

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA



**“CAPTURA DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂) EN LA
“CHILLIHUA” (*Festuca dolichophylla* Presl) DE LOS PASTIZALES
DEL CIP ILLPA-PUNO”**

TESIS

PRESENTADA POR:

MARIO FLORES ARONI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

MENCIÓN:

ZOOTECNIA

PROMOCIÓN: 2008 - II

PUNO - PERÚ

2017

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRONÓMICA**

**“CAPTURA DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂) EN LA
“CHILLIHUA” (*Festuca dolichophylla* Presl) DE LOS PASTIZALES
DEL CIP ILLPA-PUNO”**

TESIS

PRESENTADA POR:

MARIO FLORES ARONI

**PARA OPTAR EL TITULO DE:
INGENIERO AGRÓNOMO
MENCIÓN:
ZOOTECNIA**

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 31 DE ENERO DE 2017

APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE	: Dr. Luis Alfredo Palao Iturregui
PRIMER MIEMBRO	: M. Sc. Alberto Choquecota Riva
SEGUNDO MIEMBRO	: M. Sc. Jesús Sánchez Mendoza
DIRECTOR DE TESIS	: M. Sc. Flavio Ortiz Calcina

PUNO - PERÚ

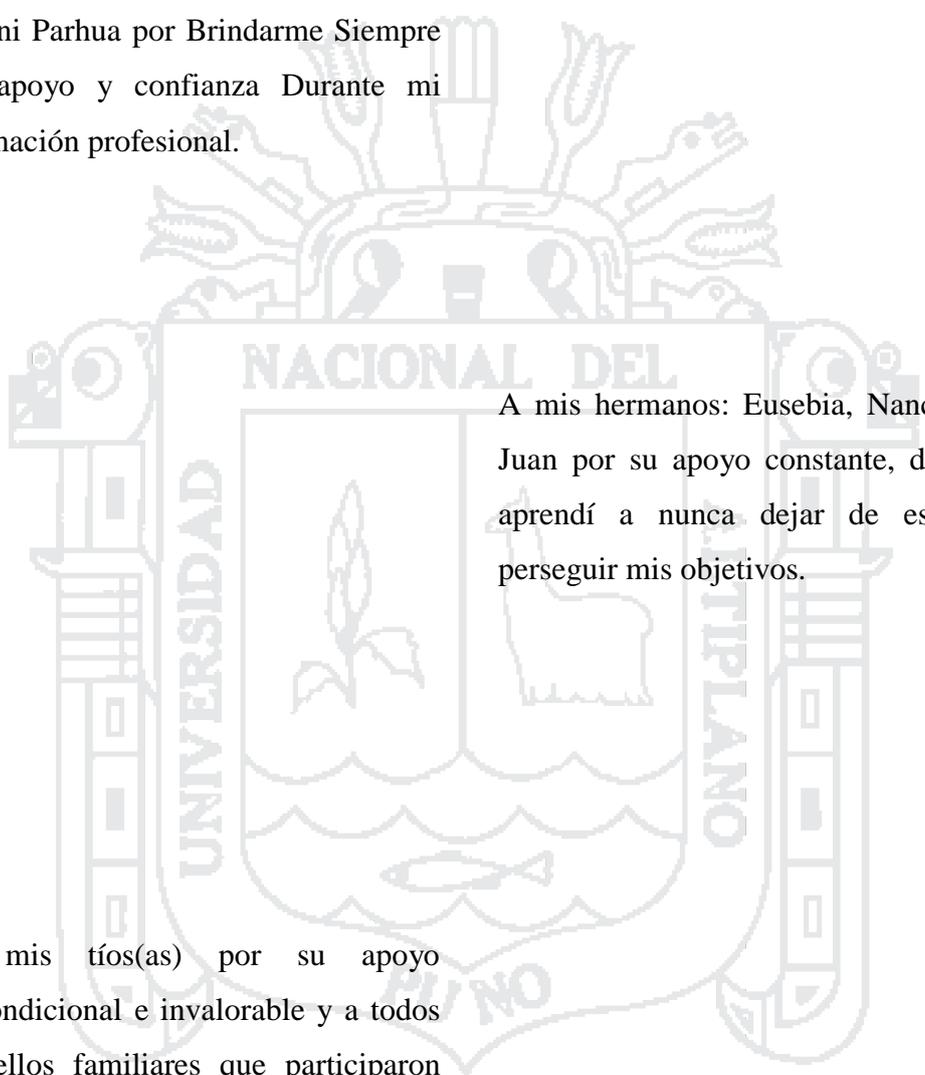
2017

Área : Ciencias agrícolas

Tema : Cambio climático

DEDICATORIA

Con eterna gratitud a mis padres
Victor Flores Cáceres y Eleodora
Aroni Parhua por Brindarme Siempre
su apoyo y confianza Durante mi
formación profesional.



A mis hermanos: Eusebia, Nancy, Marco y
Juan por su apoyo constante, de los cuales
aprendí a nunca dejar de esforzarme y
perseguir mis objetivos.

A mis tíos(as) por su apoyo
incondicional e invaluable y a todos
aquellos familiares que participaron
directa o indirectamente en la
elaboración de esta tesis.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional del Altiplano y en especial a la Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica, por brindarme la oportunidad de continuar disfrutando del conocimiento nuevo y el aprendizaje permanente.

A la plana docente de la Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica, por brindarnos los conocimientos y motivarnos frente a los nuevos retos de igual forma al personal administrativo de la EPIA por el apoyo a la labor académica.

Al M.Sc. Flavio Ortiz Calcina, por su dirección y apoyo durante la ejecución del trabajo de investigación.

A los miembros del jurado por la revisión y enriquecimiento de esta tesis.

A la Universidad Nacional Agraria la Molina, Facultad de Zootecnia (Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos) por análisis de Energía total.

Al laboratorio de Pastos y Forrajes y en especial al Sr. Marcelino Ticona Cruz, Técnico Laboratorio de Pastos y Forrajes por apoyo en análisis de muestras.

Al director del CIP Illpa -UNA, por su apoyo para la toma de muestras.

A mi novia Mónica por su apoyo, entusiasmo y acompañamiento en el trabajo de campo.

A todas aquellas personas y amigos que me han apoyado directa e indirectamente para la culminación de mi trabajo de investigación.

ÍNDICE GENERAL

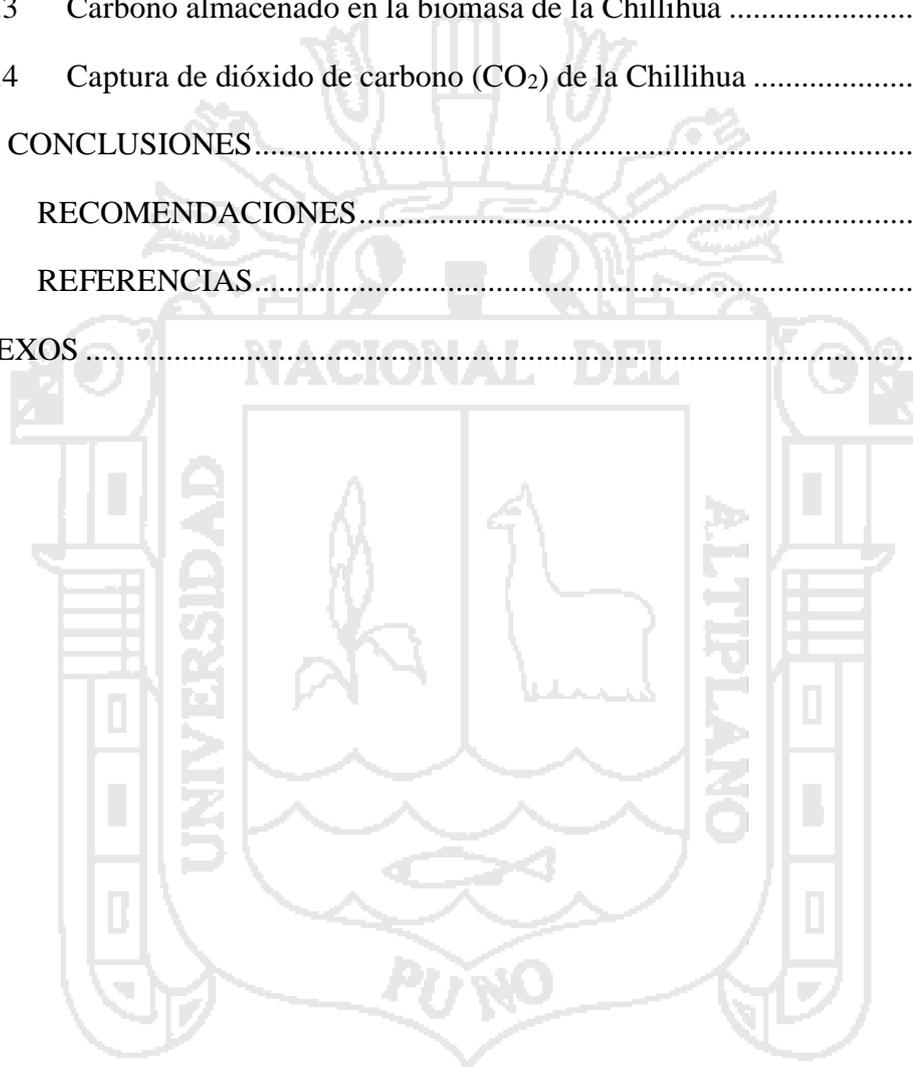
RESUMEN

ABSTRACT

I.	INTRODUCCIÓN.....	16
II.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	19
2.1	Antecedentes de la Investigación.....	19
2.2	Descripción de “Chillihua” (<i>Festuca dolichophylla</i> Presl).....	21
2.2.1	Características morfológicas de la planta.....	21
2.2.2	Hábitat.....	21
2.2.3	Usos.....	21
2.2.4	ubicación taxonómica.....	22
2.3	Pradera nativa “Chillihua”.....	22
2.3.1	Distribución y superficie.....	22
2.4	Pastizales naturales.....	26
2.4.1	Clasificación de pastizales naturales.....	26
2.4.2	Evaluación de la producción primaria de pastizales.....	27
2.5	Parámetros de la vegetación de praderas naturales.....	29
2.5.1	Altura de pastos.....	30
2.5.2	Densidad.....	30
2.6	Cambio climático.....	31
2.6.1	Causas del cambio climático.....	31
2.6.2	Efectos del cambio climático.....	32
2.6.3	Cambio climático en Perú.....	33
2.6.4	Gases de efecto invernadero.....	33
2.6.5	Acciones de coordinación internacional.....	34
2.7	Captura de carbono.....	35
2.7.1	Proceso bioquímico de la fijación y emisión de carbono en las plantas... 36	36

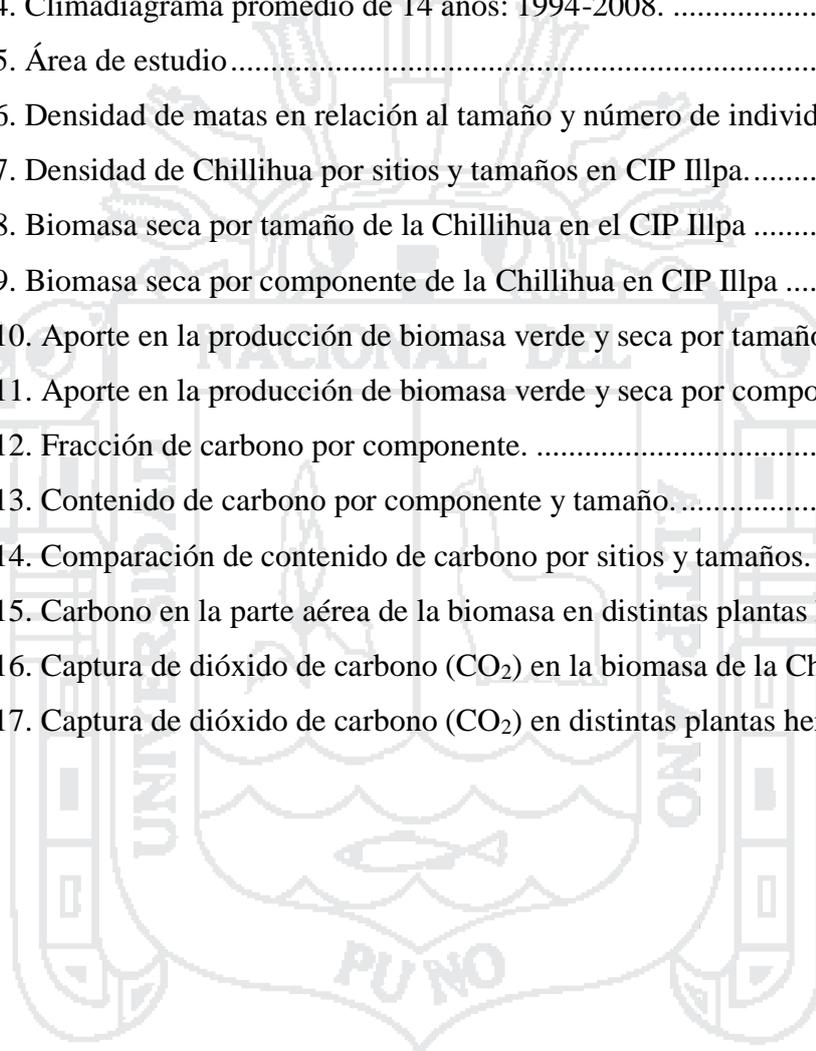
2.7.2	Métodos para capturar el carbono atmosférico (CO ₂)	37
2.7.3	Métodos de estimación de carbono en la biomasa forestal.....	37
2.7.4	Tasa de fijación de carbono en la vegetación	39
2.7.5	Bonos de carbono.....	40
2.7.6	Mercado de los bonos de carbono.....	41
2.7.7	Ciclo del carbono.....	42
2.8	Dióxido de carbono (CO ₂) y su rol en el cambio climático	43
2.8.1	Captura de CO ₂ por los vegetales	44
2.9	Ecosistemas forestales y su contribución ante el efecto invernadero	44
2.10	Estimación de biomasa.....	44
2.10.1	Diseño de muestreo para la estimación de biomasa en bosques.....	45
2.10.2	Aplicación del SIG en el medio ambiente	46
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	47
3.1	Características del lugar de estudio.....	47
3.1.1	Ubicación.....	47
3.1.2	Extensión de tierras.....	48
3.1.3	Ecología	49
3.1.4	Información meteorológica.....	49
3.2	Metodología	53
3.2.1	Duración del experimento.....	53
3.2.2	Elección del área de estudio.....	53
3.2.3	Estimación del número de unidades de muestreo	54
3.3	VARIABLES EVALUADAS.....	55
3.3.1	Densidad del pastizal “Chillihua”.....	55
3.3.2	Medición de la producción de biomasa	56
3.3.3	Determinación del contenido de carbono en la Chillihua.....	57
3.3.4	Cuantificación de dióxido de carbono (CO ₂) capturado.....	60

3.3.5	Diseño experimental	60
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	62
4.1	Densidad de matas de la “Chillihua” (Festuca dolichophylla).....	62
4.2	Producción de biomasa de “Chillihua”	64
4.3	Carbono almacenado en la biomasa de la Chillihua	69
4.4	Captura de dióxido de carbono (CO ₂) de la Chillihua	74
V.	CONCLUSIONES.....	79
VI.	RECOMENDACIONES.....	80
VII.	REFERENCIAS.....	81
	ANEXOS	89



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo global del carbono en la actualidad (Almacenaje GtC/año y flujo GtC)	43
Figura 2. Ubicación del área de estudio.....	48
Figura 3. Climadiagrama temperaturas medias y precipitación año 2016.....	50
Figura 4. Climadiagrama promedio de 14 años: 1994-2008.	52
Figura 5. Área de estudio.....	54
Figura 6. Densidad de matas en relación al tamaño y número de individuos.....	63
Figura 7. Densidad de Chillihua por sitios y tamaños en CIP Illpa.....	64
Figura 8. Biomasa seca por tamaño de la Chillihua en el CIP Illpa	66
Figura 9. Biomasa seca por componente de la Chillihua en CIP Illpa	66
Figura 10. Aporte en la producción de biomasa verde y seca por tamaño.	67
Figura 11. Aporte en la producción de biomasa verde y seca por componente.....	68
Figura 12. Fracción de carbono por componente.	70
Figura 13. Contenido de carbono por componente y tamaño.....	71
Figura 14. Comparación de contenido de carbono por sitios y tamaños.	72
Figura 15. Carbono en la parte aérea de la biomasa en distintas plantas herbáceas.	73
Figura 16. Captura de dióxido de carbono (CO ₂) en la biomasa de la Chillihua.....	75
Figura 17. Captura de dióxido de carbono (CO ₂) en distintas plantas herbáceas.....	77

