



FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
INGENIERIA AMBIENTAL

“ESTIMACIÓN DE CARBONO ALMACENADO POR *Tillandsia latifolia* EN EL TILLANDSIAL PIEDRA CAMPANA (LIMA, PERÚ)”

Tesis para optar el Título profesional:
Ingeniero Ambiental

Bach. JEFREE RENATO AREVALO RIVAS

LIMA – PERU
2018

Agradecimientos

Agradezco a mi asesor Héctor Aponte, por brindarme la idea de la presente investigación, por su tiempo en asesorarme y por sus consejos; porque fueron base en el incremento de mi confianza y motivación para poder culminar la tesis.

Agradezco también a la Universidad Científica del Sur por el préstamo de los equipos necesarios para la realización del presente estudio, a los jefes y técnicos de laboratorio de Ingeniería Ambiental y Biología Marina. Gracias a los señores revisores de la presente tesis por sus comentarios constructivos. Asimismo, quisiera agradecer a quienes colaboraron en la ejecución de la tesis, a Junior, Manuel, Gabriela, Daniella y Alessandra; por la obtención de datos en el área de estudio; a Violeta por la ayuda en el laboratorio; a Jhon, por la asesoría con el software ArcGis; a Marcia y Jorge, por la explicación de temas que desconocía y sugerencias.

También quisiera agradecer a todas aquellas personas que influenciaron en mi para poder acabar la tesis en especial a mi familia y amigos por estar siempre presentes con su apoyo y comprensión.

INDICE GENERAL

RESUMEN	5
ABSTRACT	6
I. INTRODUCCION	7
II. OBJETIVOS	9
2.1 Objetivo principal.....	9
2.2 Objetivos específicos	9
III. MARCO TEORICO	10
3.1 Cambio Climático	10
3.2 Tillandsial	10
3.3 Servicio Ecosistémico	10
3.4 Captación de Carbono	11
3.5 Vulnerabilidad	11
3.6 Geoestadística	11
3.7 Kriging.....	12
3.8 Antecedentes	12
IV. METODOLOGÍA Y MATERIALES	15
4.1 Metodología	15
4.1.1. Área de estudio.....	15
4.1.2. Diseño experimental	17
4.1.3. Análisis de Datos	18
4.2. Materiales	20
V. RESULTADOS	21
5.1. Resultados del diseño experimental.....	21
5.1.1. Porcentaje de carbono de la biomasa.....	21
5.1.2. Biomasa de las 72 parcelas	21
5.1.3. Porcentaje de carbono en el suelo en las 72 parcelas	21
5.1.4. Gramos de suelo por cada metro cuadrado	21
5.2. Resultados del análisis de datos	22
5.2.1. Cantidad de carbono aéreo por parcela	22
5.2.2. Cantidad de carbono en el suelo por parcela	22
5.2.3. Modelamiento del carbono aéreo en el área de estudio.....	22
5.2.4. Modelamiento del carbono del suelo en el área de estudio.....	23
5.2.5. Total de carbono almacenado.....	24
VI. DISCUSIÓN	25

6.1 Cantidad de carbono almacenado por hectárea	25
6.2 Distribución del carbono en el área de estudio	25
6.3 Almacenamiento de agua.....	26
VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	27
7.1 Conclusiones	27
7.2 Recomendaciones	27
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	28
IX. ABREVIATURAS	32
X. ANEXOS	33

Índice de figuras

Figura 1. Ubicación del área de estudio. (★) Tillandsial Piedra Campana. Fuente: Aponte & Flores 2013.	155
Figura 2. Delimitación del área de estudio. Las letras A, B, C y D representan los vértices del área de estudio, mientras que la divisoria de aguas establece el límite entre Z1 y Z2. Las escalas de los ejes son coordenadas UTM. Elaboración propia.	166
Figura 3. Mapa kriging de carbono aéreo. Los colores anaranjados y rojizos representan las áreas con mayor carbono aéreo almacenado, mientras que las tonalidades de azul representan las menores en el tillandsial. Las escalas de los ejes están en coordenadas UTM. Elaboración propia	233
Figura 4. Mapa kriging de carbono del suelo. Los colores anaranjados y rojizos representan las áreas con mayor carbono almacenado del suelo, mientras que las tonalidades de azul representan las menores en el tillandsial. Las escalas de los ejes están en coordenadas UTM. Elaboración propia.	244

Índice de tablas

Tabla 1. Coordenadas que enmarcan el área de estudio.	166
Tabla 2. Materiales utilizados para recolección de campo, evaluación en laboratorio y modelamiento para estimación.	20
Tabla 3. Porcentaje de carbono de la biomasa.	221

Índice de anexos

Anexo 1. Tillandsial Piedra Campana.	33
Anexo 2. Imagen de Tillandsia latifolia.	34
Anexo 3. Zonificación y Ubicación de las 72 coordenadas UTM del estudio. ..	35
Anexo 4. Coordenadas UTM (WGS84) de las 72 parcelas en estudio.	36
Anexo 5. Diagrama de parcelas, sub parcelas y ubicación de la coordenada UTM	37
Anexo 6. porcentaje de biomasa seca y Prueba estadística.....	38
anexo 7. Promedio de la biomasa de las 72 parcelas.	39
Anexo 8. Porcentaje de carbono en el suelo por parcela.	40
Anexo 9. Gramos de carbono en el suelo por metro cuadrado.....	41
Anexo 10. Cantidad de carbono aéreo por parcela.	43
Anexo 11. Cantidad de carbono en el suelo por parcela.	44
Anexo 12. Modelamiento para la estimación de carbono aéreo.	45
Anexo 13. Modelamiento para la estimación de carbono del suelo.	50

RESUMEN

Los tillandsiales son ecosistemas ubicados en zonas desérticas costeras que se caracterizan por que sus comunidades están conformadas principalmente por plantas del género *Tillandsia*. A la fecha se desconoce el rol que tienen estas comunidades como proveedoras de servicios ecosistémicos (por ejemplo, en la captación de carbono). Encontrándonos en un escenario en el que es fundamental conocer el papel de los ecosistemas para mitigación de los impactos del cambio climático, el presente estudio busca cuantificar la cantidad de carbono que almacena uno de los tillandsiales de la costa de Lima (el tillandsial Piedra Campana, Mala-Lima) donde predomina la especie *Tillandsia latifolia*. Para ello, se evaluaron 72 parcelas de 10 m x 10 m (cubriendo todas las quebradas y laderas y del área de estudio, la cual tenía una extensión de 26 ha); en cada una, se evaluó tres sub parcelas de 1 m x 1 m en las que se pesó la biomasa aérea y se recolectaron muestras de suelo (primeros 10 cm). De forma paralela, a nivel de laboratorio, se cuantificó el porcentaje de humedad y la cantidad de carbono en la biomasa aérea seca; se cuantificó también el porcentaje de carbono y la densidad aparente del suelo por cada parcela. Los datos obtenidos permitieron determinar el carbono aéreo y del suelo por parcela. Todos los datos obtenidos fueron procesados utilizando la técnica de interpolación kriging (ArcGis 10.3), estimando el carbono total del área de estudio, el cual ascendió a 28.29 t de carbono ($1.1 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) hallándose más carbono almacenado en la parte del suelo (23.69 t) que en la parte aérea (4.60 t). La cantidad de carbono que almacena este tillandsial está por debajo del de varios ecosistemas que se utilizan para la compensación de emisiones de CO₂ como humedales o formaciones vegetales amazónicas. Se discuten las implicancias de los resultados obtenidos para la gestión de este ecosistema desértico en base a la concentración de carbono por zonas.

Palabras clave: *Tillandsia latifolia*, tillandsial, desierto costero, servicio ecosistémico.

ABSTRACT

The tillandsiales are ecosystems located in coastal desert areas that are characterized by their communities are composed mainly of plants of the genus *Tillandsia*. To date, the role of these communities as providers of ecosystem services (for example in carbon sequestration) is unknown. Finding ourselves in a scenario in which it is essential to know the role of ecosystems in mitigating the impacts of climate change, the aim of this study is to quantify the amount of carbon stored by one of the tillandsiales of the coast of Lima (the tillandsial Piedra Campana, Mala-Lima) where the species *Tillandsia latifolia* predominates. For this appraisal, 72 plots of 10m x 10m were evaluated (covering the hillsides and streams of the study area, which had an area of 26 ha); in each, three subplots of 1 m x 1 m were evaluated in which aerial biomass was weighed and soil samples were collected (first 10 cm). In parallel, at the laboratory level, the percentage of humidity and the amount of carbon in the dry aerial biomass was quantified; The percentage of carbon and the apparent density of the soil for each plot was also quantified. The data obtained allowed to determine the air and soil carbon per plot. All the data obtained were processed using the kriging interpolation technique (ArcGis 10.3), estimating the total carbon of the study area, which amounted to 28.29 t of carbon (1.1 t.ha⁻¹) with more carbon stored in the part of the soil (23.69 t) than in the aerial part (4.60 t). The amount of carbon stored in this tillandsial is below that of several ecosystems that are used to offset CO₂ emissions such as wetlands or Amazonian plant formations. The implications of the results obtained for the management of this desert ecosystem are discussed in based of the carbon´s concentration by zones.

Keywords: *Tillandsia latifolia*, tillandsial, coastal desert, ecosystem service.

I. INTRODUCCION

El cambio climático es el proceso donde varía la temperatura de la tierra de manera persistente. Las alteraciones que se produce en el clima impacta a los ecosistemas afectando la salud y el bienestar humano (Naciones Unidas, 1992). Asimismo, genera otros efectos como: cambios extremos frecuentes en el clima, sequía, precipitaciones alteradas, aumento de la temperatura y nivel del mar que a su vez ocasionan también otros problemas como: migraciones forzadas, pobreza e incluso puede dejar sin abastecimiento de alimentos a la población (MINAM, 2014).

El cambio climático es uno de los temas a tratar en la agenda política de diversos países, los cuales se reúnen para elaborar y firmar acuerdos con la finalidad de controlar, adaptar y mitigar el impacto negativo que genera la acción humana al ambiente y el aumento de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) siendo la principal la Conferencia de las Partes (COP) de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), que tiene 195 países firmantes, entre ellos el Perú, que firmó en 1992, y entró en vigencia el 21 de marzo de 1994 (ONU, 2014). En el año 2015, el Perú firmó el Acuerdo de París en la COP21, este acuerdo suplantará en el año 2020 al firmado en 1992. Con este acuerdo se plantea llegar a cero emisiones netas de gases de efecto invernadero antes del año 2100. Además compromete a los países parte, entre ellos Perú, a mantener el aumento de temperatura debajo de 2°C, ambicionando la meta de 1.5°C (MINAM, 2016). El Perú para cumplir las metas deberá reducir sus emisiones, de las cuales aproximadamente el 35% proviene de la deforestación (El Comercio, 2015), para ello tiene como objetivo al año 2030 reducir los GEI en un 30% con la implementación de diversos instrumentos de política que ponen al Perú en un rumbo hacia el desarrollo sostenible y bajo en carbono con el uso también de la asignación de presupuesto público hacia la promoción de acciones como el uso de energías renovables o gestión sostenible de los bosques (MINAM, 2016).

El Perú es un país con una amplia biodiversidad, posee abundantes riquezas que hoy en día se ven en riesgo de desaparecer por los efectos del cambio climático. Es por ello que se creó la Estrategia Nacional contra el Cambio Climático, que dentro las medidas que contempla, promueve la participación de la sociedad civil de tomar acciones contra los gases de efecto invernadero (GEI) (MINAM, 2014), de las cuales una medida es tener el conocimiento del aporte que realizan los ecosistemas en reducir las emisiones de GEI.

Los tillandsiales son ecosistemas con formaciones vegetales que están compuestas en su mayoría por plantas del género *Tillandsia*, son ecosistemas estables durante todo el año que dependen de la neblina costera para su sobrevivencia (Pinto R. , 2005). Además, debido a su ubicación, este ecosistema tiene una alta vulnerabilidad frente a los efectos del cambio climático inclusive puede desaparecer por dichos efectos (MINAM, 2014).

El presente estudio se focalizó en la contribución que realiza este ecosistema con respecto al almacenamiento de carbono. El área de estudio fue el tillandsial Piedra Campana, ubicado en el distrito de Cañete-Perú, que presenta a la especie *Tillandsia latifolia* en mayor cantidad (Aponte & Flores, 2013).

¿Cuánto carbono dejaría de ser almacenado o captado si este ecosistema desapareciera? *Tillandsia latifolia* brinda un servicio ecosistémico en Piedra Campana, pero en la actualidad no hay datos o estudios de medición de captación de carbono en este tillandsial, ni comparaciones con especies de otros ecosistemas y por este desconocimiento no se han planteado medidas de protección por parte del estado.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo principal

- Estimar el carbono almacenado por *Tillandsia latifolia* en el Tillandsial Piedra Campana (Lima, Perú).

2.2 Objetivos específicos

- Estimar la cantidad de biomasa de *Tillandsia latifolia* en dos sectores del tillandsial Piedra Campana (Lima, Perú).
- Estimar la cantidad de carbono de la biomasa de *Tillandsia latifolia* del tillandsial Piedra Campana (Lima, Perú).
- Estimar la cantidad de carbono en dos sectores del suelo del tillandsial de Piedra Campana (Lima, Perú).

III. MARCO TEORICO

3.1 Cambio Climático

El cambio climático es la modificación identificable y persistente del estado del clima, que en términos estadísticos se refiere al cambio de temperatura, precipitaciones y otras propiedades de la atmósfera debido al incremento de los gases de efecto invernadero, entre ellos el CO₂ (Vargas, 2009). Este incremento se produjo al inicio de la revolución industrial, la actividad humana ha generado un crecimiento en las medidas de temperatura de la tierra debido a la producción acelerada de gases emitidos a la atmósfera, especialmente dióxido de carbono y metano. (Barros, 2006). Estos gases se encuentran de forma natural en la atmósfera, estos tienen la función regular la temperatura, sin embargo, al estar los gases de efecto invernadero (GEI) en mayor cantidad, se produce una modificación en la retención de la energía que sale de la superficie terrestre luego de ser calentada por los rayos del sol, produciéndose de esta manera un incremento de la temperatura y por consiguiente produce cambios en factores climáticos (Benavides & León, 2007).

3.2 Tillandsial

El tillandsial es un conjunto de vegetación principalmente monogenérica, debido a que el género *Tillandsia* es la que se encuentra en mayor parte de la vegetación y se pueden encontrar en las zonas costeras desérticas de Chile y Perú (Aponte & Flores, 2013). Estos ecosistemas son permanentes y sobreviven gracias a la neblina, ya que morfológicamente y fisiológicamente están adaptadas a vivir en extrema aridez (Benzing, 2000). Además, el espacio en la que se encuentran distribuidas va a depender de la topología, viento y demás sustratos necesarios para el crecimiento de estas especies (Hesse, 2012). Todas estas adaptaciones y características ecológicas, hacen únicos a estos ecosistemas (León & Sagástegui, 2008).

3.3 Servicio Ecosistémico

Los servicios ecosistémicos son funciones o procesos ecológicos que directa o indirectamente contribuyen al bienestar humano o tienen un potencial para realizar aquella contribución en el futuro (U.S. EPA, 2004). Conocer los servicios que brinda algún ecosistema permite que haya una mejor interpretación de sus beneficios (Costanza, y otros, 1997). Además con esta información se genera un valor en el ecosistema, la cual podría ser parte de la gestión ambiental con el fin de su cuidado y protección (Sarukhán, y otros, 2009).

3.4 Captación de Carbono

La captación de carbono es el resultado del almacenamiento y/o secuestro de carbono por parte de alguna tecnología o ser vivo (Robert, 2002). Para poder generar esa información en la flora, se estima la cantidad bajo diversas metodologías que garanticen datos verídicos (Palomino & Cabrera, 2007). Estas estimaciones pueden ser con métodos directos como el corte de árboles para pesar la biomasa y luego determinar el peso seco (Schlegel, 2001) o con el método indirecto, en donde se usan modelos matemáticos calculados por medio de análisis de regresión entre muestras recolectadas en el terreno con inventarios forestales (Brown, 1997).

