UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“CUANTIFICACIÓN DEL CONTENIDO DE CARBONO Y BIOMASA DE *Polylepis* spp. “QUEÑOA” ENTRE LOS 3700 A 4300 M.S.N.M. EN EL BOSQUE RELICTO DEL CENTRO POBLADO MUYLAQUE, DISTRITO SAN CRISTÓBAL, PROVINCIA MARISCAL NIETO, MOQUEGUA”.

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. OMER RUMER CÓRDOVA CÓRDOVA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

MOQUEGUA – PERÚ

2021

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL

TITULO PROFESONAL DE INGENIERO AMBIENTAL

CUANTIFICACIÓN DEL CONTENIDO DE CARBONO Y BIOMASA DE *Polylepis spp.* "QUEÑOA" ENTRE LOS 3700 A 4300 M.S.N.M. EN EL BOSQUE RELICTO DEL CENTRO POBLADO MUYLAQUE, DISTRITO SAN CRISTÓBAL, PROVINCIA MARISCAL NIETO, MOQUEGUA.

Tesis sustentada y aprobada el 17 de diciembre del 2021; estando el jurado calificador y asesor, integrado por:

PRESIDENTE : **----------**

Dr. Franz Zirena Vilca

1^{ER} MIEMBRO : **----------**

M.Sc. Jose Antonio Valeriano Zapana

2^{DO} MIEMBRO : **----------**

Lic. Jorge Morales Carazas

ASESOR : **----------**

Dr. Milko Raul Rivera Campano

UNAM

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Folio Nº 010

ACTA DE SUSTENTACIÓN

I. Modalidad:

Tesis : [X]
Trabajo de Suficiencia Profesional : [ ]
Otro: ..... : [ ]

II. Documento de aprobación para la sustentación:

RESOLUCION DE FACULTAD Nº 0103-2021 - FACIA - UNAM

Fecha: 17-12-2021

III. El jurado ha dictaminado la (el) TESIS, TITULADO:

"CUANTIFICACION DEL CONTENIDO DE CARBONO Y BIOMASA DE Polylepis spp. "QUEÑOA ENTRE LOS 3700 A 4300 M.S.N.M. EN EL BOSQUE RELICTO DEL CENTRO POBLADO DE MUYLAQUE, DISTRITO SAN CRISTOBAL, PROVINCIA MARISCAL NIETO, MOQUEGUA"

Bachiller: OMER RUMER CORDOVA CORDOVA

Asesor Principal: DR MILKO RAUL RIVERA CAMPANO

Co-Asesor: .....

IV. Se dictamina:

Como: APROBADO por UNANIMIDAD la sustentación de manera:

Presencial [X] Virtual [ ]

Con nota: DOCE (12) por lo que; Sí [X] No [ ]

Opta el Título Profesional de INGENIERO AMBIENTAL.

Siendo las 10 horas, del 17 de DICIEMBRE del año 2021 se procede con la firma en conformidad de lo dictaminado por el Jurado.

FRANZ ZIRENA VILA
Presidente

Primer Miembro

JORGE ANTONIO MORALES CARRASCO
Segundo Miembro

Omer Rumer Córdova Córdova
46664099
Bachiller

DEDICATORIA

A Dios por darme salud y las fuerzas para seguir adelante y cumplir una de mis metas de mi vida.

A mi Madre Prudencia Valeriana Córdova Catarí, a mi Padre Elver Casimiro Córdova Córdova, a mi hermano Irwin Franco Córdova Córdova y a mis amigos, por estar siempre pendiente de cada paso que doy y cada decisión que tomo en la vida.

Omer C.C

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional de Moquegua, por su apoyo en mi periodo de aprendizaje, a todos los docentes que fueron parte de mi información académica para poder adquirir diferentes conocimientos a lo largo de mi carrea universitaria.

A los miembros del jurado, por su apoyo, por sus consejos, sus indicaciones y por transmitirme diferentes aportes que han ayudado a fortalecer mis conocimientos y decisiones en mi investigación.

Al Dr. Milko Raúl Rivera Campano, por brindarme su apoyo y asesoría en mi investigación y a si mismo por su enseñanza en los diferentes cursos brindados.

A mis padres por apoyarme constantemente en el desarrollo de mis estudios y los consejos que me brindaron en mi etapa de formación profesional.

Omer C.C

CUANTIFICACIÓN DEL CONTENIDO DE CARBONO Y BIOMASA DE *Polylepis* spp. "QUEÑOA" ENTRE LOS 3700 A 4300 m.s.n.m. EN EL BOSQUE RELICTO DEL CENTRO POBLADO MUYLAQUE, DISTRITO SAN CRISTÓBAL, PROVINCIA MARISCAL NIETO, MOQUEGUA

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo cuantificar los contenidos de biomasa arbórea aérea y de carbono en *Polylepis* spp. "queñoa", en un bosque relicto del Centro Poblado de Muylaque en el departamento de Moquegua entre 3 700 a 4 300 m.s.n.m. Bajo un tipo de investigación descriptiva de nivel transversal se registraron parámetros dasométricos (diámetro del fuste, diámetro de la copa, altura total del árbol) en parcelas de 20 x 20 metros, siguiendo los lineamientos del MINAM, para luego calcular la biomasa mediante la aplicación de una ecuación alométrica para *Polylepis* y el factor de conversión obtenida de muestras de 20 individuos con el método de fotometría para hallar el carbono almacenado. Los resultados de laboratorio arrojaron que el factor de conversión de biomasa a carbono almacenado fue 0.58; además mediante la información por parcela en el inventario forestal y aplicando la ecuación alométrica, el factor de expansión a hectárea y el factor de conversión de biomasa a carbono se estimaron los siguientes valores: contenido de carbono almacenado en tonelada por hectárea (1.388 ± 0.5965 tC/ha) y biomasa arbórea aérea en tonelada por hectárea (y 2.394 ± 1.028 tB/ha). El bosque de *Polylepis* spp. estudiado es considerado en el almacenamiento de biomasa arbórea aérea y carbono como bajo respecto a la mayoría de otros bosques en zonas tropicales húmedas y plantaciones forestales con especies exóticas, pudiendo hallarse un mayor contenido de carbono en su suelo. Por lo tanto, la importancia de su conservación para proveer habitad a las especies y servicios ambientales a las personas, hace prioritario poder obtener información básica.

Palabras clave: almacenamiento de carbono, biomasa arbórea aérea, *Polylepis ssp,* sur de Perú.

ABSTRACT

This research aimed to quantify the contents of tree aboveground biomass and carbon stock in Polylepis spp. "queñoa" in a relict forest of the Muylaque Populated Center in the department of Moquegua between 3,700 and 4,300 m.a.s.l. Under a type of cross-sectional descriptive research, dasometric parameters (shaft diameter, crown diameter, total tree height) were recorded in 20 x 20-meter plots, following MINAM guidelines, to then calculate biomass through the application of an allometric equation for Polylepis and the conversion factor obtained from samples of 20 individuals with the photometric method to find the stored carbon. The laboratory results showed that the conversion factor from biomass to stored carbon was 0.58; In addition, using the information per plot in the forest inventory and applying the allometric equation, the expansion factor per hectare and the conversion factor from biomass to carbon, the following values were estimated: carbon content stored in ton per hectare (1.388 ± 0.5965 tC /ha) and aerial tree biomass in tons per hectare (and 2,394 ± 1,028 tB/ha). The forest of Polylepis spp. Studied is considered the storage of aerial tree biomass and carbon as low compared to most other forests in humid tropical zones and forest plantations with exotic species, and higher carbon content can be found in its soil. Therefore, the importance of its conservation to provide habitat for species and environmental services for people makes it a priority to obtain basic information

Key words: carbon storage, tree aboveground biomass, *Polylepis ssp,* southern Peru.

ÍNDICE

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 7

1.1. Descripción y formulación del problema 7

1.2. Definición del problema 9

1.2.1. Problema General 9

1.2.2. Problemas Específicos 9

1.3. Objetivos de la investigación 9

1.3.1. Objetivo General: 9

1.3.2. Objetivos Específicos: 10

1.4. Justificación e importancia 10

1.5. Variables 11

II. MARCO TEÓRICO 12

2.1. Antecedentes 12

2.2. Bases teóricas 14

2.2.1. La estimación de la biomasa. 14

2.2.2. Fijación de Dióxido de carbono 15

2.2.3. Proceso bioquímico de la fijación y emisión de carbono en las plantas 15

2.2.4. El ciclo del carbono 16

2.2.5. Flujos y almacenes de carbono en ecosistemas forestales 17

2.2.6. El género *Polylepis* 18

2.2.7. *Polylepis rugulosa* Bitter 18

2.2.8. *Polylepis subtusalbida* (Bitter) M. Kessler & Schmidt-Leb. 19

2.3. Definición de términos 19

3.1. Tipo y nivel de investigación: 21

3.2. Ámbito temporal y espacial 21

3.3. Población y muestra 21

3.3.1. Población 21

3.3.2. Muestra 21

3.4. Instrumentos 22

3.5. Procedimientos 22

3.6. Análisis de datos 24

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES 25

4.1. Resultados 25

4.1.1. Ubicación y georreferenciación..... 25
4.1.2. Cuantificación en porcentajes de la biomasa en *Polylepis* spp...... 26
4.1.3. Cuantificación de biomasa y carbono almacenado en *Polylepis* spp. . 29
4.2. Discusiones..... 36
4.2.1. Comparación de biomasas arbóreas aéreas (t/ha) 36
4.2.2. Comparación del contenido de carbono (tC/h) en la biomasa arbórea aérea 38
V. CONCLUSIONES 41
VI. RECOMENDACIONES 42
IV. REFERENCIAS.....43
ANEXOS 48

INTRODUCCIÓN

El bosque como recurso natural representa un activo que genera un amplio flujo de bienes y servicios que van desde los de uso directo tales como maderables o no maderables transados o no en el mercado hasta el de uso indirecto como los bienes de servicios ambientales intangibles para los que no hay mercado.

Los bosques de *Polylepis* representan la vegetación natural de una gran parte de los andes centrales a altitudes entre 3500 a 5200 m, las especies del género ocupan una gran variedad de hábitats, desde el límite superior de los bosques de neblina hasta los volcanes áridos del Altiplano. Sin embargo, durante milenios las actividades y las necesidades humanas en los Andes han destruido estos bosques, restringiéndolos a hábitats especiales y modificando su composición florística y faunística (Kessler, 2006).

El bosque relicto del centro poblado de Muylaque es parte de un dominio natural por el cual toda la comunidad de entorno se interesa en forma diversa, tal como puede interesarse en la agricultura y ganadería alto andina o de otros sectores de la producción, posiblemente porque siente un derecho sobre él. Todo el bosque tiene un significado biológico y económico, el mismo que es aprovechado por todos los sectores sociales que vinculan su economía y calidad de vida en él, generalmente los lugareños hacen uso del bosque de manera ilimitada teniendo un desconocimiento total de su valor y uso no pensando en las futuras generaciones (PDC-SCC, 2014).

Mas de la mitad de las especies de plantas en estos bosques es utilizada por los habitantes locales, aunque muchas de éstas están en peligro de extinción debido a la destrucción de su hábitat. La conservación y restauración de bosques de *Polylepis* como parte de un cambio general de los métodos de uso de tierra de los andes son imprescindibles para mantener la viabilidad ecosistémica de esta región tan densamente poblada (Kessler, 2006).

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción y formulación del problema

Existe una creciente preocupación sobre los efectos potencialmente desastrosos del calentamiento global; así como efectos perjudiciales para la agricultura, ganadería y forestación, motivo por el cual surge el interés alarmante y mejor documentada sobre este proceso.

Las academias de ciencias del mundo, así como el grupo de especialistas denominado Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, 2014) han llegado a la conclusión, de que, existen claras evidencias de un calentamiento global registrado en los últimos 50 años atribuido a los efectos de las actividades humanas. La evidencia sobre este fenómeno es basta y contundente y aunque el "efecto invernadero" es un fenómeno natural, el incremento de los gases que lo producen, como resultado de las actividades humanas, se traduce en un aumento de la temperatura y los problemas asociados a éste. Es importante considerar que, "la respiración vegetal y la descomposición de biomasa del mundo libera más de 10 veces el CO_2 del que inducen las actividades humanas, pero estas emisiones han estado durante siglos en balance con el dióxido de carbono absorbido por la vegetación terrestre y por los océanos" (EPA, 2003).

La industrialización ha alterado el equilibrio natural, la utilización de combustibles fósiles es responsable de la mayor parte de las emisiones de dióxido de carbono en el mundo y de una importante fracción (alrededor del 20%) de las emisiones de metano y óxido nitroso. El aumento en la agricultura, la deforestación, los tiraderos a cielo abierto, la producción industrial y el sector de la minería, contribuyen también con este tipo de emisiones.

La teoría más extendida es precisamente la que hace corresponder a un aumento de este gas una elevación de la temperatura. Los cálculos efectuados con ayuda de ordenadores electrónicos anuncian para los próximos cincuenta años una concentración doble de la actual en el CO_2 atmosférico, lo que podría representar un aumento de unos dos grados centígrados en promedio. Este aumento térmico

aparentemente poco significativo podría tener serias consecuencias catastróficas para buena parte de la humanidad.

En varias regiones del mundo se observa la intención de varios países en reducir sus emisiones netas de gases de invernadero; los que vienen mostrando una tendencia a la ampliación de las varias opciones reconocidas para la compensación de las emisiones de gases de invernadero, aumentado la posibilidad de que la captura de carbono en los suelos como los alto andinos sea una posibilidad de poner en valor las condiciones eco-geográficas para mejorar las condiciones climáticas y ambientales. Los programas de captura de carbono en bosques son instrumentos con enorme potencial para contribuir a la transición hacia el desarrollo sustentable.

Los bosques de *Polylepis* representan la vegetación natural de una gran parte de los andes centrales a altitudes entre 3500 a 5200 m, las especies del género ocupan una gran variedad de hábitats, desde el límite superior de los bosques de neblina hasta los volcanes áridos del Altiplano. Sin embargo, durante milenios las actividades y las necesidades humanas en los Andes han destruido estos bosques, restringiéndolos a hábitats especiales y modificando su composición florística y faunística (Kessler, 2006). El bosque como recurso natural representa un activo que genera un amplio flujo de bienes y servicios que van desde los de uso directo tales como maderables o no maderables transados o no en el mercado hasta el de uso indirecto como los bienes de servicios ambientales intangibles para los que no hay mercado.

La región de Moquegua es potencialmente rica en condiciones agro silvo pastoriles para aumentar sus zonas de bosque; sin embargo, cada vez se observa menos áreas por la constante deforestación que realizan personas sin conciencia ambiental y que vulneran dentro de esta vegetación leñosa además a varias especies endémicas. Las poblaciones aledañas mantienen su nivel de vida socioeconómica directamente relacionado a la presencia de estos bosques, los mismos que se constituyen esenciales para el desarrollo social, es decir, su calidad de vida está en relación a lo que puedan aprovechar del bosque, el mismo que les sirve para la agroforestación, construcción de viviendas, medicina, etc.

