UNIVERSIDAD NACIONAL

“TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS”

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

EVALUACIÓN DE CAPTURA DE CARBONO DE HELECHO ARBÓREO (*Cyathea obnoxia* Lehnert) COMO ALTERNATIVA DE IMPLEMENTACIÓN DE MECANISMOS DE RETRIBUCIÓN POR SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN EL ANEXO PIPUS, SAN FRANCISCO DE DAGUAS, CHACHAPOYAS, AMAZONAS, 2018

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

AUTOR:

Bach. GUERRERO PINEDO, JHESSICA MARÍA

ASESOR:

M.Sc. GUZMÁN CASTILLO, WAGNER

CHACHAPOYAS – PERÚ

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL

“TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS”

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

EVALUACIÓN DE CAPTURA DE CARBONO DE HELECHO ARBÓREO (*Cyathea obnoxia* Lehnert) COMO ALTERNATIVA DE IMPLEMENTACIÓN DE MECANISMOS DE RETRIBUCIÓN POR SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN EL ANEXO PIPUS, SAN FRANCISCO DE DAGUAS, CHACHAPOYAS, AMAZONAS, 2018

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

AUTOR:

Bach. GUERRERO PINEDO, JHESSICA MARÍA

ASESOR:

M.Sc. GUZMÁN CASTILLO, WAGNER

CHACHAPOYAS – PERÚ

2018

DEDICATORIA

Quiero dedicar esta tesis a mis padres: Luis Dionicio Guerrero Camus y Nora Elsa Pinedo Montoya, porque ellos han dado razón a mi vida, por sus consejos, su apoyo incondicional y su paciencia, todo lo que hoy soy, es gracias ellos.

A mi hermana Katherin del Pilar Guerrero Pinedo que más que una hermana ha sido una verdadera amiga.

Y a toda mi familia en especial, que es lo mejor y más valioso que Dios me ha dado.

Jhessica María Guerrero Pinedo.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM – A) por haberme permitido ser parte de ella y haberme abierto las puertas en su seno científico para poder estudiar la carrera que elegí por vocación, así como también, agradecer a los diferentes docentes que me brindaron sus conocimientos y su apoyo para seguir adelante día a día.

Agradezco también a mi asesor de tesis: el Ing. Wagner Guzmán Castillo por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento científico, además por haber tenido toda la paciencia del mundo para guiarme durante el desarrollo de la Tesis.

Y, para finalizar, también agradezco a todos los que fueron mis compañeros de clase durante todos los ciclos de Universidad, ya que gracias al compañerismo, amistad y apoyo moral han aportado en un alto porcentaje a mis ganas de perseverar en mi carrera profesional.

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

Dr. POLICARPIO CHAUCA VALQUI

Rector

Dr. MIGUEL ÁNGEL BARRENA GURBILLÓN

Vicerrector Académico

Dra. FLOR TERESA GARCÍA HUAMÁN

Vicerrectora de Investigación

Dr. OSCAR ANDRÉS GAMARRA TORRES

Decano de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

JURADO DE TESIS

Ing. GUILLERMO IDROGO VÁSQUEZ

Presidente

Ing. ELÍ PARIENTE MONDRAGÓN

Secretario

Ing. MANUEL OLIVA CRUZ

Vocal

VISTO BUENO DEL ASESOR

Yo **WAGNER GUZMÁN CASTILLO**, docente de la UNTRM – A, hago constar que he asesorado la ejecución de la tesis titulada **"Evaluación de Captura de Carbono de Helecho Arbóreo (*Cyathea obnoxia* Lehnert) como alternativa de Implementación de Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos en el Anexo Pipus, San Francisco de Daguas, Chachapoyas, Amazonas, 2018"**, elaborado por la tesista Jhessica María Guerrero Pinedo, egresada de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental.

El docente de la UNTRM - A que suscribe, da el Visto Bueno al informe final de la tesis en mención.

Chachapoyas, 06 de Agosto de 2018.

M.Sc. WAGNER GUZMÁN CASTILLO
Asesor

DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO

Yo **JHESSICA MARÍA GUERRERO PINEDO,** en mi condición de bachiller en la carrera profesional de Ingeniería ambiental, de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza – Amazonas, con documento de identidad N° 73999107, con domicilio en el Pasaje José Abelardo Quiñonez N° 209 – Barrio la Laguna en la ciudad de Chachapoyas.

Declaro bajo juramento que:

He realizado mi informe de tesis **"Evaluación de Captura de Carbono de Helecho Arbóreo (*Cyathea obnoxia* Lehnert) como alternativa de Implementación de Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos en el Anexo Pipus, San Francisco de Daguas, Chachapoyas, Amazonas, 2018"**; por lo cual certifico haberla realizado mediante la observación y revisión bibliográfica y sin lugar a plagio alguno.

En tal sentido, suscribo la presente Declaración, acogiéndome a los principios de veracidad y me someto a las sanciones a lugar en caso de falsedad.

Chachapoyas, 06 de Agosto del 2018.

JHESSICA MARÍA GUERRERO PINEDO
DNI: 73999107

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA i
AGRADECIMIENTOS ii
AUTORIDADES UNIVERSITARIAS iii
JURADO DE TESIS iv
VISTO BUENO DEL ASESOR v
DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO vi
RESUMEN 1
ABSTRACT 2
I. INTRODUCCIÓN 3
II. OBJETIVOS 5
2.1. Objetivo general 5
2.2. Objetivos específicos 5
III. MARCO TEÓRICO 6
3.1. Antecedentes de la investigación 6
3.1.1. Ámbito internacional 6
3.1.2. Ámbito nacional 6
3.1.3. Ámbito regional 7
3.1.4. Ámbito local 8
3.2. Bases teóricas 8
3.2.1. El CO_2 y el efecto invernadero 8
3.2.2. Gases de efecto invernadero 9
3.2.3. Impactos del cambio climático 9
3.2.4. Ciclo del carbono 9
3.2.5. Los bosques y la captura de carbono 10
3.2.6. Biomasa arbórea 11
3.2.7. Métodos para estimar la biomasa arbórea 11
3.2.8. Ecuación alométrica 11
3.2.9. Servicios ecosistémicos 12
3.2.10. Mecanismos de retribución por servicios ecosistémicos (MRSE) 12
3.3. Definición de términos básicos 12

IV. MATERIAL Y MÉTODOS 13
4.1. Materiales 13
4.1.1 Descripción del área de estudio: 13
4.2. Marco metodológico: 15
4.2.1. Diseño de investigación: Diseño con muestras diferentes. 15
4.2.2. Población, muestra y muestreo: 15
4.3. Métodos: 15
V. RESULTADOS 22
5.1. Caracterización de la especie materia de estudio 22
5.2. Determinación y evaluación de captura de carbono en biomasa aérea 26
5.2.1. Altura 26
5.2.2. Obtención de biomasa 27
5.2.3. Estimación del stock de C en biomasa 27
5.2.4. Obtención de CO_2 almacenado 28
5.3. Posibilidad de implementación de Proyectos de Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos (MRSE) 28
5.3.1. Valoración económica 29
5.3.2. Vías alternativas para establecer MRSE por captura de CO_2 30
VI. DISCUSIÓN 32
VII. CONCLUSIONES 34
VIII. RECOMENDACIONES 35
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 36
X. ANEXOS 41
Anexo 01: Panel fotográfico 42
Anexo 02: Formato de encuesta realizada: 46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Ficha para levantamiento de datos en campo 17

Tabla 2: Cálculo de biomasa aérea por individuo 19

Tabla 3: Estimación de biomasa, stock de C y CO_2 almacenado 21

Tabla 4: Valoración económica de CO_2 capturado 29

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de ubicación del sector Totoracucho..... 14

Figura 2: Encuesta - Pregunta N° 1 22

Figura 3: Encuesta - Pregunta N° 2 22

Figura 4: Encuesta - Pregunta N° 3 23

Figura 5: Encuesta - Pregunta N° 4 23

Figura 6: Encuesta - Pregunta N° 5 24

Figura 7: Helecho arbóreo (*Cyathea obnoxia* Lehnert)..... 26

Figura 8: Variación de altura en los individuos dimensionados..... 26

Figura 9: Cantidad de biomasa obtenida por cada individuo 27

Figura 10: Stock de C en biomasa aérea..... 27

Figura 11: Valores de dispersión del CO_2 capturado 28

RESUMEN

En los últimos años las evidencias del cambio climático han ido creciendo de manera considerable, por lo que resulta necesaria adoptar medidas que atenúen los impactos que se puedan producir. En ese sentido, se realizó la evaluación de captura de carbono en biomasa aérea de helechos arbóreos (*Cyathea obnoxia* Lehnert) en el sector Totoracucho, con el fin de explorar las posibilidades de implementación de Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos (MRSE). Para la medición de los individuos se aplicó en método indirecto no destructivo, mediante la obtención de datos tomados en campo para obtener variables de la altura total (HT), para aplicarlos en una ecuación alométrica definida para la especie; seguidamente, con los datos obtenidos se determinó la cantidad de CO_2 capturado por la especie en estudio. Posteriormente, se efectuó la valoración económica en unidades de $/t$CO_2$/Ha, y finalmente se evaluó la posibilidad de implementación de proyectos de Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos (MRSE) en la zona.

Palabras clave: Biomasa aérea, captura de CO_2, *Cyathea obnoxia* Lehnert, valoración económica.

ABSTRACT

In recent years the evidence of climate change has grown considerably, therefore it is necessary to adopt measures that mitigate the impacts that may occur. In this sense, the carbon capture in aerial biomass of arboreal ferns (*Cyathea obnoxia* Lehnert) in the Totoracucho sector was carried out, in order to explore the possibilities of implementation of Mechanisms of Retribution for Ecosystem Services (MRSE). For the measurement of individuals was applied in non-destructive indirect method by obtaining data taken in the field to obtain variables such as height total, to apply them in an allometric equation defined for the species; then, with the data obtained, the amount of CO_2 captured by the species under study was determined. Subsequently, the economic valuation was carried out in units of $/t$CO_2$/Ha, and finally the possibility of implementing Mechanism of Retribution for Ecosystem Services (MRSE) projects in the area was evaluated.

Key words: Aboveground biomass, capture of CO_2, *Cyathea obnoxia* Lehnert, economic valuation.

I. INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años se vienen presentando variaciones en los patrones meteorológicos, cambios que están siendo relacionados directamente con el Efecto Invernadero y el Cambio Climático, que puede ser provocado por procesos naturales internos, externos o por cambios antropogénicos en la composición de la atmósfera o el uso del suelo (FAO, 2014). Existen pruebas contundentes de este fenómeno, siendo la más conocida aquella que indica que la temperatura media mundial se ha elevado en medio grado centígrado (0.5 °C) desde el principio de este siglo; por lo que surge la preocupación de controlar o reducir las emisiones de los gases de efecto invernadero. Asimismo, se conoce que uno de los componentes que más influye en el efecto invernadero es el dióxido de carbono (CO_2), el mismo que viene alcanzando altas concentraciones en la atmósfera: 379 ppm en 2005 (IPCC, 2007).