3.5 Vulnerabilidad

La vulnerabilidad mide lo indefenso que es una población u objeto, esta medición depende de las amenazas a la que está expuesto y los mecanismos que tiene para afrontar dichas amenazas. Por ejemplo en las urbanizaciones, la vulnerabilidad existe en la medida en que se haga o deje de hacer algo, ya sea por la ubicación geográfica de las ciudades, la calidad de la construcción de las viviendas, el nivel de mantenimiento en todo tipo de servicios públicos, el tipo de producción económica, el grado de organización social, la capacidad de gestión, etc. (PCM, 2014). En el caso de los ecosistemas, que son una o varias comunidades biológicas que interactúan con su medio físico (Campbell y Reece, 2007), su vulnerabilidad pone en riesgo la conservación de la diversidad biológica del lugar, es decir, la variedad de formas de vida que existen además de las interacciones que tienen ellas entre sí y con la naturaleza (Monge-Nájera, 2002).

3.6 Geoestadística

La geoestadística es aquella rama de la estadística que permite describir y conocer la forma en que varía cualquier variable continua en el espacio seleccionado, con un nivel de detalle que permite cuantificar la variación espacial de la variable en distintas direcciones del espacio. La geoestadística utiliza funciones para modelar esta variación espacial, y estas funciones son utilizadas posteriormente para interpolar en el espacio el valor de la variable en sitios no muestreados (Gallardo, 2006). La geoestadística puede ser utilizada en fenómenos que se extienden en el espacio y que presentan una organización o estructura. No obstante, el objeto sobre el cual trabaja la geoestadística no es el fenómeno regionalizado propiamente sino es una función numérica denominada variable regionalizada, definida en el espacio geográfico, que se supone que representa y mide correctamente dicho fenómeno (Montero & Larraz, 2008).

3.7 Kriging

Kriging es un proceso geoestadístico que está basado en modelos estadísticos y matemáticos que generan datos estimados de una superficie a partir de datos reales, primero cuantifica la correlación espacial de los puntos georeferenciados para luego dar como resultado una superficie compuesta de datos estimados, las predicciones están basadas no solo en la distancia entre los puntos medidos y la ubicación de la predicción, sino también en la disposición espacial general de los puntos medidos (Esri, 2017).

3.8 ANTECEDENTES

Se llama tillandsial a una determinada área donde la mayor población es del género *Tillandsia*. Este tipo de poblaciones puede crecer en zonas costeras. En el norte de Chile se encontraron distribuciones de plantas del género *Tillandsia* y se identificaron a especies como *marconae* y *virescen*. Asimismo se determinó que los tillandsiales forman lomas perennes que existen gracias a la neblina que se encuentra en el ambiente y a la fuerza del viento, ambos factores le ayudan a obtener nutrientes (Pinto, Barría, & Marquet, 2006).

En los tillandsiales, las poblaciones del género *Tillandasia* poseen un modelo de crecimiento en forma de bandas, esta forma depende de la cantidad de neblina a la que están expuestos y la pendiente, sin embargo el crecimiento puede variar a una forma agrupada, la variación va a depender de la cercanía que esté la población a la costa, de la topografía del lugar (ya sea en zonas arenosas o rocosas, presente en colinas o a faldas de cerros) y del flujo aéreo de los nutrientes (Hesse, 2012). Así mismo, el crecimiento del género *Tillandsia* se da de manera no uniforme en toda el área del tillandsial. Algunas formaciones tienen mayor crecimiento y distribución que otras, tal como el caso de *recurvata*, que posee variaciones en el crecimiento. Estas alteraciones se presentan debido a la diversidad de condiciones abióticas presentes en el área del tillandsial, ya que en todo el área no existe la misma pendiente, sustrato, altura o intensidad y dirección de viento (Valverde & Bernal, 2010).

Tillandsia latifolia, es una especie de planta con tallo diminuto que presenta hojas dispuestas de forma arrossetada. Su distribución y densidad son limitados por el sustrato del suelo, las características ambientales y topográficas del lugar donde se encuentra (Aponte & Flores, 2013). Cumple un rol como indicador de cambio climático debido a su dependencia a la neblina (Rundel, y otros, 1997). El caso de *Tillandsia latifolia* no es ajeno a las características que tienen todas las plantas de su género. Su densidad y distribución espacial tiene relación con la topografía y el sustrato en la que se encuentran. Además, el crecimiento de estas plantas es mayor cuando se encuentran con orientación al mar a comparación de aquellas que están con orientación a la tierra, por lo que se argumenta una vez más que el crecimiento de estas plantas es en determinado hábitat, que aumenta su población dependiendo del sustrato y las condiciones ambientales del lugar (Aponte & Flores, 2013).

Existen diferentes metodologías para estimar la cantidad de carbono en un ecosistema. En el caso forestal, la recolección de datos puede darse en parcelas con determinadas dimensiones. Los datos como: cálculo del volumen de la madera, contabilización de árboles de estudio, clase de diámetro, entre otros, van a ayudar a obtener datos importantes para la estimación. Se pueden utilizar modelos de estimación de carbono, como, por ejemplo: los modelos de: Spurr, Meyer, Stoate, Naslund y Schumacher-Hall; no obstante, algunos modelos tienen mejor ajuste con los datos de determinadas especies de árboles, como es el caso del modelo de Schumacher-Hall, que tiene un mejor ajuste, para la estimación de carbono para el Tipo Forestal Roble-Raulí y Coigue (Moreno, Herrera, & Caraciolo, 2011).

La estimación de carbono en el ámbito forestal varía de acuerdo a la ubicación en donde se encuentra y el área que abarca todo el ecosistema. Por ejemplo, cuando se hizo la cuantificación de la biomasa para hallar el carbono que se encuentra en los bosques templado-lluviosos en la región centro-sur de Chile, se determinó que fue mayor en la parte de la pre cordillera de los Andes con un almacenamiento de carbono de $662.06 \text{ tC}\cdot\text{ha}^{-1}$ en comparación de la parte de la Cordillera de la Costa, que tiene un máximo de $423.86 \text{ tC}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Schlegel, 2001).

El conocimiento de los niveles de almacenamiento de carbono en los ecosistemas y específicamente en cada formación vegetal, permite un mejor criterio de decisión y manejo en las zonas de conservación. Tal es el caso de las formaciones vegetales amazónicas en "CICRA" (Madre de Dios, Perú), donde se estimó que tiene almacenado 776 mil $\text{tC}\cdot\text{ha}^{-1}$. Con ese dato se valorizó a las formaciones vegetales por el servicio ambiental que realizan, dándoles un valor económico de alrededor de 11 millones de dólares americanos (Martel & Cairampoma, 2012)

Otros ecosistemas, como los humedales brindan también un servicio ambiental de captura de dióxido de carbono a través de sus plantas, las cuales se diferencian por la capacidad de almacenamiento que tienen entre ellas. La planta que realiza mayor servicio ambiental en el humedal puerto Viejo (Cañete-Lima) es la totora con $77.3 \text{ tCO}_2\cdot\text{ha}^{-1}$. Para la estimación de este aporte, se cuantifica el almacenamiento de carbono que hay en la biomasa aérea, radicular y en el suelo, para luego ser multiplicado por un factor que convierta el carbono a CO_2 (Palomino & Cabrera, 2007).

Los datos encontrados de captación de carbono en los humedales de zonas templadas frías varían entre 0.08 y $0.6 \text{ t}\cdot(\text{ha}\cdot\text{año})^{-1}$. La captura de carbono representa un factor importante para dar a conocer en qué nivel contribuye a reducir los impactos que genera el cambio climático (Roulet, 2000).

El aporte de captación de carbono en otros ecosistemas varía dependiendo de los factores naturales y/o humanos que limitan sus respectivas captaciones como: el tamaño de la planta, la temperatura, cambios en el clima, el limitado área de crecimiento, entre otros. En el caso de *Limnobium laevigatum*, a condiciones de laboratorio (temperatura, alimentación por soluciones e intensidad lumínica controlados), se obtuvo primero la captación de carbono para luego encontrar la captura de CO_2 que realiza, que varía entre $1.75 \text{ t}\cdot(\text{ha}\cdot\text{año})^{-1}$ y $6.41 \text{ t}\cdot(\text{ha}\cdot\text{año})^{-1}$ de CO_2 (Aponte, 2016).

La falta de gestión ambiental, la creciente y desordenada ampliación urbana son amenazas que atentan contra la conservación de ecosistemas, debido a que estos

ponen en riesgo el hábitat de las especies, al igual que los servicios ambientales que brindan, un claro ejemplo de una débil institucionalidad se reflejó en los humedales de Puerto Viejo, que entre 1961 y 2009 sucedió una reducción de área considerable, mientras que con instrumentos ambientales bien gestionados y ejecutados se tiene resultados positivos en el cuidado de la diversidad biológica como es el caso de los humedales de Ventanilla (Moschella, 2013).

Es de importancia el adaptar políticas para la conservación de ecosistemas vulnerables ante el cambio climático mediante instrumentos de gestión que favorezcan el cuidado y protección de los servicios ecosistémicos. Existen estudios que fundamentan que la participación de estos ecosistemas vulnerables en las políticas de desarrollo sostenibles, es decir, la creación de un rol potencial para integrar a los ecosistemas vulnerables en la sociedad mediante políticas, hará que estos se vean beneficiados económicamente y generaría de esta manera una oportunidad para la conservación y un manejo sostenible de estos ecosistemas (Locatelli & Kanninen, 2010). Incluso, existe un impulso por querer proteger y valorar los tillandsiales, aprovechando el potencial turístico de estos ecosistemas, como parte de una posible ruta turística (Aponte, 2015).

IV. METODOLOGÍA Y MATERIALES

4.1 Metodología

4.1.1. Área de estudio

El estudio se desarrolló en el tillandsial Cerro Piedra Campana, ubicado a 1 km al Nor Oeste de la localidad de San Antonio, distrito de San Antonio, provincia de Cañete, Lima. Las coordenadas UTM 18L 319503.00 E 8602952.00 (Figura 1, Anexo 1).

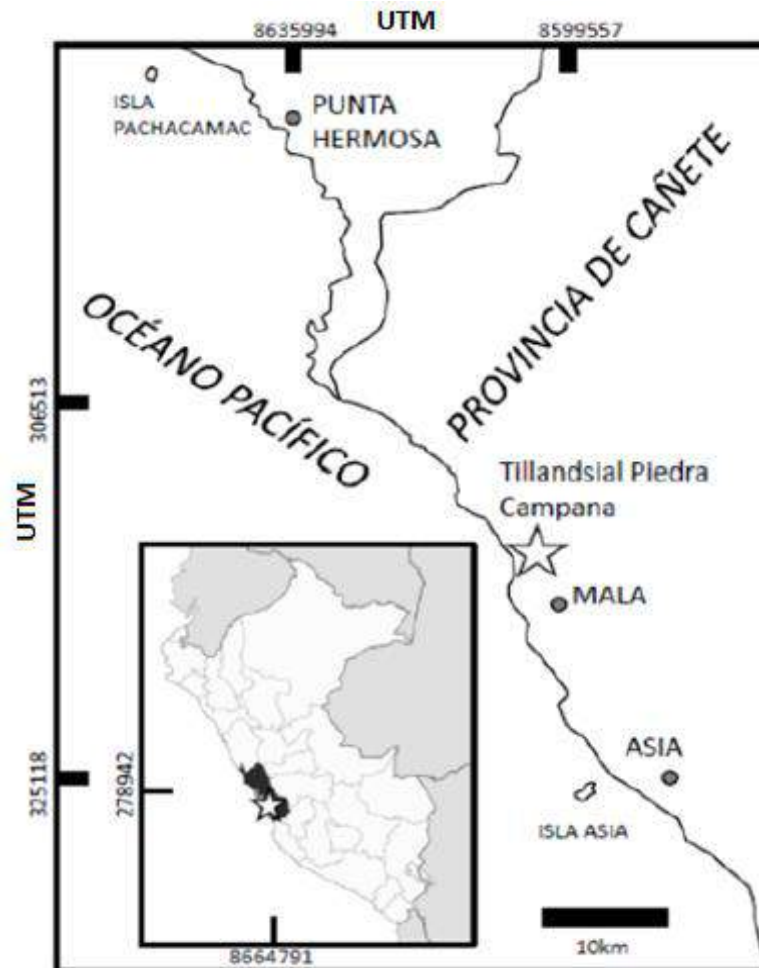


Figura 1. Ubicación del área de estudio. (★) Tillandsial Piedra Campana. Fuente: Aponte & Flores 2013.

La región es un Desierto Sub-tropical, posee un clima seco y árido; su temperatura media es de 18.9 °C, presenta precipitaciones que varían entre 0-1.4 milímetros por año, la humedad relativa llega hasta 79 % con variaciones pequeñas a lo largo del año y la evaporación total media anual es 942.8 mm (INRENA, 1995). El área de estudio está compuesto por quebradas y laderas con sustrato rocoso y arenosas, y presenta un área desierta de 26 hectáreas (Figura 2).

En la Tabla 1 se encuentra las coordenadas que lo enmarcan. Se zonificó el área de estudio en dos zonas (ver Figura 2). La zona 1 (Z1) se encuentra delimitada por colinas con un máximo de 100 m de altitud que bloquean la exposición al mar mientras que la zona 2 (Z2) se encuentra también rodeada por colinas, pero si presenta una exposición hacia el mar. En el área la especie en estudio es *Tillandsia latifolia* (Anexo 2).

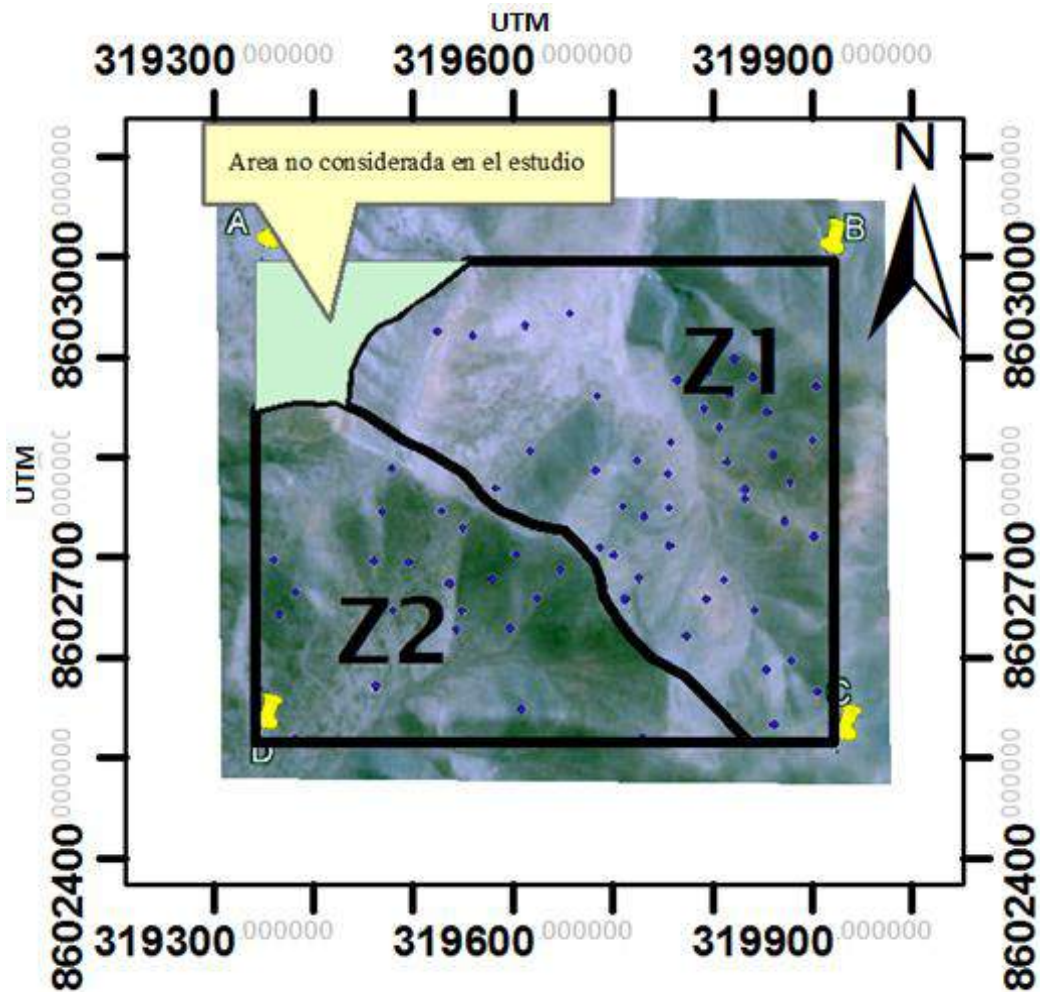


Figura 2. Delimitación del área de estudio. Las letras A, B, C y D representan los vértices del área de estudio, mientras que la divisoria de aguas establece el límite entre Z1 y Z2. Las escalas de los ejes son coordenadas UTM. Elaboración propia.