La provincia de Mariscal Nieto presenta una economía primaria del sector agropecuario, bajo un sistema tradicional de subsistencia desarrollada por comunidades indígenas, campesinas y otras fuentes producto de la explotación forestal. La transformación de áreas de bosque natural en praderas y monocultivos ocasiona problemas de erosión, deterioro del ecosistema y pérdida de productividad. A fin de estabilizar suelos de factores erosivos gracias a los servicios ambientales de los bosques relictos que quedan en el departamento de Moquegua, se pretende describir y poner en valor preliminarmente la fijación de carbono de la atmosfera que realiza el bosque relicto de *Polylepis* spp. en el centro poblado de Muylaque.

1.2. Definición del problema

1.2.1. Problema General

¿Cuál es el contenido de carbono y biomasa arbórea aérea almacenado por *Polylepis* spp. "Queñoa" entre 3700 a 4300 m.s.n.m. en el bosque relicto del centro poblado Muylaque en la provincia Mariscal Nieto, departamento de Moquegua?

1.2.2. Problemas Específicos

- ¿Cuál es el contenido de biomasa arbórea aérea almacenado por *Polylepis* spp. "Queñoa" entre 3700 a 4300 m.s.n.m. en el bosque relicto del centro poblado Muylaque en la provincia Mariscal Nieto, departamento de Moquegua?

- ¿Cuál es el contenido de carbono en la biomasa arbórea aérea almacenado por *Polylepis* spp. "Queñoa" entre 3700 a 4300 m.s.n.m. en el bosque relicto del centro poblado Muylaque en la provincia Mariscal Nieto, departamento de Moquegua?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo General:

Cuantificar el contenido de carbono y biomasa arbórea aérea almacenado por *Polylepis* spp. "Queñoa" entre 3 700 a 4 300 m.s.n.m. en el bosque relicto del centro poblado Muylaque, distrito San Cristóbal, provincia Mariscal Nieto, departamento de Moquegua

1.3.2. Objetivos Específicos:

- Cuantificar el contenido de biomasa arbórea aérea almacenado por *Polylepis* spp. "Queñoa" entre 3 700 a 4 300 m.s.n.m. en el bosque relicto del centro poblado Muylaque, distrito San Cristóbal, provincia Mariscal Nieto, departamento de Moquegua.

- Cuantificar el contenido de carbono en la biomasa arbórea aérea almacenado por *Polylepis* spp. "Queñoa" entre 3 700 a 4 300 m.s.n.m. en el bosque relicto del centro poblado Muylaque, distrito San Cristóbal, provincia Mariscal Nieto, departamento de Moquegua.

1.4. Justificación e importancia

En el último informe de la COP 24, del Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático desarrollado en Polonia, se confirmó que se viene perdiendo la lucha respecto al calentamiento global, donde se confirmó un aumento del 2.7 % de los gases de efecto invernadero, donde el CO_2 es uno de los responsables primarios; así mismo se prevé que para el 2040 sean los responsables de un aumento de 1.5 °C, global y que serán los responsables de los impactos climáticos adversos que ya venimos percibiendo.

Como resultado de sendos informes científicos y reuniones internacionales se desarrollaron recomendaciones sobre la necesidad de promover cambios hacia un "desarrollo sostenible"; por lo tanto es prioritario que los pueblos inter andinos, como la provincia de Mariscal Nieto en el departamento de Moquegua que habitan y trabajan en territorios ricos en biodiversidad y agua, recuperen y apliquen la visión que los antepasados tenían de lo sagrado y generosa que es la madre tierra, y además, es necesario que conozcan, se capaciten y utilicen formas de trabajo y producción que no dañen la naturaleza y que por el contrario les permita usufructuarse de ella de manera equilibrada (García, 2004).

Este proyecto investigación nace de una necesidad local, la cual requiere de atención especial y urgente para lograr un papel protagónico y activo que genere valor en la comunidades aledañas del distrito y provincia como la regulación del clima, prevención de desastres, disminución de la presión al bosque natural, ,

conservación del paisaje y biodiversidad, además de convertirse en una oportunidad social y económica para la comunidad del entorno del impacto que deriva de la cuantificación de CO_2 por este bosque.

1.5. Variables

La investigación contiene una sola variable: Bosque de *Polylepis* spp.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Mansilla (2001) en un bosque de tipo secundario de *Polylepis* sp. asentado sobre pendientes importantes en el valle de Patacancha (4620-4900 m.s.n.m.), departamento de Cusco, registra un almacenamiento de carbono en la biomasa aérea en 3.55 t/ha. Pone énfasis en los beneficios de invertir en la reforestación para el desarrollo económico y sostenible local.

Lapeyre *et al.* (2004) indican que, los cultivos agrícolas no contribuyen significativamente con la retención de carbono. El CO_2 atmosférico, uno de los principales gases efecto invernadero (GEI), no es trascendentalmente retenido por los cultivos, además puede producir fugas de otros GEI como el óxido nitroso, producto de la agregación de plaguicidas o CO_2 por la quema de rastrojos agrícolas; lo cual reduce aún más su captura neta total frente a sistemas agroforestales contrariamente a sistemas de uso de suelo más naturales (bosques).

Rodríguez-Laguna *et al.* (2009) Calcula la cantidad de carbono almacenado en un bosque natural templado (1400-1800 m.s.n.m.) de un área de conservacion al centro de México, compuesto principalmente por tres especies de *Pinus* y tres de *Quercus*. Estima la biomasa aérea (fuste, ramas y hojas) en 186.3 t/ha y el carbono dentro de esta biomasa en 82 t/ha (75% del total sin considerar el elemento suelo y partes subterráneas de las especies). Concluyen que, este bosque contribuye a mitigar el calentamiento global.

Castañeda-Martín y Montes-Pullido (2016) identificaron que, en el ecosistema del páramo (3200-3800 m.s.n.m.) que comprende parte de las zonas de alta montaña de Costa Rica, Panamá, Venezuela, Colombia, Ecuador y el norte del Perú donde se incluyen a bosques de *Polylepis* spp., el carbono en la biomasa aérea es de 13 a 183 t/ha; y el carbono almacenado en el suelo fue de 119 a 397 t/ha, siendo este último elemento natural el más eficiente para el almacenamiento de carbono.

Montalvo *et al.* (2018) en un estudio de tres especies de *Polylepis* en los andes tropicales húmedos al sur de Ecuador entre 2800 y 4300 m.s.n.m. describen que, la biomasa área total hallada (30-100 %) y el stock de carbono dentro de ella (31-219

t/ha) son muy variables. Siendo el valor de 219 t/ha el más alto de biomasa aérea publicado hasta esa fecha para un bosque de *Polylepis* spp. Indican que la conservación y restauración ecológica de estos bosques en la alta montaña son valiosas principalmente para proteger la biodiversidad altoandina amenazada y mitigar el cambio climático por su capacidad de captura de carbono.

Mosquera (2018), en un trabajo ubicado en un páramo muy húmedo dominado por *Polylepis* spp. (~3900 m.s.n.m.) en la vertiente oriental de la Cordillera Blanca en el departamento de Ancash, estima entre 11.24 a 117.27 t/ha de biomasa arbórea aérea y contenido de carbono dentro de la biomasa en 5.06-52.77 t/ha, sin embargo, concluye que, el suelo de esta vegetación es el que más carbono almacena (85.68% del total) y que las cifras de carbono almacenado de este ecosistema es similar a los bosques secundarios y sistemas agroforestales de zonas tropicales.

Tacarpo (2018) estima el potencial de captura de carbono en un bosque de *Polylepis* sp. entre 3380 y 3940 m.s.n.m. en el departamento de Ancash. Calculó un 37.95 t/ha de carbono contenido en la biomasa arbórea (9.89 % del stock de carbono total) y 383.80 t/ha de carbono en el ecosistema total; donde la mayor parte del carbono almacenado se encontró en el suelo a un metro de profundidad.

Guillen y Salome (2019) cuantifican el almacenamiento de carbono en un bosque natural de páramo frio templado lluvioso de *Polylepis rodolfo-vasquezii* entre los 4150 y 4350 m.s.n.m. en al centro del departamento de Junín. El almacenamiento de carbono por biomasa arbórea fue de 3.217 t/ha vs. del suelo con 143.940 t/ha, proponiendo reforestar con la especie zonas más altas donde la profundidad del suelo es mucho menor.

Mollocondo y Aguilar (2019) como parte de su estudio de captura de CO_2 en plantaciones forestales de *Polylepis* sp., *Cupressus* spp. y *Eucaliptus globulus* en el centro de producción San Juan de Potojani (3850-4030 m.s.n.m.), departamento de Puno, estimaron la biomasa aérea y de carbono en las mencionadas especies; dando por resultados en *Cupressus* spp. el almacenamiento de 284.69 t/ha en biomasa aérea y 142.35 t/ha de carbono, *Eucaliptus globulus* con 243.57 t/ha de biomasa aérea y 117.29 t/ha de carbono y *Polylepis* sp. con 29.19 t/ha de biomasa aérea y

13.13 t/ha de carbono. Los autores establecen una relación entre el DAP y CO_2 mediante un modelo de regresión lineal.

Rivera-Ticllacondor y Zamora-Talaverano (2019) evaluaron el almacenamiento potencial de carbono en pastizales de *Stipa ichu* en una zona altoandina de Huancavelica, Perú. La biomasa seca de la especie fue de 15.43 t/ha y según su modelamiento, el carbono almacenado en la biomasa en promedio es de 8.67 t/ha siendo muy inferior a especies que conforman bosques.

Sequieros (2020) evaluó el servicio ambiental de captura de carbono en los bofedales del sectot Alto Perú (Tripartito entre Perú, Bolivia y Chile) a 4300 m s.n.m. Resultando un total de 157 t/ha de carbono considerando la cobertura aérea de vegetación, turba y suelo orgánico, siendo este último componente el más efectivo en el almacenamiento de carbono para este ecosistema.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. La estimación de la biomasa.

El punto de partida para las mediciones y monitoreo de carbono es la estimación de la biomasa de los ecosistemas forestales; Sandra Brown es una de las investigadoras que más ha aportado a las metodologías para estimación de esta biomasa forestal, realizando gran cantidad de estudios en diferentes tipos de bosque y en diferentes zonas de vida y generando con ecuaciones alométricas y varios modelos para estimaciones directas o indirectas, basándose principalmente en volúmenes forestales.

Los bosques ofrecen oportunidades para mitigar en parte los efectos previstos del cambio climático, y son considerados sumideros de carbono debido a su capacidad de almacenar carbono en su vegetación y suelos a través del proceso de fotosíntesis y respiración (Brown, 1997), proceso en el cual influyen variable como especies de árboles, índices de crecimiento, longevidad, sitio, precipitación anual, duración del turno de rotación etc.

Tal como lo menciona Sandra Brown en su estudio “Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests: a primer”, la biomasa aérea es la que genera un mayor aporte a la biomasa total del bosque, además su fácil medición y menor

costo son aspectos importantes que permiten optar por el estudio de este compartimiento.

Pueden aplicarse dos aproximaciones metodológicas no destructivas: 1) factores de expansión de biomasa (FEB) y 2) ecuaciones alométricas (EA). La primera aproximación utiliza mediciones de volúmenes existentes que son convertidos a densidad de biomasa (t/ha) usando una variedad de herramientas, entre las que se incluyen los denominados FEB, que son relaciones de la biomasa del fuste con la biomasa total (Brown, 1997).

2.2.2. Fijación de Dióxido de carbono

Montoya (1995), afirma que, a través de la fotosíntesis, la vegetación asimila CO_2 atmosférico, forma carbohidratos y gana volumen. Los bosques del mundo capturan y conservan más carbono que cualquier otro ecosistema terrestre y participan con el 90 % del flujo anual de carbono de la atmósfera y de la superficie de a tierra. Montoya (1995) y Ordóñez *et al*. (2015), describen que, con el manejo forestal es posible compensar las crecientes emisiones de CO_2.

La captura o fijación de carbono en los bosques consiste en el proceso de fijación continua natural o artificial de carbono en los diferentes usos de tierra (Palomino, 2007); es decir, en sumideros de carbono. La fijación natural consiste en la producción primaria o la generación de biomasa a partir de la fotosíntesis, conservación, reforestación, agricultura sostenible, entre otros. Un ejemplo de fijación natural ocurre en las ANP del Perú, las cuales evitan la emisión que 36'387,723 ton/ CO_2 /año sean enviadas a la atmósfera.

2.2.3. Proceso bioquímico de la fijación y emisión de carbono en las plantas

El gas carbónico del aire, presente en una concentración de 0,03 % (300 µm por mol de aire) es la única fuente de carbono para las plantas, las cuales lo captan e incorporan a sus tejidos. El paso de este gas a las plantas tiene lugar por difusión desde el medio en que está más concentrado (el aire) hacia el menos concentrado (el líquido intracelular) donde se disuelve y se pone a disposición de la materia celular. Por otro lado, la materia seca vegetal tiene un contenido bastante estable de carbono, que constituye el esqueleto de todas las sustancias orgánicas de las células (prótidos, glúcidos y lípidos) (Goudriaan, 1992). Según refieren Hoen y Solberg (1994), la producción forestal influye en el flujo del C, en forma de CO_2, desde y hacia la atmósfera por dos procesos, la fijación (asimilación) y la emisión. El

primero representa el incremento en biomasa en árboles vivos mediante la fotosíntesis, mientras el segundo representa la descomposición de la biomasa como una consecuencia de la mortalidad natural o la explotación relacionada con el hombre y los usos finales. A través de la fotosíntesis, las plantas capturan CO_2 de la atmósfera, fijando C en la biomasa y liberando oxigeno (O_2) (Ortiz, 1997). La síntesis de la biomasa (MO) a través de la fotosíntesis por las plantas verdes en un ecosistema es llamada producción primaria del ecosistema. La suma total MO producida por el mismo proceso es llamada producción bruta (Pb). Las plantas consumen una parte de lo fotosintetizado en la Respiración (r), el resto es incorporado a la planta y llamado producción neta (Pn) (Satoo y Madgwick, 1982).

2.2.4. El ciclo del carbono

Ordoñez (2015) menciona que, este ciclo gira especialmente alrededor del bióxido· de carbono, ya que constituye la especie química predominante en la atmósfera. El ciclo funciona básicamente a través de la fotosíntesis, la respiración, las emisiones por quema de combustibles fósiles y fenómenos naturales como las erupciones volcánicas. Así mismo afirma que, el ciclo del carbono es el responsable de la cantidad de CO_2 contenido en la atmósfera, ya que es el mecanismo que equilibra las cantidades de carbono presentes en los diferentes reservorios o almacenes de carbono en el planeta. Como consecuencia se establece todo un balance de carbono a través de procesos fijadores/almacenadores y otros que a su vez lo emiten: los ecosistemas terrestres. La vía más importante del flujo de carbono atmosférico a la vegetación y el suelo es biológica, por medio de la fotosíntesis y la descomposición, respectivamente. Este flujo involucra muchos procesos interactuantes, los cuales mantienen el equilibrio dinámico del intercambio de gases atmósfera planta suelo.