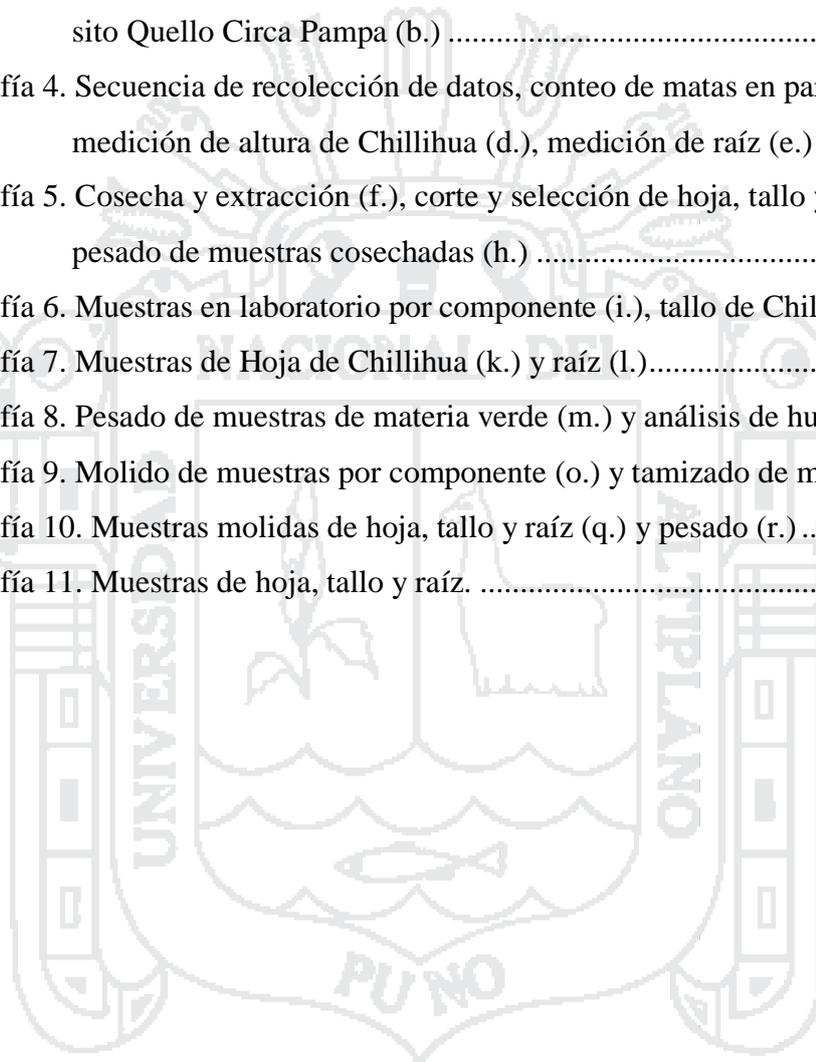


ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Disponibilidad mensual y anual de materia seca (kg/ha) en el pastizal “chillihua” (Festuca dolichophylla) bajo exclusión de pastoreo en Chuquibambilla	25
Tabla 2. Producción estacional y anual de materia seca (MS) del pastizal	25
Tabla 3. Los seis principales gases de efecto invernadero.....	34
Tabla 4. Valor de mercado y precios de bonos de carbono	42
Tabla 5. Datos meteorológicos registrados. Temperaturas (mínimas, máximas y media), precipitación pluvial, duración de estudios. Estacion ILLPA-472E4156.....	50
Tabla 6. Datos meteorológicos registrados. Temperaturas (mínimas, máximas y media), precipitación pluvial promedio de 15 años 1994-2004.....	51
Tabla 7. Análisis de varianza.....	61
Tabla 8. Densidad de Festuca dolichophylla por sitios en CIP Illpa.	62
Tabla 9. Producción de biomasa verde y seca de “Chillihua” Festuca dolichophylla por tamaño	65
Tabla 10. Producción de biomasa verde y seca del pastizal Chillihua por componente del CIP Illpa	67
Tabla 11. Análisis de varianza de la producción de materia seca de “Chillihua”.	68
Tabla 12. Prueba de Duncan ($P \leq 0.05$) para producción de materia seca según tamaño de mata	69
Tabla 13. Cantidad de carbono en la biomasa de “Chillihua” Festuca dolichophylla por componente	70
Tabla 14. Contenido de carbono por tamaño de la Chillihua del CIP Illpa	71
Tabla 15. Contenido de carbono por distintas especies en Puno.	73
Tabla 16. Captura de dióxido de carbono por componente de la Chillihua del CIP Illpa	74
Tabla 17. Captura de dióxido de carbono por tamaños de la Chillihua del CIP Illpa	74
Tabla 18. Captura de dióxido de carbono por distintas especies en Región Puno.....	76
Tabla 19. Captura de CO ₂ total de la Chillihua del CIP Illpa	78

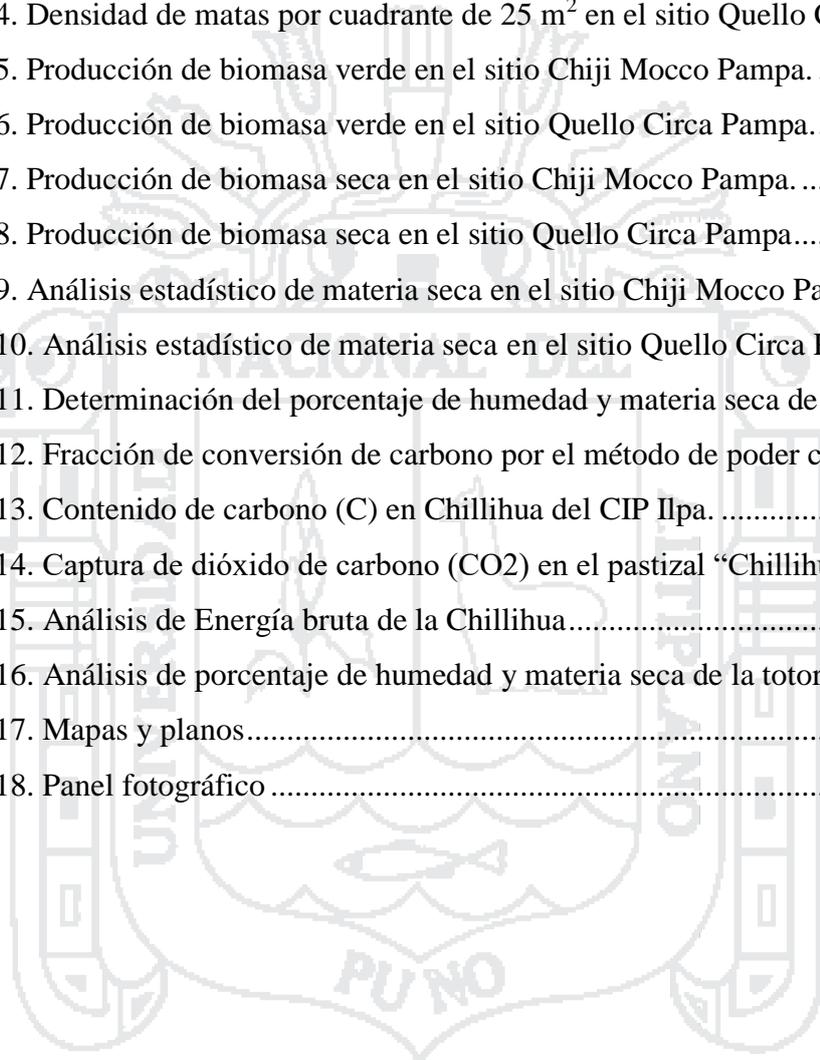
ÍNDICE DE FOTOS

Fotografía 1. Centro de Investigación y Producción Illpa UNA-Puno.....	110
Fotografía 2. Reconocimiento y delimitación de áreas de estudio	110
Fotografía 3. Establecimiento de parcelas de muestreo, sitio Chiji Mocco Pampa (a.) y sito Quello Circa Pampa (b.)	111
Fotografía 4. Secuencia de recolección de datos, conteo de matas en parcela (c.), medición de altura de Chillihua (d.), medición de raíz (e.)	112
Fotografía 5. Cosecha y extracción (f.), corte y selección de hoja, tallo y raíz (g.), pesado de muestras cosechadas (h.)	113
Fotografía 6. Muestras en laboratorio por componente (i.), tallo de Chillihua (j.).....	114
Fotografía 7. Muestras de Hoja de Chillihua (k.) y raíz (l.).....	115
Fotografía 8. Pesado de muestras de materia verde (m.) y análisis de humedad (n.)...	116
Fotografía 9. Molido de muestras por componente (o.) y tamizado de muestras (p.) ..	117
Fotografía 10. Muestras molidas de hoja, tallo y raíz (q.) y pesado (r.).....	118
Fotografía 11. Muestras de hoja, tallo y raíz.	119



ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Glosario y definición de términos básicos	89
Anexo 2. Marco legal.....	92
Anexo 3. Densidad de matas por cuadrante de 25 m ² en el sitio Chiji Mocco Pampa. .	94
Anexo 4. Densidad de matas por cuadrante de 25 m ² en el sitio Quello Circa Pampa. .	95
Anexo 5. Producción de biomasa verde en el sitio Chiji Mocco Pampa.....	96
Anexo 6. Producción de biomasa verde en el sitio Quello Circa Pampa.....	97
Anexo 7. Producción de biomasa seca en el sitio Chiji Mocco Pampa.....	98
Anexo 8. Producción de biomasa seca en el sitio Quello Circa Pampa.....	99
Anexo 9. Análisis estadístico de materia seca en el sitio Chiji Mocco Pampa.....	100
Anexo 10. Análisis estadístico de materia seca en el sitio Quello Circa Pampa	100
Anexo 11. Determinación del porcentaje de humedad y materia seca de Chillihua	101
Anexo 12. Fracción de conversión de carbono por el método de poder calórico.....	102
Anexo 13. Contenido de carbono (C) en Chillihua del CIP Ilpa.....	103
Anexo 14. Captura de dióxido de carbono (CO ₂) en el pastizal “Chillihua”.....	104
Anexo 15. Análisis de Energía bruta de la Chillihua.....	105
Anexo 16. Análisis de porcentaje de humedad y materia seca de la totora	106
Anexo 17. Mapas y planos.....	107
Anexo 18. Panel fotográfico	110



LISTA DE ACRÓNIMOS

CFC	clorofluorcarbonados
CH ₄	Metano
CIDIAG	Centro de Información y Desarrollo Integral de Autogestión
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
CMP	Chijji Mocco Pampa
CO ₂	Dióxido de carbono
CODESOL	Comunidad de desarrolladores de Software con Orientación Libre
CONAM	Consejo Nacional del Ambiente.
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura.
GEI	Gases de Efecto Invernadero.
HCFC	halo-clorofluorcarbonados
HFC	Hidrofluorocarbonados
ICRAF	Centro Internacional de Agroforestería
ICRAF	Centro Internacional para la investigación en Agroforestería
IPCC	Panel Intergubernamental de Cambio Climático
LENA	Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos
MDL	Mecanismo de Desarrollo Limpio
MINAGRI	Ministerio de Agricultura y Riego.
MINAM	Ministerio del Ambiente del Perú
MS	Materia

MV	Materia Verde
ONERN	Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales
PFC	Perfluorocarbonados
PGMF	Plan General de Manejo Forestal
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
QCP	Quello Circa Pampa
RNT	Reserva Nacional del Titicaca
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
SERFOR	Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre
SERNANP	Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas
tC	Toneladas de carbono
tCO ₂	Toneladas de dióxido de carbono
tMV	Toneladas de materia verde
tMS	Toneladas de materia seca
UNALM	Universidad Nacional Agraria la Molina
UO	Unidades ovino
ZEE	Zonificación Económica Ecológica

RESUMEN

El presente trabajo de investigación, fue realizado en el Centro de Investigación y Producción Illpa de la Universidad Nacional del Altiplano, ubicado en distrito de Paucarcolla Provincia y Departamento de Puno, a una altitud de 3850 m.s.n.m. En dos sitios de pastoreo con dominancia de la asociación *Festuchetum-Muhlenbergietum* y *Muhlenbergietum-Festuchetum*. Actualmente, nuestro país cuenta con escasa información del potencial de captura de CO₂ de los pastizales naturales. Los objetivos planteados fueron: a) Determinar la densidad de matas de la “Chillihua” (*Festuca dolichophylla*) de los pastizales del CIP Illpa, b) Medir su producción de biomasa, c) Determinar el contenido de carbono almacenado en la biomasa de las hojas, tallos y raíces de la Chillihua y d) Estimar la captura de dióxido de carbono (CO₂) por la biomasa de la Chillihua. El área de estudio fue dos sitios (Chijji Moco pampa y Quello Circa pampa, con UTM 384758 E y 8262692 S) del pastizal Chillihua. Los tratamientos evaluados son tres tamaños (grande, mediano y pequeño) y tres componentes (hojas, tallos, y raíces) de la “Chillihua”. Para estimar la densidad de matas de Chillihua se utilizó el método “Conteo de plantas en parcela cuadrada”, mientras la producción de biomasa se determinó por el “Método destructivo y separación manual por peso”. Los resultados muestran que la densidad del pastizal “Chillihua” (*Festuca dolichophylla*) en el sitio Chiji Mocco pampa fue 11 100 matas/ha, y en el sitio Quello Circa pampa 10 200 matas/ha, de los cuales el 39.64% y 37.25 está representado por los pastizales medianos. Hubo diferencia estadística significativa ($P \leq 0.05$) para la producción de biomasa seca entre tamaños, mas no existe diferencia significativa en los sitios y en su interacción con los tamaños. La mayor producción de biomasa verde y seca, lo presentó la Chillihua del sitio Quello Circa Pampa con 7.56 tMV/ha y 6.61 tMS/ha respectivamente, mientras que la producción del sitio Chiji Mocco pampa fue 4.98 tMV/ha y 4.41 tMS/ha, esta producción de biomasa está influenciada por tamaños y además el componente de mayor aporte en biomasa es el tallo, seguido de la hoja y las raíces. La fracción de carbono estimado para los componentes de Chillihua mediante el método del poder calórico indica que la mayor fracción está en el tallo. Por otro lado, la cantidad de carbono del sitio Chiji Mocco Pampa fue 2.10 tC/ha; mientras que para el sitio Quello Circa Pampa fue 2.94 tC/ha. Además, cabe indicar que el componente de mayor contenido de carbono es el tallo, seguido de la hoja y raíz; como también, el mayor contenido de carbono se ve influenciado por el tamaño. La captura de dióxido de carbono de Chillihua para el sitio Chiji Mocco Pampa fue 7.70 tCO₂/ha; y para el sitio Quello Circa Pampa fue 10.78 tCO₂/ha. Por otra parte, se ha estimado que en las 105.60 ha que ocupan ambos sitios de Chillihua del CIP Illpa, se captura en total 275.64 tCO₂, a un precio de 13.4 US\$/ tCO₂ en total por bonos de carbono se recaudaría 3 693.58 US\$.

Palabras claves: Captura de CO₂, carbono, *Festuca dolichophylla*, *Muhlenbergia fastigiata*, Biomasa, densidad.

ABSTRACT

The present fact-finding work, it was realized downtown fact-finding and Producción Illpa of the National University of the High Plateau, located in Paucarcolla Provincia's Distrito of Puno, Departamento of Puno, to 3850 m.s.n.m's altitude. Festuchetum Muhlenbergietum is dominated for the association at this sector and Muhlenbergietum Festuchetum. At present, our country counts on scarce information of the potential of capture of CO₂ of the native sorts of the natural ecosystems and. The presented objectives matched: a) Determining the density of plants of the Chillihua (*Festuca dolichophylla*) of the pasturelands of the CIP Illpa, b) Measuring his production of biomass, c) Determining the contents of carbon stored in the biomass of the sheets, stems and the Chillihua's roots, and d) Estimating the capture of carbon dioxide (CO₂) for the Chillihua's biomass. The area of study was (Chijji Moco pampa and Quello Circa pampa, with UTM 384758 And and 8262692 S) the pastureland's two places Chillihua. The evaluated treatments are three sizes (big, medium and little) and (sheets, stems, and roots) the Chillihua's three components. Conteo of plants utilized the method himself at square plot of land in order to estimate Chillihua's density of plants, while the production of biomass was determined for the Destructive Método and manual separation by weight. The results evidence than the density of the pastureland (*Festuca dolichophylla*) on-site Chillihua Chiji Mocco the pampa went 11 100 matas/ha, and on the premises Quello Circa pampa 10 200 matas/ha, of whom the 39,64 % and 37,25 you are represented for the medium pasturelands. There was statistical significant difference (Pd 0,05) for the production of dry biomass between sizes, but significant difference at the places in his interaction and with the sizes does not exist. The bigger production of green biomass and sandbank, presented it the place's Chillihua Quello Circa Pampa with 7,56 tMV/ha and 6,61 tMS/ha respectively, in the meantime than the production of the place Chiji Mocco the pampa was 4,98 tMV/ha and 4,41 tMS/ha, this production of biomass is influenced for sizes and besides principal's component contribution in biomass is the stem, followed of the sheet and roots. The fraction of carbon once the little Indian method of the Caloricity was estimated for intervening Chillihua's components that the bigger fraction is in the stem. In addition, the quantity of carbon of the place Chiji Mocco the pampa was 2,10 tC/ha; While for the place Quello Circa Pampa was 2,94 tC/ha. Besides, it is pertinent to indicate that the component of principal held back of carbon is the stem, followed of the sheet and root; Like also, you see the bigger contents of carbon influenced by the size. Chillihua's capture of carbon dioxide for the place Chiji Mocco Pampa was 7,70 tCO₂/ha; And Quello Circa Pampa was 10,78 tCO₂/ha for the place. On the other hand, you have taken care of yourself than it is necessary to in 105,60 both Chillihua's places of the CIP occupy Illpa, 275,64 tCO₂ are captured in total, to 13,4 US\$'s price tCO₂ in total one would collect taxes for bonds of carbon 3 693,58 US\$.