Tabla 1. Coordenadas que enmarcan el área de estudio.

Vértices	UTM (WGS 84)		Geográficas	
	X	y	Longitud(Oeste)	Latitud(Sur)
A	319342	8602995	76°39'48.1''O	12°38'08.9''S
B	319920	8602995	76°39'28.9''O	12°38'08.9''S
C	319920	8602516	76°39'28.9''O	12°38'10.5''S
D	319342	8602516	76°39'48.1''O	12°38'10.5''S

Notas: Elaboración propia.

4.1.2. Diseño experimental

Disposición de las parcelas

Las muestras se recolectaron en las tres primeras semanas del mes de noviembre en el año 2017.

Se ubicaron 72 parcelas de 100 m² (10 m x 10 m); (ubicación en Anexo 3 y coordenadas en Anexo 4). Los puntos fueron distribuidos de tal forma que abarcaron todas las quebradas y laderas del área de estudio. En cada parcela se realizaron tres sub parcelas de 1 m² (1 m x 1 m) ubicadas de manera aleatoria (Anexo 5).

Biomasa, biomasa seca y carbono en *T. latifolia*

Para conocer la biomasa aérea, se pesó la biomasa de *Tillandsia latifolia* en cada subparcela. La biomasa para cada parcela (10 m x 10 m) correspondió al promedio de la biomasa de las tres subparcelas (1 m x 1 m).

Para conocer el porcentaje de carbono en la biomasa, se llevaron tres muestras (300 g cada una) de la especie al laboratorio de análisis de suelos, plantas, agua y fertilizantes de la Universidad Agraria La Molina (LASPAF-UNALM). Allí las muestras fueron evaluadas por la técnica de Walkley y Black (Walkey & Black, 1934), en esta técnica las muestras primero son tamizadas y secadas para la obtención de la muestra seca, esta muestra es oxidada con una cantidad conocida de K₂Cr₂O₇ y H₂SO₄ (la dilución concentrada se calienta con H₂SO₄ y lo transforma en CO₂), el exceso de K₂CrO₇ es determinado por titulación con FeSO₄ y para luego ser cuantificado y obtener el porcentaje de carbono.

Para saber el porcentaje de biomasa seca en *Tillandsia latifolia*, se recolectaron seis muestras de la especie en estudio (tres muestras de Z1, zona sin exposición al mar y tres muestras de Z2, zona con exposición al mar). Estas muestras fueron llevadas al laboratorio de Oceanografía de la Universidad Científica del Sur. Las muestras fueron procesadas secándolas en una estufa a 105°C por un tiempo de 48 horas; luego de lo cual se midió el peso seco. Dado que el porcentaje de humedad era el mismo en ambas zonas (Anexo 6) se trabajó con el promedio de las seis muestras.

Carbono en el suelo del tillandsial

Para conocer el carbono almacenado en el suelo de todo el tillandsial, se evaluaron los 10 primeros centímetros de suelo en cada parcela. Para ello se obtuvo tres muestras por parcela (200 g de cada subparcela) las cuales fueron mezcladas. Las muestras por parcela (600 g) fueron evaluadas por la técnica de Walkley y Black (Walkey & Black, 1934) en el LASPAF-UNALM obteniendo el porcentaje de carbono en el suelo.

Para conocer la cantidad de suelo por metro cuadrado en los 10 primeros centímetros de profundidad, se halló la densidad aparente de las 72 parcelas, para ello se aplicó la metodología del cilindro (Blake & Hartge, 1986): se recolectaron muestras de suelo en cada parcela con un barreno hasta los 10 cm de profundidad. Estas muestras fueron embolsadas y llevadas al laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Científica del Sur. Allí las 72 muestras fueron pesadas para luego ser empaquetadas e introducidas en la estufa a una temperatura de 105 °C por un tiempo de 48 horas. Terminado dicho tiempo las muestras fueron tamizadas para quitar las rocas y que solo quede suelo, se tomaron datos del peso seco tamizado y se obtuvo la relación de masa sobre volumen (sabiendo el volumen (7.85 cm^3), se dividió el peso seco de la muestra entre el volumen).

4.1.3. Análisis de Datos

Análisis estadístico descriptivo

Se empleó el programa Microsoft Excel para el análisis estadístico: se determinaron los promedios, la desviación estándar, máximos y mínimos del contenido de carbono por parcela y por sector del tillandsial.

Cálculo del Carbono aéreo por parcela

Para hallar la biomasa seca vegetal por parcela (B) se multiplicó la biomasa promedio de las plantas por parcela por el porcentaje de biomasa seca. Una vez conocido B, este valor fue multiplicado por el porcentaje de carbono en la biomasa en cada parcela (%CA). Para conocer la cantidad de carbono aéreo cada parcela (CAP, gC.m^{-2}) se utilizó la ecuación (1):

$$\text{CAP} = B \times \%CA \dots (1)$$

Cálculo del carbono en el suelo

Conocido el porcentaje de carbono en el suelo de cada parcela (%CS), este valor fue multiplicado por la cantidad en gramos de suelo por metro cuadrado en cada parcela (S), obteniendo el carbono en el suelo por parcela (CSP, gC.m^{-2}) utilizando la ecuación (2):

$$\text{CSP} = \%CS \times S \dots (2),$$

Modelamiento espacial

Posteriormente, se realizaron dos modelos que permitieron conocer la cantidad de carbono de todo el Tillandsial (CT); para lo cual se utilizaron técnicas de interpolación en sistemas de información geográfica. Este último proceso se llevó a cabo utilizando el software ARC GIS (Versión 10.3) y ArcMap 10.3.

Para el primer modelo, se ingresó una tabla con la información de las coordenadas y con el CAP. Se utilizó la herramienta kriging; el método utilizado fue el ordinario. Luego se usó la opción de optimización de modelo para que el mismo programa elija el modelo que mejor se adecue; en este caso el modelo elegido fue el estable.

Para el segundo modelo se realizó el mismo procedimiento con los datos de CSP y se halló el carbono de suelo total (CS)

Estimación del carbono en todo el tillandsial

La cantidad de carbono en el área de estudio se obtuvo utilizando la ecuación (3):

$CA+CS=CT...$ (3), donde CT es el carbono total en el área del Tillandsial.

4.2. Materiales

En la Tabla 2 se encuentran los materiales utilizados en la investigación.

Tabla 2 .Materiales utilizados para recolección de campo, evaluación en laboratorio y modelamiento para estimación.

Tipo	Material	Cantidad	Unidad
Campo			
Instrumentos y Materiales	Libreta	1	Unidad
	Lapicero	1	Unidad
	Wincha x5m	1	Unidad
	Wincha x 50m	1	Unidad
	Bolsas de plástico	80	Unidad
	Costal	3	Unidad
Equipo	GPS Garmin	1	Unidad
	Cámara fotográfica	1	Unidad
	Balanza de mano (capacidad 50kg)	1	Unidad
Gabinete			
Materiales	Cuaderno	1	Unidad
	Lapicero	2	Unidad
Equipos y Software	Laptop	1	Unidad
	Impresora	1	Unidad
	Microsoft Word	-	-
	Microsoft Excel	-	-
	Past 2.17c	-	-
	ArcGis 10.3	-	-
Laboratorio			
Materiales	Trozos de papel aluminio	80	Unidad
	Papel vulky	10	Unidad
Equipos y herramientas	Estufa	1	Unidad
	Tamizador	1	Unidad
	Balanza de precisión	1	Unidad

Notas: Elaboración propia.

V. RESULTADOS

5.1. Resultados del diseño experimental

5.1.1. Porcentaje de carbono de la biomasa

En la Tabla 3 se encuentra la información obtenida por el LASPAF-UNALM. Los valores variaron de 52.43 % a 53.04 % siendo 52.66 % el promedio de los tres datos y el valor que fue usado como porcentaje de carbono de la biomasa.

Tabla 3. Porcentaje de carbono de la biomasa.

Muestra	Carbono (%)
1	52.48
2	53.08
3	52.43
Promedio	52.66%

Notas: Elaboración propia.

5.1.2. Biomasa de las 72 parcelas

El promedio total de la biomasa en las 72 parcelas fue de 668.52 g.m⁻² (0 g.m⁻² - 4083.33 g.m⁻²). Los datos de cada subparcela se encuentran en el Anexo 7.

5.1.3. Porcentaje de carbono en el suelo en las 72 parcelas

El promedio total del porcentaje de carbono en el suelo por parcela es de 0.065 %, (0.02 % - 0.33 %). La desviación estándar es 7.58x10⁻³. El porcentaje de carbono de cada parcela se encuentra registrado en el Anexo 8.

5.1.4. Gramos de suelo por cada metro cuadrado

El promedio en gramos de suelo por metro cuadrado de suelo de las 72 parcelas es de 4.6x10⁵ g.m⁻², (2 x10⁵ g.m⁻² - 8.9 x10⁵ g.m⁻²). La cantidad de gramos de suelo por metro cuadrado de cada parcela se encuentra registrado en el Anexo 9.

5.2. Resultados del análisis de datos

5.2.1. Cantidad de carbono aéreo por parcela

El promedio de carbono aéreo de las 72 parcelas fue 59.53 gC.m^{-2} , el valor máximo encontrado es de 363.61 gC.m^{-2} y el valor mínimo encontrado fue de 0 gC.m^{-2} . La cantidad de carbono aéreo de cada parcela junto con los cálculos se encuentra registrado en el Anexo 10.

5.2.2. Cantidad de carbono en el suelo por parcela

El promedio de carbono en el suelo de las 72 parcelas fue 305.21 gC.m^{-2} , el valor máximo encontrado fue $1524.10 \text{ gC.m}^{-2}$ y el valor mínimo encontrado fue de 69.56 gC.m^{-2} . La cantidad de carbono del suelo de cada parcela junto con los cálculos se encuentra registrado en el Anexo 11.

5.2.3. Modelamiento del carbono aéreo en el área de estudio

La cantidad estimada de carbono aéreo fue 4.60 t , el promedio de todos los datos estimados fue 64.82 gC.m^{-2} (0.59 gC.m^{-2} - 343.05 gC.m^{-2}) y su desviación estándar fue 53.97 gC.m^{-2} . También se estimó que la zona 1 tuvo 1.60 t de carbono almacenado, su promedio fue 38.17 gC.m^{-2} (0.59 gC.m^{-2} - 145.71 gC.m^{-2}) y su desviación estándar fue 23.10 gC.m^{-2} , mientras que en la zona 2 (Z2) se estimó que tuvo 3.00 t de carbono almacenado, el promedio de los datos obtenidos fue 102.81 gC.m^{-2} (1.16 gC.m^{-2} - 343.05 gC.m^{-2}) y su desviación estándar fue 62.04 gC.m^{-2} . Además, se pudo observar en la figura 3, que la Z2 tiene mayor cantidad de carbono aéreo. Los datos del modelo aplicado por el programa están en el Anexo 12.

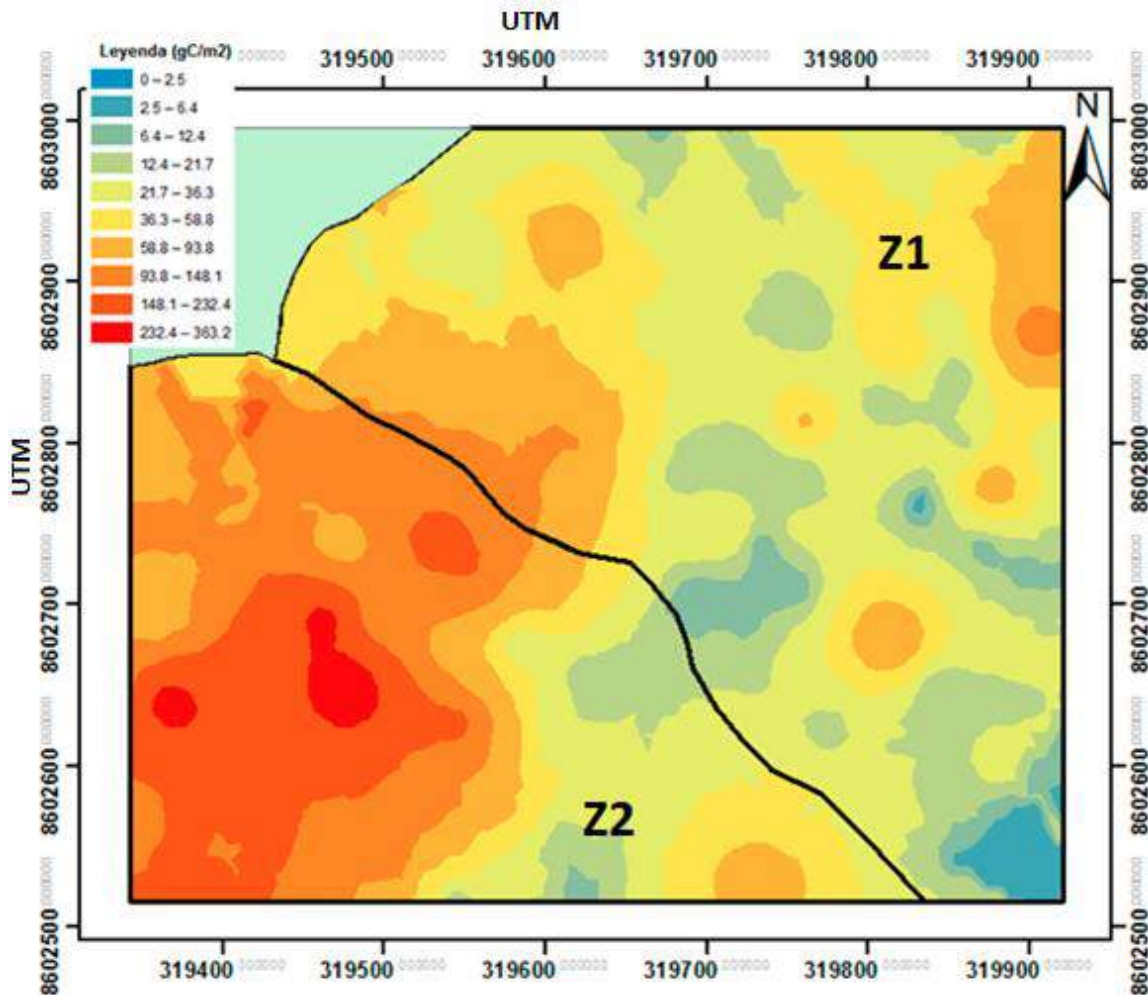


Figura 3. Mapa kriging de carbono aéreo. Los colores anaranjados y rojizos representan las áreas con mayor carbono aéreo almacenado, mientras que las tonalidades de azul representan las menores en el tillandsial. Las escalas de los ejes están en coordenadas UTM. Elaboración propia

5.2.4. Modelamiento del carbono del suelo en el área de estudio

La cantidad estimada de carbono de suelo es de 23.70 t. El promedio de todos los datos estimados es de 333.99 gC.m⁻² (106.97 gC.m⁻² - 940.59 gC.m⁻²) y su desviación estándar es 188.47 gC.m⁻². También se estimó que la zona 1 tiene 10.59 t de carbono almacenado, su promedio es de 253.95 gC.m⁻² (106.97 gC.m⁻² - 643.33 gC.m⁻²) y su desviación estándar es 115.02 gC.m⁻², mientras que en la zona 2 (Z2) se estimó que tiene 13.10 t de carbono almacenado, el promedio de los datos obtenidos es de 448.08 gC.m⁻² (150.24 gC.m⁻² - 940.59 gC.m⁻²) y su desviación estándar es 212.48 gC.m⁻². Además, se puede observar en la figura 4, que la Z2 presenta más carbono en el suelo que en Z1. Los datos del modelo aplicado por el programa están en el Anexo 13.

