

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Una Institución Adventista

**Determinación de la captura de carbono en suelos forestales de
queñual (*Polylepis sp.*) en la comunidad de Quello Quello,
Región Puno, 2018**

Por:

Wendy Anais Sullca Otazú

Asesor:

MSc. Jael Calla Calla

Juliaca, diciembre de 2018

**DECLARACIÓN JURADA
DE AUTORÍA DEL INFORME DE TESIS**

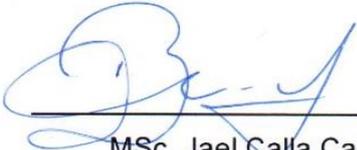
MSc. Jael Calla Calla, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: **“Determinación de la captura de carbono en suelos forestales de queñual (*Polylepis sp.*) en la comunidad de Quello Quello, Región Puno, 2018”**. Constituye la memoria que presenta la bachiller Wendy Anais Sullca Otazú para aspirar al título Profesional de Ingeniero Ambiental, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en Juliaca, a los 31 días del mes de diciembre del año 2018.



MSc. Jael Calla Calla

Determinación de la captura de carbono en suelos forestales de
queñual (*Polylepis sp.*) en la comunidad de Quello Quello,
Región Puno, 2018

TESIS

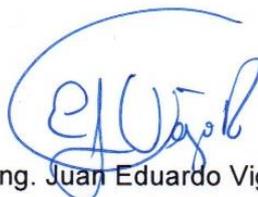
Presentada para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental

JURADO CALIFICADOR



MSc. Rose Adeline Callata Chura

Presidente



Ing. Juan Eduardo Vigo Rivera

Secretario



Ing. Verónica Haydeé Pari Mamani

Vocal



MSc. Jael Calla Calla

Asesor

Juliaca, 31 de diciembre de 2018

DEDICATORIA

A mis padres: Ana María y Jorge German, padres amorosos, quienes velaron por mí, brindándome su apoyo incondicional y sus sabios consejos que me dirigieron por el camino correcto.

A mi hermano, Franco, por ser mi modelo a seguir en mi vida y por su confianza puesta en mí.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por haberme regalado la vida y por mi hermosa familia.

A la Universidad Peruana Unión, por mi formación académica, espiritual y mental; englobando una educación integral para ser una profesional de éxito.

A mis padres, por el apoyo financiero durante el transcurso de mi carrera.

Al asesor MSc. Jael Calla Calla por su comprensión, paciencia y preocupación, durante el desarrollo de esta investigación.

A mis amigas y compañeros, quienes me acompañaron en los momentos más difíciles y divertidos durante mi etapa universitaria.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|------|
| RESUMEN | xiii |
| ABSTRACT | xiv |
| CAPÍTULO I: EL PROBLEMA | 15 |
| 1.1. Identificación del problema | 15 |
| 1.2. Justificación | 16 |
| 1.3. Presuposición filosófica..... | 17 |
| 1.4. Objetivos..... | 18 |
| 1.4.1. Objetivo general..... | 18 |
| 1.4.2. Objetivos específicos | 18 |
| CAPÍTULO II: REVISIÓN DE LITERATURA..... | 19 |
| 2.1. Antecedentes..... | 19 |
| 2.1.1. Antecedentes Internacionales | 19 |
| 2.1.2. Antecedentes nacionales | 21 |
| 2.1.3. Antecedentes locales..... | 22 |
| 2.2. Revisión de literatura | 23 |
| 2.2.1. Cambio climático..... | 23 |
| 2.2.2. Efecto invernadero..... | 24 |
| 2.2.2.1.Gases del efecto invernadero..... | 24 |
| 2.2.3. Captura de carbono | 25 |
| 2.2.4. Carbono orgánico del suelo | 26 |
| 2.2.4.1.Ciclo del carbono..... | 27 |
| 2.2.5. Servicios ambientales del suelo | 29 |
| 2.2.6. Suelo | 30 |
| 2.2.7. Propiedades físico químicas de los suelos | 31 |

| | |
|---|-----------|
| 2.2.7.1. Parámetros físicos..... | 31 |
| 2.2.7.2. Parámetros químicos..... | 31 |
| 2.2.8. Bosques andinos | 32 |
| 2.2.8.1. Queñual Polylepis..... | 32 |
| 2.2.8.2. Características generales..... | 33 |
| 2.2.8.3. Principales usos del Queñual | 34 |
| 2.2.9. Pasturas | 34 |
| 2.2.9.1. Tipos de pasturas andinas | 35 |
| 2.3. Marco legal | 35 |
| CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS..... | 37 |
| 3.1. Ámbito de estudio..... | 37 |
| 3.1.1. Localización geográfica..... | 37 |
| 3.1.2. Ubicación política..... | 37 |
| 3.1.3. Accesibilidad | 37 |
| 3.2. Tipo de investigación..... | 38 |
| 3.2.1. Variables de la investigación | 38 |
| 3.3. Diseño de la investigación | 38 |
| 3.4. Materiales y equipos | 38 |
| 3.5. Procedimiento | 39 |
| 3.5.1. Muestreo de suelos | 39 |
| 3.5.2. Análisis para los parámetros físicos y químicos..... | 39 |
| 3.6. Flujograma del desarrollo del proyecto | 43 |
| 3.7. Análisis estadístico | 43 |
| CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIONES | 44 |
| 4.1. Análisis de datos | 44 |

| | |
|--|----|
| 4.1.1. Captura de carbono (COS) en los sistemas de queñual y pasturas..... | 45 |
| 4.1.2. Captura de carbono (COS) en las profundidades de 20 y 40 cm..... | 48 |
| CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 51 |
| 5.1. Conclusiones..... | 51 |
| 5.2. Recomendaciones | 51 |
| REFERENCIAS | 53 |
| ANEXOS | 58 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Contenido de carbono orgánico e inorgánico a una profundidad de 1 metro..... | 26 |
| Tabla 2. Clasificación botánica del queñual..... | 33 |
| Tabla 3. Coordenadas UTM del lugar de estudio..... | 37 |
| Tabla 4. Lista de materiales utilizados..... | 38 |
| Tabla 5. Coordenadas UTM de los puntos de muestreo..... | 39 |
| Tabla 6. Parámetros físicos..... | 39 |
| Tabla 7. Valores de pH para suelos..... | 40 |
| Tabla 8. Valores de conductividad eléctrica..... | 40 |
| Tabla 9. Valores de materia orgánica..... | 41 |
| Tabla 10. Valores del carbono orgánico..... | 42 |
| Tabla 11. Normalidad para los sistemas..... | 45 |
| Tabla 12. Varianza del sistema..... | 46 |
| Tabla 13. Análisis de Varianza para tC/ha - Suma de Cuadrados..... | 46 |
| Tabla 14. Prueba de medias para los sistemas..... | 47 |
| Tabla 15. Normalidad para la profundidad..... | 48 |
| Tabla 16. Varianza de la profundidad..... | 49 |
| Tabla 17. Prueba de medias para la profundidad..... | 49 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Mapa de las reservas de carbono orgánico en el mundo..... | 27 |
| Figura 2. Esquema del procedimiento. | 43 |
| Figura 3. Promedio del COS (tC/ha) en sistemas de uso de suelo. | 47 |
| Figura 4. Promedio del COS (tC/ha) en las profundidades del suelo..... | 50 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | |
|--|----|
| Anexo A. Ubicación geográfica del área de estudio | 59 |
| Anexo B. Características fisicoquímicas de los sistemas de queñual..... | 60 |
| Anexo C. Características fisicoquímicas de los sistemas de pasturas | 60 |
| Anexo D. Informe de Resultado de laboratorio de ingeniería ambiental | 61 |
| Anexo E. Informe de resultados de laboratorio para materia orgánica | 62 |
| Anexo F. Ficha de muestreo de suelos | 63 |
| Anexo G. Modelo del rotulo de la muestra | 64 |
| Anexo H. Panel fotográfico | 64 |

SÍMBOLOS USADOS

| | | |
|-------------------------|---|---|
| COS | : | Carbono orgánico del suelo |
| COT | : | Carbono orgánico total |
| CO₂ | : | Dióxido de carbono. |
| CO% | : | Porcentaje de carbono orgánico |
| FAO | : | Food and Agriculture Organization |
| IPCC | : | Intergovernmental Panel on Climate Change |
| MO% | : | Porcentaje de materia orgánica |
| MINAN | : | Ministerio del Ambiente. |
| USDA | : | United States Department of Agriculture |
| CE | : | Conductividad eléctrica |
| pH | : | Potencial de hidrogeno |
| da | : | Densidad aparente |
| ha | : | hectárea |
| g/cm³ | : | gramo por centímetro cubico |
| tC | : | tonelada de carbono |

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue determinar la captura de carbono en suelos forestales de queñual (*Polylepis sp.*) en la región de Puno. La investigación fue del tipo no experimental, transaccional descriptiva. Se evaluó la densidad aparente, materia orgánica y el carbono orgánico del suelo (COS), el muestreo se realizó en cinco puntos de forma aleatoria en sistemas de suelos de queñual y pasturas, este último como grupo control, en dos profundidades de 0-20 y 20-40 cm. Para el análisis estadístico se aplicó un análisis factorial de 2×2, obteniéndose como resultado un $p=0.0022$, y un $p=0.2527$ indicando que existe una diferencia significativa en relación a los sistemas de uso de suelos, pero no existe significancia en las profundidades, el resultado del COS en promedio, dio a conocer en el queñual un total de 137.98 tC/ha y 50.85 tC/ha en las pasturas. Se concluyó que los suelos forestales de queñual (*Polylepis sp.*) presentan una mayor capacidad de captura de carbono, en comparación a las pasturas, factor esencial para reducir los gases del efecto invernadero.

Palabras clave: Bosque de queñual, cambio climático, carbono orgánico del suelo (COS), captura de carbono orgánico.

ABSTRACT

The objective of the present investigation was to determine the carbon sequestration in queñual forest soils (*Polylepis sp.*) In the Region Puno. The investigation was of the non-experimental, descriptive transactional type. The apparent density, organic matter and organic carbon of the soil (SOC) were evaluated, the sampling was carried out in five points in a random way in queñual soil systems and pastures, the latter as a control group, in two depths of 0-20 and 20-40 cm. For the statistical analysis a factorial analysis of 2×2 was applied, obtaining as a result a $p = 0.0022$, and a $p = 0.2527$, indicating that there is a significant difference in relation to the systems of land use, but there is no significance in the depths, the result of the SOC on average, revealed a total of 137.98 tC/ha in the queñual and 50.85 tC/ha in the pastures. It was concluded that queñual forest soils (*Polylepis sp.*) Have a higher carbon capture capacity, compared to pastures, an essential factor to reduce greenhouse gases.

Keywords: Queñual forest, climate change, soil organic carbon (SOC), organic carbon capture.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1. Identificación del problema

El cambio climático es un problema originado por los gases persistentes del efecto invernadero tales como: el dióxido de carbono, metano y óxido nitroso, ha ocasionado gran preocupación, algunos científicos revelan que de continuar así, el efecto podría no revertirse, considerando que pueden llegar a permanecer en el aire décadas incluso siglos. (Ministerio de Agricultura, 2016). A causa de esto, las instituciones internacionales han mostrado una gran preocupación referente al cambio climático y los suelos, la Conferencia de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, realizada en Río de Janeiro, propuso una iniciativa que conlleva hacer el uso responsable y de forma sostenible de los suelos y la resiliencia de este recurso, debido a la pérdida cuestionable y rápida de este recurso. (FAO, 2001). El suelo es uno de los componentes naturales que no se le presta la debida atención siendo vulnerable al cambio climático, se le considera el segundo reservorio de materia orgánica, después de los océanos, se estima que solo en la Unión Europea hay más de 70 000 millones de toneladas de carbono orgánico en el suelo (Comunidades Europeas, 2009).