Como se mencionó anteriormente, la deforestación puede afectar este equilibrio dinámico de intercambio de gases, por lo que es muy importante conocer cuáles son los mecanismos que lo controlan. Montaño *et al.* (2016) menciona que, la incorporación del C al ciclo biológico se da por medio de la fotosíntesis que produce energía bioquímica para los procesos fisiológicos y de formación de materia biológica (biomasa) a partir del CO_2, energía radiante y nutrientes. El CO_2 es tomado directamente de la atmósfera y su asimilación por la planta es conocida como fotosíntesis gruesa. Pero no todo el CO_2 asimilado es transformado a biomasa, sino que una parte es regresada a la atmósfera por medio de la respiración que se lleva a cabo durante los procesos fisiológicos. El carbono fijado por las plantas se

transforma en moléculas móviles, que se asignan a las diferentes estructuras de la planta para satisfacer sus demandas fisiológicas y estructurales. Esta asignación determina las rutas por las cuales se dará posteriormente el flujo de C al suelo. Cada especie de planta asignará más o menos C para producir biomasa en la parte aérea o en la parte subterránea. Por ejemplo, la biomasa subterránea en la selva estacional representa entre 40 y 50 % de la biomasa total, mientras que, en el bosque templado y la selva húmeda, la biomasa subterránea representa menos del 15 %. Ordoñez (2015), describen que, la incorporación de C al suelo en los ecosistemas naturales se da por dos vías principales: por el mantillo (capa superficial de materia vegetal) y por la biomasa radicular. La velocidad de la descomposición de este material depende de las poblaciones microbianas del suelo y de las características del material vegetal. Cuando el material llega al suelo, primero van a ser descompuestas las formas más sencillas (carbohidratos) aumentando la actividad microbiana y posteriormente serán degradados los compuestos más complejos con una menor velocidad y actividad microbiana. Esto sugiere que la entrada de C nuevo al mantillo y al suelo es muy importante para mantener activas a las poblaciones microbianas. Esta incorporación de C nuevo es por medio de la vegetación, por lo que la producción y la fenología son otros mecanismos que controlan el flujo de C atmósfera - planta - suelo.

Pacheco *et al.* (2014) indica que, los bosques son claves para mitigar el cambio climático global, con un adecuado manejo pueden conciliar la producción de madera con la captura de carbono.

2.2.5. Flujos y almacenes de carbono en ecosistemas forestales

El panorama actual del incremento de CO_2 atmosférico y la tendencia a que pueda aumentar más la tasa de emisión neta es desalentador. Sin embargo, afortunadamente es posible reducir dichas emisiones a la atmósfera por medio del ciclo biológico conocido como el ciclo del carbono. Estimar con precisión la dinámica de los flujos netos de carbono entre los bosques y la atmósfera (es decir, el balance emisión-captura) es uno de los problemas abiertos más importantes en la discusión sobre cambio climático. Ordóñez (2015) describe que, esto es resultado del complejo ciclo biogeoquímico del carbono en los ecosistemas forestales en efecto los flujos y almacenes de carbono en un ecosistema forestal donde: el follaje, las ramas, las raíces, el tronco, los desechos, los productos y el humus estable son

almacenes de carbono, mismos que se reincorporarán al ciclo por descomposición y/o quema de la biomasa forestal.

2.2.6. El género *Polylepis*

Es un género botánico que incluye pequeños árboles y arbustos, comúnmente llamados queñoa o quewiña (del quechuaqiwiña). Comprende aproximadamente 28 especies, nativas de los Andes Tropicales. El grupo se caracteriza por ser polinizado por el viento. *Polylepis* incluye plantas caracterizadas por poseer un tronco retorcido, aunque en algunas áreas algunos árboles pueden llegar a alcanzar 15-20 m de alto y troncos con dos metros de diámetro. El follaje es siempre verde, con pequeñas hojas densas y ramas muertas.

El nombre *Polylepis* deriva de dos palabras griegas, poly (muchas) y letis (láminas), refiriéndose a la corteza compuesta por múltiples láminas que se desprenden en delgadas capas. Este tipo de corteza es común en todas las especies del género. La corteza es gruesa y cubre densamente el tronco, que protege el tronco contra bajas temperaturas e incendios. Algunas especies de *Polylepis* forman bosques que crecen a lo largo de la línea de árboles e incluso llegan a mayores elevaciones, rodeados por pastizales y arbustales. Algunos individuos de *Polylepis tarapacana* crecen por encima de 5000 m.s.n.m., situando a *Polylepis* como el género con la distribución más alta de árboles angiospermas en el mundo.

2.2.7. *Polylepis rugulosa* Bitter

Es una especie de árbol pequeño perteneciente a la familia de las rosáceas. Se encuentra en la Cordillera de los Andes en Sudamérica, en Argentina, Bolivia, Chile y Perú. Está considerado en peligro de extinción por la pérdida de hábitat (UICN, 2001). Alcanza un tamaño máximo de cuatro metros de altura, una corteza de color marrón rojizo, con hojas compuestas brillantes. La fruta del árbol y las flores son generalmente imperceptibles, ya que están rodeadas por el follaje del árbol.

Se distribuye entre los 3000 a 4600 m.s.n.m. en los departamentos de Arequipa, Moquegua y Tacna llegando hasta Chile. Esta especie está ampliamente distribuida en el departamento de Arequipa (Mendoza y Cano, 2012), en Moquegua se la halla formando parches aislados entre 3800 a 4700 (Franco *et al.,* 2020).

2.2.8. *Polylepis subtusalbida* (Bitter) M. Kessler & Schmidt-Leb.

Árbol pequeño a mediano hasta ocho metros de alto, tronco marrón, hojas agrupadas al extremo de las ramas, de manera similar, la fruta del árbol y las flores son generalmente imperceptibles. Se encuentra entre el Perú y Bolivia. En el Perú se distribuye en los departamentos de Moquegua y Tacna entre los 3000 a 4500 m.s.n.m. posiblemente se halle en el departamento de Puno.

Tabla 1.

Taxonomía de Polylepis rugulosa y P. subtusalbida

TAXONOMÍA	
Reino	*Plantae*
Subreino	*Tracheobionta*
División	*Magnoliophyta*
Clase	*Magnoliopsida*
Subclase	*Rosidae*
Orden	*Rosales*
Familia	*Rosaceae*
Subfamilia	*Rosoideae*
Tribu	*Sanguisorbeae*
Subtribu	*Sanguisorbinae*
Género	*Polylepis*
Especies	*P. rugulosa,* *P. subtusalbida*

2.3. Definición de términos

- **Antropogénico:** Conjunto de acciones que el hombre realiza en un espacio determinado de la biosfera, con el fin de garantizar su bienestar.
- **Biomasa:** Según la Real Academia Española (RAE) se entiende como biomasa a la materia total de los seres que viven en un lugar determinado, expresado en peso por unidad de área o de volumen.
- **Sumidero de carbono**: Los sumideros almacenan carbono en compuestos orgánicos, que conforman la biomasa y la materia orgánica de los suelos, y constituyen una de las formas de mitigación del efecto invernadero (Martino, 2000).

- **Conservación:** es el aprovechamiento y la acción dirigida al uso racional de los recursos naturales, para el bienestar del hombre del presente y futuras generaciones, proponiendo un desarrollo sostenible. También implica mantener un equilibrio de las poblaciones silvestre (Canales, 2004).
- **Ecología:** Se entiende por ecología a la ciencia que estudia las relaciones de los factores bióticos, abióticos y antropogénicos como un todo, dentro de los ecosistemas en particular y la biosfera en general. Estudia la estructura y el funcionamiento de la naturaleza, la dinámica y evolución de las comunidades naturales. (Canales, 2004).
- **Ecosistema:** es el conjunto o sistema formado por la interacción de una comunidad biótica (seres vivos) y el medio físico (comunidad abiótica) en un espacio determinado (Canales, 2004).
- **Flora:** Conjunto de especies vegetales que se pueden encontrar en una región geográfica, que son propias de un periodo geológico o que habitan en un ecosistema determinado (Enrique, 1999).
- **Hábitat:** El hábitat está considerado como el espacio vital físico ocupado por un ser vivo (animal o vegetal) que conjuga un conjunto de factores climáticos, edáficos y bióticos; que son importantes para la caracterización ecológica de una especie (Dávila, 1997).
- **Medio ambiente**: Comprende el conjunto de valores naturales, sociales y culturales existentes en un lugar y en un momento determinado, que influyen en la vida del ser humano y en las generaciones venideras. Es decir, no se trata sólo del espacio en el que se desarrolla la vida, sino que también comprende seres vivos, objetos, agua, suelo, aire y las relaciones entre ellos, así como elementos tan intangibles como la cultura (Braun-Blanquet, 1979).
- **Suelo:** El suelo es un elemento esencial del medio ambiente; en él se llevan a cabo múltiples funciones trascendentes para la vida en el planeta. El suelo contiene minerales y restos orgánicos que nutren a las plantas, sujeta la cubierta vegetal a la tierra y almacena y distribuye el agua (Braun-Blanquet, 1979).
- **Preservación:** es el mantenimiento de un recurso en su estado original, es decir mantener intacto los recursos naturales, implica que el hombre no pueda aprovechar de dichos recursos. Es uno de los objetivos de la creación de los parques nacionales y santuarios (Canales, 2004).

III. METODOLOGIA DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo y nivel de investigación:

El presente trabajo de investigación es de tipo descriptivo de nivel transversal de la zona de estudio del bosque relicto del centro poblado Muylaque, porque las observaciones se realizarán en condiciones naturales en donde se aplicarán muestreos a través de parcelas representativas para la zona de bosque.

a) Descriptiva. - Busca especificar las propiedades del fenómeno que es sometido a análisis. observa diversos aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno a investigar en la zona de estudio del bosque relicto del centro poblado Muylaque.
b) Transversal. - Investigación que analiza datos de variables recopiladas en un periodo de tiempo sobre una población, muestra la zona de estudio del bosque relicto de *Polylepis* spp.

3.2. Ámbito temporal y espacial

La presente tesis se realizó entre los meses de enero del 2020 y junio del 2021. La fase campo se realizó en laderas y quebradas con orientación N y E, entre los 3700 a 4300 m s.n.m. del bosque relicto del centro poblado Muylaque, provincia Mariscal Nieto, departamento de Moquegua.

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

La población en estudio representa el bosque relicto de *Polylepis* spp, con una extensión de 207 hectáreas. Siendo el tamaño estadístico de la población igual a 5175 unidades muéstrales.

3.3.2. Muestra

Para el método de muestreo se plantea por cada zona de muestreo parcelas de 20 x 20 m, a fin de ser representativo para la zona en estudio se considera 20 unidades de muestreo donde cada uno será ubicado completamente al azar en toda el área del bosque, el mismo que será delimitado con la ayuda de estacas, rafia y brújula (figura 1).

3.4. Instrumentos

Se utilizó las técnicas e instrumentos recomendados por la Resolución Ministerial Nº 59 – 2015 – MINAM. "Guía de Inventario de la flora y vegetación".

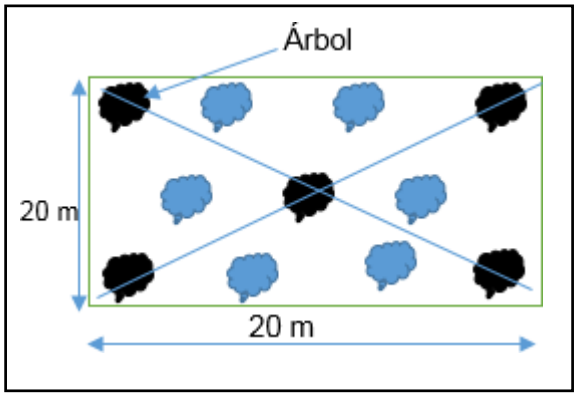
3.5. Procedimientos

Selección de individuos

Para la selección de árboles a medir, se tomó cinco árboles por parcela las cuales se eligieron en forma de una X dentro de cada parcela de tal manera que fue representativa, es decir un árbol de cada esquina y un árbol del medio de la parcela, del cual se tomó el árbol medio en función de la altura y diámetro de copa para la determinación de la biomasa.

Figura 1.

Selección de árboles por parcela



Medición de parámetros dosimétricos

- **Medición del Diámetro de copa**

La medición se realizará utilizando una cinta métrica en la cual se medirá la circunferencia de cada árbol ubicado dentro de las unidades de muestreo de 20m X 20m. Para la conversión del valor de la cobertura asumiendo que la proyección de la copa sobre el suelo tiene una forma elipsoidal se utilizará la siguiente formula:

$$C = \pi*(D/2) *(d/2)$$

Dónde:

D: Diámetro mayor de la copa del árbol (m)

D: Diámetro menor de la copa del árbol (m)

C: Es la Circunferencia (m)

π: Equivale a 3.1416

Medición de altura de árboles

Para la medición de la altura de árboles se utilizará instrumentos como eclímetros que generalmente requieren de una cinta métrica para establecer la distancia entre el árbol y la persona que realiza la medición.

Medición de biomasa aérea fresca por árbol

El contenido de la biomasa aérea será estimado a través del método directo (MD) que consiste en cortar uno o más individuos (árboles), determinar la biomasa por medio del peso directo de cada uno de los componentes (fuste, ramas y hojas) en porcentajes.

El procedimiento es el siguiente:

Cada árbol de la parcela se talará a 25 cm del suelo con la ayuda de una motosierra.

Luego el árbol caído será separado por componentes (fuste, ramas y hojas) con la ayuda de la motosierra y machetes.

Se tomará una muestra de aproximadamente 100 gr. por componente (fuste, ramas y hojas). Con el fin de determinar el peso seco y contenido de carbono en laboratorio.

Cada muestra colectada se colocará en una bolsa de polietileno adecuadamente rotulada.

Mediciones en laboratorio

Para obtener el porcentaje de carbono en la biomasa aérea, se utilizará el método de Fotometría. El cual se llevará a cabo en el Laboratorio Analítico del Sur (LAS), ubicado en la ciudad de Arequipa.

Método de Fotometría

La fotometría o "medida de la luz" es un método óptico basado en el principio por el cual muchas sustancias, combinándose con reactivos adecuados, dan lugar a la formación de un color determinado, cuya intensidad es proporcional a la concentración de la sustancia a medir. Cuando una sustancia se expone a un haz de luz de intensidad I0, una parte de la radiación es absorbida por las moléculas de la sustancia, que a su vez emite una radiación de intensidad I inferior a I0.

La cantidad de radiación absorbida la da ley de "Lambert- Beer": A=log I0/I

3.6. Análisis de datos

A partir de los datos obtenidos en campo se efectuó la ecuación alométrica calibrada para las especies de *Polylepis spp* (Sarcca, 2017). La ecuación generada cuantificará la biomasa y el carbono acumulado (IPCC, 2000) para la zona de investigación (Schlegel *et al*., 2000).

