

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



**“DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE CARBONO POR ESPECIE
FORESTAL EN EL BOSQUE DEL CIP CAMACANI - UNA- PUNO POR
TITULACIÓN”**

TESIS

PRESENTADA POR:

DELIA MAQUERA MAQUERA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO QUÍMICO

PUNO - PERÚ

2017

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“Determinación del contenido de carbono por especie forestal
en el bosque del CIP Camacani - UNA- Puno por titulación”**

TESIS PRESENTADA POR:

Delia Maquera Maquera



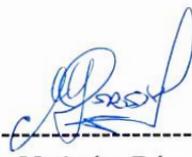
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE: INGENIERO QUÍMICO

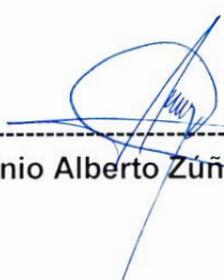
FECHA DE SUSTENTACIÓN: 20 DE OCTUBRE DE 2017

APROBADA POR EL JURADO REVISOR COMFORMADO POR:

PRESIDENTE : 
M.Sc Ciro Hernán Vera Alatrista

PRIMER MIEMBRO : 
M.Sc Roger Huanqui Pérez

SEGUNDO MIEMBRO : 
M.Sc Moisés Pérez Capa

DIRECTOR / ASESOR : 
Mg. Higinio Alberto Zuñiga Sánchez

Área: Procesos industriales

Tema: Análisis Químico

Línea: Ingeniería de procesos

DEDICATORIA

A mis padres Francisco Maquera Maquera y Gregoria Maquera Apaza, por su inmenso amor, sacrificio. A mis queridas Hermanos y hermanas Alfredo, Wilson, Jesus, Sarita, Maribel, Gisela, Jusue Onassis por su apoyo incondicional en todo momento de mi formación profesional.

A mis queridos Hijos MELISSA y MARCO que son el motor y motivo en todo momento de mi vida y en mi formación profesional.

A todos mis amigos y amigas que me apoyaron en mi formación profesional y durante la ejecución del presente proyecto de investigación.

AGRADECIMIENTOS

- A la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, en especial a la Escuela Profesional de Ingeniería Química, que gracias a las enseñanzas de sus docentes forman profesionales en Ingeniería Química.
- Al Ing. Mg. Higinio A. Zúñiga Sánchez, por su apoyo como director del presente proyecto de investigación, por sus valiosos consejos y observaciones.
- A mis Jurados del presente trabajo de investigación, por su apoyo profesional incondicional en la etapa de culminación del trabajo, por sus valiosos consejos y observaciones como Jurados del presente proyecto de investigación
- Al laboratorio de control de calidad de la Facultad de Ingeniería Química, en especial al Ing. Juan Ramón, por su comprensión y sus valiosos consejos y observaciones en la etapa de laboratorio del presente trabajo de investigación y facilitar todo el equipo del laboratorio para los respectivos análisis realizados.
- A todos los amigos y compañeros de estudio que de una u otra manera apoyaron la ejecución del presente proyecto de investigación.
- Al personal administrativo del CIP-Camacani, por sus colaboraciones en los trabajos de campo.

INDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA.....	3
AGRADECIMIENTOS	4
INDICE GENERAL	5
INDICE DE CUADROS.....	8
INDICE DE FIGURAS	9
LISTA DE ACRÓNIMOS.....	10
RESUMEN	11
ABSTRACT	12
INTRODUCCION	13
CAPITULO I	
1.1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.1.1.- Problema General	16
1.1.2.- Problemas específicos	16
1.2.- ANTECEDENTES.....	16
1.3.- JUSTIFICACION.....	19
1.4.- OBJETIVOS.....	20
1.4.1.- Objetivo General.....	20
1.4.2.- Objetivos Específicos	20
CAPITULO II	
2.1.- MARCO TEÓRICO	21
2.1.1.- Cambio Climático	21
2.1.2.- Cambio climático en el Perú	21
2.1.3.- Los efectos del cambio climático en el Perú.....	22
2.1.4.- Efecto Invernadero	22
2.1.5.- Captura de carbono.....	23
2.1.6.- Etapas de ciclo del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) de acuerdo al FONAM	28
2.1.7.- Métodos para capturar el carbono atmosférico (CO ₂)	30
2.1.8.- Métodos de determinación de carbono en la biomasa forestal	30
2.1.9.- Servicios Ambientales que prestan los Ecosistemas Forestales	31

2.1.10.- Carbono.....	31
2.1.11.- Dióxido de Carbono.....	32
2.1.12.- Medidas de mitigación de CO ₂	33
2.1.13.- Importancia de los bosques en los flujos de carbono.....	33
2.1.14.- Estimación de biomasa	34
2.1.15.- Aplicación del SIG en el medio ambiente	35
2.1.16.- Ciprés (Cupressus macrocarpa).....	35
2.1.17.- Eucalipto (Eucalyptus globulus Labill)	36
2.1.18.- Pino (Pinus radiata G. Don.).....	37
2.2.- MARCO CONCEPTUAL	38
2.3.- HIPÓTESIS.....	40
2.3.1.- Hipótesis general.....	40
2.3.2. Hipótesis específica	40
CAPITULO III	
3.1.- METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION	41
3.1.1.- Materiales, Equipos y reactivos	41
3.2.- AMBITO DEL ESTUDIO.....	42
3.2.1.- Información meteorológica	43
3.2.2.- Mapa Base y área	45
3.2.3.- Etapa de campo	45
3.2.4.- Estimación del número de unidades de muestreo.....	45
3.2.5.- Evaluación de variables de trabajo.....	46
3.2.6.- Densidad de los rodales de ciprés, eucalipto y pino.....	47
3.2.7.- Medición de Biomasa y parámetros dosimétricos de los árboles seleccionados por unidad experimental.	48
3.2.8.- Etapa de Laboratorio	51
3.2.9.- Medición de carbono almacenado en la biomasa aérea	52
3.2.10.- Cuantificación de dióxido de carbono (CO ₂) capturado.....	55
3.2.11.- Diseño experimental y estadística.....	56
3.2.12.- Elaboración del mapa de distribución de unidades experimentales.....	57

CAPITULO IV

4.1.- CONTENIDO DE CARBONO POR ESPECIE EN LA BIOMASA AÉREA DEL BOSQUE DEL CIP- CAMACANI.....	58
4.2.- PRODUCCIÓN DE BIOMASA AÉREA EN LAS TRES ESPECIES FORESTALES EN EL BOSQUE DEL CIP-CAMACANI.....	61
4.3.- DETERMINACIÓN DE LAS DIFERENCIAS ESTADÍSTICAS EN CANTIDADES DE CARBONO CAPTURADO EN EUCALIPTOS, CIPRÉS Y PINO	63
4.4.- CAPTURA DE DIÓXIDO DE CARBONO EN LA BIOMASA AÉREA DEL BOSQUE DEL CIP-CAMACANI.	65
CONCLUSIONES	66
RECOMENDACIONES	67
BIBLIOGRAFIA	68
ANEXOS	73
PANEL FOTOGRAFICO	86

INDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1 Fuentes generadoras de gases de efecto invernadero.	23
Cuadro 2 Tipos de Proyectos de MDL en el Perú.....	26
Cuadro 3 Datos meteorológicos de la zona sur, Estación Rincón de la Cruz– Acora SENAMHI (1960 - 2012)	44
Cuadro 4 ANVA: (Biomasa entre especies)	56
Cuadro 5 ANVA: (Biomasa entre componentes por especie)	56
Cuadro 6 ANVA: (Captura de Carbono entre especies).....	56
Cuadro 7 Resultados de contenido de carbono en la biomasa seca aérea de las tres especies forestales del bosque del CIP – Camacani. 58	
Cuadro 8 Proporción de carbono orgánico en la biomasa del árbol, determinado por método colorimétrico	60
Cuadro 9 Resultados de contenido de carbono en la biomasa aérea por rodal en las tres especies forestales del bosque del CIP – Camacani	61
Cuadro 10 Producción de Biomasa aérea en las tres especies forestales del bosque del CIP-Camacani	62
Cuadro 11 Análisis de varianza para peso de biomasa por especie evaluada	64
Cuadro 12 Análisis de varianza para peso de biomasa por componente por especie evaluada.	64
Cuadro 13 Captura de dióxido de carbono en las tres especies forestales del bosque del CIP - Camacani.	65

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Demanda de compra de Certificados de Reducción de Emisiones (CERs)	27
Figura 2 Etapas del ciclo MDL	28
Figura 3 Ciclo del carbono	32
Figura 4 Diagrama simplificado de los flujos y almacenes de carbono en un ecosistema forestal.....	34
Figura 5 Mapa de ubicación del CIP-Camacani	43
Figura 6 Distribución de árboles por unidad experimental.....	48
Figura 7 Medición de la Altura de Árboles.....	50
Figura 8 Mapa de distribución de unidades experimentales.....	57
Figura 9 Resultados de contenido de carbono en la biomasa aérea de las tres especies forestales del bosque del CIP - Camacani.....	59
Figura 10 Producción de Biomasa aérea por especie en el bosque del CIP - Camacani.	62
Figura 11 Captura de dióxido de carbono (CO₂) en la	65

LISTA DE ACRÓNIMOS

- CFC : Clorofluorcarbonados
- CIP : Centro de Investigación y Producción
- COP : Conferencia de las partes
- CMCC : Convención Marco de Cambio Climático
- CMNUCC: Convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático
- CO₂ : Dióxido de carbono
- CONAM : Consejo Nacional del Ambiente.
- DCA : Diseño Completamente Azar
- FAO : Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura.
- Fc : factor critico
- Ft : factor de tolerancia
- GEI : Gases de Efecto Invernadero.
- ICRAF : Centro Internacional para la investigación en Agroforestería
- IPCC : Panel Intergubernamental de Cambio Climático
- MDL : Mecanismo de Desarrollo Limpio
- MINAM : Ministerio del Ambiente del Perú
- MS : Materia Seca
- SENAMHI: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
- SERFOR : Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre
- SERNANP: Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas
- TnC : Toneladas de carbono
- TnCO₂ : Toneladas de dióxido de carbono
- MS : Toneladas de materia seca

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación desarrollado en el CIP Camacani de la Universidad Nacional del Altiplano Puno, ubicado en el distrito de Platería, provincia y departamento de Puno, compuesto por diferentes especies forestales, es un bosque alto andino que desde hace años viene capturando CO₂, se determinó el contenido de carbono en la producción de biomasa en los rodales de eucaliptos, ciprés y pino, para lo cual se tomó 3 muestras de cada árbol medio para su respectivo análisis por titulación utilizando el método de combustión húmeda (Walkley and Black). Los resultados muestran que la mayor producción de biomasa aérea total en el bosque de CIP-Camacani la tuvo el Eucalipto con 2 411,82 Tn seguido por el Pino con 869,90 Tn y por último el Ciprés con 473,22 Tn haciendo un total de 3 754,94 Tn de biomasa aérea. En cuanto a captura de carbono la mayor captura de carbono en la biomasa aérea del bosque del CIP-Camacani la tuvo el Eucalipto con 1 260,55 Tn de C seguido por el Pino con 489,48 Tn de C y por el Ciprés con 320,25 Tn de C haciendo un total de 2 070,28 Tn de C capturado en todo el bosque. Logrando una captura en Tn de C/ha/año por especie de 3,88 Tn C/ha/año para Eucalipto, 2,12 TnC/ha/año para Ciprés y 5,24 TnC/ha/año para Pino. Las especies estudiadas tienen una diferencia estadística altamente significativa, debido a que a la $F_c=7,64$ supera a la F_t al 0,05 (3,89) y F_t al 0,01 (6,93), lo cual nos indica que las especies evaluados, al menos uno es diferente en peso de biomasa, debido a la composición de la biomasa por especie y la captura de dióxido de carbono en la biomasa aérea el componente eucalipto ha capturado el 60,89 %, seguido del pino con 23,64 % y por último el ciprés con 15,47 %.

Palabras clave: Carbono, bosque, biomasa, titulación, CO₂.

ABSTRACT

This research developed at the CIP Camacani of the Universidad Nacional del Altiplano – Puno, located in the Plateria district, Province and department of Puno, including different forestry species, this is a high-Andean wood which since, many years ago is capturing CO₂. The carbon dioxide in the biomass production was determined in eucalyptus, cypress and pine trees; with this aim, three samples for each tree were taken to their respective analysis, using the wet combustion method (Walkley and Black). The results show that the most total aerial biomass production in the CIP Camacani was for eucalyptus with 2 411,83 tons, the next was the pine tree with 869,90 tons the last was the cypress with 473,22 tons summing 3754,94 tons of aerial biomass. In relation to carbon capture, the most capture of aerial carbon biomass in the CIP Camacani wood was for the eucalyptus with 1 260,55 tons de C, followed by the Pine tree with 489,48 tons of C, and the cypress with 320,25 tons of C making a total of 2 070,28 tons of C in the whole wood. Getting a capture of tons of C/ha/year per species of 3,88 tons C/ha/year for eucalyptus, 2,12 tons C/ha/year for cypress and 5,24 tons C/ha/year for the Pine tree. The studied species have a highly meaning for statistical difference due to $F_c=7,64$ overpass at F_t to 0,05 (3,38) y F_t to 0,01 (6,93). All of this shows that the evaluated species, at least one is different in biomass weight due to each different biomass composition and aerial carbon biomass, eucalyptus have captured 60,89%, followed pine tree with 23,64% and at least cypress with 15.47%.

Key words: Carbon, wood, biomass, tittles, CO₂

INTRODUCCION

Para la comunidad mundial, el cambio climático es una de las preocupaciones más importantes que existe hoy en día pues sus consecuencias como el calentamiento global, el deterioro de la salud de la población, son como resultado de constante aumento de las concentraciones de los gases de efecto invernadero entre ellos el dióxido de carbono (CO_2) en la atmosfera, para resolver este problema y alcanzar niveles aceptables de CO_2 en la atmosfera es necesario el esfuerzo interdisciplinario en la implementación de acciones mitigables, mejorar la eficiencia en la generación de energía, reemplazar fuentes de energía por otras con menores niveles de emisión de CO_2 , secuestrar o almacenar CO_2 , sin duda el éxito depende de la implementación coordinada de estas opciones. En este trabajo de investigación atacamos el problema de la captura y almacenamiento de carbono, como una de las estrategias para mitigar el calentamiento global.

La valoración económica-ecológica de la biodiversidad y en especial del servicio de captura de carbono, constituye una herramienta clave para la protección y uso sustentable de la misma, pues pretende mostrar que el beneficio que resulta de dicha actividad, puede ser mayor en términos de desarrollo económico y social, que la que se obtiene de actividades asociadas a su mal manejo y destrucción. Los proyectos forestales de fijación de carbono pueden contribuir a beneficiar significativamente a las comunidades locales mediante la diversificación de sus ingresos, mejorando la productividad de la tierra, así como generando un valor al bosque como servicio ambiental de fijación de carbono, recursos hídricos, biodiversidad y belleza escénica. Por tanto, para poder reclamar beneficio económico a cambio de servicio ambiental, será necesario medir la cantidad de carbono almacenado por las actividades de un proyecto y comparar las cifras con lo que se hubiese fijado en ausencia del proyecto.

ICRAF (2009), menciona que el protocolo de Kioto les proporciona tres mecanismos flexibles para cumplir con la reducción. Implementación Conjunta (IC), Comercio de Emisiones (CE) y Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL). De estos tres mecanismos, solamente el MDL tiene aplicación en países en desarrollo. Tal mecanismo permite que países industrializados puedan financiar

o desarrollar proyectos de reducción de GEI (eficiencia energética o secuestro de carbono) fuera de su territorio. Surge así una posibilidad para los países en desarrollo como el Perú, utilizar la acción de los bosques y sistemas agroforestales como sumideros de carbono para captar fondos mediante proyectos financiados por los países desarrollados, que se comprometieron a reducir sus emisiones; ya que el almacenamiento de carbono en ecosistemas forestales es un servicio ambiental en forma natural.

En este sentido el presente trabajo de investigación está orientado a determinar el porcentaje de carbono capturado en la biomasa aérea de tres especies forestales distribuidas en el bosque del CIP Camacani y de esta manera aportar información que permita establecer la verdadera capacidad de almacenamiento de carbono en las condiciones atmosféricas de la región Puno.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Uno de los fenómenos atmosféricos de mayor importancia mundial, es el cambio climático derivado del incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero mismos que provocan el incremento de la temperatura global de la atmósfera. Este fenómeno se debe a que la mayor parte de los procesos productivos, el transporte, la producción de cemento, la generación de electricidad y los sistemas domésticos dependen de la energía derivada de los combustibles fósiles, lo cual es un problema que afecta todo el planeta, generando cambios radicales en los ecosistemas; y por tal razón diferentes organizaciones han dado nuevas ideas sobre cómo hacerle frente y conseguir la mitigación de tales efectos. Una forma de mitigar la emisión del principal gas efecto invernadero que es el dióxido de carbono (CO_2) y sus efectos, es almacenarlo en la biomasa (mediante la fotosíntesis) y en el suelo a través de la acumulación de la materia orgánica. Los sistemas forestales, agroforestales y cultivos representan sumideros importantes de carbono (C). (Montoya et al., 1995).

En la zona altiplánica de Puno existen pocos bosques alto andinos que vienen capturando carbono y no se tiene indicadores de captura de carbono por lo que es necesario realizar investigaciones al respecto ya que es importante contar con información local e indicadores de las especies existentes para conocer el flujo de carbono en estos ecosistemas forestales así como para futuros compromisos de reducción de CO_2 atmosférico y de esta forma poder mitigar el cambio climático que también tiene sus efectos en esta región.

El bosque de CIP–CAMACANI compuesto por diferentes especies forestales es un bosque alto andino que desde hace años viene capturando CO₂ del cual se tiene algunos datos en trabajos anteriores, lo cual tomaremos como base fundamental para el desarrollo del presente trabajo de investigación que es la determinación de contenido de carbono por especie forestal en el bosque de CIP – Camacani, mediante el método de combustión húmeda (Walkley and Black) Por lo tanto, el presente proyecto de investigación pretende responder las siguientes preguntas.

1.1.1.- Problema General

¿Cuál es el contenido de carbono por especie en la biomasa aérea, en los rodales de Eucalipto (*Eucalyptus globulus*), Ciprés (*Cupressus macrocarpa*) y Pino (*Pinus radiata*) en el bosque del CIP- Camacani –UNA - PUNO?

1.1.2.- Problemas específicos

- ¿Cuánto es la producción de biomasa en los rodales de eucaliptos, ciprés y pino en el bosque del CIP- Camacani?
- ¿Cuáles serán las diferencias estadísticas en cantidad de carbono capturado en eucaliptos, ciprés y pinos en el bosque del CIP- Camacani?
- ¿En qué medida se podrá calcular la cantidad de dióxido de carbono (CO₂) de la biomasa del bosque del CIP- Camacani?

1.2.- ANTECEDENTES

- Medrano, Chupan y Vila (2012). El ecosistema que brinda mayor almacenamiento de carbono es el totoral *Schoenoplectus californicus* Var. *Totora* almacena 30.65 tC/Ha y *Juncos articus* Var. *Andicola* 8.70 tC/ha, seguido por el Pajonal *Deyeuxia recta* Kunth almacena 7.02 tC/Ha en su biomasa aérea y 8.41 tC/Ha en su biomasa radicular y en menor

proporción el bofedal: *Plantago tubulosa* almacena 0.81 tC/Ha en su biomasa aérea y 1.88 tC/Ha en su biomasa radicular, *Eleocharis albibracteata* almacena 0.22 tC/Ha en su biomasa aérea y 2.95 tC/Ha en su biomasa radicular, y *Limosella australis* almacena 0.22 tC/Ha en su biomasa aérea y 0.38 tC/Ha en su biomasa radicular. En el almacenamiento de carbono en suelos se determinó 774.76 tC/Ha en pajonales y 684.58 tC/Ha en bofedales. De estos aportes se puede concluir la importancia de estas especies en la captura de CO₂ y que el almacenamiento de carbono es directamente proporcional a la captura de CO₂.