El Perú está considerado como el tercer país más vulnerable frente al cambio climático por nuestra amplia biodiversidad, tenemos 28 climas de los 35 en total identificados a nivel mundial, tenemos cerca del 71% de glaciares tropicales del mundo, pero estos se han perdido en los últimos 30 años, estos se encuentran ubicados en la sierra en donde vive la población más pobre cuyo único solvento es la agricultura (MINAM, 2009). De ahí la importancia de

valorar el carbono orgánico del suelo, este es un recurso necesario para el funcionamiento de los diversos ecosistemas, producción de alimentos, reservas de agua y para mitigar el calentamiento global, a nivel mundial se estima que la biodiversidad de los suelos aportan cerca de 1.500 y 13.000 miles de millones dólares anuales, pero a pesar de estos múltiples beneficios hoy en día los suelos son explotados de forma alarmante, ocasionando la pérdida de nutrientes, interrupción en el ciclo del agua y el incremento de los gases del efecto invernadero (Laban, Metternicht, & Davies Jonathan, 2018).

Puno es una ciudad dedicada a la producción agrícola, de productos nativos, a pesar de encontrarnos a una altura de más de 3 800 m.s.n.m, sin embargo, no contamos con una abundancia en recursos forestales que puedan a llegar a contrarrestar las cantidades de gases de efecto invernadero producidas en la región, y la explotación del recurso del suelo puede conllevar a la erradicación de las reservas de COS.

1.2. Justificación

Esta investigación pretende dar a conocer la capacidad del queñual en captura de carbono (Carbono orgánico del suelo), factor primordial en la reducción de los gases de efecto invernadero, de forma específica el dióxido de carbono.

Aportará a la comunidad científica poniendo en conocimiento el estado en el que se encuentran los suelos forestales de esta especie, para abordar en las futuras investigaciones y ampliando el conocimiento.

De igual forma, nuestra sociedad puneña se verá beneficiada, dada la vulnerabilidad que enfrenta debido a los factores climáticos, esto generará una visión integral a los problemas del cambio climático y la preservación de los ecosistemas nativos de la zona.

1.3. Presuposición filosófica

En el libro de Génesis 1:26, Dios dijo: “Hagamos al hombre a nuestra imagen, conforme a nuestra semejanza; y señoree en los peces del mar, en las aves de los cielos, en las bestias, en toda la tierra, y en todo animal que se arrastra sobre la tierra”. Cuando Dios colocó al hombre en el huerto del Edén fue para preservar su creación, utilizando solo lo necesario para nuestra supervivencia, pero esta realidad se ve distorsionada, estamos agotando los recursos naturales, extinguiendo las especies, sobrexplotando los suelos y contaminándolos poniendo en peligro el futuro de las generaciones jóvenes.

En el huerto del Edén la creación era perfecta en todos los sentidos, pero con la introducción del pecado, corrompió al hombre, del mismo modo hoy en día nuestra sociedad actual ha dejado de lado la ley de Dios, adentrándose en una cultura consumista y egoísta.

La hermana White (1971) escribió en su libro *Consejo para los Maestros* la siguiente reflexión.

Por qué revistió Él la tierra y los árboles de verde vivo, en vez de un marrón oscuro y sombrío? ¿No es acaso para que fuesen más agradables a la vista? ¿Y no se llenará nuestro corazón de gratitud al ver las evidencias de su sabiduría y amor en las maravillas de su creación? (p.151).

Esta reflexión fortalece lo escrito en la biblia, toda la creación nos fue dada para cuidarla y para engrandecer la gloria de Dios, porque todo lo creado es para maravillarnos y gozarnos de las cosas perfectas creadas por nuestro Dios y para recordar que toda su perfección se ve reflejada en nosotros y, por ende, nos corresponde el cuidarla y respetarla.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- Determinar la captura de carbono en suelos forestales de queñual (*Polylepis sp.*) en la comunidad de Quello Quello, Región Puno, 2018.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar la captura de carbono entre sistemas de queñual y pasturas.
- Determinar la captura de carbono entre profundidades de 20 y 40 cm por cada sistema de uso de suelo.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Yazdanshenas, Tavili, Jafari & Shafeian (2018) realizaron su investigación en la provincia de Isfahan, Irán , cuyo objetivo fue, “investigar la relación entre el carbono del suelo con la vegetación y la superficie del suelo con atributos en los pastizales del oeste de la provincia de Isfahán, Irán ”(p.140). Utilizaron el método de Walkley y Black para evaluar el carbono orgánico del suelo (COS) a una profundidad de 0-20 y 20-75 cm, además de analizar otros parámetros: pH, carbonato de calcio, nitrógeno, potasio y fosforo; los resultados de COS fueron de 340 kg/ha ,182 kg/ha y 173 kg/ha, respectivamente, se concluyó que las especies de plantas de la zona tienen un alto potencial para el almacenamiento de carbono en los suelos, pero esta capacidad puede verse influenciado por la especie de planta y las características físicas del suelo.

Ajami, Heidari, Khormali, Gorji & Ayoubi (2016) investigaron, al norte de Irán, teniendo como objetivo principal “investigar la densidad del Carbono orgánico del suelo por los diferentes usos del suelo y estimar el almacenamiento de COS en todo el área de estudio” (p.2). Se tomó un total de 1638 muestras a una profundidad de 30 cm y 100 cm, aplicaron el método de Walkley y Black, obteniendo el resultado de mayor COS en la primera capa a un total de 54.4% equivalente a 74,907.94 Mg y un 52.5% equivalente a 39,325.55 Mg. Se concluyó que COS se acumula en mayor cantidad en la primera capa, pero hubo grandes

pérdidas de este recurso en los últimos años debido a la deforestación y las actividades agrícolas, que ocasionan una pérdida de COS de forma rápida.

Bojko & Kabala (2017) realizaron una investigación en las montañas Karkonosze, en Europa Central, tuvo como objetivo, “determinar los grupos de carbono orgánico del suelo (COS) en los suelos de montaña en relación con el clima y la gradiente de altitud, considerando la zona de vegetación y el impacto humano en la cubierta vegetal” (p. 210) el medio aplicado consistió en la toma de muestras de 52 perfiles de suelos y cinco tipos de vegetación, se utilizó el método de secado y pesaje de Van Reeuwijk 2002 . Los resultados fueron que el contenido de COS, varía en el rango de 198–525 g kg⁻¹ (370 g kg⁻¹ en promedio) en la capa superficial, 6.5-190 g kg⁻¹ (49.3 g kg⁻¹ en promedio) es decir el contenido de COS disminuye significativamente pero a una profundidad mayor de 50 a 100 cm el COS era relativamente alta, se concluye que el COS está relacionado directamente con el uso del suelo y el tipo de vegetación.

Okebalama, Igwe & Okolo (2017) realizaron su investigación en Nigeria, teniendo como objetivo: “Cuantificar los stocks de COS a lo largo de las profundidades de la capa superior del suelo y estimar su distribución en suelos cultivados y adyacentes no cultivados de algunas localidades al sur de Nigeria” (p. 495). Los medios utilizados fueron : Muestras evaluadas desde 0-10 , 10-20 y 20-30 cm , y los método de Kjendal y Walkley Black , los resultados obtenidos fueron ;los valores de COS, tuvo variaciones con la profundidad y fue entre :8.30 y 18.00 g / kg, 5.40 a 16.90 g / kg y 3.90 a 10.7 g / kg, respectivamente, resaltando la profundidad de 0-10 cm donde hubo una mayor concentración del COS, de este modo, se llegó a la conclusión siguiente: “Los niveles y la distribución de carbono orgánico en los suelos variaron según las ubicaciones, la profundidad del suelo y las opciones de uso del suelo.”(p.501).

Villegas (2014) tuvo como objetivo principal: “Estimar el contenido de carbono orgánico en suelo del Altiplano Potosino Oeste en varias topofarmas y tipos de vegetación” (p.2) se realizó un muestreo de 41 sitios, considerando la topografía y la vegetación, a una profundidad de 15-35 cm; para el análisis se utilizaron tres métodos: Walkley y Black, el analizador automático y carbono orgánico por ignición ; los resultados obtenidos fueron, el contenido de carbono por ignición fue de 148.09 T ha^{-1} , para el carbono orgánico total (COT) medido por el analizador automático fue de 38.10 T ha^{-1} y para el carbono orgánico oxidable fue de 37.18 T ha^{-1} . Se concluyó que el método de Walkey Black percibió que las concentraciones de carbono orgánico se ven influenciadas por el tipo de vegetación, a diferencia de los demás métodos, además, “las concentraciones varían según el tipo de vegetación y las reservas de carbono no se ven influenciadas por la topografía” (p.28).

Quiroz (2013) realizó una investigación en la localidad de Cebatí, México tuvo como objetivo principal, “estimar la cantidad de carbono en diferentes perfiles del suelo y contrastarlos para la determinación de los niveles de captura de carbono orgánico en suelos ocupados por especie arbórea” (p.7). El muestreo se realizó en un perfil de 1 m^2 a una profundidad de 60 cm, se empleó el método de Walkley y Black para obtener el carbono orgánico, se tuvo como resultado: “La especie arbórea de encino tiene mayor contenido de carbono en suelo con 196.367 tC/ha , se concluyó entonces que la mayor reserva de carbono acumulado se encuentra en los primeros 25 cm, disminuyendo con el aumento de la profundidad del suelo.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Sarcca (2017) realizó una investigación en los bosques de Polylepis Pichu Pichu en el departamento de Arequipa, tuvo como objetivo: “Estimar la densidad y stock de carbono almacenado en el suelo”(p.16). Se realizó un muestreo de 1 m^2 a una profundidad de 10 cm

en tres estratos. El resultado en promedio para el estrato 1 fue de 21.39 tnC/ha⁻¹, para el estrato fue de 22.21 tnC/ha⁻¹ y el estrato 3 con 27.92 tnC/ha⁻¹. En conclusión, los bosques de *Polylepis* almacenan gran cantidad de carbono orgánico y brinda servicios ecosistémicos que tienen un gran valor económico.

Medrano, Chupan & Vila (2012) tuvieron como objetivo: “evaluar la cantidad de carbono que almacenan las especies predominantes de flora del lago Chinchaycocha”(p.110). Los medios aplicados fueron la observación y el estudio analítico; se estudiaron tres grupos y se dividieron en 20 parcelas en pajonales, 15 para bofedales y 31 para totorales, la recolección de las muestras se enfocó en la biomasa sin embargo, se tomaron muestras de los suelos en una profundidad de 20 cm, los resultados muestran mayor contenido de materia orgánica en los suelos de pajonales, por encima de los totorales, esto debido a la estructura radicular de estas plantas; se concluyó que los ecosistemas de pajonales presentan mayor carbono almacenado en los suelos.

Dávila, Retamozo & Suarez (2010) este estudio se realizó en el valle del Mantaro, cuyo objetivo fue de evaluar “las variaciones en el contenido de carbono y flujo de CO₂ en los suelos que hay en tres bosques de diferentes especies forestales característicos de la región andina”(p.28). Se evaluó 3 especies (eucalipto, pino y queñual), emplearon un “medidor de cámara cerrada, sistemas IRGA y sensores digitales Thermometer and Hygrometer”(p.28). Se obtuvo como resultado mayor cantidad de carbono en los bosques de eucalipto con un total de 234,22 tC/ha, seguido del bosque de queñual con 156,45 tC/ha y los bosques de pinos con 141,50 tC/ha. Se concluyó que si hubo diferencia significativa entre las especies.

2.1.3. Antecedentes locales

Calla (2017) realizó una investigación en la comunidad de Kocan, cuyo objetivo principal fue “determinar el impacto negativo del eucalipto sobre la materia orgánica del suelo por

comparación de pasturas” (p.32), se aplicó el método de Walkley Black para la materia orgánica, se obtuvo como resultado un total de 1.92 % de MO para el eucalipto y 2.13 % para el pasto. La conclusión dada por el autor fue “las plantaciones forestales de eucalipto no generan impacto negativo sobre la cantidad de materia orgánica” (p.71).

2.2. Revisión de literatura

2.2.1. Cambio climático

El cambio climático se origina por el incremento de los gases del efecto invernadero entre ellos el CO₂, que influyen en el clima alrededor de la tierra, siendo este un factor relacionado directamente en la conservación y el desarrollo de los bosques alrededor del mundo. El efecto invernadero es un proceso natural cuya función principal es la de retener calor, mediante las radiaciones solares emitidas a la atmosfera que cuando atraviesan la tierra para calentar la superficie terrestre y seguir con los procesos naturales de los gases, pero debido al desequilibrio del CO₂ conlleva a la alteración del clima (Ciesla, 1996).