Key words: Capture of CO₂, carbon, *Festuca dolichophylla*, *Muhlenbergia fastigiata*, Biomass, density.

I. INTRODUCCIÓN.

El cambio climático ha sido en el último tiempo uno de los principales temas a discutir en el ámbito político, económico y social. La quema de combustibles fósiles, como petróleo, carbón y gas natural, que el ser humano comenzó a utilizar a finales del siglo XVII, ha provocado un incremento de CO₂ en la atmósfera, ocasionando un aumento de la temperatura global. No sólo el dióxido de carbono es responsable de este calentamiento global, sino también otro tipo de gases de efecto invernadero como el metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), Hidrofluorocarbonos (HFC), Perfluorocarbonos (PFC) y Hexafluoruro de azufre (SF₆). Según distintas estimaciones, la temperatura ha aumentado 0.5° C en los últimos 150 años y se pronostica un incremento de 1°C en el 2020 y de 2°C en el 2050, (PROCHILE, 2012).

Con el propósito de mitigar las emisiones del CO₂ atmosférico, el cual ha sido clasificado como el gas más abundante en el planeta con efecto invernadero. Por lo cual se ha atribuido a la cobertura vegetal presente en los ecosistemas forestales, sistemas agroforestales y las áreas de cultivo como formas viables de compensación de los daños provocados por la acumulación de este gas, encargado de capturar el dióxido de carbono de la atmósfera y fijar el carbono en los tejidos vegetales de las plantas. Por otra parte, el interés de conocer más sobre la captura de CO₂ ha aumentado rápidamente el interés en los últimos años, llegando a situarse en las principales agendas ambientales, como una respuesta al efecto invernadero. Actualmente, nuestro país cuenta con escasa información del potencial de captura de CO₂ de las especies nativas y de los ecosistemas naturales. Es así, que los estudios para estimar la captura de CO₂, se han limitado a utilizar factores de conversión de peso seco a contenido de carbono desarrollados en otros países, (Cubero y Rojas, 1999).

Para proponer estrategias viables dirigidas a mitigar los efectos del cambio climático, se debe considerar a las especies vegetales presentes en los ecosistemas de pastizales naturales, quienes se han adaptado a la altura, topografía y a las condiciones extremas del clima de la región altiplánica. En particular, es importante estudiar el potencial de captura de dióxido de carbono que tiene la vegetación de los pastizales naturales de Chillihua de la Puna Semiárida de la región de Puno, donde la “Chillihua” (*Festuca dolichophylla*), pueden mitigar los efectos del cambio climático, porque pueden

absorber grandes cantidades de gases de efecto invernadero (GEI) desde la atmósfera, almacenando el carbono en los tejidos vegetales en el follaje, tallo y sistema radicular.

En el Perú, son escasos los estudios de captura y secuestro de carbono por los ecosistemas forestales en comparación con otros países de América Latina, como Brasil y México. Más aún, se desconoce el valor potencial de los pastos naturales altoandinos como fijadores de carbono, si existe relación entre biodiversidad y secuestro de carbono. Márquez (2002). Las praderas de “Chillihua” se encuentran distribuidas en forma discontinua, los pastizales naturales en el Perú ocupan una superficie total de 15 127 000 hectáreas, en la sierra existen 14 300 000 hectáreas, en el altiplano de Puno los pastizales naturales ocupan una extensión de 3 304 000 hectáreas y un total de 241 789 ha de pastizal Chillihua. Por lo general esta pradera se localiza en las zonas de vida bosque húmedo montano y páramo muy húmedo subalpino entre los 3830 y 4600 metros de altitud. Choque (2015). Estos ecosistemas merecen ser estudiados a través de métodos específicos para cada especie, de tal manera que en próximos estudios sea modelado para estimar la cantidad de carbono secuestrado en esta área, ya que los pastizales juegan un papel en la regulación del nivel de emisiones de CO₂ a través de la fotosíntesis, fijando el carbono en el follaje, tallo y raíz, mitigando así los efectos de cambio climático. Se selecciona la Chillihua por su abundancia en el altiplano puneño y peruano, no conocemos la fracción de carbono que fija a pesar de que es una especie dominante, no hay información del cambio de cobertura de pajonales.

El presente trabajo de investigación está orientado a generar información sobre los métodos y procedimientos científico y tecnológico para calcular la cantidad de carbono almacenado en el follaje, tallo y raíz a partir del cual se podrá estimar y cuantificar la cantidad de CO₂ capturado por la especie “Chillihua” los resultados se expresan en tCO₂/año así mismo servirá para la Planificación racional del uso de la Chillihua en el altiplano, que involucren al manejo sostenido de los recursos naturales como una medida de mitigación a los efectos del cambio climático en la Región Puno. Bajo estas consideraciones, los objetivos planteados fueron:

- Determinar la densidad de matas de Chillihua (*Festuca dolichophylla*) de los pastizales del CIP Illpa.
- Medir la producción de biomasa de la Chillihua.

- Determinar el contenido de carbono almacenado en la biomasa de las hojas, tallos y raíces de la Chillihua.
- Estimar la captura de dióxido de carbono (CO_2) por la biomasa de la Chillihua para el periodo de estudio.



II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Antecedentes de la Investigación

Flores (2016), en la tesis “Estimación del servicio ambiental de captura de CO₂ en totorales de la Reserva Nacional del Titicaca-Puno (Perú)” encontró que la especie totora *Schoenoplectus totora* Nessel Meyer Kunth es la más abundante y frecuente, utilizando el método del poder calórico, donde indica que la biomasa de la totora contiene 11.75 tC/ha en promedio, El contenido de carbono “C” promedio en el suelo de la RNT es de 169.82 tC/ha. y además con una captura de dióxido de carbono (CO₂) promedio fue de 43.07 tCO₂/ha.

Zapana (2016), en la tesis “Carbono almacenado en la biomasa aérea de los queñuales (*Polylepis spp.*) en el bosque de Motoni-San Cayetano ubicado en el distrito de Pucará-Región Puno” cuantifico el contenido promedio de biomasa 27.72 t/ha y el contenido de carbono almacenado promedio de 16.38 tC/ha, también obtuvo una fracción de carbono promedio de 59.5% de su biomasa aérea.

Yamallel *et al.* (2014) estimaron el contenido de carbono en el matorral espinoso y en tres pastizales abandonados con un tiempo de abandono de 10, 20 y 30 años, para la estimación del contenido de carbono utilizó un diseño de muestreo sistemático, en cada área se realizó cuatro sitios de muestreo cuadrangulares de 1.600 m², el sistema que resulto con el valor mayor de contenido de carbono fue el matorral primario con 14.25 tC/ha, seguidos por los pastizales de 30, 20 y 10 años con 8.03, 7.33 y 4.13 tC/ha respectivamente, concluyendo que recuperar el estado inicial del matorral primario tomará muchos años, tal como se puede apreciar con el sistema pastizal de 30 años que alcanza sólo un 56% de lo que se tenía en reservas del matorral primario.

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” determinaron que la mayor captura de carbono en la biomasa aérea del bosque la tuvo el Eucalypto 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 boque. Logrando una captura de 2.12, 4.21 y 4.58 t de C/ha/año para Eucalypto, Pino y Ciprés respectivamente. Obtuvieron una captura de dióxido de carbono (CO₂) total

para el Eucalypto 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), en la tesis “Captura de carbono (CO₂) por la vegetación arbustiva añahuaya (*Adesmia miraflorensis* Remy), CIP ILLPA – Puno, determino 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 tCO₂/ha, y en el sitio denso fue 17.06 tCO₂/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 tCO₂/ha.

Medrano, Chupan y Vila (2012), evaluaron en su investigación sobre “Almacenamiento de carbono en especies predominantes de flora en el lago Chinchaycocha” en Junín (Perú), el estudio se hizo en tres ecosistemas dentro del humedal: bofedal, pajonal y totoral. El procedimiento estaba basado en la recolección de muestras dividida en: biomasa aérea, biomasa radicular y muestras de suelo, hallándose el contenido de carbono que fue: 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.

Palomino (2007), en la tesis “Estimación del servicio ambiental de captura del CO₂ en la flora de los Humedades de Puerto Viejo” Lima, cuantificando la cantidad de carbono almacenado por la parte aérea y raíz de la biomasa donde determinó 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 tCO₂/ha, seguido por el junco (*Scirpus americanus* Pers) con 40.6 tCO₂/ha, la grama salada (*Paspalum vaginatum* Swartz) con 40.4 tCO₂/ha y la salicornia (*Salicornia fruticosa* Linneo) tiene la menos captura con 12.1 tCO₂/ha, estas especies presentan un alto valor artesanal, de allí la importancia de estas especies en la captura de CO₂, y el almacenaje del carbono es directamente proporcional a la captura de CO₂. Por el contrario de realizarse prácticas de quema o deforestación de estas especies se emitirían concentraciones de dióxido de carbono a la atmósfera.

2.2 Descripción de “Chillihua” (*Festuca dolichophylla* Presl)

2.2.1 Características morfológicas de la planta

Fernandez, *et al.* (1992), describe la raíz es adventicia fasciculada, fibrosa y profunda, tallos floríferos son sobre salientes a los tallos vegetativos, hojas de 10-35 cm de largo, láminas delgadas ligeramente planas con inflorescencia de panícula angosta de 10 a 16 cm de largo; espiguilla multiflora de 9 a 10 mm de largo; lemma de 6 a 7 mm de largo ligeramente aristada o acuminada. Glumas agudas más cortas que la lemma; desiguales, la inferior 4 mm de largo, 1 nervada; la superior mayor a 5.5 mm de largo, 3 nervadas, y la propagación se propaga por semilla botánica y vegetativamente. Los chillihuas son intensivamente utilizados para pastoreo con diferentes especies animales, vacunos, alpacas, ovinos y llamas. Por lo tanto, Genin y Alzérreca (2006), define que el crecimiento en macollo y semicompacto de esta especie, de su relativa abundancia y calidad media se presta para corte y conservación para época seca.

2.2.2 Hábitat

Pajonal de puna, suelos profundos, algo húmedo con pH neutro, en suelos de textura mediana y pesada. Se ubica también al borde de camellones de waru waru.

2.2.3 Usos

Buen forraje para el ganado, se emplea para la confección de escobas, soguillas y también en construcciones rurales.

2.2.4 ubicación taxonómica

Fernández, *et al.* (1992), describe taxonómicamente:

Reino: Vegetal

Sub. Reino: Phanerogamae

División: Angiospermae

Clase: Monocotyledoneae

Sub. Clase: Commelinidae

Orden: Poales

Familia: Poaceae

Subfamilia: Pooideae

Tribu: Festuceae

Género: Festuca

Especie: *Festuca dolichophylla* Presl.

Nombre común: “Chillihua”, “Chilliwa”, “Ccoya”
“Ichu-Chillihua”

2.3 Pradera nativa “Chillihua”

La pradera nativa dominada por la especie *Festuca dolichophylla* Presl, es conocido comúnmente como “Chillihua”, produce forraje de buena calidad para el ganado. Por ello son intensamente utilizados para el pastoreo de diferentes especies de ganado; razón por la cual se encuentran disminuidas en composición florística y vigor.

2.3.1 Distribución y superficie

Las praderas de “Chillihua” se encuentran distribuidas en forma discontinua en el altiplano, ocupan principalmente zonas de relieve plana, planicie angosta ondulada, se desarrollan en suelos profundos, de textura franco-arcilloso estacionalmente húmedos, de permeabilidad moderadamente lenta y ligeramente ácido a neutro.

En el altiplano norte ocupan una extensión estimada de 229,781 hectáreas y en la zona sur ocupa una superficie estimada de 12,008 hectáreas. Por lo general esta pradera se localiza en las zonas de vida bosque húmedo montano y páramo muy húmedo subalpino entre los 3830 y 4600 metros de altitud.

a. Composición botánica

En esta pradera predominan *Festuca dolichophylla* junto con *Muhlenbergia fastigiata*, la primera de las cuales representa el estrato alto y la segunda el estrato bajo, que forman la asociación vegetal *Festucetum-Muhlenbergietum*. Entre las especies sub dominantes de esta pradera destacan: *Carex ecuatorica*, *Distichlis humilis*, *Trifolium amabile*, *Alchemilla pinnata*, *Hypochoeris taraxacoides*, *Calamagrostis spp.* *Poa spp.*, entre los principales.

b. Valor pastoril y capacidad receptiva

El valor pastoril indica la calidad relativa de la composición florística. Las praderas de "Chillihua" son de mayor potencial forrajero para el pastoreo complementario de vacunos y ovinos, por presentar mayor cobertura de especies deseables, que producen forraje de buen valor nutritivo (6.5-7.5% de proteína cruda). La capacidad receptiva óptima de estas praderas en la zona sur de Puno es de 2.0 UO/ha, y hacia el norte de Puno de 3.0 UO/ha, llegando hasta 4.0 UO/ha como en Chuquibambilla.

La especie *Festuca dolichophylla* (chillihua) es una gramínea perenne de múltiples usos, por su crecimiento amacollado alto se presta para corte y conservación en forma de heno para la época seca, se emplea como materia prima para la confección de soguillas, esteras, escoba, para molde de queso y también en el techado de casas de los agricultores. La preferencia del ganado, en orden, es la siguiente: vacuno, equino, ovino y alpacas.

La presencia de *Festuca dolichophylla* indica un suelo profundo de pH neutro y por su resistencia a bajas temperaturas hace que sea apetecible aún en los meses de la época seca, sin embargo, su valor nutricional decrece enormemente a medida que la "chillihua" madura (Ruiz y Tapia, 1987).

c. Medición de la producción de materia seca

Espinoza y Astorga (1998), en Chuquibambilla, evaluaron la disponibilidad de materia seca del pastizal "Chillihua" (*Festuca dolichophylla*) bajo exclusión de pastoreo durante cinco campañas de 1981-82 a 1985-86, encontraron una disponibilidad anual de 2381 kg/ha como promedio de cinco campañas, este resultado se muestra en la tabla 1. Donde se puede apreciar que en 1981-82 el promedio anual de materia seca disponible en este pastizal fue de 2900 kg/ha, con un rango de distribución comprendido entre 2223 kg/ha para la cosecha de enero a 3729 kg/ha para la cosecha de noviembre.

Durante la campaña 1982-83 se registró menor disponibilidad forrajera de 1001 kg/ha/año, esta baja producción habría estado influenciada por la temperatura ambiental y la precipitación concentrada en sólo 4 meses en lugar de 5 meses en los años posteriores.

Para las campañas 1983-84, 1984-85 y 1985-86 se reporta disponibilidad anual de 2072, 3139, y 2791 kg/ha de materia seca respectivamente. Estas mayores producciones estarían relacionadas con la mayor cantidad y mejor distribución de las precipitaciones a través de la campaña, donde las especies *Festuca dolichophylla*, *Muhlenbergia fastigiata*, *Poa sp* y *Carex ecuadorica* permanecen más o menos estables a través de todas las cosechas anuales. En este pastizal, la especie dominante *Festuca dolichophylla* aporta el 64% (1516.8 kg.MS/ha) a la producción forrajera total, las otras especies componentes importantes son: *Muhlenbergia fastigiata* (11.99%), *Poa gymnantha* (8.1%), *Carex ecuadorica* (7.67%), *Calamagrostis antoniana* (2.04%), *Poa gilgiana* (1.93%), y el resto de especies representa fracciones menores a 1%.

Lipa, F. (2003), en cinco localidades de Puno, en dos cortes de “chillihua” encontró una producción de materia seca de 3866 kg/ha en época lluviosa y 2624 kg/ha en época seca.

Estos resultados evidencian, que las variaciones que se producen a través del año en la producción primaria de los pastizales naturales en el altiplano norte de Puno, están influenciadas por las precipitaciones y por la temperatura, se debe continuar profundizando el estudio de los efectos de los principales elementos climáticos y de manejo en el crecimiento, producción y calidad de los pastos en la zona del altiplano.

Tabla 1. Disponibilidad mensual y anual de materia seca (kg/ha) en el pastizal “chillihua” (*Festuca dolichophylla*) bajo exclusión de pastoreo, en Chuquibambilla entre 1981- 82 a 1985-86.

