Degtjareff Method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37(1), 29–38. <https://doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003>

Woomer, P. L., Touré, A., & Sall, M. (2004). Carbon stocks in Senegal’s Sahel Transition Zone. *Journal of Arid Environments*, 59(3), 499–510.  
<https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2004.03.027>

**TABLAS**

**Tabla 1.** Carbono almacenado en el suelo por nivel y profundidad. Para las variables densidad aparente y porcentaje de carbono (%C) se muestra el promedio  $\pm$  coeficiente de variación (mínimo - máximo).

Nivel	Profundidad	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	% C	gC/m <sup>2</sup>	tC/ha
BAJO	0-10 cm	1.6 $\pm$ 11.79 (1.31-1.97)	1.14 $\pm$ 55.88 (0.2-2.19)	1737.23	17.37
	10-20 cm	1.48 $\pm$ 47.21 (0-1.9)	0.51 $\pm$ 83.8 (0-1.6)	884.88	8.85
MEDIO	0-10 cm	1.52 $\pm$ 13.77 (1.21-1.9)	1.48 $\pm$ 37.57 (0.59-2.76)	2235.90	22.36
	10-20 cm	1.15 $\pm$ 80.27 (0-1.98)	0.37 $\pm$ 150.66 (0-2.12)	664.78	6.65
ALTO	0-10 cm	1.29 $\pm$ 10.15 (1.11-1.48)	1.82 $\pm$ 69.68 (0.66-5.85)	2294.10	22.94
	10-20 cm	1.36 $\pm$ 51.06 (0-1.88)	0.49 $\pm$ 81.93 (0-1.37)	785.13	7.85

**Tabla 2.** Carbono almacenado en la biomasa aérea por nivel en Las Lomas de Amancaes. Para la variable porcentaje de carbono (% C) se muestra el promedio  $\pm$  coeficiente de variación (mínimo - máximo).

Niveles	% Biomasa seca	Biomasa seca (g/m <sup>2</sup> )	%C	gC/m <sup>2</sup>	tC/ha
Bajo	0.71	292.32	26.66 $\pm$ 62.74 (0-43.88)	104.16	1.04
Medio	0.70	304.07	25.28 $\pm$ 74.46 (0-49.91)	106.01	1.06
Alto	0.93	467.34	26.07 $\pm$ 21.47 (18.55-36.40)	118.02	1.18

**Tabla 3.** Reservas de carbono por nivel en Las Lomas de Amancaes.

<b>Nivel</b>	<b>Carbono suelo (tC/ha)</b>	<b>Carbono vegetal (tC/ha)</b>	<b>Carbono total (tC/ha)</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Stock de carbono (tC)</b>
Bajo	26.22	1.04	27.26	99.68	2717.24
Medio	29.01	1.06	30.07	85.72	2577.62
Alto	30.79	1.18	31.97	38.03	1215.92
				<b>TOTAL</b>	<b>6510.72</b>