La IPCC (2013) considera al cambio climático como la variación del estado del clima medido a través de pruebas estadísticas que evalúan las variaciones de sus propiedades en un largo periodo de tiempo, este proceso puede darse de forma natural o antropogénicas.

El cambio climático ya va produciendo múltiples estragos a nivel internacional y nacional pero las Comunidades Europeas (2009) enumera una lista de las consecuencias más próximas debido al cambio climático:

- Los glaciares están desapareciendo, se estima que los Alpes Suizos pueden llegar a desaparecer para el 2050.
- El incremento del mar y la desaparición de islas.

- Fenómenos naturales extremos desde inundaciones a sequías, estas se incrementaron en los últimos 10 años, triplicando a los ocurridos en los años 70.
- Escasez de agua.
- Incremento de las enfermedades tropicales
- Pérdida de especies (flora y fauna) no podrán adaptarse a los cambios extremos de temperatura, se estima que podrían llegar a extinguirse.

2.2.2. Efecto invernadero

Es un proceso natural del planeta tierra este desarrolla una interacción con la atmósfera, biosfera y la superficie terrestre; permitiendo el ciclo hidrológico y la fotosíntesis, esto es posible mediante el reflejo de las radiaciones del sol de onda corta (0.4-0.8 μm), que atraviesan la capa de ozono y reflejan a la superficie de la tierra, para retornar nuevamente al espacio, pero el resto de la radiación que se queda en la tierra, debido a los gases de efecto invernadero, empieza a calentar el suelo, evaporar los recursos hídricos de la tierra y derretir los hielos polares. (Aguilar, 2003).

2.2.2.1. Gases del efecto invernadero.

La concentración de los gases de efecto invernadero, encontramos los siguientes: agua (H_2O), dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), óxidos de nitrógeno (NO_x), ozono (O_3) monóxido de carbono (CO) y los clorofluorocarbonos (CFC).; el incremento de la concentración de estos gases en especial las emisiones de origen antropogénico son los que contribuyen al incremento de la temperatura, alterando el balance normal de la atmósfera (IPPC, 2013).

Según Colque y Sanchez (2007) describen los gases del efecto invernadero según su origen de la siguiente forma :

- a. **Dióxido de carbono (CO₂):** Este gas cumple la función de conservar la temperatura y hacerla constante en la tierra, sin embargo la producción masiva de combustible fósil y la deforestación, ha generado el incremento de este gas, siendo el principal responsable del 76 % del calentamiento global para el futuro.
- b. **Metano (CH₄):** Se asemeja al CO₂ por la producción y la combustión de combustibles fósiles, originados mayormente en pozos de petróleo, minas de carbón, agricultura de arroz y la misma digestión de los animales.
- c. **Óxido Nitroso (N₂O):** Este gas se genera por la combustión de automóviles mecanizados y la aplicación constante de abonos nitrogenados.
- d. **Vapor de agua (H₂O):** Se origina por la evaporización, ebullición y sublimación del agua.
- e. **Ozono (O₃):** Este gas se encuentra en la capa de la estratosfera y troposfera en la tierra.
- f. **Hidrofluorocarbononados (CFC):** Principal disolvente utilizados en las industrias, se encuentran presentes en aerosoles, dispersores de espuma de aplicación industrial y doméstico.

2.2.3. Captura de carbono

Este proceso consiste cuando el carbono es fijado a través de las plantas y la materia orgánica para luego ser almacenados en el suelo, esto se da cuando el CO₂ se convierte en COS (carbono orgánico del suelo), se da en tres fases; extracción por la fotosíntesis de las plantas, transferencia; consiste el paso de CO₂ a la biomasa vegetal y por último el traspaso de la biomasa al suelo en donde este se almacena en forma de COS, reserva necesaria y asimilable para la fauna microbiana en los suelos, potenciando la calidad de los suelos.

La mayoría de especies arbóreas cuentan con esta capacidad potencial se estima que una hectárea de plantación puede absorber alrededor de 10 toneladas de C por ha de la atmósfera dependiendo de las condiciones del lugar (Arevalo et al, 2002) citado por (Isminio, 2006).

2.2.4. Carbono orgánico del suelo

El carbono orgánico en los suelos (COS) “se encuentra en forma de residuos orgánicos poco alterados de vegetales, animales y microorganismos, en forma de humus y en formas muy condensadas de composición próxima al carbono elemental” (Jackson, 1964) citado por (Vinueza, 2015).

García (2011) considera este un elemento principal de los seres vivos más de un 50%, en su composición, en la naturaleza está relacionada con los intercambios de energía, por medio de la fotosíntesis y la quimio síntesis los cuales se dan por la degradación de animales u otros seres vivos. En la *Tabla 1* se observa la estimación del Carbono presente según el tipo de suelo (Macías, Camps, & Rodríguez, 2005).

Tabla 1
Contenido de carbono orgánico e inorgánico a una profundidad de 1 metro.

| Tipo de suelo | C orgánico | C inorgánico |
|---------------|--------------|--------------|
| Ultisoles | 101 | 0 |
| Andisoles | 69 | 1 |
| Aridisoles | 110 | 1.044 |
| Oxisoles | 150 | 0 |
| Inceptisoles | 267 | 258 |
| Alfisolos | 136 | 127 |
| Mollisoles | 72 | 139 |
| Vertisoles | 38 | 25 |
| Spodosoles | 98 | 0 |
| Entisoles | 106 | 117 |
| Histosoles | 390 | 0 |
| Otros | 18 | 0 |
| Total | 1.555 | 1.738 |

Fuente. Adaptado de Eswaran et al., 1995 en Macías et al. (2005).

El carbono orgánico presente en el suelo supone una ligera diferencia al C inorgánico, considerando que la estimación fue realizada a un metro de profundidad, esto manifiesta la importancia de preservar este recurso. La Figura 1, ilustra cuales es el estado de las reservas de COS en el mundo, los colores claros indican reservas pobres de este recurso a comparación de los colores más oscuros, además de que existen muy pocos lugares con alto COS.

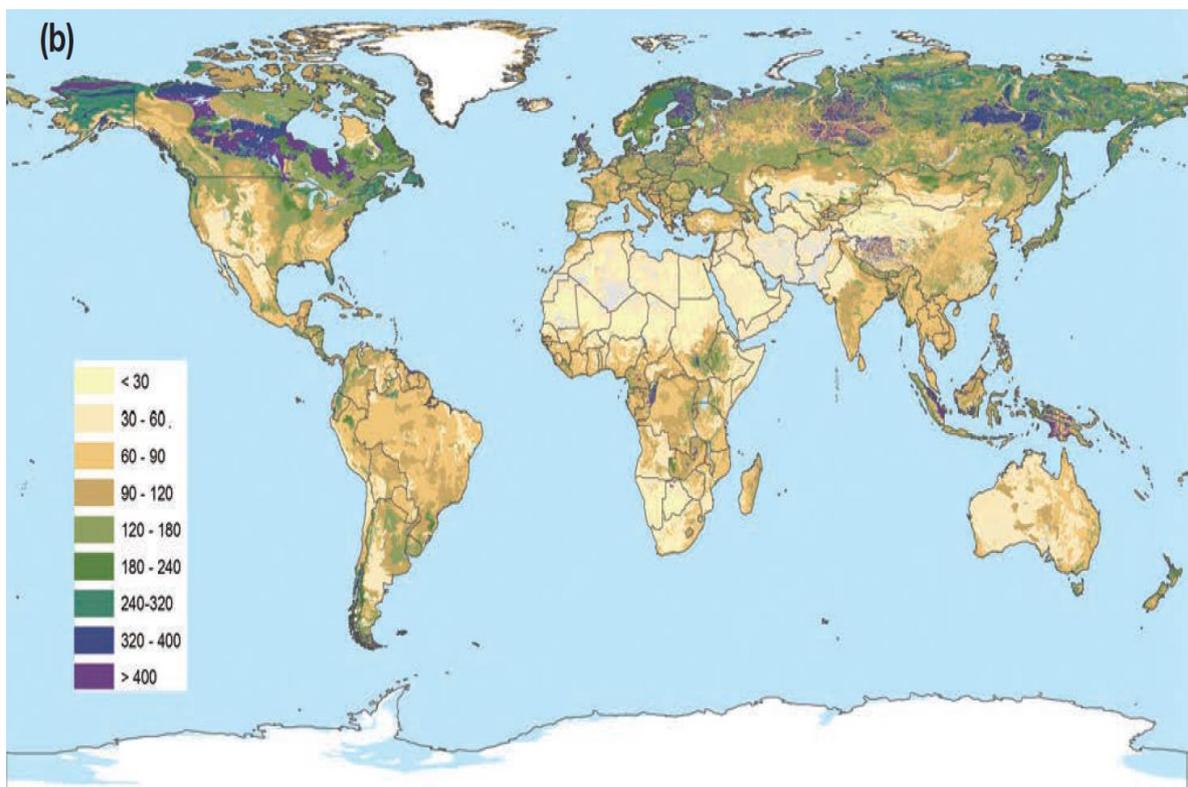


Figura 1. Mapa de las reservas de carbono orgánico en el mundo.
Fuente: Adaptado de Laban et al (2018).

2.2.4.1. Ciclo del carbono

Según Kiely (1999) el ciclo del carbono es un flujo de energía que inicia en una cadena alimenticia por vía de las plantas, el carbono en su mayoría ingresa a la cadena alimenticia como CO_2 , para ser liberado al ambiente y ser reutilizado; durante este proceso se produce la acumulación del carbono en distintas formas como la caliza, los suelos, el petróleo y el

gas. Sin embargo estos sumideros de carbono se pueden liberar de forma natural por la erosión de volcanes.

– **Reservas carbono**

Las principales de reservas de carbono orgánico en el suelo (COS) pertenecen a un ciclo amplio y dinámico entre el suelo, la vegetación y la atmosfera. El sumidero más grande esta en los océanos, y el segundo lugar es para los suelos, siendo este el principal contenedor de la reserva mundial existente.(Scharlemann et al 2014, Batjes, 2016) citado por (Laban et al., 2018).

Existen una gran variedad de factores influyentes en las reservas de COS desde el tipo de suelo, uso de la tierra y las condiciones climáticas (Weissert et al., 2016; Batjes, 2016) y estos se clasifican en 3 tipos; sumidero rápidos (1 a 2 años) sumideros medios (10 a 100 años) y sumideros lentos (100 a 1000 años) y las estabilización del carbono presente en el suelo. (O'Rourke et al., 2015) citado por (Laban et al., 2018).

– **Perdida de carbono**

Las investigaciones realizadas afirman que desde 1870 se están perdiendo cerca de 40 a 80 Pg COS, sosteniendo que para el ciclo XXI se perderán entre 60 Pg COS adicionales, la mayoría se encuentran en los trópicos principalmente entre Iberoamérica y África de ahí radica la importancia de valorar las grandes reservas carbono que se pierden por agroquímicos, tala indiscriminada entre otras actividades llevando a un alteración del ciclo del carbono (Lal & Col, 1995) citado por (Gallardo, n.d.).

2.2.5. Servicios ambientales del suelo

MINAM (2012) define que “los servicios ambientales son los beneficios que la naturaleza proporciona a la humanidad en su conjunto o a una región, como la protección del recurso hídrico y de los suelos, la protección de la biodiversidad, la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero y la belleza escénica, entre otros” (p. 109).

Según la revisión de CCE (2002) y Dorronsoro (2007) en Silva y Correa (2009) el suelo brinda los siguientes servicios ambientales:

- a) **Almacenaje, filtración y transformación:** El suelo se encarga de almacenar componentes básicos: materia orgánica, minerales, agua y sustancias químicas. En segundo lugar es un filtro natural de las aguas subterráneas y por último transforma el CO₂ y otros gases presentes de la atmósfera.
- b) **Generación de alimento y demás producción de biomasa:** El suelo cumple el rol de proveer múltiples productos agrícolas básicos, para la existencia del ser humano, y también todos los bosques y la vegetación existente necesita al suelo como medio de soporte físico y para obtener nutrientes esenciales para su crecimiento. De ahí que el soporte de la vida, depende plenamente del suelo.
- c) **Hábitat y reserva genética,** El suelo presenta un ecosistema con una gran variedad de microorganismos, cuyo hábitat es el suelo, cada uno de ellos son irremplazables dada su función, por esto resulta primordial en la ecología.
- d) **Entorno físico y cultural para la humanidad,** Este componente es utilizado para las actividades humanas, a su vez destaca el entorno por los diferentes paisajes que forman parte de nuestro patrimonio cultural.