Con el fin de contrarrestar la incidencia de los procesos de degradación de los ecosistemas, han surgido proyectos de forestación y reforestación en zonas rurales; tal es el caso del anexo Pipus, en el que se han realizado plantaciones de *Pinus patula* como alternativa de mejora de la calidad del entorno natural. Sin embargo, el *Pinus patula* es una especie forestal introducida que puede adaptarse o no según las características de la zona; e igualmente, existen especies nativas propias de la zona como lo es el helecho arbóreo (*Cyathea obnoxia* Lehnert) que crecen en zonas con la presencia de bosques más frondosos y que actualmente en el anexo Pipus existen ejemplares que muy bien se han adaptado a las condiciones climáticas y de suelo que el área les brinda.

Por otro lado, debido a la ampliación de la frontera ganadera y agrícola se ha generado un aceleramiento en la depredación de los bosques naturales, siendo ahora necesaria la valoración para conocer su contribución como agente de servicio ambiental y de beneficio en las comunidades poseedoras de especies nativas sobre todo, por lo que tras su mantenimiento se podría contribuir en la conservación de los ecosistemas frágiles y alargando el tiempo de los servicios brindados por éstos, rescatando la capacidad de almacenamiento de carbono. Entonces, cabe aquí la importancia de conocer la estimación de la cantidad de biomasa y captura de carbono en el helecho arbóreo (*Cyathea obnoxia* Lehnert) que aún podemos encontrar en la zona.

En lo que respecta al alcance, la presente investigación busca determinar la cantidad de carbono capturado en biomasa aérea del helecho arbóreo (*Cyathea obnoxia* Lehnert), en el anexo Pipus; de manera que a partir de los resultados de esta investigación contemos con una base de datos respecto a la captura de carbono de la especie en mención, ya que aún existe escasa información respecto a ella, la misma que servirá posteriormente en la toma de decisiones y acciones locales en temas de reforestación, bonos de carbono, y afines, con el objetivo de apaciguar los impactos generados por el proceso del cambio climático.

Desde el punto de vista de la importancia social, esta investigación generará reflexión, interés y discusión de los habitantes de la zona, revalorando los servicios ambientales brindados por los bosques en general y de los nativos en especial, que aportan beneficios tanto a los suelos, agua y aire; así como también nos será de importancia a la población en general ya que de alguna manera u otra todos estamos relacionados por el gran valor ecosistémico que ellos representan.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general:

Determinar y evaluar la cantidad de carbono capturado en la biomasa aérea del helecho arbóreo (*Cyathea obnoxia* Lehnert) en el anexo Pipus, San Francisco de Daguas, Chachapoyas, Amazonas, 2018.

2.2. Objetivos específicos:

- Caracterizar al helecho arbóreo (*Cyathea obnoxia* Lehnert) materia de estudio del sector "Totoracucho", anexo Pipus.
- Determinar y evaluar la cantidad de carbono capturado en biomasa aérea de la especie en estudio.
- Explorar posibilidades de implementación de proyectos de Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos (MRSE) en captura de carbono de la zona de estudio.

III. MARCO TEÓRICO

3.1. Antecedentes de la investigación:

3.1.1. Ámbito internacional:

Páez (2014) estimó la biomasa forestal aérea y la capacidad de captura de carbono mediante el método indirecto en especies representativas de la Reserva Forestal Protectora El Malmo ubicada en Tunja, Colombia, siendo éstas: *Weinmannia tomentosa* y *Myrcianthes* sp., obteniendo un total de 203,5 TCO_2/Ha. A partir de cuyos resultados, pretenden proyectar los servicios ambientales enfocados en planes de reforestación encaminados a la captura de CO_2. Asimismo, en un estudio desarrollado por Quiceno *et al*. (2016) se estimó el contenido de biomasa, fijación de carbono y los servicios ambientales, en un área de bosque primario en el Resguardo Indígena Chigüiro – Chátare, Colombia, empleando una metodología no destructiva, obteniendo en el área de estudio 47,60344 TCO_2. Por otro lado, Gutiérrez (2016), realizó la evaluación de carbono en biomasa de dos especies forestales nativas en el bosque Aguarongo, Cuenca; obteniendo para *Miconia aspergillaris* 5,6 TCO_2/Ha y para *Oreocallis grandiflora* 41,4 TCO_2/Ha. Determinando un valor económico de aproximadamente 733,3 dólares americanos.

3.1.2. Ámbito nacional:

En la selva del Perú, se han venido generando acciones de extracción forestal por decisiones producto de fuertes conflictos de intereses, distantes de la organización y cultura de nuestras comunidades nativas y campesinas, ocasionando polarizaciones de los procedimientos regulares del orden y la autoridad para proteger los bosques y los recursos naturales en general (FAO, 2004). En ese marco, en investigaciones realizadas por Del Águila (2014) en El Ciefor – Puerto Almendra, Iquitos; se cuantificó el secuestro de CO_2 y el almacenamiento de carbono en plantaciones de *Cedrelinga cateniformis* Ducke "tornillo" de tres edades diferentes (27, 35 y 43 años), la cuantificación de biomasa total fue realizada de forma indirecta o no destructiva utilizando la ecuación alométrica para bosques, cuyos resultados para biomasa fueron: 301,50 T/Ha, 222,26 T/Ha y 56,93 T/Ha, para almacenamiento de carbono: 186,93 TC/Ha, 137,80 TC/Ha y 35,30 TC/Ha, y un secuestro de CO_2 de

685,33 TCO_2/Ha, 303,14 TCO_2/Ha y 77,64 TCO_2/Ha para cada una de las edades respectivamente. Determinando que el secuestro de carbono depende directamente de la edad de la plantación. Igualmente, en el distrito de Tahuamanu, Madre de Dios, López (2015), realizó un estudio de valoración económica del servicio ambiental de captura de carbono en dos tipos de bosques en paralelo, pudiendo determinar que la valoración económica de un bosque primario (USD 9 280,94/Ha) es mucho mayor en comparación a la de un bosque convertido a actividad forestal (USD 730,09/Ha).

3.1.3. Ámbito regional:

Considerando que la región Amazonas, departamento con territorio de selva baja y selva alta, es la región con el segundo mayor índice de deforestación en el País: 7.52% (INRENA, 2005), con un acumulado de 349,020 hectáreas deforestadas, significando el 46% del área total de aptitud forestal (IIAP, 2006), índices alcanzados por acciones de extracción forestal ilegal, sumado a la práctica agresiva de una agricultura migratoria; la condición de fragilidad de su territorio y áreas definidas de protección identificadas en el proceso de Zonificación Económica y Ecológica (ZEE), son ahora una herramienta de gestión validada e importante para la gestión del desarrollo considerando el medio ambiente. Asimismo, la región Amazonas posee tres regiones naturales (selva baja, ceja de selva y sierra), con una extensión de 3´951,781 de hectáreas, extendiéndose hasta la frontera con Ecuador; la sierra comprende el 18.5% del territorio. Según la clasificación de tierras de acuerdo a su capacidad de uso mayor (CUM), realizada por el Instituto de Investigación de la Amazonía Peruana (IIAP, 2006), solamente el 1.37% del territorio es apto para el cultivo en limpio (54,284 Has), el 5.46% son terrenos aptos para la producción de pastos (215,789 Has), el 15.6% para la producción forestal y pastos (616,426 Has) y el 76,41% son tierras de protección (3,019,428 Has); siendo el restante ocupado por ríos, centros urbanos, islas y lagunas. En ese sentido, el interés en proteger los servicios ecosistémicos, no han sido ajenos a la región, como demuestran estudios desarrollados por Flúker y Sánchez (2016), en el que se determinó la concentración total de 3,955 T/Ha de carbono en un sistema silvopastoril con aliso (*Alnus acuminata* Kunth.) con el fin propósito de mitigar las emisiones de GEI, generando beneficios económicos a través de bonos de carbono que se obtiene por proteger el

bosque. Otro referente es la investigación desarrollada por Epquin (2017), que evaluó el carbono total en bosque de Tara con el fin de conocer su potencial como alternativa a obtener fondos para la conservación; los resultados obtenidos en suelo fueron de 56,81 TCO_2/Ha y biomasa aérea de 236.12 TCO_2/Ha, equivalente a US$ 446 243,70 demostrando tener gran potencial para el mercado de carbono.

3.1.4. Ámbito local:

En los últimos años la respuesta ha venido fortaleciéndose respecto a afrontar la vulnerabilidad ambiental en el anexo Pipus, que se caracteriza por la incidencia de deslizamientos en zonas de ladera, erosión de los suelos, prácticas agrícolas itinerantes, incrementa también la perdida de especies nativas como los helechos arbóreos (*Cyathea obnoxia* Lehnert), especie endémica que en años pasados eran aporte como insumos o materiales para la generación de ingresos y la calidad de vida del poblador, con alto valor ecológico y de uso convencional, y que ahora representa una situación de movilización ecológica para preservar su existencia (IIAP, 2006). Sin embargo, en la zona aún no se cuenta con estudios referentes al establecimiento de mecanismos de retribución de servicios ecosistémicos para la conservación de los recursos.

3.2. Bases teóricas:

3.2.1. El CO_2 y el efecto invernadero:

El efecto invernadero, cuando funciona normalmente, mantiene caliente nuestro planeta; ya que está cubierto por gases de efecto invernadero (GEI), que permiten la entrada de la energía solar, la cual calienta la superficie. Algunos de estos gases impiden el escape de ese calor hacia el espacio. Es un efecto natural que mantiene a la Tierra con una temperatura promedio arriba del punto de congelación y permite la vida que conocemos. Las actividades humanas han producido un exceso de GEI, principalmente de dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O); cuyas concentraciones atmosféricas de CO_2 han aumentado en un 30% desde los tiempos preindustriales, mientras que la temperatura promedio global ha aumentado entre 0,3 a 0,6 °C (Begon *et al.* 1996; Alexander *et al*, 1998; Beaumont, 1999; Tattenbach y Pedroni, 1999, citado por Ruiz, 2002).

3.2.2. Gases de efecto invernadero:

Identificados por sus siglas GEI, son gases traza en la atmósfera que absorben y emiten radiación de onda larga. Envuelven a la Tierra en forma natural y, sin ellos en la atmósfera, la temperatura del planeta sería 33°C inferior. Los siete GEI más importantes regulados por el Protocolo de Kioto son: dióxido de carbono, metano, hidrofluorocarbono, perfluorocarbono, hexafluoruro de azufre y trifluoruro de nitrógeno; cada uno de estos gases tiene una capacidad diferente de atrapar el calor en la atmósfera, también denominado: Potencial de calentamiento global (IPCC, 2007).