- Huanacuni (2012), Determinó que la mayor captura de carbono en la biomasa aérea del bosque la tuvo el eucalipto con 1 399.86 t de carbono seguido por el Pino con 510.42 t de carbono y la menor captura el Ciprés con 203.79 t de carbono haciendo un total de 2 377.66 t de carbono capturado en todo el bosque. Logrando una captura de 2.12, 4.21 y 4.58 t de C/ha/año para eucalipto, Pino y Ciprés respectivamente. Obtuvieron una captura de dióxido de carbono (CO₂) total para el eucalipto de 5 132.82 t de CO₂ seguido por el Pino con 1 871.53 t de CO₂ y por último el Ciprés con una captura de 1 713.75 t de CO₂.
- Ticona (2012), Determino que la fracción de carbono para el sitio disperso fue: hojas 0.49, tallo 0.52 y en la raíz 0.44, mientras en el sitio denso en hojas 0.50, tallo 0.51 y raíz 0.43. El contenido de carbono en el sitio disperso fue 4.04 tC/Ha y en sitio denso 4.65 tC/Ha. Además, la captura de dióxido de carbono (CO₂) para el sitio disperso fue 14.82 t CO₂/ha, y en el sitio denso fue 17.06 t CO₂/Ha, encontrando que el tallo captura más CO₂, seguido por la raíz y hoja, finalmente estimó en 22.41 ha que ocupan los arbustos de Añahuaya del CIP Illpa se captura en promedio 357.22 t CO₂/Ha.
- Ttimp (2012). Determinó que el totoral está dominado por la especie Totora (*Schoenoplectus tatora* Nessel Meyer Kunth), donde indica que la biomasa de la totora contiene 11,97 Tn de C/Ha en promedio y además con una captura de dióxido de carbono (CO₂) de 43,89 Tn de CO₂.

- Simbaña (2011), determinó que el contenido de carbono en la biomasa aérea de un rodal de 35 años fue 365,46 Tn de C/Ha, con una captura de 1340,02 Tn de CO₂/Ha, mientras que el rodal de 5 años contiene 22,35 Tn de C/ha en promedio, con una captura de 81,95 Tn de CO₂/ha.
- Mendizábal L.H. y J. Alba. (2009), determinaron la cantidad de carbono almacenado en la biomasa aérea de *Cedrela odorata* L. en una plantación con tres procedencias del estado de Veracruz, México. Se evaluaron la altura y el diámetro a la altura de pecho (DAP) del total de las plantas, a partir del cual se calculó el contenido de carbono almacenado en la biomasa aérea y se realizó un análisis de varianza. Los resultados mostraron una captura de 4,45Tn de C/ Ha.
- Rodríguez R., Jiménez. P., (2009), estimaron para el bosque de Pino Encino en la reserva de la Biosfera el Cielo, Tamaulipas, México un total de 219 Tan/ha de biomasa, asimismo, estimó un total de 110 Tan de C/ha almacenada de la forma siguiente: en fuste, ramas y hojas se encuentra el 75,3%, en raíces el 15%, respectivamente.
- Palomino (2007), indica que las especies herbáceas contribuyen significativamente con la retención de dióxido de carbono (CO₂), siendo la totora (*Schoenoplectus californicus* (C.A.Mey) Soyak), la especie que más capta CO₂, con 73,7 Tn de CO₂/ha, seguida por el junco (*Scirpus americanus* Pers) con 40.6 Tn de CO₂/ha.
- Vaquera. H. (2007), con el objetivo de evaluar el potencial de *Pinus greggii* Engelm. Para almacenar carbono en la biomasa aérea en una plantación de 6 años, estimo una biomasa aérea de 35,2 Tn/Ha, que corresponde a una productividad neta de 5,8Tn/Ha/año. El potencial de almacenamiento de carbono durante los seis primeros años de la plantación es de 17,9 Tn de C/ha por lo tanto la concentración de carbono en tejido vegetal fue de 51%.
- Lapeyre T. *et al* (2004), determinaron la biomasa aérea en diferentes sistemas de uso de la tierra en la región de San Martín – Perú. El carbono total en el bosque primario; que pertenece a la comunidad de Unguray,

quienes poseen un total de 6000 ha, que se encuentra a 1193 msnm; fue de 485 Tn de C/ha superado ampliamente las reservas del bosque secundario de 50 años. Con relación al bosque primario se observa una reducción de reservas en un más de 50% del bosque secundario de 50 años (234 Tn de C/ ha).

- Gamarra J. (2001), al realizar estudio de la cantidad potencial de carbono almacenado y captado en el bosque de *Eucalyptus globulus* Labill de la comunidad campesina de Hualhuas en Junín, en la biomasa por arriba del suelo encontró 73,03 Tn de C/ha y, asimismo se determinó un incremento medio anual (IMA) de 7,96 metros cúbicos por hectárea por año de fijación anual de C, representando 26,61 toneladas de fijación de dióxido de carbono.

1.3.- JUSTIFICACION

Las actividades humanas están produciendo un exceso de gases de efecto invernadero que están potencialmente calentando el clima de la tierra. En tanto que los ecosistemas forestales están almacenando el C de la atmósfera en la biomasa y el suelo. En este sentido, el presente estudio tuvo como objetivo estimar y conocer la distribución de carbono almacenado en el bosque en estudio. Surge así una posibilidad para los países en desarrollo como el Perú, la de utilizar la acción de los bosques y sistemas agroforestales como sumideros de carbono para captar fondos mediante proyectos financiados por los países desarrollados, que se comprometieron a reducir sus emisiones. Para poder participar de proyectos de Mecanismo de Desarrollo Limpio para lo cual se necesita conocer la dinámica del flujo neto de carbono entre el bosque y la atmósfera, o lo que es lo mismo la cuantificación de la emisión-captura. Este es uno de los principales retos que se plantean, si se quiere incorporar la fijación de carbono, como un objetivo en la gestión forestal y mejoramiento de los ingresos de los que efectivamente realizaron acciones para mitigar el calentamiento global. El presente trabajo de investigación constituirá un aporte para las instituciones internacionales, nacionales, regionales y locales en la

conservación, evaluación y gestión de Recursos Naturales, proporcionando información básica y descriptiva sobre la distribución espacial, biomasa y cantidad de carbono capturado en una base de datos, que servirá en la toma de decisiones de los Factores involucrados en el manejo de los ecosistemas de bosques alto andinos.

De este modo el uso sostenible de los bosques altos andinos y protección del medio ambiente pretende Concientizar a la población y de esa manera tratar de evitar una completa deforestación de los bosques alto andino.

Así mismo el presente trabajo de investigación servirá como información para futuras investigaciones sobre este recurso y sobre todo acerca de MDL para mitigar los efectos del calentamiento global.

1.4.- OBJETIVOS

1.4.1.- Objetivo General

Determinar el contenido de carbono por especie en la biomasa, en los rodales de eucalipto (*Eucalyptus globulus*), ciprés (*Cupressus macrocarpa*) y pino (*Pinus radiata*) en el bosque del Centro de Investigación y Producción CIP-Camacani UNA- Puno, por titulación.

1.4.2.- Objetivos Específicos

- Determinar la producción de biomasa en los rodales de eucaliptos, ciprés y pino en el bosque del CIP- Camacani.
- Determinar las diferencias estadísticas en cantidad de carbono capturado en eucaliptos, ciprés y pinos del bosque del CIP- Camacani.
- Calcular la cantidad de dióxido de carbono (CO₂) de la biomasa del bosque del CIP- Camacani.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.- MARCO TEÓRICO

2.1.1.- Cambio Climático

Según el IPCC (2007), el cambio climático es la variación estadísticamente significativa, ya sea de condiciones climáticas medias o su variabilidad, que se mantiene durante un período prolongado, generalmente durante decenios o más tiempo. El cambio del clima puede deberse a procesos naturales internos, forzamiento externo o cambios antropógenos duraderos en la composición de la atmósfera o en el uso de la tierra.

2.1.2.- Cambio climático en el Perú

El Perú es un país altamente vulnerable debido a factores estructurales exacerbados por la pobreza e inequidad, que se suman a la condición de vulnerabilidad existente en los ecosistemas de importancia global como la Amazonia y los Andes. Se caracteriza por ser un país con ecosistemas particularmente vulnerables al cambio climático, pues presenta siete de las nueve características reconocidas por la Convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático (CMNUCC): Zonas costeras bajas, zonas áridas y semiáridas, zonas expuestas a inundaciones, sequías y desertificación, ecosistemas montañosos frágiles, zonas propensas a desastres, zonas con alta contaminación atmosférica urbana, economía dependiente en gran medida de los ingresos generados por la producción y uso de combustibles fósiles. Los efectos adversos se vienen observando en los retrocesos de los glaciares y el acceso a los recursos hídricos asociados, en la mayor frecuencia de eventos

climáticos extremos como la intensidad del fenómeno del Niño, en el cambio de los patrones históricos de precipitación pluvial y en la variación inusual de las temperaturas en el territorio y en el mar (MINAN, 2015).

2.1.3.- Los efectos del cambio climático en el Perú

En el caso del Perú, el representante y meteorólogo del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (Senamhi), Martín Bonshoms Calvelo, afirma que los gases del efecto invernadero, producidos por el cambio climático, influyen en la magnitud de las precipitaciones en Lima. “La elevada temperatura del mar, sobre todo en el Océano Pacífico, eleva la temperatura del planeta, lo que hace que aumenten las precipitaciones en las zonas costeras. Un agente importante de este calentamiento se dio en el 2016 con el Fenómeno del Niño.”, menciona.

2.1.4.- Efecto Invernadero

El Efecto Invernadero es un fenómeno natural en el cuál la radiación de calor de la superficie de un planeta, en este caso la Tierra, es absorbida por los gases de la atmósfera y es reemitida en todas direcciones, lo que resulta en un aumento de la temperatura superficial. Los gases más eficientes en absorber el calor se llaman gases de efecto invernadero o gases de invernadero, entre ellos está el CO₂ que es el que la humanidad en su consumo de recursos ha aumentado a niveles nunca vistos previamente y está causando el calentamiento global (Centeno, 1992; Houghton y Woodwell, 1989; citado por Cubero y Rojas, 1999).

Cuadro 1 Fuentes generadoras de gases de efecto invernadero.

Fuente	Actividad	Emisión de GEI		
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Quema de combustibles	-Generación de energía -Sector industrial -Transparente -Residencial	X	X	X
Emisiones fugitivas	-Almacenamiento y transporte de combustibles fósiles		X	
Procesos industriales	-Producción minera -Industria química -Producción de metales	X	X	
Agricultura	-Cultivos de arroz -Quema de sabanas -Uso de suelos Agrícolas	X	X	X
Cambio de Uso de Suelo	-Cambio en bosques y otros stocks de biomasa -Conversión de bosques y pastizales -Abandono de tierras manejadas	X	X	X
Desechos	-Aguas residuales -Rellenos sanitarios -Botaderos	X	X	X

Fuente: CONAM 2002

2.1.5.- Captura de carbono

La captura de carbono es un proceso que tiene su origen con el proceso de la fotosíntesis. El dióxido de carbono de la atmósfera y el agua, reaccionan para formar carbohidratos y liberar oxígeno, que pasa a la atmósfera.

A través de la fotosíntesis, la vegetación asimila CO₂ atmosférico, forma carbohidratos y gana volumen. Los bosques del mundo capturan y conservan más carbono que cualquier otro ecosistema terrestre y participan con el 90% del flujo anual de carbono de la atmósfera y de la superficie de la tierra. Es el proceso de fijación de carbono en forma continua en cualquier sistema de uso de la tierra como consecuencia de alguna intervención sobre áreas degradadas o en proceso de degradación. Se pueden medir en diferentes sistemas de Uso de la Tierra cuyos antecedentes (tiempo de uso principalmente) son conocidos por los agricultores. Estos sistemas pueden ser el bosque primario, áreas quemadas para cultivos anuales o plantaciones perennes, bosques secundarios de diferentes edades, pasturas, sistemas agroforestales, barbechos mejorados, sistemas pastoriles etc. Así en todos estos sistemas se determina el carbono secuestrado (ICRAF, 2003).

2.1.5.1.- Métodos de Estimación de Carbono en la Biomasa Forestal

Existen muchos métodos para estimar la cantidad de carbono (CO₂ fijado) por la vegetación; sin embargo, en numerosos estudios (Brown *et al.*, 1986; Ortiz, 1997) han empleado una fórmula simple para evaluar este proceso, en el cual el CO₂ es igual a los datos existentes de biomasa por hectárea (B) multiplicados por un factor (F), que involucra el contenido de carbono en la biomasa (CC) y la relación entre el peso de la molécula de CO₂ (44) y el peso del átomo de C (12). Para lo cual se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{CO}_2 = B * F$$

$$F = \text{CC} * 44 / 12$$

Dónde:

CO₂ : Dióxido de carbono.

B : Biomasa (Tn/ha)

F : Factor de Conversión.

CC : Contenido de carbono.

A. Método del poder Calórico

Este método se basa en la cantidad de energía que requiere una planta para fijar un mol de carbono, método descrito por Eduarte y Segura (1998), utilizado por Cubero y Rojas (1999) y por Navarro (2011).

Esta metodología está basada en los siguientes principios:

- Ley universal de la termodinámica, la cual afirma que cualquier proceso o trabajo que implique un cambio en los niveles de energía en la naturaleza, sucede y la energía del universo se mantiene igual (Brown y Le May, 1987; citado por Segura, 1997).
- Ley de Hess, establece que una reacción se lleva a cabo en una serie de etapas, el cambio calórico (ΔH) para la reacción es igual a la sumatoria de todos los cambios de entalpía para cada etapa en particular. Es útil para calcular los cambios de energía que son difíciles de medir en forma directa (Brown y Le May, 1987; citado por Segura, 1997).

Con la utilización de un calorímetro de Parr y siguiendo los procedimientos de la A.S.T.M (1973) Citado por Cubero y Rojas (1999), para combustibles sólidos se puede obtener de cada muestra, la cantidad de energía total en kcal/kg, transformándose a moles de carbono potencial fijado utilizando la relación de moles (g/peso molecular) y con el peso de la muestra inicial se determina la fracción de carbono fijado.

B. Método de Walkley y Black

La materia orgánica es oxidada con una mezcla de $K_2Cr_2O_7$ más H_2SO_4 . La dilución concentrada se calienta con H_2SO_4 y $K_2Cr_2O_7$ es la fuente exclusiva de calor. El exceso de $K_2Cr_2O_7$ es determinando por titulación con $FeSO_4$ o con $(NH_4Fe)_2(SO_4)_3$. Este método proporciona una estimación fácilmente oxidable de carbono orgánico y es usado como una medida de carbono orgánico total.

El porcentaje de materia orgánica es igual al porcentaje de carbono orgánico multiplicado por el factor de 1.724 porque la materia orgánica contiene el 58% de carbono (Kalra y Maynard, 1991; citado por Segura, 1997).

Finalmente reemplazando en la formula se obtendrá que el contenido de carbono es igual a:

$$\% \text{ Carbono} = \frac{\% \text{ Materia orgánica}}{1.724}$$

2.1.5.2.- Mercado de Bonos de Carbono

El mercado de carbono es el conjunto de los diferentes sistemas de comercio que los gobiernos, empresas o individuos pueden utilizar para comprar o vender productos que representan toneladas mitigadas y/o capturadas de dióxido de carbono (CO_2).

El protocolo de Kioto ha creado oportunidades de mercado para que los países en vías de desarrollo participen como anfitriones de proyectos de Mecanismo de

Desarrollo Limpio (MDL) y puedan obtener ingresos adicionales los generados por el rubro principal de un proyecto de inversión a través de la negociación de sus unidades reducidas de carbono.

La negociación de las unidades reducidas o capturadas de carbono ha dado origen al llamado mercado de carbono, en donde se negocian diversos productos que representan derechos de emisiones de GEI.

Un país en vías de desarrollo, como el Perú, puede participar en este mercado ofreciendo como producto los certificados de reducción de emisiones (CER's) que se derivan de la implementación de proyectos MDL.

Cuadro 2 Tipos de Proyectos de MDL en el Perú.

SECTOR	NUMERO DE PROYECTOS	%
Hidroeléctrica	23	58.97
Cambio de combustible	5	12.82
Residuos solidos	5	12.82
Biomasa	2	5.13
Cogeneración	2	5.13
Forestal	1	2.56
Lagunas anaeróbicas	1	2.56
TOTAL	39	100

Fuente: MINAM 2009. Proyecto de Fortalecimiento de Capacidades para el Desarrollo de Nuevos Proyectos de MDL en el Perú.

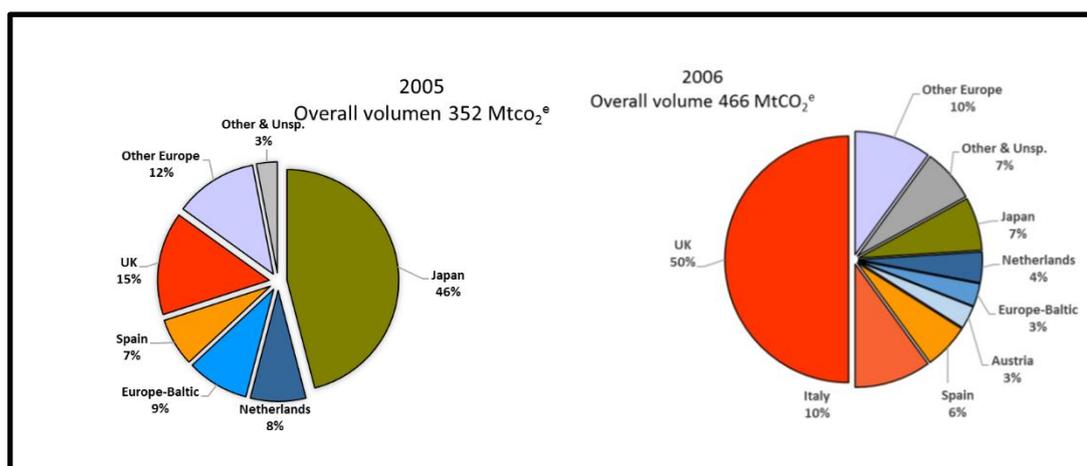


Figura 1 Demanda de compra de Certificados de Reducción de Emisiones (CERs)

Fuente: FONAM 2008. Proyecto de Fortalecimiento de Capacidades para el Desarrollo de Nuevos Proyectos de MDL en el Perú

2.1.5.3.- Mercado de carbono en el Perú.

El Perú como miembro de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC), ha ratificado sus compromisos internacionales para enfrentar los impactos de las modificaciones del clima y cumplir con el protocolo de Kioto.

La estructura institucional peruana se orienta a soportar la implementación y el desarrollo de proyectos que califiquen como MDL y está liderada por dos instituciones; El consejo Nacional del Ambiente (CONAM) y el Fondo Nacional del Ambiente (FONAM).