- e) **Fuente de materias primas**, Proporciona fuentes de materia prima para los diferentes procesos de producción industrial, tales como: arcilla, arena y minerales, y de ahí su importancia económica.

2.2.6. Suelo

El suelo es una capa delgada que cubre la mayor parte de la superficie terrestre en donde existe una gran dinámica entre los reinos vegetal, animal y mineral; las plantas obtienen del suelo agua y nutrientes básicos para su crecimiento y desarrollo, el cual a su vez es básico para el estilo de vida de los animales, todos ellos retornan nuevamente a través de la descomposición por medio de la actividad microbiológica. A su vez Liebig uno de los primeros químicos sostuvo que el suelo es un almacén de nutrientes básicos para el desarrollo y crecimiento de las plantas.(Thompson & Troeh, 1980).

Lozano (2018) define al suelo como la interface de la litosfera, cuyo proceso de transformación es el intercambio entre la atmosfera mediante la interacción del aire, agua y los microorganismos, estos últimos encargados de transformación. El suelo cuenta con tres fases y son las siguientes:

- Fase solida: Está formada por partículas minerales y restos orgánicos que se encuentran en contacto, pero que dejan espacios vacíos entre ellos, los cuales definen su porosidad.
- Fase liquida, conformada por el agua retenida entre los poros del suelo.
- Fase gaseosa: concierne al aire que ocupa los poros del suelo que no se encuentran llenos de agua, esta fase asegura la correcta oxigenación del suelo.

2.2.7. Propiedades físico químicas de los suelos

2.2.7.1. Parámetros físicos

- **Densidad aparente** Se le considera a la forma de evaluar la resistencia del suelo frente a la elongación de las raíces que puedan darse en el suelo. La densidad aparente varía con la textura del suelo y el contenido de materia orgánica; en consecuencia de las labranzas y la humedad del suelo, el cual se ve más evidenciado en suelos arcillosos (Calla, 2017).
- **Conductividad eléctrica** Este parámetro se encuentra relacionado con la salinidad del suelo; estos siempre pueden llegar a contener sales solubles desde una cantidad mayor hasta a una mínima, estas cuentan con un límite el cual no puede ser excedido. Los principales cationes que hacen surgir la salinidad son: sodio, calcio, magnesio y potasio y los aniones son: sulfatos cloruros, carbonatos y bicarbonatos (Andrades & Martínez, 2014).
- **pH** Es el grado de acidez, alcalinidad o un estado neutral, se da por la cantidad presente de iones de hidrogeno (H^+) y de oxidrilos (OH^-), la química la defiende, utilizando la siguiente formula (1), la cual es el logaritmo inverso de las actividades de iones de hidrogeno (H^+) la cual toma la forma de hidronio (H_3O^+), en el suelo (Jaramillo, 2002:346) en (Yakabi, 2014).

$$pH = \log \frac{1}{H^3 O^+} = -\log H^3 O^+ \quad (1)$$

2.2.7.2. Parámetros químicos

- **Materia orgánica** La materia orgánica se origina mediante la fijación de carbono en la planta, por diferentes procesos en la fotosíntesis, pero existen fuentes relevantes de carbono, las cuales son incorporadas al suelo, estas son de origen

animal y microbiano, poseen una composición variada y compleja, como: el almidón, celulosa, hemicelulosa, lignina, quitina, pectina, exopolisacáridos, proteínas, péptidos y lípidos, estos componentes inician un proceso de mineralización por los microorganismos (biomasa del suelo), para poder transformarlas en formas estables y asimilables para las plantas, cuya finalidad es devolver el carbono captado en forma de dióxido de carbono a la atmósfera (E. García, 2013).

Es necesario realizar el proceso de mineralización, para poder cambiar su forma orgánica (seres vivos) a su forma inorgánica (mineral, soluble o insoluble), los cuales fluirán por la solución del suelo para ser aprovechados por las plantas y llegar al humus hasta el proceso de humificación (Román, Martínez, & Pantoja, 2013).

2.2.8. Bosques andinos

Los bosques andinos son considerados como uno de los ecosistemas más variados en especies entre flora y fauna pero poco estudiado en comparación a los bosques húmedos bajos, estos bosques han recibido poco interés de los científicos a pesar de su función ecológica y económica sumamente importante; como en la captación de agua y en el control de la erosión. Pero la mayoría de estos ecosistemas está siendo intervenidos por la actividades humanas y los mismos procesos naturales como las precipitaciones y las altas pendientes, (Brehm et al., 2008) citado por (Tobón, 2009).

2.2.8.1. Queñual *Polylepis*

Soto (2013). Menciona la clasificación botánica para el queñual (*Polylepis sp.*):

Tabla 2
Clasificación botánica del queñual

| Taxonomía del queñual | |
|-----------------------|--|
| Reino | Plantae |
| División | Magnoliophyta |
| Orden | Rosales |
| Familia | Rosaceae |
| Genero | Polylepis sp. establecido por (Spier/biederbick,1980) |
| Nombre común | Queñual |

Fuente. Adaptado de Soto (2013).

2.2.8.2. *Características generales*

El género (*Polylepis sp.*) .Existen cerca de 12 especies identificadas en el Perú y 33 especies en las zonas alto andinas, su árbol de este género incluye arbustos de 1 a 5 metros de altura hasta los 27 metros. El fuste normalmente es torcido y este puede ser único o con varios tallos. El árbol tiene abundantes ramificaciones que la mayoría de estas nacen desde la base del tronco y cuando las ramas son relativamente rectas; son utilizadas en los techos de las viviendas (Pretell, Ocaña, Jon, & Barahona, 1985).

Del mismo modo Chiclote, Ocaña, Jonjap , & Barahona, (1985) en Huarhua (2017) menciona que las características de queñual son:

- **Tallo** .Especie arbustiva entre 1 a 5 m, de altura hasta 22 m, posee características torcidas y puede tener un tallo o varios tallos, tiene abundantes ramificaciones, cuenta con una copa rojiza
- **Hojas** Las hojas de esta especie se caracterizan por tener 3 folíolos de 15 a 23 mm, sus nervaduras están marcadas, poseen un envés blanquecino y los folíolos tienen un color verde claro u oscuro. Las condiciones climáticas influyen en el tamaño de sus hojas.

- **Flores** Las flores que presenta esta especie miden entre 5mm de ancho, poseen 20 y 28 estambres y se agrupan en racimos de 5 a 10 flores, pero estas se caracterizan por ser incompletas, ya que no cuentan con corola y nectario.
- **Fruto** El fruto de esta especie se fructifica en los meses de Junio y Septiembre, es una drupa que oscila entre 5mm de largo y 4mm de ancho.
- **Semillas** Esta especie cuenta con una polinización anemófila y dicogamia propia de este género, en consecuencia las semillas no son encontradas en algunas zonas andinas, este problema se da principalmente en zonas donde los arboles están aislados. De manera que para la obtención de la semilla se consigue en bosques.

2.2.8.3. Principales usos del Queñual

Por ser unos de los pocos árboles que crecen en las partes altas de la sierra el queñual tiene gran importancia como combustible, leña, carbón de alta calidad. También en establecimientos de cercos vivos y cortinas, rompe vientos para protección del ganado cultivo y el hombre mismo. Aporta una buena calidad de hojarasca y ritidoma (corteza externa) ambas de fácil descomposición lo que hace al género un eficiente mejorador del suelo. Por ello constituye una alternativa viable en sistemas agroforestales y silvopastoriles de las regiones alto andinas.(Pretell et al., 1985).

2.2.9. Pasturas

Son agrupaciones de pajas o gramíneas de forma muy densa, presentan características peculiares, las hojas son duras y punzantes. La mayoría tienen un tallo alto; entre las principales especies predominantes en las zonas andinas están: chilliguas , el ichu, el iru ichu o paja brava, entre otras.(Vega, Daniel, & Zúñiga, 2013).

2.2.9.1. Tipos de pasturas andinas

- **Ichu** La especie representativa es el *Stipa ichu*, gramínea de tallo alto con hojas duras y presenta un crecimiento invasor en las áreas de pastoreo, contiene un alto valor de forraje, principal alimento de los animales.
- **Chillihuar** Son praderas que se encuentran ubicadas en tierras con una pendiente baja, pH neutro y suelos con textura francos o francos arcillosos. Contiene un alto valor forrajero.
- **Césped de Puna** Especies vegetales que se encuentran agrupadas entre hierbas (porte almohadillo arrochetado) y pajas de porte bajo (gramíneas).
- **Canllar** Son especies vegetativas leñosas y espinosas de porte bajo, generalmente prosperan en suelos de condiciones pobres, arenosas y secas. Su mayor consumo se da en su etapa más tierna.

2.3. Marco legal

- **Ley general del Ambiente 28611** En el Artículo 92, indica y da prioridad al aprovechamiento sostenible de los recursos forestales, así como la conservación de los bosques naturales, resaltando la seguridad y la lucha contra la tala y caza ilegal.
En el Artículo 93, indica la conservación y el aprovechamiento sostenible de los recursos y su mantenimiento a través del tiempo.
En el Artículo 94, indica sobre los servicios ambientales brindados, y la valorización útil de los recursos naturales, entre los principales servicios se encuentra la protección de los recursos hídricos, protección de la biodiversidad y la mitigación de los gases de efecto invernadero entre otros.
- **Decreto Supremo N°011-2015 MINAM** La finalidad principal de este documento es reducir los efectos de los gases del efecto invernadero, de este modo lograr que los

ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático. Mediante este decreto se aprobó la “Estrategia Nacional ante el cambio climático”.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. **Ámbito de estudio**

3.1.1. **Localización geográfica**

La comunidad de Quello Quello, se ubica en el distrito de Lampa, provincia de Lampa, departamento de Puno. El área total es de 675,82 Km² Véase el Anexo A.

3.1.2. **Ubicación política**

El área de Quello Quello, está ubicada políticamente:

- Norte : distrito de Pucará.
- Sur : distrito de Cabanillas.
- Este : distritos de Calapuja y Juliaca.
- Oeste : distrito de Palca.

Sus coordenadas UTM son:

Tabla 3
Coordenadas UTM del lugar de estudio

| Lugar de estudio | Coordenadas UTM | | |
|----------------------------|------------------------|--------------|---------------|
| | Este | Norte | Altura |
| Comunidad de Quello Quello | 356312 | 8307580 | 3842 |

Fuente: Elaboración propia (2018).

3.1.3. **Accesibilidad**

El lugar de estudio cuenta con una vía de acceso aproximadamente a 36 km, que comunica las ciudades de Lampa y Pucará.

3.2. Tipo de investigación

Esta investigación tiene un enfoque cuantitativo debido a los análisis estadísticos aplicados en esta investigación, siendo estos de naturaleza contable.

3.2.1. Variables de la investigación

La presente investigación posee las siguientes variables:

- Variable dependiente: Captura de carbono en el suelo.
- Variable independiente: Queñual (*Polylepis sp.*).

3.3. Diseño de la investigación

Esta investigación tiene un diseño no experimental del tipo transeccional o transversal dada la naturaleza de esta investigación, esto es justificado debido a su realización en un solo momento y a su vez comparativo por esclarecer la realidad de la variable estudiada.

3.4. Materiales y equipos

En la tabla 4 se muestran los materiales de gabinete, campo y equipos utilizados en esta investigación.

Tabla 4
Lista de materiales utilizados

| Gabinete | Materiales de campo | Equipos |
|---------------------|----------------------------|----------------|
| Laptop | Pico | GPS |
| Cuaderno de apuntes | Pala | Cooler |
| | Wincha | |
| | Bolsas herméticas | |
| | Chaleco | |
| | Casco | |
| | Plumón indeleble | |
| | Etiquetas | |
| | Fichas de muestreo | |

Fuente. Elaboración Propia (2018).

3.5. Procedimiento

3.5.1. Muestreo de suelos

El muestreo de suelos se realizó de forma aleatoria o al azar, según la Guía USDA (1999). Se consideró una profundidad de 0-20 y 20-40 cm en una pequeña calicata, en 1 ha de suelos de queñual y 1 ha de pasturas. Se extrajo 1.kilo por estrato. Teniendo 20 muestras en total.