3.2.3. Impactos del cambio climático:

- **Sobre la agricultura:** El cambio climático no afecta por igual a todos los cultivos por igual, la modificación de las características climáticas afecta el crecimiento y reproducción de las plantas (Ibañez, 2011).
- **Sobre los ecosistemas:** Presentan un incremento en los índices de mortalidad, cambios en la distribución y límites de las especies, migraciones tempranas y más alejadas (Bergkamp y Orlando, 1999).
- **Sobre los recursos hídricos:** La escorrentía y la disponibilidad del agua, se verá más comprometida debido al retroceso y pérdida de glaciares, el descenso de volúmenes de agua almacenado en la nieve, y la reducción de los cursos de agua durante el verano y otoño, afectando así otras actividades de sustento (Watson et al., 2000).
- **Sobre la salud:** Resultan de una exposición creciente a olas de calor y aumento de la contaminación, brotes de epidemias de enfermedades transmitidas por vectores a través del agua, generando enfermedades como la malaria, el dengue, la fiebre amarilla o el cólera (Ize, 2002).

3.2.4. Ciclo del carbono:

El carbono constituye todas las moléculas orgánicas que forman a los seres vivos. Se encuentra en la atmósfera en forma de dióxido de carbono, en el suelo y disuelto en el agua. Cumple un papel fundamental en los procesos fisicoquímicos y biológicos del planeta a través del ciclo de carbono, para ello existen cinco rutas naturales de transformación del carbono:

- **Fotosíntesis:** Las plantas transforman el CO_2 atmosférico, o del agua, en materia orgánica (carbohidratos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos), de la que se alimentan los seres vivos a través de las cadenas alimentarias, donde pasa a formar parte del cuerpo de estos seres vivos.
- **Respiración:** Durante la respiración, los animales y las plantas consumen materia orgánica y devuelven el CO_2 a la atmósfera o al agua.
- **Combustión:** El carbono es incorporado a la atmósfera mediante los procesos de combustión que se generan en los incendios forestales, la actividad volcánica y el uso de petróleo, gas natural o carbón, en actividades industriales, de transporte y domésticas.
- **Descomposición:** Los restos de los animales y vegetales son descompuestos por las bacterias.
- **Liberación:** De la atmósfera a los cuerpos de agua, mediante la disolución del carbono y de la transformación de CO_2 a carbonatos por los organismos marinos. Si el CO_2 es liberado a la atmósfera las plantas vuelven a utilizarlo.

3.2.5. Los bosques y la captura de carbono:

Los bosques juegan un rol muy importante no sólo como factor de desarrollo de un país y de sus modelos de sostenibilidad, sino que adquieren un protagonismo mundial por su reconocimiento como sumideros en los sistemas contables de los ciclos de carbono (Dauber *et al.*, 2000). Las masas forestales, sean bosques, selvas, o vegetación xerófita y ribereña; juegan un papel importante en la fijación y retención del carbono emitido antrópicamente a la atmósfera; por lo que es de vital importancia la conservación de los bosques naturales (Rojo *et al*., 2003). Adicional a ello, los sistemas forestales tienen el potencial de, no solo almacenar el carbono en su biomasa, sino también lo hacen en el suelo (Gasparri *et al*., 2004). Se estima que, combinando estrategias de conservación forestal con proyectos de reforestación en todo el mundo, los bosques podrían resultar un sumidero neto de carbono durante los próximos cien años, permitiendo secuestrar entre un 20 y un 50% de las emisiones netas de CO_2 a la atmósfera (IPCC, 2007). Por lo tanto, no cabe duda que los bosques juegan un rol fundamental al momento de secuestrar el carbono liberado en el desarrollo de las actividades antropogénicas y por procesos

naturales; es por ello que la conservación y restauración de los bosques, los cuales sirven de importantes sumideros de carbono y liberación de oxígeno a través de la fotosíntesis, es una de las estrategias centradas en la reducción de emisiones y recaptura de los gases de efecto invernadero (Santiago *et al*., 2008).

3.2.6. Biomasa arbórea:

Es un tipo de depósito de carbono muy importante debido a que contribuye al almacenamiento de carbono en el suelo por medio de la acumulación de la materia orgánica. Además, la estimación de la biomasa también permite establecer la cantidad de dióxido de carbono que puede ser removida de la atmósfera por la reforestación (Polzot, 2004).

3.2.7. Métodos para estimar la biomasa arbórea:

La estimación adecuada de la biomasa de un bosque, es un elemento de gran importancia debido a que ésta determina el monto de carbono existente en cada uno de los componentes y representa la cantidad potencial de carbono que puede ser liberada a la atmósfera, o conservado y fijado en una determinada superficie cuando los bosques son manejados para alcanzar compromisos de mitigación de GEI (Scheguel, 2001). Existen dos métodos para la estimación de la biomasa arbórea:

- **Método destructivo:** Consiste en cortar árboles y pesar la biomasa de los fustes, ramas y hojas para luego secarla; incluyen mediciones en campo, cosecha y toma de muestras de la totalidad de la vegetación. Es el método más costoso y requiere mayor tiempo.
- **Método indirecto:** Usa modelos de regresión con variables obtenidas en el campo, se usan modelos de biomasa para cada espécimen, para lo que son requeridos los valores de diámetro a la altura del pecho (DAP) y/o la altura total (HT).

3.2.8. Ecuación alométrica:

Es una herramienta matemática que permite conocer de forma simple, la cantidad de biomasa de un árbol por medio de la medición de otras variables. El uso de ecuaciones alométricas permite el cálculo de la biomasa de una especie de manera

no destructiva y extrapolable a situaciones de crecimiento similares (Rügnitz et al., 2009).

3.2.9. Servicios ecosistémicos:

Son aquellos beneficios económicos, sociales y ambientales, directos e indirectos, que las personas obtienen del buen funcionamiento de los ecosistemas, tales como la regulación hídrica en cuencas, el mantenimiento de la biodiversidad, el secuestro de carbono, la belleza paisajística, la formación de suelos y la provisión de recursos genéticos, entre otros (Ley Nº 30215).

3.2.10. Mecanismos de retribución por servicios ecosistémicos (MRSE):

Son los esquemas, herramientas, instrumentos e incentivos para generar, canalizar, transferir e invertir recursos económicos, financieros y no financieros, donde se establece un acuerdo entre contribuyentes y retribuyentes al servicio ecosistémico, orientado a la conservación, recuperación y uso sostenible de las fuentes de los servicios ecosistémicos (Ley Nº 30215).

3.3. Definición de términos básicos:

- **Carbono:** Elemento químico sólido y no metálico presente en todos los componentes orgánicos y algunos inorgánicos. En su estado puro se encuentra como diamante o grafito. Su símbolo es C y su número atómico es 6 (Lino, 2009).
- **Carbono almacenado:** Capacidad de un área cubierta por vegetación de fijar carbono en un periodo de tiempo (Segura, 1997, citado por Ruiz, 2002).
- **Biomasa:** Cantidad de materia viva producida en un área determinada, o por organismo de un tipo específico (Orrego, 2001).
- **Biomasa aérea:** Conformada por las estructuras leñosas de especies arbóreas, frutales y arbustos por encima del suelo productivo (Medina, 2006).
- **Protocolo de Kioto:** Fue creado para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero que causan el calentamiento global. Es un instrumento para poner en práctica lo acordado en la Convención Marco de las Naciones Unidad sobre el Cambio Climático (Ledezma y Caballero, 2013).

IV. MATERIAL Y MÉTODOS

4.1. Materiales:

- Navegador GPS
- Cámara fotográfica digital
- Memoria USB
- Calculadora científica
- Wincha
- Laptop
- Individuos de helecho arbóreo (*Cyathea obnoxia* Lehnert)

4.1.1 Descripción del área de estudio:

El distrito de San Francisco de Daguas es uno de los veintiún distritos de la provincia de Chachapoyas, ubicada en el departamento de Amazonas, en el norte del Perú. Fue creado el 14 de mayo de 1952 mediante Ley N° 11839. Limita con el norte con el distrito de Sonche, por el este con el distrito de Molinopampa; con el sur con el distrito de Soloco y, por el oeste con el distrito de Chachapoyas. Abarca una superficie de 47,41 Km^2; se encuentra situado a una altitud media de 2360 m.s.n.m., y ubicado a una latitud sur de 06°14’00’’y longitud oeste de 77°44’21’’. Según el INEI (2007) tiene una población de 326 habitantes, cuyo porcentaje considerado en situación de pobreza asciende a 29.9%; además, un 26.1% de hogares no cuenta con el servicio de agua, un 39.5% se encuentra sin desagüe y un 18.5% no posee alumbrado.

El sector denominado Totoracucho que posee aproximadamente un área de 18.05 Has, se encuentra ubicado en el anexo Pipus del distrito San Francisco de Daguas, provincia de Chachapoyas, departamento de Amazonas. Las condiciones climáticas son variables, pudiendo oscilar entre los 15 a 20 °C en promedio con abundantes precipitaciones en los meses de Enero a Abril. En el sector Totoracucho se encuentran presentes los cauces de tres ríos, los cuales (según información oficial de las cartas nacionales) son: el río Ventilla, río Sonche y río Yopsac, siendo este último, conocido por los pobladores de la zona como el río Ishpingo, y al cual es afluente la quebrada Cholmal cuyo cauce es permanente durante todo el año.

Debido a las características que la zona posee se encuentra ubicado en el ecosistema denominado Bosque de Montaña Montano (Bm – mo), que comprende la Yunga, aproximadamente entre los 2000 y 3000 m.s.n.m., representando una superficie de 3’072,387 Has que representa el 2,39% del territorio nacional.