**Tabla 4.** Almacenamiento de carbono en ecosistemas desérticos.

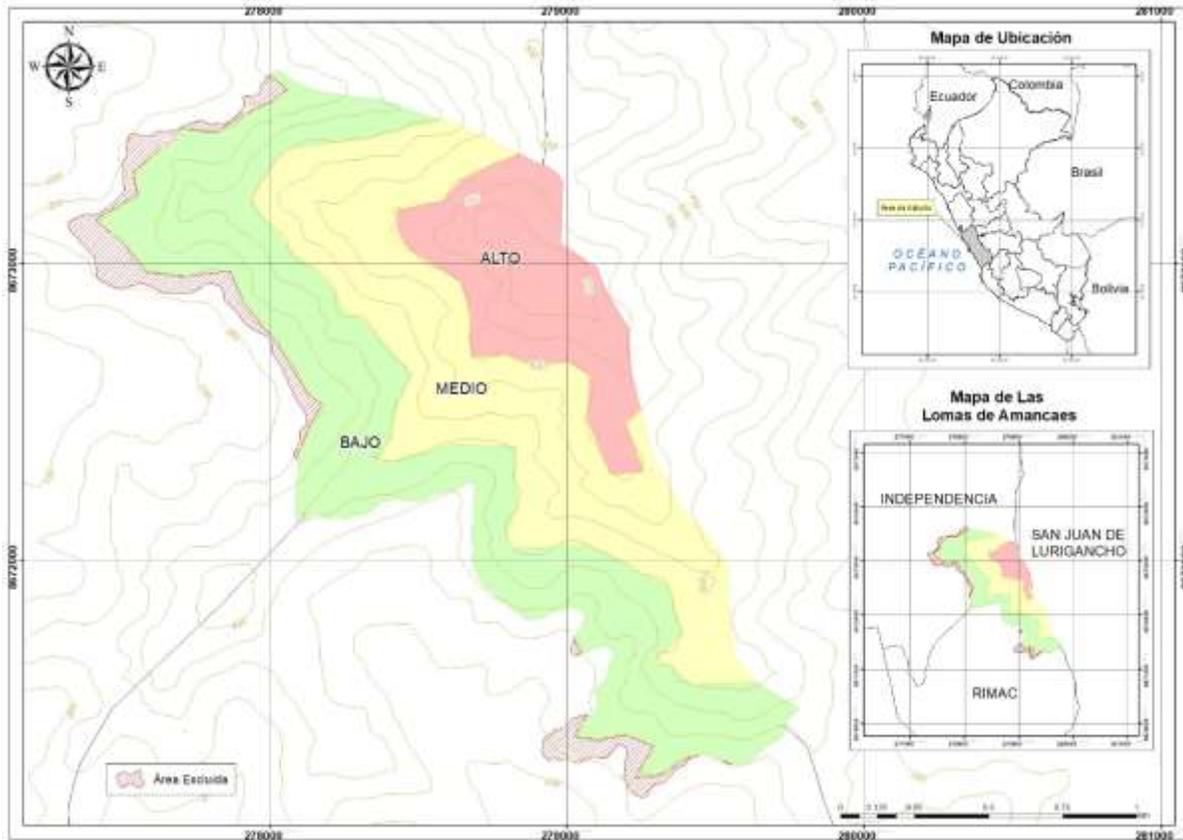
<b>Lugar</b>	<b>Almacenamiento de carbono (tC/ha)</b>			<b>Referencia</b>
	<b>Carbono</b>			
	<b>Biomasa</b>	<b>Suelo</b>	<b>total</b>	
Desiertos en África	-	25	25	Henry, Valentini, & Bernoux (2009)
Zona de Transición Sahel (Senegal)	2.58	18.06	20.65	Woomer, Touré, & Sall (2004)
Túnez (África)	-	64.86 (40.40- 159.20)	64.86 (40.40- 159.20)	Brahim, Bernoux, Blavet, & Tahar (2010)
Desierto de Negev (Sde Boker, Israel)	-	0-30.3 (3.10)	0-30.3 (3.10)	Hoffmann, Yair, Hikel, & Kuhn (2012)

Sabana de <i>Acacia</i> (Sudan)	1.46	54.53	55.99	(Alam et al., 2013)
Desiertos en China (Norte de China)	-	23.20	23.20	(Feng et al., 2002)
Desiertos templados de Asia Central (China, Kazakhstan, Kyrgyzstan, Tajikistan, Turkmenistan, y Uzbekistan)	4.0-8.7	103.9-118.9	107.9-127.6	Li et al. (2015)
Desierto Mojave (California, Estados Unidos)	2.24	8.07	10.30	(Evans et al., 2014)
Cuenca La Paz y Los Planes, (Península de Baja California, México)	-	0.15-45.55	0.15-45.55	(Ayala-Niño et al., 2020)
Estación experimental Las Cardas (Coquimbo, Chile)	3.7	32.5	36.5	(Perez-Quezada et al., 2011)
Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa (Lima, Perú)	121.69	183.68	305.37	(Ampuero & Aponte, 2020)
Humedales de Villa Maria (Ancash, Perú)	22.92	-	22.92	(Pérez et al., 2015)
Humedales de Puerto Viejo (Lima, Perú)	16-28.9	9.57-11.5	28.5-38.47	(Palomino & Cabrera, 2007)
Tillandsial “Lomas Arrojadero” (Tacna, Perú)	25.15	-	25.15	Toledo (2020)
Tillandsial “Intiorko” (Tacna, Perú)	2.75	-	2.75	(Chino, 2019)