Tabla 5
Coordenadas UTM de los puntos de muestreo

| Código | Queñual | | Pasturas | |
|--------------|---------|---------|----------|---------|
| | x | y | x | y |
| 1-20 1-40 | 356227 | 8307610 | 356384 | 8307401 |
| 2-20 2-40 | 356247 | 8307632 | 356392 | 8307393 |
| 3-20 3-40 | 356234 | 8307636 | 356406 | 8307384 |
| 4-20 4-40 | 356236 | 8307676 | 356414 | 8307376 |
| 5-20 5-40 | 356277 | 8307673 | 356424 | 8307384 |

Fuente: Elaboración propia (2018).

3.5.2. Análisis para los parámetros físicos y químicos

Los análisis físicos véase *Tabla 6* se realizaron en el laboratorio de la Universidad Peruana Unión filial Juliaca. Véase Anexo D.

Tabla 6
Parámetros físicos

| Parámetro | Unidad | Metodología |
|-------------------------|-----------------------|------------------------|
| pH | pH | Multiparametrico HQ40d |
| Densidad Aparente | (gr/cm ³) | Método de la Probeta |
| Conductividad eléctrica | (s/m) | Multiparametrico HQ40d |

Fuente: Elaboración propia (2018).

Multiparametrico HQ40d

El pH y CE los valores fueron medidos por el equipos multiparametro cuyo método básico consiste en colocar la sonda de medición en la solución y esperar un lapso de tiempo de 10 a 15 segundos, hasta que se estabilice.

En la *Tabla 7* y en la *Tabla 8* se observan los valores de conductividad eléctrica y pH respectivamente.

Tabla 7.
Valores de pH para suelos

| Categoría | Valor de pH |
|-----------------------|--------------------|
| Fuertemente ácido | < 5.0 |
| Moderadamente ácido | 5.1-6.5 |
| Neutro | 6.6-7.3 |
| Medianamente alcalino | 7.4-8.5 |
| Fuertemente alcalino | 8.5 |

Fuente. Adaptado de la guía de la USDA (1999).

Tabla 8.
Valores de conductividad eléctrica

| Conductividad eléctrica (dS/m a 25°C) | Clase de Salinidad |
|--|---------------------------|
| 0-0.98 | No salino |
| 0.98-1.71 | Muy ligeramente salino |
| 1.71-3.16 | Ligeramente salino |
| 3.16-6.07 | Moderadamente salino |
| >6.07 | Fuertemente salino |

Fuente: Adaptado de la guía de la USDA (1999).

Método de la Probeta para la densidad aparente

La densidad aparente se realizó mediante el método de la probeta cuyo fundamento principal es la compactación, se pesó 50 gr de suelo, se utilizó una probeta de 100 ml, y luego se dio 20 golpes consecutivos (Calla, 2017). Por último se aplicó la formula siguiente:

$$D = \frac{m}{v} \quad (2)$$

- D** : Densidad aparente
- m** : Masa del suelo (peso sin compactar)
- v** : Volumen compactado

El análisis químico del porcentaje de materia orgánica (%MO) fue realizado en el laboratorio de la Agraria La Molina.

Método de Walkley y Black para la Materia orgánica

La muestra del suelo se trató con una solución de $K_2Cr_2O_7$ que actúa como oxidante, en un medio ácido de H_2SO_4 en una proporción; este calor desprendido por el ácido favorece la oxidación mediante el $K_2Cr_2O_7$ el cual oxida la materia orgánica. En la *Tabla 9* se observan los valores de materia orgánica.

Tabla 9
Valores de materia orgánica.

| Materia orgánica | Clasificación Agronómica |
|-------------------------|---------------------------------|
| <0.60 | Muy Bajo |
| 0.50-1.80 | Bajo |
| 1.81-3.50 | Mediano |
| 3.51-6.0 | Alto |
| >6.0 | Muy Alto |

Fuente. Adaptado de Rodríguez y Rodríguez (2015).

Obtención del porcentaje de carbono orgánico (%CO)

El porcentaje de carbono orgánico se obtuvo mediante la fórmula propuesta por Walkley y Black (1938), la cual se menciona a continuación:

$$\%CO = 0.58 \times \%MO \quad (3)$$

%CO : Porcentaje de carbono orgánico.

%MO : Porcentaje de materia orgánica.

Tabla 10
Valores del carbono orgánico

| %Carbono orgánico | Clasificación Agronómica |
|--------------------------|---------------------------------|
| <0.35 | Muy Bajo |
| 0.35-1.05 | Bajo |
| 1.05-2.30 | Mediano |
| 2.30-3.50 | Alto |
| >3.50 | Muy Alto |

Fuente. Adaptado de Rodríguez y Rodríguez (2015).

Obtención del porcentaje de carbono orgánico del suelo (COS)

El carbono orgánico del suelo (COS) se obtuvo aplicando la fórmula propuesta por Rosenzweig y Hillel (2000).

$$COS = CO \times DA \times P \quad (4)$$

COS : Carbono orgánico del suelo

CC : Contenido de % Carbono

DA : Densidad aparente

P : Profundidad de muestreo

3.6. Flujoograma del desarrollo del proyecto

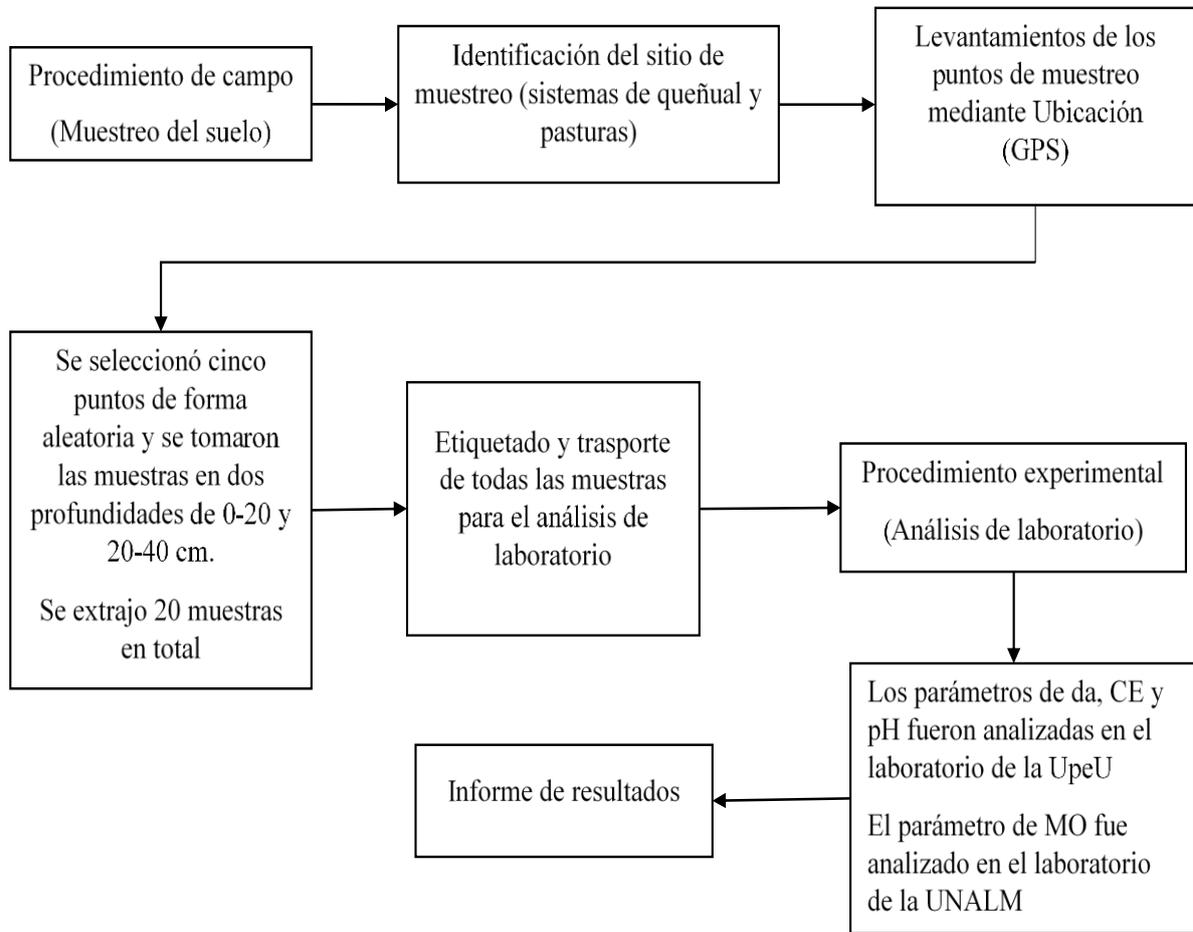


Figura 2. Esquema del procedimiento.
Fuente. Elaboración propia (2018).

3.7. Análisis estadístico

El análisis estadístico aplicado para esta investigación fue mediante un análisis de arreglo factorial de 2×2 , dadas las características de esta investigación, se consideró 20 unidades experimentales, siendo los factores de estudios los sistemas (uso de suelo) queñual y pasturas y las profundidades de 20 y 40cm.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Análisis de datos

Las características fisicoquímicas de los sistemas de queñual y pasturas se encuentran en el Anexo B y Anexo C de forma general.

a) pH

El pH en los sistemas de queñual tiene un promedio de 5.13 y las pasturas de 5.09, ambos comparados con la *Tabla 7*, los dos sistemas se encuentran categorizados como moderadamente ácidos.

b) Conductividad eléctrica

La Conductividad eléctrica (CE), en los sistemas de queñual y pasturas, tienen un promedio de 82.3 y 44.8 en US/cm, convirtiendo a dS/m, se obtuvo 0.0823 y 0.0448; ambos comprados con el criterio de la *Tabla 8*, los suelos se encuentran categorizados como no salinos.

c) Densidad aparente

La densidad aparente en los suelos de queñual tuvo un promedio de 0.96 y 1.21 en las pasturas; según Calla (2017) sostuvo que los suelos que tienen una mayor densidad aparente presentan una compactación mayor.

d) Materia orgánica

El porcentaje de materia orgánica en los suelos de queñual tuvo un promedio de 10.30 y 2.62 en las pasturas, ambos resultados comparados con la *Tabla 9*, resultaron que los suelos de queñual se encuentran categorizados (muy alto) en materia orgánica, y esto se apoya a lo encontrado por Benavides (2015) que señala que la primera capa contiene mayor porcentaje de materia orgánica (%MO) , mientras que Serrano (2014) sostiene que los suelos forestales inalterados contienen mayor cantidad de %MO, pero los suelos de pasturas se encuentran categorizados (Mediano).

4.1.1. Captura de carbono (COS) en los sistemas de queñual y pasturas.

Hipótesis

H₀: No existe diferencia significativa en los sistemas de queñual y pasturas

H_a: Existe diferencia significativa en los sistemas de queñual y pasturas

Nivel de significancia

Alfa=1%=0.01

Supuestos estadísticos

a. Normalidad

Se aplicó la prueba de Shapiro -Wilk en relación a los sistemas y se consideró las siguientes hipótesis:

H₀= hay distribución normalidad.

H₁= No ha distribución normal.

Tabla 11
Normalidad para los sistemas

| Prueba de Shapiro -Wilk | | | | |
|-------------------------|--------------|-------------|----|------|
| Unidad | Uso de suelo | Estadístico | Gl | Sig |
| tC/ha | Pasto | ,935 | 10 | ,500 |
| | Queñual | ,865 | 10 | ,086 |

Fuente: Elaboración propia (2018).

En la tabla 11 se muestran los resultados de la normalidad, utilizando la prueba de Shapiro-Wilk para los sistemas de queñual y pasturas, ambos grupos tienen una distribución normal, porque los valores son mayores que ($p > 0.01$).

b. Homogeneidad de Varianzas

Se consideró las siguientes hipótesis:

Ho= Hay homogeneidad de varianzas.

H1= No hay homogeneidad de varianzas.