- **CONAM.-** Constituye la instancia nacional en donde se presentan los proyectos MDL. Se ha elaborado un procedimiento que en menos de 45 días los proponentes de proyectos puedan obtener una certificación de aprobación o desaprobación de proyectos MDL.
- **FONAM.-** Viene promocionando las inversiones en proyectos ambientales que contribuyen al desarrollo sostenible del país y que a su vez reducen las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) a la atmósfera, los cuales impactan negativamente ocasionando el Efecto Invernadero y Calentamiento Global. En este sentido el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) es un

mecanismo financiero que puede ayudar a concretar la realización de este tipo de proyectos ambientales en nuestro país y apoyar la lucha mundial contra el Cambio Climático.

2.1.6.- Etapas de ciclo del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) de acuerdo al FONAM

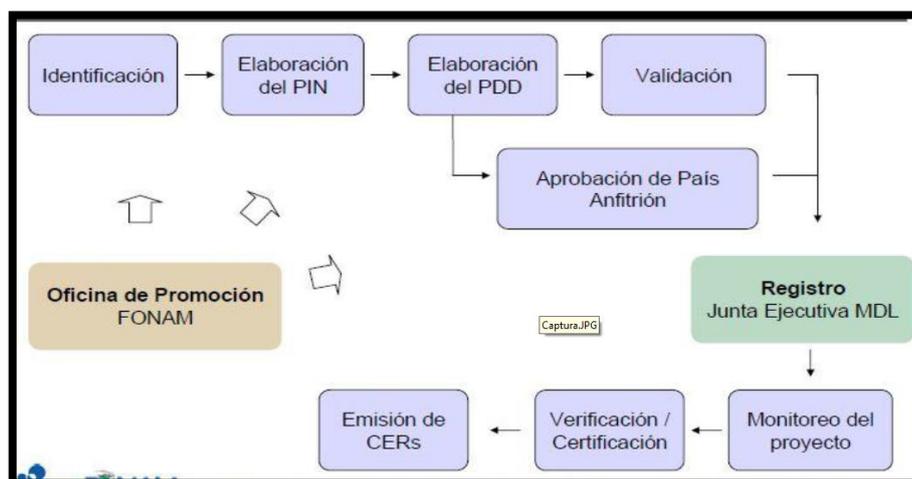


Figura 2 Etapas del ciclo MDL

Fuente: FONAM 2008. Proyecto de Fortalecimiento de Capacidades para el Desarrollo de Nuevos Proyectos de MDL en el Perú.

- **Identificación.** - El primer paso es definir si un proyecto que reduce emisiones tiene posibilidades de acceder al MDL. En el Perú el FONAM realiza esta función.
- **Elaboración del PIN.** - La Nota Idea de Proyecto (o PIN por sus siglas en inglés) es un documento con información más detallada que una ficha usualmente consta de 5 páginas, y puede ser usado por los desarrolladores de proyectos para buscar financiamiento adicional del proyecto, pero sobre todo para iniciar las negociaciones de una venta futura de CERs.
- **Elaboración del PDD.** - El Documento de Diseño de Proyecto (PDD por sus siglas en inglés) presenta la información técnica y organizacional de las actividades del proyecto y es el insumo clave para la validación, registro, y verificación. El PDD contiene la información de acerca la actividad del proyecto, metodología de línea base, estimaciones de las reducciones y el protocolo de monitoreo del

proyecto, así como también impactos ambientales y comentarios de la comunidad que ha sido informada del proyecto.

- **Elaboración del país anfitrión.** - El procedimiento de aprobación de país anfitrión, también conocido como aprobación nacional MDL, es administrado por el CONAM el cual recaba documentación y convoca a un Comité Ad-Hoc para evaluar si el proyecto contribuye al desarrollo sostenible de país.
- **Validación.** - Es la revisión independiente del proyecto en base a los requerimientos que establece la Junta Ejecutiva en el PDD. Es el paso previo al Registro ante la Junta Ejecutiva.

La validación es llevada a cabo por una Entidad Operacional Designada (DOE por sus siglas en inglés), a veces llamada validadora. Estas tienen que estar acreditadas ante la Junta Ejecutiva.

- **Registro.** - La Secretaría de la Convención Marco del Cambio Climático determina si la aplicación enviada por la DOE está completa. Luego pasa al estatus de “solicitando registro”, estando el proyecto público en la página web de la Convención de Cambio Climático por un periodo de 8 semanas. El proyecto es luego registrado por la Junta Ejecutiva. Sin embargo, puede ser observado y pasar a un periodo de revisión, del cual será registrado o rechazado.
- **Monitoreo del proyecto.** - Es realizada por el proponente del proyecto en la llamada fase de implementación para facilitar la verificación posterior. Se lleva a cabo en base al protocolo de monitoreo especificado en el PDD. Se monitorea de las emisiones reales de Gases Efecto Invernadero. El protocolo o plan de monitoreo es aprobado junto con la metodología de establecimiento de línea base antes del Registro del proyecto.
- **Verificación – Certificación.** - Una DOE realiza la verificación de los reportes monitorizados, realizados por el proponente del proyecto. Finalmente, la DOE prepara un reporte de verificación y un reporte de Certificación para ser enviado a la Junta Ejecutiva. El reporte de certificación establece el monto verificado de Reducciones de Emisiones para su emisión correspondiente de CERs.

2.1.7.- Métodos para capturar el carbono atmosférico (CO₂)

Los efectos de las tecnologías para la creación de nuevos sumideros de carbono son en sí mismos impredecibles. Las propuestas recientes para capturar el dióxido de carbono (CO₂) son (The nature conservancy, 1999; citado por Palomino, 2007):

- Forestación, reforestación y conservación de ecosistemas forestales naturales.
- Disparar torpedos de hielo seco hacia las profundidades del océano.
- Construir autos a partir de carbono.
- Enterrar troncos o restos orgánicos en los fondos marinos.
- Plantar extensas áreas con organismos genéticamente modificados para fijar carbono “más eficientemente” o producir “bioplástico” más durable utilizando carbono.
- Establecer granjas flotantes de algas de miles de kilómetros de dimensión que, a medida que se vuelven más pesadas por el consumo de CO₂, eventualmente se hundirán en el fondo del mar.

2.1.8.- Métodos de determinación de carbono en la biomasa forestal

a. Determinación del dióxido de carbono (CO₂)

Existen varios métodos para determinar la cantidad de CO₂ fijado por la vegetación; sin embargo, en numerosos estudios (Ramírez, *et al.*, 1997; Ortiz, 1997; Brown, *et al.*, 1986; Hoen y Solberg, 1994; Schroeder, *et al.*, 1995) han empleado uno simple para evaluar este proceso, en el cual los datos existentes de biomasa por hectárea (B) son multiplicados por un factor (F), que involucra un contenido de C (CC, en proporción) en la Biomasa seca y la relación entre el peso de la molécula de CO₂ (44) y el peso del átomo de C (12), tal como se muestra a continuación:

$$\text{CO}_2 = B \times F$$

$$F = \text{CC} \times 44/12$$

Dónde:

CO₂: Dióxido de carbono

B : Biomasa (Tn/ha)

F : Factor de conversión

CC : Contenido de carbono

2.1.9.- Servicios Ambientales que prestan los Ecosistemas Forestales

Los ecosistemas forestales ofrecen a la sociedad una serie de bienes y servicios, los cuales tienen un valor tanto tangible como intangible.

Algunos de los servicios que brinda el bosque y las plantaciones forestales y que inciden directamente en la protección y el mejoramiento del medio ambiente son los siguientes: mitigación de emisiones de gases con efecto invernadero (fijación, reducción, secuestro, almacenamiento y absorción), protección del agua para uso urbano, rural o hidroeléctrico, protección de biodiversidad y suelos para conservarlos y hacer uso sostenible de los mismos, científico y farmacéutico, investigación y mejoramiento genético, protección de ecosistemas, forma de vida y belleza escénica natural para fines turísticos (MARENA, 2000; citado por Lagos y Vanegas, 2003).

2.1.10.- Carbono

El carbono en la naturaleza se encuentra por doquier. En el agua bajo la forma de compuestos carbónicos disueltos (los carbonatos), y en el aire como dióxido de carbono.

Todos los organismos vivos están constituidos por compuestos de carbono, que obtienen como resultado de sus procesos metabólicos realizados durante su crecimiento y desarrollo, y que son liberados cuando éstos mueren. Aproximadamente, el 50% del peso seco de cualquier organismo lo constituye este elemento, por lo que es uno de los más importantes de la vida (Smith T., 1993).

2.1.10.1.- El ciclo del carbono

Este ciclo gira especialmente alrededor del bióxido de carbono, ya que constituye el compuesto químico predominante en la atmósfera. El ciclo funciona básicamente a través de la fotosíntesis, la respiración, las emisiones por quema de combustibles fósiles y fenómenos naturales como las erupciones volcánicas

(Figura 4). (Ordóñez, A. 1999; citado por Zamora 2003). Así mismo afirma que, el ciclo del carbono es el responsable de la cantidad de CO_2 contenido en la atmósfera, ya que es el mecanismo que equilibra las cantidades de carbono presentes en los diferentes reservorios o almacenes de carbono en el planeta. Como consecuencia se establece todo un balance de carbono a través de procesos fijadores/almacenadores de carbono y otros que a su vez lo emiten.

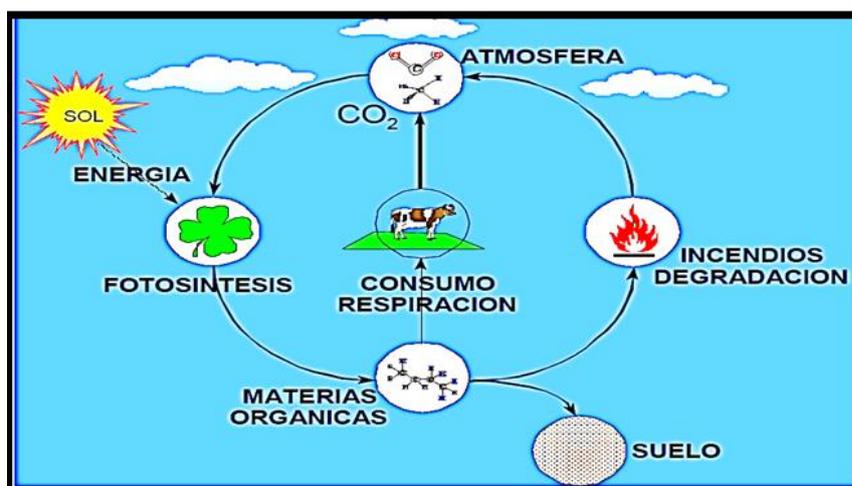


Figura 3 Ciclo del carbono

Fuente: Ordóñez, A. (1999); citado por Zamora 2003.

2.1.11.- Dióxido de Carbono

El Dióxido de carbono (CO_2), es un componente normal del aire y parte del ciclo del carbono de la biosfera; por consiguiente, no se le considerará por regla general contaminante. Sin embargo, el quemar carbón, petróleo y gas natural como combustible produce grandes cantidades de CO_2 . Se calcula que la velocidad actual de aumento de la concentración de CO_2 en el mundo es de aproximadamente de 0.7 ppm/año. Se considera, por ende, los efectos posibles de un aumento proseguido de la concentración de CO_2 en la atmósfera de la tierra.

Las moléculas de bióxido de carbono, a diferencia de los demás componentes del aire puro, poseen la propiedad de absorber la radiación infrarroja (calor) del sol. "por cuanto más CO_2 haya en la atmósfera, tanto más calor puede ésta absorber" (Nekrásov, 1981; citado por Lagos y Vanegas, 2003).

Cantidades enormes de CO₂ entran cada año a la atmósfera como consecuencia generalizada de combustibles fósiles (carbón, petróleo o gas natural). Debido al constante intercambio de CO₂ entre la atmósfera y el océano (el cual puede absorber una gran parte de CO₂), solamente parte del CO₂ antropogénico permanece en la atmósfera. Sin embargo, no hay duda alguna de que la concentración de CO₂ en la atmósfera ha estado aumentando de año en año, por ejemplo, las emisiones de este gas crecieron a una tasa de 4.3% anual desde 1860 a 1970 y una de 2.8 entre 1970 y 1979 (Fernández, 1991; citado por Cubero y Rojas, 1999).

2.1.12.- Medidas de mitigación de CO₂

Una forma de mitigar los efectos de CO₂ además de reducir las emisiones, es "secuestrarlo", o sea capturarlo y mantenerlo el mayor tiempo posible en la biomasa, el suelo y los océanos. En el primero; esto se logra a través de la fotosíntesis y en el segundo a través de la descomposición y mineralización de la materia orgánica. (Dixon, 1995; citado por Lagos y Mamani, 2012).

2.1.13.- Importancia de los bosques en los flujos de carbono.

Los bosques cumplen la función de sumideros de los GEI, así mismo, los estudios de cálculo de biomasa de los ecosistemas forestales son esenciales para obtener un aproximado de la cantidad de carbono almacenado, ya que existe una estrecha relación entre la biomasa y el carbono que es de aproximadamente 2:1 (Ciesla, 1996).

El nivel de acumulación de carbono varía entre los diferentes ecosistemas por ejemplo se ha estimado que la tasa de acumulación de carbono en la vegetación de un rebrote de bosque secundario, entre 0 y 20 años, es de 2 a 3.5 Tn/ha/año mientras que la acumulación en el suelo en las mismas condiciones se estimó en 0.5 a 2.0 Tn/ha/año (Lugo y Brown, 1992,1993; citado por Lagos y Mamani, 2012).

El bosque primario natural una vez maduro mantiene anualmente fijada una cantidad de carbono igual a la mitad de su biomasa total o igual a la mitad por peso de la productividad primaria neta (PPN), en toneladas de biomasa seca por ha/año. (Carranza *et al.*, 1996; citado por Lagos y Mamani, 2012).

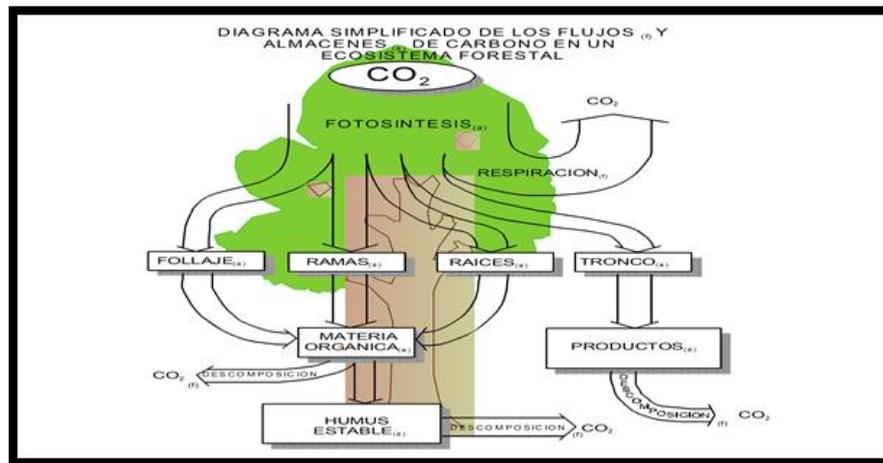


Figura 4 Diagrama simplificado de los flujos y almacenes de carbono en un ecosistema forestal.

Fuente: Ordoñez, 1998 y 1999; citado por Zamora 2003

2.1.14.- Estimación de biomasa

La biomasa corresponde a la cantidad total de materia viva presente en un momento dado para un sistema biológico, expresada en unidades de peso seco por unidad de superficie, pudiendo ser utilizada para determinar por medio de inventarios la cantidad de materia biológica que se encuentra disponible en un momento y ambiente definido. La distribución de biomasa en fustes, ramas, hojas y raíces varía considerablemente con la especie, edad, sitio y tratamiento silvicultural. Por lo tanto, la evaluación de la biomasa presente en los distintos componentes de un individuo, permite estimar el potencial productivo de un sistema boscoso, (Durand, 2005).

2.1.14.1.- Diseño de muestreo para la estimación de biomasa en bosques

Schlegel, et al., (2000), menciona que en estudios de biomasa dependiendo de la variabilidad de los bosques la precisión deseada, las especies encontradas y los recursos disponibles, se utilizaran diferentes números de árboles muestra, normalmente varía entre 20 y 40 árboles, eligiéndose alrededor de 3 por parcela medida. Para zonas amplias, se eligen cerca de 30 árboles, pero si se requiere determinar la biomasa en localidades específicas, 15 árboles es un número

suficiente. Asimismo, propone parcelas rectangulares de 10 m x 25 m para muestreos de biomasa forestal en plantaciones forestales.

2.1.15.- Aplicación del SIG en el medio ambiente

Moldes T. (1995) menciona que los SIG pueden ayudar en la labor de conocimiento, gestión y divulgación de las tareas que atañen al medio ambiente, tal como la creación de modelos que permitan evaluar los recursos naturales. La captura, almacenamiento y gestión de datos sobre el medio ambiente.

2.1.16.- Ciprés (*Cupressus macrocarpa*)

2.1.16.1.- Taxonomía y morfología

De acuerdo a Reynel R. C. (1988), el ciprés tiene la siguiente ubicación taxonómica:

Orden	: Coniferales
Familia	: Cupressaceae
Género	: <i>Cupressus</i>
Especie	: <i>macrocarpa</i>
Nombre científico	: <i>Cupressus macrocarpa</i> Hartw.
Nombre común	: "Ciprés"

Como la gran mayoría de las coníferas, son de hoja perenne, pueden alcanzar los 20 m de altura con un diámetro aproximado de unos 60 cm. Su porte es piramidal, de crecimiento rápido en los primeros años de vida, ralentizándose después y pudiendo alcanzar los 300 años de vida. Poseen un tronco recto y de corteza delgada en la que se forman fisuras longitudinales. Las hojas son muy pequeñas (2-6 mm de longitud) con forma de escama, alineadas en parejas opuestas y decusadas.

Florece a finales del invierno y en un mismo ejemplar se producen flores masculinas y femeninas; las masculinas forman conos ovaes de color verdoso que cuelgan de las puntas de las ramas. Los femeninos son

ligeramente esféricos, se componen de alrededor de 12 escamas y al desarrollarse se convierten en una gálbula globular de 3x4 cm, de color verde al principio tornándose a rojizo y marrón al alcanzar la madurez. Se multiplica por semillas y su germinación se retarda cuando no encuentra las condiciones adecuadas en el sustrato de almácigo (deficiencia de nutrientes); algunas variedades se propagan por injerto. Tolera casi toda clase de suelos, incluso pobres. Su madera es pesada, duradera. Se utiliza formando setos y también en acciones agroforestales, soporta muy bien las podas.

2.1.17.- Eucalipto (*Eucalyptus globulus* Labill)

2.1.17.1.- Taxonomía y morfología

De acuerdo a Reynel C. (1988), el eucalipto tiene la siguiente ubicación taxonómica:

Orden	: Angiospermas
Familia	: Mirthaceae
Género	: Latifoliadas
Especie	: globulus
Nombre científico	: <i>Eucalyptus globulus</i> Labill
Nombre común	: Eucalipto

El *Eucalyptus glóbulos* Labill es fácilmente reconocible en su estado adulto por ser la única especie arbórea que posee el cono, o fruto solitario. La madera de eucalipto tiene cualidades técnicas que la hacen muy requerida en la industria del papel, ya que su fibra es corta, esta cualidad la hace atractiva en el rubro de la celulosa, donde se la utiliza en la fabricación de papeles finos. Su madera es utilizada en la producción de muebles para hogares y oficinas, y su hermosa chapa se destina al forrado o enchapado de tableros. (Reynel C.1988).