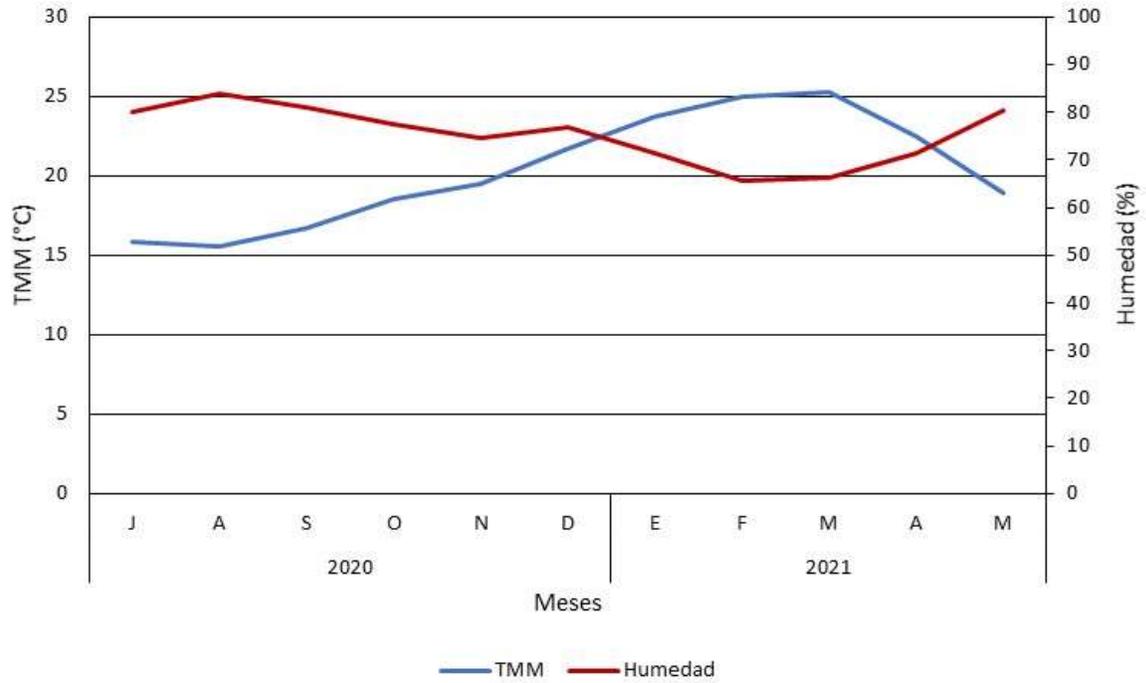
Tillandsial “Piedra Campana” (Lima, Perú)	0.59	3.05	3.64	(Arévalo & Aponte, 2020)
Lomas de Amancaes (Lima, Perú)	1.09	28.67	29.76	Presente estudio.

---

**FIGURAS**



**Figura 1.** Área de estudio. Se muestran los tres niveles bajo (verde), medio (amarillo) y alto (rojo) acompañados del mapa del Perú (arriba derecha) y el mapa distrital (abajo derecha)