Tabla 12
Varianza del sistema

| Prueba de Homogeneidad de varianzas | | | |
|-------------------------------------|-----|-----|------|
| F | gl1 | gl2 | Sig. |
| 2,039 | 3 | 16 | ,149 |

Fuente: Elaboración propia (2018)

En la tabla 14 se muestran los resultados para homogeneidad de varianzas, para los sistemas, su valor ($p > 0.01$) es mayor, indicando que la varianza es igual en todos los grupos.

c. Resultado de la prueba estadística

Tabla 13.
Análisis de Varianza para tC/ha - Suma de Cuadrados

| Fuente | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón -F | Valor-P |
|-------------------------------|-------------------|----|----------------|----------|---------|
| Efectos principales | | | | | |
| A:Sistema (queñual y pastura) | 37958.2 | 1 | 37958.2 | 13.26 | 0.0022 |
| B:Profundidad (20 y 40) | 4029.96 | 1 | 4029.96 | 1.41 | 0.2527 |
| Interacciones | | | | | |
| AB | 442.74 | 1 | 442.74 | 0.15 | 0.6993 |
| Residuos | 45801.2 | 16 | 2862.58 | | |
| Total (corregido) | 88232.1 | 19 | | | |

Fuente: Elaboración propia (2018).

En la tabla 13, se muestra un resultado de ($p=0.0022 < 0.05$) a un nivel de significancia del 1%, se acepta la hipótesis alterna, y se rechaza la hipótesis nula, indicando que si existe diferencia significativa en los sistemas de queñual y pasturas en la captura de carbono.

Tabla 14
Prueba de medias para los sistemas

| Prueba de medias de Duncan | | | |
|----------------------------|---------------|-------|--------|
| Variable | Uso del suelo | Casos | Media |
| Sistemas × tC/ha | Pasto | 10 | 50.85 |
| | Queñual | 10 | 137.98 |

Fuente: Elaboración propia (2018)

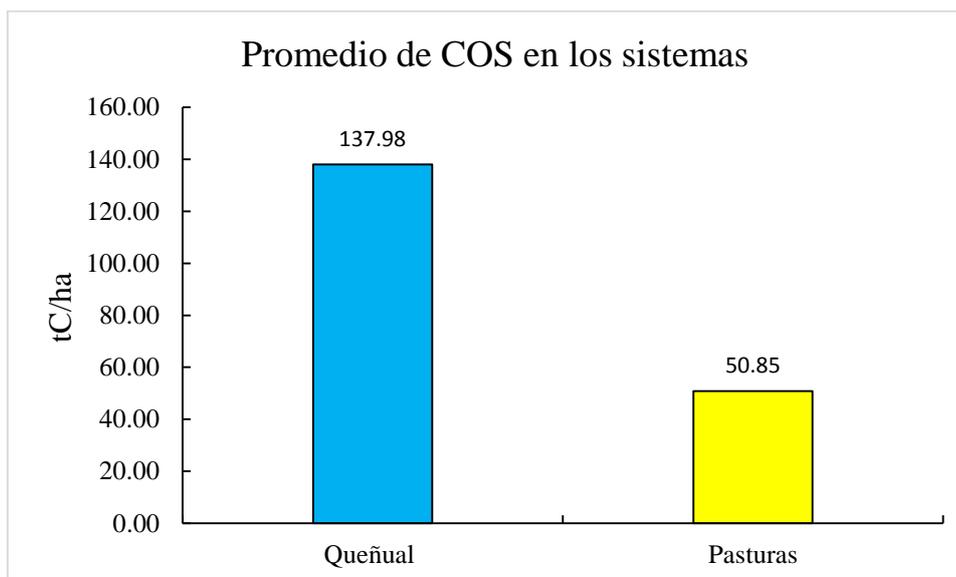


Figura 3. Promedio del COS (tC/ha) en sistemas de uso de suelo.

Fuente: Adaptado del programa Excel.

En la tabla 14 y la figura 3 se observa la prueba de medias de Duncan, indicando que la concentración de COS (tnC/ha) en los suelos de queñual es de 137.98 (tnC/ha) y de 50.85 (tnC/ha) para las pasturas; este resultado es similar a lo encontrado por Mosquera (2018) en donde los suelos de queñual tenían cerca de 158.71 (tn/ha) en promedio. Sin embargo, otros estudios realizados en diferentes especies como Gamarra (2001) encontró 37.39 tC/ha en suelos de eucaliptos, y Quiroz (2013) encontró una concentración de COS en cuatro especies forestales diferentes y la que presento mayor concentración de COS fue el encino con 196.367 tnC/ha, y el de menor concentración fue el del oyamel con 138.493 tnC/ha, estos resultados corroboran que la acumulación de COS varía según las especie y las características propias del suelo (Bojko & Kabala, 2017; Yazdanshenas et al., 2018).

4.1.2. Captura de carbono (COS) en las profundidades de 20 y 40 cm.

Hipótesis

H₀: No existe diferencia significativa en las profundidades de 20 y 40 cm

H_a: Existe diferencia significativa en las profundidades de 20 y 40 cm

Nivel de significancia

Alfa=1%=0.01

Supuestos estadísticos

Se aplicó un diseño factorial de 2 × 2.

a. Normalidad

Se aplicó la prueba de Shapiro -Wilk en relación a las profundidades de 20 y 40 cm, se consideró las siguientes hipótesis:

H₀= hay distribución normalidad

H₁= No ha distribución normal

Tabla 15
Normalidad para la profundidad

| Prueba de Shapiro-Wilk | | | | |
|------------------------|-------------|-------------|----|------|
| Unidad | Profundidad | Estadístico | Gl | Sig |
| (cm) | 20 | ,846 | 10 | ,052 |
| | 40 | ,815 | 10 | ,022 |

Fuente: Elaboración propia (2018).

En la tabla 15 se muestran los resultados de la normalidad, utilizando la prueba de Shapiro- Wilk para la profundidad de 20 y 40 cm, ambos grupos tienen una distribución normal porque los valores son mayores que ($p > 0.01$).

b. Homogeneidad de Varianzas

H₀= Hay homogeneidad de varianzas.

H₁= No hay homogeneidad de varianzas.

Tabla 16
Varianza de la profundidad

| Prueba de Homogeneidad de varianzas | | | |
|-------------------------------------|-----|-----|------|
| F | gl1 | gl2 | Sig. |
| 2,039 | 3 | 16 | ,149 |

Fuente: Elaboración propia (2018).

La *Tabla 16* muestra el resultado para homogeneidad de varianzas para la profundidad, su valor ($p > 0.01$) es mayor, lo que indica que las varianzas de estudio son homogéneas.

c. Resultado de la prueba estadística

En la tabla 13, se muestra un resultado de ($p=0.2527 > 0.05$) a un nivel de significancia del 1%, se acepta la hipótesis nula rechazando la hipótesis alterna, indicando que no existe diferencia significativa en las profundidades de 20 y 40 cm en la captura de carbono.

Tabla 17
Prueba de medias para la profundidad

| Variable | Prueba de medias de Duncan | | |
|------------------------|----------------------------|-------|--------|
| | Uso del suelo | Casos | Media |
| Profundidad × tC/ha | 20 | 10 | 80.22 |
| | 40 | 10 | 108.61 |

Fuente: Elaboración propia (2018).

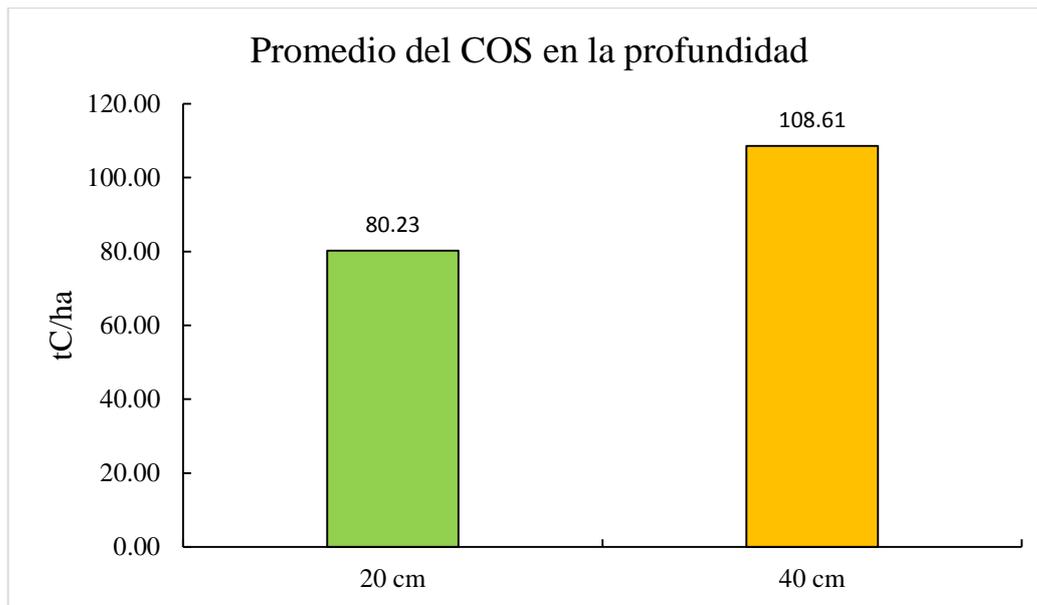


Figura 4. Promedio del COS (tC/ha) en las profundidades del suelo.
Fuente: Adaptado del programa Excel.

En la tabla 17 y la figura 4 se observa en la prueba de medias de Duncan indicando que si hay una diferencia significativa entre las profundidades de 20 y 40 cm, a pesar de que no existe diferencia estadística. Los resultados muestran que en los primeros 20 cm la concentración de COS fue de 80.23 (tC/ha) y en los 40 cm fue de 108.61(tC/ha), este resultado es similar a lo encontrado por Vinueza (2015) que comparó dos sistemas, uno con plantaciones forestales y el otro libre de cobertura forestal, no encontró significancia estadística en la profundidades, debido a los promedios similares de COS; de igual modo Ajami et al (2016) afirma que cuando hay intervención antropogénica como la deforestación y labranza se pierde la concentración de COS en la primera capa. A la vez Bojko y Kabala (2017) sostienen que el COS puede almacenarse en mayor cantidad en la capa mineral del subsuelo, es decir a mayor profundidad mayor concentración de COS.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Esta investigación demostró que la captura de carbono en sistemas de suelo forestal de queñual presento una concentración de COS en promedio de 137.98 tC/ha por encima de los sistemas con pasturas, que resultaron con un promedio de 50.85 tC/ha., de este modo, resulta ser un alternativa viable para reducir los gases del efecto invernadero.
- Se concluyó que la captura de carbono entre profundidades de 20 y 40cm no tienen una diferencia estadística significativa, sin embargo, hubo diferencia entre los promedios obteniéndose 80.23 tC/ha en los 20 cm y 108.61 tC/ha en los 40 cm. Estos resultados demuestran que hubo una menor captura de carbono a una profundidad de 20 cm en ambos sistemas y mayor captura en los 40cm.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda realizar investigaciones en un tiempo más prolongado, debido a que las reservas de carbono orgánico del suelo (*COS*) varía con el tiempo y el uso del suelo.
- Sería recomendable realizar investigaciones a una mayor profundidad considerando cada uno de los horizontes. Para comprender mejor la dinámica del *COS*.
- Es necesario indagar la captura de carbono en suelos entre diferentes especies forestales de Puno, para evidenciar el mejor captador de carbono.

- Sería una alternativa reforestar las zonas de Puno con árboles de queñual para contrarrestar el cambio climático y los gases del efecto invernadero.