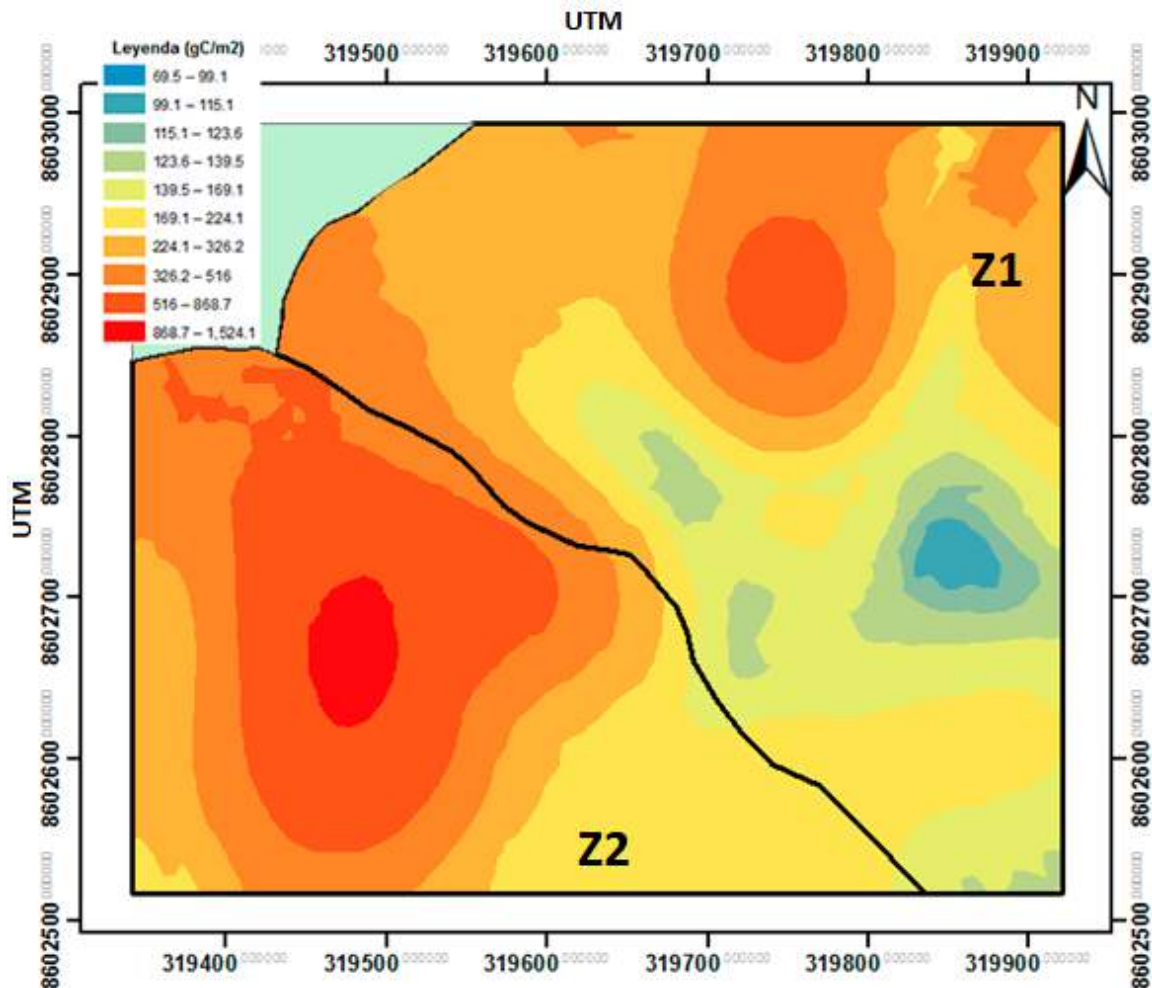


Figura 4. Mapa kriging de carbono del suelo. Los colores anaranjados y rojizos representan las áreas con mayor carbono almacenado del suelo, mientras que las tonalidades de azul representan las menores en el tillandsial. Las escalas de los ejes están en coordenadas UTM. Elaboración propia.

5.2.5. Total de carbono almacenado

Se estimó que la cantidad de carbono almacenado en la parte aérea es 4.7 t y el almacenado en el suelo es 23.70 t, sumado ambos datos da un total de 28.40 t de carbono almacenado en el tillandsial Piedra campana por *Tillandsia latifolia*.

VI. DISCUSIÓN

6.1 CANTIDAD DE CARBONO ALMACENADO POR HECTÁREA

Según los resultados en la zona de estudio hay 1.1 t de carbono almacenado por cada hectárea. Comparando con otros valores de almacenamiento de carbono conocidos, *Tillandsia latifolia* está por debajo de ellas, tal es el caso de especies de humedales como *Schoenoplectus californicus* (28.9 t/ha), *Schoenoplectus americanus* (18.6 T/ha) , *Distichlis spicata* (17 t/ha), *Sarcocornia neei* 6.1 T/ha (Palomino & Cabrera, 2007); *Eichhornia azurea* 3.5-17.5 t/ha (Coutinho, 1989) *Nymphoides* (7.6 t/ha) (Menezes, 1984) , *Nymphoides rudgeana* (3.8 t/ha) (Camargo & Florentino, 2000) y *Paspalum fasciculatum* 70 t/ha (Junk & Piedade, 1993) . El valor encontrado también se encuentra por debajo de *Paspalum repens* (31 t/ha), *Luziola spruceana* (7.6 t/ha), *Oryza perennis* (27 t/ha), *Pontederia cordata* (3.8-9.7 t/ha.) (Menezes, 1984)

Por otro lado, el carbono almacenado en todo el tillandsial (30.7 tC) se encuentra por debajo del estimado en las formaciones vegetales amazónicas de Madre de Dios (Perú) donde se halló 776 mil T/ha (Martel & Cairampoma, 2012), y también por debajo que en los bosques templado-lluviosos (región centro-sur de Chile) en donde se encontró que los valores la pre cordillera de los Andes es de 662.06 t C/ha y en la parte de la Cordillera de la Costa es de 423.86 tC/ha (Schlegel, 2001).

Esto significa que el servicio ecosistémico de almacenamiento de carbono en este tillandsial es menor que el de las especies y ecosistemas citados en la bibliografía precedente. Esto no significa que no brinda el servicio del almacenamiento, sino que este servicio es menor. Una de las principales razones por las que hay poco carbono almacenado es porque la estrategia de vida de la especie en estudio consiste en acumular agua (más del 80% de la planta es agua), lo que representa un valor bastante bajo de biomasa seca. A ello podemos agregar que el estrés hídrico y su completa dependencia de la neblina al que están sometidas las tillandsias tiene como resultado un crecimiento lento (Pinto R. , 2005). Lamentablemente, los resultados obtenidos nos indican que este ecosistema no es óptimo para su consideración dentro del mercado de bonos de carbono (ya que presentan muy poco carbono almacenado por hectárea). Debemos considerar que el presente estudio trabajó solo con un sector del tillandsial, lo que significa que todo el tillandsial completo puede brindarnos un mayor almacenamiento de carbono, pero para conocerlo deberíamos hacer un muestreo más detallado de las áreas adyacentes.

6.2 Distribución del carbono en el área de estudio

Los resultados muestran que existe más carbono almacenado en el suelo que en la parte aérea (24.70 t y 4.60 t respectivamente). Es usual que se el suelo sea el medio donde generalmente se almacena más carbono, y su cantidad va disminuyendo a mayor profundidad (Salvia, Ceballos, Grings, Karszenbaum, & Kandus, 2012). La cantidad de carbono almacenado en el suelo no es uniforme en toda el área estudiada. Un factor para la presencia de carbono en el suelo es el aporte que genera la materia vegetal muerta (Hernández, Tirado, & Beltrán,

2014), ello quiere decir que donde hay mayor densidad de biomasa, es más seguro que haya mayor cantidad de carbono almacenado en suelo y esto se corrobora con los resultados obtenidos en el presente estudio, ya que la zona donde hay mayor cantidad de carbono en el suelo también es la misma zona donde hay mayor cantidad de carbono aéreo, y es también la zona de mayor densidad poblacional; la densidad de *Tillandsia latifolia* en el área de estudio depende del sustrato, exposición a la neblina, la cantidad de luz al día y orientación (son diferentes en cada zona del tillandsial) y su distribución, depende de la topografía y el sustrato del área de estudio, siendo más abundante en las laderas con cara hacia el mar (suroeste) y en sustratos arenosos de poca pendiente. (Aponte & Flores, 2013), en consecuencia, en las zonas de mayor densidad habrá más carbono almacenado.

6.3 Almacenamiento de agua

Además de la vulnerabilidad de este ecosistema al cambio climático, la falta de gestión ambiental, la creciente y desordenada ampliación urbana amenazan con la conservación de este hábitat. El conocimiento de los niveles de almacenamiento de carbono en los ecosistemas y específicamente en cada formación vegetal, permite un mejor criterio de decisión y manejo en las zonas de conservación. Si bien es cierto, la cantidad de carbono almacenado no es mayor ni semejante a los almacenados en ecosistemas previamente comparados (Palomino & Cabrera, 2007; Coutinho, 1989; Menezes, 1984; Camargo & Florentino, 2000; Junk & Piedade, 1993), la cantidad de agua almacenada asciende a 42.95 t de agua; al convertir el dato en litros, se obtiene que la cantidad de agua almacenada en el área de estudio es de 42950 L.

Es fundamental la presencia de agua dentro de un ecosistema, pues se sabe que es un componente químico fundamental para la existencia de vida en el planeta (Rico Galicia & Pérez Orta, 1997). Tiene un rol fundamental el agua almacenada por *Tillandsia latifolia* ya que sería importante como reserva de agua en esta región desértica y sería el sustento para las aves, insectos, mamíferos y otros organismos que puedan depender de ella en esta región desértica como podría ser la “lechuga de los arenales” (*Athene cunicularia*), la “lagartija de los arenales” (*Microlophus theresiae*), insectos (*Lepidoptera* e *Hymenoptera*) o himenópteros y a los colibríes (principales visitantes y polinizadores de *Tillandsia latifolia* (Aponte & Flores, 2013).

Sería de gran aporte, poder conocer la captación de agua de neblina por día de *T. latifolia*, tal como se tiene cuantificado para *Tillandsia landbeckii* (entre 2.5 y 3.7 l/m²/día) (Westbeld, y otros, 2009). El presente estudio muestra que hay un potencial grande en la captura de agua de neblina. La forma en la que *T. latifolia* capta el agua de neblina es a través de los tricomas (apéndices epidérmicos en forma de pelo) que se encuentran en sus hojas, estos también les permite tener una protección contra el sol y la transpiración (Alonso, 2011). Conocer los mecanismos y aditivos químicos que tienen estos tricomas podría ser de interés en la aplicación a las tecnologías que hoy en día se usan para su mejoramiento en la captación de agua de neblina y sea usado como fuente de agua.

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

- La cantidad estimada de carbono aéreo es de 4.83 t y la de carbono de suelo es de 25.87 t, dando una estimación total de 30.70 t de carbono en el área de estudio.
- Hay mayor cantidad de carbono almacenado en el suelo que en la parte aérea.
- Hay mayor cantidad de carbono almacenado tanto en la parte aérea como del suelo en la zona con cara al mar.

7.2 Recomendaciones

- Se debería seguir con investigaciones con respecto a *Tillandsia latifolia*, si bien es cierto su captación de carbono no es de gran aporte como las de especies vegetales de los humedales, su aporte a la captación de agua de neblina puede ser de gran interés.
- Seguir investigando acerca de otros tillandsiales en el país y de la biodiversidad que habita en ellas.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alonso, J. R. (2011). *MANUAL DE HISTOLOGÍA VEGETAL*. Salamanca: Editorial Paraninfo.
- Aponte, H. (2015). ECOSISTEMAS POTENCIALES PARA EL TURISMO EN LA COSTA DE LIMA Y CALLAO: OPORTUNIDADES Y PERSPECTIVAS. *Novum Otium*, 57-64.
- Aponte, H. (2016). *CAPACIDAD CAPTADORA DE CARBONO Y PRODUCCIÓN DE PROTEÍNAS DE *Limnobiium laevigatum* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Heine (HYDROCHARITACEAE) BAJO CONDICIONES DE LABORATORIO*. Lima: Universidad Mayor de San Marcos.
- Aponte, H., & Flores, J. (2013). DENSIDAD Y DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE *Tillandsia latifolia* EN EL TILLANDSIAL DE PIEDRA CAMPANA (LIMA, PERÚ). *Ecología Aplicada*, 12, 35-43.
- Assessment Millennium Ecosystem. (2005). *Ecosystems and Human Well-being; Synthesis*. Washington, DC: Island Press.
- Ávila, G., Jiménez, F., Beer, J., Gómez, M., & Ibrahim., M. (2001). Almacenamiento, fijación de carbono y valoración de servicios ambientales en sistemas agroforestales en Costa Rica. *Agroforestería En Las Américas* 8(30), 32–35.
- Barros, V. (2006). *El cambio climático global*. Buenos Aires: Libros del Zorzal.
- Benavides, H., & León, G. (2007). *INFORMACIÓN TECNICA SOBRE GASES DE EFECTO INVERNADERO Y EL CAMBIO CLIMATICO*. Bogota: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM .
- Benzing, D. (2000). *Bromeliaceae: profile of an adaptive radiation*. Reino Unido: Cambridge University Press.
- Blake, G., & Hartge, K. (1986). Bulk Density. In: A Klute (ed). *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods*. *Am. Soc. Agron. and Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin, USA.*, 363-375.
- Brown, S. (1997). *Estimating biomass and biomass change of tropical forests. A primer*. FAO Roma: Forestry Paper.
- Camargo, A., & Florentino, E. (2000). Population dynamics and net primary production of the aquatic macrophite *Nymphaea rudgeana* C. F. Mey in a lotic environment of the Itanhaém River basin (SP, Brazil). *Rev. Bras. Biol*, 60, 83–92.
- Campbell, N., & Reece, J. (2007). *BIOLOGIA*. Médica Panamericana.
- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., & Hannon, B. (1997). . The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387, 253-260.