MESES	1981-82	1982-83	1983-84	1984-85	1985-86	PROMEDIO
DICIEMBRE	2521.40	1394.40	2014.80	2955.00	2943.40	2365.80
ENERO	2222.80	1339.20	2227.60	3136.80	2545.20	2294.32
FEBRERO	2446.80	1347.20	1939.40	3049.40	3066.80	2369.92
MARZO	2858.60	1227.00	2050.00	3232.00	3142.00	2501.92
ABRIL	2344.80	1471.20	1913.00	3064.00	2448.20	2248.24
MAYO	2383.00	1657.40	2007.40	3204.60	3137.20	2477.92
JUNIO	2512.10	661.20	2037.40	3263.00	2575.20	2209.78
JULIO	3277.40	637.20	2220.60	3164.60	2548.60	2369.68
AGOSTO	2807.60	556.40	2050.80	3151.00	3211.20	2355.40
SETIEMBRE	3921.80	546.60	2102.40	3102.80	2960.40	2526.80
OCTUBRE	3778.80	646.60	2084.60	3256.80	2135.00	2380.36
NOVIEMBRE	3729.00	522.40	2210.80	3093.20	2780.20	2467.12
PROMEDIO	2900.34	1000.57	2071.57	3139.43	2791.12	2380.61

Fuente: Espinoza y Astorga, 1998.

Espinoza y Astorga (1998), en pradera “chillihua” excluida de pastoreo encontraron mayor producción de materia seca en la estación de verano (diciembre a marzo) con una tasa de $5.3 \text{ kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$, en otoño el crecimiento disminuye ligeramente, en invierno disminuye considerablemente, luego en primavera el crecimiento aumentó con una tasa de $2.3 \text{ kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$, siendo la producción primaria anual de 1301 kg/ha con una tasa promedio de $3.56 \text{ kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$. En la tabla 2 muestra estos resultados.

Tabla 2. Producción estacional y anual de materia seca (MS) del pastizal “Chillihua” en Chuquibambilla Puno.

Estaciones del año	Producción de MS kg/ha	Días de crecimiento	Crecimiento MS kg/ha/día
Verano(Dic-Mar)	635.80	120	5.30
Otoño (Abr-Jun)	331.30	90	3.68
Invierno (Jul-Ago)	125.90	60	2.09
Primavera (Set-Nov)	208.00	91	2.30
Total	1301.00	360	3.56

Fuente: Espinoza y Astorga, 1998; citado por Choque, 2015.

2.4 Pastizales naturales

Tapia y Flores (1984), indican que los pastizales naturales son áreas cubiertas por una vegetación herbácea con predominancia de gramíneas, ciperáceas, asteráceas y rosáceas que varían en su composición fundamentalmente por la humedad del suelo, exposición y características edafológicas como textura y contenido de materia orgánica.

Florez y Bryant (1989), señalan que los pastos rebrotan y crecen de acuerdo al inicio de lluvias, época en que el ganado come ávidamente los pastos, alterando mucho su ciclo vegetativo; el rebrote continuo a veces hasta el fin del mes de abril; a partir de mayo, si no hay fuertes heladas, el pasto entra en período de agotamiento por falta de humedad bajando mucho su palatabilidad, durante los meses de junio y agosto se presenta fuertes heladas y el pasto se seca definitivamente.

2.4.1 Clasificación de pastizales naturales

Tapia (1975), en los pastizales del altiplano de Puno ha identificado las siguientes clases de pastizales naturales:

- a. Pastizales de Chillihua, con predominancia de especies como *Festuca dolichophylla* y *Muhlenbergia fastigiata*.
- b. Pastizales de crespillo, con predominancia de especies del género *Calamagrotis* entre las que se destaca *Calamagrotis vicunarum*.
- c. Pastizales de ichu, con la especie dominante *Stipa ichu*.
- d. Pastizales de iru ichu, la especie dominante es la *Festuca ortophylla*.
- e. Pastizales de tisña, pastizal de ladera dominado por la especie *Stipa obtusa*.
- f. Césped de Puna, donde los pastos más frecuentes son *Scirpus rigidus* y *Alchemilla erodiifolia*.
- g. Oqhonales, con las especies dominantes *Distichia muscoides* y *Liliaeopsis andina*.
- h. Bosquesillos de queñua.
- i. Pastizales invadidos por especies anuales.
- j. Pastizales invadidos por canlli (*Margiricarpus pinnatus*).
- k. Pastizales invadidos por garbancillo (*Astragalus garbancillo*).

Huisa (1996), realizó una clasificación en base a las especies dominantes, las cuales dan las diferentes formaciones vegetales o asociaciones vegetales, de acuerdo a los nombres utilizados por los criadores de cada zona se tiene:

- a. Pastizales de zonas secas (poccoy pastos); para el pastoreo o utilización durante la época de lluvias.
 - Chillihuar (*Festuca dolichophylla*, *Muhlenbergia fastigiata*).
 - Ichal (*Festuca ortophylla*).
 - Ichal (*Festuca rigida*).
 - Llama ichu (*Calamagrotis amoena*).
 - Yurac ichu (*Festuca dichoclada*).
 - Tisña (*Stipa obtusa* – *Stipa ichu*).
 - Crespillo (*Calamagrotis vicuniarum*).
 - Coya, puna chilligua (*Festuca milliur*).
 - Tolar (*Parastrephya diplostephium*).
 - Pastizal invadido por canlli (*Margiricarpus pinnatus*).
- b. Pastizales de zonas húmedas (Chillihua pasto). Formaciones vegetales de las zonas húmedas, para utilizar durante la época de seca.
 - Chillihua ojho (*Festuca dolichophylla*-*Plantago tubulosa*).
 - Puna ojho, kunkuna (*Distichia muscoides*-*Plantago rigida*).
 - Kulli ojho, taruca pasto (*Oxychloe andina*).
 - Totorilla (*Scirpus rigidus*).
 - Puna ichu, crespillo (*Calamagrotis sp.*).

2.4.2 Evaluación de la producción primaria de pastizales

Florez y Malpartida (1987), señalan que la evaluación de pastizales es la base para tener una idea clara a cerca de los recursos del pastizal y su adecuado manejo, con la finalidad de conservar la condición presente.

Paladines (1992); citado por Choque (2010), menciona que medir la producción primaria significa determinar cuantitativamente la cantidad de forraje que una hectárea de pastizal produce en la unidad de tiempo. La cantidad de forraje puede expresarse como forraje fresco (húmedo, tal cual está al momento de la estimación) o como materia seca (MS) luego de extraerle el agua. Las dos formas de expresión indican la misma cualidad de

producción. Se prefiere la expresión de producción a base de materia seca, porque: a) el agua contenida en el forraje nada aporta a su valor alimenticio; y b) el contenido de agua fluctúa rápidamente a través del día o entre días, a lo largo del año. Así, en un día de intenso sol, un pastizal puede contener 84% de agua en las primeras horas de la mañana y reducir su contenido a 78%, por la tarde; así mismo, puede bajar de 84% en la época de lluvia a 72% en la época seca. El agua, en este contexto actúa como un factor de dilución de los nutrientes contenidos en el forraje.

La hectárea es agrónomicamente la unidad preferida de producción sobre otras de difusión local, principalmente porque corresponde a una expresión de la escala decimal (10.000 veces un metro cuadrado). La unidad de tiempo en la cual se mide el rendimiento de un pastizal, es más variable y depende del objetivo de la medida. Las expresiones de la producción en un día, se emplean para indicar la velocidad de crecimiento, en tanto que se usa una estación del año y acumulado anual, para expresar la cantidad de forraje disponible durante un tiempo determinado. Estas expresiones son de las formas:

Crecimiento : Kg. MS/ha/día

Producción : Kg. MS/ha/invierno o verano

Kg. MS/ha/año

Astorga (1987), menciona que los métodos utilizados para estimar la disponibilidad forrajera en pastizales, es más preciso y objetivo el “método de la cosecha”, que además de generar información de la cantidad total de forraje producido permite determinar la proporción con que contribuye cada especie a este total, permitiendo tomar decisiones más adecuadas respecto a la forma de uso del pastizal.

Paladines (1992); citado por Choque (2010), indica que el método de “corte en parcela cuadrada y separación manual por peso” es el más preciso y objetivo para estimar la disponibilidad forrajera en las praderas, para medir producción primaria estacional y anual de las praderas, y para conocer el aporte de cada especie de pasto a la producción total de la pradera. También permite evaluar cambios de producción de forraje en la pradera por irregularidades del clima, y para estimar la capacidad de carga animal teórica de pastoreo. Las desventajas son alto costo y la laboriosidad de separación manual de cada especie de pastos y hierbas.

Las parcelas cuadradas de corte dependen del tipo de pradera nativa. Para muestrear praderas de gramíneas y pasturas cultivadas el tamaño del cuadrante metálico es de 0.25m^2 ($0.50 \times 0.50 \text{ m}$). Para muestrear vegetación estepa arbustiva se utiliza cuadrantes de 1m^2 ($1\text{m} \times 1\text{m}$).

2.5 Parámetros de la vegetación de praderas naturales

La vegetación de las praderas naturales posee numerosos atributos y características, que de acuerdo al interés que se tenga puede ser parámetros cuantitativos o cualitativos. Por ejemplo, para la tipificación de asociaciones agrostológicas en los pastizales naturales se necesita conocer la superficie, composición botánica, producción de biomasa y la condición en que se encuentra cada asociación. Estos parámetros o variables tienen una o varias metodologías para medirlos o evaluarlos, estas medidas toman tiempo y son costosas, (Heady, H.F. 1971; Astorga, J. 1987; Choque, J. 2001).

- a. **Parámetros cuantitativos:** son variables que se expresan en datos numéricos o aspectos que se pueden contar, pesar o sujeta a medida. Por ejemplo, número bovinos en pastoreo, peso vivo del ganado, peso de materia verde, densidad de plantas, altura de planta, composición botánica y otros.
- b. **Parámetros cualitativos:** son aquellas características o variables que expresan distintas cualidades, atributos, aspectos de las praderas que se está evaluando, se expresa mediante una clasificación o ponderación siguiendo una escala establecida de la variable estudiado. Por ejemplo, especie de ganado (bovinos, ovinos, alpacas), erosión del suelo (leve, moderado o severo), condición de la pradera (buena, regular o pobre), tipo de inflorescencia de gramíneas (espiga, panícula y racimo), caracteres morfológicos de los pastos (formas de raíz, tallo, y hojas).

Los principales parámetros biométricos que se pueden estudiarse en las praderas naturales de la región alto andina del Perú son: altura, vigor, supervivencia, composición botánica, frecuencia, densidad, cobertura foliar, cobertura basal, peso de biomasa, tasa de crecimiento y producción primaria de pasturas cultivadas, tasa de crecimiento y producción primaria de praderas nativas.

2.5.1 Altura de pastos

La altura es uno de los principales parámetros que se miden en una especie de pasto, hierba o de un arbusto en las praderas nativas.

La altura se mide para conocer la variación del crecimiento en tamaño de las especies de pastos en respuesta a los factores climáticos, edáficos, así como para determinar el vigor y estructura de la vegetación antes del pastoreo de la pradera. En cada línea de recorrido la altura se mide de 10 o más especies de pastos al azar según el plan de muestreo.

La altura de pastos herbáceos (gramíneas): se mide desde el nivel del suelo hasta la parte de los tallos donde se inicia la inserción de las inflorescencias, usando una regla o una barrilla de metálica graduada en cm.

La altura de hierbas cortos: es aquel promedio de longitud del follaje de cada hierba, medida con una regla desde el ras del suelo hasta el nivel modal de las hojas o foliolos.

Altura de arbustos: los arbustos en pie, se le mide la longitud perpendicular al suelo, existente entre la base de un arbusto hasta la parte de las ramas terminales del mismo.

2.5.2 Densidad

La densidad expresa el número promedio de plantas de cada especie encontradas en un área de pradera. En gramíneas y leguminosas que tienen crecimiento amacollado, es el número de matas de cada especie por unidad de área muestreada.

La densidad es expresada en cantidades numéricas por unidad de superficie, pero en ciertos estudios de especies tóxicas, plantas espinosas invasoras los resultados pueden expresarse en términos de abundancia.

La densidad es un parámetro que permite conocer la cantidad de plantas de una especie o de una clase de plantas (especies deseables, poco deseables e indeseables), cantidad de plantas tóxicas, plantas anuales o invasoras. También permite conocer la dinámica de poblaciones (diferenciando entre plantas jóvenes, adultas y viejas o entre plantas grandes, medianas y pequeños)

Los métodos para estimar la densidad o el número de plantas son: “Medida de la distancia entre un punto y una planta”, “conteo de plantas en parcela cuadrada” y “conteo de plantas en parcela lineal”.

La densidad (D) por metro cuadrado (m²) de especies de pastos nativos, se calcula con la fórmula siguiente:

$$\frac{D}{m^2} = \frac{\text{Número de individuos de una especie}}{\text{Unidad de área}}$$

2.6 Cambio climático

La Convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático (CMNUCC, 1992) en su artículo 1, define el cambio climático como un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables. Mientras que el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2007) define el término denotando un cambio en el estado del clima de manera identificable como una variación estadística importante en el estado medio del clima o en su variabilidad, que persiste durante un período prolongado, generalmente en decenios o incluso en más.

2.6.1 Causas del cambio climático

El IPCC (2007), menciona que las causas del cambio climático se deberían a la variación de las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) y aerosoles en la atmósfera, y las variaciones de la cubierta terrestre y de la radiación solar, alteran el equilibrio energético del sistema climático.

La mayor parte del aumento observado del promedio mundial de temperatura desde mediados del siglo XX se debe muy probablemente al aumento de las concentraciones de GEI antropogénicos. Es probable que se haya experimentado un calentamiento antropogénico apreciable en los últimos cincuenta años, en promedio para cada continente (exceptuada la región antártica). Es así que el calentamiento antropogénico de los tres últimos decenios ha ejercido probablemente una influencia discernible a escala mundial sobre los cambios observados en numerosos sistemas físicos y biológicos (IPCC, 2007).

2.6.2 Efectos del cambio climático

(CMNUCC, 1992), indica en términos generales los elementos biológicos y no biológicos de la Tierra se ven afectados por la variabilidad climática y por el cambio de clima, sin embargo, en este trabajo hace referencia a los cambios en la biodiversidad, los principales mecanismos de afectación del cambio climático sobre la diversidad biológica se pueden resumir así:

- El calentamiento global altera los equilibrios hidrológicos a nivel local y regional, modificando la disponibilidad y predecibilidad de las lluvias y los reservorios de agua, tanto superficial como subterránea, afectando tanto la flora como la fauna. Algunas zonas del planeta tienden a volverse más secas, otras más húmedas, alterando patrones migratorios de especies, patrones reproductivos, etc. Igualmente, cambios en la disponibilidad del agua pueden favorecer a unas especies sobre otras, generando ventajas evolutivas que antes no existían, todo esto en un lapso muy corto de tiempo.
- Altera los patrones de distribución de las comunidades bióticas, altitudinal y latitudinalmente. En la medida en que se calienta el planeta, los trópicos se tornan cada vez más pluviosos, húmedos, y el cinturón ecuatorial más amplio, aumentando la distribución de la fauna y flora tropicales hacia las zonas templadas. En otras zonas, debido a alteraciones de la circulación atmosférica, se amplían desiertos como el Sahara.
- El calentamiento incrementa la evaporación de cuerpos de agua, contribuyendo a su desecación. Muchas especies acuáticas endémicas pueden desaparecer como consecuencia de la desaparición de su hábitat. Por ejemplo, esto está próximo a ocurrir en el mar Aral. Igualmente, los cambios en la química del agua, debido a modificaciones en la concentración de diversas moléculas, afectan el metabolismo de innumerables organismos y a su vez sus posibilidades de supervivencia.
- Los cambios de temperatura y pluviosidad alteran la dinámica (compactación, aireación, etc.) de los suelos, y por lo tanto las reacciones químicas que regulan los ciclos de la mayoría de moléculas químicas relacionadas con la vida, especialmente del nitrógeno. Estos cambios a su vez tienen un impacto desconocido en la biota del suelo.

- En general, cambios drásticos de las condiciones en que se desarrollan los ecosistemas impiden a las comunidades bióticas ajustarse, y por tanto tiende a producirse un colapso general antes que un cambio paulatino. No se sabe cuál es el límite cualitativo en que sucede este fenómeno, pero una vez iniciado, puede considerarse irreversible.

2.6.3 Cambio climático en 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).

2.6.4 Gases de efecto invernadero

La energía solar se irradia a la Tierra (superficie terrestre y atmosfera) en longitudes de ondas cortas. Solo una tercera parte de la energía solar que alcanza la zona superior de la atmósfera terrestre se refleja directamente de nuevo al espacio, los dos restantes terceras partes son absorbidas por la superficie y en menor magnitud por la atmósfera. La Tierra es mucho más fría e irradia la energía en longitudes de onda más largas. La mayor parte de la energía emitida es absorbida y re-emitida a la tierra, impidiendo que se produzca un enfriamiento progresivo de la Tierra. Esto es lo que se denomina efecto invernadero. El efecto invernadero de la Tierra calienta la superficie del planeta, Sin el efecto invernadero natural, el calor emitido por el planeta se disiparía en el espacio produciendo temperaturas extremadamente bajas en la Tierra. El Vapor por agua en su mayoría, el dióxido de

carbono y otros gases de efecto invernadero absorben la radiación e impiden que la energía pase directamente de la superficie de la tierra al espacio. (IPCC, 2007).