REFERENCIAS

- Aguilar, J. (2003). *El efecto invernadero, el cambio climático, la crisis medioambiental y el futuro de la tierra*. Retrieved from https://books.google.com.pe/books?id=glfC79hD7NoC&dq=efecto+invernadero&hl=es&source=gbs_navlinks_s
- Ajami, M., Heidari, A., Khormali, F., Gorji, M., & Ayoubi, S. (2016). Environmental factors controlling soil organic carbon storage in loess soils of a subhumid region, northern Iran. *Geoderma*, 281, 1–10. <https://doi.org/10.1016/J.GEODERMA.2016.06.017>
- Andrades, M., & Martínez, E. (2014). *Fertilidad del suelo y parámetros que la definen*. Universidad de la Rioja. Logroño: Servicio de publicaciones. Retrieved from <http://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=267902&info=resumen&idioma=SPA>
- Benavides, E., Morales, L., & Navia, J. (2015). Propiedades físicas y contenido de materia orgánica en diferentes usos del suelo en Samaniego, Colombia. *Agroforestería Neotropical*, 1(5). Retrieved from <http://revistas.ut.edu.co/index.php/agroforesteria/article/viewFile/916/713>
- Bojko, O., & Kabala, C. (2017). Organic carbon pools in mountain soils — Sources of variability and predicted changes in relation to climate and land use changes. *CATENA*, 149, 209–220. <https://doi.org/10.1016/J.CATENA.2016.09.022>
- Calla, J. (2017). *Determinación de los impactos negativos de la forestación Eucaliptus globulus Labill sobre las propiedades del suelo en la comunidad de Kocan -Juliaca*. Universidad Nacional del Altiplano .
- Ciesla, W. M. (1996). *Cambio climático, bosques y ordenación forestal: una visión de conjunto*. FAO. Retrieved from https://books.google.com.pe/books?id=DzoW7rZmY5QC&dq=cambio+climatico&hl=es&source=gbs_navlinks_s
- Colque, M.; Sánchez, V. (2007). *Los Gases de Efecto Invernadero ¿Por qué se produce el calentamiento*. Lima. Retrieved from www.labor.org.pehttp://www.foei.org/esp/climate/index.html
- Comunidades Europeas. (2009). *Cambio climático: ¿el suelo puede cambiar las cosas?* Bruselas. Retrieved from <http://europa.eu>
- Dávila, V., Retamozo, F., & Suarez, L. (2010). Almacenamiento de carbono y flujo de CO2 en los suelos con 2 plantaciones de tres especies forestales-valle del Mantaro, 27–31.
- FAO. (2001). *Indicadores de la calidad de la tierra y su uso para la agricultura sostenible*

y el desarrollo rural.

- Gallardo, J. (n.d.). *El Agotamiento de la reserva orgánica del suelo y su relación con el secuestro de carbono atmosférico*. Salamanca, España. Retrieved from [http://digital.csic.es/bitstream/10261/24941/1/1-Agotamiento de la reserva orgánica \(Gallardo J\).pdf](http://digital.csic.es/bitstream/10261/24941/1/1-Agotamiento%20de%20la%20reserva%20org%C3%A1nica%20(Gallardo%20J).pdf)
- Gamarra, J. (2001). Estimación del contenido de carbono en plantaciones de *Eucalyptus globulus* labill, en Junin, Perú., 1–21.
- García, E. (2013). *Estrategias para la recuperación de suelos degradados en ambientes semiárido: Adición de dosis elevadas de residuos orgánicos de origen urbano y su implicación en la fijación de carbono*. Universidad de Murcia. Retrieved from [https://digitum.um.es/xmlui/bitstream/10201/35935/1/TESIS DOCTORAL E. GARCÍA.pdf](https://digitum.um.es/xmlui/bitstream/10201/35935/1/TESIS%20DOCTORAL%20E.%20GARCÍA.pdf)
- García, M. (2011). *Rehabilitación de un suelo con bajo perfil de nutrientes aplicando biosólidos como fertilizante*. Instituto Politécnico Nacional.
- Huarhua, T. (2017). *Propagación vegetativa de esquejes de Queñua (Polylepis incana) con la aplicación de dos enraizadores naturales y tres tipos de sustratos en condiciones de vivero Cuajone, Torata-Moquegua*. Universidad José Carlos Mariátegui. Retrieved from http://repositorio.ujcm.edu.pe/bitstream/handle/ujcm/186/Teodoro_Tesis_titulo_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- IPPC. (2013). *Cambio climático 2013. Bases físicas. Contribución del grupo de trabajo I al quinto informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático*. Estados Unidos de América. Retrieved from https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/08/WGI_AR5_glossary_ES.pdf
- Isminio, M. (2006). *Estimación del carbono en la biomasa aérea del café (Coffea arabica var. Catimor) bajo sombra de Guaba (Inga edulis) en la Provincia de Lamas-Perú*. Universidad Nacional de San Martín. Retrieved from http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/UNSM/795/TP-P08_I82.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Kiely, G. (1999). *Ingeniería Ambiental. Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión*. (A. García, Ed.). Madrid.
- Laban, P., Metternicht, G., & Davies Jonathan. (2018). Biodiversidad de suelos y carbono orgánico en suelos: cómo mantener vivas las tierras áridas.

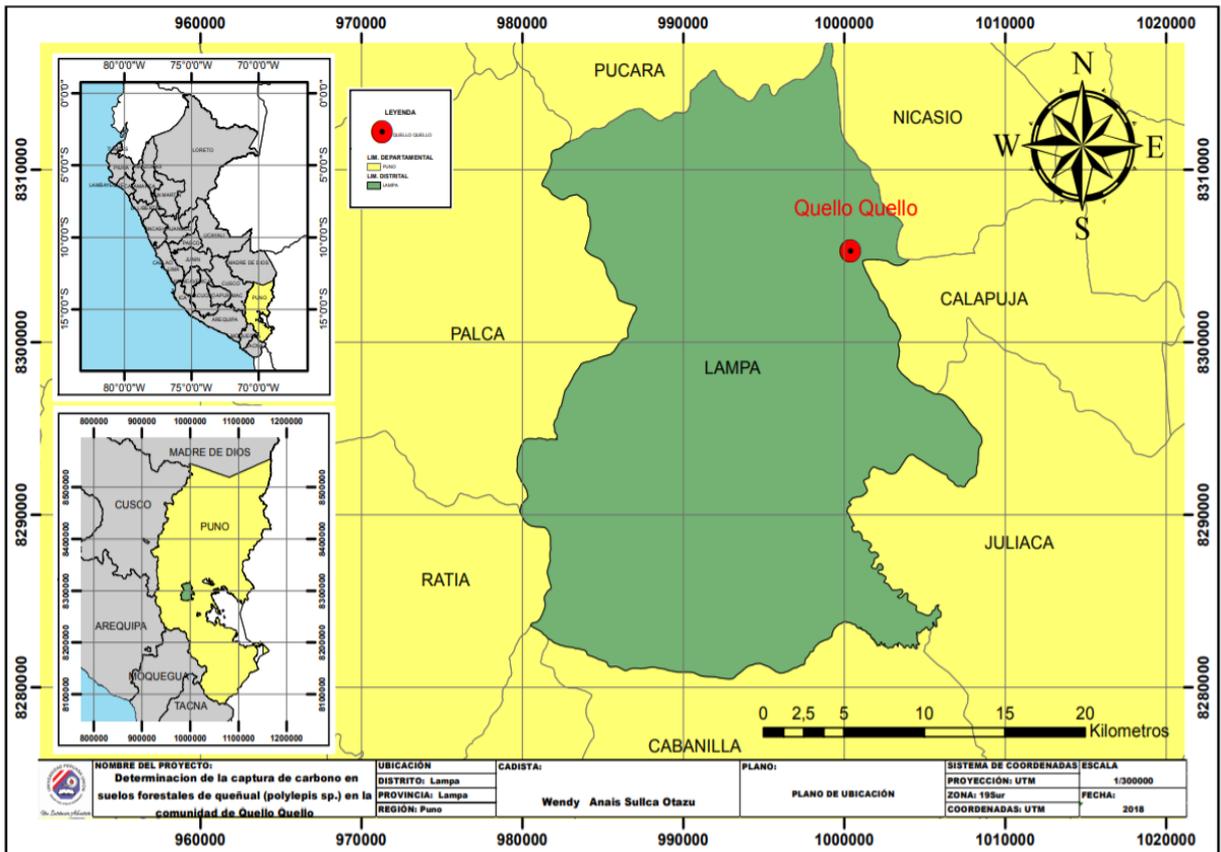
- <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2018.03.es>
- Lozano Rivas, W. A. (2018). *Suelos guía de prácticas simplificadas en campo y laboratorio*. Universidad Piloto. Retrieved from <https://books.google.com.pe/books?id=lrJZDwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=propiedades+fisicas+del+suelo&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwimoJb41ODeAhXDk1kKHYgBB8Y4ChDoAQgvMAI#v=onepage&q&f=false>
- Macías, F., Camps, M., & Rodríguez, L. (2005). Alternativas de secuestro de carbono orgánico en suelos y biomasa de Galicia. *Recursos Rurais, 1*, 71–85. Retrieved from <http://www.usc.es/revistas/index.php/rr/article/view/5342/5719>
- Medrano, R., Chupan, L., & Vila, M. (2012). Almacenamiento de carbono en especies predominantes de flora en el lago Chinchaycocha. *Apunt.Cienc.Soc.*, 2(2), 110–117.
- MINAM. (2005). Ley general del Ambiente.
- MINAM. (2009). *Cambio Climático y Desarrollo Sostenible en el Perú*. Perú. Retrieved from <http://www.minam.gob.pe/cambioclimatico/wp-content/uploads/sites/11/2013/10/CDAM0000323.pdf>
- MINAM. (2012). Glosario de términos para la gestión ambiental peruana. Perú.
- Ministerio de Agricultura, A. y M. A. (2016). *Impactos del cambio climático en los procesos de desertificación en España*. Madrid. Retrieved from <https://publicacionesoficiales.boe.es/detail.php?id=003928016-0001>
- Mosquera De la Cruz, R. (2018). *Determinación de las reservas totales de carbono en el bosque de polylepis spp., quebrada de Llaca – Parque Nacional Huascarán, 2014*. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Retrieved from <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/2149>
- Okebalama, C. B., Igwe, C. A., & Okolo, C. C. (2017). Soil organic Carbon levels in soils of contrasting land uses in southeastern Nigeria. *Tropical and Subtropical Agroecosystems, 20*, 493–504.
- Pretell, J., Ocaña, D., Jon, R., & Barahona, E. (1985). *Apuntes sobre algunas especies forestales nativas de la sierra peruana*. Lima, Perú.
- Quiroz, Y. (2013). *Medición de la captura de carbono en suelos forestales, en la localidad de Cebatí, San José del Rincón, Edo de México*. Universidad Autónoma del estado de México.
- Rodríguez, H., & Rodríguez, J. (2015). *Método de análisis de suelos y plantas* (3rd ed.). México.

- Roman, P., Martínez, M., & Pantoja, A. (2013). *Manual de Compostaje del Agricultor. Experiencias en América Latina*. FAO. Retrieved from <http://www.fao.org/documents/card/en/c/1cea1861-e379-57f9-988e-93be04982954/>
- Rosenzweig, C., & Hillel, D. (2000). Método para determinar el carbono orgánico del suelo.
- Sarcca, Y. (2017). *Valoración económica del servicio ecosistémico de secuestro y almacenamiento de carbono en el bosque de Estimar la densidad y stock de carbono almacenado en el suelo en el bosque de Polylepis del Pichu Pichu, Arequipa-2016*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Retrieved from <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/2787/AMSahuyr.pdf?sequence=1>
- Serrano, P., Nadal, E., & Lana, R. (2014). La relación suelo-vegetación y su influencia en el comportamiento hidrológico de distintos ambientes vegetales, 217–228. Retrieved from [http://digital.csic.es/bitstream/10261/108681/1/SerranoMuela_La relación suelo-vegetación.pdf](http://digital.csic.es/bitstream/10261/108681/1/SerranoMuela_La%20relaci3n%20suelo-vegetaci3n.pdf)
- Silva Arroyave, S. M., & Correa Restrepo, F. J. (2009). *Ilusiones de la Regulación Económica. Análisis de La Contaminación Del Suelo: Revisión de La Normativa y Posibilidades Económicas*, 12, 13–34. Retrieved from <https://www.redalyc.org/pdf/1650/165013122001.pdf>
- Soto, L. I. (2013). *Propagación vegetativa de esquejes de Queñual (polylepis sp) bajo diferentes dosis del enraizador Root-Hor en el distrito de Carampoma-Huarochiri-Lima*. Universidad Nacional de Huancavelica. Retrieved from [http://repositorio.unh.edu.pe/bitstream/handle/UNH/132/TP - UNH AGRON. 0014.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unh.edu.pe/bitstream/handle/UNH/132/TP%20-%20UNH%20AGRON.0014.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Thompson, L. M. (Louis M., & Troeh, F. R. (1980). *Los suelos y su fertilidad*. Reverté. Retrieved from <https://books.google.com.pe/books?id=AegjDhEIVAQC&pg=PA53&dq=el+suelo+y+sus+propiedades+fisicoquimicas&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjcy7Cuv-DeAhWhxVvKkHVoODugQ6AEIKjAA#v=onepage&q&f=false>
- Tobón, C. (2009). *Los bosques andinos y el agua. Publicación de Ecobona (4th ed.)*. Quito: Programa Regional Ecobona -Intercooperation. Condesan. Retrieved from [http://www.bosquesandinos.info/ECOBONA/Bosques, final-web.pdf](http://www.bosquesandinos.info/ECOBONA/Bosques_final-web.pdf)
- USDA. (1999). *Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo*, 79. Retrieved from https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044786.pdf