- Coutinho, M. (1989). Ecología poblacional de *Eichhornia azurea* e sua participacao na dinamida da vegetacao aquática da Lagoa do Infernao, SP. Dissertacao (Maestrado), Universidade Federal de Sao Carlos, Brasil.
- Dore, S., Kolb, T., Montes-Helu, M., Sullivan, B., Winslow, W., Hart, S., . . . Hungate, B. (2008). Long-term impact of a stand-replacing fire on ecosystem CO₂ exchange of a ponderosa pine forest. *Glob. Change Biol*, 14, 1801–1820.
- El Comercio. (7 de Julio de 2015). El Perú y la COP 21, por Isabel Calle Valladares. *El Comercio*.
- Esri. (7 de Febrero de 2017). Obtenido de Arcgis Pro: <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/how-kriging-works.htm>
- Gallardo, A. (2006). Geostadística. *Ecosistemas* 15 (3), 48-58.
- Hernández, J. E., Tirado, D., & Beltrán, I. (2014). Captura de carbono en los suelos. *Padi boletin científico* .
- Hesse, R. (2012). Spatial distribution of and topographic controls on *Tillandsia* fog vegetation in coastal southern Peru: Remote sensing and modelling. *Journal of Arid Environments*, 78, 33-40.
- INRENA. (1995). Estudio de Factibilidad para la Derivación de las aguas del Río Mala a la Cuenca del Río Chilca. Lima, Perú.
- Jaksic, V., Kiely, G., Albertson, J., Oren, R., Katul, G., Leahy, P., & Byrne, K. (2006). Net ecosystem exchange of grassland in contrasting wet and dry years. *Agric. For. Meteorol*, 139, 323–334.
- Junk, W., & Piedade, M. (1993). Biomass and primary-production of herbaceous plant communities in the Amazon floodplain. *Hydrobiologia*, 263, 155–162.
- León, B., & Sagástegui, A. (2008). General overview of *Tillandsia* subgenus *Tillandsia* in Peru: the three-pinnate species and the case of two endemic species. *Revista peruana de biología*, 15, 25–30.
- Locatelli, B., & Kanninen, M. (2010). Servicios ecosistémicos y adaptación. *Adaptación al cambio climático y servicios*, 11-20.
- Martel, C., & Cairampoma, L. (2012). Cuantificación del carbono almacenado en formaciones vegetales amazónicas en “CICRA”, Madre de Dios (Perú). *Ecología Aplicada*, 59-65.
- Menezes, C. (1984). Biomassa e producao primária de tres espécies de macrófitas aquáticas da Represa do Lobo (Broa). *Dissertacao (Maestrado)*, Universidade Federal de Sao Carlos, Brasil.
- MINAM. (2014). *ESTRATEGIA NACIONAL ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO*. Lima: Ministerio del Ambiente.
- MINAM. (2014). *Estrategia nacional de diversidad biológica al 2021. Plan de acción 2014-2018*. Lima: Ministerio del Ambiente.

- MINAM. (22 de Julio de 2016). Obtenido de MINAM: <http://www.minam.gob.pe/peruclimatico/2016/07/22/peru-ratifica-el-acuerdo-de-paris-y-consolida-su-liderazgo-climatico-mundial/>
- Monge-Nájera, J. (2002). *BIOLOGIA GENERAL*. EUNED.
- Montero, J. M., & Larraz, B. (2008). *Introducción a la Geoestadística Lineal*. Madrid: Netbiblio.
- Moreno, N., Herrera, M., & Caraciolo, R. (2011). MODELO PARA CALCULO ESTIMACIÓN DEL CARBONO EN TIPO FORESTAL ROBLE-RAULÍ-COIGÜE EN LA RESERVA NACIONAL MALLECO - CHILE. *Árvore*, 35, 1299-1306.
- Moschella, P. (2013). *Variación y protección de humedales costeros frente a procesos de urbanización : casos Ventanilla y Puerto Viejo*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Naciones Unidas. (1992). *CONVENCION MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS*. Obtenido de <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>
- ONU. (11 de Marzo de 2014). *Sistema de las Naciones unidas en el Perú*. Obtenido de Sistema de las Naciones unidas en el Perú: <http://onu.org.pe/cop-20/que-es-la-cop-20/>
- Palomino, D., & Cabrera, C. (2007). ESTIMACIÓN DEL SERVICIO AMBIENTAL DE CAPTURA DE CO₂ EN LA FLORA DE LOS HUMEDALES DE PUERTO VIEJO. *Instituto de Investigación FIGMMG*, 10, 49-59.
- PCM. (2014). *PLAN NACIONAL DE GESTION DEL RIESGO DE DESASTRES PLANAGERD 2014-2021*. Lima.
- Pinto, P., Barría, I., & Marquet, P. (2006). Geographical distribution of *Tillandsia lomas* in the Atacama Desert, northern Chile. *Journal of Arid Environments*, 65, 543-552.
- Pinto, R. (2005). *Tillandsia del Norte de Chile y del Extremo Sur del Perú*. Gas Atacama, Chile.
- Rico Galicia, A., & Pérez Orta, R. E. (1997). *Química I. Agua y Oxígeno*. Mexico D.F.: UNAM.
- Robert, M. (2002). *CAPTURA DE CARBONO EN LOS SUELOS PARA UN MEJOR MANEJO DE LA TIERRA*. ROMA: ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN.
- Roulet, N. (2000). Peatlands, carbon storage, greenhouse gases, and the Kyoto Protocol: Prospects and significance for Canada. *Wetlands*, 605-615.
- Rundel, P., Palma, B., Dillon, M., Rasoul, M., Nilsen, E., & Boonpragob, K. (1997). *Tillandsia landbecki* in the coastal Atacama Desert of northern Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 70, 341–349.
- Salvia, M., Ceballos, D., Grings, F., Karszenbaum, H., & Kandus, P. (2012). *Post-Fire Effects in Wetland Environments: Landscape Assesment of Plant Coverage and Soil Recovery in the Paraná River Delta Marshes, Argentina*. *Fire Ecology*, 8(2), 17.

- Sarukhán, J., Koleff, P., Carabias, J., Soberón, J., Dirzo, R., & Llorente-Bousquets, J. (2009). *Capital natural de México. Síntesis: conocimiento actual, evaluación y perspectivas de sustentabilidad*. Mexico: México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Schlegel, B. (2001). ESTIMACIÓN DE LA BIOMASA Y CARBONO DEL TIPO FORESTAL SIEMPREVERDE. *Universidad Austral de Chile*.
- Schulz, N., Aceituno, P., & Richter, M. (2011). Phytogeographic divisions, climate change and plant dieback along the coastal desert of northern Chile. *Erdkunde*, 169–187.
- Soto-Pinto, L. G.-F., Guillen, A., Jong, B. D., & Esquivel-Bazán, E. (2001). Experiencia agroforestal para la captura de carbono en comunidades indígenas de México. *International Workshop on Carbon Sequestration*, (págs. 16-17). Venezuela.
- U.S. EPA. (2004). *Ecological benefits assessment strategic plan*. Washington.
- Valverde, T., & Bernal, R. (2010). ¿HAY ASINCRONÍA DEMOGRÁFICA ENTRE POBLACIONES LOCALES DE TILLANDSIA RECURVATA? EVIDENCIAS DE SU FUNCIONAMIENTO METAPOBLACIONAL. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*(86), 23-26.
- Vargas, P. (2009). *El Cambio Climático y Sus Efectos en el Perú*. Lima: Banco Central de Reserva del Perú.
- Walkey, A., & Black, I. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil and, and a modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci*, 29-38.
- Westbeld, A., Klemm, O., Griebbaum, F., Sträter, E., Larrain, H., Osses, P., & Cereceda, P. (2009). Fog deposition to a Tillandsia carpet in the Atacama Desert. *Annales Geophysicae* 27, 3571–3576.

IX. ABREVIATURAS

Unidad	Símbolo o sigla
Metro	m
Kilómetro	km
Hectárea	ha
Centímetros	cm
Tonelada	t
Dióxido de carbono	CO ₂
Tonelada por hectárea	t.ha ⁻¹
Tonelada de carbono por hectárea	tC.ha ⁻¹
Tonelada por hectárea por año	t.(ha.año) ⁻¹
Tonelada de dióxido de carbono por hectárea	tCO ₂ .ha ⁻¹
Milímetros	mm
Gramo	g
Gramo de carbono por metro cuadrado	gC.m ⁻²
Gramo por metro cuadrado	g.m ⁻²
World Geodetic System 1984	WGS84
Universal Transverse Mercator	UTM

X. ANEXOS

Anexo 1. Tillandsial Piedra Campana.



Figura 1a. Tillandsial Piedra Campana, ubicado a 1 km al Nor Oeste de la localidad de San Antonio, distrito de San Antonio, provincia de Cañete, Lima. El área de estudio corresponde a un área desierta de 26 hectáreas compuesto por quebradas rocosas y laderas arenosas, la especie que se encuentra en mayor proporción es *Tillandsia latifolia*. Fuente: Imagen propia.

Anexo 2. Imagen de Tillandsia latifolia.



Figura 2a. *Tillandsia latifolia*, especie de planta con tallo diminuto que presenta hojas dispuestas de forma arrosetada. Su distribución y densidad son limitados por el sustrato del suelo, las características ambientales y topográficas del lugar donde se encuentra (Aponte & Flores, 2013). Fuente: © H. Aponte

Anexo 3. Zonificación y Ubicación de las 72 coordenadas UTM del estudio.

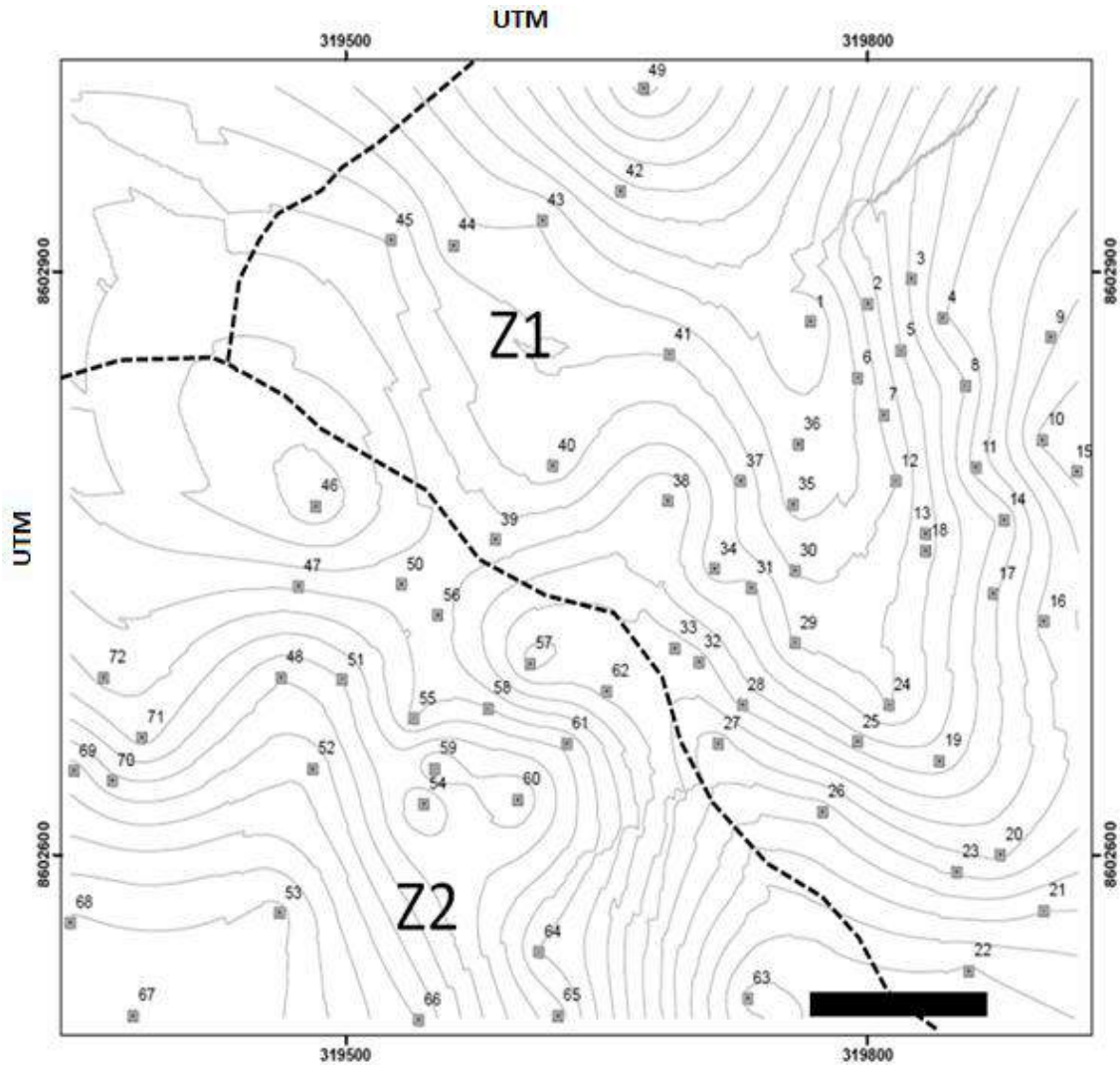


Figura 3a. Zonificación del área de estudio, Z1 representa la zona rodeada por colinas que impiden una zona con frente al mar mientras que Z2 es la zona que tiene frente al mar. Los ejes se encuentran en coordenadas UTM. Fuente: Aponte & Flores 2013.

Anexo 4. Coordenadas UTM (WGS84) de las 72 parcelas en estudio.

Tabla 1a. Coordenadas UTM (WGS 84) de las 72 parcelas en estudio.

#	Coordenada UTM		#	Coordenada UTM	
	CO1	CO2		CO1	CO2
1	319767	8602875	37	319727	8602793
2	319800	8602884	38	319685	8602783
3	319825	8602897	39	319586	8602763
4	319843	8602877	40	319619	8602801
5	319819	8602860	41	319686	8602858
6	319794	8602846	42	319658	8602942
7	319809	8602827	43	319613	8602927
8	319856	8602842	44	319562	8602914
9	319905	8602867	45	319526	8602917
10	319900	8602814	46	319483	8602780
11	319862	8602800	47	319473	8602739
12	319816	8602793	48	319463	8602692
13	319833	8602766	49	319671	8602995
14	319878	8602773	50	319532	8602740
15	319920	8602798	51	319498	8602691
16	319901	8602721	52	319481	8602645
17	319872	8602735	53	319462	8602571
18	319833	8602757	54	319545	8602627
19	319841	8602649	55	319539	8602671
20	319876	8602601	56	319553	8602724
21	319901	8602572	57	319606	8602699
22	319858	8602541	58	319582	8602676
23	319851	8602592	59	319551	8602645
24	319812	8602678	60	319599	8602629
25	319794	8602659	61	319627	8602658
26	319774	8602623	62	319650	8602685
27	319714	8602658	63	319731	8602527
28	319728	8602678	64	319611	8602551
29	319758	8602710	65	319622	8602518
30	319758	8602747	66	319542	8602516
31	319733	8602738	67	319378	8602518
32	319703	8602700	68	319342	8602566
33	319689	8602707	69	319344	8602644
34	319712	8602748	70	319366	8602639
35	319757	8602781	71	319383	8602661
36	319760	8602812	72	319361	8602692

Fuente: elaboración propia

Anexo 5. Diagrama de parcelas, sub parcelas y ubicación de la coordenada

UTM

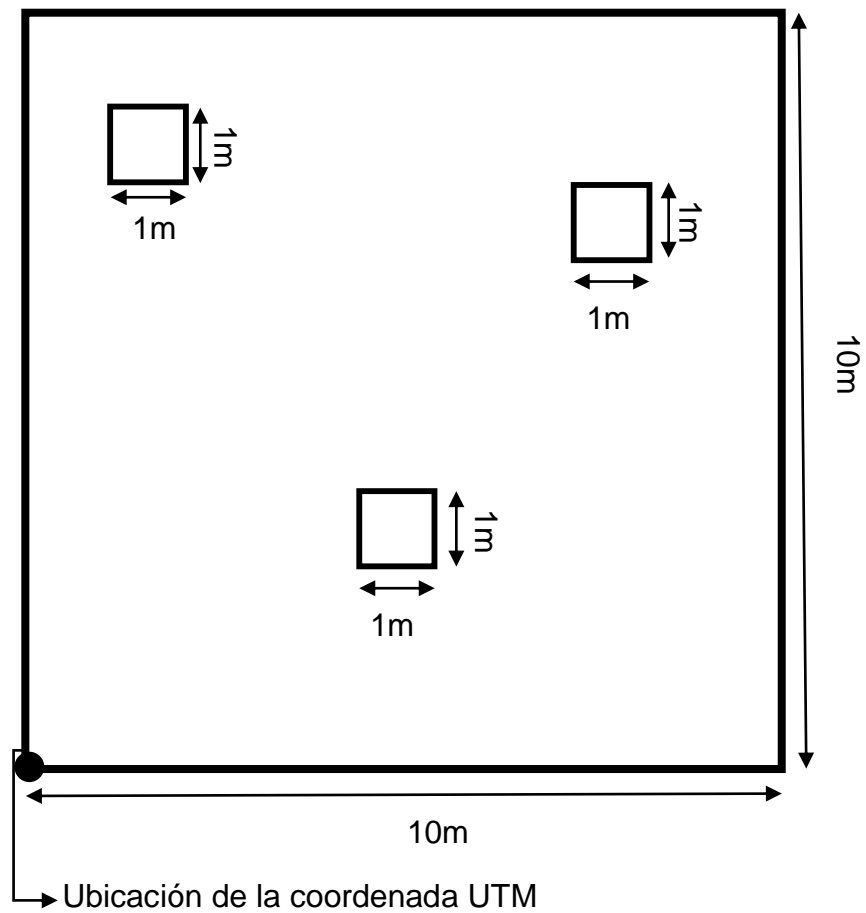


Figura 4a. Diagrama de parcela (10 m x 10 m), subparcelas (1 m x 1 m) y ubicación de la coordenada UTM. Fuente: elaboración propia.