Al aumentar la capacidad de la atmosfera de absorber la radiación por la adición de más gases de efecto invernadero, estos afectan la forma en que el clima mantiene el equilibrio entre la energía incidente e irradiada. De modo que, al aumentar la concentración de gases de invernadero, se incrementa la cantidad de calor atrapado en la atmósfera, dando origen a que se eleve la temperatura superficial del planeta. Por sus altas emisiones, el CO₂ cobra gran relevancia debido a actividades como la combustión de combustibles fósiles, deforestación de bosques, entre otras actividades industriales. También vale añadir que es un gas de larga permanencia, ya que permanece activo en la atmosfera durante mucho tiempo. (Carvajal, 2010).

Tabla 3. Los seis principales gases de efecto invernadero

GEI	Descripción
Dióxido de Carbono (CO ₂)	Es un gas liberado como producto de la combustión de combustibles de combustibles fósiles, algunos de procesos industriales y cambios en el manejo de los diversos usos del suelo.
Metano (CH ₄)	Es un gas emitido en la minería de carbón, rellenos sanitarios, ganadería y extracción de gas y petróleo.
Óxido Nitroso (N ₂ O)	Es un gas producido durante la elaboración de fertilizantes y en la combustión de combustibles fósiles.
Hidrofluorocarbonados (HFC)	Se emiten en algunos procesos industriales y se los usa con frecuencia en refrigeración y equipos de aire acondicionado.
Perfluorocarbonados (PFC)	Desarrollados e introducidos como una alternativa para reemplazar algunos gases que destruían la capa de ozono, estos gases son emitidos en una variedad de procesos industriales.
Hexafluoruro de azufre (SF ₆)	Es emitido durante la producción de magnesio y se aplica en algunos equipos eléctricos y líneas de transmisión.

Fuente: IPCC 2001.

2.6.5 Acciones de coordinación internacional

Actualmente existe gran preocupación a escala mundial, por el aumento acelerado de la concentración de algunos gases conocidos como de efecto invernadero (GEI), considerados los causantes del cambio climático, principalmente el dióxido de carbono

(CO₂). El cual está perfectamente demostrada su relación con la vegetación, especialmente por la capacidad de ésta de fijar grandes cantidades de carbono (C) atmosférico, y por el papel que juega al ser la segunda fuente emisora de CO₂ (después de la quema de combustibles fósiles - petróleo, carbón mineral y gas natural) debido a los procesos de industrialización y destrucción de grandes áreas de bosque por cambios en el uso de la tierra (Brown *et al.*, 1986; Ludevid, 1998).

En torno a esta problemática se ha generado en la última década, una interesante corriente en términos de coordinación en acciones internacionales. Una de estas primeras iniciativas la constituyo el Protocolo de Montreal en 1987, el cual se orientó al control de sustancias como los clorofluorcarbonados (CFC) y halo-clorofluorcarbonados (HCFC). Posteriormente, se estableció en 1988 el Panel Intergubernamental en Cambio Climático, (IPCC) como una iniciativa de las Naciones Unidas y la Organización Mundial de Meteorología, que conllevó a la creación del comité Internacional de Negociaciones de las Naciones Unidas en Cambio Climático. Después de un año, 155 países firmaron (en condición voluntaria) la Convención Marco de Cambio Climático (CMCC) en la cumbre de Río de 1992, que contempló el compromiso de los países desarrollados de estabilizar las emisiones de GEI, y de aquellos en desarrollo de facilitar la reducción de emisiones de los desarrollados y de propender por un control de las propias, apoyados con estrategias de financiación y transferencia de tecnología desde aquellos (Orrego *et al.*, 1998; citado por Simbaña, 2001).

2.7 Captura de carbono

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/CODESOL, 2003).

Además, es importante considerar el potencial que tiene los pastizales erosionados y sobrepastoreados para la captura de carbono que forma parte de los GEI que causa el

calentamiento de la Tierra (cambio climático). Los pastos erosionados y poco productivos, manejados sosteniblemente posibilitan el incremento en más de 1% al contenido de materia orgánica del suelo en 10 años.

La materia orgánica y humus es la forma de almacenamiento de carbono en el suelo y se concentra en los primeros 25 cm de profundidad del suelo. La capacidad de almacenamiento de carbono del suelo es infinita por ello se considera que el suelo es el mejor componente de almacenamiento para el carbono (CIDIAG, 2001).

2.7.1 Proceso bioquímico de la fijación y emisión de carbono en las plantas

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

Según Hoen y Solberg (1994), la producción forestal influye en el flujo del C, en forma de CO_2 , desde y hacia la atmósfera por dos procesos, la fijación (asimilación) y la emisión. El primero representa el incremento en biomasa en árboles vivos mediante la fotosíntesis, mientras el segundo representa la descomposición de la biomasa como una consecuencia de la mortalidad natural o la explotación relacionada con el hombre y los usos finales.

A través de la fotosíntesis, las plantas capturan CO_2 de la atmósfera, fijando C en la biomasa y liberando oxígeno (O_2) (Ortiz, 1997). La síntesis de la materia orgánica (MO) a través de la fotosíntesis por las plantas verdes en un ecosistema es llamada producción primaria del ecosistema. La suma total MO producida por el mismo proceso es llamada producción bruta (Pb). Las plantas consumen una parte de lo fotosintetizado en la Respiración (r), el resto es incorporado a la planta y llamado producción neta (Pn), así (Satoo y Madgwick, 1982):

$$Pn = Pb - r$$

2.7.2 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.

2.7.3 Métodos de estimación de carbono en la biomasa forestal

a. Estimación del dióxido de carbono (CO₂)

Existen varios métodos para estimar 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

b. Estimación del contenido de carbono (C)

Método de Walkley y Black (1934)

La materia orgánica es oxidada con una mezcla de K_2CrO_7 más H_2SO_4 . La dilución concentrada se calienta con H_2SO_4 y K_2CrO_7 es la fuente exclusiva de calor. El exceso de K_2CrO_7 es determinado 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, tal como se muestra a continuación (Kalra y Maynard, 1991):

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

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

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

Método del poder calórico

Este método se basa en la cantidad de energía que requiere una planta para fijar un mol de carbono, método de Eduarte y Segura (1998), utilizado por Cubero y Rojas (1999); IIAP (2006) y por Simbaña (2011). El método para determinar la fracción de carbono en la biomasa está basado 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 ASTM (1973), 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.

Conociendo el calor de combustión y tomando la referencia de Hipkis (1984); citado por Segura (1997), con respecto a la energía requerida por las plantas en el proceso de fotosíntesis ($\Delta G = 4.8 \times 10^5 \text{ J mol}^{-1}$) para poder fijar en moléculas orgánicas un mol de carbono tiene como base la fisiología.

De los diferentes métodos para la estimación de carbono, se concuerda con la apreciación de Simbaña (2011), quien deduce que el método calorimétrico para la estimación de la cantidad de carbono en la biomasa es el más preciso, ya que no trabaja bajo ningún supuesto y el cálculo se basa en la cantidad de energía que requiere una planta para fijar un mol de carbono aproximadamente.

2.7.4 Tasa de fijación de carbono en la vegetación

El programa Regional de desarrollo científico y tecnológico de la Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos (1977), menciona que el mecanismo fotosintético, o proceso mediante el cual los organismos autótrofos utilizan la energía radiante visible proveniente del sol, para síntesis de compuestos orgánicos de alto contenido energético, constituye la base fundamental, para el desarrollo de toda la diversidad biológica de nuestro planeta. Mediante este proceso se fija anualmente 698.9×10^{18} cal, de las cuales 426.1×10^{18} corresponde a la superficie terrestre y el resto a la superficie oceánica. El consumo energético total del mundo en 1970 fue 47.8×10^{18} cal, o sea, cerca del 7 % de la fijación fotosintética de la tierra.

Las plantaciones, principalmente de *Eucalyptus sp*, *Tectona grandis*, *Pinus sp.*, entre otras tienen un potencial de fijación que oscila entre 2.7 y 9.6 t C/ha/año (Brown, *et al.*, 1986); asimismo, Ramírez, *et al.* (1997), determinaron una tasa de fijación de 7.7 t C/ha/año en plantaciones forestales en Costa Rica. En registros para bosques tropicales maduros se tienen tasas de 0.71 ± 0.34 t C/ha/año (Phillips, *et al.*, 1998), y 5.9 t C/ha/año (Malhi *et al.*, 1998, citados por Lopera y Gutiérrez, 2000) cerca de Manaos en la amazonia

Brasileña. Ortiz (1997), encontró que en bosques secundarios de Costa Rica se ha producido después de 20 años una tasa media de fijación en la biomasa aérea de 3.76 t C/ha/año.

Por otro lado, Fundación Chile (2001), citado por Simbaña (2011), menciona que el crecimiento medio anual de un bosque nativo es de 3 m³/ha, mientras que el pino insigne tiene 24 m³/ha y el eucalipto 30 m³/ha. Asimismo, presenta el contenido de carbono de algunas especies de importancia comercial; Coigue 270 kg/m³, Eucalipto 325 kg/m³, Pino Insigne 215 kg/m³ y Roble 260 kg/m³.

2.7.5 Bonos de carbono

Se denominan bonos de carbono a las Reducciones Certificadas de Emisiones de Gases Efecto Invernadero o CERs, por su sigla en inglés Certified Emission Reductions. El CER es la unidad que corresponde a una tonelada métrica de dióxido de carbono equivalente. Los CERs se generan en la etapa de ejecución del proyecto; y se extienden una vez acreditada dicha reducción. Son créditos que se transan en el mercado del carbono. (PROCHILE, 2012).

Para cumplir con sus metas de reducción de emisiones, los países desarrollados pueden financiar proyectos de captura o abatimiento de estos gases en otras naciones principalmente en vías de desarrollo, acreditando tales disminuciones como si hubiesen sido hechas en territorio propio, abaratando significativamente los costos de cumplimiento.

Ello significa que una empresa peruana que disminuya sus emisiones de CO₂, de manera VOLUNTARIA, puede vender esta reducción a empresas de países desarrollados que estén obligadas a bajar sus emisiones de GEI generando beneficios tanto económicos como ambientales. El mercado de carbono se viene desarrollando a nivel mundial desde 1996, pero sólo en los últimos años adquirió mayor fuerza. Durante el año 2002, se estimaron transacciones cercanas a 70 millones de toneladas, en tanto que durante el año 2006, dentro del Mecanismo de Desarrollo Limpio, se transaron bonos equivalentes a 522 millones de toneladas. (PROCHILE, 2012).

2.7.6 Mercado de los bonos de carbono

El mercado del carbono es un sistema de comercio a través del cual los gobiernos, empresas o individuos pueden vender o adquirir reducciones de gases efecto invernadero. Se creó a partir de la necesidad de cumplir con el Protocolo de Kioto. Existen dos criterios dentro de este mercado: El primero indica que no interesa en que parte del mundo se reduzcan las emisiones de Gases Efecto Invernadero, el efecto global es el mismo. Esto permite las transacciones entre países distantes entre sí. El segundo criterio sostiene que, ambientalmente lo importante no es el tiempo en que se reducen, sino que realmente se reduzcan; indicando así que el resultado de reducir emisiones hoy o en unos años más es el mismo. El Mercado tiene dos tipos de transacciones que son:

- Transacciones basadas en Proyectos: Se transan reducciones cuantificables de un proyecto. Dentro de este tipo de transacciones funciona la Implementación Conjunta (IC) y el Mecanismo de desarrollo Limpio (MDL).
- Comercio de Derechos de Emisión: Se transan derechos de emisión creados y asignados. Los cuales determinan un límite de emisiones para una determinada empresa o entidad (representan cantidades de emisión que se pueden liberar sin incurrir en una falta legal). El emisor genera menos emisiones de lo permitido, dejando un margen de permisos de emisión (o derechos de emisión) que pueden ser vendidos a entidades, que por razones diversas, no consiguieron emitir menos del límite establecido (PROCHILE, 2012).

En los últimos 10 años, las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) cubiertas en los mercados internacionales de carbono se ha multiplicado por tres. En 2016, alrededor de 40 jurisdicciones nacionales y más de 20 ciudades, estados y regiones, entre las que se incluyen siete de las 10 economías más grandes del mundo, han impuesto un precio a las emisiones de carbono. En concreto, siete gigatoneladas de dióxido de carbono equivalente (GtCO_2e) o alrededor de un 13 % de las emisiones globales de GEI pagan actualmente un precio del carbono. El rango de precios de la tonelada de CO_2e es amplio entre las distintas iniciativas existentes. En este sentido, varía de menos de 1 $\$/\text{tCO}_2$ hasta 131 $\$/\text{tCO}_2$, con alrededor de tres cuartas partes de las emisiones cubiertas en los mercados globales por debajo de los 10 $\$/\text{tCO}_2$.¹

¹ Banco Mundial, 2016. Situación y tendencias de los precios de carbono. Ecofys y Vivid Economics

Tabla 4. Valor de mercado y precios de bonos de carbono

Mercado	Precios Pagados (US\$/tCO ₂) ¹	Precios Pagados (US\$/tCO ₂) ²
MDL (Mercado primario)	4	11.6 - 16
MDL (Mercado secundario)	-	22 - 24
NSW GGAS (Australia)	11.3	-
Chicago Climate Exchange (CCX)	3.3	22 - 35
Mercado Voluntario (reforestación)	0.5 - 45	-
Mercado Voluntario (deforestación evitada)	10 - 18	-

Fuente: ¹Sarria, P. 2007. El mercado de carbono. EcoSecurities Group PLC

²Carbon Positive, 2008. CER market report.

2.7.7 Ciclo del carbono

El ciclo del carbono es un proceso biogeoquímico en el que el carbono se intercambia entre la atmósfera, la litosfera y la hidrosfera de la tierra. En la atmósfera se encuentra presente en forma de CO₂, en hidrosfera en forma de H₂CO₃ y en la litosfera en forma carbonatada como petróleo y carbón, comienza su ciclo cuando las plantas o algas toman el dióxido de carbono en su proceso de fotosíntesis y es liberado mediante la respiración y descomposición de los seres vivos, erupciones volcánicas, las industrias etc (FAO, 1996).

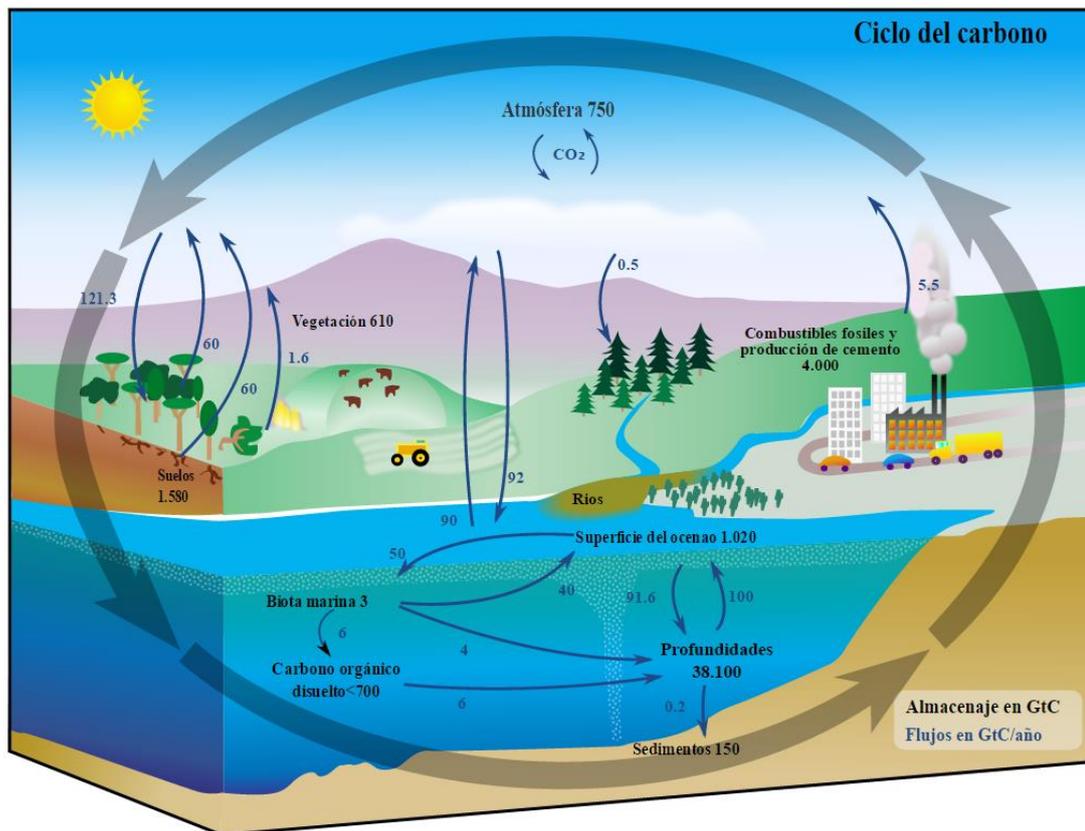


Figura 1. Ciclo global del carbono en la actualidad (Almacenaje GtC/año y flujo GtC)
Fuente: NASA 2014 citado por (Gardi et al, 2014)

2.8 Dióxido de carbono (CO₂) y su rol en el cambio climático

Este gas imprescindible para la vida, forma parte de un intercambio permanente entre los seres vivos y la atmósfera, permite mantener la temperatura dentro de un rango habitable. Sin embargo, la mano del hombre ha ocasionado un desajuste de este equilibrio, las emisiones de dióxido de carbono por los gases de combustión han permitido acrecentar el efecto invernadero, lo que provoca un incremento del calentamiento global.