En nuestra región estos árboles pueden alcanzar hasta 30 metros de altura, con la corteza blanquecina que se desprende fácilmente en tiras,

en los ejemplares adultos. Sus frutos son como una cápsula campaniforme de color blanco, cubierta de un polvo blanquecino, de 1,4 a 2,4 cm de diámetro. Se multiplica por semillas, es algo sensible a las sequías prolongadas y prefiere suelos ligeramente ácidos y frescos. Las hojas que se agrupan agolpadas en los extremos de las ramillas, producen una copa de aspecto poco frondoso. (Reynel C.1988).

Es una planta muy melífera, con flores blanquecinas, que son productos de abundante miel de elevada calidad y que se transforman finalmente en un fruto grueso y abotonado, portador de las semillas. Tiene una raíz muy poderosa y aprensiva, que cuida muy bien al árbol frente a los agentes atmosféricos. No obstante, el árbol puede resultar poco resistente frente al viento si la planta de la que procede se ha repicado deficientemente en vivero o cuando proviene de almácigos con deficiencias de nutrientes orgánicos, principalmente, de aquí la conveniencia de utilizar siempre en sus plantaciones la planta adecuada, y también la necesidad de cultivarla en los envases más apropiados. (Reynel C.1988).

2.1.18.- Pino (*Pinus radiata* G. Don.)

2.1.18.1.- Taxonomía y morfología

De acuerdo a Reynel C. (1988), el pino tiene la siguiente ubicación taxonómica:

Orden	:	Coniferales
Familia	:	Pinaceae
Género	:	Pinus
Especie	:	radiata
Nombre científico	:	<i>Pinus radiata</i> G. Don.
Nombre común	:	Pino

Es un árbol elevado que puede llegar fácilmente a los 30m. de altura, siendo su altura promedio a los 20 m., su porte es regular, piramidal en la juventud y finalmente ensanchado, globoso o truncado. El tronco es recto bastante cónico, ramas verticales en forma de candelabro horizontales o erectas, potente en arranque vertical y ascendente en sus extremos,

cortas en relación a los entrenudos dando al árbol un aspecto característico. El número de brotes anuales suele ser de dos, si bien en ocasiones pueden ser más. Las ramas son bastante persistentes aun con falta de luz por lo que para su eliminación no basta con buscar una máxima espesura, sino que es necesario realizar las podas artificialmente. Si bien con la espesura no se eliminan las ramas este si tiene influencia en su desarrollo y por tanto en el tallo de los nudos de la madera. su propagación es sexual, principalmente, requiriendo para ello la participación de micorriza y otros nutrientes; cuando no hay disponibilidad de nutrientes en el suelo, la germinación en almácigos es relativamente regular, influyendo en la biomasa forestal, en el vivero. (Reynel C.1988).

2.2.- MARCO CONCEPTUAL

Biomasa: peso (o estimación equivalente) de la materia orgánica, por encima y por debajo del suelo.

Rodal – Rodales: Unidad básica del bosque geográficamente continúa, cubierta con árboles de características homogéneas en cuanto a especie, edad, altura y densidad de los árboles, tipo de suelo, pendiente, estructura y volumen.

Ciclo del Carbono: El carbono es el elemento químico fundamental de los compuestos orgánicos, que circula por los océanos, la atmosfera, el suelo, y subsuelo. Estos son considerados depósitos (Reservorios) de carbono. El carbono pasa de un depósito a otro por medio de procesos químicos, físicos y biológicos (ICRAF 2009).

Carbono fijado: Se refiere al flujo de carbono de la atmósfera a la tierra producto de la recuperación de zonas (regeneración) previamente deforestadas, desde pastizales, bosques secundarios hasta llegar a bosque clímax. El cálculo por lo tanto está definido por el crecimiento de la biomasa convertida a carbono.

Deforestación: acción de eliminar el bosque de forma permanente para un uso no forestal. Si la cosecha (incluso con extracción del tocón) va seguida de una reforestación para fines forestales no se considera deforestación.

Plantación: Áreas forestales que carecen de las características principales y los elementos claves de los ecosistemas naturales, como resultado de la plantación o de los tratamientos silviculturales.

Productos forestales no-maderables: Todos los productos forestales excepto la madera. Estos incluyen aquellos materiales obtenidos de los Árboles tales como la resina y las hojas, así como cualquier otro producto de las plantas y animales.

Reforestación: acción de repoblar con árboles una tierra forestal.

Sumidero de carbono: es un mecanismo natural que elimina CO₂ de la atmósfera. El almacenamiento de carbono y su liberación por los ecosistemas forestales, ya sea a causa de la forestación, la reforestación o la deforestación están considerados en el Artículo 3.3 del Protocolo de Kyoto (Mogas, J. y P. Riera. 2004).

Los sistemas agroforestales: constituyen formas de uso y manejo de los recursos naturales en las que se pueden asociar especies forestales, cultivos agrícolas y/o animales, en forma simultánea o en secuencia temporal, sobre un mismo terreno. Los beneficios que se asocian con estos sistemas son: aumento de la productividad vegetal y animal; reducción del uso intensivo de la tierra; diversificación en la producción de alimentos; obtención de productos como leña y madera; y reducción de la escorrentía del agua y la erosión de los suelos por efecto de la lluvia. Las pasturas pueden contribuir con el almacenamiento de carbono. Cuando los pastos actúan como fuente emisora, se atribuye este factor negativo a un manejo mal aplicado (Arias K. 2001),

Cambio climático: La expresión cambio climático para el IPCC se refiere a cualquier cambio del clima a lo largo del tiempo, ya sea debido a la variabilidad natural o como consecuencia de la actividad humana. Esta acepción es distinta de la que se da en la Convención sobre el Cambio Climático, donde cambio climático se refiere a un cambio del clima directa o indirectamente debido a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se

suma a la variabilidad natural del clima que se observa en períodos de tiempo comparables.

Mapa base: Es una imagen más o menos sintética del territorio, cuyo objeto es la referenciación geográfica del contenido temático del mapa; es decir nos proporciona información espacial sobre la que referencia el contenido temático (Quispe V., 2002).

Sistema de Información Geográfica: (SIG o GIS, en su acrónimo inglés) es una integración organizada de hardware, software y datos geográficos diseñado para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada.

2.3.- HIPÓTESIS.

2.3.1.- Hipótesis general

En el bosque del centro de Investigación y Producción CIP-Camacani UNA- Puno, por titulación se determina el contenido de carbono por especie en la biomasa, en los rodales de eucalipto (*Eucalyptus globulus*), ciprés (*Cupressus macrocarpa*) y pino (*Pinus radiata*) por titulación

2.3.2. Hipótesis específica

- La producción de biomasa en los rodales de eucaliptos, ciprés y pino en el bosque del CIP- Camacani se determina debido a las características morfológicas de cada especie y a las características fisiográficas del lugar.
- Conociendo la cantidad de carbono capturado en eucaliptos, ciprés y pinos del bosque del CIP- Camacani se determinan las diferencias estadísticas.
- La cantidad de dióxido de carbono (CO₂) se calcula de la biomasa del bosque del CIP- Camacani.

CAPITULO III

DISEÑO METODOLOGICO DE LA INVESTIGACION

3.1.- METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

3.1.1.- Materiales, Equipos y reactivos

3.1.1.1.- Materiales

- Libreta de campo.
- GPS Navegador MAP 76 csx.
- Eclímetro.
- Balanza digital de 500 Kg de capacidad
- Cámara fotográfica Digital.
- Forcípula
- Sogas.
- Wincha métrica de 100 m.
- Machetes
- Bolsas polietileno.
- Motosierra

3.1.1.2.-Equipos

- Balanza analítica.
- Matraces
- Pipetas
- Buretas.
- Estufa.

- Crisoles
- Morteros

3.1.1.3.- Reactivos

- Dicromato de potasio
- Ácido sulfúrico
- Agua destilada
- Ácido fosfórico
- Sulfato ferroso.
- Indicador difenilamina

3.2.- AMBITO DEL ESTUDIO

El área de estudio se realizó en el Centro de Investigación y Producción (CIP), UNA – Puno, ubicado en el sector de Camacani a 24 Km sobre la carretera panamericana Sur Puno Desaguadero., donde se desarrollan las tres especies forestales en estudio. El bosque se encuentra ubicado en la zona de ladera, que presenta suelos residuales de la serie Bosque, con pendientes de 25-50% ubicado en la zona de vida Bosque húmedo – Montano – Subtropical a 3900 m.s.n.m.

- Lugar : CIP Camacani
- Distrito : Platería
- Provincia : Puno
- Departamento : Puno
- País : Perú

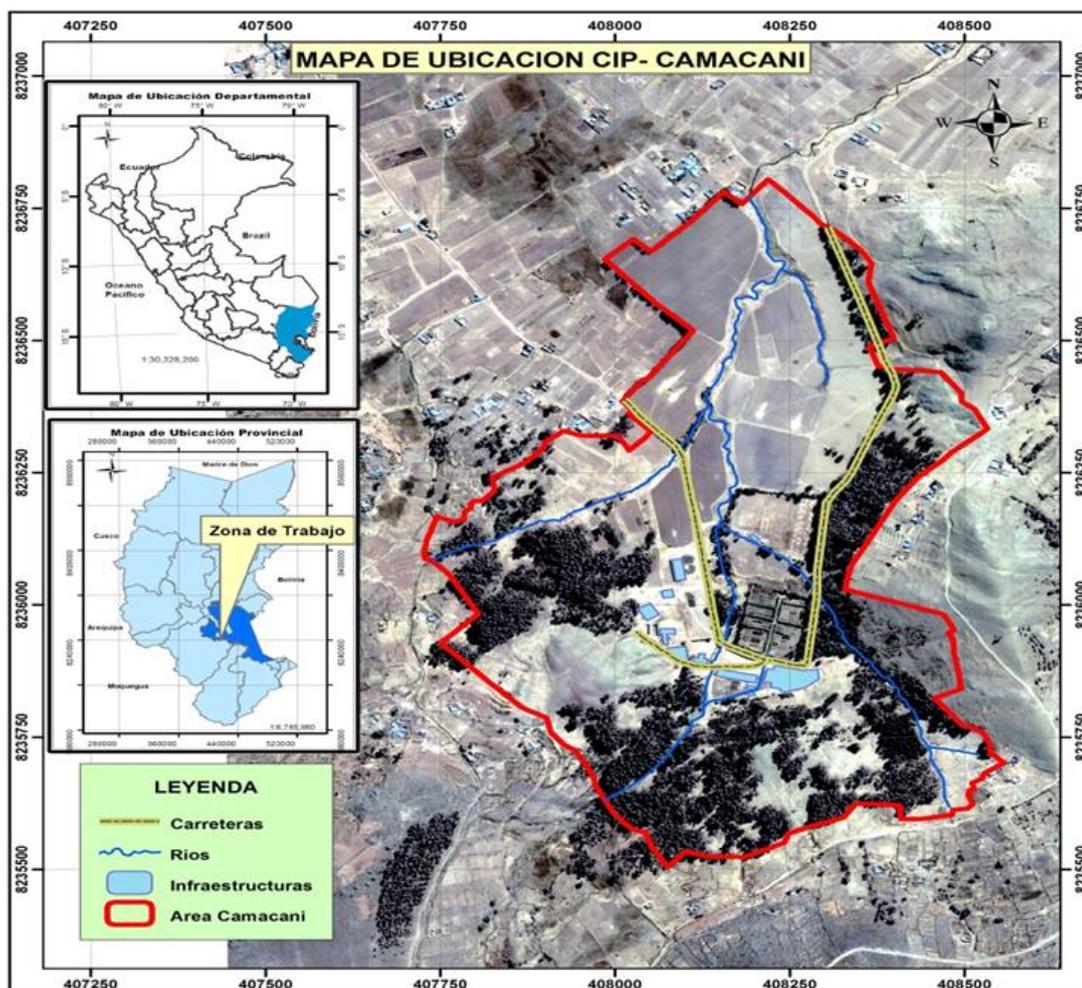


Figura 5 Mapa de ubicación del CIP-Camacani

Fuente: Huanacuni, J. (2012); Sistema de Información Geográfica

3.2.1.- Información meteorológica

De acuerdo a las características del clima, suelo, vegetación, fauna y altitud; el CIP. Camacani está comprendida en la región natural Suní, cuyas características generales entre otras son: clima templado frío, altitud de 3830 msnm en y vegetación de especies arbustivas, arbóreas. (Cervantes, 2012)

Cuadro 3 Datos meteorológicos de la zona sur, Estación Rincón de la Cruz–
Acora SENAMHI (1960 - 2012)

DATOS METEOROLOGICOS DE LA ZONA SUR "SENAMHI" (1960 - 2008)						
ESTACION: RINCON DE LA CRUZ - ACORA				Coordenadas		UTM (m)
ALTITUD: 3835 msnm				UTM Este X		413241
				UTM Norte Y		8231940
MESES	Temp.	Temp.	Temp.	Precipitación Total Mensual Promedio (mm)	Humedad Relativa (%)	Evaporación Total Mensual
	Media °C	Máxima °C	Mínima °C			
Enero	8.9	14.3	3.4	181.6	63	142.9
Febrero	9.3	14.6	4.6	143.5	62	127.7
Marzo	9.2	14.3	4.1	129.7	63	134.4
Abril	8.9	15.1	2.6	43.4	55	125.6
Mayo	7.8	14.8	0.7	10.4	48	127.8
Junio	5.7	13.4	-2.1	5.6	46	112.2
Julio	6	13.6	-1.5	5.3	46	120.1
Agosto	6.9	14.1	-0.3	12.9	47	144.2
Setiembre	8.1	14.3	1.9	22.3	49	160
Octubre	8.8	15.2	2.4	38	45	187.9
Noviembre	9.1	15	3.1	51.6	49	175.4
Diciembre	9.6	15.1	4.1	93.7	54	167.3
ANUAL	X 8.2	X 4.5	X 1.9	Σ = 738	X 52.3	Σ = 1725.5

Fuente: Proyecto: Fortalecimiento de Capacidades para el Ordenamiento

El área de estudio se encuentra en Zona de Vida “Bosque Húmedo-Montano Subtropical”, cuyas características son: biotemperaturas medias anuales entre 7.5 y 9.5 °C y precipitaciones totales anuales entre 600 y 750 mm. Esto se corrobora con los datos registrados por la estación Meteorológica Rincón de la Cruz – Acora Puno, cuyos datos meteorológicos indican una temperatura media de 8.2 °C y una precipitación total promedio de 738 mm (tabla 3). Asimismo, esta Zona de Vida incluye a tierras con aptitud agrícola y para plantaciones forestales con especies autóctonas y exóticas adaptadas. (Cervantes, 2012)

La Estación Meteorológica Rincón de la Cruz – Acora Puno, registran dato que se muestran en el (cuadro 3).

3.2.2.- Mapa Base y área

El mapa base, es uno de los elementos más importantes para la Investigación, ya que servirá de apoyo para la gestión y manejo de todas las informaciones temáticas a estudiarse.

Esta base gráfica se elaboró a partir de la información cartográfica existente del ámbito de estudio que abarca el proyecto y con la verificación de los hitos y linderos del área del estudio, así establecer el área exacta sobre el cual se trabajó, además de determinar los rasgos geográficos como, carreteras, ríos, quebradas, caminos, etc.

3.2.3.- Etapa de campo

3.2.3.1.- Delimitación o zonificación de rodales

El método empleado para esta etapa de zonificación de rodales fue el levantamiento planimétrico con GPS navegador de todo el perímetro de los rodales por especie del bosque del CIP-Camacani, que consistió en la toma de datos para obtener el área, perímetro y los respectivos mapas temáticos.

3.2.3.2.- Distribución de unidades experimentales

Para validar los trabajos de determinación de biomasa y estimación de carbono capturado por el bosque, se establecieron 09 parcelas experimentales con sus respectivas repeticiones de 10m X 25m representativas, distribuidas al azar y georreferenciadas con un sistema de posicionamiento global (GPS) en los rodales del bosque de CIP Camacani. Las cuales se establecieron en el campo plantando varillas de fierro en los cuatro vértices de cada parcela.

3.2.4.- Estimación del número de unidades de muestreo

Para el muestreo en el bosque del CIP Camacani de rodales de ciprés, eucalipto y pino; después de definir el tamaño adecuado de la unidad de muestreo, y

asumiendo que obtendremos una distribución aproximadamente normal de los datos, podemos calcular el número de unidades para el muestreo de ciprés, eucalipto y pino, que se necesita para obtener la precisión que queremos. El número de unidades de muestreo dependerá de la variación que se encuentre en los datos (el coeficiente de variación se puede calcular o estimar con datos previos tomados en campo) y el nivel de precisión o error que queremos obtener. Por ejemplo, para los estudios del stock de carbono, se considera adecuado el uso de un error de 10 a 20% (Pearson *et al.*, 2005).

El número de unidades de muestreo está dado por la fórmula:

$$n = \frac{t_{\alpha}^2 CV^2}{E^2}$$

Dónde:

n = Número de unidades de muestreo

t_{α} = Es el valor estadístico de t de Student a una probabilidad (normalmente $\alpha=0.05$)

E = Es el error deseado (porcentaje del promedio, 10-20%)

CV = Coeficiente de variación de los datos dados por:

$$CV = \frac{\text{Desviación estandar}}{\text{Promedio}} \times 100$$

3.2.5.- Evaluación de variables de trabajo

a. Rodales de Camacani

- Densidad de los rodales de ciprés, eucalipto y pino por hectárea.
- Producción de biomasa de rodales de ciprés, eucalipto y pino en Tn/ha.

b. Del carbono en biomasa

- Carbono almacenado en la biomasa de los rodales de ciprés, eucalipto y pino expresado en TnC/ha.
- Dióxido de carbono captura por la biomasa de los rodales de ciprés, eucalipto y pino expresado en TnCO₂/ha.

La metodología utilizada para la determinación de los parámetros anteriormente mencionados, se describe a continuación.

3.2.6.- Densidad de los rodales de ciprés, eucalipto y pino

Para determinar esta variable, se utilizó el método de “Conteo de plantas en parcela cuadrada” propuesto por Choque, (2015). Este método se ha venido utilizado para estimar con mayor precisión la cantidad de especies arbustivas y de especies cespitadas amacolladas de crecimiento erecto existentes por hectárea.

El procedimiento realizado se detalla a continuación:

- Se ubicó al azar tres parcelas cuadradas de 25 m² representativos dentro del CIP Camacani.
- Enseguida con cordel y varilla de fierro se delimitó los lados de cada parcela cuadrada.
- Luego, dentro de estas parcelas cuadradas, se contó el número de árboles de ciprés, eucalipto y pino.
- La densidad (D) o el número de árboles de ciprés, eucalipto y pino por parcela (m²), se calculó con la fórmula siguiente:

$$\frac{D}{m^2} = \frac{\text{suma de árboles contados de una especie}}{\text{suma del área de las parcelas cuadradas}}$$

El área promedio que ocupa el CIP Camacani (A), se calculó dividiendo la suma del área de las parcelas por la suma de ciprés, eucalipto y pino contados, con la siguiente fórmula:

$$A = \frac{\text{suma del área de las parcelas cuadradas}}{\text{suma de una planta contada}} = m^2 / \text{planta}$$

La densidad de las matas de ciprés, eucalipto y pino por hectárea (D/ha), se calculó por medio de siguiente fórmula:

$$\frac{D}{ha} = \frac{(1 \text{ planta})(10\,000m^2)}{\text{Area ocupada por cada planta}}$$

3.2.7.- Medición de Biomasa y parámetros dosimétricos de los árboles seleccionados por unidad experimental.