Anexo 6. porcentaje de biomasa seca y Prueba estadística.

Tabla 2a. Resultados de porcentaje seco de la biomasa de las 6 muestras.

Muestra	Zona	Biomasa fresca (g)	Biomasa seca (g)	Biomasa seca (%)	Promedio Por Zona	Promedio total
1	1 (sin frente a mar)	49.99	9.05	18.20	17.46%	16.91%
2		49.98	8.84	17.69		
3		49.95	8.24	16.50		
4	2 (frente a mar)	49.94	8.30	16.62	16.36%	
5		50.04	8.62	17.23		
6		50.00	7.62	15.24		

Fuente: elaboración propia

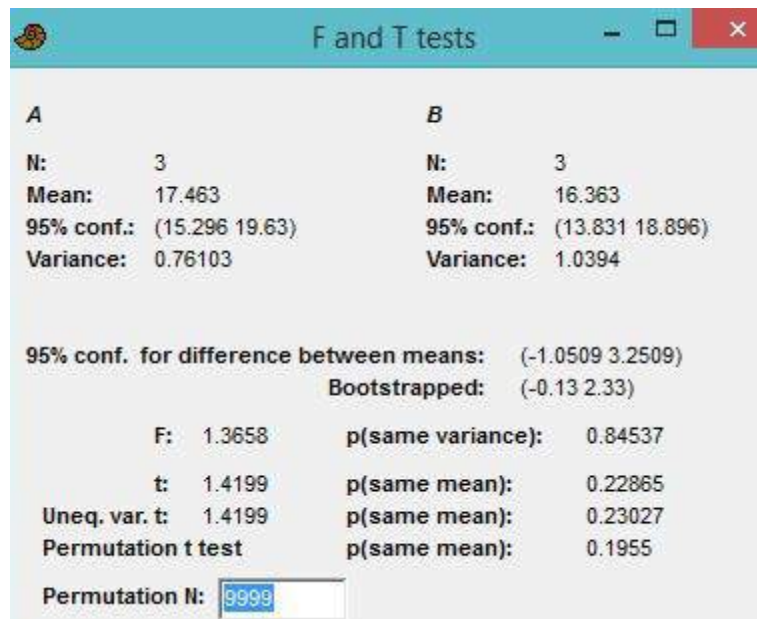


Figura 5a: Resultados de prueba t en el programa Past 1.7 en las seis muestras de biomasa seca, no se encontraron diferencias significativas. Fuente: Elaboración propia.

anexo 7. Promedio de la biomasa de las 72 parcelas.

Tabla 3a. Promedio de la biomasa de las 72 parcelas.

#	Biomasa (g)			Promedio (g)	#	Biomasa (g)			Promedio (g)
	M 1	M 2	M3			M 1	M 2	M3	
1	0	0	0	0.00	37	0	0	0	0.00
2	950	0	800	583.33	38	0	0	0	0.00
3	1500	0	400	633.33	39	300	2650	700	1216.67
4	0	0	0	0.00	40	750	1900	750	1133.33
5	0	1800	1400	1066.67	41	100	700	0	266.67
6	0	0	800	266.67	42	0	300	200	166.67
7	0	0	0	0.00	43	4200	0	0	1400.00
8	0	0	0	0.00	44	0	0	0	0.00
9	200	3300	1600	1700.00	45	0	0	0	0.00
10	0	0	1650	550.00	46	1500	1700	2300	1833.33
11	0	0	500	166.67	47	0	0	500	166.67
12	0	0	1200	400.00	48	2000	3800	4100	3300.00
13	0	0	0	0.00	49	0	0	0	0.00
14	0	1700	1900	1200.00	50	1200	950	4800	2316.67
15	0	0	0	0.00	51	0	800	1200	666.67
16	0	0	0	0.00	52	3150	4800	4300	4083.33
17	0	0	0	0.00	53	0	1500	2500	1333.33
18	0	0	0	0.00	54	3100	0	3550	2216.67
19	0	0	0	0.00	55	0	0	1700	566.67
20	0	0	1300	433.33	56	1600	1900	2300	1933.33
21	0	0	0	0.00	57	1750	450	0	733.33
22	0	0	0	0.00	58	0	0	0	0.00
23	0	0	0	0.00	59	0	1300	1800	1033.33
24	450	1000	3500	1650.00	60	0	0	700	233.33
25	0	0	1600	533.33	61	0	200	0	66.67
26	250	0	0	83.33	62	800	0	0	266.67
27	0	500	0	166.67	63	0	3150	1100	1416.67
28	0	300	100	133.33	64	0	0	0	0.00
29	0	0	0	0.00	65	0	0	0	0.00
30	0	0	1100	366.67	66	0	0	0	0.00
31	0	0	0	0.00	67	2650	0	4050	2233.33
32	0	0	100	33.33	68	1100	0	1050	716.67
33	0	0	0	0.00	69	0	1650	3400	1683.33
34	1500	400	0	633.33	70	4300	1500	5450	3750.00
35	0	0	0	0.00	71	250	0	5400	1883.33
36	0	1250	1500	916.67	72	0	0	0	0.00

Fuente: elaboración propia

Anexo 8. Porcentaje de carbono en el suelo por parcela.

Tabla 4a. Porcentaje de carbono en el suelo por parcela.

# de parcela	C (%)		# de parcela	C (%)
1	0.33		37	0.03
2	0.03		38	0.03
3	0.03		39	0.03
4	0.03		40	0.03
5	0.1		41	0.04
6	0.03		42	0.02
7	0.03		43	0.04
8	0.03		44	0.04
9	0.1		45	0.03
10	0.06		46	0.19
11	0.03		47	0.2
12	0.03		48	0.14
13	0.03		49	0.04
14	0.03		50	0.1
15	0.06		51	0.12
16	0.03		52	0.14
17	0.03		53	0.12
18	0.03		54	0.14
19	0.03		55	0.12
20	0.07		56	0.21
21	0.03		57	0.3
22	0.03		58	0.06
23	0.03		59	0.03
24	0.03		60	0.03
25	0.03		61	0.23
26	0.06		62	0.03
27	0.03		63	0.06
28	0.03		64	0.06
29	0.03		65	0.06
30	0.03		66	0.03
31	0.06		67	0.02
32	0.06		68	0.04
33	0.03		69	0.1
34	0.03		70	0.03
35	0.03		71	0.03
36	0.04		72	0.02

Fuente: elaboración propia

Anexo 9. Gramos de carbono en el suelo por metro cuadrado.

Tabla 5a. Gramos de carbono en el suelo por metro cuadrado.

	Muestra Fresca (g)	Muestra Seca (g)	Solo suelo (g)	Volumen (cm³)	Densidad (g/ cm³)	g de carbono /m²
1	55.9366	54.71	36.255	7.85	4.62	461847.13
2	50.6103	49.374	32.964	7.85	4.20	419923.57
3	53.3634	52.065	31.234	7.85	3.98	397885.35
4	62.23	60.605	34.823	7.85	4.44	443605.10
5	60.2405	56.8	34.7	7.85	4.42	442038.22
6	71.6854	63.373	50.275	7.85	6.40	640445.86
7	65.3	54.6918	47.467	7.85	6.05	604675.16
8	41.713	40.6992	26.655	7.85	3.40	339554.14
9	57.671	54.6918	31.3584	7.85	3.99	399470.06
10	60.4547	58.1578	29.307	7.85	3.73	373337.58
11	53.2025	51.7696	25.8721	7.85	3.30	329580.89
12	51.9396	50.152	37.5444	7.85	4.78	478272.61
13	58.6993	57.051	31.7248	7.85	4.04	404137.58
14	63.3136	61.931	33.0899	7.85	4.22	421527.39
15	58.2654	56.603	33.1756	7.85	4.23	422619.11
16	51.189	49.978	19.8859	7.85	2.53	253323.57
17	55.5336	53.4147	28.1684	7.85	3.59	358833.12
18	69.2669	67.468	35.345	7.85	4.50	450254.78
19	58.7588	56.856	34.516	7.85	4.40	439694.27
20	82.4094	80.564	37.142	7.85	4.73	473146.50
21	64.5451	63.4796	28.4649	7.85	3.63	362610.19
22	62.4628	60.9035	29.216	7.85	3.72	372178.34
23	65.326	63.379	37.7799	7.85	4.81	481272.61
24	64.8237	61.4792	32.363	7.85	4.12	412267.52
25	64.3774	61.973	33.0596	7.85	4.21	421141.40
26	48.4437	46.4387	28.8376	7.85	3.67	367357.96
27	62.0305	61.2161	24.4328	7.85	3.11	311245.86
28	66.0976	64.4106	31.9155	7.85	4.07	406566.88
29	72.2179	70.341	46.1319	7.85	5.88	587667.52
30	57.0975	55.636	35.4126	7.85	4.51	451115.92
31	41.3392	40.2164	16.8167	3.925	4.28	428450.96
32	41.056	40.0348	24.6121	7.85	3.14	313529.94
33	62.6773	61.0204	31.2814	7.85	3.98	398489.17
34	50.1414	49.0948	18.202	7.85	2.32	231872.61
35	70.0095	69.4611	66.966	7.85	8.53	853070.06
36	57.3905	56.9465	48.896	7.85	6.23	622878.98
37	60.7844	59.6115	38.0675	7.85	4.85	484936.31
38	57.9605	56.053	31.9502	7.85	4.07	407008.92
39	53.4721	51.1327	38.2694	7.85	4.88	487508.28
40	57.8157	56.9706	30.9409	7.85	3.94	394151.59
41	68.3747	64.0308	43.3311	7.85	5.52	551988.54

Continuación Tabla 5a

	Muestra Fresca (g)	Muestra Seca (g)	Solo suelo (g)	Volumen (cm³)	Densidad (g/ cm³)	Gramos de carbono /m²
42	56.5931	56.0919	46.8437	7.85	5.97	596735.03
43	72.7896	71.7739	58.7997	7.85	7.49	749040.76
44	60.5872	59.1131	55.5942	7.85	7.08	708206.37
45	70.0381	69.3234	64.8009	7.85	8.25	825489.17
46	67.7407	64.8869	25.104	7.85	3.20	319796.18
47	62.6947	60.2903	30.198	7.85	3.85	384687.90
48	79.9219	77.787	70.0743	7.85	8.93	892666.24
49	78.0319	77.4488	64.4795	7.85	8.21	821394.90
50	48.0212	46.6613	25.1982	6.28	4.01	401245.22
51	60.405	59.961	51.5903	7.85	6.57	657201.27
52	79.625	78.696	66.7733	7.85	8.51	850615.29
53	74.4098	72.8146	56.1257	7.85	7.15	714977.07
54	66.3362	65.9082	46.2067	7.85	5.89	588620.38
55	59.6193	59.2627	47.7475	7.85	6.08	608248.41
56	55.5003	54.8193	45.4869	7.85	5.79	579450.96
57	61.3251	60.2398	23.631	7.85	3.01	301031.85
58	49.1585	47.3536	23.8098	3.925	6.07	606619.11
59	58.5877	58.2155	39.4349	7.85	5.02	502355.41
60	42.465	41.5511	22.942	7.85	2.92	292254.78
61	32.482	31.687	16.0145	7.85	2.04	204006.37
62	62.449	61.1215	30.8246	7.85	3.93	392670.06
63	48.023	45.7442	34.2572	7.85	4.36	436397.45
64	45.496	44.6823	20.8156	7.85	2.65	265166.88
65	42.6675	41.3112	21.3661	7.85	2.72	272179.62
66	52.9614	52.0636	25.7825	7.85	3.28	328439.49
67	56.3226	53.2876	30.416	7.85	3.87	387464.97
68	60.8328	60.3415	40.8529	7.85	5.20	520419.11
69	58.21	56.3367	27.3294	6.28	4.35	435181.53
70	59.5593	58.1727	35.1015	7.85	4.47	447152.87
71	68.4687	66.5556	30.7025	7.85	3.91	391114.65
72	54.8237	54.223	35.1864	7.85	4.48	448234.39

Fuente: elaboración propia

Anexo 10. Cantidad de carbono aéreo por parcela.

Tabla 6a. Cantidad de carbono aéreo por parcela.

#	Biomasa total (g)	Biomasa seca (g) 16.91%	Carbono Total (g) 52.66%	#	Biomasa total (g)	Biomasa seca (g) 16.91%	Carbono Total (g) 52.66%
1	0.00	0.00	0.00	37	0.00	0.00	0.00
2	583.33	98.64	51.94	38	0.00	0.00	0.00
3	633.33	107.10	56.40	39	1216.67	205.74	108.34
4	0.00	0.00	0.00	40	1133.33	191.65	100.92
5	1066.67	180.37	94.98	41	266.67	45.09	23.75
6	266.67	45.09	23.75	42	166.67	28.18	14.84
7	0.00	0.00	0.00	43	1400.00	236.74	124.67
8	0.00	0.00	0.00	44	0.00	0.00	0.00
9	1700.00	287.47	151.38	45	0.00	0.00	0.00
10	550.00	93.01	48.98	46	1833.33	310.02	163.25
11	166.67	28.18	14.84	47	166.67	28.18	14.84
12	400.00	67.64	35.62	48	3300.00	558.03	293.86
13	0.00	0.00	0.00	49	0.00	0.00	0.00
14	1200.00	202.92	106.86	50	2316.67	391.75	206.29
15	0.00	0.00	0.00	51	666.67	112.73	59.37
16	0.00	0.00	0.00	52	4083.33	690.49	363.61
17	0.00	0.00	0.00	53	1333.33	225.47	118.73
18	0.00	0.00	0.00	54	2216.67	374.84	197.39
19	0.00	0.00	0.00	55	566.67	95.82	50.46
20	433.33	73.28	38.59	56	1933.33	326.93	172.16
21	0.00	0.00	0.00	57	733.33	124.01	65.30
22	0.00	0.00	0.00	58	0.00	0.00	0.00
23	0.00	0.00	0.00	59	1033.33	174.74	92.02
24	1650.00	279.02	146.93	60	233.33	39.46	20.78
25	533.33	90.19	47.49	61	66.67	11.27	5.94
26	83.33	14.09	7.42	62	266.67	45.09	23.75
27	166.67	28.18	14.84	63	1416.67	239.56	126.15
28	133.33	22.55	11.87	64	0.00	0.00	0.00
29	0.00	0.00	0.00	65	0.00	0.00	0.00
30	366.67	62.00	32.65	66	0.00	0.00	0.00
31	0.00	0.00	0.00	67	2233.33	377.66	198.87
32	33.33	5.64	2.97	68	716.67	121.19	63.82
33	0.00	0.00	0.00	69	1683.33	284.65	149.90
34	633.33	107.10	56.40	70	3750.00	634.13	333.93
35	0.00	0.00	0.00	71	1883.33	318.47	167.71
36	916.67	155.01	81.63	72	0.00	0.00	0.00

Fuente: elaboración propia

Anexo 11. Cantidad de carbono en el suelo por parcela.