- Vega, E., Daniel, C., & Zúñiga, T. (2013). *Manejo y conservación de pasturas naturales y cultivos temporales*. Arequipa. Retrieved from www.desco.org.pe
- Villegas, A. (2014). *Variación del carbono orgánico en suelos del Altiplano Potosino Oeste*. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Vinueza, L. (2015). *Determinación del contenido de carbono en el suelo en una plantación de pino (Pinus radiata D. Don) implementada en el Páramo en la comunidad de Totoras, Cantón Alausí, Provincia de Chimborazo*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Walkley, A., & Black, I. (1938). Método para determinar la materia orgánica en el suelo.
- White, E. G. (1971). *Consejos para los maestros*. Ellen G. White Estate.
- Yakabi, K. S. (2014). *Estudio de las propiedades edáficas que determinan la fertilidad del suelo en el sistema de Andenería de la comunidad campesina San Pedro de Laraos, Provincia de Huarochirí, Lima*. Pontificia Universidad Católica del Perú. Retrieved from http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/5836/YAKABI_BEDRINANA_KATIUSCA_FERTILIDAD_SUELO.pdf?sequence=1
- Yazdanshenas, H., Tavili, A., Jafari, M., & Shafeian, E. (2018). Evidence for relationship between carbon storage and surface cover characteristics of soil in rangelands. *CATENA*, 167, 139–146. <https://doi.org/10.1016/J.CATENA.2018.04.037>

ANEXOS

Anexo A. Ubicación geográfica del área de estudio



Fuente: Adaptado del programa ARGIS.

Anexo B. Características fisicoquímicas de los sistemas de queñual

| Sistema de uso de suelo | Profundidad (cm) | pH | C.E | DA | %MO |
|-------------------------|------------------|------|-------|------|-------|
| Queñual 1 | 20 | 4.83 | 88.1 | 1 | 6.90 |
| Queñual 2 | 20 | 5.97 | 42 | 1.02 | 4.83 |
| Queñual 3 | 20 | 5.79 | 129.1 | 0.84 | 12.00 |
| Queñual 4 | 20 | 4.94 | 138.4 | 0.55 | 33.45 |
| Queñual 5 | 20 | 5.71 | 126.1 | 0.96 | 11.49 |
| Queñual 1 | 40 | 4.69 | 43.1 | 1.11 | 5.30 |
| Queñual 2 | 40 | 5.36 | 30.9 | 1.13 | 3.05 |
| Queñual 3 | 40 | 5.54 | 62.3 | 0.98 | 5.40 |
| Queñual 4 | 40 | 4.62 | 85.1 | 0.83 | 15.63 |
| Queñual 5 | 40 | 5.68 | 77.4 | 1.25 | 4.97 |

Fuente: Elaboración propia (2018)

Anexo C. Características fisicoquímicas de los sistemas de pasturas

| Sistema de uso de suelo | Profundidad (cm) | pH | C.E | DA | %MO |
|-------------------------|------------------|------|------|------|------|
| Pastura 1 | 20 | 4.2 | 35.8 | 1.06 | 3.03 |
| Pastura 2 | 20 | 4.96 | 95.4 | 1.08 | 4.77 |
| Pastura 3 | 20 | 5.14 | 51.3 | 1.19 | 3.49 |
| Pastura 4 | 20 | 5.61 | 50.5 | 1.16 | 2.85 |
| Pastura 5 | 20 | 5 | 40.4 | 1.31 | 1.53 |
| Pastura 1 | 40 | 4.75 | 28.4 | 1.23 | 2.76 |
| Pastura 2 | 40 | 5.25 | 47.3 | 1.13 | 2.87 |
| Pastura 3 | 40 | 5.3 | 36.6 | 1.25 | 2.50 |
| Pastura 4 | 40 | 5.69 | 34.6 | 1.31 | 1.78 |
| Pastura 5 | 40 | 5.06 | 28 | 1.47 | 0.62 |

Fuente: Elaboración propia (2018)

Anexo D. Informe de Resultado de laboratorio de ingeniería ambiental



RESULTADO DE ANÁLISIS UPEU – FIA/ING-AMBIENTAL 2018-0018

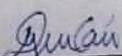
Una Institución Adventista

CLIENTE : Wendy Anaís Sullca Otazú
DIRECCIÓN : Av. Aviación N° 576
LUGAR DE MUESTREO : Comunidad de Quello Quello
TIPO DE MUESTRA : Suelo forestal
F. RECEPCIÓN DE MUESTRA : 06/12/2018
F. INICIO DE ENSAYOS : 06/12/2018
MUESTREADO POR : Laboratorio de Monitoreo Ambiental

| Análisis de Suelo | | | |
|-------------------|------------|--|--|
| N° de ensayos | Parámetros | | |
| | PH | Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) | Densidad aparente (g/m^3) |
| Pastura 1-20 | 4.2 | 35.8 | 1.06 |
| Pastura 1-40 | 4.75 | 28.4 | 1.23 |
| Pastura 2-20 | 4.96 | 95.4 | 1.08 |
| Pastura 2-40 | 5.25 | 47.3 | 1.13 |
| Pastura 3-20 | 5.14 | 51.3 | 1.19 |
| Pastura 3-40 | 5.3 | 36.6 | 1.25 |
| Pastura 4-20 | 5.61 | 50.5 | 1.16 |
| Pastura 4-40 | 5.69 | 34.6 | 1.31 |
| Pastura 5-20 | 5 | 40.4 | 1.31 |
| Pastura 5-40 | 5.06 | 28 | 1.47 |
| Queñual 1-20 | 4.83 | 88.1 | 1 |
| Queñual 1-40 | 4.69 | 43.1 | 1.11 |
| Queñual 2-20 | 5.97 | 42 | 1.02 |
| Queñual 2-40 | 5.36 | 30.9 | 1.13 |
| Queñual 3-20 | 5.79 | 129.1 | 0.84 |
| Queñual 3-40 | 5.54 | 62.3 | 0.98 |
| Queñual 4-20 | 4.94 | 138.4 | 0.55 |
| Queñual 4-40 | 4.62 | 85.1 | 0.83 |
| Queñual 5-20 | 5.71 | 126.1 | 0.96 |
| Queñual 5-40 | 5.68 | 77.4 | 1.25 |

Nota: PH: Método multiparametrico; C.E.: Método multiparametrico; D.A.: Método probeta

Juliaca, 10 de diciembre del 2018


 Jefe de Laboratorio
 ING. AMBIENTAL - UPEU F.J.

Anexo E. Informe de resultados de laboratorio para materia orgánica

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO

SOLICITANTE : WENDY ANAIS SULCCA OTAZU
PROCEDENCIA : PUNO/ COMUNIDAD DE QUELLO QUELLO
REFERENCIA : H.R: 66356
FECHA : 14/12/2018

| Lab | Número Muestra Claves | M.O. % |
|------|--------------------------|-----------|
| 6889 | Pastura 1-20 | 3.03 |
| 6890 | Pastura 1-40 | 2.76 |
| 6891 | Queñual 1-20 | 6.90 |
| 6892 | Queñual 1-40 | 5.30 |
| 6893 | Pastura 2-20 | 4.77 |
| 6894 | Pastura 2-40 | 2.87 |
| 6895 | Queñual 2-20 | 4.83 |
| 6896 | Queñual 2-40 | 3.05 |
| 6897 | Pastura 3-20 | 3.49 |
| 6898 | Pastura 3-40 | 2.50 |
| 6899 | Queñual 3-20 | 12.00 |
| 6900 | Queñual 3-40 | 5.40 |
| 6901 | Pastura 4-20 | 2.85 |
| 6902 | Pastura 4-40 | 1.78 |
| 6903 | Queñual 4-20 | 33.45 |
| 6904 | Queñual 4-40 | 15.63 |
| 6905 | Pastura 5-20 | 1.53 |
| 6906 | Pastura 5-40 | 0.62 |
| 6907 | Queñual 5-20 | 11.49 |
| 6908 | Queñual 5-40 | 4.97 |


Sady García Benítez
Jefe del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

Anexo F. Ficha de muestreo de suelos

| | |
|---|------------------------------------|
| Datos del responsable | |
| Nombres y apellidos: <i>Wendy Anais Sullca Otazú</i> | |
| Dirección: <i>Av. Aviación N° 576</i> | |
| Provincia: <i>San Román</i> | |
| Departamento: <i>Puno</i> | |
| Localidad <i>Juliaca</i> | |
| Teléfono: <i>948324443</i> | |
| E-mail: <i>wendyanaisso@gmail.com</i> | |
| Datos de la muestra | |
| Fecha del muestreo: <i>20 de Noviembre</i> | Profundidad(cm): <i>20 y 40 cm</i> |
| Provincia: <i>Lampa</i> | Coordenadas (X): <i>.356312</i> |
| Localidad: <i>Lampa</i> | Coordenadas (Y): <i>8307580</i> |
| Ubicación: <i>Quello Quello</i> | Altura: <i>3842</i> |
| Pendiente: <i>SI</i> | |
| Posición de la pendiente: Loma _____ x _____ Media loma: _____ Pie de loma: _____ | |
| Tipo de suelo Rojo: _____ Toscoso: _____ Sin datos _____ Otros: _____. | |
| Tipo de muestreo utilizado: <i>Muestreo de calicatas</i> | |
| N° total de muestras: <i>20 muestras</i> | |
| Uso y manejo de la parcela: <i>Suelos forestales y pasturas.</i> | |
| Observaciones: <i>El suelo presento gran dificultad por su ubicación pedregosa.</i> | |

Anexo G. Modelo del rotulo de la muestra



ROTULO DE LA MUESTRA

| | |
|------------------------------|---------------------|
| Código de la muestra: | |
| Nombre del sitio de estudio: | |
| Departamento: | |
| Provincia: | |
| Muestreado por: | |
| Coordenadas (UTM): | X: Y: Altura: |
| Fecha: | Profundidad: |
| Hora: | |
| Análisis de laboratorio: | |
| Fecha de recepción: | |

Anexo H. Panel fotográfico



Figura 1. Sistemas de Queñual



Figura 2. Sistemas de pasturas



Figura 3. Toma de punto con el GPS



Figura 4. Almacenamiento de la muestra

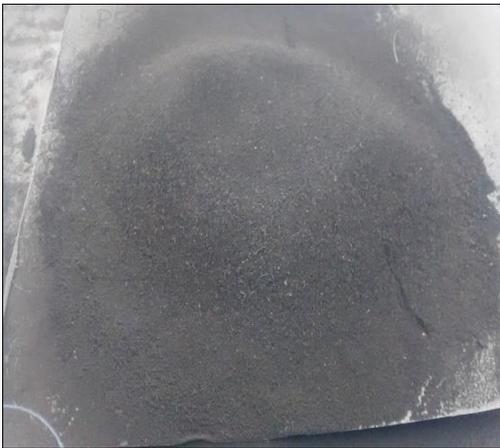


Figura 5. Muestra de suelo tamizada



Figura 6. Muestra rotuladas



Figura 7. Muestras para el análisis físico

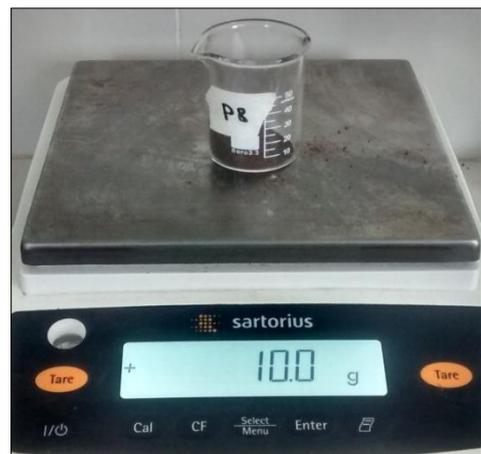


Figura 8. Pesado