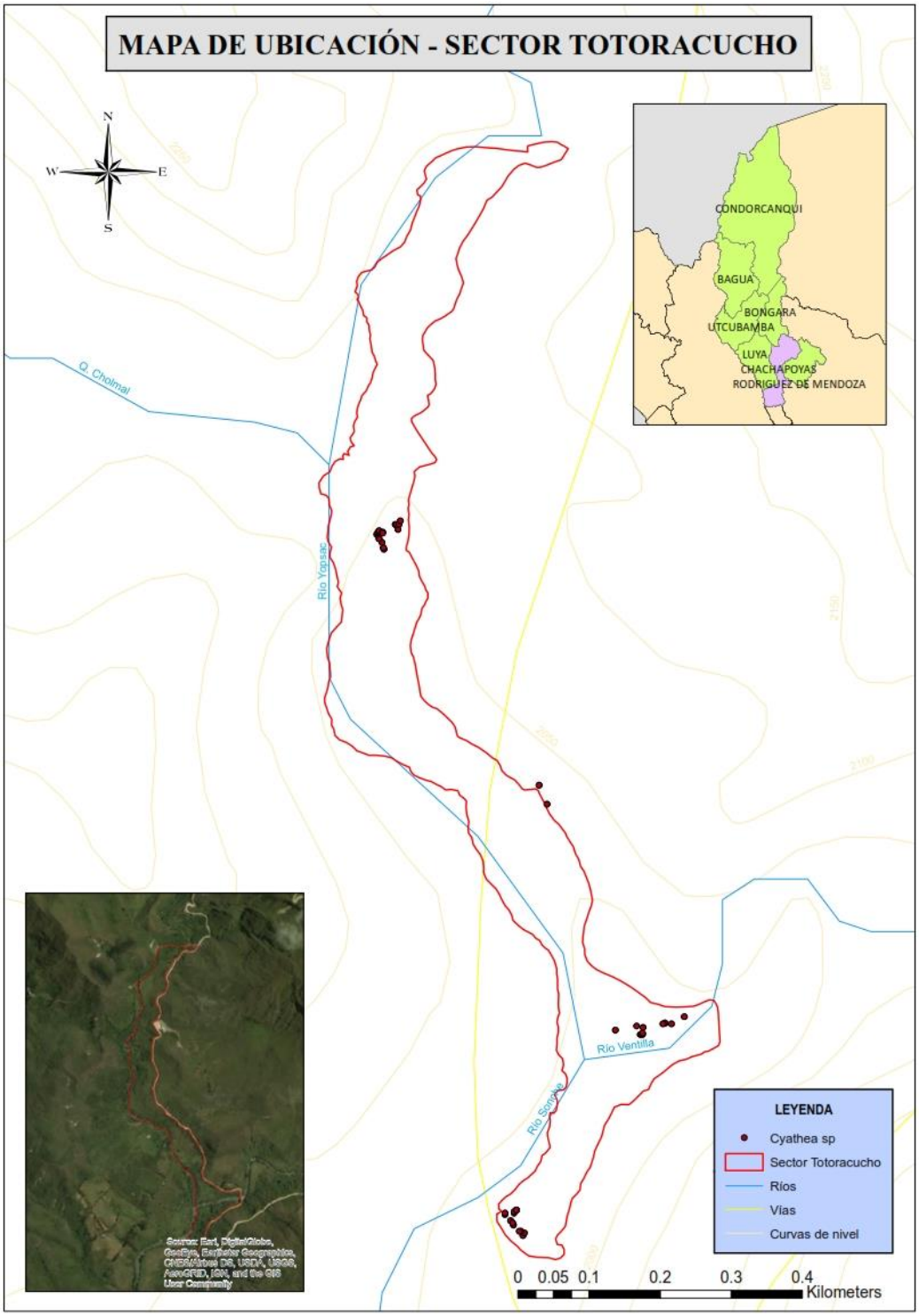

Figura 1: *Mapa de ubicación del sector Totoracucho*

De acuerdo a la memoria descriptiva del Mapa Nacional de Cobertura Vegetal (MINAM, 2015), en el Bosque de Montaña Montano se reporta la presencia de los siguientes géneros: *Ficus, Miconia, Tetrochidium, Juglans, Weinmania, Cestrum, Pouteria, Saurauia, Clusia, Hyeronima, Ficus, Nectandra, Vernonanthera, Meliosra, Condaminea, Phytolaca, Citronella, Solanum, Alsophylla, Cyathea*, entre otros.

Cabe mencionar que el género *Cyathea* se encuentra distribuido en parte del territorio local, abarcando una parte en la trayectoria del distrito de Molinopampa hacia la provincia de Rodríguez de Mendoza, en la que destacan mayormente las palmeras andinas como *Ceroxylum peruvianum* (pona) y *Ceroxylum quindiuense* (pona) (MINAM, 2016), siendo esta última bien representada en la localidad de Ocol.

4.2. Marco metodológico:

4.2.1. Diseño de investigación: Diseño con muestras diferentes.

M1 ——— X ———→ O1

Donde:

M1: Muestra de helechos arbóreos (*Cyathea obnoxia* Lehnert)

O1: Medida de la concentración de captura y almacenamiento de carbono en helechos arbóreos (*Cyathea obnoxia* Lehnert)

X: Análisis de datos obtenidos en campo

4.2.2. Población, muestra y muestreo:

- **Población:** Individuos de helechos arbóreos (*Cyathea obnoxia* Lehnert) en el sector Totoracucho, anexo Pipus, San Francisco de Daguas, Chachapoyas, Amazonas.
- **Muestra:** El número de 33 ejemplares de *Cyathea obnoxia* Lehnert
- **Muestreo:** Se realizó un muestreo aleatorio estratificado.

4.3. Métodos:

Para la ejecución del proyecto de tesis, se aplicó el método inductivo de investigación, mediante el cual se realizó la observación de los hechos arbóreos (*Cyathea obnoxia*

Lehnert) para su registro; luego la clasificación y el estudio de los mismos; la derivación inductiva que parte de los hechos y permite llegar a una generalización; y finalmente la contrastación. Para ello, fue necesario realizar el siguiente proceso:

a) Recolección de información mediante la aplicación de una breve encuesta y conversaciones directas con los pobladores de la zona respecto de los principales usos que se le atribuyen a la especie en estudio, así mismo, revisión bibliográfica sobre la taxonomía, descripción u otros aspectos en relación a los helechos arbóreos (*Cyathea obnoxia* Lehnert).

b) Obtención de variables en campo:

- **Identificación de individuos:**
  En la identificación de los individuos de la especie nativa *Cyathea obnoxia* Lehnert se realizó un recorrido por el sector denominado "Totoracucho" del anexo Pipus, y se identificó la ubicación de cada individuo mediante un equipo GPS, así mismo se registró la ubicación y elevación en una ficha de campo.

- **Medición de la altura total:** La altura es uno de los principales parámetros que se miden en una especie; dicha medida es la longitud de línea recta desde la base del fuste hasta la copa del árbol (Mostacedo y Fredericksen, 2000). La medición se realizó de manera directa con una wincha y un listón de madera.

Tabla 1: *Ficha para levantamiento de datos en campo*

N°	PTO. GPS	DAP (cm)	Altura (m)	Coordenadas		Altitud (msnm)
				X	Y	
1	1020	16.87	4.12	197957	9312640	1881
2	1022	12.73	3.27	197965	9312629	1888
3	1023	9.55	4.50	197968	9312626	1892
4	1025	10.50	3.75	197984	9312612	1897
5	1026	10.19	2.40	197980	9312614	1897
6	1027	11.14	4.30	197977	9312614	1899
7	1028	8.91	4.30	197970	9312640	1896
8	1030	7.32	2.10	197973	9312644	1900
9	1031	8.91	2.00	197973	9312644	1900
10	1032	11.78	4.74	198209	9312916	1885
11	1033	9.55	4.97	198191	9312906	1967
12	1034	8.28	2.18	198182	9312907	1968
13	1036	10.50	5.74	198179	9312906	1971
14	1037	11.46	5.90	198151	9312901	1980
15	1038	8.59	6.13	198147	9312891	1980
16	1039	8.91	4.05	198150	9312891	1985
17	1040	7.96	5.15	198150	9312893	1986
18	1042	11.46	2.35	198112	9312897	1994
19	1043	8.28	2.80	198016	9313215	2021
20	1047	12.73	4.10	197784	9313584	2031
21	1048	9.55	5.90	197780	9313589	2029
22	1049	9.55	4.72	197777	9313595	2030
23	1050	8.28	3.67	197778	9313597	2030
24	1051	7.00	3.75	197780	9313599	2031
25	1052	9.87	4.55	197780	9313600	2032
26	1053	10.50	5.15	197785	9313598	2033
27	1054	8.59	3.71	197785	9313597	2033
28	1055	7.64	4.25	197807	9313602	2040
29	1056	6.37	4.47	197803	9313609	2040
30	1057	7.96	4.85	197803	9313609	2040
31	1058	8.91	3.93	197804	9313609	2042
32	1059	10.82	5.28	197808	9313609	2043
33	1060	7.96	4.77	197810	9313614	2047

c) **Análisis de datos:** Ejecución de cálculos posteriores a las mediciones obtenidas para determinar la cantidad de biomasa, carbono y toneladas de CO_2.

$$B_{AU} = f(\text{datos dimensionales})$$

Donde:

B_{AU}: Biomasa arbórea sobre el suelo de una unidad (Kg MS/individuo)

f (datos dimensionales): Ecuación alométrica relacionando la biomasa a los datos dimensionales medidos en campo

Se procedió a aplicar la ecuación alométrica para *Cyathea* sp., desarrollada por Weaver (2000), como se citó en Gonzales *et al.* (2007), en la que se estimó la biomasa arbórea para cada unidad de helecho arbóreo identificado.

$$B_{AU} = 3.82h - 3.62$$

Donde:

h: Altura total del individuo de *Cyathea obnoxia* Lehnert

Tabla 2: *Cálculo de biomasa aérea por individuo*

N° de individuo	**H (m)**	**Biomasa (Kg)**
1	4.12	12.12
2	3.27	8.87
3	4.50	13.57
4	3.75	10.71
5	2.40	5.55
6	4.30	12.81
7	4.30	12.81
8	2.10	4.40
9	2.00	4.02
10	4.74	14.49
11	4.97	15.37
12	2.18	4.71
13	5.74	18.31
14	5.90	18.92
15	6.13	19.80
16	4.05	11.85
17	5.15	16.05
18	2.35	5.36
19	2.80	7.08
20	4.10	12.04
21	5.90	18.92
22	4.72	14.41
23	3.67	10.40
24	3.75	10.71
25	4.55	13.76
26	5.15	16.05
27	3.71	10.55
28	4.25	12.62
29	4.47	13.46
30	4.85	14.91
31	3.93	11.39
32	5.28	16.55
33	4.77	14.60

Luego de obtenidos los datos de biomasa, se procedió a calcular las siguientes medidas:

- **Estimación de biomasa arbórea por Ha:**

  Teniendo la biomasa aérea (Kg MS/individuo) para cada uno de los individuos, se calculó la biomasa total en unidades de (T/Ha). A continuación, se describe la ecuación (Rugnitz *et al.*, 2009).

$$B_A = \left({}^{\sum AU}/_{\text{área}} \right) \times \left({}^{1}/_{1000} \right)$$

  Donde:

  B_A: Biomasa arbórea sobre el suelo (t MS/Ha)

  ∑AU: Sumatoria de biomasa arbórea de todos los árboles de la parcela (Kg MS)

  Factor 1000: Conversión de las unidades de la muestra de Kg MS/t MS

- **Estimación de stock de C en biomasa arbórea por Ha:**

  Para la conversión de biomasa aérea a carbono, se siguieron los lineamientos definidos por la Guía de buenas prácticas para uso de suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura del IPCC (IPCC, 2003), donde se asume el contenido de carbono de la biomasa aérea de los bosques corresponde al 50% de la biomasa de árboles vivos. Sin embargo, se propone el uso de la fracción de carbono (FC) propuesta por el IPCC (2006) para transformar la biomasa a carbono. A continuación, la ecuación de cálculo (Rugnitz *et al*. 2009; Phillips *et al*., IDEAM, (2011a); Phillips *et al*., IDEAM, (2011b)).

$$\Delta C_{BA} = (B_A \times CF)$$

  Donde:

  ΔC_{BA} = Cantidad de carbono en biomasa sobre el suelo (t C/Ha)