Tabla 7a. Cantidad de carbono en el suelo por parcela.

#	Gramos de suelo x m2	C Orgánico %	C Total (g)	#	Gramos de suelo x m2	C Orgánico %	C Total (g)
1	461847.134	0.33	1524.10	37	484936.306	0.03	145.48
2	419923.567	0.03	125.98	38	407008.917	0.03	122.10
3	397885.35	0.03	119.37	39	487508.28	0.03	146.25
4	443605.096	0.03	133.08	40	394151.592	0.03	118.25
5	442038.217	0.1	442.04	41	551988.535	0.04	220.80
6	640445.86	0.03	192.13	42	596735.032	0.02	119.35
7	604675.159	0.03	181.40	43	749040.764	0.04	299.62
8	339554.14	0.03	101.87	44	708206.369	0.04	283.28
9	399470.064	0.1	399.47	45	825489.172	0.03	247.65
10	373337.58	0.06	224.00	46	319796.178	0.19	607.61
11	329580.892	0.03	98.87	47	384687.898	0.2	769.38
12	478272.611	0.03	143.48	48	892666.242	0.14	1249.73
13	404137.58	0.03	121.24	49	821394.904	0.04	328.56
14	421527.389	0.03	126.46	50	401245.223	0.1	401.25
15	422619.108	0.06	253.57	51	657201.274	0.12	788.64
16	253323.567	0.03	76.00	52	850615.287	0.14	1190.86
17	358833.121	0.03	107.65	53	714977.07	0.12	857.97
18	450254.777	0.03	135.08	54	588620.382	0.14	824.07
19	439694.268	0.03	131.91	55	608248.408	0.12	729.90
20	473146.497	0.07	331.20	56	579450.955	0.21	1216.85
21	362610.191	0.03	108.78	57	301031.847	0.3	903.10
22	372178.344	0.03	111.65	58	606619.108	0.06	363.97
23	481272.611	0.03	144.38	59	502355.414	0.03	150.71
24	412267.516	0.03	123.68	60	292254.777	0.03	87.68
25	421141.401	0.03	126.34	61	204006.369	0.23	469.21
26	367357.962	0.06	220.41	62	392670.064	0.03	117.80
27	311245.86	0.03	93.37	63	436397.452	0.06	261.84
28	406566.879	0.03	121.97	64	265166.879	0.06	159.10
29	587667.516	0.03	176.30	65	272179.618	0.06	163.31
30	451115.924	0.03	135.33	66	328439.49	0.03	98.53
31	428450.955	0.06	257.07	67	387464.968	0.02	77.49
32	313529.936	0.06	188.12	68	520419.108	0.04	208.17
33	398489.172	0.03	119.55	69	435181.529	0.1	435.18
34	231872.611	0.03	69.56	70	447152.866	0.03	134.15
35	853070.064	0.03	255.92	71	391114.65	0.03	117.33
36	622878.981	0.04	249.15	72	448234.395	0.02	89.65

Fuente: elaboración propia

Anexo 12. Modelamiento para la estimación de carbono aéreo.

Input datasets

Dataset

.....	C:\Users\User\Documents\ArcGIS\scratch\Default.gdb\DatosCarbonoTotal_ExcelToTab8_Features	
Type	.....	Feature Class
Data field 1	.....	Carbono_aereo__g_x_m2
Records	.....	72

Method

.....		Kriging
Type	.....	Ordinary
Output type	.....	Prediction
Dataset #	.....	1
Trend type	.....	None
Searching neighborhood	.....	Standard
Neighbors to include	.....	5
Include at least	.....	2
Sector type	.....	Four and 45 degree
Major semiaxis	.....	116.244858408949
Minor semiaxis	.....	116.244858408949
Angle	.....	0
Variogram	.....	Semivariogram
Number of lags	.....	12
Lag size	.....	14.530607301119
Nugget	.....	0
Measurement error %	.....	100
Model type	.....	Stable
Parameter	.....	0.758984375
Range	.....	116.244858408949
Anisotropy	.....	No
Partial sill	.....	4,739.50393026167

Figura 6a. Características aplicadas del método kriging utilizado para estimar el carbono aéreo. Fuente: Elaboración propia.

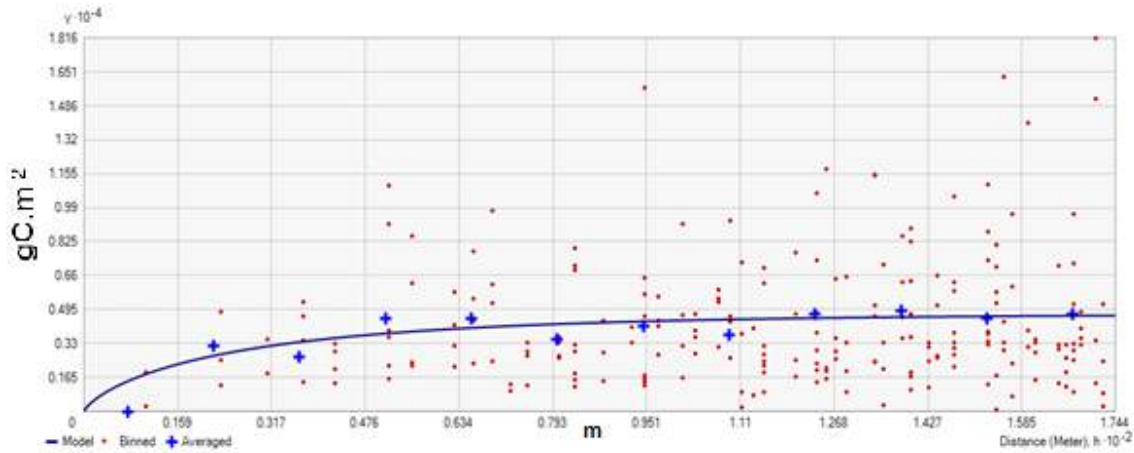


Figura 6b. Semiovariograma del modelo aplicado en la metodología kriging para carbono aéreo. El eje “x” es la distancia entre puntos en metros y el eje “y” es la varianza de los datos en gC.m². Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8a. Tabla de validación cruzada para carbono aéreo

FID	Measured	Predicted	Error	StdError
1	0	34.27862438	34.27862438	64.40545103
2	51.883265	43.81923108	-8.064033924	59.98365553
3	56.330402	39.67556478	-16.65483722	61.70504127
4	0	59.43197515	59.43197515	60.30705436
5	94.872256	22.23170445	-72.64055155	58.29453238
6	23.718064	35.3381307	11.6200667	58.80590862
7	0	38.07046082	38.07046082	59.37804067
8	0	44.58481764	44.58481764	62.43950649
9	151.202658	29.52495908	-121.6776989	68.98450457
10	48.918507	35.84690405	-13.07160295	61.1808224
11	14.82379	43.38092031	28.55713031	61.19257853
12	35.577096	16.79922921	-18.77786679	61.50101099
13	0	15.41218053	15.41218053	50.65632374
14	106.731288	18.64502641	-88.08626159	61.54992178
15	0	49.44981397	49.44981397	63.92734788
16	0	31.03971293	31.03971293	66.13241119
17	0	35.04518796	35.04518796	62.57038035
18	0	14.13059464	14.13059464	51.5411323
19	0	42.05511748	42.05511748	65.36042262
20	38.541854	10.29769778	-28.24415622	62.75446869
21	0	13.16352341	13.16352341	69.22529122
22	0	26.35149343	26.35149343	69.51814757
23	0	31.62719733	31.62719733	63.00790354
24	146.755521	21.68772751	-125.0677935	62.13640443
25	47.436128	51.78643135	4.350303346	61.5343576
26	7.411895	40.22818152	32.81628652	66.84522889
27	14.82379	22.6482433	7.824453301	62.44646072
28	11.859032	16.0668069	4.207774895	60.1506874

Continuación de Tabla 8a

FID	Measured	Predicted	Error	StdError
29	0	27.77589626	27.77589626	62.88288386
30	32.612338	12.10712724	-20.50521076	60.36942616
31	0	28.80927432	28.80927432	58.08109834
32	2.964758	10.76724637	7.802488367	56.2972949
33	0	13.39261662	13.39261662	57.50162519
34	56.330402	9.305720124	-47.02468188	60.19790969
35	0	31.61486233	31.61486233	60.42437684
36	81.530845	11.08370966	-70.44713534	62.22612747
37	0	27.90620303	27.90620303	62.05028626
38	0	38.21811567	38.21811567	65.25516537
39	108.213667	90.89699657	-17.31667044	66.15606208
40	100.801772	75.06922842	-25.73254358	67.81145122
41	23.718064	38.61135366	14.89328966	68.81927964
42	14.82379	49.25566717	34.43187717	67.74744392
43	124.519836	16.22295578	-108.2968802	67.55982402
44	0	58.02079468	58.02079468	67.13535884
45	0	74.12139643	74.12139643	70.07609899
46	163.06169	86.20240993	-76.85928007	67.85555303
47	14.82379	161.446354	146.622564	65.16894908
48	293.511042	134.0286339	-159.4824081	64.40440066
49	0	39.12661337	39.12661337	72.09528939
50	206.050681	120.4486209	-85.60206009	62.52644546
51	59.29516	185.9309264	126.6357664	63.01972462
52	363.182855	143.8069075	-219.3759475	66.21021446
53	118.59032	196.475388	77.88506803	70.9189075
54	197.156407	94.52157233	-102.6348347	60.33575399
55	50.400886	114.742486	64.34160002	61.70611889
56	171.955964	117.8092106	-54.14675343	61.86362127
57	65.224676	48.52783566	-16.69684034	63.14298236
58	0	76.57279205	76.57279205	61.98032369
59	91.907498	118.005355	26.09785701	57.52735346
60	20.753306	49.04004141	28.28673541	64.97628324
61	5.929516	35.52967565	29.60015965	63.03084083
62	23.718064	28.10637284	4.388308842	63.51130057
63	126.002215	3.890621916	-122.1115931	73.03740849
64	0	40.08194527	40.08194527	66.24374367
65	0	33.44159955	33.44159955	67.65201142
66	0	86.66963186	86.66963186	71.67343544
67	198.638786	119.3842811	-79.25450491	73.1098605
68	63.742297	216.1400441	152.3977471	70.98228339
69	149.720279	183.0058514	33.2855724	62.78829453
70	333.535275	157.0178291	-176.5174459	59.99546403
71	167.508827	197.8304915	30.32166454	62.90514583
72	0	149.9494604	149.9494604	67.56403559

Fuente: elaboración propia

Prediction Errors	
Samples	72 of 72
Mean	2.116931
Root-Mean-Square	71.50533
Mean Standardized	0.02837711
Root-Mean-Square Standardized	1.098698
Average Standard Error	63.8279

Figura 6c. Promedios de validación cruzada. Datos obtenidos por el modelo Kriging para carbono aéreo de promedio, desviación estándar y error. Fuente: Elaboración propia.

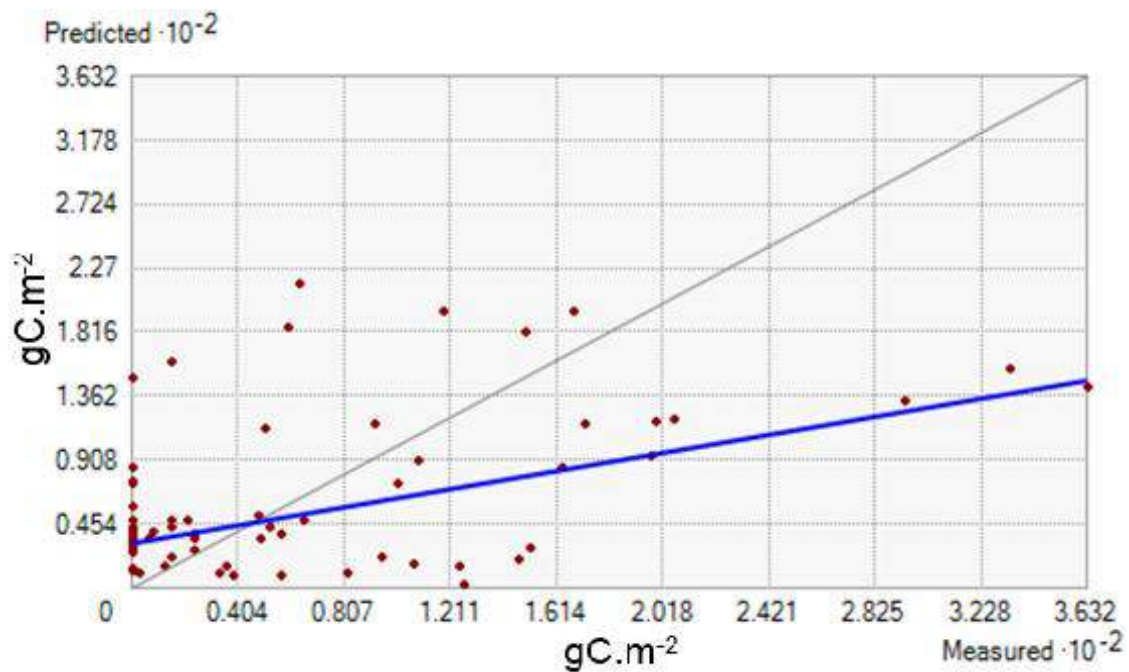


Figura 6d. Gráfica de validación cruzada de predicción en carbono aéreo, función de regresión: $0.401135233183646 \cdot x + 175.349549390669$. Eje "x": datos predichos por el modelo kriging ($\text{gC} \cdot \text{m}^{-2}$), eje "y": datos moderados por el modelo kriging ($\text{gC} \cdot \text{m}^{-2}$). Fuente: Elaboración propia.

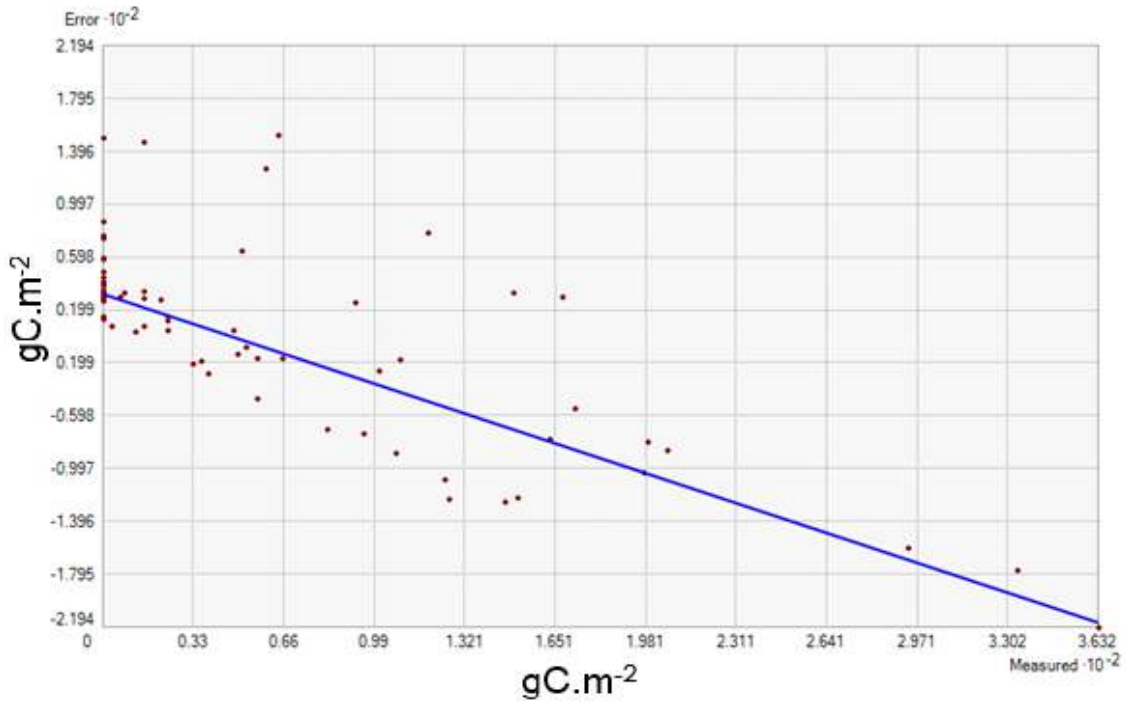


Figura 6e. Gráfica de validación cruzada de error en carbono aéreo, función de regresión: $-0.682270632853627 * x + 31.8216216834784$. Eje “x”: error estimado por el modelo kriging (gC.m^{-2}), eje “y”: datos moderados por el modelo kriging (gC.m^{-2}). Fuente: Elaboración propia.