Para la selección de árboles a medir por unidad experimental se tomó 5 árboles por parcela las cuales se tomaron en forma de una X dentro de cada parcela de tal manera que sea representativa, es decir un árbol de cada esquina y un árbol del medio de la parcela, del cual se tomó el árbol medio en función del DAP para la determinación de la biomasa.

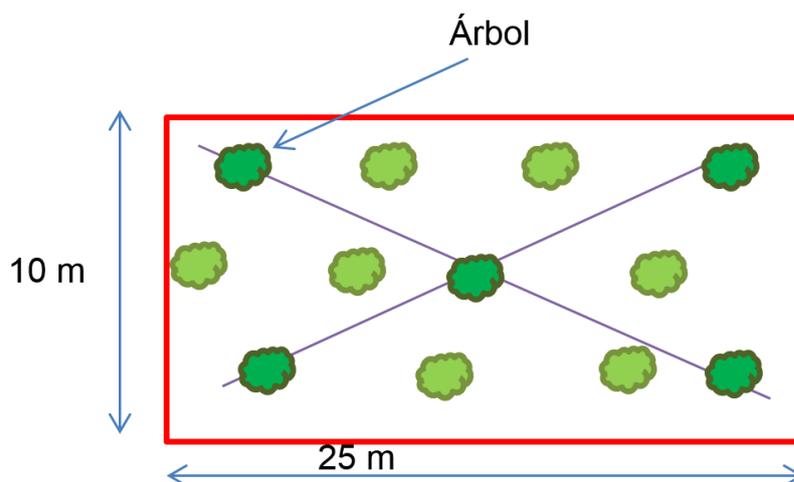


Figura 6 Distribución de árboles por unidad experimental.

a. Medición de parámetros dosimétricos

▪ Medición del DAP (Diámetro a la Altura de Pecho)

La medición del DAP se realizó utilizando una cinta métrica en la cual se midió la circunferencia de cada árbol ubicado dentro de las unidades experimentales de 10 X 25. Tomando en consideración los siguientes casos:

- ✓ Cuando los árboles tuvieron una bifurcación por debajo de 1,30 m, se registró cada uno de los diámetros.
- ✓ Cuando un árbol se encontró situado en una pendiente, el DAP se midió desde la parte superior de la pendiente.
- ✓ Cuando los árboles presentaron costillas basales por encima de una altura de 1,30 m. En este caso, el DAP se midió a 30 cm arriba del punto donde terminan las costillas.

Para la conversión del valor de la circunferencia al diámetro se utilizó la siguiente fórmula.

$$D = \frac{C}{\pi}$$

Dónde:

D: Es el Diámetro

C: Es la Circunferencia

π : Equivale a 3.1416

▪ **Medición de altura de arboles**

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

Pasos para la determinación de la altura de árboles:

Paso 1. Se tomó una distancia suficiente del árbol a ser medido (de 15 a 40 metros, dependiendo de la escala del instrumento y de la visibilidad total que se tiene de la parte superior del árbol). Para reducir errores de medición, la distancia debe ser aproximadamente equivalente a la altura del árbol a ser medido.

Pasó 2. Observación y medición del ángulo a la base del árbol con el eclímetro.

Paso 3. Observación y medición del ángulo al ápice o de la altura comercial del árbol con el eclímetro.

Paso 4. Calculo de mediciones de la altura de árbol

Para el cálculo de la altura de cada árbol se utilizó la siguiente fórmula:

$$HF = (\text{Tang. } \beta + \text{Tang. } \alpha) * D$$

Dónde:

HF = altura de fuste (m.)

Tang. β + Tang. α = tangente del ángulo en grados

D = distancia (m).

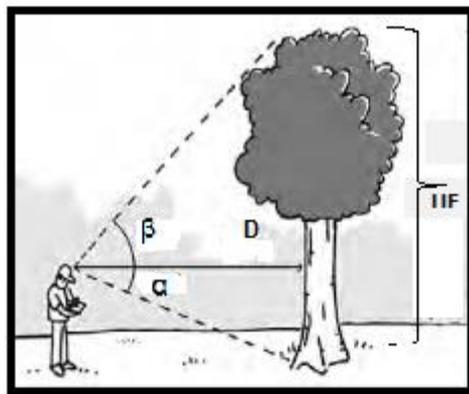


Figura 7 Medición de la Altura de Árboles

b. Medición de biomasa aérea fresca por árbol

El contenido de biomasa aérea fue estimado a través del método directo (MD) que consistió en cortar uno o más individuos (árboles), determinar la biomasa por medio del peso directo de cada uno de los componentes (fuste, ramas y hojas) y extrapolar los resultados para el área total.

El procedimiento fue lo siguiente:

- Dentro de los cuadrantes de 250 m², de los 5 árboles identificados por cuadrante se seleccionó a un árbol medio a partir del DAP.
- Cada árbol medio del cuadrante se taló a 25 cm del suelo con la ayuda de una motosierra, luego de ello se midió la longitud o altura total del árbol, DAP, diámetro de la sección mayor, diámetro de la sección menor y el número de anillos.
- Luego el árbol caído fue separado por componentes (fuste, ramas y hojas) con la ayuda de la motosierra y machetes, en el caso del fuste se seccionó en rollizos de 3,20 m.
- Se registró el peso de cada uno de los componentes (fuste, ramas y hojas) del árbol en una balanza digital Kendel de capacidad de 500 kg, en caso del fuste se pesó cada sección de 3,20m.
- Se tomó una muestra de aproximadamente 100 g. por componente (fuste, ramas y hojas) el cual se pesó y se registró en gramos; con el fin de determinar el peso seco y contenido de carbono en laboratorio.

- Cada muestra colectada se colocó en una bolsa de polietileno adecuadamente identificada.

3.2.8.- Etapa de Laboratorio

3.2.8.1.- Determinación de porcentaje de humedad

El porcentaje de humedad se estimó con las muestras en condición verde; donde se obtuvo el peso verde y luego se extrajo el agua libre o agua de capilaridad en una estufa eléctrica a 100 °C en laboratorio de control de calidad – F.I.Q., hasta alcanzar un peso constante, la muestra fue pesada nuevamente y por medio de la siguiente fórmula se obtuvo el porcentaje de humedad.

$$\% \text{Humedad} = \frac{\text{Peso Verde} - \text{Peso Seco}}{\text{Peso Verde}} * 100$$

3.2.8.2.- Porcentaje de materia seca

Para el cálculo del porcentaje de materia seca se calculó con la siguiente fórmula:

$$\% \text{MS} = \frac{\text{Peso materia Seca}}{\text{Peso materia verde}} * 100$$

3.2.8.3.- Calculo de Biomasa seca de cada uno de los componentes del árbol (Kg)

$$\text{BSc} = \frac{\text{Peso FrescoComp.} * \% \text{MS}}{100}$$

3.2.8.4.- Calculo de biomasa total del árbol en base a materia seca

$$\text{BT} = (\text{BSf} + \text{BSr} + \text{BSh})$$

Dónde:

- BT : Biomasa total en base a materia seca (Kg)
- BSf : Biomasa seca del fuste (Kg)
- BSr : Biomasa seca de las ramas (Kg)
- BSh : Biomasa seca de las hojas (Kg)

3.2.8.5.- Medición de biomasa aérea del bosque

Para la estimación de la biomasa de todo el bosque se utilizó el promedio de biomasa de los tres árboles talados en las tres unidades experimentales de 10m X 25m por especie, esta biomasa promedio se multiplicó por el número de árboles existentes por cada especie forestal en el bosque y esta se dividió entre el número de hectáreas ocupadas por la respectiva especie y entre el número de anillos promedio de los tres árboles talados que se encuentran en diferentes rodales para obtener finalmente la biomasa en unidades de Tn/ha/año.

3.2.9.- Medición de carbono almacenado en la biomasa aérea

Para obtener el porcentaje de carbono en la biomasa aérea, se utilizó el método de combustión húmeda (Walkley and Blackey). A continuación, se describe el procedimiento.

a. Método de Walkley y Black

La materia orgánica es oxidada con una mezcla de $K_2Cr_2O_7$ más H_2SO_4 . La dilución concentrada se calienta con H_2SO_4 y $K_2Cr_2O_7$ es la fuente exclusiva de calor. El exceso de $K_2Cr_2O_7$ es determinando por titulación con $FeSO_4$ o con $(NH_4Fe)_2(SO_4)_3$, en el laboratorio de control de calidad de F.I.Q. Este método proporciona una estimación fácilmente oxidable de carbono orgánico y es usado como una medida de carbono orgánico total. El porcentaje de materia orgánica es igual al porcentaje de carbono orgánico multiplicado por el factor de 1,724 porque la materia orgánica contiene el 58% de carbono (Kalra y Maynard, 1991; citado por Segura, 1997).

Preparación de la Muestras:

- Cada una de las muestras secas fue molida por un molino hasta que tenga una textura fina y homogénea.
- Estas muestras molidas fueron colocadas en bolsas herméticas bien identificadas.

Volumen del contenido de carbono orgánico

- Luego de ello se pesó aproximadamente 0,5g a 1g de muestra homogenizada en una balanza analítica de precisión de 4 decimales.
- La muestra pesada se coloca en un matraz Erlenmeyer de 500ml. Al cual se añade 10ml de solución de dicromato de potasio 1N y se mezcla con movimientos de rotación.
- Se agregó 10ml de ácido sulfúrico concentrado, agitando con movimientos de rotación. lo cual se dejó en reposo durante 1 hora aproximadamente
- Se añadió agua destilada 50ml agitando suavemente.
- A la mezcla se adiciono 4 - 5gotas de indicador complejo ferroso de orto fenantrolina.
- Al cual se titula con la solución ferrosa 0.5N hasta que cambio de color verde oscuro a rojizo
- Se anotó los ml de solución ferrosa gastada lo cual se utiliza para calcular la normalidad del sulfato ferrosa (T).
- De igual manera se hace la titulación de un blanco usando exactamente el mismo procedimiento, excepto no se utiliza la muestra. Se anota los ml de solución ferrosa gastados en la titulación del blanco (B)
- Una vez determinado los ml de la solución ferrosa por titulación
- se realizaron los siguientes cálculos:

Cálculo de porcentaje carbono orgánico total.

Los resultados se expresarán en porcentaje de carbono orgánico a partir de este calcularemos el carbono almacenado en la muestra analizada (0,5-1gramo) el carbono orgánico total se calcula asumiendo que bajo las condiciones del método hay una oxidación promedio del 75 %.

Para llevar el % de materia orgánica, se considera que la materia orgánica contiene, en promedio, un 58% de carbono, de manera que se multiplica el porcentaje de carbono por el factor 1,724 se obtiene el % de materia orgánica en la muestra. Es decir, $100/58 = 1,724$

Por vía titulación.

$$\% C = \frac{(V_b - V_m) * N * F * 0.39}{p}$$

% C = porcentaje de carbono orgánico

V_b = volumen de sulfato ferroso gastados en la valoración del blanco

V_m = volumen de Sulfato ferroso gastados en la valoración de la muestra.

N_2 = normalidad del $FeSO_4$

F = factor de corrección de la normalidad de sulfato ferroso

P = peso de la muestra.

Como se expresa los valores en % de materia orgánica:

$$\% M. O. = \%C * 1.724$$

Forma de expresión de resultados.

Los resultados se expresan en % de materia orgánica con dos cifras decimales.

b. Estimación de carbono en la biomasa

Para estimar el contenido de carbono en la biomasa se realizó utilizando la siguiente formula:

$$C = BSc * \%C$$

Dónde:

C = Contenido de Carbono (Tn de C/ha)

BSc = Biomasa seca (Tn/ha)

%C = Porcentaje de carbón orgánico (%)

3.2.10.- Cuantificación de dióxido de carbono (CO₂) capturado

Con los datos obtenidos en el cálculo de carbono, (Eduarte y Segura, 1998; utilizado por Ttimp, 2012 y Ticon, 2012), se estimó la captura de dióxido de carbono (CO₂) del bosque del CIP-Camacani para lo cual se utilizó la siguiente formula:

$$CO_2 = C * Kr$$

Dónde:

CO₂ : Toneladas de dióxido de carbono

C : Carbono (Tn de C/ha)

Kr : Factor de conversión de C a CO₂ (44/12)

- La muestra expresada en Tn de C/ha de cada componente del bosque del CIP-Camacani se multiplica por el factor de conversión de carbono a dióxido de carbono por (44/12) y se obtuvo el contenido en Tn de C/ha.
- La captura de dióxido de carbono (Tn de CO₂/ha) del bosque del CIP-Camacani, se obtendrá sumando las capturas de dióxido de carbono de las hojas más tallos y raíces.

Cantidad total de CO₂ capturado

Para el cálculo de CO₂ capturado los arboles del bosque del CIP-Camacani, se realizó lo siguiente:

- Se estimó el área total de que ocupa los arboles del bosque del CIP-Camacani, utilizando imágenes LANDSAT del presente año, donde se excluyó las áreas de cultivo, áreas en descanso, entre otros.
- El área estimada se multiplicó por la captura de dióxido de carbono promedio (Tn de CO₂/ha) de cada componente del bosque del CIP-Camacani.
- La captura de dióxido de carbono total (Tn de CO₂) del bosque del CIP-Camacani, se obtuvo sumando las capturas de dióxido de carbono total de la hoja, tallo y raíces.

3.2.11.- Diseño experimental y estadística

Para analizar los datos de producción de biomasa y carbono capturado en las tres especies forestales en estudio, se utilizó el diseño completamente al azar (DCA), con 3 tratamientos y 3 repeticiones, cuyo esquema del análisis de varianza y modelo aditivo lineal se presenta a continuación:

Cuadro 4 ANVA: (Biomasa entre especies)

F. DE V	DEFINICIÓN	G.L
Especies	t-1	2
Error Experimental	t(r-1)	6
Total Correcto	tr-1	8

Cuadro 5 ANVA: (Biomasa entre componentes por especie)

F. DE V	DEFINICIÓN	G.L
Especie (A)	a-1	2
Componentes (B)	b-1	2
A x B	(a-1)(b-1)	4
Error Experimental	ab(r-1)	18
Total Correcto	abr-1	26

Cuadro 6 ANVA: (Captura de Carbono entre especies)

F. DE V	DEFINICIÓN	G.L
Especies	t-1	2
Error Experimental	t(r-1)	6
Total Correcto	tr-1	8

El modelo lineal aditivo es el siguiente:

$$Y_{ij}=u+A_i+e_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = variable de respuesta

u = media poblacional

A_i = efecto de tratamiento sobre medio experimental

Dónde: $i=1,2,\dots,\dots,\dots, t.$

e_{ij} = efecto del error experimental

Dónde: $j= 1,2,\dots,\dots,\dots, r$

3.2.12.- Elaboración del mapa de distribución de unidades experimentales

La distribución de unidades experimentales se realizó sobre los rodales ya identificados en el mapa forestal donde se ubicaron al cazar parcelas o cuadrantes de 10 X 25 m, lo cual se hizo con ayuda de un GPS y se utilizó información existente de algunas investigaciones, la información de número de árboles por cuadrante, mediciones biométricas de los arboles seleccionados por cuadrante, la biomasa del árbol medio y carbono capturado por el árbol medio dentro de cada parcela o cuadrante.

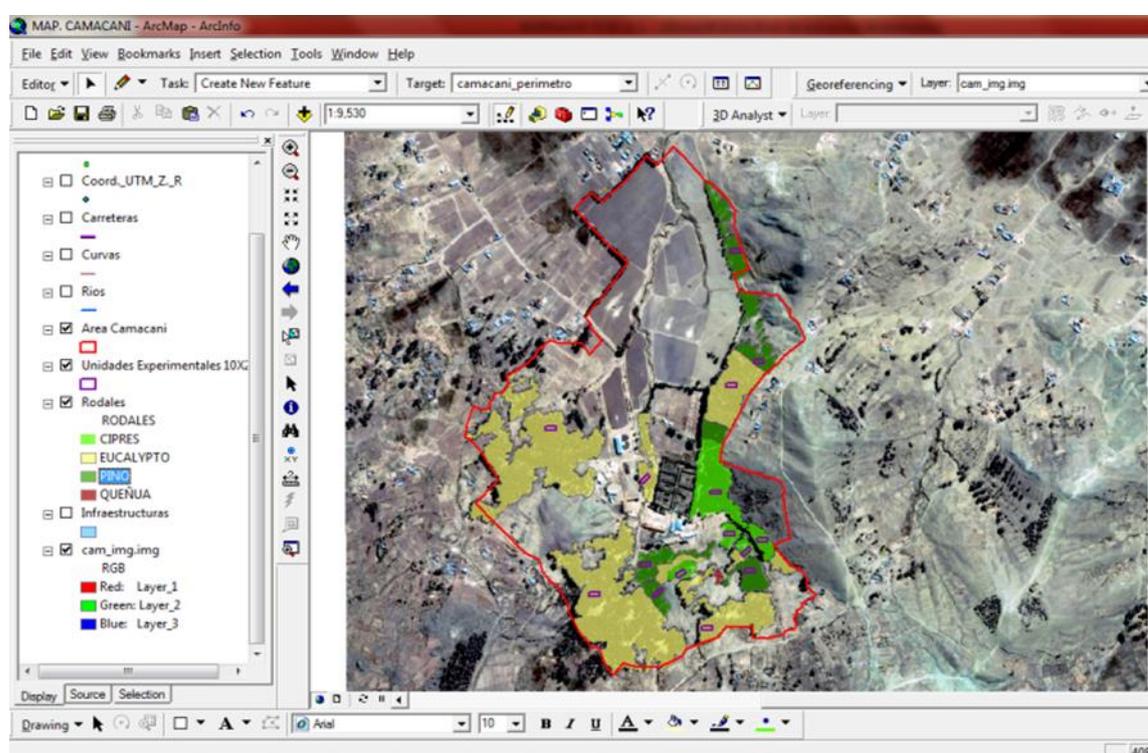


Figura 8 Mapa de distribución de unidades experimentales

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1.- CONTENIDO DE CARBONO POR ESPECIE EN LA BIOMASA AÉREA DEL BOSQUE DEL CIP- CAMACANI

Analizando el contenido de carbono total por especie en la biomasa aérea del bosque del CIP-Camacani según el cuadro 7 nos muestra que la especie con mayor captura de carbono es el Eucalipto con 1 260,55 Tn de carbono seguido por el Pino con 489,48 Tn de carbono y por último el Ciprés con 320,25 Tn de carbono. Estos resultados se atribuyen por que el eucalipto es la especie que ocupa la mayor parte del área del bosque con 73,16 % seguido por el Pino con un área que representa el 15,45 % y por último el Ciprés con solo el 11,39 %.

Cuadro 7 Resultados de contenido de carbono en la biomasa seca aérea de las tres especies forestales del bosque del CIP – Camacani.