**Figura 2.** Diagrama Ombrotérmico de julio 2020 a mayo 2021. Punto de muestreo: 278514 E; 8672020 N (UTM WGS84)

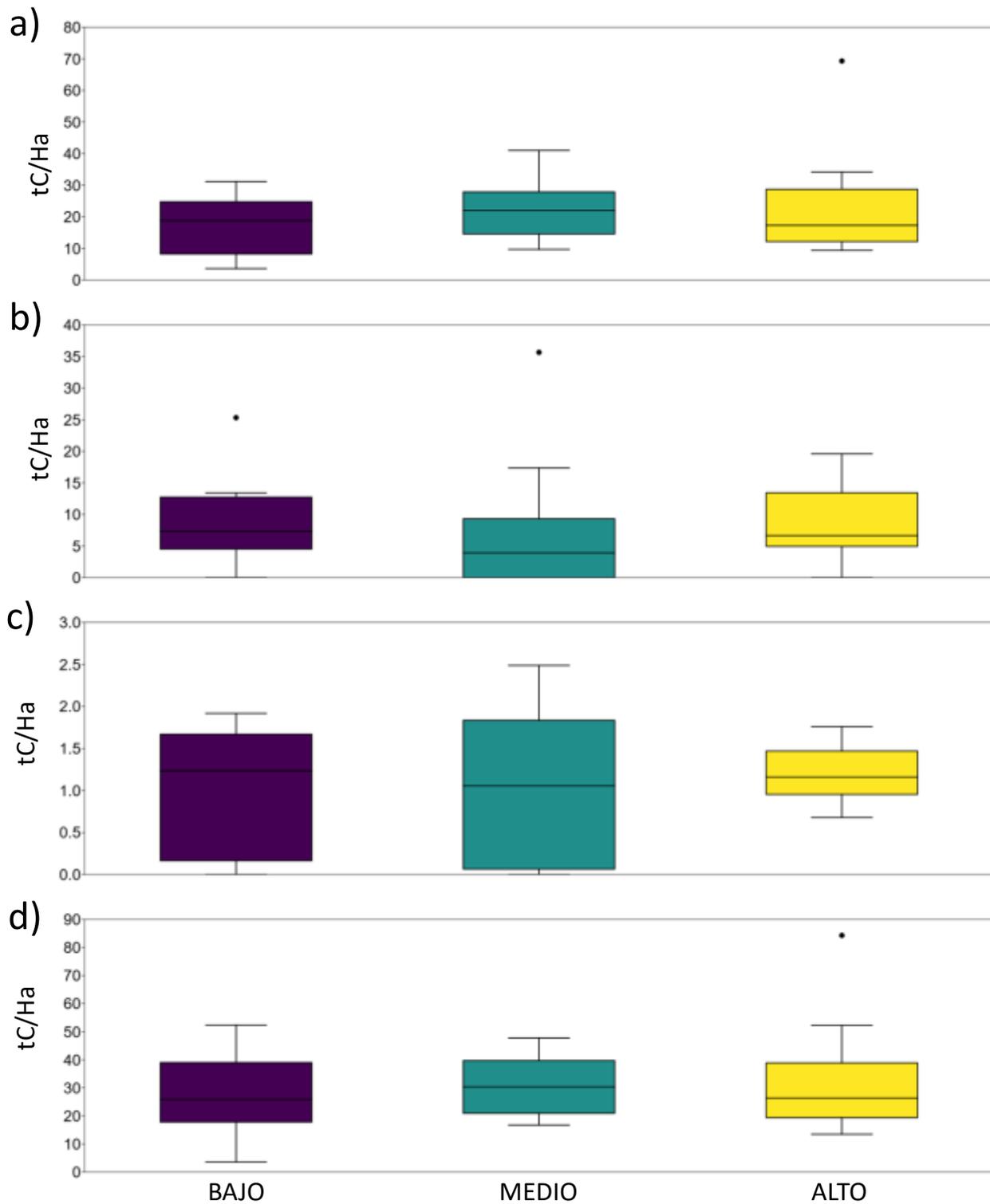


Figura 3. Almacenamiento de Carbono (tC/ha) por nivel (Bajo, Medio y Alto) a) de 0-10 cm de

profundidad. b) de 10-20 cm de profundidad, c) en la biomasa aérea y d) sumando todos los compartimentos evaluados. Los círculos representan los outliers.

## MATERIAL SUPLEMENTARIO 1

**Tabla 1.** Ubicación de los transectos evaluados.

Nivel	Transecto	Coordenadas UTM WGS 84		Altitud (m)	
		Este	Norte		
Bajo	1	Inicio	278211	8672203	372
		Fin	278204	8672196	370
	2	Inicio	278319	8672252	420
		Fin	278310	8672249	399
	3	Inicio	278399	8672309	447
		Fin	278407	8672310	450
Medio	1	Inicio	279356	8672084	561
		Fin	279361	8672093	558
	2	Inicio	278437	8672369	492
		Fin	278443	8672360	497
	3	Inicio	278945	8672166	522
		Fin	278941	8672174	524
	4	Inicio	278815	8672410	469
		Fin	278807	8672403	471
Alto	1	Inicio	279218	8672301	636
		Fin	279228	8672301	635
	2	Inicio	278752	8672815	681
		Fin	278741	8672815	690

3	Inicio	279159	8672650	674
	Fin	279163	8672641	671
4	Inicio	279146	8672408	633
	Fin	279153	8672416	634

**Tabla 2.** Especies predominantes por parcela producto de la caracterización visual (según las técnicas de Aponte et al. (2017) y Friedmann et al. (2011)). Los especímenes vegetales fueron determinados hasta el nivel de especie utilizando literatura especializada (Lleellish et al., 2015). Datos anotados en la época húmeda 2019.