  BA = Biomasa arbórea sobre el suelo (t MS/Ha)

  CF = Fracción de carbono (t C/t MS). El valor estándar del IPCC para CF = 0.47

- **Estimación del carbono equivalente:**

  El Protocolo de Kioto fijó como unidad única de transacción la tonelada de dióxido de carbono equivalente (CO_2e) para estandarizar la cuantificación de las emisiones de GEI y el cumplimiento de los compromisos internacionales por parte de los países industrializados. Una tonelada de carbono (C) equivale a 3.67 toneladas de CO_2e (obtenido en razón de los pesos moleculares 44/12). Para saber la cantidad de CO_2e emitido o almacenado a partir de la cantidad de carbono de un determinado depósito se debe multiplicar ésta por 3.67 (Rugnitz *et al*. 2009; Philips *et al*. 2011a). A continuación, se describe la ecuación:

$$CO_2e = (\Delta C_{BA} \times 3.67)$$

Donde:

CO_2e = Dióxido de carbono equivalente (t CO_2/Ha)

ΔC_{BA} = Cantidad de carbono en biomasa sobre el suelo (t C/Ha)

3.67 = Constante de conversión de C a CO_2

Tabla 3: *Estimación de biomasa, stock de C y CO_2 almacenado*

Biomasa arbórea (t MS/Ha)	**Stock de C en biomasa (t C/Ha)**	**CO_2 almacenado (t CO2/Ha)**
0.023	0.011	0.039

d) Exploración de posibilidades de implementación de proyectos de Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos (MRSE): Basado en el estudio y revisión de guías y normativas vigentes emitidas por el Ministerio del Ambiente para la implementación de proyectos de MRSE, de acuerdo a las modalidades existentes de común acuerdo entre los contribuyentes y los retribuyentes por el servicio ecosistémico, con la finalidad de asegurar la permanencia de los beneficios generados por los ecosistemas.

V. RESULTADOS

5.1. Caracterización de la especie materia de estudio: Helechos arbóreos (*Cyathea obnoxia* Lehnert)

Se aplicó una breve encuesta a 17 pobladores del anexo Pipus; tras observar la imagen de un helecho arbóreo (*Cyathea obnoxia* Lehnert) se les preguntó si podían identificar a la planta; es decir, si la conocen o la han visto en la zona. Del total de encuestados, el 76% respondió que sí y el 24% respondió que no.

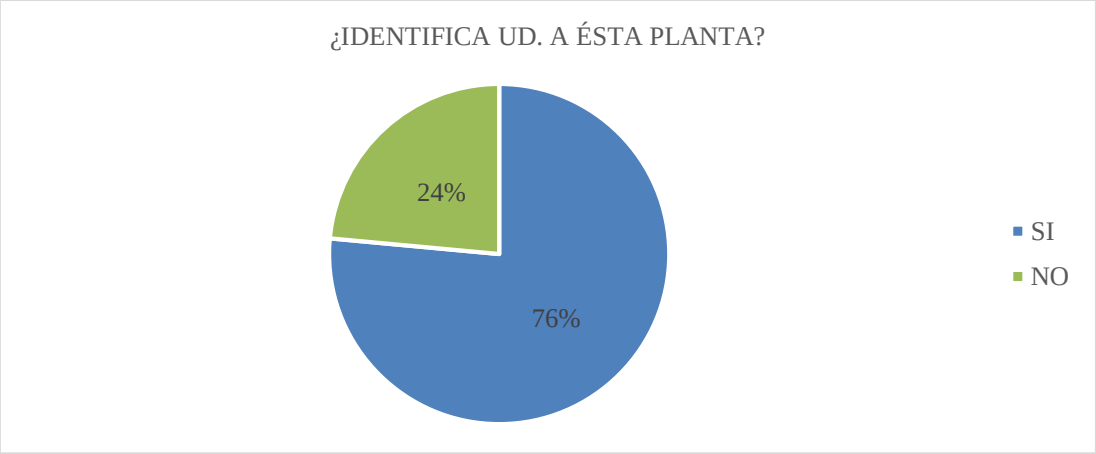

Figura 2: *Encuesta - Pregunta N° 1*

Respecto al nombre común con el que se conoce se realizó la pregunta: ¿con qué nombre es conocida la planta mostrada anteriormente?. A lo que el 18% respondió como "cusco o cuzco", el 47% como "helecho", el 12% como "chonta" y el 23% respondió que no sabe o no conoce el nombre de la planta en mención.

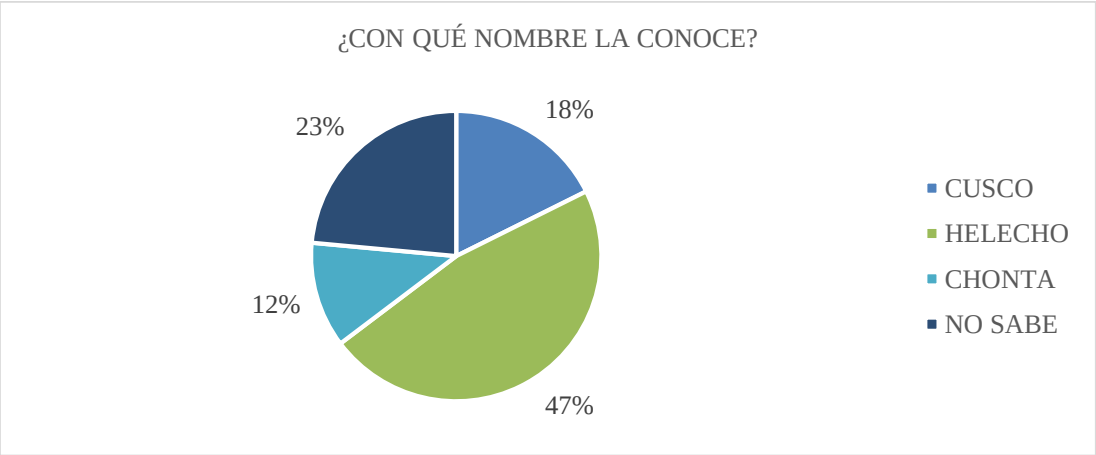

Figura 3: *Encuesta - Pregunta N° 2*

Luego, se preguntó sobre los usos que se le atribuyen a la especie en la zona. A lo que el 18% respondió que la especie en mención es utilizada como postes para cercar terrenos, el 35% respondió que se emplea como vigas en la construcción de casas rústicas de quincha, el 12% coincidió en que se emplea como maceteros, igualmente el 12% respondió que es empleada como una planta ornamental y el 23% respondió que no sabe los usos que posee la especie en mención.

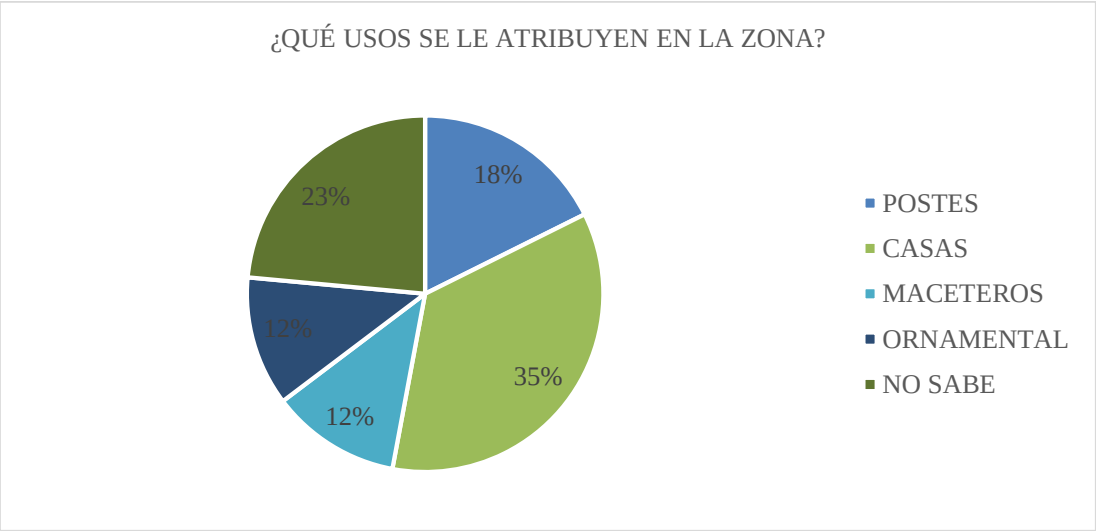

Figura 4: *Encuesta - Pregunta N° 3*

La siguiente pregunta se realizó con la finalidad de saber si en la zona, los pobladores creen que la especie tiene algún valor o importancia. A lo que el 82% respondió que sí, mientras que el 18% restante no respondió.

Figura 5: *Encuesta - Pregunta N° 4*

Finalmente, la última pregunta se realizó con el fin de conocer la predisposición de la población de saber si estaban dispuestos o no a contribuir con la conservación de la especie materia de estudio. A lo que el 100% de encuestados respondió que sí.

Figura 6: *Encuesta - Pregunta N° 5*

Posteriormente, se realizó la revisión de información de fuentes secundarias, pudiendo así, determinar que los helechos arbóreos (*Cyathea obnoxia* Lehnert) se encuentran clasificados taxonómicamente (Species *Cyathea obnoxia* – Hierachy – The Taxononomicon, 2018) tal como se muestra a continuación:

Tabla 4*: Clasificación taxonómica de Cyathea obnoxia Lehnert*

Reino	*Plantae*
Clase	*Polypodiidae*
Orden	*Cyatheales*
Familia	*Cyatheaceae*
Género	*Cyathea*
Especie	*Cyathea obnoxia* Lehnert

Son plantas criptógamas ya que carecen de flores. Casi todas ellas son plantas perennes, salvo algunas que, en épocas frías, si las temperaturas bajan algo más de lo debido para su especie, llegan a perder su follaje. Su mal denominado tronco, es un gran rizoma de crecimiento aéreo y vertical (estipe) sobre el que se desarrollan raíces adventicias de donde salen frondes cada año. Con el tiempo y en condiciones favorables, este rizoma va adquiriendo el aspecto de tronco en altura pudiendo alcanzar estas formas arbóreas que los definen, presentando el aspecto antes mencionado similar al que adquieren las palmeras. Estos helechos poseen hojas llamadas frondes de crecimiento erguido que, con su madurez, optan en su conjunto por crear una vegetación semejante a las típicas palmeras. Son hojas que están compuestas por foliolos independientes (pinnas), las cuales pueden estar a su vez divididas en una o más veces (pinnulas). Como ocurre en determinadas especies de helechos, algunos helechos arborescentes o arbóreos tienen la facultad de alimentarse mediante unos prótalos subterráneos no fotosintéticos que actúan en simbiosis con hongos. Por lo general, habitan en lugares frescos, húmedos y umbrosos.