CONTENIDO DE CARBONO EN LA BIOMASA DE LAS TRES ESPECIES FORESTALES									
Especie	Código Inv.	N° Anillos /árbol	Biomasa Aérea/Árbol (Kg.)	N° Arboles/ Esp.	C/Árbol (Kg)	C Total (Tn)	C (Tn/ha)	C (Tn/ha/año)	% C/ Especie
Ciprés	C 689	42	445.54	1583	339.92	320.25	139.64	3.88	15.47
Ciprés	C 774	49	366.67		214.68				
Ciprés	C580	18	84.62		52.33				
Promedio		36	289.94		202.31				
Eucalipto	E 1454	45	1832.76	2000	956.46	1260.55	85.95	2.12	60.89
Eucalipto	E 2340	42	1231.97		648.51				
Eucalipto	E 3197	38	553.01		285.85				
Promedio		41	1205.91		630.27				
Pino	P 1310	40	872.84	1788	469.18	489.48	157.32	5.24	23.64
Pino	P 1508	30	455.15		266.72				
Pino	P 572	20	141.58		85.37				
Promedio		30	486.52		273.76				
TOTAL				5371		2070.28		11.22	100.00

Sin embargo, podemos indicar que, de una misma cantidad de biomasa para las tres especies, la especie que captura o fija mayor cantidad de carbono es el pino seguido por el ciprés y por último el eucalipto.

Por otro lado, podemos indicar que la captura de carbono por especie en el bosque del CIP-Camacani en Tn/ha/año lo lidera el Pino con 5.24 Tn/ha/año seguido por el Ciprés con 3.88 Tn/ha/año y por último el Eucalipto con 2.10 Tn/ha/año.

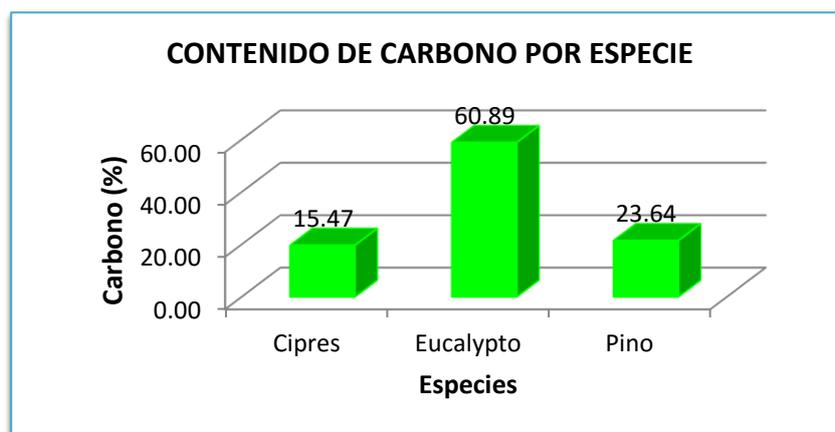


Figura 9 Resultados de contenido de carbono en la biomasa aérea de las tres especies forestales del bosque del CIP - Camacani.

Por otra parte, Gamarra J. (2001), al realizar estudio de la cantidad de carbono almacenado y captado en el bosque de *Eucalyptus globulus* Labill de la comunidad campesina de Huahuas en Junín, en la biomasa por arriba del suelo encontró 73,03 Tn de C/ha.

Comparando estos resultados con los encontrados en el presente trabajo de investigación para el caso de *Eucalyptus globulus* Labill vemos que la captura de carbono es de 85,95 Tn de C/ha. Esta diferencia podemos indicar que es atribuida debido a las condiciones ambientales, temperatura, precipitación, altitud, edad de los árboles y manejos silviculturales que cada bosque posee.

Por otro lado, CORMA, (2005) según los resultados del Proyecto FONDEF D98I1076 UACH – INFOR “Captura de carbono en ecosistemas forestales” determino la captura de carbono para *Eucalyptus globulus* y *Pinus radiata* de la siguiente manera:

Cuadro 8 Proporción de carbono orgánico en la biomasa del árbol, determinado por método colorimétrico

Pino radiata (13 árboles)			Eucalipto globulus (17 árboles)		
	Carbono (%)	DS		Carbono (%)	DS
Fuste (46)	45,36	1,4	Fuste (66)	42,62	2,1
Ramas (39)	45,15	2,7	Ramas (51)	41,70	2,8
Hojas (39)	45,04	3,5	Hojas (51)	48,33	3,2
Corteza (31)	45,50	2,7	Corteza (66)	39,25	2,4
Raíces (22)	44,98	1,21	Raíces (23)	43,84	3,1
Promedio ponderado (177)	45,25		Promedio ponderado (257)	42,71	

() número de muestras
DS: Desviación Estándar

Fuente: CORMA-GAEF 2005 (Corporación Chilena de la Madera- *Gestión Ambiental Empresas Forestales*)

Comparando estos resultados con los encontrados en la presente investigación notamos que la fracción de carbono en los componentes fuste, ramas y hojas en *Eucalyptus globulus* y *Pinus radiata* son similares a los encontrados en la presente investigación en donde el Pino tiene la mayor fracción de carbono que el eucalipto.

➤ **Contenido de carbono por rodales en la biomasa aérea del bosque del CIP-Camacani.**

De acuerdo al cuadro 9 podemos ver que uno de los rodales con mayor captura de carbono es del eucalipto con 505,25 Tn de C y en los demás rodales la captura de carbono es variable, esto se debe fundamentalmente a la variación de producción de biomasa por rodal y esto a su vez depende del área que ocupan cada uno de los rodales, donde a mayor área, también hay mayor número de árboles y por consiguiente hay mayor producción de biomasa por rodal y por ende existe mayor captura de carbono por rodal.

Cuadro 9 Resultados de contenido de carbono en la biomasa aérea por rodal en las tres especies forestales del bosque del CIP – Camacani

CONTENIDO DE CARBONO EN LA BIOMASA SECA AEREA POR RODAL EN LAS TRES ESPECIES FORESTALES									
N°	RODALES	COORD. X	COORD. Y	AREA (Has)	% Area	Biomasa seca (Tn)	% Biomasa.	C (Tn)	% C
1	CIPRES	408314	8235970	1.44	7.18	481.62	10.79	293.88	12.36
2	CIPRES	408353	8235848	0.21	1.02	68.55	1.54	41.83	1.76
3	CIPRES	408242	8235760	0.22	1.09	73.16	1.64	44.64	1.88
4	CIPRES	408431	8235833	0.29	1.43	95.96	2.15	58.55	2.46
5	CIPRES	408390	8235817	0.14	0.70	46.67	1.05	28.48	1.20
6	EUCALYPTO	408358	8236206	1.44	7.20	275.30	6.17	137.90	5.80
7	EUCALYPTO	408366	8235650	1.40	6.96	266.36	5.97	133.42	5.61
8	EUCALYPTO	408263	8235719	0.30	1.47	56.21	1.26	28.16	1.18
9	EUCALYPTO	408083	8235677	5.32	26.50	1013.37	22.70	507.61	21.35
10	EUCALYPTO	407892	8236034	4.49	22.39	856.49	19.18	429.02	18.04
11	EUCALYPTO	408158	8236034	0.62	3.10	118.61	2.66	59.41	2.50
12	EUCALYPTO	408221	8235771	0.28	1.38	52.72	1.18	26.41	1.11
13	EUCALYPTO	408475	8235776	0.19	0.95	36.50	0.82	18.29	0.77
14	EUCALYPTO	408369	8235790	0.10	0.52	19.73	0.44	9.88	0.42
15	EUCALYPTO	407857	8236243	0.52	2.60	99.34	2.23	49.76	2.09
16	PINO	408329	8236648	0.33	1.64	95.51	2.14	53.94	2.27
17	PINO	408367	8236530	0.40	2.01	117.02	2.62	66.08	2.78
18	PINO	408399	8236414	0.25	1.27	73.80	1.65	41.68	1.75
19	PINO	408423	8236301	0.48	2.39	139.31	3.12	78.67	3.31
20	PINO	408193	8235785	0.61	3.02	175.99	3.94	99.39	4.18
21	PINO	408315	8236103	0.26	1.30	75.66	1.69	42.73	1.80
22	PINO	408395	8235747	0.49	2.42	141.27	3.16	79.78	3.36
23	PINO	408181	8235699	0.29	1.46	85.26	1.91	48.151	2.03
	TOTAL			20.07	100.00	4464.42	100.00	2377.7	100.00

4.2.- PRODUCCIÓN DE BIOMASA AÉREA EN LAS TRES ESPECIES FORESTALES EN EL BOSQUE DEL CIP-CAMACANI.

La producción de biomasa aérea total en el bosque del CIP-Camacani del ciprés (*Cupressus macrocarpa*), eucalipto (*Eucalyptus globulus*) y pino (*Pinus radiata*) fue de 473,22 Tn, 2 411,82Tn y 869.90 Tn respectivamente. Mientras que la producción de biomasa aérea por hectárea por año fue 5,73, 4,01 y 9,32Tn/ha/año respectivamente.

Cuadro 10 Producción de Biomasa aérea en las tres especies forestales del bosque del CIP-Camacani

PRODUCCION DE BIOMASA EN EI CIPRES, EUCALYPTO Y PINO								
Especie	Código Unid. Exp.	Código Inv.	N° Anillos /Árbol	Biomasa Aérea/Árbol (Kg.)	N° Árboles/ Esp.	Biomasa total (Tn)	Biomasa Tn/ha/año	% Biom./E sp.
Ciprés	1C 01	C 689	42	445.54	1583	473.22	5.73	12.60
Ciprés	3C 03	C 774	49	366.67				
Ciprés	2C 02	C 580	18	84.62				
Promedio			36	289.94				
eucalipto	2E 05	E 1454	45	1832.76	2000	2411.82	4.01	64.23
eucalipto	1E 04	E 2340	42	1231.97				
eucalipto	3E 06	E 3197	38	553.01				
Promedio			41	1205.91				
Pino	3 P09	P 1310	40	872.84	1788	869.90	9.32	23.17
Pino	1P 07	P 1508	30	455.15				
Pino	2P 08	P 572	20	141.58				
Promedio			30	486.52				
TOTAL					5371	3754.94	19.06	100.00

De Acuerdo a la Figura 10, notamos que la especie con mayor producción de biomasa seca aérea en el bosque del CIP-Camacani es el eucalipto (*Eucalyptus globulus*) seguido por el pino (*Pinus radiata*) y en el último ciprés (*Cupressus macrocarpa*). Esto debido a que la especie *Eucalyptus glubulus* ocupa la mayor extensión del área del bosque, seguido por *Pinus radiata* y por último por *Cupressus macrocarpa*.

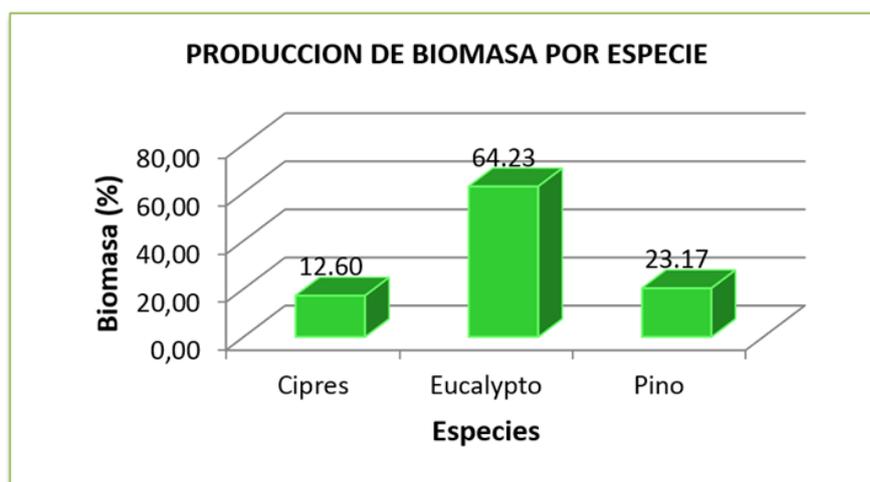


Figura 10 Producción de Biomasa aérea por especie en el bosque del CIP - Camacani.

Por otro lado, Barcelo, et al (1995), indica que los carbohidratos constituyen la principal fuente de reservas de energía en Latifoliadas y coníferas, las cuales se almacenan en el fuste cuando la tasa de producción fotosintética excede la tasa de uso de estos compuestos. Por lo que esto explicaría la mayor producción de biomasa en el fuste en las tres especies.

➤ **Producción de biomasa por rodales**

De acuerdo a los resultados que muestra el cuadro 6 podemos indicar que el bosque del CIP-Camacani está conformado por 5 rodales de ciprés, 10 rodales de eucalipto y 8 rodales de pino las cuales están debidamente geo referenciados, además podemos ver que uno de los rodales con mayor producción de biomasa es del eucalipto con 1 013,37 Tn y en los demás rodales la producción de biomasa es variable, esto se debe fundamentalmente a que el área que ocupan cada uno de los rodales es diferente, donde a mayor área también hay mayor número de árboles y por ende mayor producción de biomasa.

4.3.- DETERMINACIÓN DE LAS DIFERENCIAS ESTADÍSTICAS EN CANTIDADES DE CARBONO CAPTURADO EN EUCALIPTOS, CIPRÉS Y PINO

En el cuadro 8, se observa que las especies estudiadas tienen una diferencia estadística altamente significativa, debido a que a la $F_c=7,64$ supera a la F_t al 0,05 (3,89) y F_t al 0,01 (6,93), lo cual nos indica que las especies evaluados, al menos uno es diferente en peso de biomasa, debido a la composición de la biomasa por especie. Por otro lado, el coeficiente de variación igual a 53.00% nos indica que los datos están muy dispersos por especie evaluada.

se observó que los árboles de eucalipto presentaron mayor altura (mayor desarrollo fisiológico) y también de acuerdo a los resultados de materia seca, el eucalipto presenta mayor porcentaje de materia seca a comparación del Ciprés y Pino.

Cuadro 11 Análisis de varianza para peso de biomasa por especie evaluada

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Fc	Ft 0.05	Ft 0.01	Sig.
Especies	2	2716996.552	1358498.276	7.64	3.89	6.93	**
Error experimental	12	2133602.440	177800.203				
Total correcto	14	4850598.993					

CV=53.00%

En el cuadro 9, se observa que para factor especie (A), se observa una diferencia estadística altamente significativa, debido a que a la $F_c=9,76$ supera a la F_t al 0,05 (3,26) y F_t al 0,01 (5,29), lo cual nos indica que, entre las especies evaluadas, al menos uno es diferente en peso de biomasa. Debido a que a la $F_c=7,47$ supera a la F_t al 0,05 (2,63) y F_t al 0,01 (3,89), lo cual nos indica que ambos factores actúan de forma dependiente uno del otro sobre peso de biomasa. Por otro lado, el coeficiente de variación igual a 81,22%, nos indica que los datos evaluados son muy dispersos por cada evaluación de peso de biomasa por componente por especie.

Cuadro 12 Análisis de varianza para peso de biomasa por componente por especie evaluada.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Fc	Ft 0.05	Ft 0.01	Sig.
Especie (A)	2	905665.517	452832.759	9.76	3.26	5.29	**
Componente (B)	2	3091785.762	1545892.881	33.33	3.26	5.29	**
A x B	4	1385722.745	346430.686	7.47	2.63	3.89	**
Error	36	1669941.228	46387.256				
Total correcto	44	7053115.253					

CV= 81.22%

4.4.- CAPTURA DE DIÓXIDO DE CARBONO EN LA BIOMASA AÉREA DEL BOSQUE DEL CIP-CAMACANI.

La captura de dióxido de carbono en la biomasa aérea del bosque del CIP-Camacani según el cuadro 12, se observa:

Cuadro 13 Captura de dióxido de carbono en las tres especies forestales del bosque del CIP - Camacani.

CAPTURA DE DIOXIDO DE CARBONO POR ESPECIES						
Especies	Contenido de carbono/especie (tn)	Contenido de carbono (tn/ha/año)	Factor	CO ₂ (tn)	CO ₂ (tn/ha/año)	% CO ₂
Ciprés	320,25	3,88	3,67	1174,26	14,22	15,47
Eucalipto	1260,55	2,10	3,67	4622,01	7,69	60,89
Pino	489,48	5,24	3,67	1794,74	19,23	23,64
TOTAL	2070,28	11,22		7591,02	41,14	100,00

Analizando la captura de CO₂ se tiene que el eucalipto es el componente eucalipto ha capturado el 60,89 %, seguido del pino con 23,64 % y por último el ciprés con 15,47 %.

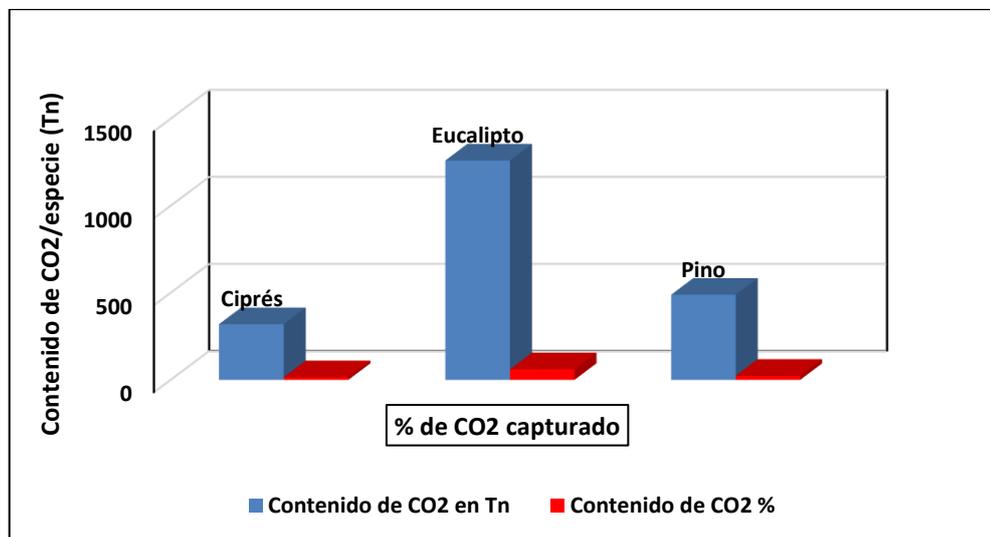


Figura 11 Captura de dióxido de carbono (CO₂) en la biomasa del CIP Camacani

CONCLUSIONES

- La especie que tiene mayor contenido de carbono en la biomasa seca aérea de las tres especies forestales del bosque del CIP – Camacani fue el Pino con 489,48 Tn y 23,64 %, mientras que el Eucalipto 1 260,55 Tn y 60,89 %, siendo el Ciprés con 320,25 Tn y 15,47 % la especie de menor contenido de carbono.

Mientras que el contenido de carbono por rodales en la biomasa aérea del bosque del CIP-Camacani el eucalipto tiene 507,61 Tn de Carbono, en los demás rodales la captura de carbono es variable, esto se debe fundamentalmente a la variación de producción de biomasa por rodal y esto a su vez depende del área que ocupan cada uno de los rodales, por lo que existe mayor captura de carbono por rodal.

- La producción de biomasa aérea total en el bosque del CIP-Camacani del ciprés (*Cupressus macrocarpa*), eucalipto (*Eucalyptus globulus*) y pino (*Pinus radiata*) fue de 473,22 Tn; 2 411,82Tn y 869,90 Tn respectivamente. Mientras que la producción de biomasa aérea por hectárea por año fue 5,73; 4,01 y 9,32Tn/ha/año respectivamente.

La Producción de biomasa por rodales del bosque del CIP-Camacani está conformado por 5 rodales de ciprés, 10 rodales de eucalipto y 8 rodales de pino las cuales están debidamente geo referenciados, además podemos ver que uno de los rodales con mayor producción de biomasa es del eucalipto con 1 013.37 Tn y en los demás rodales la producción de biomasa es variable.

- Las diferencias estadísticas en cantidades de carbono capturado en eucaliptos, ciprés y pino de las especies estudiadas tienen una diferencia estadística altamente significativa, debido a que a la $F_c=7.64$ supera a la F_t al 0.05 (3.89) y F_t al 0.01 (6.93), lo cual nos indica que las especies evaluados, al menos uno es diferente en peso de biomasa, debido a la composición de la biomasa por especie. Por otro lado, el coeficiente de variación igual a 53.00% nos indica que los datos están muy dispersos por especie evaluada.