Ecuación alométrica para estimación de biomasa seca de *Polylepis spp*:

$$B = 0.16496\ (H+D)^{2.667785}$$

Donde:
H = Altura del individuo (m)
D = Diámetro de copa (m)

Factor de conversión para carbono acumulado = 0.58

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

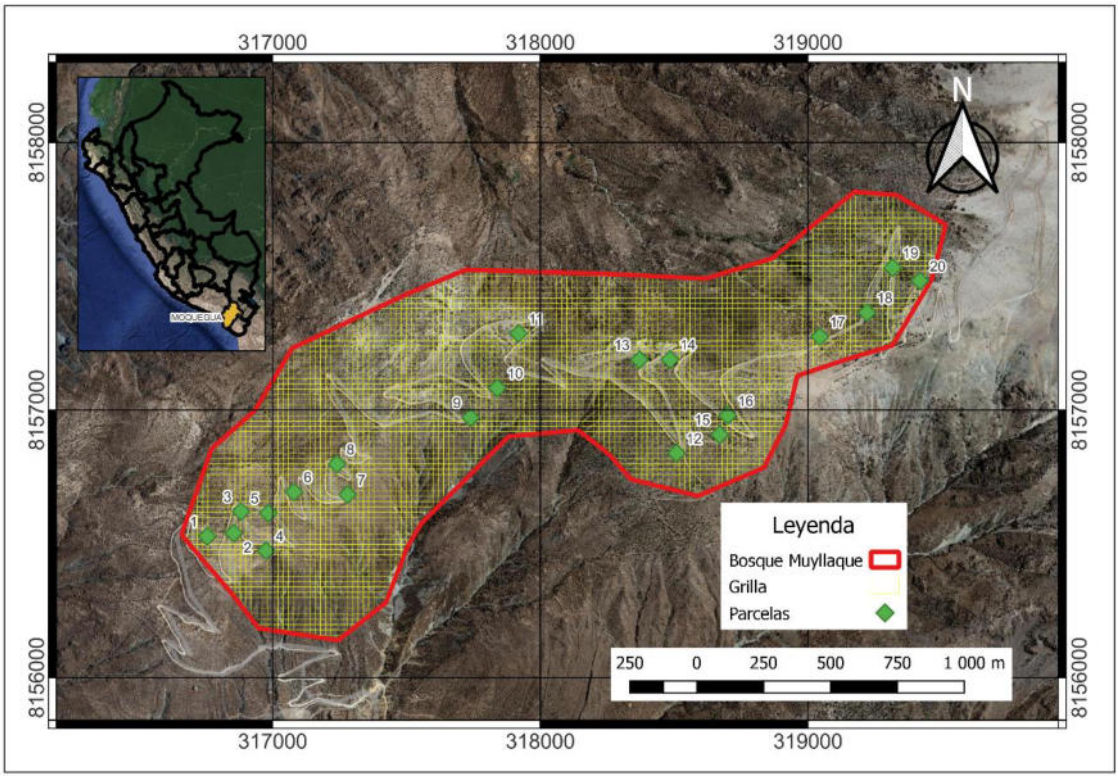
4.1. Resultados

4.1.1. Ubicación y georreferenciación

En la figura 2, podemos observar la ubicación y delimitación del bosque de *Polylepis* spp., que se encuentra en Muylaque, distrito de San Cristóbal, provincia de Mariscal Nieto, departamento de Moquegua. También podemos ver la cuadricula que representa la población y que se empleó para el diseño de muestreo, finalmente se indica con puntos la ubicación de las parcelas en donde se midieron las variables dasométricas (altura del árbol, circunferencia del fuste y diámetro de la copa).

Figura 2.

Georreferenciación de las 20 parcela muestreadas de Polylepis spp.



En la tabla 2, mediante el uso de un GPS, obtuvimos la ubicación del centro de las parcelas en coordenadas UTM, mostrados a continuación:

Tabla 2.

Coordenadas UTM (Zona 19K) de cada una de las 20 muestras

Muestra	Coordenadas UTM	
1	316756.00 m E	8156528.00 m S
2	316855.00 m E	8156540.00 m S
3	316882.00 m E	8156621.00 m S
4	316976.00 m E	8156474.00 m S
5	316984.00 m E	8156615.00 m S
6	317080.00 m E	8156694.00 m S
7	317280.00 m E	8156684.00 m S
8	317240.00 m E	8156798.00 m S
9	317740.00 m E	8156972.00 m S
10	317840.00 m E	8157082.00 m S
11	317919.00 m E	8157286.00 m S
12	318509.00 m E	8156839.00 m S
13	318371.00 m E	8157188.00 m S
14	318485.00 m E	8157189.00 m S
15	318671.00 m E	8156908.00 m S
16	318701.00 m E	8156980.00 m S
17	319045.00 m E	8157274.00 m S
18	319221.00 m E	8157364.00 m S
19	319317.00 m E	8157532.00 m S
20	319419.00 m E	8157483.00 m S

4.1.2. Cuantificación en porcentajes de la biomasa en *Polylepis* spp.

Una vez, almacenada cada muestra en su bolsa ziploc, con su rotulación correspondiente, se analizó mediante el método de fotometría, en el Laboratorio Analítico del Sur (LAS), para determinar la cantidad porcentual de contenido de biomasa o materia orgánica, en donde obtuvimos los siguientes resultados mostrados en la tabla 3:

Tabla 3.

Cuantificación de Biomasa de 20 muestras de Polylepis spp. en el C.P. Muylaque

Muestra	Altitud (m s.n.m.)	% Biomasa (100 gr)	% C en biomasa	Altura (m)	Diámetro de Copa (m)
1	3695	82	48	1.12	0.63
2	3702	75	44	1.34	0.87
3	3770	94	55	2.77	1.44
4	3796	92	53	1.74	0.76
5	3868	85	49	2.71	1.82
6	3875	94	55	2.68	1.62
7	3933	83	48	4.26	2.87
8	3947	83	44	4.82	1.89
9	3974	94	48	4.46	3.55
10	4015	76	48	3.04	1.24
11	4015	78	48	3.56	2.89
12	4020	91	55	3.31	2.74
13	4047	83	53	2.55	1.43
14	4090	92	50	4.01	3.78
15	4094	87	53	3.94	2.41
16	4167	86	50	3.92	3.32
17	4185	82	46	2.74	1.08
18	4197	79	45	3.86	3.51
19	4260	87	49	4.73	4.07
20	4281	84	50	4.81	4.35

A partir de los resultados mostrados en la tabla 3, se realizó el análisis descriptivo de esto valores, obteniendo en la tabla 4 los estadísticos univariados de las variables.

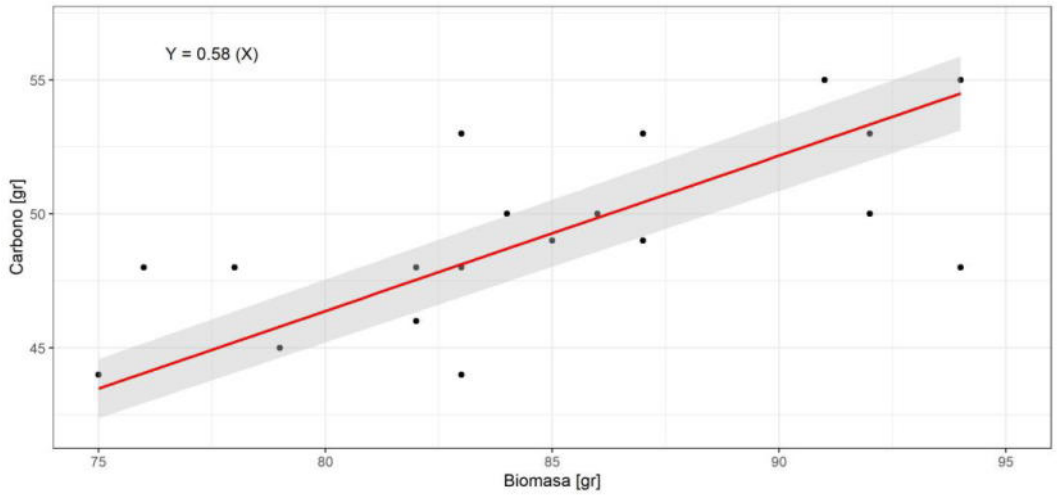
Tabla 4.

Estadísticos univariados de las variables

Variables	N	Min	Max	Mean	Stand. dev	Median
Altura de árbol (m)	20	1.12	4.82	3.32	1.11	3.43
Diámetro de copa (m)	20	0.63	4.35	2.31	1.18	2.15
Biomasa (%)	20	75	94	85.35	5.98	84.5
Carbono (%)	20	44	55	49.55	3.50	49

Figura 3.

Regresión lineal simple entre el carbono almacenado y la biomasa de Polylepis spp.



Con los datos de contenido de carbono y biomasa de la tabla 3, se realizó el análisis de regresión lineal simple, mostrado en la figura 3 y tabla 5, en el cual se removió el intercepto al no ser significativo, quedando solamente la pendiente con un valor estimado de 0.58, el cual nos indica que, por cada gramo de biomasa el contenido de carbono almacenado aumenta en 0.58 gramos, concluyendo que 58 % de la biomasa es carbono almacenado

Tabla 5.

Factor de conversión de Biomasa

Variable	Estimación Std.	Error t	Valor	Pr (> / t /)
Biomasa	0.579759	0.007047	82.27	<2e-16***
Significancia	0 °***°	0.001°**°	0.1°*°	0.05

4.1.3. Cuantificación de biomasa y carbono almacenado en *Polylepis* spp.

Las características estructurales de un bosque natural son un aspecto muy importante para conocer su dinámica, donde la distribución de clases diamétricas permite evaluar su estado ecológico y de conservación; mostrando la falta de regeneración o bien el envejecimiento del bosque.

En la figura 4, se presentan la distribución del número de individuos por clase diamétrica observada y estimada, se nota una asimetría positiva, conocida como "J" invertida, la cual indica que las masas forestales llevan un rol de regeneración adecuado, sin embargo, existe una clase sin individuos que nos muestra que hubo perturbaciones en el bosque como extracción selectiva de individuos.

Figura 4.

Histograma de la distribución de individuos por clases diamétricas del bosque de Polylepis spp.

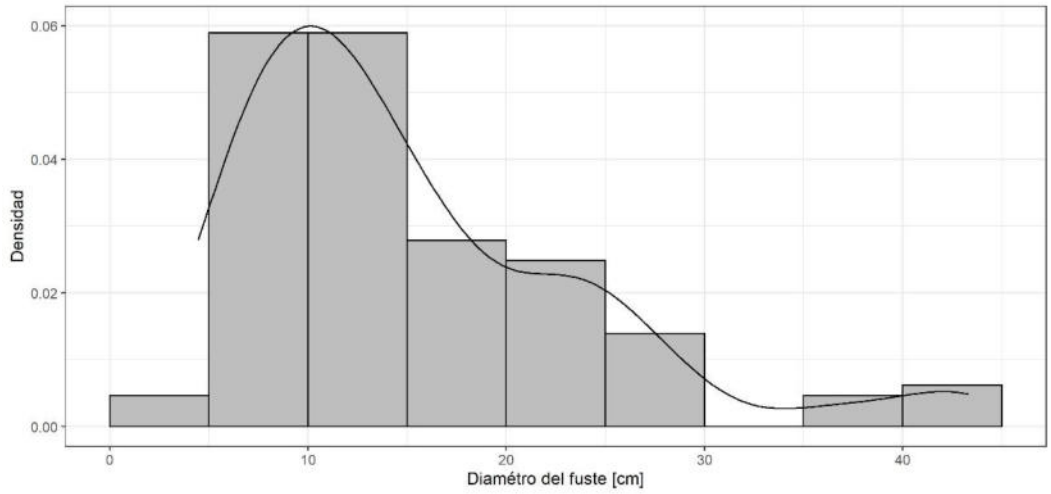


Tabla 6.

Distribución de frecuencias de individuos por clases diamétricas de los individuos de Polylepis spp.

Intervalos	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa acumulada
[0,5)	3	2.33	3	2.33
[5,10)	38	29.46	41	31.78
[10,15)	38	29.46	79	61.24
[15,20)	18	13.95	97	75.19
[20,25)	16	12.40	113	87.60
[25,30)	9	6.98	122	94.57
[30,35)	0	0	122	94.57
[35,40)	3	2.33	125	96.90
[40,45)	4	3.10	129	100

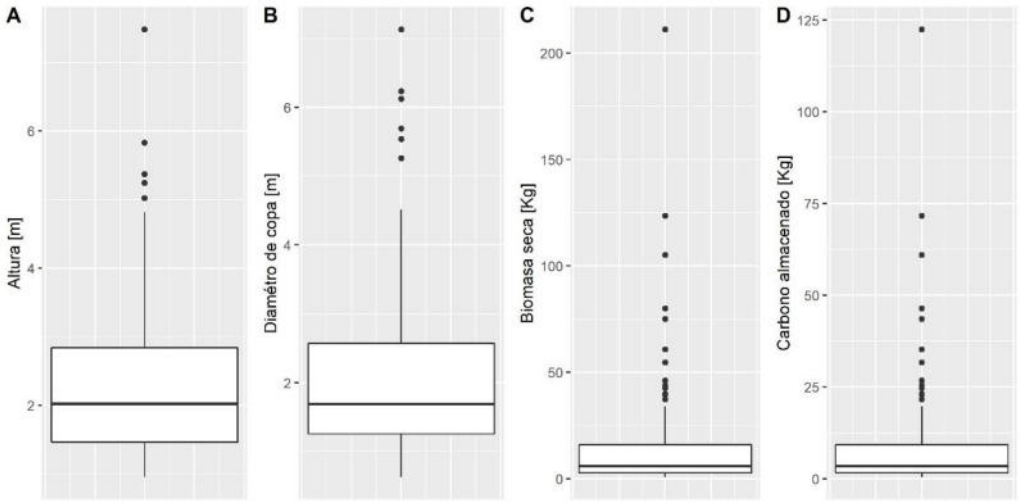
En la tabla 6, esta las frecuencias absolutas y relativas, y también acumuladas, al igual que en la figura 4, se nota que no hay individuos medidos en las clases de 30 a 35 centímetros de diámetro, que nos muestra que hubo perturbaciones en el bosque como extracción selectiva de individuos.

Para calcular la biomasa, se realizó dos etapas: primero se aplicó la ecuación alométrica para la obtención de biomasa a cada uno de los individuos medidos en las parcelas en base a la altura y diámetro de copa. Y seguidamente para obtener el carbono almacenado se multiplico por el factor de conversión (0.58).

En la figura 5, vemos el grafico de caja y bigote para las variables que ingresan al modelo para estimar la biomasa y de ahí el contenido de carbono almacenado aplicando el factor de conversión, vemos que en existen valores fuera de rango pero que surgen del hecho que en campo se midió individuos que representen todos los tamaños, por tanto, no son valores anómalos.

Figura 5.

Altura total (A), diámetro de copa (B), biomasa aérea (C) y contenido de carbono almacenado (D) en los individuos de Polylepis spp.



Como segundo paso, agregamos los valores individuales a la parcela, realizando la sumatoria de los valores de biomasa. Seguidamente se calculó el factor de expansión de parcela a hectárea, como:

$$fe = \frac{10\,000}{a}$$

Donde:

fe : factor de expansión a hectárea

a : área de la unidad muestral expresada en metros cuadrados (m^2).

Resultando en nuestro caso: 10 000 / (20 * 20) = 25, este factor de expansión se aplicó a cada parcela para obtener el valor por hectárea, seguidamente se convirtió de kilogramos a tonelada y por último se aplicó el factor de conversión a carbono, obteniendo finalmente el carbono almacenado en la biomasa en toneladas por hectárea, que se muestran en la tabla 7.

Tabla 7

Biomasa y carbono almacenado por parcela muestreada en el bosque de Polylepis spp de la comunidad del Muylaque.