En el sector Totoracucho los helechos arbóreos (*Cyathea obnoxia* Lehnert) se desarrollan en zonas húmedas, como quebradas y fuentes de agua natural, lo que hace suponer que son reguladores hídricos. En años pasados, los helechos arbóreos (*Cyathea obnoxia* Lehnert) tenían gran utilidad como pilares para la construcción de viviendas de quincha y como cercos, por la gran resistencia que poseen; sin embargo, en la actualidad ese uso se ha ido perdiendo por la introducción de materiales de construcción convencionales. Hoy en día, su uso se limita a la extracción de las cubiertas de las raíces para ser utilizadas de manera ornamental como maceteros y productos artesanales.

Por ser especies muy antiguas, en la actualidad los helechos arbóreos se encuentran en peligro de extinción, debido a dos factores principalmente: la pérdida del hábitat donde viven y, por la tala para expansión de la frontera agrícola y/o ganadera (Soto, 2014).

Figura 7: *Helecho arbóreo (Cyathea obnoxia Lehnert)*

5.2. Determinación y evaluación de captura de carbono en biomasa aérea:

5.2.1. Altura:

La variación de altura es bastante significativa, logrando obtener rangos que oscilan de 2 a 6.80 m. Donde, de los 33 individuos dimensionados, 6 poseen alturas que van desde los 2 a 3.20 m, 12 se encuentran entre los 3.20 a 4.40 m de altura, 11 se encuentran entre los 4.40 a 5.60 m de altura y, 4 con altura entre los 5.60 a 6.80 m. En promedio, se obtuvo una altura igual a 4.18 m, cuyo dato se encuentra ubicado dentro el rango con mayores individuos dimensionados.

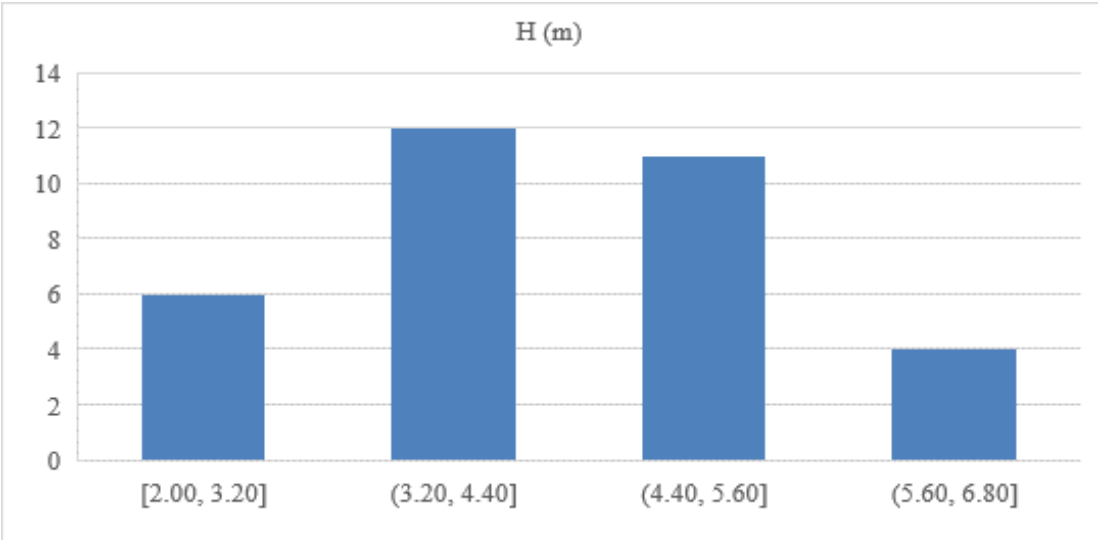

Figura 8: *Variación de altura en los individuos dimensionados*

5.2.2. Obtención de biomasa:

Se obtuvo la biomasa aérea para cada individuo, sumando un total de 407.13 Kg de materia seca, siendo el promedio aritmético igual a 12.34 Kg de biomasa por cada individuo de helecho arbóreo (*Cyathea obnoxia* Lehnert), donde el valor máximo es de 19.80 Kg para una altura de 6.13 m; y el valor mínimo es de 4.02 Kg para una altura de 2.00 m.

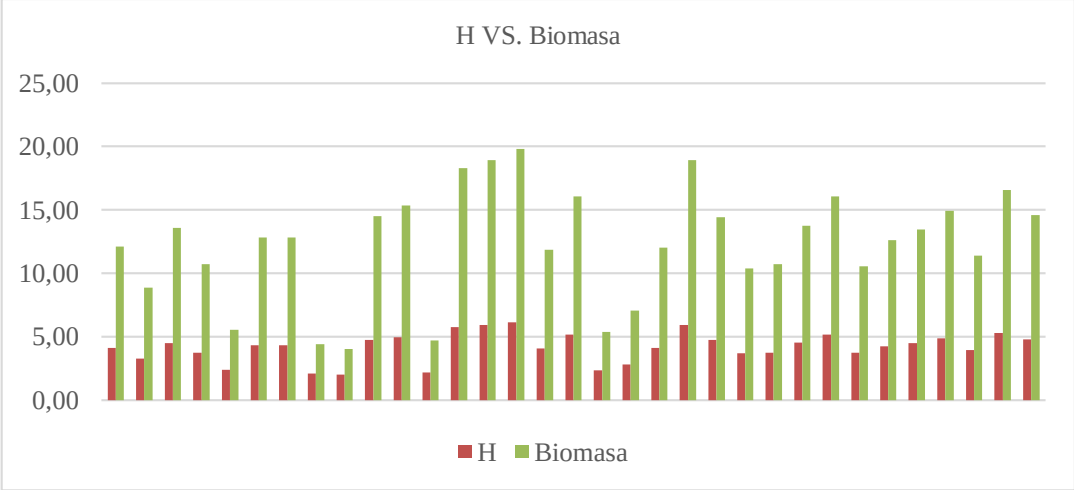

Figura 9: *Cantidad de biomasa obtenida por cada individuo*

5.2.3. Estimación del stock de C en biomasa:

Se obtuvo el contenido de C en biomasa para cada individuo dimensionado de *Cyathea obnoxia* Lehnert, obteniendo un total de 203.56 Kg de C para 33 individuos. Pudiendo determinar que, en promedio, un individuo de helecho arbóreo *Cyathea obnoxia* Lehnert posee 6.17 Kg de C en biomasa. Los valores obtenidos se muestran en el siguiente gráfico:

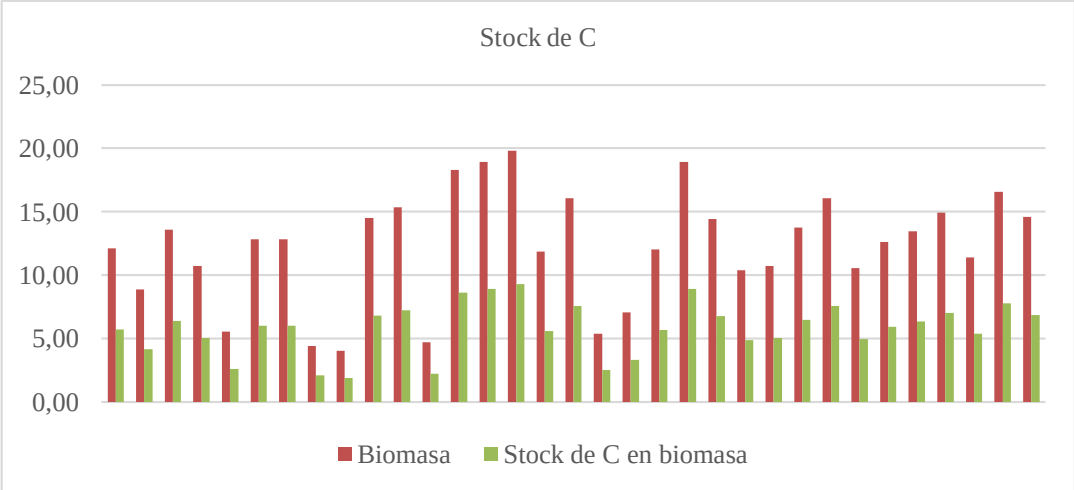

Figura 10: *Stock de C en biomasa aérea*

5.2.4. Obtención de CO_2 almacenado:

Tras la estimación de del stock de C en biomasa, finalmente se obtuvo el valor de CO_2 almacenado en los 33 individuos dimensionados de helechos arbóreos (*Cyathea obnoxia* Lehnert), cuyo valor asciende a un total de 747.08 Kg de CO_2. Asimismo, se determinó que, en promedio, un individuo tiene la capacidad de almacenar aproximadamente 43.95 Kg de CO_2. Donde, de la ecuación, la línea de tendencia de los datos obtenidos que más se ajusta, corresponde a una polinómica de orden 6, tal como se muestra en la siguiente figura.

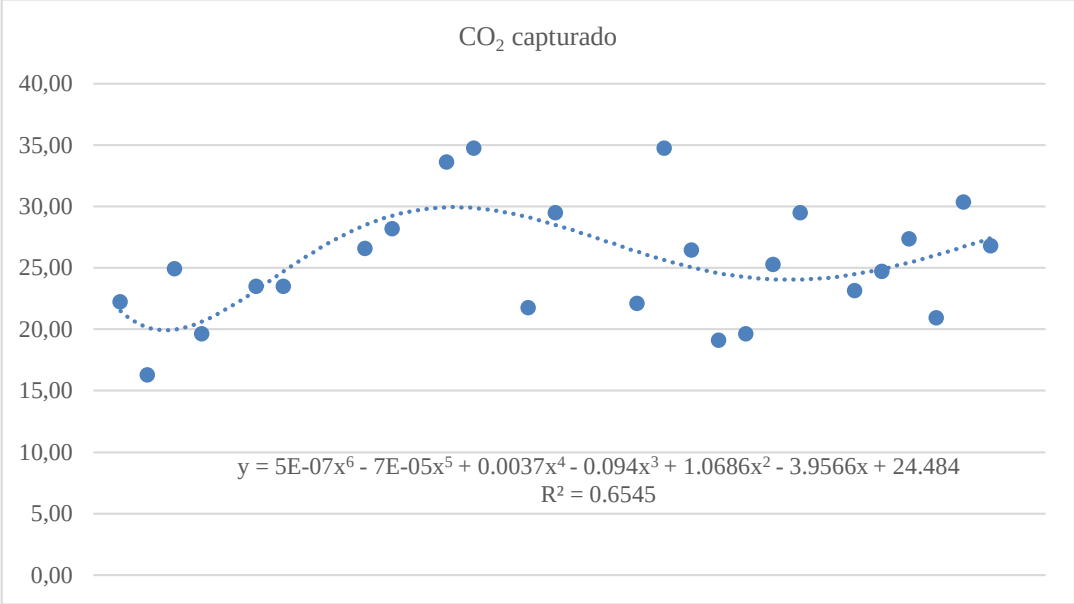

Figura 11: *Valores de dispersión del CO_2 capturado*

5.3. Posibilidad de implementación de Proyectos de Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos (MRSE):

El Protocolo de Kioto (PK) establece tres mecanismos (descritos en los artículos 6, 12 y 17), diseñados para apoyar las acciones de mitigación del cambio climático de una manera costo – efectiva, a través de mecanismos de mercado. De esta manera se generan opciones para que las Partes del Protocolo de Kioto (países desarrollados industrializados) puedan cumplir con sus compromisos de reducción de GEI de manera efectiva. Estos mecanismos son: la Implementación Conjunta (IC), el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) y el Comercio Internacional de Emisiones (CIE). En el caso de los países en desarrollo firmantes del PK, como es el caso del Perú, existe la

oportunidad de participar en proyectos que se encuentren en el marco del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) (MINAM, 2011).