Nivel	Transecto	Parcela	Especies	Porcentaje	
BAJO	1	1	<i>Fuertesimalva peruviana</i>	80%	
			<i>Raimundochloa trachyantha</i>	19%	
			<i>Parietaria debilis</i>	1%	
		3	2	<i>Fuertesimalva peruviana</i>	75%
				<i>Raimundochloa trachyantha</i>	20%
				<i>Parietaria debilis</i>	5%
				<i>Fuertesimalva peruviana</i>	10%
				<i>Raimundochloa trachyantha</i>	30%
				<i>Parietaria debilis</i>	60%
				<i>Nicotiana paniculata</i>	10%
4	4	<i>Raimundochloa trachyantha</i>	45%		
		<i>Parietaria debilis</i>	45%		

		1	<i>Fuertesimalva peruviana</i>	100%
		2	<i>Fuertesimalva peruviana</i>	100%
	2	3	<i>Fuertesimalva peruviana</i>	100%
		4	<i>Fuertesimalva peruviana</i>	100%
		1	<i>Fuertesimalva peruviana</i>	95%
			<i>Raimundochloa trachyantha</i>	5%
	3	2	<i>Fuertesimalva peruviana</i>	100%
		3	<i>Fuertesimalva peruviana</i>	97%
			<i>Raimundochloa trachyantha</i>	3%
		4	<i>Fuertesimalva peruviana</i>	100%
			<i>Fuertesimalva peruviana</i>	50%
		1	<i>Parietaria debilis</i>	30%
			<i>Solanum montanum</i>	20%
			<i>Fuertesimalva peruviana</i>	75%
		2	<i>Solanum montanum</i>	20%
			<i>Parietaria debilis</i>	5%
MEDIO	1		<i>Fuertesimalva peruviana</i>	80%
			<i>Nicotiana paniculata</i>	5%
		3	<i>Solanum montanum</i>	10%
			<i>Parietaria debilis</i>	5%
			<i>Fuertesimalva peruviana</i>	70%
		4	<i>Parietaria debilis</i>	25%
			<i>Solanum montanum</i>	5%

		1	<i>Fuertesimalva peruviana</i>	100%
		2	<i>Fuertesimalva peruviana</i>	100%
	2	3	<i>Fuertesimalva peruviana</i>	100%
		4	<i>Fuertesimalva peruviana</i>	90%
			<i>Nasa urens</i>	10%
		1	<i>Fuertesimalva peruviana</i>	85%
			<i>Nasa urens</i>	15%
	3	2	<i>Fuertesimalva peruviana</i>	98%
			<i>Nasa urens</i>	2%
		3	<i>Fuertesimalva peruviana</i>	100%
		4	<i>Fuertesimalva peruviana</i>	99%
			<i>Nasa urens</i>	1%
	4	1	<i>Sicyos baderoa</i>	100%
		2	<i>Sicyos baderoa</i>	100%
		3	<i>Sicyos baderoa</i>	100%
		4	<i>Sicyos baderoa</i>	100%
			<i>Nasa urens</i>	95%
		1	<i>Fuertesimalva peruviana</i>	3%
			<i>Solanum montanum</i>	2%
ALTO	1		<i>Nasa urens</i>	20%
		2	<i>Solanum montanum</i>	50%
			<i>Fuertesimalva peruviana</i>	20%
			<i>Parietaria debilis</i>	5%

		<i>Raimundochloa trachyantha</i>	5%
		<i>Nasa urens</i>	80%
		<i>Solanum montanum</i>	17%
	3	<i>Nolana humifusa</i>	2%
		<i>Parietaria debilis</i>	1%
		<i>Nolana humifusa</i>	10%
		<i>Solanum montanum</i>	45%
		<i>Parietaria debilis</i>	5%
	4	<i>Raimundochloa trachyantha</i>	5%
		<i>Nasa urens</i>	30%
		<i>Fuertesimalva peruviana</i>	5%
		<i>Nasa urens</i>	15%
		<i>Fuertesimalva peruviana</i>	70%
	1	<i>Nolana humifusa</i>	13%
		<i>Raimundochloa trachyantha</i>	2%
		<i>Nolana humifusa</i>	55%
		<i>Fuertesimalva peruviana</i>	15%
2	2	<i>Nasa urens</i>	20%
		<i>Raimundochloa trachyantha</i>	10%
		<i>Solanum montanum</i>	28%
		<i>Nasa urens</i>	60%
	3	<i>Nolana humifusa</i>	10%
		<i>Fuertesimalva peruviana</i>	1%