En los últimos 800 años el dióxido de carbono ha aumentado en un 40% desde la era preindustrial esto se debe a las emisiones derivadas de los combustibles fósiles como también las emisiones netas derivadas del cambio de uso del suelo. La concentración de dióxido de carbono en el año 2011 era de 391 ppm y en la actualidad ya superó los 400 ppm el máximo histórico sigue subiendo año tras año, producto de la acción antropogénica (IPCC, 2013)

Las emisiones de gases de efecto invernadero han seguido aumentando entre el año 2000 y el 2010 a un ritmo y una tasa más rápida que en los últimos 30 años hasta el año 2000 la tendencia de crecimiento era 1.3% por año, mientras que después de ese periodo

aumento la tendencia en un 2.2% al año. Estas emisiones derivan un 35% sector energético, un 24% agricultura bosques y otros usos de tierra, 21% de las industrias, 14% de transportes y un 6% sector de la construcción (IPCC, 2014)

2.8.1 Captura de CO₂ por los vegetales

Las plantas superiores adquieren el dióxido de carbono atmosférico por difusión a través de pequeñísimos poros de las hojas conocidas como estomas y es transportado a los sitios donde se lleva a cabo la fotosíntesis, cierta cantidad de este CO₂ regresa a la atmósfera, pero la cantidad que se fija y se convierte en carbohidratos durante la fotosíntesis, se conoce como producción primaria bruta (Jaramillo, 2004).

2.9 Ecosistemas forestales y su contribución ante el efecto invernadero

Los ecosistemas forestales se reconocen mundialmente como sumideros de carbono aun cuando se encuentren bajo aprovechamiento maderable, por lo que es importante demostrar sus beneficios cuantitativamente.

Una vez que el dióxido de carbono atmosférico es incorporado a los procesos metabólicos de las plantas mediante la fotosíntesis, éste participa en la composición de materias primas como la glucosa, para formar todas las estructuras necesarias para que el árbol pueda desarrollarse (follaje, ramas, raíces y tronco). El árbol al crecer va incrementado su follaje, ramas, flores, frutos, yemas de crecimiento (que en su conjunto conforman la copa), así como altura y grosor del tronco. La copa necesita espacio para recibir energía solar sobre las hojas dando lugar a una competencia entre las copas de los árboles por la energía solar, originando a su vez un dosel cerrado. Los componentes de la copa aportan materia orgánica al suelo, misma que al degradarse se incorpora paulatinamente y da origen al humus estable que, a su vez, aporta nuevamente CO₂ al entorno (Ordóñez, 1998 y 1999).

2.10 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).

2.10.1 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 utilizarán diferentes números de árboles muestra, normalmente varía entre 20 y 40 árboles, eligiéndose alrededor de 5 por parcela medida. Para zonas amplias, se eligen cerca de 30 árboles, pero si se requieren 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, separadas por una distancia de 60 m.

Russo (1983); citado por Cuartas (1993), mostró que 30 árboles distribuidos en un rango diamétrico fueron suficientes para construir una tabla de pesos. En un bosque inundable de la amazonia, Cuartas (1993), utilizó una muestra de 155 individuos (132 árboles y 23 palmeras) para construir curvas de biomasa aérea. Según Young (1979); citados por, Lopera y Gutiérrez (2000), para obtener datos de biomasa que proporcionen una buena regresión lineal se requiere una muestra con un número mínimo de 30 individuos por especie. Gómez y Zapata (1990), seleccionaron 22 árboles, representados en 9 especies en la región del Guindal, Colombia para tal propósito.

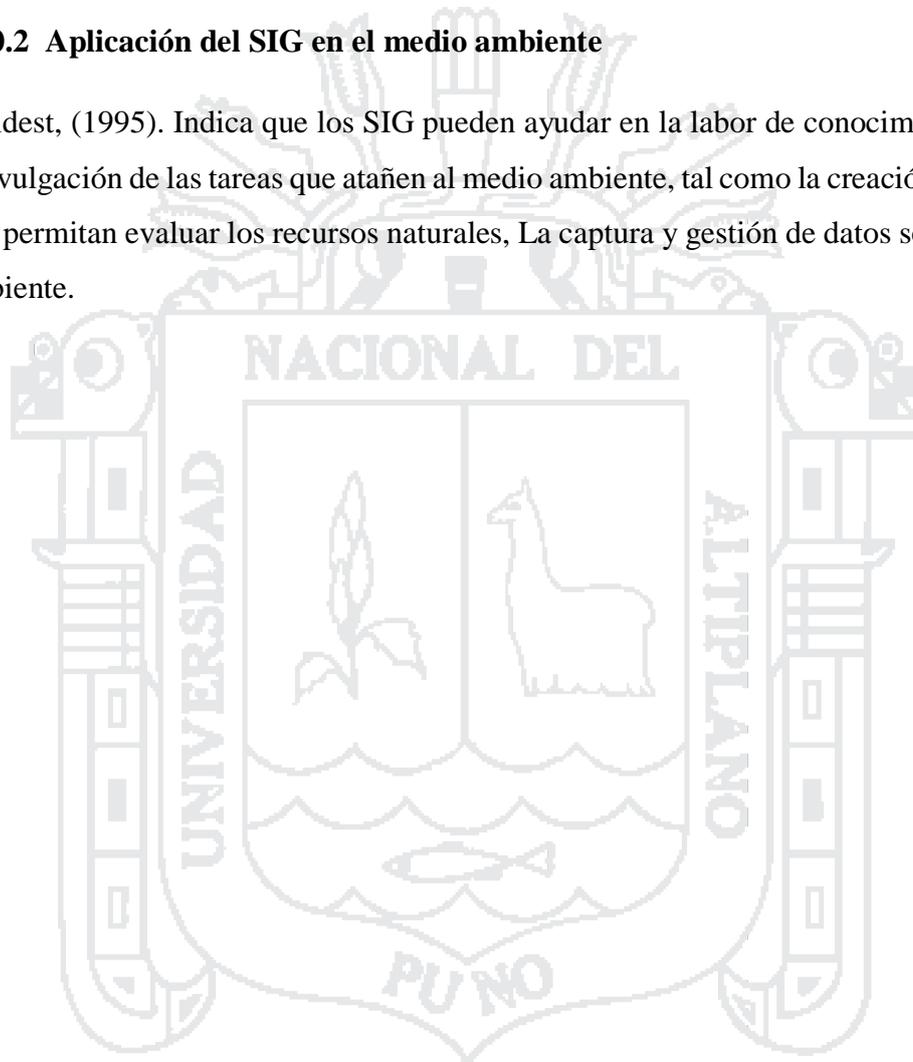
Por otro lado, Brown y Lugo (1984), demostraron que las determinaciones directas de biomasa hechas en algunos estudios ecológicos, con pocas parcelas, usualmente producen altos estimativos de biomasa por unidad. Otro problema al usar datos de distribución al azar, es el sesgo que se produce cuando se escogen árboles de grandes diámetros; al respecto los mismos autores afirman que las tendencias ecologistas ajustan la colocación de las parcelas de estudio de tal forma que incluyen grandes árboles, sobreestimando la biomasa del bosque, pues la biomasa por árbol incrementa geométricamente con el incremento del diámetro.

En nuestro país, Gamarra (2001), para estimar la biomasa aérea en plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill, realizó un levantamiento total de sitios cuadrados concéntricos de 625 m², con una intensidad de muestreo de 2 %. Lapeyre (2003), en su estudio de determinación de las reservas de carbono de la biomasa aérea en diferentes

sistemas de uso de la tierra en San Martín, determino el número de muestras de cada uno de los sistemas con un coeficiente de variación del 30% para sistemas boscosos y 20 % para sistemas agrícolas y el 20 % de error de muestra, con parcelas rectangulares de 100 m² (4 m x 25 m) para árboles comprendidos en diámetros de 2.5 y 30 cm. DAP y de 500 m² (5 m x 100 m) para árboles mayores a 30 cm DAP.

2.10.2 Aplicación del SIG en el medio ambiente

Moldest, (1995). Indica 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 y gestión de datos sobre el medio ambiente.



III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Características del lugar de estudio

3.1.1 Ubicación

La parte experimental del presente trabajo se efectuó en dos sitios del CIP ILLPA de la Universidad Nacional del Altiplano ubicado en el departamento de Puno, distrito de Paucarcolla, el sur oeste de la ciudad de Puno, a una altitud de 3,850 m.s.n.m.

a. Ubicación política

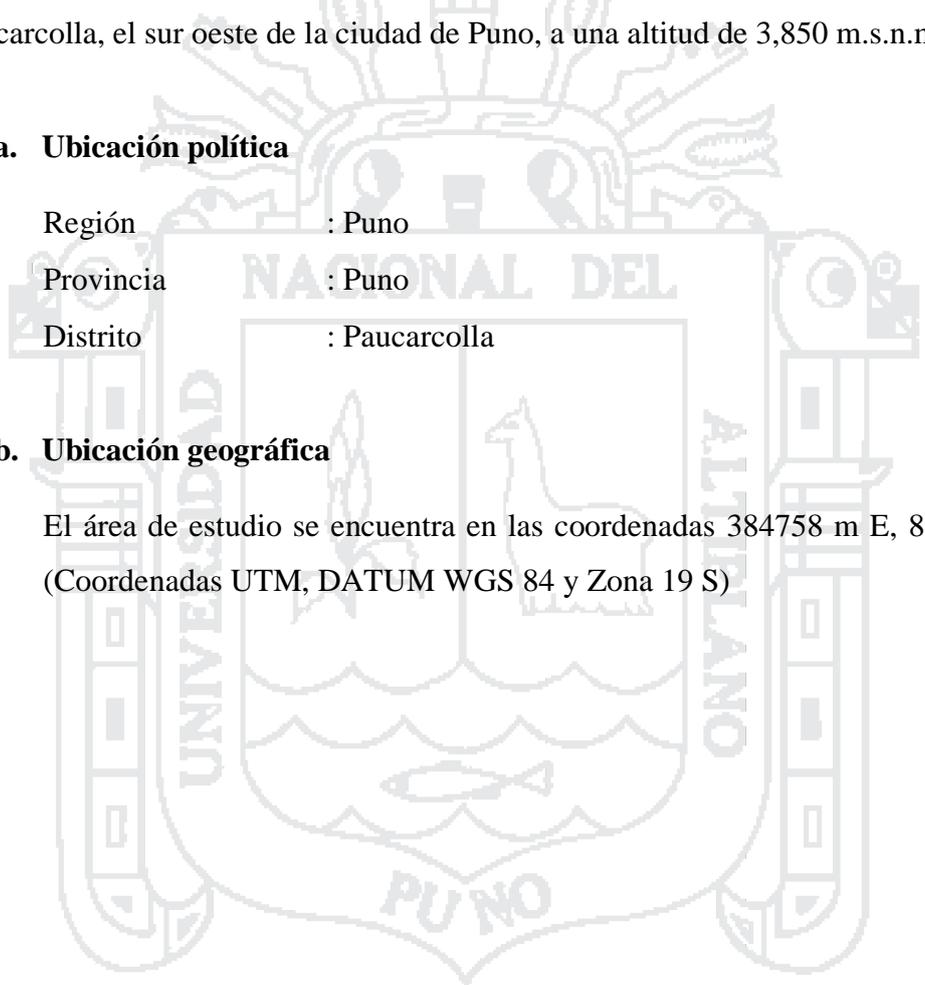
Región : Puno

Provincia : Puno

Distrito : Paucarcolla

b. Ubicación geográfica

El área de estudio se encuentra en las coordenadas 384758 m E, 8262692 m S
(Coordenadas UTM, DATUM WGS 84 y Zona 19 S)



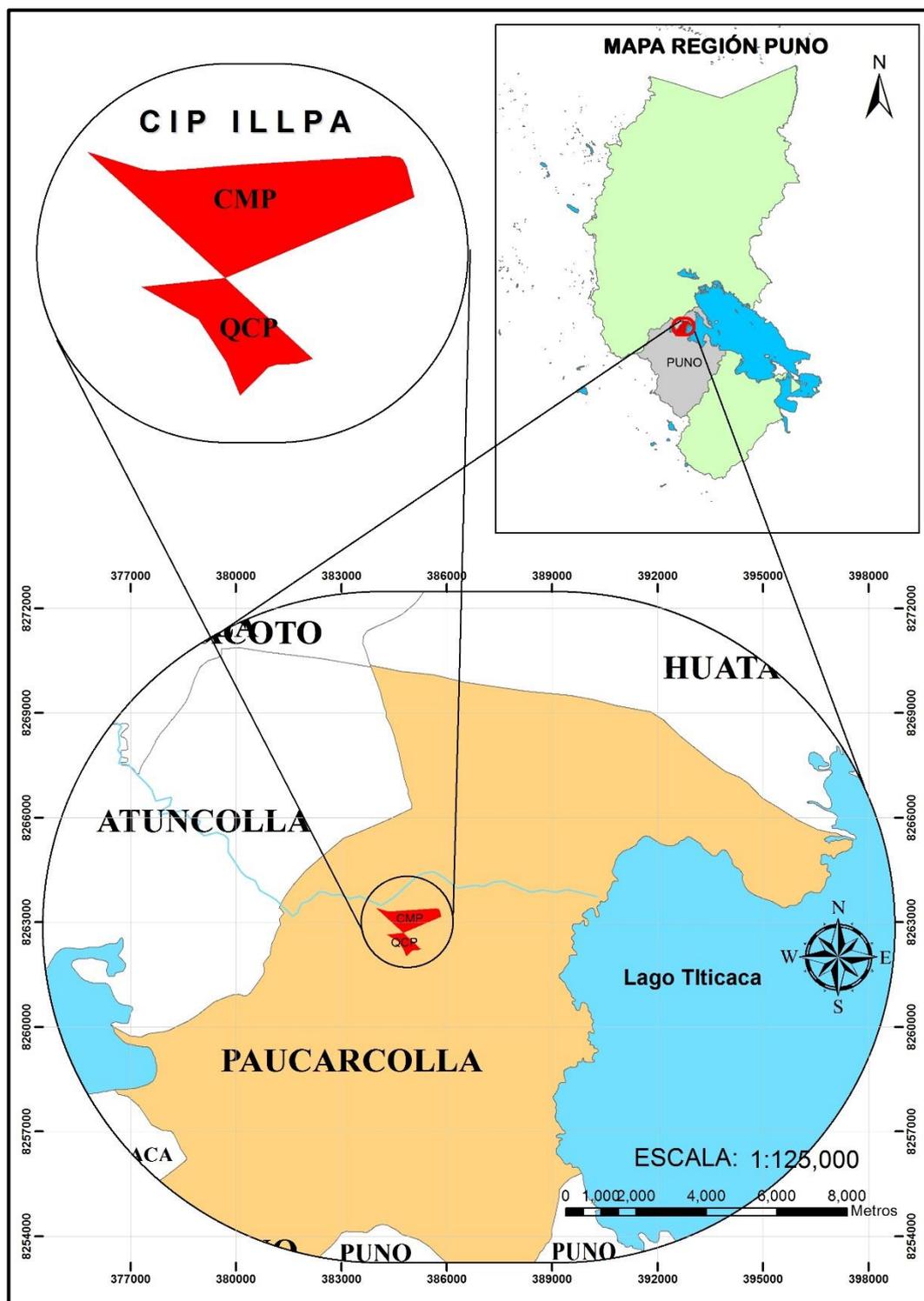


Figura 2. Ubicación del área de estudio

3.1.2 Extensión de tierras

El 29 de abril de 1987, el fundo ILLPA con un área supuesta de 447 hectáreas fue entregado por el Ministerio de Agricultura de la Región Agraria XXI-Puno a la Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ciencias Agrarias, a través de un acta

suscrita por las autoridades de ambas instituciones. En setiembre de 1993 la Dirección Agraria de Puno del Ministerio de Agricultura otorga el documento de Cesión de Uso a la UNA-PUNO mediante la Resolución Directoral N° 0138-93-DRA-PMT. Con un área real de 420 hectáreas.

3.1.3 Ecología

Ecológicamente el área del CIP ILLPA, se encuentra en la región ecológica Suni, zona de vida Bosque Húmedo Montano Sub-tropical (bh-Ms), la cual está comprendida entre los 3 815 a 4 000 msnm, además se caracteriza por presentar temperaturas de 6 °C a 12 °C, con una precipitación anual de 700 mm, y una humedad relativa baja, que dan un clima frío y seco en forma general (ONERN, 1965; citado por Ttimpo, 2010). Asimismo, en la clasificación de las Ecorregiones Naturales del Perú propuesto por Brack (2010), el CIP ILLPA se localiza en la ecorregión Puna y los altos andes, la cual está comprendida desde los 3 800 a 5 200 msnm y se caracteriza por presentar temperaturas debajo de los 6 °C por las noches y 30 °C por el día, con una precipitación de 700mm anuales, con veranos (diciembre-marzo) lluviosos e inviernos (junio - agosto) secos y con heladas nocturnas continuas.