Parcela	Biomasa (tB/Ha)	Carbono (tC/Ha)
P01	0.246	0.143
P02	0.371	0.215
P03	0.861	0.499
P04	0.628	0.364
P05	0.788	0.457
P06	1.529	0.887
P07	1.566	0.908
P08	6.098	3.537
P09	1.677	0.973
P10	1.403	0.814
P11	3.587	2.080
P12	2.955	1.714
P13	1.298	0.753
P14	3.297	1.912
P15	9.476	5.496
P16	2.065	1.198
P17	1.663	0.965
P18	1.408	0.817
P19	3.968	2.301
P20	3.002	1.741

Con los valores de carbono almacenado por parcela de la tabla 7, estimamos los intervalos de confianza al 95% para obtener los limites inferior y superior respecto a la media estimada a partir de la muestra, para lo cual empleamos un estimador por intervalo:

$$\hat{\mu} = \hat{x} \pm E$$
$$= \hat{x} \pm t_{(n-1)\,\alpha/2} S_{\hat{x}}$$

donde:

n : tamaño muestral

$\hat{x}$: media aritmética muestral

σ : desviación estándar de la muestra

$t_{(n-1)\alpha/2}$: valor de la distribución de Student con n-1 grados de libertad y nivel de confianza dados

$S_{\hat{x}}$: error estándar de la muestra $\hat{x}$; $S_{\hat{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$

Reemplazando los valores estimados obtenemos la estimación por intervalo de μ al 95% de confianza:

$n = 20$; $\hat{x} = 1.389$; $\sigma = 1.275$; $t_{(20-1)0.05/2} = 2.093024$;

$S_{\hat{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 0.2850$;

$E = t_{(n-1)\,\alpha\,/\,2} S_{\hat{x}} = 0.5965$

$$\hat{\mu} = \hat{x} \pm E$$

$$\hat{\mu} = 1.388 \pm 0.5965 \text{ tC / ha}$$

0.7921 tC / ha, es el valor del límite fiducial inferior
1.9852 tC / ha, es el valor del límite fiducial superior

Decimos que la media estimadas μ = 1.388 tC/ha pertenece al intervalo de estimación. Este intervalo es uno de los 95 (cada 100) intervalos que contendrán a la verdadera media poblacional del bosque estudiado.

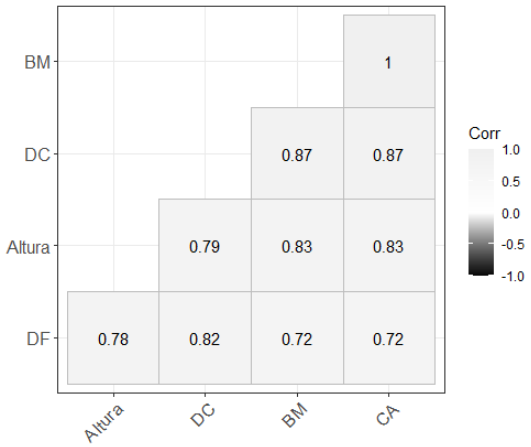
De igual manera para la biomasa obtuvimos el valor promedio con sus limite fiduciales al 95% de confianza, siendo los valores:

$$\hat{\mu} = 2.394 \pm 1.028 \text{ tB / ha}$$

Para conocer la relación entre variables se realizó un análisis de correlación linear r de Pearson (figura 5). entre todas las variables, obteniendo correlaciones positivas entre las variables de altitud, altura y diámetro de copa de los árboles de *Polylepis* spp. en un primer grupo, en un segundo grupo se reúnen como correlacionadas las variables de biomasa y carbono

Figura 6.

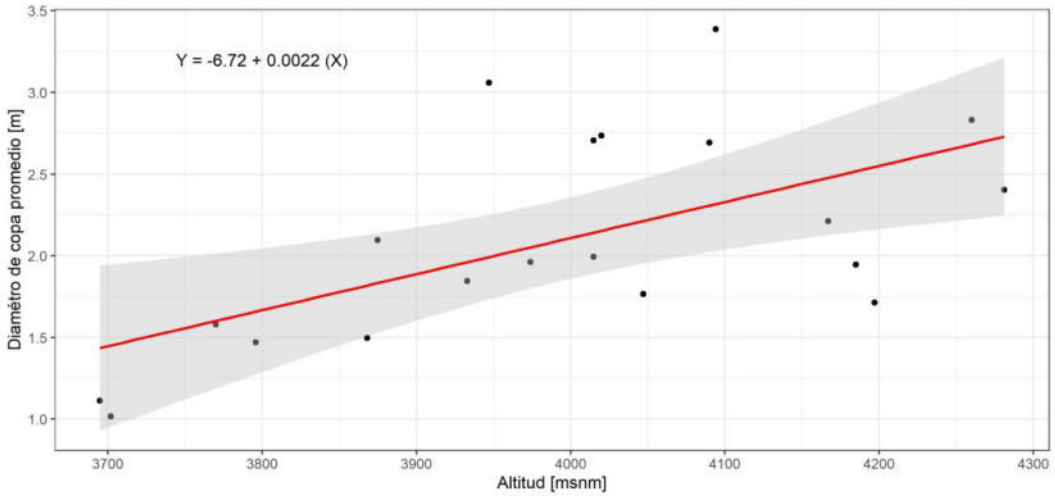
Correlación gráfica entre variables



Con el conocimiento de las correlaciones positivas, se realizó el análisis de regresión lineal simple, teniendo como variables de respuesta al diámetro promedio de la copa (figura 7), altura promedio de los árboles (figura 8) y carbono almacenado (figura 9), que son características estructurales; y como variable explicativa se tomó a la altitud que es una variable ambiental que genera un gradiente de variación de otras variables ambientales como la temperatura.

Figura 7.

Diámetro de copa en función de la altitud (m s.n.m.) del bosque de Polylepis spp.

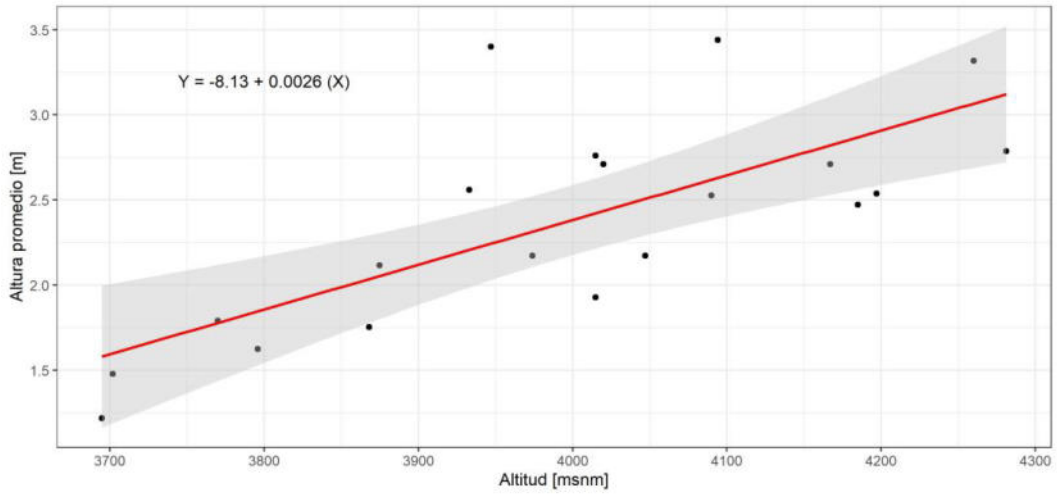


En la figura 7, mostramos la ecuación de la recta con los valores de los parámetros estimados, el intercepto no tiene una interpretación lógica ya que se incorpora en el

modelo para mejorar el ajuste, la pendiente nos indica que por cada 100 metros de altitud el valor promedio del diámetro de la copa incrementa en 0.22 centímetros.

Figura 8.

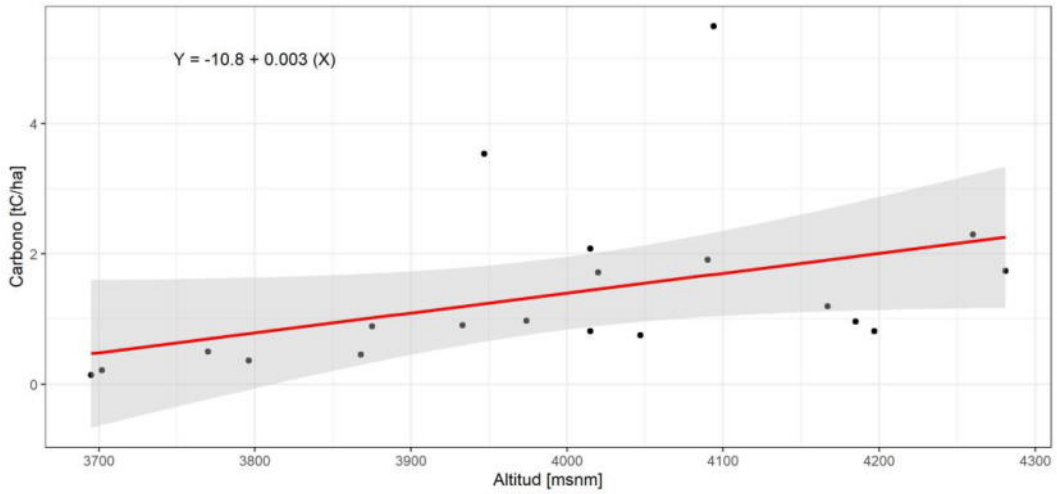
Altura de árboles en función de la altitud (m s.n.m.) del bosque de Polylepis spp.



En la figura 8, mostramos la ecuación de la recta con los valores de los parámetros estimados, el intercepto no tiene una interpretación lógica ya que se incorpora en el modelo para mejorar el ajuste, la pendiente nos indica que por cada 100 metros de altitud el valor promedio de la altura del árbol incrementa en 0.26 centímetros.

Figura 9.

Carbono almacenado en la biomasa aérea en función de la altitud (m s.n.m.) del bosque de Polylepis spp.



En la figura 9, mostramos la ecuación de la recta con los valores de los parámetros estimados, el intercepto no tiene una interpretación lógica ya que se incorpora en el

modelo para mejorar el ajuste, la pendiente nos indica que por cada 100 metros de altitud el valor promedio de carbono almacenado incrementa en 0.3 toneladas.

4.2. Discusiones

4.2.1. Comparación de biomasas arbóreas aéreas (t/ha)

La biomasa aérea (2.394 ± 1.028 tB / ha) y carbono almacenado (1.388±0.5965 tC / ha) del bosque de *Polylepis* del C.P. Muylaque en el departamento de Moquegua medidos en este estudio, es similar al valor encontrado por Guillen Enriquez y Salome Rojas en bosque los Polylepis rodolfo-vasquezii L. Valenzuela & Villalva en un bosque natural de 13.55 Ha, en la comunidad campesina de María Moya, distrito de Comas, provincia de Concepción, región Junín. A través del muestreo aleatorio sistemático de 04 parcelas rectangulares de 20 m x 100 m, obtuvieron los siguientes resultados de los depósitos de carbono: 2.054 tC/Ha en la biomasa área, 1.163 tC/Ha en la biomasa subterránea, 3.217 tC/Ha en la biomasa arbórea, 0.491 tC/Ha en la biomasa de la hojarasca y la mayor cantidad de carbono almacenado fue de la biomasa del suelo con 143.940 tC/Ha.

Sin embargo los valores obtenidos fueron más bajos que la biomasa de: tres especies de *Polylepis* en los andes tropicales húmedos al sur de Ecuador entre 2800 y 4300 m.s.n.m. con un valor medio de 125 t/ha (Montalvo *et al.* 2018); un bosque de *Polylepis* en un páramo muy húmedo alrededor de 3900 m.s.n.m. en la vertiente oriental de la Cordillera Blanca en el departamento de Ancash (Mosquera, 2018) con 64.25 t/ha de biomasa; una plantación forestal con *Polylepis* sp. entre 3850-4030 m s.n.m. en el departamento de Puno con 29.19 t/ha de biomasa (Mollocondo y Aguilar, 2019), adicionalmente estos autores calculan la biomasa aérea de *Cupressus* spp. en 284.69 t/ha y de *Eucaliptus globulus* con 243.57 t/ha; Rodríguez-Laguna *et al.* (2009) determinan para un bosque natural templado México, una biomasa aérea de 186.3 t/ha para tres especies de *Pinus* y tres de *Quercus.* En comparación con la biomasa aérea de otra formación vegetal como la de pastizales de *Stipa ichu* en el departamento de Huancavelica, la biomasa de esta gramínea fue mayor (15.43 t/ha) (Rivera-Ticllacondor y Zamora-Talaverano, 2019).

Tabla 8.

Comparación con otras biomasas arbóreas aéreas (tB/ha)

Autor	Ecosistema	Lugar	Rango altitudinal (m)	tB/ha
Rivera-Ticllacondor y Zamora-Talaverano (2019)	Pastizal andino	Pastizal de Stipa ichu, Huancavelica	-	15.43
Este estudio	Bosque de *Polylepis ssp*	Puna seca occidental del rio Tambo, Moquegua	3700-4300	1.388
Mollocondo y Aguilar (2019)	Plantación forestal con *Polylepis* sp.	Altiplano de Puno	3850-4030	29.19
Mosquera et al. (2018)	Bosque de *Polylepis*	Páramo muy húmedo oriental de la Cordillera Blanca, Ancash	3900	64.25
Montalvo et al. (2018)	Bosque *de Polylepis (P. reticulata, P. incana, P. weberbaueri* y *P. lanuginosa)*	Andes húmedos de Ecuador	2800-4300	125
Rodríguez-Laguna et al. (2009)	Bosque de Pinus y Quercus	Bosque templado, centro de México	1400-1800	186.3
Mollocondo y Aguilar (2019)	*Plantación forestal con Eucaliptus globulus*	Altiplano de Puno	3850-4030	243.57
Mollocondo y Aguilar (2019)	Plantación forestal con *Cupressus* spp.	Altiplano de Puno	3850-4030	284.69

4.2.2. Comparación del contenido de carbono (tC/h) en la biomasa arbórea aérea

El contenido de carbono en la biomasa aérea (9.61 tC/ha) de los árboles que componen el bosque de *Polylepis rugulosa* y *P. subtusalbida* del C.P. Muylaque en el departamento de Moquegua fue más alto que lo hallado para un bosque secundario de *Polylepis* sp. (3.55 tC/ha) en el departamento de Cusco ubicado a una mayor altitud (4620-4900 m.s.n.m.) y pendiente (Mansilla, 2001); y para un bosque de natural de páramo frio templado lluvioso de *Polylepis rodolfo-vasquezii* (3.217 tC/ha) ubicado a mayor altitud (4150-4350 m.s.n.m.) en el centro del departamento de Junín (centro del Perú) (Guillen y Salome, 2019).

Sin embargo, contenido de carbono en la biomasa aérea del área de estudio es más bajo que: las zonas de alta montaña con especies de *Polylepis* en Ecuador y el norte del Perú con un promedio de 98 tC/ha (Castañeda-Martín y Montes-Pullido, 2016); tres especies de *Polylepis* en los andes tropicales húmedos al sur de Ecuador entre 2800 y 4300 m en el estudio de Montalvo *et al.* (2018), donde, el contenido medio de carbono fue de 125tC/ha; un bosque de *Polylepis* de un páramo muy húmedo (~3900 m.s.n.m.) en la vertiente oriental de la Cordillera Blanca en el departamento de Ancash con 28.91 tC/ha (Mosquera, 2018); un bosque de *Polylepis* sp. entre 3380 y 3940 m.s.n.m. en el departamento de Ancash con 37.95 tC/ha (Tacarpo, 2018); las plantaciones forestales de *Polylepis* sp., *Cupressus* spp. y *Eucaliptus globulus* en el centro de producción San Juan de Potojani (3850-4030 m s.n.m.) en el departamento de Puno, con 13.13 tC/ha, 142.35 tC/ha y 117.29 tC/ha respectivamente. Lapeyre *et al.* (2004) indica que, los ecosistemas mejor conservados o más naturales son los que mejor contribuyen a la retención de carbono frente a sistemas de cultivo agrícolas.