		<i>Raimundochloa trachyantha</i>	1%
	4	<i>Solanum montanum</i>	40%
		<i>Nasa urens</i>	60%
		<i>Nasa urens</i>	50%
	1	<i>Nolana humifusa</i>	40%
		<i>Raimundochloa trachyantha</i>	10%
		<i>Nasa urens</i>	75%
	2	<i>Nolana humifusa</i>	20%
		<i>Fuertesimalva peruviana</i>	2%
		<i>Solanum montanum</i>	3%
3		<i>Fuertesimalva peruviana</i>	15%
	3	<i>Nasa urens</i>	15%
		<i>Nolana humifusa</i>	50%
		<i>Raimundochloa trachyantha</i>	20%
		<i>Raimundochloa trachyantha</i>	45%
	4	<i>Fuertesimalva peruviana</i>	25%
		<i>Nolana humifusa</i>	5%
		<i>Nasa urens</i>	25%
		<i>Fuertesimalva peruviana</i>	96%
	1	<i>Nasa urens</i>	1%
4		<i>Nolana humifusa</i>	3%
		<i>Fuertesimalva peruviana</i>	99%
	2	<i>Nasa urens</i>	1%

3	<i>Fuertesimalva peruviana</i>	96%
	<i>Nasa urens</i>	4%
4	<i>Fuertesimalva peruviana</i>	98%
	<i>Nasa urens</i>	2%

## BIBLIOGRAFÍA

Aponte, H., Ramírez, D. W., & Vargas, R. (2017). First stages of the post-fire natural regeneration of vegetation in the Ventanilla Wetlands (Lima-Peru). *Ecología Aplicada*, 16(1), 23. <https://doi.org/10.21704/rea.v16i1.900>

Friedmann, B., Pauli, H., Gottfried, M., & Grabherr, G. (2011). Suitability of methods for recording species numbers and cover in alpine long-term vegetation monitoring. *Phytocoenologia*, 41(2), 143–149. <https://doi.org/10.1127/0340-269X/2011/0041-0480>

Lleellish, M., Odar, J., & Trinidad, H. (2015). *Guía de Flora de las Lomas de Lima* (1a ed.). Servicio Nacional de Flora y Fauna Silvestre. <https://doi.org/https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4431.0564>

MATERIAL SUPLEMENTARIO 2

Figura 1. Curva de *performance* (tC/ha) del nivel bajo (300-450 m n.s.m)