El MDL permite que proyectos de inversión elaborados en países en desarrollo puedan obtener beneficios económicos a través de la venta de Certificados de Emisiones Reducidas (CER's), mitigando la emisión o secuestrando gases de efecto invernadero de la atmósfera.

5.3.1. Valoración económica:

El secuestro de CO_2 en plantaciones forestales es un proyecto que se cataloga dentro de MDL, como conservación de bosques. Los precios en proyectos MDL se rigen básicamente por los ofrecidos por el Banco Mundial y el Gobierno Holandés, que son los principales compradores de CERs. Los demás compradores por ahora son seguidores de estos precios. Estos precios están definidos básicamente por la voluntad de pago de los participantes de los fondos de carbono del banco mundial y del gobierno holandés.

Existen pocas entidades internacionales que han tratado de desarrollar el mercado de carbono de Kioto, siendo la más importante la iniciativa del Banco Mundial, el Fondo Prototipo de Carbono (Prototype Carbon Fund (PCF)). Debido a su madurez, y a la cartera de proyectos que maneja el PCF, se escogió trabajar con el precio que maneja este programa para la valoración de helechos arbóreos (*Cyathea obnoxia* Lehnert). Los precios en el Banco Mundial a través del PCF han sido en promedio US$3,5 por tonelada (Eguren, 2004).

Tabla 5: *Valoración económica de CO_2 capturado*

Captura de CO_2 (t/Ha)	**Precio CO_2 ($/t)**	**Valor económico ($/t$CO_2$/Ha)**
0.039	3.5	0.1365
1.725	3.5	6.037

Tras calcular la captura de CO_2 en biomasa aérea, se obtuvo que en las 18.05 Has del sector, se obtuvo 0.039 t/Ha. Por lo tanto, en promedio, un área con 1465 individuos de *Cyathea obnoxia* Lehnert, representa 1 T de biomasa, y por ende permite la captura de 1.725 TCO_2/Ha, lo que equivale a un valor económico de 6.037 $/$TCO_2$/Ha.

5.3.2. Vías alternativas para establecer MRSE por captura de CO_2:

Según la FAO (2010), a los proyectos agrícolas a pequeña escala se les permite aportar una reducción anual de emisiones de 60 kilotoneladas (Kt) de CO_2 mientras que a los proyectos de forestación/reforestación es de 16 Kt de CO_2 (representa entre 400 y 800 hectáreas para un proyecto forestal típico de especies de crecimiento rápido).

Existen numerosos fondos y subvenciones para proyectos de captura de CO_2, así como determinados fondos u ONG's que apoyan los proyectos de conservación o desarrollo rural a pequeña escala. Es necesario identificar ciertos indicadores de la idea del proyecto (tipo, dimensión, grupo beneficiario, alcance geográfico) para buscar la aplicabilidad entre las opciones presentadas.

El MINAM ha creado una herramienta digital de información web, donde identifica y sistematiza los casos de MRSE que se promueven a nivel nacional. En cuyas funciones se incluye: 1) La administración, regulación y supervisión del Registro Único de los MRSE. 2) El establecimiento del procedimiento administrativo de inscripción de los acuerdos de MRSE. Y, 3) La supervisión de las acciones establecidas en los acuerdos de MRSE inscritos en el Registro Único de MRSE, así como sus respectivos resultados.

A través del Registro Único de MRSE, el MINAM valida que el mecanismo en mención potencialmente o efectivamente genera, mantiene, incrementa o mejora la provisión de los servicios ecosistémicos. El procedimiento de inscripción de los acuerdos en el Registro Único de MRSE incluye: a) Presentación de la solicitud de inscripción, b) Revisión/formulación de observaciones, c) Subsanación de observaciones/revisión, d) Inscripción y, e) Supervisión por parte del MINAM.

Actualmente, se encuentran registrados 8 proyectos a nivel nacional, en los que se encuentran participando los departamentos de Junín, San Martín, Madre de Dios, Huánuco, Ucayali y Loreto.

Mediante éstos proyectos de MRSE en captura de CO_2, se podrían beneficiar desde grupos de productores hasta comunidades nativas y/o campesinas; en participación conjunta con entidades públicas y privadas.

VI. DISCUSIÓN

Contrastando con estudios similares de captura de CO_2 como el realizado por Fehse (2002) en bosques secundarios de aliso y queñual (*Alnus* sp., y *Polylepis sp.*) obtuvo una cantidad de biomasa de 241.4 T/Ha y 365.6 T/Ha para cada especie respectivamente, a diferencia de las 0.023 Tn/Ha estimadas en Totoracucho. De manera similar, Ríos (2012), estimó la valoración económica de las especies forestales del Bosque de Neblina Montano, obteniendo un valor de US$ 79200 en un área de 12 Has.

En otro estudio realizado por Páez (2014) estimó la biomasa forestal aérea y la capacidad de captura de carbono mediante el método indirecto en la Reserva Forestal Protectora El Malmo, Colombia, siendo éstas: obteniendo un total de 203,5 TCO_2/Ha. Asimismo, en un estudio desarrollado por Quiceno *et al*. (2016) se estimó el contenido de biomasa, fijación de carbono y los servicios ambientales, en bosque primario en el Resguardo Indígena Chigüiro – Chátare, Colombia, empleando una metodología no destructiva, obteniendo 47,60344 TCO_2. Por otro lado, Gutiérrez (2016), realizó la evaluación de carbono en biomasa de dos especies forestales nativas en el bosque Aguarongo, Cuenca; obteniendo para *Miconia aspergillaris* 5,6 TCO_2/Ha y para *Oreocallis grandiflora* 41,4 TCO_2/Ha. Determinando un valor económico de aproximadamente 733,3 dólares americanos.

En el Perú, Del Águila (2014) en El Ciefor – Puerto Almendra, Iquitos; cuantificó el secuestro de CO_2 y el almacenamiento de carbono en plantaciones de *Cedrelinga cateniformis* Ducke "tornillo" de tres edades diferentes (27, 35 y 43 años), la cuantificación de biomasa total fue realizada de forma indirecta o no destructiva utilizando la ecuación alométrica para bosques, cuyos resultados para secuestro de CO_2 fueron: 685,33 TCO_2/Ha, 303,14 TCO_2/Ha y 77,64 TCO_2/Ha para cada una de las edades respectivamente. Determinando que el secuestro de carbono depende directamente de la edad de la plantación. Igualmente, en el distrito de Tahuamanu, Madre de Dios, López (2015), realizó un estudio de valoración económica del servicio ambiental de captura de carbono en dos tipos de bosques en paralelo, pudiendo determinar que la valoración económica de un bosque

primario (USD 9 280,94/Ha) es mucho mayor en comparación a la de un bosque convertido a actividad forestal (USD 730,09/Ha).

En Amazonas, Flúker y Sánchez (2016), determinaro la concentración total de 3,955 T/Ha de carbono en un sistema silvopastoril con aliso (*Alnus acuminata* Kunth). Otro referente en la región, es la investigación desarrollada por Epquin (2017), que evaluó el carbono total en bosque de Tara con el fin de conocer su potencial como alternativa a obtener fondos para la conservación; los resultados obtenidos en suelo fueron de 56,81 TCO_2/Ha y biomasa aérea de 236.12 TCO_2/Ha, equivalente a US$ 446 243,70 demostrando tener gran potencial para el mercado de carbono.

Evidentemente, los valores tanto de captura de CO_2, como de valoración económica difieren ampliamente con el estudio realizado en el sector Totoracucho, y ello se debe a la naturaleza de las plantaciones, ya que los helechos arbóreos (*Cyathea obnoxia* Lehnert) no son árboles propiamente dichos, sino que, dentro de las plantas vasculares los helechos arbóreos son las más antiguas, y estuvieron por más de 150 millones de años evolucionando, y con la aparición de las angiospermas, los helechos no desaparecieron, sino que aumentaron su diversificación aprovechando los nichos ecológicos dejados por las plantas con flor (Pérez y Reyes, 1993). Asimismo, éstas plantas presentan unas menores tasas fotosintéticas y regulación estomática, pero, más allá de este conocimiento, en un estudio realizado sobre su fisiología, se determinó que la conductancia del mesófilo (facilidad que tiene la estructura de la hoja para dejar pasar al CO_2) es muy baja porque presentan paredes celulares muy gruesas y los cloroplastos no están expuestos hacia afuera para maximizar la captura de luz y la difusión de CO_2 (Soto, 2014). Es por ello que las especies que capturan mayor cantidad de CO_2 son aquellas especies de uso forestal.

VII. CONCLUSIONES

- Los helechos arbóreos (*Cyathea obnoxia* Lehnert) son plantas criptógamas ya que carecen de flores, tienen la facultad de alimentarse mediante unos prótalos subterráneos no fotosintéticos que actúan en simbiosis con hongos. Por lo general, habitan en lugares frescos, húmedos y umbrosos; tal es así, que en el sector Totoracucho se encuentran distribuidos en la parte baja del curso de los ríos Ishpingo, Ventilla y Yopsac.

- La cantidad de CO_2 capturado en biomasa aérea de helechos arbóreos (*Cyathea obnoxia* Lehnert) en el sector Totoracucho, cuya altura de los 33 individuos muestreados oscila entre los 2 a 6.80 metros, obteniendo así, que en el sector se captura aproximadamente 0.039 TCO_2/Ha. Difiriendo enormemente con especies forestales como el aliso (*Alnus* sp.), cuyo rendimiento de captura depende de la naturaleza de la especie, ya que los helechos arbóreos son especies que se encuentran en proceso de evolución.

- Un área con 1465 individuos de *Cyathea obnoxia* Lehnert, permite la captura de 1.725 TCO_2, lo que equivale a 6.037 \$/TCO_2 mediante la implementación de Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos (MRSE) con proyectos de Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL) o venta de Certificados de Emisiones Reducidas (CER). Cabe mencionar que en el área de estudio existe gran cantidad de individuos de *Cyathea obnoxia* Lehnert de longitud de rizoma (tallo) menor a 2 m, lo que sobrelleva a inferir que en el futuro los individuos continuarán con ciclo de vida, desarrollándose, aprovechando y capturando parte del CO_2 presente en la atmósfera.