En sitio Quello Circa Pampa determino la calidad agrostologica del suelo de pradera nativa de Chillihua, donde indica que los suelos de esta pradera son de perfil profundo de formación lacustre aluvial, textura franco arcillo limoso, drenaje moderado y reacción moderadamente ácida. Presenta relieve mayormente plano y pendiente entre 1 y 2%, con erosión del suelo moderado, no hay predegosidad, tiene una buena cobertura de pastos nativos, (Choque, 2015)

3.1.4 Información meteorológica

Con los registros climatológicos de la Estación Meteorológica ILLPA - 472E4156, Latitud 15°41'0'' y Longitud 70°5'0'', del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) ubicada en el distrito de Paucarcolla- Puno; durante el año 2016 (tabla 5 y figura 3); respecto a la temperatura, la mayor temperatura máxima se registró en el mes de noviembre con 22.08 °C, la menor temperatura mínima se registró en el mes de junio con -5.11 °C, mientras que la mayor temperatura media se registró en el mes de noviembre con 11.67 °C. Para la precipitación el mes más lluvioso durante el año 2016 fue febrero con 124.10 mm y el mes con menor precipitación fue mayo, el promedio mensual de precipitación del año fue 38.17 mm. La precipitación total fue de 458.05 mm.

Tabla 5. Datos meteorológicos registrados. Temperaturas (mínimas, máximas y media), precipitación Pluvial, año 2016. Estación ILLPA - 472E4156, Latitud 15°41'0'' y Longitud 70° 5' 0''.

Meses	Temperatura (° C)			Precipitación Pluvial
	Máxima	Mínima	media	
Enero	17.49	3.90	10.70	61.10
Febrero	16.12	5.89	11.00	124.10
Marzo	17.83	1.93	9.88	49.90
Abril	16.22	1.55	8.88	69.10
Mayo	16.84	-3.58	6.63	0.45
Junio	15.84	-5.11	5.37	0.80
Julio	15.67	-4.66	5.50	4.90
Agosto	16.54	-4.12	6.21	2.30
Setiembre	17.14	-1.88	7.63	7.60
Octubre	16.98	1.15	9.07	46.10
Noviembre	22.08	1.27	11.67	47.10
Diciembre	17.61	2.91	10.26	44.60
Promedio	17.20	-0.06	8.57	38.17
Total				458.05

Fuente: Elaboración propia a partir de datos diarios del SENAMHI Puno, 2016.

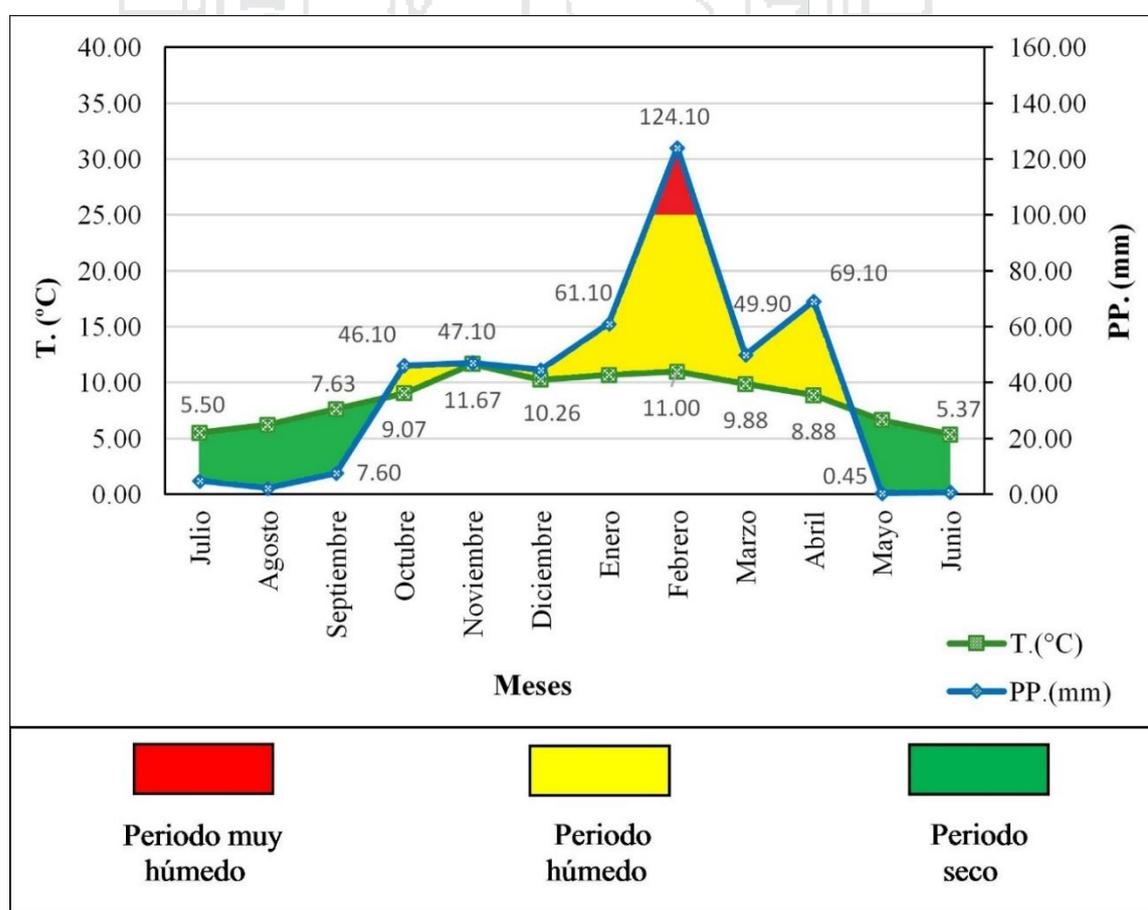


Figura 3. Climadiagrama temperaturas medias y precipitación año 2016.

Los datos climáticos de 14 años fueron obtenidos del Boletín Regional SENAMHI Puno (1994-2008), mostrando la siguiente información (Tabla 6 y figura 4): respecto a la temperatura, la mayor temperatura máxima se registró en el mes de noviembre con 18.2 °C, la menor temperatura mínima se dio en el mes de julio con -2.8 °C, mientras que la mayor temperatura media se registró en el mes de noviembre y diciembre con 10.6 °C. Para la precipitación el mes más lluvioso fue enero con 148.3 mm y los meses con menor precipitación fueron junio y julio, el promedio anual de precipitación de 14 años fue 54.0 mm. La precipitación total fue de 648.5 mm; (citado por Palao, 2014).

Tabla 6. Datos meteorológicos registrados. Temperaturas (mínimas, máximas y media), precipitación pluvial. Promedio de 14 años: 1994 -2008.

Meses	Temperatura (° C)			Precipitación Pluvial
	Máxima	Mínima	media	
Julio	15.4	-2.8	6.3	1.8
Agosto	16.3	-1.6	7.4	6.7
Setiembre	17.4	0.2	8.8	16.1
Octubre	18	2	10	30.7
Noviembre	18.2	2.9	10.6	51.1
Diciembre	17.4	3.8	10.6	95.6
Enero	15.8	4.3	10	148.3
Febrero	15.3	4.3	9.8	143.3
Marzo	15.4	3.7	9.6	109
Abril	15.9	1.9	8.9	37.9
Mayo	16.2	-0.7	7.7	6.7
Junio	15.3	-2.5	6.4	1.3
Promedio	16.4	1.3	8.8	54.0
Total				648.5

Fuente: Boletín Regional SENAMHI Puno, 2012.

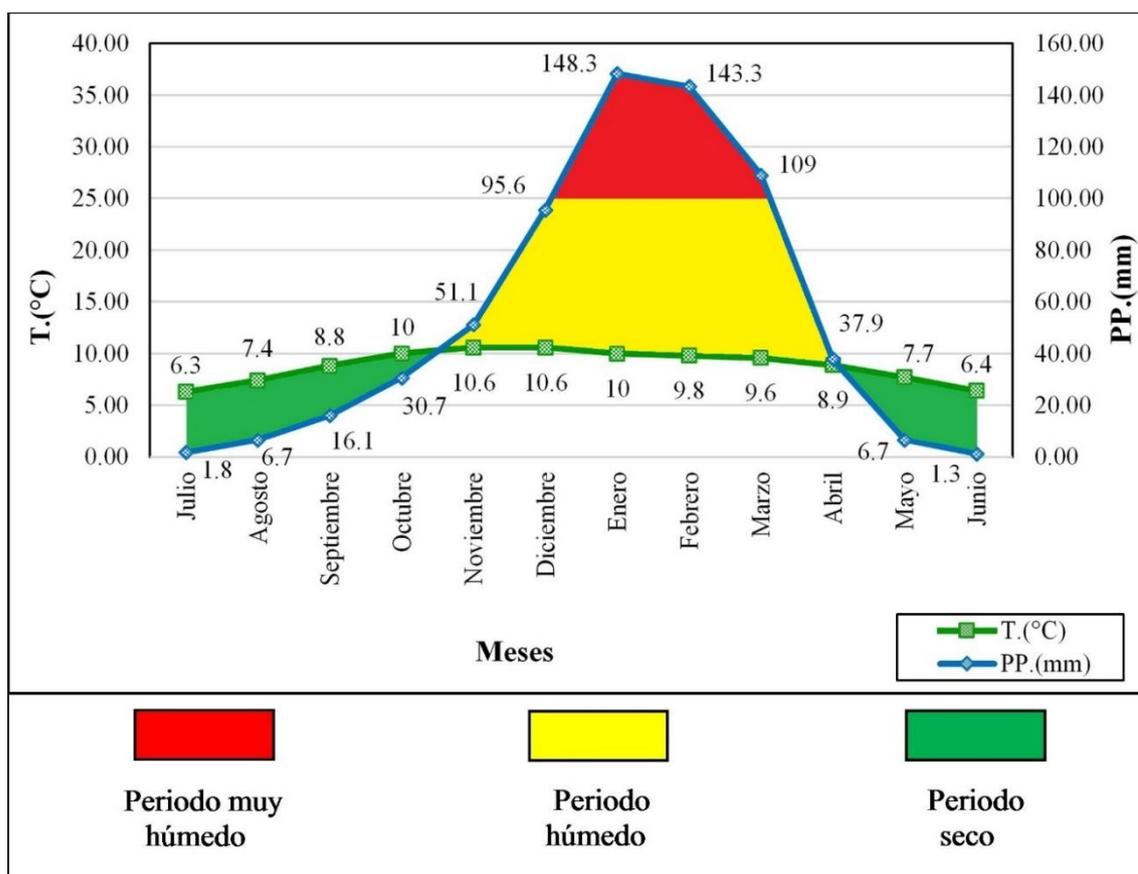


Figura 4. Climadiagrama promedio de 14 años: 1994-2008.

Los datos climatológicos durante los meses de 2016, comparados con la normal (promedio de 14 años: 1994-2008), existe diferencias en precipitación en los meses más lluvios /enero-febrero), donde se observa que la precipitación en el año 2016 hubo disminución en enero y febrero, estas anomalías probablemente se deban al efecto del calentamiento global, el cual últimamente viene afectando al planeta. En cuanto a temperatura hay una variación menor con respecto a la normal de 14 años.

3.2 Metodología

3.2.1 Duración del experimento

Fecha de inicio : Agosto del 2016

Fecha de finalización : Enero del 2017

3.2.2 Elección del área de estudio

Las áreas de estudio fueron:

Pastizal de Chillihua, que ocupa el sitio denominado “Chijji Mocco Pampa” con coordenadas UTM 384922 m E, 8263078 m S, de fisiografía plana adyacente a la carretera a Sillustani, del CIP ILLPA, donde se desarrolla la asociación *Festuchetum-Muhlenbergietum*, el cual tiene como especie dominante al pastizal “Chillihua” (*Festuca dolichophylla*). La asociación se encuentra en el piso altitudinal montano a 3820 msnm, ocupa un sitio de relieve plano poco ondulado, con una pendiente ligera de 2 a 3%, perteneciendo a la serie de suelos Titicaca (Atamari, 1992; citado por Ttimpo, 2010). Además, el sitio “Chijji Mocco Pampa” cubre una extensión de 69.97 ha, los que fueron utilizados para la investigación.

Ocupa el sitio denominado “Quello Circa Pampa” con coordenadas UTM 384733 m E, 8262517 m S, de fisiografía plana, donde se desarrolla la asociación *Muhlenbergietum-Festuchetum*, con presencia de dos especies perennes dominantes *Muhlenbergia fastigiata* y *Festuca dolichophylla*. La asociación se encuentra en el piso altitudinal montano a 3824 msnm; ocupa una fisiografía de relieve plano, poco ondulado, con una pendiente de 3 a 4%, perteneciendo a suelos de la serie Titicaca (Atamari, 1992; citado por Ttimpo, 2010). Cubre una extensión total de 35.63 ha, los que fueron utilizados para la presente investigación.

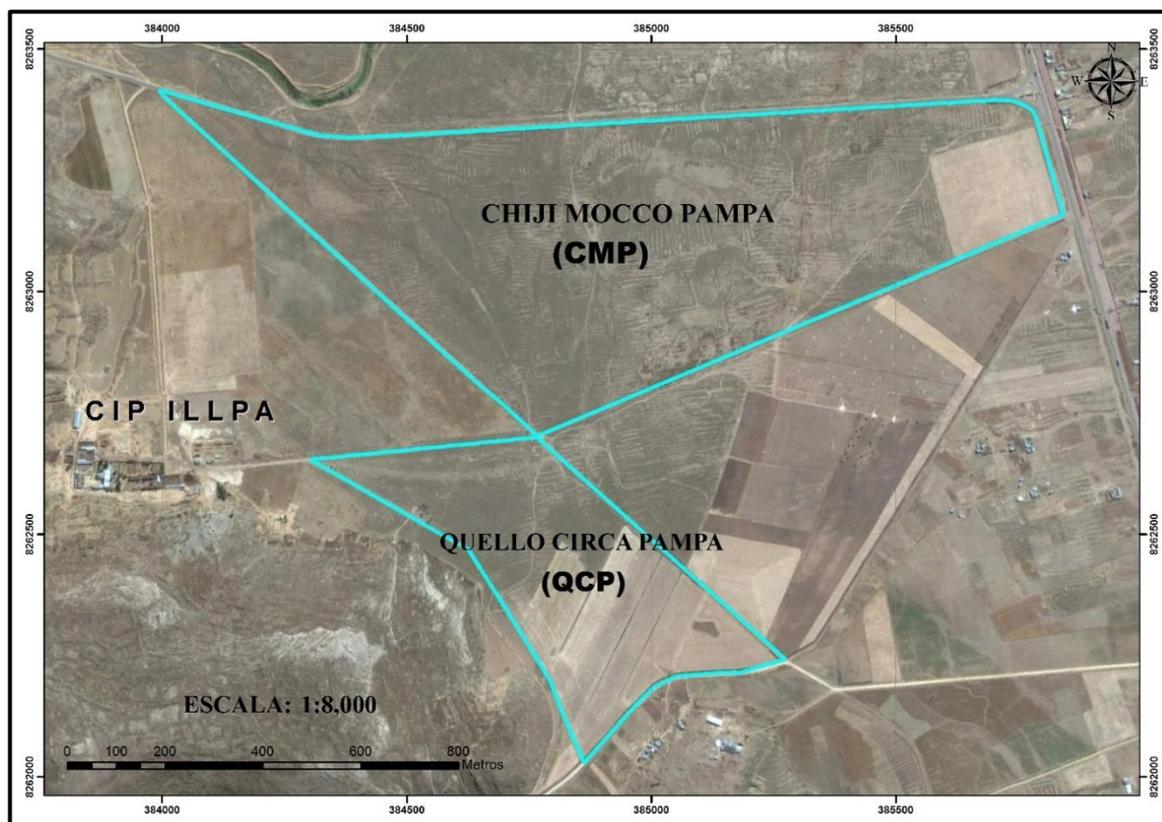


Figura 5. Área de estudio

3.2.3 Estimación del número de unidades de muestreo

Para el muestreo de Chillihua de matas grande, mediano y pequeño tamaño; 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 matas grandes, mediano y pequeño, 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:

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

Dónde:

n = Número de unidades de muestreo

t_{α} = Es el valor estadístico de t de Student a una probabilidad dada

(normalmente $\alpha=0.05$)

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

CV = Coeficiente de variación de los datos dados por:

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

3.3 Variables evaluadas

a. Del pastizal Chillihua

- Densidad de matas de Chillihua (*Festuca dolichophylla*) por hectárea.
- Producción de biomasa de Chillihua en t/ha.

b. Del carbono en biomasa

- Carbono almacenado en la biomasa de las hojas, tallos y raíces en la “Chillihua”. expresado en tC/ha.
- Dióxido de carbono captura por la biomasa en la “Chillihua” (*Festuca dolichophylla*), expresado en tCO₂/ha.