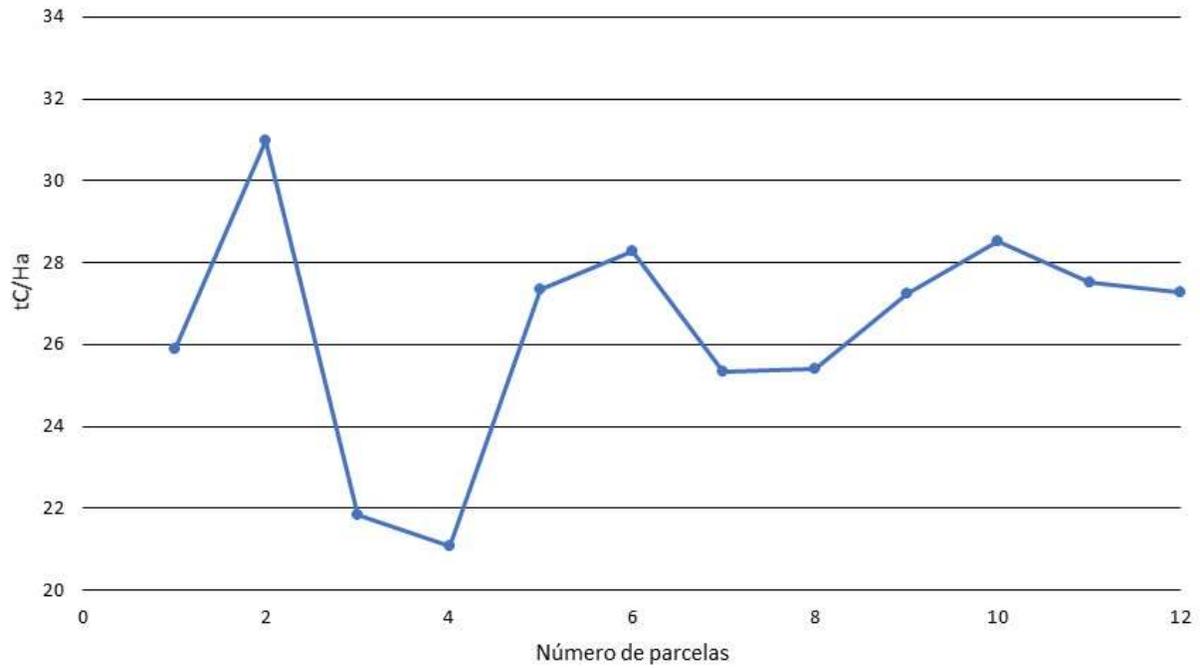


Figura 2. Curva de *performance* (tC/ha) del nivel medio (450-600 m n.s.m)

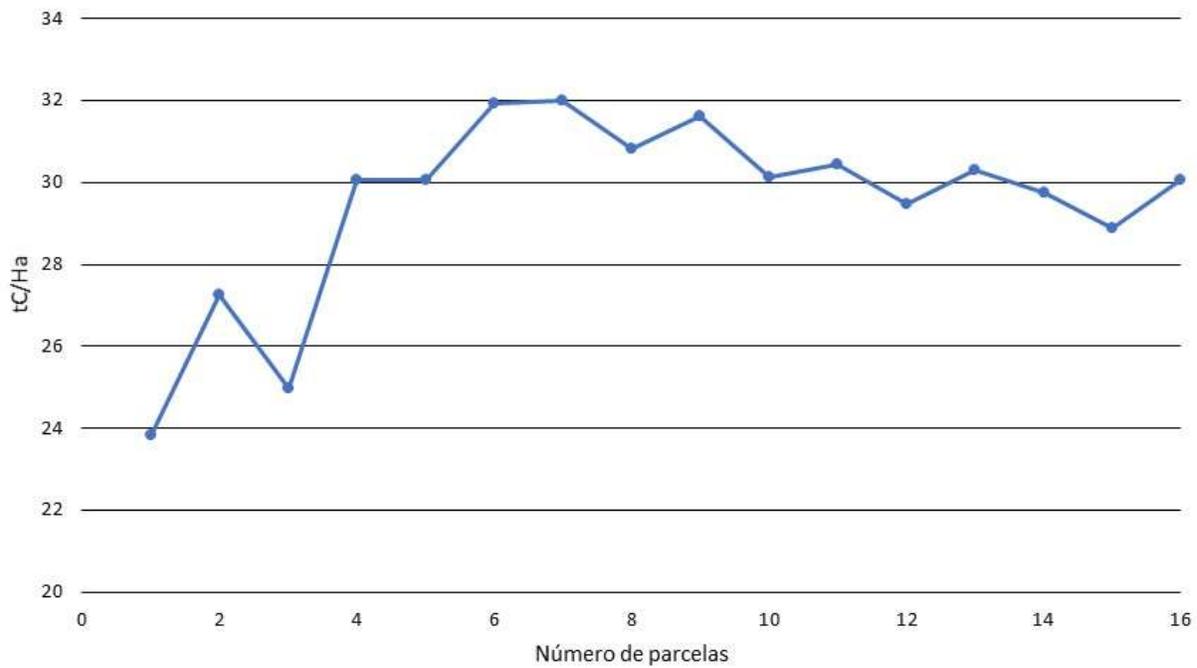
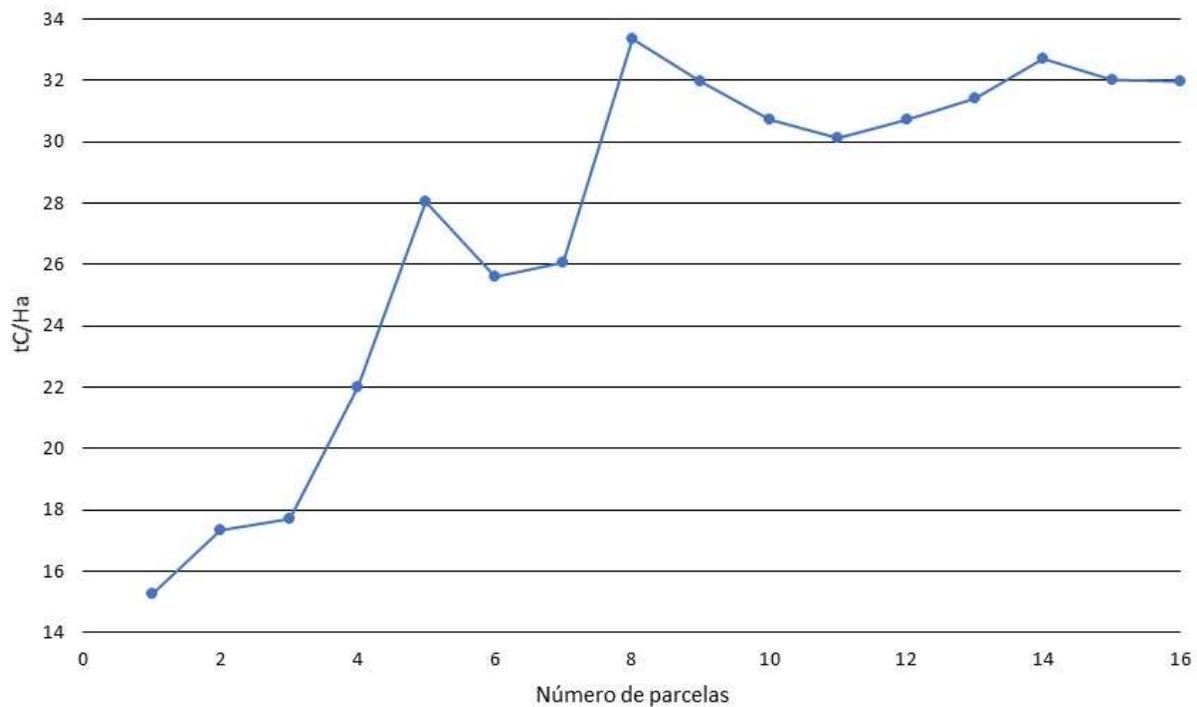