Tabla 9.

Comparación con otros contenidos de carbono en biomasas arbóreas aéreas (tC/ha)

Autor	Ecosistema	Lugar	Rango alitudinal (m)	tC/ha
Este estudio	Bosque de *Polylepis ssp*	Puna seca occidental del rio Tambo, Moquegua	3700-4300	2.394
Mansilla (2001)	Bosque secundario de Polylepis sp.	Valle de Cusco	4620-4900	3.55
Guillen y Salome (2019)	Bosque de *Polylepis rodolfo-vasquezii*	Páramo frío templado lluvioso de Junin	4150-4350	3.22
Castañeda-Martín y Montes-Pullido (2016)	Bosque de *Polylepis* spp.	Páramo de Ecuador y norte de Perú	3200-3800	98
Montalvo et al. (2018)	Bosque de *Polylepis. (P. reticulata, P. incana, P. weberbaueri* y *P. lanuginosa)*	Andes tropicales húmedos al sur de Ecuador	2800-4300	125
Mosquera (2018)	Bosque de *Polylepis* sp.	Páramo muy húmedo, vertiente oriental de la Cordillera Blanca, Ancash	3900	28.91
Tacarpo (2018)	Bosque de *Polylepis* sp.	Ancash	3380-3940	37.95
Mollocondo y Aguilar (2019)	Plantación forestal con *Polylepis* sp.	Altiplano de Puno	3850-4030	13.13
Mollocondo y Aguilar (2019)	Plantación forestal con *Cupressus* spp.	Altiplano de Puno	3850-4030	142.35
Mollocondo y Aguilar (2019)	Plantación forestal con *Eucaliptus globulus*	Altiplano de Puno	3850-4030	117.29

Un área foliar menor conlleva una menor superficie de intercepción de radiación y baja captura de CO_2, crecimiento y transpiración (Colmenares-Arteaga et al. 2005), por tanto, es posible que la baja biomasa aérea y su bajo almacenamiento de carbono en las especies de este estudio se deba su fisiología y fisionomía particular (como el área foliar) en relación a la adaptación a la altitud (Toivonen *et al.,* 2014 in Montalvo *et al.* 2018) y al ambiente árido por la influencia del desierto de Atacama y la puna en la vegetación de la cuenca del rio Tambo (Chicalla-Rios, 2017; Montesinos-Tubée (2010) tal como ocurre con *Polylepis tarapacana* (Franco *et al.,* 2021), una especie geográficamente cercana en el Departamento de Tacna (Mendoza y Cano, 2011), sin embargo, estudios de captura de carbono y biomasa en esta última especie son ausentes.

Castañeda-Martín y Montes-Pullido (2016), Mosquera (2018), Tacarpo (2018), Guillen y Salome (2019), además de calcular el carbono en la biomasa aérea, calcularon el almacenamiento de carbono (tC/ha) en el suelo, concluyendo que es en este elemento donde la mayor parte de carbono se almacena, duplicando la cantidad que el carbono almacenado en la biomasa aérea arbórea, pudiendo ser inclusive mucho más, y ubicándose estas reservas aproximadamente a un metro de profundidad (Tacarpo, 2018). De manera similar, el almacenamiento de carbono en el suelo de otros los ecosistemas en el sur del Perú como los Bofedales es alta (157 tC/ha) considerando las altitudes (~4300 m) a las que se desarrollan (Sequieros, 2020).

Al parecer, el contenido aéreo (fuste, ramas y hojas) de la biomasa y de carbono almacenado en los bosques de *Polylepis* aumenta mientras más se acercan a la zona tropical húmeda, con excepción de un bosque de *Polylepis rodolfo-vasquezii* ubicado al centro del Perú.

Las plantaciones forestales con especies exóticas como *Cupressus* spp. y *Eucaliptus globulus* parecen contribuir mejor al almacenamiento de la biomasa y carbono que los bosques nativos y plantaciones forestales con *Polylepis* en los ambientes más áridos del sur del Perú.

V. CONCLUSIONES

- Los valores estimados de contenido de carbono almacenado y biomasa arbórea aérea en *Polylepis* spp. "Queñoa" entre 3 700 a 4 300 m.s.n.m. en el bosque relicto del centro poblado Muylaque, distrito San Cristóbal, provincia Mariscal Nieto, departamento de Moquegua, es de 1.388 ± 0.5965 tC/ha y 2.394 ± 1.028 tB/ha.

- El contenido de biomasa arbórea aérea almacenado por *Polylepis* spp. "Queñoa" entre 3700 a 4300 m.s.n.m. en el bosque relicto del centro poblado Muylaque, distrito San Cristóbal, provincia Mariscal Nieto, departamento de Moquegua es de 1.388 ± 0.5965 tC/ha.

- El contenido de carbono en la biomasa arbórea aérea almacenado por *Polylepis* spp. "Queñoa" entre 3700 a 4300 m.s.n.m. en el bosque relicto del centro poblado Muylaque, distrito San Cristóbal, provincia Mariscal Nieto, departamento de Moquegua es de 2.394 ± 1.028 tB/ha.

- Se encontró una relación positiva entre el diámetro medio de copa, altura media de los árboles, carbono almacenado en la biomasa arbórea aérea y la altitud.

VI. RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio de almacenamiento de carbono en el suelo de la zona de estudio para así obtener el almacenamiento (stock) de carbono total del bosque relicto de *Polylepis* spp. del centro poblado Muylaque.

- Efectuar estudios sobre el almacenamiento (stock) de carbono total y de flujo de los bosques de *Polylepis rugulosa* y *P. subtusalbida* que incluyen: biomasa arbórea aérea y subterránea, suelo y especies arbustivas acompañantes en otros parches grandes ubicados dentro del departamento de Moquegua, para así cuantificar económicamente el servicio ambiental de almacenamiento de carbono de los bosques relictos de *Polylepis* en estos territorios.

- Ejecutar estudios de cuantificación de biomasa aérea y carbono en especies arbustivas representativas o en formaciones vegetales características y extensas del departamento de Moquegua como lomas, matorral desértico (cardonales) y matorral subhúmedo, ya que, estos componen buena parte del paisaje de las cuencas de los ríos Tambo y Moquegua.

- Realizar estudios experimentales sobre los beneficios ambientales, con plantaciones forestales de especies exóticas vs. reforestación o forestación con especies arbóreas nativas en el departamento de Moquegua.

IV. REFERENCIAS

Braun-Blanquet, J. (1979). Plant sociology, the study of plant communities. New York.

Brown, S. (1997). Estimating biomass and biomass change of Tropical Forest: A primer. *FAO Forestry, 134*. Consultado en http://www.fao.org/3/w4095e/w4095e00.htm

Canales, G. (2004). *Ecología.* Puno: Editorial Gráfica Puno.

Castañeda-Martín, A. E. y C. R. Montes-Pullido. (2017). Carbono almacenado en páramo andino. *Entramado, 13*(1), 210-221 http://dx.doi.org/10.18041/entramado.2017v13n1.25112

Chicalla-Rios, K. (2017). Adiciones a la flora y vegetación del departamento de Moquegua, Perú. Cuencas del rio Moquegua, río Tambo e intercuencas costeras. *Revista Ciencia y Tecnología para el desarrollo-UJCM, 3*(6), 36-54.

Colmenares-Arteaga, M., Rada, F. & R. Luque. (2005). Anatomía foliar de *Polylepis sericea* Wedd. (Rosaceae) a dos altitudes en los Altos andes venezolanos. *Plántula 3,* 141-148.

Dávila, B. (1997). Integrated Model Conservation, Handling and Sustainable development of Neotropical Ecosystems. Actas de ECOSUD 97. UK: Institute of Technology Southampton.

Enrique, L. (1999). Flora y Vegetación de los alrededores del distrito de Yura desde los 2260 a los 2920 msnm (abril-mayo, 1999). Tesis para optar por el Titulo de Biólogo, Universidad Nacional San Agustín. Arequipa.

EPA. (2008). Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos 2008. Informe de la EPA sobre el medio ambiente (Borrador de 2003). Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, Washington. Consultado de https://cfpub.epa.gov/ncea/risk/recordisplay.cfm?deid=56830

Franco, P., Cáceres C., Navarro, M., Jove, C., Ignacio, J. y E. Oyague (2021). Bosques de Polylepis tarapacana en la cuenca Maure, extremo sur del Perú. Oportunidades para su conservación. *Estudios Geográficos*, *82* (290), e059. https://doi.org/10.3989/estgeogr.202071.071

García, E. (2004). Medio ambiente y sociedad. La civilización industrial y los límites del planeta. Madrid: Alianza Editorial. 356 p. http://www.fao.org/3/w4095e/w4095e00.htm

Goudriaan, J. (1992). ¿A dónde va el gas carbónico?: el papel de la vegetación. *Mundo Científico 126*(12), 687-692.

Guillen, E. y L. Salome. (2019). Capacidad de almacenamiento de carbono en el bosque natural de *Polylepis rodolfo-vasquezii* L. Valenzuela & Villalva en la Comunidad Campesina de María Moya, Comas, Concepción. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Forestal y Ambiental. Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo.

Hammer, O., Harper, D. A. T., & Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. *Paleontología Electrónica, 4*(1), 9.

Hoen, H. & Solberg, B. (1994). Potencial and economic efficiency of carbon sequestration in forest biomass through silvicultural management. *Forest Science 3*, 429-451.

IPCC (2000) Nebojsa Nakicenovic and Rob Swart (Eds.) Cambridge University Press, UK. p 570.

IPCC (2014). Grupo Intergubernamental de expertos sobre el cambio climático de Evaluación Cambio climático. Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Quinto Informe OMM, PNUMA.

Kessler, M. (2006). Bosque de Polylepis. Universidad Mayor San Andrés. La Paz-Bolivia.

Lapeyre, T., Alegre, J. y L. Arévalo. (2004). Determinación de las reservas de carbono de la biomasa aérea, en diferentes sistemas de uso de la tierra den San Martín, Perú. *Ecología Aplicada*, *3*(1,2), 34-44.

Mansilla, H. 2001. *Aspectos económicos de la captura de CO2 en especies nativas: Caso bosque de queuña qocha en el valle de Ollantaytambo, Cusco, Perú. En Valoración Económica de la Diversidad Biológica y Servicios Ambientales en el Perú*. INRENA/BIOFOR. 474 p.

Mendoza, W., y Cano, A. (2011). Diversidad del género *Polylepis* (Rosaceae, Sanguisorbeae) en los Andes peruanos. *Revista Peruana de Biología, 18*(2), 197-200.

MINAM (2015). Guía de inventario de la flora y vegetación / Ministerio del Ambiente, Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural. Lima. 49 p.

Montesinos-Tubée, D. (2010). *Plant communities of the South Andes of Peru: syntaxonomy and synecology.* Master thesis, Netherlands.

Mollocondo, M. N. y L. E. Aguilar. (2019). *Estimación de la captura de CO_2 en plantaciones forestales de Polylepis sp, Cupressus spp y Eucaliptus globulus, para mitigar el cambio climático en el Centro de Producción San Juan de Potojani-Puno, 2018.* Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental.

Montalvo, J., Minga, D., Verdugo, A., López, J., Guazhambo, D., Pacheco, D., Siddons, D., Crespo A. y E. Zárate. (2018). Características morfológico-funcionales diversidad arbórea, tasa de crecimiento y de secuestro de carbono en especies y ecosistemas de *Polylepis* del Sur de Ecuador. *Ecología Austral, 28*, 249-261.

Montaño, N.M., Ayala, Bullock, S. H., Briones O., García, F., García, R., Maya, Y., Perroni, Y., Siebe, C., Tapia, Y., Troyo, E. y E. Yépez. (2016). Almacenes y flujos de carbono en ecosistemas áridos y semiáridos de México: síntesis y perspectivas. *Terra Latinoamericana*, *34*(1), 39-59

Montoya, G. (editor) (1995). *Desarrollo forestal sustentable: Captura de carbono en las zonas tzeltal y tojolabal del estado de Chiapas*. Cuadernos de Trabajo. Instituto Nacional de Ecología. 50 p.

Mosquera, R. (2018). *Determinación de las reservas totales de carbono en el bosque de Polylepis spp., quebrada de Llaca-Parque Nacional Huascarán, 2014. Tesis para optar el grado de Maestro en Ciencias e Ingeniería Mención en Gestión Ambiental*. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Huaraz.

Ordóñez, J. A. B. y Rivera, R., Tapia, M. E. y L. R. Ahedo. (2015). Contenido y captura potencial de carbono en la biomasa forestal de San Pedro Jacuaro, Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 6*(32), 7-16. http://dx.doi.org/10.29298/rmcf.v6i32.95

Ortiz, R. (1997). *Costa Rican secondary forest: an economic option for joint implementation initiatives to reduce atmospheric CO_2*. Draft paper presented for inclusion in the Beijer Seminar in Punta Leona. Costa Rica. 19 p.

Pacheco-Aquinto, G., Durán E. y Ordóñez-Díaz J. A. B. (2014). Estimación del carbono arbóreo en el área de manejo forestal de Juárez, Oaxaca, México. *Rev. mex. de cienc. Forestales,* 6 (29), 126-145.

Palomino, D. (2007). *Estimación del servicio ambiental de captura del CO2 en la flora de Los Humedales de Puerto Viejo. Tesis para optar el grado de Magister en Ciencias Ambientales*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica. Lima.

Rivera-Ticllacondor, E. y Zamora-Talaverano N. S. (2019). Evaluación del potencial almacenamiento de carbono en *Stipa ichu* (Ruiz & Pav.) Kunth 1829 (ichu) en la microcuenca Chaclatacana, Huancavelica, Perú. *The Biologist, 17*(2), 237-247.

Rodríguez-Laguna, R., Jiménez-Pérez, J., Aguirre-Calderón, Ó, A., Treviño-Garza, E., J. y Razo-Zárate, R. (2009). Estimación de carbono almacenado en el bosque de Pino-Encino en la Reserva de la Biosfera El Cielo, Tamaulipas, México. *Ra Ximhai, 5*(3), 317-327.

Sarcca, Y. R. (2017). *Valoración económica del servicio ecosistémico de secuestro y almacenamiento de carbono en el bosque de Polylepis del Pichu Pichu, Arequipa- 2016*. Para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental. Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa.

Satoo, T. & Madgwick, H. 1982. Forest biomass. La Haya: Martinus Nijhoff/ Dr. W. Junk Publishers. 152 p.

Schlegel, B.; Gayoso, J.; y Guerra, J. 2000. Manual de procedimientos Muestreo de Biomasa Forestal, Universidad Austral de Chile. Proyecto FONDEF D9811076. Valdivia. Chile. 25 p.

Sequeiros, D. A. (2020). *Evaluación del servicio ambiental de captura de carbono de los bofedales del centro poblado Alto Perú, Tacna*. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental. Universidad Privada de Tacna. Tacna.