- Existe la posibilidad de aplicar otros mecanismos de retribución que contribuyan a la protección de especies endémicas que constituyen uno de los paisajes más atractivos del mundo natural, tal como el cultivo y aprovechamiento sostenible de los rizomas fibrosos para ser usados de manera ornamental como base para las epífitas en los invernaderos y/o jardines. Del mismo modo, es posible implementar proyectos de forestación y reforestación de plantaciones forestales en forma sostenible, y a partir de ello, explorar nuevas posibilidades de venta de carbono u otros proyectos autosostenibles en el distrito San Francisco de Daguas.

VIII. RECOMENDACIONES

- Realizar mediciones en forma total, tanto de biomasa aérea, necromasa y subterránea en especies nativas, y de ser necesario, aplicar métodos directos de determinación de biomasa de modo que exista información más completa en relación a estas especies endémicas.

- Considerar este tipo de estudios en la toma de decisiones de conservación ecosistémica en la que se valore el servicio ambiental de captura de carbono, con el fin de hacer frente a las altas tasas de deforestación y por ende al cambio climático.

- Aprovechar el potencial forestal que posee el departamento de Amazonas en el establecimiento de MRSE en proyectos de captura de CO_2, que, por ende, permitirá contribuir con la conservación de la biodiversidad, y que a su vez generará ingresos económicos a las poblaciones contribuyentes.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bergkamp, G., y Orlando, B. (1999). *Examen de la colaboración entre la Convención sobre los humedales (Ramsar, Irán 1971) y la Conveción Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.*

Dauber, E., Terán. J., y Guzmán, R. (2000). *Los bosques juegan un rol muy importante no sólo como factor de desarrollo de un país y de sus modelos de sostenibilidad, sino que adquieren un protagonismo mundial por su reconocimiento como sumideros en los sistemas contables de los ciclos de carbono*, 1 – 10.

Del Águila, C. (2014). *Secuestro de CO_2 y almacenamiento de carbono en plantaciones de Cedrelinga cateniformis Ducke "tornillo" en tres edades diferentes en el Ciefor – Puerto Almendra, Río Nanay* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Iquitos, Perú.

Eguren, L. (2004). *El meracdo carbon en America latina y el Caribe: balance y perspectivas*. CEEPAL. ISSN impreso: 1564 – 4189. Santiago de Chile, Chile, 85.

FAO. (2004). *Estudio de tendencias y perspectivas del sector forestal en América Latina – Informe Nacional Perú.* Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia.

FAO. (2014). *La reducción de las emisiones debido a la deforestación y la degradación forestal. Cumbre de 2014 sobre el clima*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

Fehse, B. (2002). *Comportamiento inicial de especies forestales plantadas en el páramo.* Loja, Ecuador.

Fluker, R. S. y Sánchez, V. (2016). *Captura de carbono en un sistema silvopastoril con aliso (Alnus acuminata), en el distrito de Molinopampa* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza. Chachapoyas, Perú.

Gasparri, I., Manghi, E., Montenegro, I., Parmuchi, L., Bono, L., y Strada, G. (2004). *Estimación de volumen, biomasa y contenido de carbono de las regiones forestales Argentinas*, 29.

Gonzales, P., Kroll, B., y Vargas, S. (2007). Análisis de la restauración forestal del carbono en el bosque húmedo tropical de selva central del Perú. *Revista Forestal del Perú*. Vol XXX. 103 – 153.

Gutiérrez, M. E. (2016). *Evaluación del carbono en la biomasa de especies forestales nativas en el Bosque Aguarongo* (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca, Ecuador.

Ibañez, D. (2011). *Efectos del cambio climático en las actividades agrarias y forestales.* España.

IIAP. (2006). Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. Lima, Perú.

INEI. (2007). Instituto Nacional de Estadística e Informática. Lima Perú.

INRENA. (2005). Instituto Nacional de Recursos Naturales. Lima, Perú.

IPCC. (2003). *Guía de buenas prácticas para uso de suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura.* Intergovernmental Panel on Climate Change. Ginebra, Suiza. 114.

IPCC. (2006). *Inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.* Intergovernmental Panel on Climate Change. Ginebra, Suiza. 114.

IPCC. (2007). *Cambio climático 2007 Informe de síntesis.* Intergovernmental Panel on Climate Change. Ginebra, Suiza. 114.

Ize, I. (2002). El cambio climático y la salud humana. *Gaceta Ecológica* (65), 43 – 52.

Ledezma, M. y Caballero, Y. (2013). Marco de análisis del Mecanismo de Desarrollo Limpio y las oportunidades del mercado de carbono para el desarrollo de Colombia. *Producción + Limpia*, 8(1), 48 – 79.

Ley N° 30215. (2014). Ley de mecanismos de retribución por servicios ecosistémicos. Diario Oficial El Peruano. Lima, Perú.

Lino, K. (2009). *Determinación del stock de biomasa y carbono en las sucesiones secundarias de bolaina en la cuenca media del Río Aguaytía, Ucayali* (Tesis de pregrado). Pucallpa, Perú.

López, G. C. A. (2015). *Valoración Económica del Servicio Ambiental de Captura de Carbono en el Fundo Violeta* (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú. Madre de Dios, Perú.

Medina, C. (2006). *Indicadores de impacto de los sistemas forestales y agroforestales.* Colombia, 28.

MINAM. (2011). *Guía Práctica para Desarrolladores de Proyectos MDL.* Ministerio del Ambiente. Lima, Perú.

MINAM. (2015). *Mapa nacional de cobertura vegetal: Memoria descriptiva.* Ministerio del Ambiente. Lima, Perú.

MINAM. (2016). *Programa presupuestal N° 0144: Conservación y uso sostenible de ecosistemas para la provisión de servicios ecosistémicos.* Ministerio del Ambiente. Lima, Perú.

Mostacedo, B. y Fredericksen, T. (2000). Proyecto de Manejo Forestal Sostenible (BOLFOR). *Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal.* Santa Cruz, Bolivia.

Orrego, S. (2001). *Eficiencia de las coberturas vegetales en la asimilación de CO_2.* Medellín, Colombia.

Páez, C. M. (2014). *Estimación de Biomasa Forestal y Capacidad de Captura de Carbono de las Especies forestales Weinmania tomentosa y Myrcianthes* sp. *Reserva Forestal Protectora El Malmo* (Tesis de pregrado). Universida Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). Tunja, Colombia.

Pérez, B y Reyes, J. I. (1993). *Helechos: Propagación y Conservación en Ciencias*. 30:11-17. México, UNAM.

Phillips, J. F., Duque, A. J., Cabrera, K. R., Yepes, A. P., Navarrete, D. A., García, M. C., Álvarez, E., Cabrera, E., Cárdenas, D., Galindo, G.,Ordóñez, M. F., Rodríguez, M. L., Vargas, D. M. 2011a. *Estimación de las reservas potenciales de carbono almacenadas en la biomasa aérea en bosques naturales de Colombia*. Instituto de

Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales – IDEAM. Bogotá D.C., Colombia. 32.

Phillips, J. F., Duque, A. J., Yepes, A. P., Cabrera, K. R., García, M. C., Navarrete, D. A., Álvarez, E., Cárdenas, D. 2011b. *Estimación de las reservas actuales (2010) de carbono almacenadas en la biomasa aérea en bosques naturales de Colombia. Estratificación, alometría y métodos análiticos*. Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales – IDEAM. Bogotá D.C., Colombia. 68.

Polzot, C. L. (2004). *Carbon storage in cofee agroecosystems of southern Costa Rica: Potential applications for the Clean Development Mechanism.* Canadá. 18.

Quiceno, N. J., Tangarife, G. M. y Álvarez León, R. (2016). *Estimación del Contenido de Biomasa, Fijación de Carbono y Servicios Ambientales.* Guainía, Colombia. 32.

Ríos, A. K. (2012). *Valoración económica de captura de carbono en el Cerro Chamusquín.* Loja, Ecuador.

Rojo, G. E., Jasso, J. y Velásquez, A. (2003). Las masas forestales como sumideros de CO_2 ante un cambio climático global. *Revista Chapingo*, 57.

Rügnitz, M. T., Chacón, M. L., y Porro R. (2009). *Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales*. Centro Mundial Agroforestal (ICRAF) / Consorcio Iniciativa Amazónica (IA). Lima, Perú. 79.

Ruiz, A. (2002). *Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas silvopastoriles y competitividad económica en Matiguas Nicaragua.* Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Costa Rica. 119.

Santiago, J. A., López, M., y López, S. (Diciembre de 2008). Tendencias del cambio climático global y los eventos extremos asociados. *Ra Ximhai, 4*(3), 625 – 633.

Scheguel, B. (2001). *Estimación de la biomasa y carbono en bosques del tipo forestal siempreverde*. Valdivia, Chile.

Soto, E. (2014). *Los helechos fósiles vivientes*. España.

Species *Cyathea obnoxia* – Hierachy – The Taxonomicon. (2018). Recuperado de http://taxonomicon.taxonomy.nl/TaxonTree.aspx?src=0&id=1394767

Walker, W., Baccini, M., Nepstad, N., Horning, D., Knigth, E., Braun, y Bausch. (2011). *Guía de campo para la Estimación de biomasa y carbón forestal.* Massachusetts, Estados Unidos.

Watson, R. M., Zinowera, M. C., Moss, R. H., y Dokken, D. J. (2000). *IPCC Special Report on The Regional Impacts of Climate Change: An Assessment of Vulnerability*. América Latina.

X. ANEXOS

Anexo 01: Panel fotográfico

Foto N° 1: Parte de la población de helechos gigantes (*Cyathea obnoxia* Lehnert) en el sector Totoracucho, anexo Pipus.

Foto N° 2: Georreferenciación de individuos a dimensionar.

Foto N° 3: Limpieza del área, eliminación de restos de hojas y cortezas del rizoma.

Foto N° 5: Medición de altura desde la parte más alta del individuo.

Foto N° 6: Medición de altura hasta la parte más baja del individuo.

Foto N° 7: Toma de datos en libreta de campo.

Foto N° 8: Dimensionamiento de individuos de altura menor a 2m.

Anexo 02: Formato de encuesta realizada:

ENCUESTA

TESIS: "EVALUACIÓN DE CAPTURA DE CARBONO DE HELECHO ARBÓREO (*Cyathea obnoxia* Lehnert) COMO ALTERNATIVA DE IMPLEMENTACIÓN DE MECANISMOS DE RETRIBUCIÓN POR SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN EL ANEXO PIPUS, SAN FRANCISCO DE DAGUAS, CHACHAPOYAS, AMAZONAS, 2018"

Responda de acuerdo a su criterio:

1. ¿Identifica Ud. a ésta planta?

a) Sí

b) No

2. ¿Con qué nombre la conoce?

.....

3. ¿Qué usos se le atribuyen en la zona?

.....

4. ¿Cree Ud. que es una especie importante en la zona?

.....

5. ¿Estaría Ud. dispuesto a colaborar para lograr la conservación de la especie en la zona?

.....

¡Muchas gracias por su tiempo!