- En cuanto a la captura de dióxido de carbono en la biomasa aérea del bosque del CIP-Camacani, la mayor fue del eucalipto con 4 622,01 Tn/ha/año y 60,89 %, luego el pino con 1 794,74 y 23,64 % y finalmente el ciprés con una captura de 1 174,26 y 15,57 %.

RECOMENDACIONES

- Realizar estudios de captura de CO₂ en otras especies nativas propias del altiplano de Puno, como medio de preservación y conservación para ofertar un aire más limpio y puro de oxígeno.
- Se recomienda que investigaciones como la que se presenta en este trabajo se realicen en los bosques de la selva puneña y la selva peruana, buscando no solo la viabilidad económica a través de la captura de carbono, sino también como un medio de preservación y conservación del medio ambiente ya que los bosques secuestran el dióxido de carbono que es uno de los gases de efecto invernadero.
- Se sugiere que se realice la renovación del bosque del CIP-Camacani con plantaciones de Pino y Ciprés, debido a que se encuentra en estado vejez en donde el incremento de biomasa es mínima y por ende la fijación de carbono es mínima.

BIBLIOGRAFIA

- Álvarez, S. 2009. Optimización de la Planificación Forestal Considerando la Captura de Carbono en Bosque de Pino-Encino de la sierra Juárez, Oaxaca (México). 232 pp.
- Arias, K. 2001. Almacenamiento de carbono por *Gliricidia sepium* en sistemas agroforestales de Yaracuy Venezuela. Universidad Central de Venezuela. Instituto Universitario de Tecnología de Yaracuy San Felipe. Venezuela. 100pp.
- Barcelo, J., Nicolás G., Sabaster B., y Sánchez R., 1995. Fisiología Vegetal, Ciencia y Técnica. Editorial Pirámide, S.A., Madrid España. 566pp.
- Cervantes, E. 2012. Zonificación y análisis de la potencialidad agrícola y forestal de las tierras del CIP-Camacani para su ordenamiento territorial. Tesis de Pre grado UNA-Puno-Perú. 100pp.
- Ciesla, W. 1996. Cambio climático bosques y ordenación forestal: Una visión de conjunto. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Roma, Italia. 85pp.
- CMNUCC (Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático). 1992. (en línea). Disponible en: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>.
- CONAM 2002. Estrategia Nacional del Cambio Climático. Versión N° 8.
- CORMA-GAEF 2005 (Corporación Chilena de la Madera- Gestión Ambiental Empresas Forestales); Resultados Proyecto FONDEF D98I1076 UACH – INFOR “Captura de carbono en ecosistemas forestales”. 35 pp.
- Cubero, J. y Rojas, S. 1999. Fijación de carbono en plantaciones de melina (*Gmelina arborea* Roxb.), teca (*Tectona grandis* L.) y pochote (*Bombacopsis quinata* Jacq.) en los cantones de Hojancha y Nicoya, Guanacaste, Costa Rica. 86 pp.
- Choque, J. 2015. Manual de Inventario y Evaluación de Pastizales Naturales y Praderas. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Altiplano. Puno. Perú. 334 p.
- Durand, L. 2005. Evaluación de la producción y productividad en biomasa aérea de boldo (*Peumus boldus* Mol.) en un bosque esclerófilo de la

- comuna de María Pinto, provincia de Melipilla, región metropolitana. Tesis ingeniero forestal en la Facultad de Ciencias Forestales de la Escuela de Ciencias Forestales. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 16-18 pp.
- Eduarte, E.; Segura, M. 1998. Determinación de Carbono Utilizando la calorimetría. Ciencias Ambientales. UNA. Turrialba, Costa Rica.120pp.
 - Estrada M. 2003. Consideraciones sobre el Mecanismo de Desarrollo Limpio en México. Dirección de Cambio Climático. SEMAR-NAT.19pp.
 - Flores A. 2017 tesis “captura de dióxido de carbono (CO₂) en la chillihua” (*festuca dolichophylla* presl) de los pastizales del CIP Illpa-Puno” de Universidad Nacional del Altiplano. Tesis de pre Grado. Puno -Perú.
 - FONAM 2008. Proyecto de Fortalecimiento de Capacidades para el Desarrollo de Nuevos Proyectos MDL en el Perú. 21pp.
 - Gamarra, J. 2001. Estimación del contenido de carbono en plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill, en Junín, Perú. 20 pp.
 - Geng, J. 2006. Estudio sobre bonos de carbono para la línea de transmisión San Gabán Puerto Maldonado. Informe preparado por encargo de Electro Sur Este S.A.A. en Puerto Maldonado, Perú.64 pp.
 - Hidalgo, P. 2003. Determinación de las reservas totales de carbono en plantaciones forestales de *Eucalyptus globulus* Labill. en Marcará – Carhuaz, 2003. Universidad Nacional Santiago Antuñez de Mayolo. Tesis de post Grado. Huaraz-Perú.50 pp.
 - Huanacuni y Maquera (2013), en la tesis de “Estimación de carbono capturado en los rodales de tres especies forestales en el bosque de CIP-Camacani” Universidad nacional del altiplano puno. Tesis de pre Grado. Puno-Perú.
 - ICRAF 2003 (Centro Internacional de Agroforesteria) / CODESOL (Comunidad de Desarrolladores de Software con Orientación Libre).. Manual de Determinación de las reservas totales de carbono en los diferentes sistemas de Uso de la Tierra en Perú. Lima. Perú. 4-7 p.

- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático), 2007. Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de Trabajo I, II, III al cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R. K. y Resinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 pp.
- Kalra, P. y Maynard, G. 1991. Methods Manual for Forest soil and plant analysis. (en línea). Consultado el 25 de noviembre 2016. Disponible en: http://web.unbc.ca/~arocenj/lab/kalra_maynard.pdf
- Lagos, O. y Vanegas S. 2003. Impacto del Aprovechamiento Forestal en la Biomasa y Carbono de Bosques Naturales de Nueva Quezada, Rio San Juan, Managua, Nicaragua. 120 pp.
- Lapeyre T, Alegre J y L. Arevalo. 2004. Determinación de las reservas de carbono de la biomasa aérea en diferentes sistemas de uso de la tierra en San Martín, Perú. Redalyc: 35-44. Universidad Agraria la Molina Lima - Peru.
- Moldes Teo, 1995. Tecnología de los Sistemas de Información Geográfica, Madrid-España, Ediciones RA-MA. 45pp.
- Mogas, J. y P. Riera. 2004. El valor de la fijación de carbono en los programas de reforestación. Ponencia para el II Simposio Iberoamericano de Gestión y Economía Forestal. Barcelona. 65pp.
- Montoya, L Soto, B de Jong, K. Nelson 1995. Desarrollo forestal sustentable. Captura de carbono en las zonas Tzeltal y tojolabal. Instituto Nacional de Ecología. Estado de Chiapas.
- Navarro, M. 2011. Determinación de la fracción de carbono y peso específico básico de cuatro especies forestales en diferentes estadios sucesionales del Corredor Biológico Osa, Costa Rica. 75 pp.
- Ortiz, R. 1997. Costa Rica Secondary Forest: An Economic Option For Joint Implementation initiatives to reduce Atmospheric CO₂. Draft paper presented for inclusion in the Beijer Seminar In Punta Leona. Costa Rica. 19 pp.

- Palomino, D. 2007. Estimación del servicio ambiental de captura del CO₂ en la flora de Los Humedales de Puerto Viejo. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Tesis de Post Grado. Lima. Perú. 154 pp.
- Pérez, V 1983. Tesis de grado sobre un estudio de densidad promedio de plantaciones de *Pinus Radiata* y *Eucalyptus Globulus*. en Chile. Proyecto CONAF/FAO/PNUD Documento de Trabajo, Santiago, Chile.47pp.
- Pearson, T., Walker, S. & Brown, S. 2005. Sourcebook for Land Use, Land-Use Change and Forestry Projects. Biocarbon Fund. Winrock International.
- Prado, J.; Barros, S. 1989. Eucalyptus, principios de silvicultura y manejo. INFOR/CORFO. Santiago, Chile. 199 p.
- Quispe V. J, 2002. Curso de Sistemas de Información Geográfica, UNMSM-Lima-Perú.50pp.
- Reynel, C. 1988. Plantas para leña en el Sur-occidente de Puno. Proyecto ARBOL ANDINO. Puno Perú. 23-30 pp.
- Romero L. 1978, Evaluación de plantaciones puras de *Eucalyptus globulus* Labill, *Pinus radiata* Don y *Cupressus macrocarpa* Hartw en el Bosque del Centro Experimental Camacani de la UNA-PUNO-Perú. Tesis Presentada para optar el Título de Ingeniero Agrónomo. De la Universidad Nacional del Altiplano-Puno. Perú.38pp.
- Schlegel, B.; Gayoso, J.; y Guerra, J. 2000. Manual de Procedimientos Muestreo de Biomasa Forestal, Universidad Austral de Chile. Proyecto FONDEF. Chile. 25 pp.
- Segura, M. 1997. Almacenamiento y Fijación de Carbono en *Quercus Costarricensis* en un bosque de altura en la cordillera de Talamanca, Costa Rica. Tesis de Licenciatura en Ciencias Forestales, Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar. Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica. 55 pp.
- Simbaña, N. 2011. Estimación de la Captura de carbono en las Plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill. Universidad Nacional Agraria la Molina. Tesis de Post Grado. Lima. Perú.48pp.

- Ticona, R. 2012. Captura de Carbono (CO₂) por la vegetación arbustiva Añahuaya (*Adesmia miraflorensis* Remy) CIP ILLPA-Puno, Universidad Nacional del Altiplano. Tesis de Pre grado. Puno-Perú. 86pp.
- Ttimpo, E. 2012. Estimación de la captura de dióxido de carbono (CO₂) en totorales de la reserva nacional del Titicaca-Puno. UNALM. Tesis de post Grado. Lima Perú.95pp.
- Vaquera. H. 2007. Almacenamiento de carbono en la biomasa aérea de una plantación joven de *Pinus Greggii* Engelm. Redalyc Revista Fitotecnia. Chapingo México.35pp.
- Vargas, P. 2009. El Cambio Climático y sus Efectos en el Perú. 58 pp.
- Zamora, J. 2003. Estimación del Contenido de Carbono en Biomasa Aérea en el Bosque de Pino del Ejido “La Majada” Municipio de Periban de Ramos, Michoacán. 59 pp.
- ZEE-OT Puno. 2011. Proyecto: Fortalecimiento de Capacidades para el Ordenamiento Territorial de la Región Puno. Informe Técnico de Macrozonificación de la Región Puno. 83 p.

ANEXOS

ANEXO 1: DATA DE LOS ARBOLES EVALUADOS EN LAS TRES ESPECIES FORESTALES

ANEXO 2: PRODUCCION DE MATERIA VERDE DE LOS ARBOLES TALADOS EN LAS TRES ESPECIES FORESTALES

ANEXO 3: PRODUCCION DE MATERIA SECA DE LOS ARBOLES TALADOS EN LAS TRES ESPECIES FORESTALES.

ANEXO 4: DATA DE LOS ÁRBOLES TALADOS.

ANEXO 5: EXPLICACION DE ALGUNAS FORMULAS UTILIZADAS EN LA PRESENTE INVESTIGACION

ANEXO 6: MÉTODO ANALÍTICO PROPUESTO POR WALKLEY Y BLACK

ANEXO 7: RESULTADOS DEL ANALISIS DE LAS MUESTRAS

ANEXO 8: CERTIFICADO DE ANALISIS

ANEXO 1: DATA DE LOS ARBOLES EVALUADOS EN LAS TRES ESPECIES FORESTALES

Nº	COORD. X	COORD. Y	Z (m)	Clave U.E.	Código Inventario.	Especie	DAP (cm)	Altura Tot. (m)	Altura Com. (m)
1	408313	823595	3891	4C 04	351.01.02 C1179	CIPRES	41.38	14.23	11.93
2	408314	823595	3891	4C 04	351.01.02 C1199	CIPRES	41.38	19.2	10.5
3	408322	823595	3891	4C 04	351.01.02 C1198	CIPRES	25.46	16.66	11.3
4	408330	823595	3895	4C 04	351.01.02 C887	CIPRES	23.87	16.37	11.51
5	408329	823595	3893	4C 04	351.01.02 C891	CIPRES	35.33	19.91	14.49
6	408345	823585	3906	1C 01	351.01.02 C692	CIPRES	60.48	17.26	13.04
7	408346	823584	3907	1C 01	351.01.02 C687	CIPRES	64.3	14.49	11.3
8	408354	823585	3907	1C 01	351.01.02 C681	CIPRES	26.1	7.98	7.98
9	408358	823585	3906	1C 01	351.01.02 C689	CIPRES	41.38	14.49	12.15
10	408361	823584	3908	1C 01	351.01.02 C680	CIPRES	28.33	8.31	6.68
11	408383	823580	3920	5C 05	351.01.02 C646	CIPRES	46.15	20.65	17.26
12	408387	823580	3919	5C 05	351.01.02 C654	CIPRES	52.52	17.26	13.04
13	408393	823580	3920	5C 05	351.01.02 C649	CIPRES	33.74	11.92	10.72
14	408398	823581	3918	5C 05	351.01.02 C653	CIPRES	65.25	15.4	9.33
15	408400	823581	3919	5C 05	351.01.02 C651	CIPRES	46.15	24.01	12.59
16	408440	823583	3927	3C 03	351.01.02 C747	CIPRES	38.2	21.42	12.59
17	408443	823583	3930	3C 03	351.01.02 C743	CIPRES	22.28	8.1	3.44
18	408431	823583	3925	3C 03	351.01.02 C761	CIPRES	28.65	13.76	7.81
19	408423	823583	3923	3C 03	351.01.02 C770	CIPRES	42.34	21.45	13.27
20	408421	823583	3922	3C 03	351.01.02 C774	CIPRES	33.42	18.52	11.3
21	408226	823575	3925	2C 02	351.01.02 C580	CIPRES	21.33	9	5.54
22	408233	823574	3923	2C 02	351.01.02 C596	CIPRES	33.42	14.82	11.59
23	408239	823575	3922	2C 02	351.01.02 C597	CIPRES	30.56	10.72	8.1
24	408247	823575	3922	2C 02	351.01.02 C607	CIPRES	20.69	6.76	4.72
25	408242	823576	3920	2C 02	351.01.02 C606	CIPRES	10.19	5.37	2.62
26	408370	823622	3886	4E 09	351.01.02 E2963	EUCALYPTO	54.75	69.75	33.29
27	408368	823621	3887	4E 09	351.01.02 E2960	EUCALYPTO	48.7	37.61	29.65
28	408358	823621	3881	4E 09	351.01.02 E2934	EUCALYPTO	39.15	39.25	28.56
29	408350	823622	3881	4E 09	351.01.02 E2916	EUCALYPTO	38.2	54.95	30.8
30	408353	823621	3878	4E 09	351.01.02 E2938	EUCALYPTO	41.06	43.68	28.99
31	408291	823562	3967	1E 06	351.01.02 E2396	EUCALYPTO	66.53	30.87	13.86
32	408292	823561	3970	1E 06	351.01.02 E2392	EUCALYPTO	59.52	33.79	20.61
33	408299	823561	3971	1E 06	351.01.02 E2331	EUCALYPTO	35.33	35.18	29.38
34	408306	823561	3974	1E 06	351.01.02 E2340	EUCALYPTO	44.56	30.87	26.81
35	408308	823561	3972	1E 06	351.01.02 E2346	EUCALYPTO	44.56	33.79	27.28

36	407936	823611	3891	3E 08	351.01.02 E1061	EUCALYPTO	44.56	32.17	24.96
37	407936	823610	3891	3E 08	351.01.02 E1048	EUCALYPTO	54.11	33.69	25.98
38	407931	823611	3892	3E 08	351.01.02 E1073	EUCALYPTO	46.15	64.97	49.06
39	407920	823610	3894	3E 08	351.01.02 E1093	EUCALYPTO	31.83	19.2	14.49
40	407922	823611	3893	3E 08	351.01.02 E1087	EUCALYPTO	45.52	42.89	32.01
41	408023	823570	3949	2E 07	351.01.02 E1421	EUCALYPTO	50.93	46.17	1.84
42	408026	823570	3949	2E 07	351.01.02 E1427	EUCALYPTO	66.84	41.21	2.64
43	408033	823570	3939	2E 07	351.01.02 E1450	EUCALYPTO	41.38	46.17	28.21
44	408037	823570	3942	2E 07	351.01.02 E1454	EUCALYPTO	49.34	49.06	39.08
45	408040	823570	3940	2E 07	351.01.02 E1451	EUCALYPTO	47.75	17.26	12.59
46	408144	823598	3896	5E 10	351.01.02 E3213	EUCALYPTO	30.56	41.21	29.44
47	408147	823597	3896	5E 10	351.01.02 E3212	EUCALYPTO	27.37	25.98	21.42
48	408149	823598	3896	5E 10	351.01.02 E3215	EUCALYPTO	57.3	24.01	16.09
49	408156	823599	3894	5E 10	351.01.02 E3193	EUCALYPTO	21.01	20.65	16.09
50	408158	823598	3896	5E 10	351.01.02 E3197	EUCALYPTO	31.83	24.01	18.52
51	408415	823627	3882	3P 13	351.01.02 P1308	PINO	46.47	30.8	26.54
52	408412	823627	3875	3P 13	351.01.02 P1326	PINO	20.05	13.99	10.5
53	408411	823575	3938	4P 14	351.01.02 P945	PINO	35.01	33.29	28.56
54	408394	823575	3937	4P 14	351.01.02 P938	PINO	34.06	24.7	20
55	408403	823576	3937	4P 14	351.01.02 P956	PINO	33.42	25.14	20.35
56	408393	823576	3936	4P 14	351.01.02 P958	PINO	37.24	27.53	20.71
57	408411	823576	3937	4P 14	351.01.02 P966	PINO	37.56	20.71	18.65
58	408176	823569	3938	5P 15	351.01.02 P387	PINO	32.47	10.5	10.5
59	408172	823570	3937	5P 15	351.01.02 P389	PINO	19.74	11.3	7.98
60	408180	823570	3936	5P 15	351.01.02 P410	PINO	25.46	19.2	15
61	408188	823570	3930	5P 15	351.01.02 P409	PINO	32.47	18.52	13.04
62	408183	823571	3928	5P 15	351.01.02 P412	PINO	42.97	15.26	11.93
63	408142	823577	3918	2P 12	351.01.02 P518	PINO	19.1	17.88	12.59
64	408162	823577	3917	2P 12	351.01.02 P524	PINO	25.46	19.91	15.53
65	408152	823577	3917	2P 12	351.01.02 P545	PINO	19.1	14.49	11.72
66	408160	823578	3916	2P 12	351.01.02 P570	PINO	23.87	12.15	9.01
67	408142	823578	3916	2P 12	351.01.02 P578	PINO	27.06	16.09	9.01
68	408378	823654	3845	1P 11	3510102 P 1512	PINO	38.0	21.42	17.26
69	408377	823654	3840	1P 11	3510102 P 1519	PINO	26.0	9.33	9.33
70	408370	823654	3835	1P 11	3510102 P 1510	PINO	43.0	25.6	20
71	408362	823655	3842	1P 11	3510102 P 1518	PINO	28.0	17.26	15
72	408363	823654	3838	1P 11	3510102 P 1506	PINO	31.0	23.84	18.01
73	408421	823627	3882	3P 13	351.01.02 P1309	PINO	47.75	29.65	23.01
74	408428	823627	3880	3P 13	351.01.02 P1312	PINO	40.74	20.71	17.39
75	408429	823627	3883	3P 13	351.01.02 P1273	PINO	55.39	26.54	20