Anexo 13. Modelamiento para la estimación de carbono del suelo.

Input datasets

Dataset

Path	C:\Users\User\Documents\ArcGIS\scratch\Default.gdb\DatosCarbonoTotal_ExcelToTab8_Features
Type	Feature Class
Data field 1	Carbono_de_suelo__g_x_m2
Records	72

Method

Kriging

Type	Ordinary
Output type	Prediction
Dataset #	1
Trend type	None
Searching neighborhood	Standard
Neighbors to include	5
Include at least	2
Sector type	Four and 45 degree
Major semiaxis	154.244476840099
Minor semiaxis	154.244476840099
Angle	0
Variogram	Semivariogram
Number of lags	12
Lag size	19.280559605012
Nugget	46,685.45907691716
Measurement error %	100
Model type	Stable
Parameter	1.9947265625
Range	154.244476840099
Anisotropy	No
Partial sill	54,846.19056859022

Figura 7a. Características aplicadas del método kriging utilizado para estimar el carbono de suelo. Fuente: Elaboración propia.

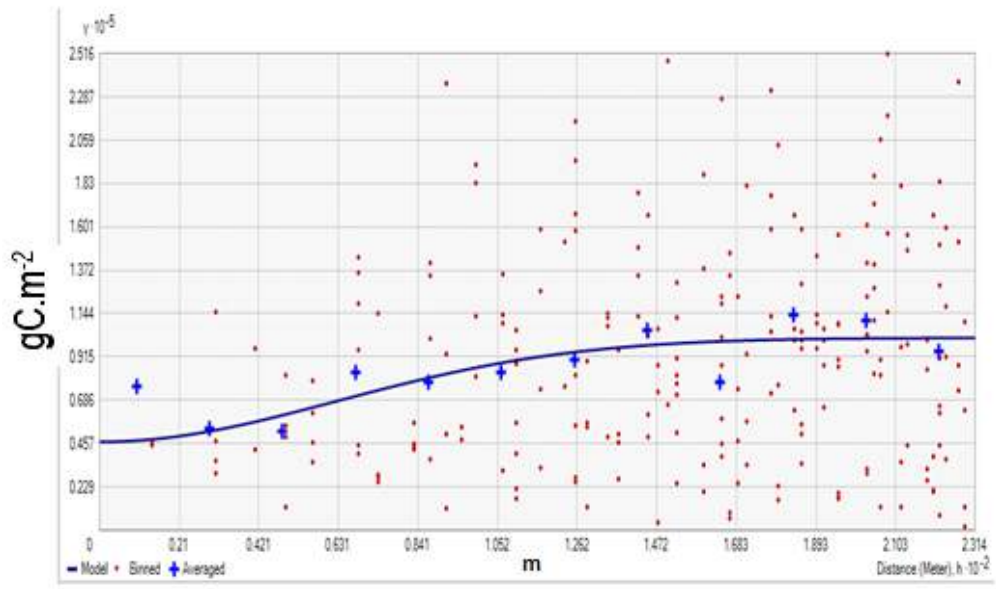


Figura 7b. Semiovariograma del modelo aplicado en la metodología kriging para carbono del suelo. El eje “x” es la distancia entre puntos en metros y el eje “y” es la varianza con respecto a la línea del modelo. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9a. Tabla de validación cruzada para carbono suelo

FID	Measured	Predicted	Error	StdError
0	1524.095541	204.0576714	-1320.03787	259.195044
1	125.9770701	515.1452785	389.1682085	244.1332811
2	119.3656051	349.7794379	230.4138328	255.3583447
3	133.0815287	227.9335451	94.85201639	244.7189177
4	442.0382166	253.0886745	-188.949542	235.625048
5	192.133758	433.3480692	241.2143112	238.6257719
6	181.4025478	264.1972714	82.79472362	238.7841757
7	101.866242	159.1006775	57.23443549	243.1818138
8	399.4700637	177.3547873	-222.1152764	283.6713299
9	224.0025478	208.5056411	-15.49690665	247.5857491
10	98.87426752	165.9538052	67.07953769	240.1800155
11	143.4817834	168.3811849	24.89940143	241.017735
12	121.2412739	131.4728627	10.23158881	241.4541313
13	126.4582166	135.7508496	9.292633074	241.3359646
14	253.571465	192.0246089	-61.54685603	265.8707423
15	75.99707006	150.4427544	74.44568435	275.7194825
16	107.6499363	116.1168712	8.466934845	249.6134039
17	135.0764331	121.8035233	-13.27290986	243.7927622
18	131.9082803	170.9539206	39.04564036	258.0925505
19	331.2025478	124.6783841	-206.5241637	255.6216958
20	108.7830573	194.9434721	86.16041473	278.8108794
21	111.6535032	182.0544907	70.40098754	288.3547646
22	144.3817834	196.8712254	52.48944199	254.821663
23	123.6802548	140.7507887	17.07053391	252.7786452
24	126.3424204	155.8137744	29.47135399	248.6262673
25	220.4147771	144.5583691	-75.85640801	271.3952073

Continuación Tabla 9a

FID	Measured	Predicted	Error	StdError
26	93.37375796	157.2567754	63.88301742	256.7369611
27	121.9700637	136.0076884	14.03762467	244.0383252
28	176.3002548	155.9461509	-20.35410386	245.8955696
29	135.3347771	189.8436783	54.50890123	242.4742647
30	257.0705732	146.4996373	-110.5709359	238.1315823
31	188.1179618	141.8159	-46.30206183	239.9059741
32	119.5467516	188.3541259	68.8073743	244.0997093
33	69.56178344	172.6666724	103.104889	241.3765362
34	255.9210191	173.7902424	-82.13077675	241.275202
35	249.1515924	345.9183901	96.76679775	245.6733306
36	145.4808917	239.0973143	93.61642253	245.460065
37	122.1026752	117.2705261	-4.832149054	259.6908292
38	146.2524841	514.5201834	368.2676993	264.364967
39	118.2454777	213.3666379	95.12116021	280.9217908
40	220.795414	410.2803137	189.4848997	288.6479314
41	119.3470064	347.9199922	228.5729858	274.1012385
42	299.6163057	210.8776422	-88.7386635	272.4301364
43	283.2825478	245.9318914	-37.35065634	270.6346886
44	247.6467516	306.937983	59.29123142	295.8236604
45	607.6127389	555.3448327	-52.26790619	285.5237932
46	769.3757962	757.7294917	-11.6463045	259.994733
47	1249.732739	733.192217	-516.5405219	258.5708741
48	328.5579618	264.0826581	-64.47530371	311.2235395
49	401.2452229	755.5086564	354.2634334	252.7661066
50	788.6415287	915.5930831	126.9515545	247.5291726
51	1190.861401	805.4960456	-385.3653557	263.974461
52	857.9724841	474.3029514	-383.6695326	303.0709818
53	824.068535	421.5428921	-402.5256429	254.2774811
54	729.8980892	701.1457545	-28.75233469	243.3466766
55	1216.847006	502.8594572	-713.9875491	248.4097729
56	903.0955414	392.8254287	-510.2701127	250.4718843
57	363.971465	582.3618364	218.3903715	242.8232636
58	150.7066242	660.0309076	509.3242834	243.8225318
59	87.67643312	360.5783926	272.9019595	257.0079088
60	469.2146497	264.8507192	-204.3639305	251.4423317
61	117.8010191	355.7243455	237.9233264	250.2156123
62	261.8384713	151.0006889	-110.8377824	329.6197764
63	159.1001274	214.3346445	55.23451716	272.6337629
64	163.3077707	213.6828345	50.37506378	283.7616025
65	98.53184713	411.5710338	313.0391866	309.6957063
66	77.49299363	349.8228816	272.329888	311.9874591
67	208.1676433	310.2533219	102.0856785	294.5312948
68	435.1815287	166.0876142	-269.0939145	260.9902897
69	134.1458599	321.4498443	187.3039844	252.38223
70	117.3343949	413.1415351	295.8071402	254.8755826
71	89.64687898	370.9993643	281.3524853	277.3650792

Prediction Errors

Samples	72 of 72
Mean	2.077807
Root-Mean-Square	266.077
Mean Standardized	0.008248767
Root-Mean-Square Standardized	1.030096
Average Standard Error	261.429

Figura 7c. Promedios de validación cruzada. Datos obtenidos por el modelo Kriging para carbono de suelo de promedio, desviación estándar y error. Fuente: Elaboración propia.

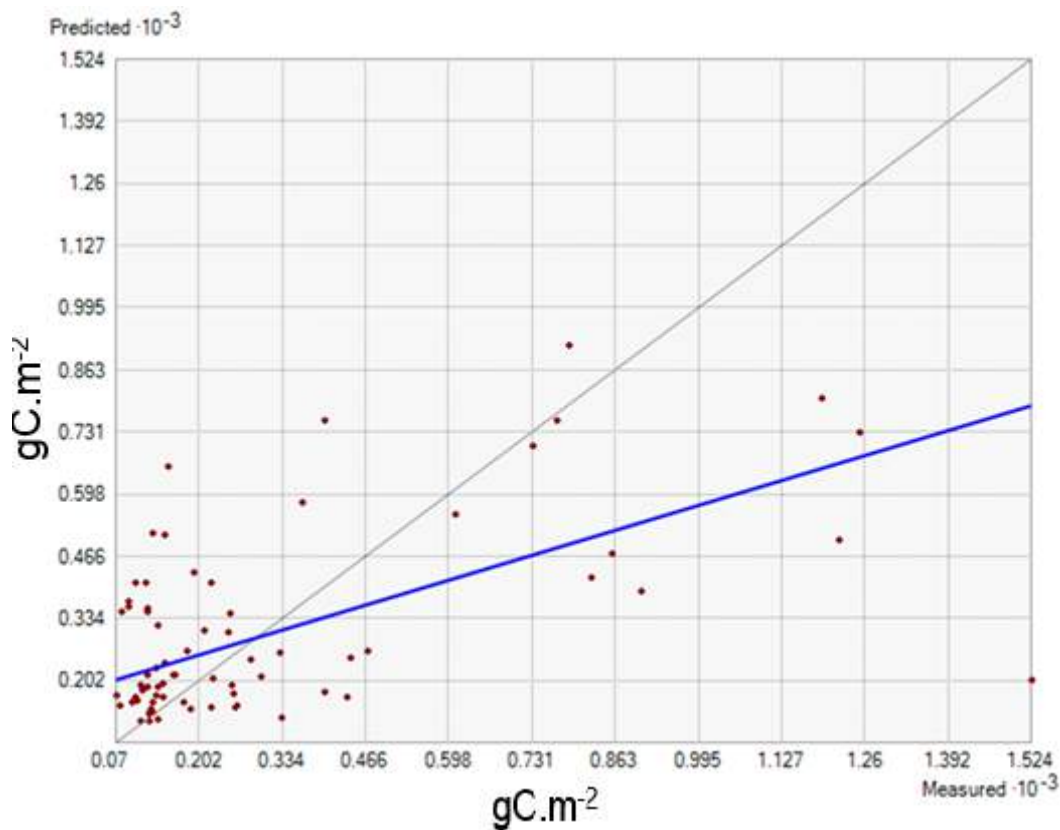


Figura 7d. Gráfica de validación cruzada de predicción en carbono de suelo, función de regresión: $0.401135233183646 \cdot x + 175.349549390669$. Eje “x”: datos predichos por el modelo kriging ($\text{gC} \cdot \text{m}^{-2}$), eje “y”: datos moderados por el modelo kriging ($\text{gC} \cdot \text{m}^{-2}$). Fuente: Elaboración propia.

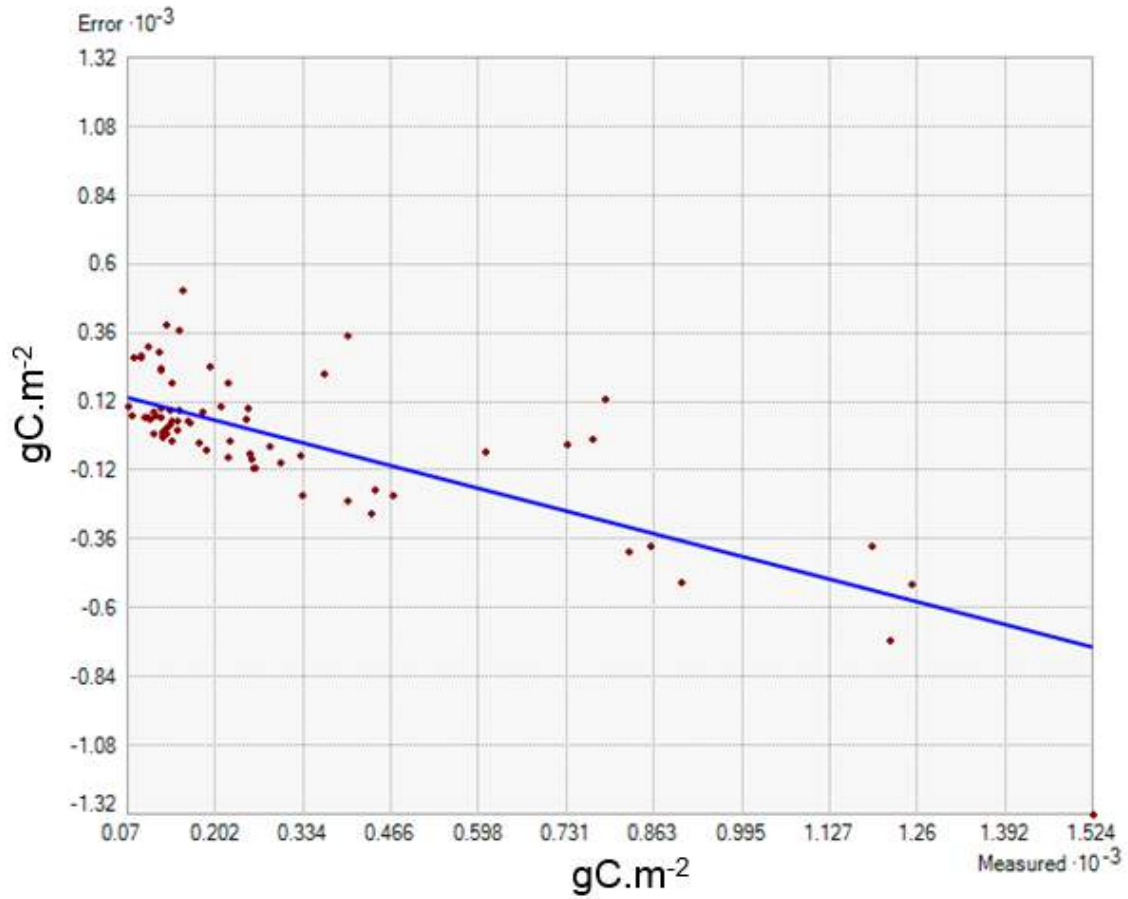


Figura 7e. Gráfica de validación cruzada de error en carbono de suelo, función de regresión: $-0.598864766816353 \cdot x + 175.349549390669$. Eje “x”: error estimado por el modelo kriging (gC.m⁻²), eje “y”: datos moderados por el modelo kriging (gC.m⁻²). Fuente: Elaboración propia.