Figura 3. Curva de performance (tC/ha) del nivel alto (600-750 m n.s.m)



**ANEXOS**

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

Constancia N° 136-CIEI-AB-CIENTÍFICA-2019

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: **259-2019-PRE11**

Título: **Estimación y valoración del stock de carbono en las Lomas de Amancaes (Lima-Perú)**

Investigador(a): **Victor Hugo Guerrero Palomino**

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; no obstante, es necesario además cumplir los requisitos solicitados por el gobierno peruano; esto es, la obtención del permiso de investigación dado por SERFOR. Deberá realizar dicho trámite y enviarnos el documento de aprobación en un plazo no mayor a los tres meses. Sin el cumplimiento de este requisito, no se puede iniciar la ejecución del proyecto.

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 11 de mayo del 2021**), 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, 12 de noviembre de 2019





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



Teléfono: 011 4700 4000  
www.cientifica.edu.pe

Campus  
Peruano del Sur  
Avenida Lima 40



**RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N°180-2019-DACIA-DAFCA-CIENTIFICA**

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES / CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

Lima 15 de noviembre del 2019

**VISTO:**

El informe de revisión independiente académica y la aprobación de un Comité de Ética del proyecto de tesis titulado: **Estimación y valoración del stock de carbono en las Lomas de Amancaes (Lima-Perú)** presentado por:

- **Victor Hugo Guerrero Palomino**

**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: **Estimación y valoración del stock de carbono en las Lomas de Amancaes (Lima-Perú)** con N° de registro: **259-2019-PRE11**, y establecer el inicio del periodo de ejecución del mencionado proyecto.

Nombrar al docente/colaborado **Dr. Héctor Alonso Aponte Ubillús** como asesor para el desarrollo de la tesis en cuestión.

Regístrese, comuníquese y archívese.



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