Tacarpo, A. M. (2018). *Estimación del potencial de captura de carbono de las especies de flora predominante de la parte alta del bosque de la comunidad campesina de Tumpa-Provincia de Yungay, 2018*. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Huaraz.

Toivonen, J. M., Horna, V., Kessler, M., Ruokolainen, K. & D. Hertel. (2014). Interspecific variation in functional traits in relation to species climatic niche optima in Andean Polylepis (Rosaceae) tree species: evidence for climatic adaptations. *Functional Plant Biology 41*, 301-312.

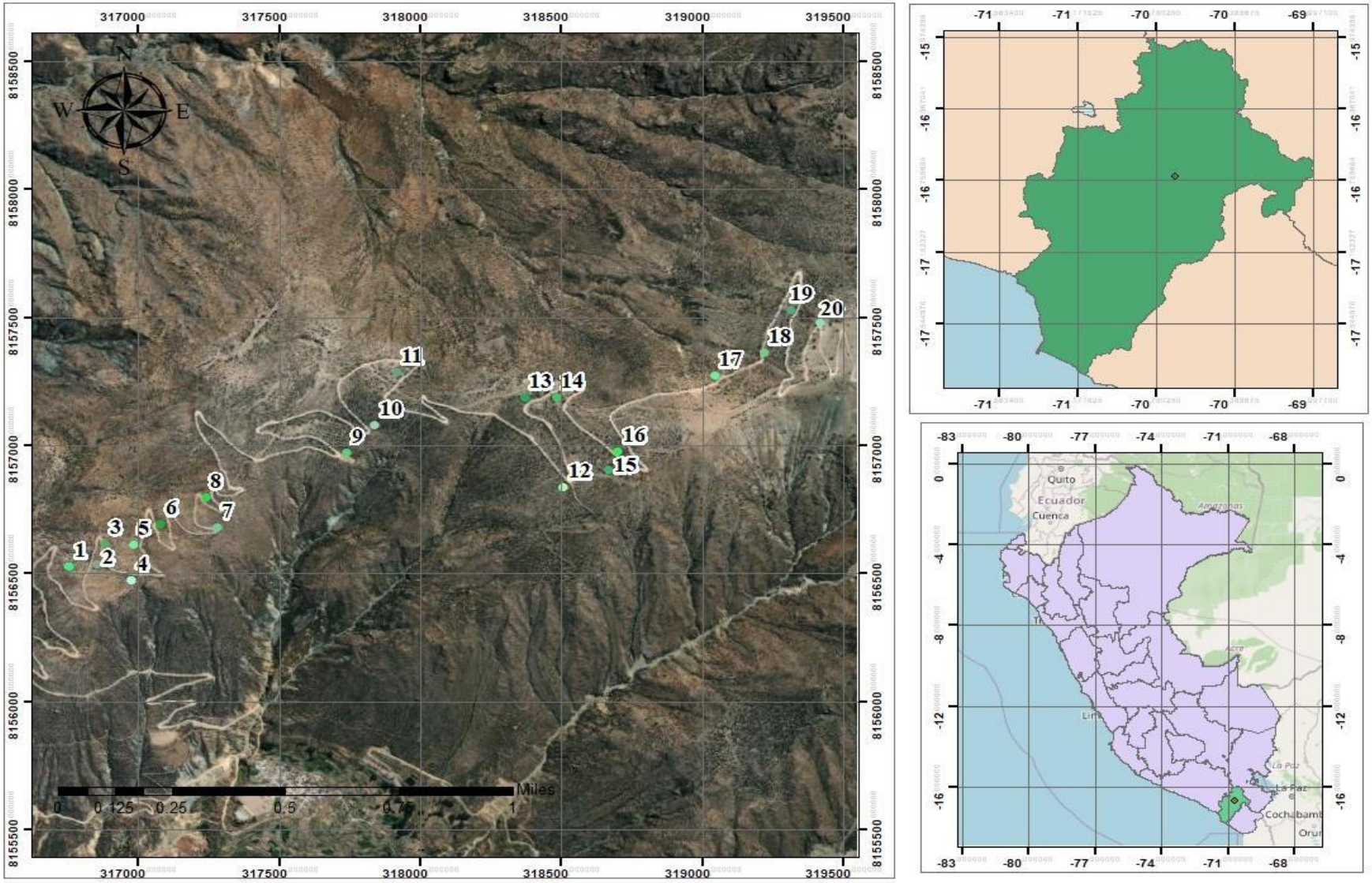
UICN (2001). Categorías y Criterios de la Lista Roja de la UICN. Gland, Suiza y Cambridge, Reino Unido.

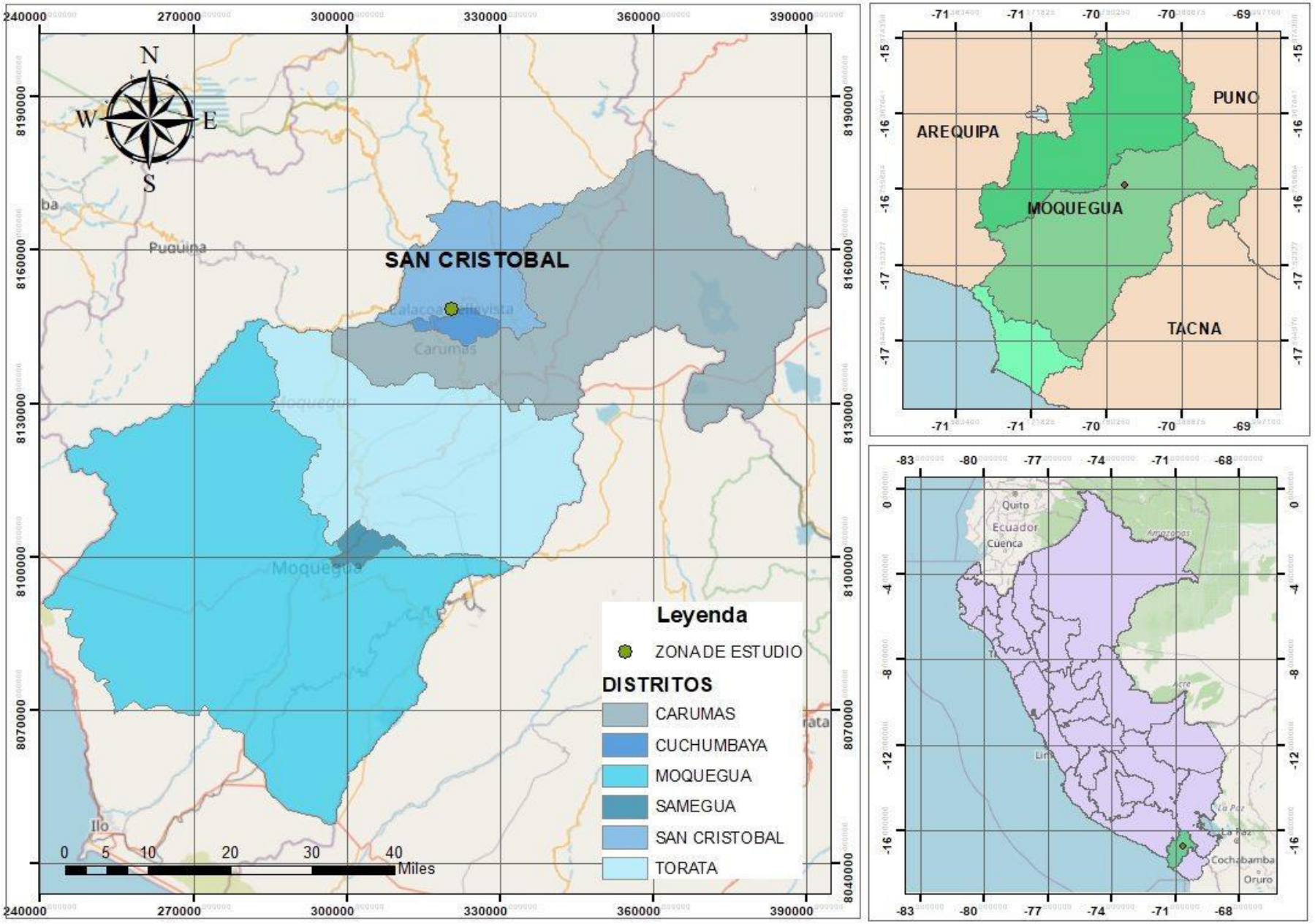
ANEXOS

ANEXO 1: Matriz de Consistencia

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES	DIMENSIÓN	INDICADORES	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN
Desconocimiento del valor e impacto ambiental de almacenamiento de carbono de la zona de bosques relictos "Queñoa" de la especie *Polylepis* spp del centro poblado Muylaue, Distrito San Cristobal, Provincia de Mariscal Nieto- Moquegua especie *Polylepis* spp y su rol en la estabilización de procesos erosivos, deterioro del ecosistema y pérdida de productividad y biodiversidad como vestigio de algún tipo de flora que hay en la zona y que se pretende poner en valor al tiempo presente en su participación importante en la fijación de Carbono en la atmosfera del centro poblado de Muylaque.	Cuantificar el contenido de carbono y biomasa almacenado de *Polylepis* spp. "Queñoa" entre 3700 a 4300 m.s.n.m. en el bosque relicto del centro poblado Muylaque, distrito San Cristóbal, provincia Mariscal Nieto, Moquegua.	Existe una cantidad considerable de carbono almacenado por *Polylepis* spp."Queñoa" en la biomasa del bosque relicto del centro poblado Muylaque, distrito San Cristóbal, provincia Mariscal Nieto-Moquegua.	**Variable uni variado** La zona de bosque relicto de la especie *Polylepis* spp *"Queñoa" presentes* en la zona del estudio	**Captura de carbono en diferentes gradientes altitudinales de la** Zona de bosque relicto de la especie de *Polylepis* spp. "Queñoa" del centro poblado de Muylaque, distrito San Cristóbal, provincia de Mariscal Nieto-Moquegua.	**Ton de Carbono por ha de la** zona de bosque relicto de la especie de *Polylepis* spp del centro poblado de Muylaque.	**Diseño**: Descriptivo - Transversal **Población:** Zona de bosque relicto de la especie de *Polylepis* spp. "Queñoa" del centro poblado de Muylaque, distrito San Cristóbal, provincia de Mariscal Nieto-Moquegua, localizada a una altitud comprendida entre los 3700 a 4300 m.s.n.m. **Técnicas y métodos de investigación** Caracterizar y describir la zona de bosque relicto de *Polylepis* spp. "Queñoa" de la zona de estudio.
Problemas específicos • No se conoce la cantidad de carbono almacenado por especie de *Polylepis* spp. "Queñoa" en la zona de bosque relicto área de estudio.	**Objetivos específicos** 1. Cuantificar el Carbono almacenado entre 3700 a 4300 m.s.n.m. en el bosque relicto de *Polylepis* spp. "Queñoa" del centro poblado Muylaque,			Cuantificar la biomasa total de la zona de bosque relicto de la especie de *Polylepis* spp.	Densidad Básica Promedio DAP (T/ha) Biomasa aérea total (Bt)	El método de muestreo que se plantea por cada zona de muestreo son parcelas de 20 x 20 m. a fin de ser representativo para la zona en estudio se

ANEXO 2: Mapas de área de estudio




N
W
E
S
SAN CRISTOBAL
Puquina
Carumas
Moquegua
Ilo
0 5 10 20 30 40
Miles
Leyenda
ZONA DE ESTUDIO
DISTRITOS
CARUMAS
CUCHUMBAYA
MOQUEGUA
SAMEGUA
SAN CRISTOBAL
TORATA
AREQUIPA
PUNO
MOQUEGUA
TACNA
Quito
Ecuador
Cuenca
Lima
La Paz
Cochabamba
Oruro

ANEXO 2: Galería de fotos



Imagen 01 y 02: Recolección de *Polylepis* spp.





Imagen 03 y 04:
Georreferenciación de *Polylepis* spp.



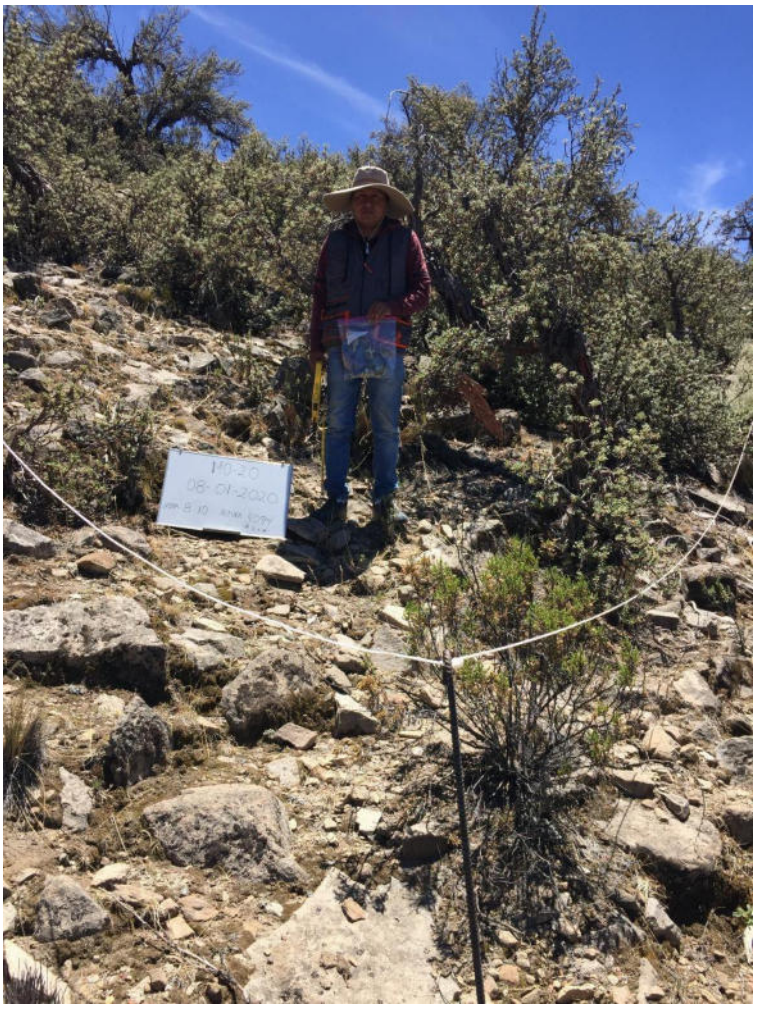


Imagen 05 y 06: Georreferenciación de *Polylepis* spp.