**ANEXO 2: PRODUCCION DE MATERIA VERDE DE LOS ARBOLES
TALADOS EN LAS TRES ESPECIES FORESTALES**

Especies	Rep.	Código Inv.	Comp. Aéreo del Árbol	Biom.verde /comp. (kg)	Biom.verde Aérea/Árbol (Kg.)	Peso X Árbol (Kg)
CIPRES	1	C 687	Hojas	227.20	899,75	552,73
		C 687	Ramas	68.75		
		C 687	Fuste	603.80		
	2	C 774	Hojas	73.60	587,45	
		C 774	Ramas	51.40		
		C 774	Fuste	462.45		
	3	C 580	Hojas	24.9	171	
		C 580	Ramas	14.85		
		C 580	Fuste	131.25		
EUCALYPTO	1	E 1454	Hojas	198.45	3468,15	2220,77
		E 1454	Ramas	350.25		
		E 1454	Fuste	2919.45		
	2	E 2346	Hojas	257.14	2142,19	
		E 2346	Ramas	161.20		
		E 2346	Fuste	1723.85		
	3	E 3197	Hojas	149.17	1051,97	
		E 3197	Ramas	73.20		
		E 3197	Fuste	829.60		
PINO	1	P 1310	Hojas	142.05	1502,55	854,48
		P 1310	Ramas	248.45		
		P 1310	Fuste	1112.05		
	2	P 1508	Hojas	67	762,3	
		P 1508	Ramas	15.15		
		P 1508	Fuste	680.15		
	3	P 572	Hojas	57.2	298,6	
		P 572	Ramas	22.3		
		P 572	Fuste	219.1		

**ANEXO 3: PRODUCCION DE MATERIA SECA DE LOS ARBOLES
TALADOS EN LAS TRES ESPECIES FORESTALES.**

Especies	Rep.	Código Inv.	Comp. aéreo del Árbol	Biom. Seca/ Comp. (Kg)	Biom. Seca Aérea/Árbol (Kg.)	Peso X Árbol (Kg)
CIPRES	1	C 687	Hojas	111.44	445,54	270,74
		C 687	Ramas	38.55		
		C 687	Fuste	295.56		
	2	C 774	Hojas	42.56	366,67	
		C 774	Ramas	28.29		
		C 774	Fuste	295.82		
	3	C 580	Hojas	12.30	84,62	
		C 580	Ramas	8.11		
		C 580	Fuste	64.21		
EUCALYPTO	1	E 1454	Hojas	116.49	1832,76	1021,58
		E 1454	Ramas	259.04		
		E 1454	Fuste	1457.23		
	2	E 2346	Hojas	142.65	1231,97	
		E 2340	Ramas	106.94		
		E 2340	Fuste	982.38		
	3	E 3197	Hojas	80.69	553,01	
		E 3197	Ramas	55.56		
		E 3197	Fuste	416.76		
PINO	1	P 1310	Hojas	70.97	872,84	489,86
		P 1310	Ramas	125.54		
		P 1310	Fuste	676.33		
	2	P 1508	Hojas	33.21	455,15	
		P 1508	Ramas	8.82		
		P 1508	Fuste	413,12		
	3	P 572	Hojas	30,14	141,58	
		P 572	Ramas	11,77		
		P 572	Fuste	99,68		

ANEXO 4: DATA DE LOS ÁRBOLES TALADOS.

N°	Código de Inv.	Especie	Coord. X	Coord. Y	Altitud (m.s.n.m.)	N° Anillos	DAP (cm)	Altura (m)	% MS
1	C687	CIPRES	408358	8235854	3906	42	41.38	13.70	51.36
2	C774	CIPRES	408421	8235839	3922	49	33.42	18.60	58.94
3	C580	CIPRES	408226	8235750	3925	18	21.33	8.16	50.97
4	E2346	EUCALYPTO	408306	8235614	3974	42	44.56	31.00	59.60
5	E1454	EUCALYPTO	408033	8235703	3939	45	41.38	37.90	60.86
6	E3197	EUCALYPTO	408158	8235989	3896	38	31.83	22.50	60.08
7	P 572	PINO	408160	8235780	3916	20	23.87	12.16	50.31
8	P 1508	PINO	408363	8236544	3845	30	31.00	13.90	56.17
9	P1310	PINO	408428	8236279	3880	40	40.74	22.10	53.77

ANEXO 5: EXPLICACION DE ALGUNAS FORMULAS UTILIZADAS EN LA PRESENTE INVESTIGACION

- **Calculo de la altura de Arboles:**

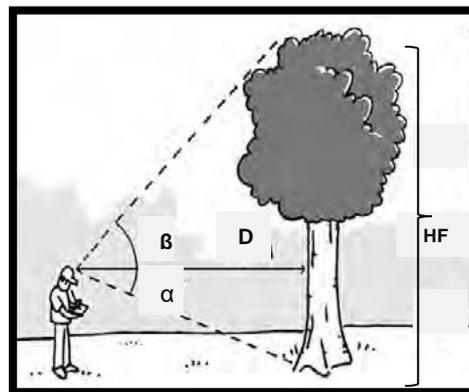
$$HF = (\text{Tang. } \beta + \text{Tang. } \alpha) * D$$

Dónde:

HF = altura de fuste (m.)

Tang. $\beta + \text{Tang. } \alpha = \text{tangente del ángulo en grados}$

D = distancia (m).



Ahora dando valores a cada uno de las variables:

$$\beta = 23^\circ$$

$$\alpha = 6.5^\circ$$

$$D = 15 \text{ m}$$

Remplazando los datos en la fórmula:

$$HF = (\text{Tang. } 23^\circ + \text{Tang. } 6.5^\circ) * 15\text{m}$$

$$HF = (1.59 + 0.22) * 15\text{m}$$

$$HF = 27\text{m.}$$

- **Calculo de porcentaje de carbono orgánico:**

$$\% C = \frac{(V_b - V_m) * N * F * 0.39}{p}$$

$\% C$ = porcentaje de carbono orgánico

V_b = volumen de sulfato ferroso gastados en la valoración del blanco

V_m = volumen de Sulfato ferroso gastados en la valoración de la muestra.

N_2 = normalidad del FeSO_4

F = factor de corrección de la normalidad de sulfato ferroso

P = peso de la muestra.

Dando valores a cada una de las variables:

$$N = 1 N$$

$$V_b = 20.7 ml$$

$$V_m = 18.8 ml.$$

$$P = 0.9443 g.$$

$$F = 1.063$$

Remplazando los datos en la fórmula:

$$\% C = \frac{(20.8 - 18.8) * 1 * 1.064 * 0.39}{0.9443} = 0.87 \%$$

$$\% MO = 0.87 * 1.724 = 1.55\%$$

$1.724 = 100/58$ Porque el 58% de materia orgánica es oxidada por este método

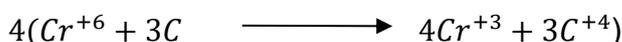
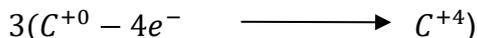
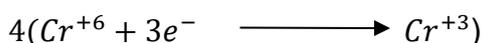
ANEXO 6: MÉTODO ANALÍTICO PROPUESTO POR WALKLEY Y BLACK

. Introducción

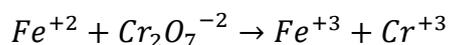
El método analítico utilizado es el propuesto por Walkley y Black (1934), basado en la oxidación del carbono orgánico con una cantidad conocida de un oxidante ($K_2Cr_2O_7$), que reaccionará con el carbono del suelo y lo oxidará transformándolo en CO_2 . Después se determinará la cantidad de oxidante que no ha reaccionado y se podrá estimar así la cantidad que ha reaccionado con el carbono.

Procesos que se suceden en la oxidación:

El carbono orgánico se oxida a CO_2 al reaccionar con el $K_2Cr_2O_7$ en medio ácido. La reacción se acelera por el calentamiento. En el tubo queda como resto el cromo del dicromato que ha actuado oxidando el carbono a CO_2 y al oxidar se reduce a Cr^{+3} . Asimismo, en el tubo también queda el resto de $K_2Cr_2O_7$ que no ha reaccionado.



Procesos que se dan en la valoración: El dicromato que no ha reaccionado se valora con sal de Mohr (sulfato ferroso amónico $(SO_4)_2Fe(NH)_2 \cdot 6H_2O$).



2. Reactivos y disoluciones

- Dicromato potásico 1N ($K_2Cr_2O_7$): Pesar 49,05 g de $K_2Cr_2O_7$ y enrasar a 1 L con agua desionizada.
- Ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) al 98%.
- Fluoruro de sodio (NaF).
- Difenilamina en disolución sulfúrica: disolver 0,5 g de difenilamina ($C_{12}H_{11}N$) en 20 mL de agua desionizada, añadiendo 100 mL de H_2SO_4 concentrado.

- Disolución de sulfato ferroso amónico, Sal de Mohr, $(\text{SO}_4)_2\text{Fe}(\text{NH}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0,5 N: Disolver 196,1 g de sulfato ferroso amónico en 800 mL de agua desionizada que contenga previamente 20 mL de H_2SO_4 y enrasar a 1 L.

3. Materiales y equipos

- Matraces aforados de 1000 mL
- Tubos Pyrex de 50 mL
- Vasos de precipitados de 250 mL
- Pipeta automática de 10 mL
- Estufa de aire forzado
- Balanza de precisión
- Valorador automático / Bureta con agitador magnético

4. Procedimiento

1. Pesar entre 0,2 y 1 g de muestra de molido (si se presupone un contenido bajo, pesar cerca de 1 g), con la balanza de precisión, anotando el peso exacto.
2. Introducir la muestra en un tubo Pyrex de 50 mL.
3. Añadir 10 mL de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 1 N y 20 mL de H_2SO_4 , muy lentamente y con mucho cuidado ya que se produce efervescencia al comenzar la reacción de oxidación de la materia orgánica. Se trabajará en la campana extractora.
4. Preparar tres blancos: tubos sin muestra a los que se les añaden los mismos reactivos (10 mL de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 1 N y 20 mL de H_2SO_4).
5. Tapar los tubos.
6. Calentar la estufa a 150°C ; una vez alcanzada esa temperatura se introducen los tubos, que han de permanecer a esta temperatura durante 15 min.
7. Pasado este tiempo sacar los tubos de la estufa y dejar enfriar.
8. Traspasar todo el contenido de los tubos a un vaso de precipitados de 250 mL con ayuda de agua desionizada.
9. Añadir 2-3 gotas de indicador difenilamina y $\frac{1}{2}$ cucharada de NaF. El contenido del vaso adquiere un color pardo oscuro. Para aumentar el volumen se añade agua desionizada hasta alcanzar aproximadamente 100-125 mL.
10. Finalmente, valorar con Sal de Mohr utilizando un valorador automático o bien una bureta agitando. El color vira de pardo oscuro a verde intenso, pasando por marrón, verde oscuro y distintas tonalidades de azul. En el caso del valorador automático, el viraje se realiza mediante la medida de potencial a 601 mV.

5. Cálculos

$$\text{Carbono Organico(\%)} = \frac{(Vb - Vm) * N * F * 0.39}{P}$$

Dónde:

Vb= volumen de Sal de Mohr gastados en la valoración del blanco (se realiza la media aritmética entro los tres blancos valorados) (mL)

Vm = volumen de Sal de Mohr gastados en la valoración de la muestra (mL)

N = normalidad de la Sal de Mohr (0,5)

F = 20/Vb

(es un factor de corrección de la normalidad de la sal de Mohr)

P = peso de la muestra en gramos (g)

El factor 0,39 resulta de considerar que por este método sólo se oxida el 77% del carbono existente en la muestra, junto con un factor de corrección.

$$\text{Carbono orgánico (g kg-1)} = \% \text{ Carbono orgánico} * 10$$

6. Observaciones

Cuando se reduce más del 80% del dicromato, la determinación debe repetirse con una muestra con menor peso, debido a que la muestra contiene alta cantidad de carbono y, por consiguiente, una cantidad tan baja de dicromato no oxidado que puede acarrear problemas de precisión en la determinación analítica.

Para la valoración se añade NaF, que es un agente complejante que retira los iones del medio que podrían interferir en la valoración.

7. Interpretación de resultados

Rango de valores	Catalogación
< 1%	Muy baja
1 - 2,0 %	Baja
2,1 - 5 %	Alta
> 5 %	Muy alta

ANEXO N° 07: RESULTADOS DEL ANALISIS DE LAS MUESTRAS

REPORTE DE DATOS

Reporte de las muestras analizadas en el laboratorio de control de calidad de la escuela profesional de Ingeniería Química de la UNA – puno. Se ha analizado las 27 muestras de tres especies forestales provenientes del trabajo de investigación “**DETERMINACION DEL CONTENIDO DE CARBONO POR ESPECIE FORESTAL EN EL BOSQUE DEL CIP-CAMACANI - UNA- PUNO POR TITULACION**”, según detalle:

Codigo	MS %	P.Muest. Seca	Vm	%Carbono	% MO
C-774-H	59,15	0,9543	18,8	0,8731	1,5054
C-774-R	76,15	0,9536	18,5	0,9241	1,5932
C-774-F	59,13	0,9936	18,2	0,9351	1,6123
C-687-H	69,28	0,9246	20,8	0,5552	0,9572
C-687-R	82,86	0,9466	20,8	0,5423	0,9350
C-687-F	55,53	0,9352	21,4	0,4463	0,7695
C-580-H	80,93	0,9863	19,5	0,7313	1,2608
C-580-R	79,09	0,9686	20,4	0,5960	1,0276
C-580-F	59,28	0,9886	20,3	0,6001	1,0347
E-3197-H	77,42	0,5533	17,6	1,8527	3,1944
E-3197-R	83,03	0,5624	17,9	1,7375	2,9956
E-3197-F	47,86	0,5826	17,8	1,7047	2,9391
E-2346-H	87,76	0,9960	20,5	0,5636	0,9717
E-2346-R	71,60	0,9860	20,7	0,5368	0,9256
E-2346-F	57,49	0,9880	20,8	0,5196	0,8958
E-1454-H	57,25	0,9090	22,4	0,2832	0,4883
E-1454-R	69,22	0,9281	22,8	0,2084	0,3594
E-1454-F	44,78	0,9490	23,2	0,1364	0,2352
P-1508-H	77,96	0,9065	17,9	1,0779	1,8585
P-1508-R	69,11	0,9749	18,2	0,9531	1,6433
P-1508-F	75,37	0,9188	18,1	1,0287	1,7736
P-572-H	88,78	0,6248	16,8	1,8455	3,1819
P-572-R	85,40	0,6689	16,5	1,7956	3,0958
P-572-F	84,27	0,6048	16,8	1,9065	3,2871
P-1310-H	80,60	0,9548	23,2	0,1356	0,2338
P-1310-R	73,17	0,9565	23,6	0,0685	0,1181
P-1310-F	78,74	0,9821	23,4	0,0993	0,1712

Puno, C. U. Junio del 2017

ANEXO 8: CERTIFICADO DE ANALISIS



Universidad Nacional del Altiplano - Puno
 FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD



N° 0233

Certificado de Análisis

L.O - 2017

ASUNTO : Análisis Físico Químico de: PORCENTAJE DE MATERIA ORGÁNICA
PROCEDENCIA : CIP-CAMACANI - UNA- PUNO
INTERESADO : Bach. Delia Maquera Maquera
MOTIVO : Ejecución de tesis: "DETERMINACION DE CARBONO CONTENIDO POR ESPECIE FORESTAL EN EL BOSQUE DE CIP-CAMACANI - UNA-PUNO"
MUESTREO : 15/05/2017, por el interesado
ANÁLISIS : 19/05/2017
COD. MUESTRA: B - 2149

CARACTERISTICAS FISICO - QUIMICAS

Código de muestra	Materia Seca (%)	Carbono (%)	Materia Orgánica (%)	Método Analítico
C-774	64,81	0,9107	1,5703	Volumetría/ K ₂ Cr ₂ O ₇ -H ₂ SO ₄ /
E-3197	69,43	1,7649	3,0430	Difenilamina
P-572	86,15	1,8492	3,1882	

OBSERVACIONES:

El método utilizado corresponde combustión húmeda (Walkley and black)

Puno, C.U. 27 de Junio del 2017.
 V°B°



Ing. M. Sc. Edith Tello Palma
 DECANA F.I.Q.



Ing. M. Sc. María Rodríguez Melo
 Jefe Laboratorio Control de Calidad
 FACULTAD INGENIERIA QUIMICA
 UNA - PUNO

PANEL FOTOGRAFICO

FOTO A: Reconocimiento e identificación de rodales del bosque del CIP-
Camacani

FOTO B: Obtención de Coordenadas UTM con GPS

FOTO C: Medición del DAP

FOTO D: Medición de altura

FOTO E: Trozado de árbol en rollizos de 3.20 m

FOTO F: Medición de la longitud del árbol

FOTO G: Secado de las muestras forestales

FOTO H: Trituración de las muestras secas

FOTO I: Molido de las muestras

FOTO J: Muestras molida

FOTO K: Muestras embolsadas y codificadas

FOTO L: Pesado de las muestras para la titulación

FOTO M: Alistando reactivos

FOTO N: Combustión de la muestra

FOTO Ñ: Titulación con ácido fosfórico

FOTO O: Resultados de la muestra combustionada

FOTO A: Reconocimiento e identificación de rodales del bosque del CIP-Camacani



FOTO B: Obtención de Coordenadas UTM con GPS



FOTO C: Medición del DAP



FOTO D: Medición de altura



FOTO E: Trozado de árbol en rollizos de 3.20 m



FOTO F: Medición de la longitud del árbol



FOTO G: Secado de las muestras forestales



FOTO H: Trituración de las muestras secas



FOTO I: Molido de las muestras



FOTO J: Muestras molida



FOTO K: Muestras embolsadas y codificadas



FOTO L: Pesado de las muestras para la titulación



FOTO M: Alistando reactivos

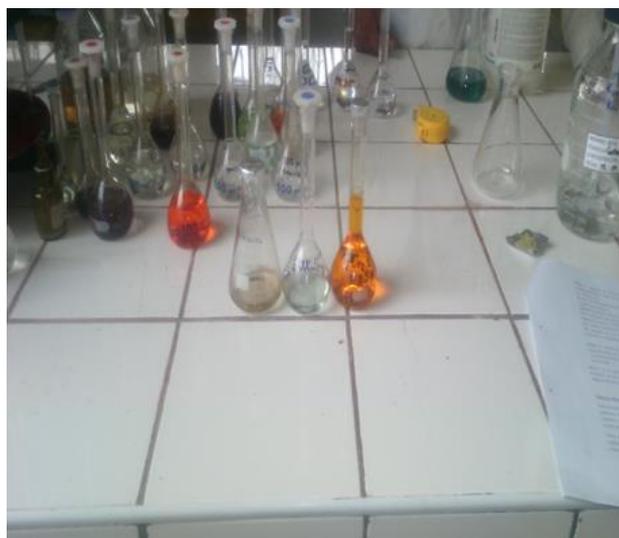


FOTO N: Combustión de la muestra



FOTO Ñ: Titulación con ácido fosfórico



FOTO O: Resultados de la muestra combustionada