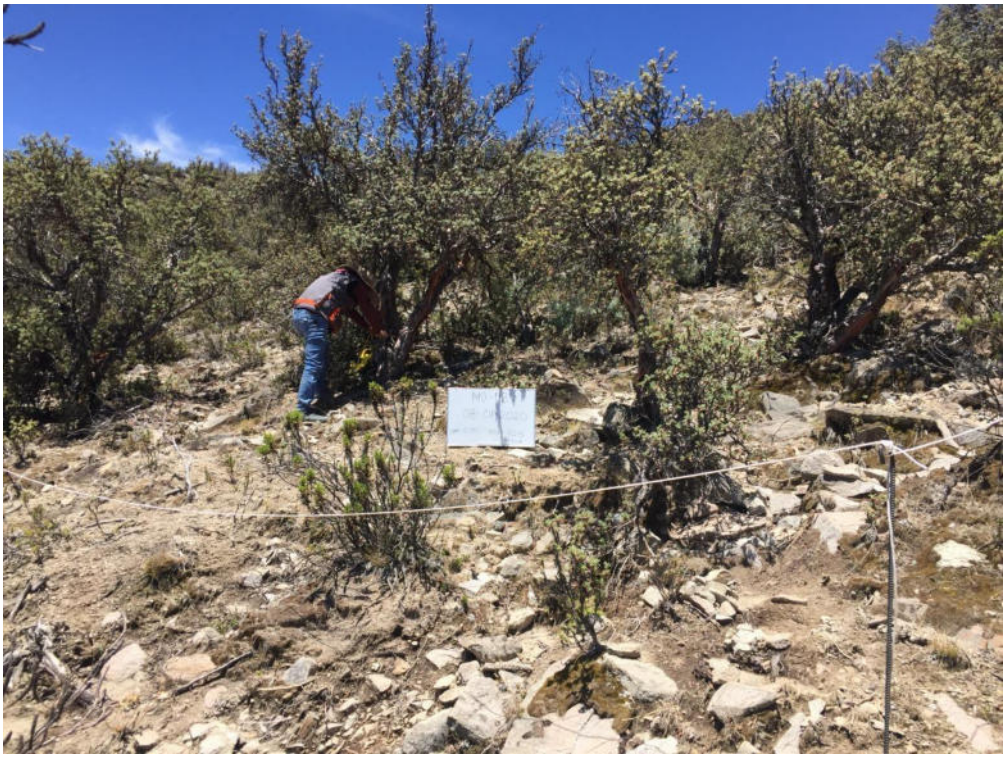




Imagen 07 y 08:
Recolección de
Polylepis spp.







Imagen 09 y 10:
Recolección de *Polylepis* spp.

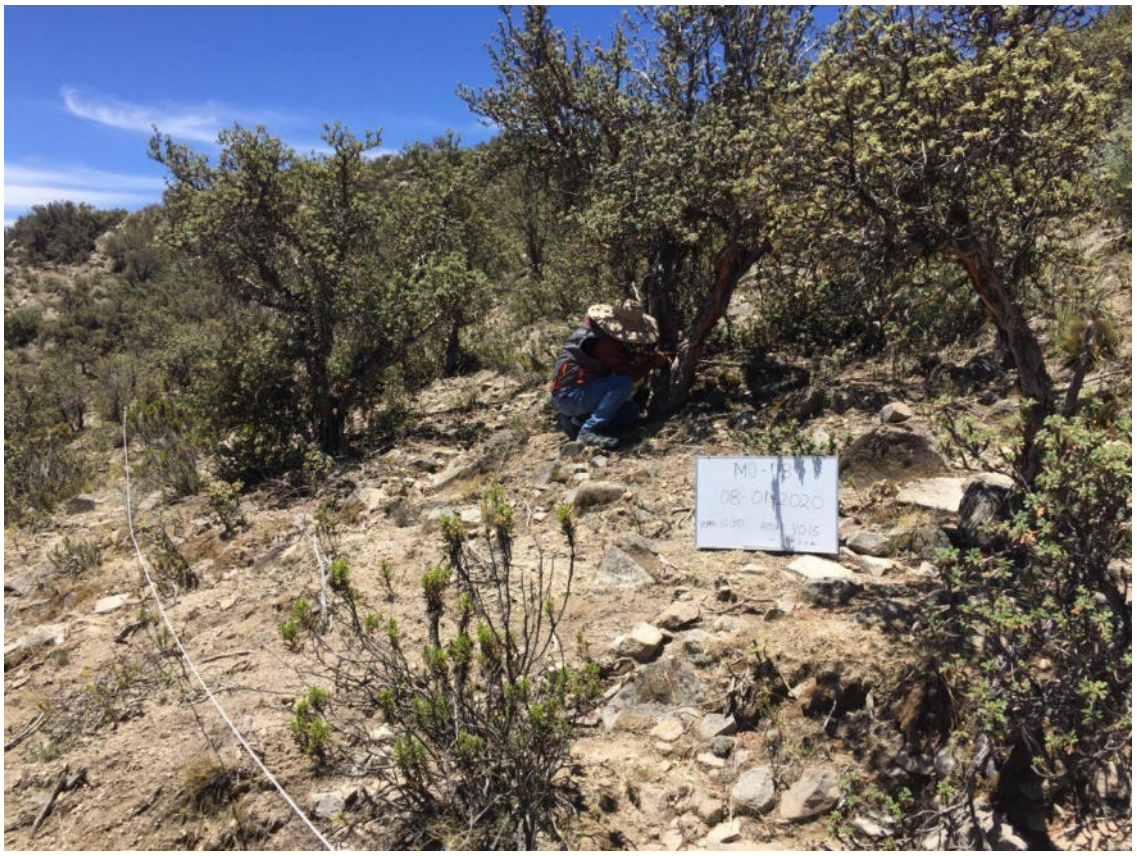


Imagen 11 y 12: Recolección de *Polylepis* spp.



Imagen 13: Recolección de *Polylepis* spp.



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582 **www.laboratoriosanaliticosdelsur.com**

INFORME DE ENSAYO LAS-21-001987

Fecha de emisión: *12/04/2021*

Hoja de datos

Señores: Omer Rumer Córdova Córdova
Dirección: Ciudad Nueva Bloque H 56, Dpto 03, Provincia Ilo, Departamento Moquegua.
Atención: Omer Rumer Córdova Córdova
Proyecto: "Cuantificación del contenido de carbono y biomasa de Polylepis spp. "Queñoa".

Número de muestras: 20 muestras
Muestreo realizado por: Omer Rumer Córdova Córdova
Registro de muestreo: 451-21
Procedimiento Aplicado: Muestreado por el cliente.
Fecha de Recepción: 30/03/2021
Fecha de Ensayo: 10/04/2021
Condiciones de recepción de la muestra: Muestras debidamente conservadas.
Observaciones: Datos proporcionados por el cliente.

Métodos de ensayos aplicados

*715 Ensayo de Materia Orgánica por Fotometría
*999 Cálculo de Carbono Orgánico de la muestra (58% de la M.O.)

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Leslie A. Torres Calizaya
INGENIERO QUIMICO
C.I.P. 128629

"[a]<Valor numérico" =Límite de detección del método," <Valor Numérico" =Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección del contenido del presente documento lo anula

Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582 **www.laboratoriosanaliticosdelsur.com**

INFORME DE ENSAYO LAS-21-00053

Fecha de emisión: *28/01/2021*

Hoja de resultados

Muestra	Nombre de muestra	Descrip. de muestra	Procedencia de la muestra	715 MO	999 C (%)
				%	%
SA21000151	Polylepis 001	Sustrato de Polylepis	Muylaque (3695 msnm)	0.82	0.48
SA21000152	Polylepis 002	Sustrato de Polylepis	Muylaque (3702 msnm)	0.75	0.44
SA21000153	Polylepis 003	Sustrato de Polylepis	Muylaque (3770 msnm)	0.94	0.55
SA21000154	Polylepis 004	Sustrato de Polylepis	Muylaque (3796 msnm)	0.92	0.53
SA21000155	Polylepis 005	Sustrato de Polylepis	Muylaque (3868 msnm)	0.85	0.49
SA21000156	Polylepis 006	Sustrato de Polylepis	Muylaque (3875 msnm)	0.94	0.55
SA21000157	Polylepis 007	Sustrato de Polylepis	Muylaque (3947 msnm)	0.83	0.48
SA21000158	Polylepis 008	Sustrato de Polylepis	Muylaque (4015 msnm)	0.76	0.44
SA21000159	Polylepis 009	Sustrato de Polylepis	Muylaque (4047 msnm)	0.83	0.48
SA21000160	Polylepis 010	Sustrato de Polylepis	Muylaque (4185 msnm)	0.82	0.48
SA21000161	Polylepis 011	Sustrato de Polylepis	Muylaque (3933 msnm)	0.83	0.48
SA21000162	Polylepis 012	Sustrato de Polylepis	Muylaque (3974 msnm)	0.94	0.55
SA21000163	Polylepis 013	Sustrato de Polylepis	Muylaque (4020 msnm)	0.91	0.53
SA21000164	Polylepis 014	Sustrato de Polylepis	Muylaque (4260 msnm)	0.87	0.50
SA21000165	Polylepis 015	Sustrato de Polylepis	Muylaque (4090 msnm)	0.92	0.53
SA21000166	Polylepis 016	Sustrato de Polylepis	Muylaque (4167 msnm)	0.86	0.50
SA21000167	Polylepis 017	Sustrato de Polylepis	Muylaque (4197 msnm)	0.79	0.46
SA21000168	Polylepis 018	Sustrato de Polylepis	Muylaque (4015 msnm)	0.78	0.45
SA21000169	Polylepis 019	Sustrato de Polylepis	Muylaque (4281 msnm)	0.84	0.49
SA21000170	Polylepis 020	Sustrato de Polylepis	Muylaque (4094 msnm)	0.87	0.50

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Leslie A. Torres Calizaya
INGENIERO QUIMICO
C.I.P. 128629

"[a]<Valor numérico" =Límite de detección del método," <Valor Numérico" =Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección del contenido del presente documento lo anula

RESOLUCIÓN DE DIRECCIÓN GENERAL Nº 458-2019-MINAGRI-SERFOR-DGGSPFFS

Lima, 30 SEP. 2019

MATERIA: Solicitud de Autorización con fines de investigación de flora silvestre,

ADMINISTRADO: **OMER RUMER CÓRDOVA CÓRDOVA**

VISTOS:

La Carta s/n, recibida por la Administración Técnica Forestal y de Fauna Silvestre Moquegua Tacna con CUT: 00033009-2019 de fecha 10 de julio de 2019 (fs. 01), conteniendo la solicitud de autorización con fines de investigación científica fuera de Áreas Naturales Protegidas, con colecta de flora, presentado por el señor **OMER RUMER CÓRDOVA CÓRDOVA**, identificado con DNI N° 46664099 (en adelante, el administrado), y el Informe Técnico Nº 00766-2019-MINAGRI-SERFOR-DGGSPFFS/DGSPF de fecha 19 de setiembre de 2019 (fs. 19-22), y;

CONSIDERANDO:

I. ANTECEDENTES

1. Mediante Solicitud s/n, recibida por la Administración Técnica Forestal y de Fauna Silvestre de Moquegua Tacna con CUT: 00033009-2019 de fecha 10 de julio de 2019 (fs. 01), el administrado, solicita a la Dirección General de Gestión Sostenible del Patrimonio Forestal y de Fauna Silvestre la autorización con fines de investigación científica fuera de Áreas Naturales Protegidas, con colecta de flora, como parte del proyecto "*Cuantificación del contenido de carbono y biomasa de Polylepis spp. "Queñoa" entre los 3 700 a 4 300 m.s.n.m. en el bosque relicto del centro poblado Muylaque, distrito San Cristóbal, provincia Mariscal Nieto, Moquegua*", a desarrollarse en el distrito de San Cristóbal, provincia de Mariscal Nieto, departamento de Moquegua.

II. MARCO LEGAL GENERAL

2. Constitución Política del Perú.

3. Ley Nº 29763, Ley Forestal y de Fauna Silvestre y su modificatoria[1] y el Reglamento para la Gestión Forestal, aprobado por Decreto Supremo N° 018-2015-MINAGRI.

---

[1] Decreto Legislativo Nº 1220. Decreto Legislativo que establece medidas para la lucha contra la tala ilegal, publicado en el Diario Oficial El Peruano el 24 de setiembre de 2015.

"UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA"

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

FORMATO DE AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UNAM

Formulario de autorización para la publicación electrónica en la página web del Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Moquegua, de conformidad con la Ley N° 30035 Ley que regula el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto y Resolución de Comisión Organizadora N° 041-2022-UNAM que aprueba el Reglamento que regula el Repositorio Institucional Digital de la UNAM.

1. DATOS DEL AUTOR

Nombres y Apellidos : Omer Rumer Córdova Córdova
DNI/Carnet de Extranjería/Pasaporte N° : 46664099
Correo electrónico : Omer.Ccordova@gmail.com
Teléfono/Celular : 940873643

2. GRADO, TITULO O ESPECIALIZACIÓN (Marque con una X)

Bachiller	Título Profesional	Magister	Doctor	Segunda Especialidad
	x			

3. TIPO DE PUBLICACIÓN (Marque con una X)

a) Articulo ( )
b) Tesis de pregrado (x)
c) Tesis de Maestría ( )
d) Tesis de Doctorado ( )
e) Monografía ( )
f) Reporte de caso científico o hallazgos ( )
g) Libro ( )
h) Parte de un libro ( )
i) Revisión ( )
j) Conferencia ( )
k) Presentación ( )
l) Artículo preliminar ( )
m) Articulo antes de ser publicado ( )
n) Artículo de prensa ( )
o) Documentos internos ( )
p) Imagen ( )
q) Documentos técnicos ( )
r) Ponencias presentadas en eventos científicos (Jornada, Congreso, Simposio Conferencias, etc.) ( )
s) Informes de suficiencia profesional ( )
t) Patentes producidas por académicos/as ( )

4. TIPO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (Marque con una X)

a) Tesis (x)
b) Trabajo de Investigación ( )
c) Trabajo de suficiencia profesional ( )
d) Trabajo académico ( )

5. DATOS DE LA PUBLICACION

a) Título : CUANTIFICACIÓN DEL CONTENIDO DE CARBONO Y BIOMASA DE Polylepis spp. "QUEÑOA" ENTRE LOS 3700 A 4300 M.S.N.M. EN EL BOSQUE RELICTO DEL CENTRO POBLADO MUYLAQUE, DISTRITO SAN CRISTÓBAL, PROVINCIA MARISCAL NIETO, MOQUEGUA".
b) Campo del conocimiento OCDE (Indicar el código de clasificación OCDE de la obra : https://catalogos.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde_ford.html) : 2.07.00
c) Fecha de publicación : 2022

6. DATOS DEL ASESOR:

a) Nombres y Apellidos : Milko Raul Rivera Campano
b) DNI/Pasaporte/Cédula : 29414070
c) ORCID : 0000-0002-4313-037X

FIRMA :

DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 46664099
NOMBRES Y APELLIDOS : Omer Rumer Córdova Córdova

"UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA"

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

LICENCIAS

Licencia Estándar

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional Digital de la UNAM.

Con la autorización de depósito da mi trabajo de investigación, otorgo a la Universidad Nacional de Moquegua, una Licencia No Exclusiva para reproducir. distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi trabajo de investigación (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios provistos por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Institucional Digital de la UNAM, Colección de Tesis, entre otros, en el Perú y en el extranjero, por el tiempo y veces que considere necesarias, y libre de remuneraciones.

En virtud de dicha Licencia, la UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA, podrá reproducir mi trabajo de investigación en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con los propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que el trabajo de investigación es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, o coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicho trabajo de investigación no infringe derechos de autor de terceras personas.

La UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA consignara el nombre del/los autor/es del trabajo de investigación, y no le hará ninguna modificación más de la permitida en la presente licencia.

Autorizo el depósito (marque con una X).

(X) **SI autorizo que se deposite inmediatamente.**

FIRMA : .....

DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 46664099

NOMBRES Y APELLIDOS : Omer Rumer Córdova Córdova

FECHA : 08 de agosto del 2022