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

3.3.1 Densidad del pastizal “Chillihua”

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 del pastizal. El procedimiento realizado se detalla a continuación:

- Se ubicó al azar cuatro parcelas cuadradas de 25 m² representativos dentro del sitio Chijji Mocco Pampa y Quello Circa Pampa del pastizal Chillihua en estudio.
- 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 matas de “Chillihua” (pequeño de 0.01-0.40 m, mediano de 0.41-0.80 m y grande de 0.81 m a más).

- La densidad (D) o el número de matas de “Chillihua” por parcela (m^2), se calculó con la fórmula siguiente:

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

El área promedio que ocupa la Chillihua (A), se calculó dividiendo la suma del área de las parcelas por la suma de las Chillihuas 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 “Chillihua” por hectárea (D/ha), se calculó por medio de siguiente fórmula:

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

3.3.2 Medición de la producción de biomasa

Para la medición de la producción de biomasa verde por hectárea, se utilizó el método “Destructivo”, que consistió en la extracción física de las matas, separación y pesaje de sus componentes, (Paladines, 1992; citado por Choque, 2015).

Cada tamaño de matas identificado dentro de cada cuadrante, se extrajo con la raíz con pico y con ayuda de una hoz se separó tallo y hojas, luego se pesó las hojas, tallo, y raíces por separado.

A continuación, se detallan los pasos seguidos:

- En la superficie interior de cada cuadrante de $0.25 m^2$, se identificó 3 matas de “Chillihua” de tamaño pequeño, mediano y grande para la toma de muestras.
- Cada tamaño de mata identificado en el interior del cuadrante, se extrajo con pico.
- Toda la muestra de biomasa fue cortada con hoz y tijeras de podar, para luego colocarla sobre una manta de plástico, luego se separó manualmente el tallo-inflorescencias, luego las hojas de cada tamaño de Chillihua para pesarla.

- La muestra verde de *Festuca dolichophylla* bien identificada, ya separada entre sus componentes o partes de la planta (hoja y tallo), se pesó con una balanza tipo reloj y se anotó en el registro en kilogramos.
- Las muestras de tallo, se seccionó con tijeras de podar en trozos pequeños de 5-6 cm de longitud.
- La biomasa de las raíces de cada tamaño fue cortada en el interior de cada cuadrante, se evaluó extrayendo con pico, el cual permitió extraer la raíz de la “Chillihua” *Festuca dolichophylla* para pesarlos.
- Secado de muestras: de cada componente se tomó por cuarteo sub-muestras de biomasa aérea verde (200 g) se colocó en una bolsa de polietileno debidamente identificada.
- Estas muestras debidamente rotuladas y embolsadas se llevaron al laboratorio de Pastos y Forrajes de la Universidad Nacional del Altiplano; para el porcentaje de humedad, se evaluó con las muestras en condición verde; donde se obtuvo el peso verde y luego se extrajo el agua libre o agua de capilaridad por secado en la estufa eléctrica por 48 a 72 horas a una temperatura de 65°C hasta alcanzar un peso constante, luego se determinó el porcentaje de materia seca (MS). Para los cálculos se utilizaron las siguientes fórmulas:

$$H(\%) = \frac{\text{Peso materia verde} - \text{Peso materia seca}}{\text{Peso materia verde}} \times 100$$

$$MS(\%) = \frac{\text{Peso materia seca}}{\text{Peso materia verde}} \times 100$$

Para la determinación de la producción total biomasa del pastizal “Chillihua” por hectárea, se sumaron los valores de biomasa seca de las hojas, tallos y raíces de cada tamaño expresándolos en t/ha.

3.3.3 Determinación del contenido de carbono en la Chillihua

La determinación del contenido de carbono, se determinó a través de la fracción de conversión del carbono de la “Chillihua”, tanto de la parte de hoja, tallo y raíz se realizó en el de Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos (LENA) de la Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM), siguiendo el método del poder calórico de Eduarte y Segura (1998). A continuación, se explica el método:

a. Método del poder calórico

El método se basa en la cantidad de energía que requiere una planta para fijar un mol de carbono, método de Eduarte y Segura, (1998). Utilizado por Cubero y Rojas (1999), Palomino (2007), Ticona (2012) y Flores (2016).

Con la utilización de un calorímetro de Parr y siguiendo los procedimientos 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.

Por cada muestra de las partes estudiadas de la “Chillihua”, se preparó muestras promedio de 100 gramos, las cuales se sometieron al método del poder calórico de Eduarte y Segura (1998), se realizó en el de Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos de la Universidad Nacional Agraria la Molina, bajo la siguiente metodología:

Preparación de muestras:

- Una vez secas las muestras, pasan por un molino hasta homogenizar la textura.
- Las muestras son colocadas en bolsas herméticas y etiquetadas.
- Se peletizan las muestras a pastillas de aproximadamente 1g y estas son colocadas en capsulas de metal.

Preparación de la bomba calorimétrica:

Para determinar la cantidad de carbono en las muestras de materia seca de los componentes de la “Chillihua”, se procede primero a estandarizar la bomba calorimétrica.

- Se insertó el hilo metálico de 10 cm ligándolo en los polos y llevando el centro del hilo hacia la muestra.
- Se colocó la muestra más la cápsula de metal en una bomba de metal pesado, en la que se introdujo oxígeno puro a presión (28-30 atm).
- La bomba es sumergida en dos litros de agua con temperatura a ambiente (16°C aprox.).
- El calorímetro indica que la temperatura del recipiente con el contenido de agua, sea homogénea (equilibrio aproximado de 10 minutos). Una vez que suene la alarma, inmediatamente, la muestra se quema por el calentamiento momentáneo del hilo fino de platino (10 cm).

- El incremento de temperatura del agua multiplicado por la capacidad calorífica del agua y de la bomba proporciona una medida del calor producido.
- Una vez determinado el calor producido de la bomba calorimétrica, se realizaron los siguientes cálculos para la fracción de carbono (FrC), método de Eduarte y Segura, (1998), que a continuación se explica en la fórmula:

$$FrC = \frac{Vc \times 4.1868J \times Pm}{4.8 \times 10^5 J \times PM}$$

Dónde:

FrC	=	Fracción de carbono
Vc	=	Valor calórico expresado en kcal/kg
Pm	=	Peso molecular del carbono (12)
4,1868J	=	Factor de conversión de Kcal/kg a Julios
4,8x10 ⁵ J	=	Moles de carbono por J
PM	=	Peso de la muestra inicial

b. Contenido de carbono en la biomasa

Para estimar el contenido de carbono (tC/ha) almacenado en la hoja, tallo y raíz de la “Chillihua” se realizó el siguiente procedimiento, (Eduarte y Segura, 1998), se utilizara la siguiente formula:

$$C = MS \times FC$$

Dónde:

C	=	Contenido de carbono (tC/ha)
MS	=	Materia seca (t/ha)
FC	=	Fracción de carbono

- La materia seca de la hoja, tallo y raíz de “Chillihua” se elevará a tC/ha multiplicándose por la fracción de conversión de carbono estimada en laboratorio para todas las muestras y componentes de la “Chillihua”.
- El contenido de carbono total (tC/ha) que presenta los biomas de la “Chillihua”, se obtendrá sumando el contenido de carbono contenido en la hoja más el tallo más las raíces que presenta la biomasa de la especie *Festuca dolichophylla*.

3.3.4 Cuantificación de dióxido de carbono (CO₂) capturado

Con los datos obtenidos en el cálculo del carbono (tC/ha), (Eduarte y Segura, 1998; utilizado por Flores, 2016), se estimó la captura de dióxido de carbono (CO₂) de un ecosistema de pastizal “Chillihua”. Para ello se utilizó la siguiente fórmula:

$$CO_2 = C \times Kr$$

Dónde:

- CO₂ : Toneladas de dióxido de carbono
- C : Carbono (tC/ha)
- Kr : 44/12 (Factor de conversión de carbono a dióxido de carbono)

- La muestra expresada en tC/ha de cada componente de la “Chillihua” se multiplica por el factor de conversión de carbono a dióxido de carbono por (44/12) y se obtuvo el contenido en tCO₂/ha.
- La captura de dióxido de carbono (tCO₂/ha) de la “Chillihua”, se obtendrá sumando las capturas de dióxido de carbono de las hojas más tallos y raíces.

Para estimar la cantidad total de CO₂ capturado por las matas del pastizal “Chillihua” del CIP Illpa, se realizó lo siguiente:

- Se estimó el área total de que ocupa las matas de “Chillihua” presentes en el CIP Illpa, utilizando imágenes LANDSAT del mes de octubre del año 2016, 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 (tCO₂/ha) de cada componente de “Chillihua”.
- La captura de dióxido de carbono total (tCO₂) de la “Chillihua”, se obtuvo sumando las capturas de dióxido de carbono total de la hoja, tallo y raíces.

3.3.5 Diseño experimental

Para analizar los datos de producción de materia seca de la “Chillihua” se utilizó el diseño completamente al azar en parcelas divididas, con cuatro repeticiones, en parcelas divididas (2 sitios de pastizal en parcela y 3 tamaños de Chillihua en sub parcelas), cuyo esquema del análisis de varianza y modelo aditivo lineal se presenta a continuación:

Tabla 7. Análisis de varianza

Fuentes de variación	Grados de libertad
Sitio (S)	1
Error (sitio)	6
Tamaño de la Chillihua (T)	2
SxT	2
Error (tamaño)	12
TOTAL	23

Modelo aditivo lineal:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_a + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_b;$$

$i = 1, 2$ sitios (Chijji Mocco Pampa y Quello Circa Pampa)

$j = 1, 2, 3$ tamaños de Chillihua (grande, mediano y pequeño)

$k = 1, 2, 3, 4$ repeticiones

Donde:

Y_{ijk} = Es la variable de respuesta

μ = Media de la población

α_i = Efecto del i -ésimo nivel del factor S

ε_a = Error de parcelas

β_j = Efecto del j -ésimo nivel del factor T

$(\alpha\beta)_{ij}$ = Efecto de la interacción del i -ésimo nivel del factor S, con el j -ésimo nivel del factor T

ε_b = Error de subparcelas

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Densidad de matas de la “Chillihua” (*Festuca dolichophylla*)

La densidad de matas de Chillihua en sitios Chijji Mocco Pampa y Quello Circa Pampa, ambos de zona planicie, se observa en la tabla 8; donde en el sitio Chijji Mocco Pampa se encontró una densidad total de 11 100 matas/ha de *Festuca dolichophylla*, de los cuales corresponde a las matas de porte mediano el 39.64%; el 36.94% y 23.42% lo componen los matas grandes y pequeños respectivamente. Mientras en el sitio Quello Circa Pampa hubo una menor densidad de población con 10 200 matas/ha, con 37.25%, 36.27% y 26.47% de matas grandes, medianos y pequeños, respectivamente.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se concluye que la especie “Chillihua” *Festuca dolichophylla* de tamaño mediano es la más abundantes en sitio (CMP), mientras que las matas en (QCP) de tamaño grande son más abundantes, mediano y pequeño presentan la menor densidad de plantas por unidad de superficie dentro del pastizal. Los datos de la densidad proporcionan un elemento esencial para comprender la dinámica de población de la misma especie a través del tiempo, la menor densidad refleja en nivel repoblamiento, (Heady, 1971).

Tabla 8. Densidad de *Festuca dolichophylla* por sitios en CIP Illpa.

Tamaño	Altura Chillihua (m)	Sitios pastizal Chillihua					
		Chiji Mocco Pampa			Quello Circa Pampa		
		N° Matas		%	N° Matas		%
		25 m ²	ha		25 m ²	ha	
Grande	0.81 a +	10.25	4 100	36.94	9.5	3 800	37.25
Mediano	0.41 - 0.80	11	4 400	39.64	9.25	3 700	36.27
Pequeño	0.01 - 0.40	6.5	2 600	23.42	6.75	2 700	26.47
TOTAL			11 100	100.00		10 200	100.00

Analizando los resultados de la tabla 8, encontramos que el sitio Chijji Mocco Pampa presentó una densidad de 900 matas/ha más que el sitio Quello Circa Pampa. Así mismo, considerando el tamaño, las matas medianas y grande tienen el mayor número de plantas tanto en el sitio (CMP) y en el sitio (QCP) respectivamente. La variación en la densidad de matas de “Chillihua” puede ser atribuido al suelo, topografía, pendiente y zona donde se desarrollan las matas.

Por otra parte, la densidad de matas de “Chillihua” del sitio (CMP) clasificado por tamaño y distribuido en rangos de 0.10 m, se muestran en la figura 6 y anexo 1. Donde el mayor número de los individuos pequeños está entre los rangos de 0.31-0.40 m que representa el 10.81% del total; mientras que la mayor cantidad de matas medianos están en el rango de 0.71-0.80 m que representa el 16.22%; y la mayor cantidad de matas grandes están en el rango de 1.11-1.20 m lo que representa el 12.61% del total.

Mientras que el sitio (QCP), reporta que el mayor número de matas pequeños están entre los rangos de 0.31-0.40 m que representa el 27.88%, en las matas medianos el mayor el número de individuos está entre el rango de 0.51-0.60 m que representa el 15.69% y por último, las matas grandes presentan la mayor cantidad de individuos entre el rango de 1.01-1.10 m que representa el 12.75%, tal como se detalla en la figura 6 y anexo 2.

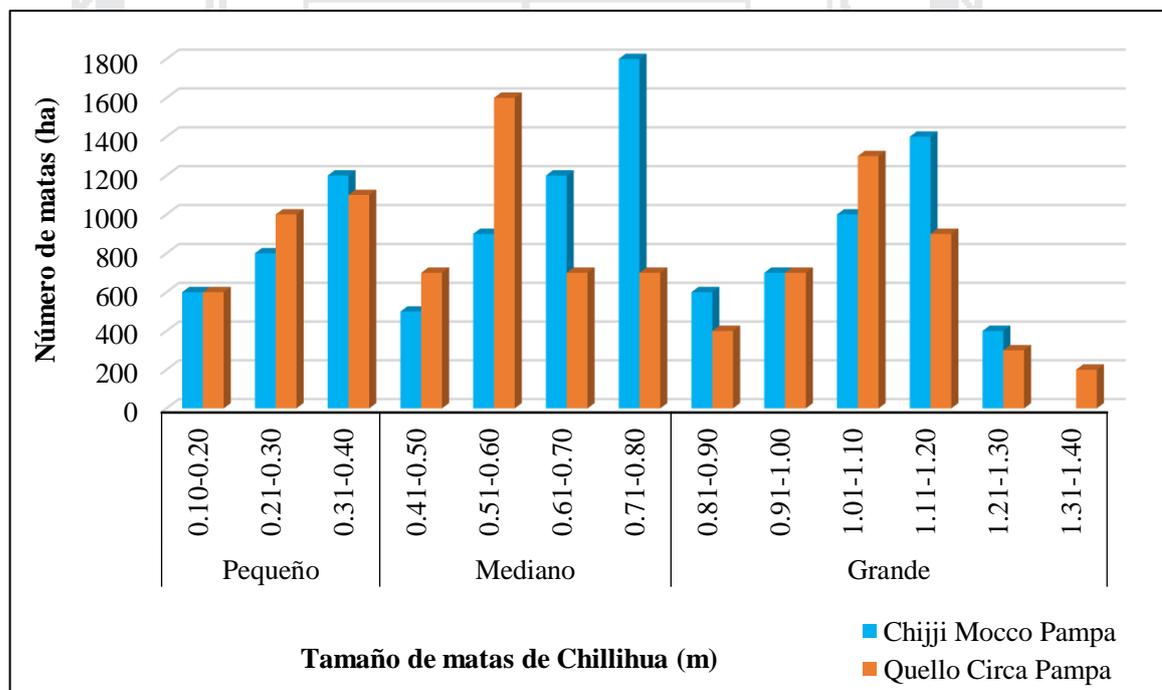


Figura 6. Densidad de matas en relación al tamaño y número de individuos.

Por su parte Choque (2015), indica que las praderas de “Chillihua” se encuentran distribuidas en forma discontinua en el altiplano, ocupan principalmente zonas de relieve plana, planicie angosta ondulada, se desarrollan en suelos profundos, de textura franco-arcilloso estacionalmente húmedos, de permeabilidad moderadamente lenta y ligeramente ácido a neutro. En el altiplano norte ocupan una extensión estimada de 229,781 hectáreas y en la zona sur ocupa una superficie estimada de 12,008 hectáreas.

Por lo general esta pradera se localiza en las zonas de vida bosque húmedo montano y páramo muy húmedo subalpino entre los 3830 y 4600 metros de altitud.

La presencia de *Festuca dolichophylla* indica un suelo profundo de pH neutro y por su resistencia a bajas temperaturas hace que sea apetecible aún en los meses de la época seca, sin embargo, su valor nutricional decrece enormemente a medida que la “Chillihua” madura (Ruiz y Tapia, 1987).

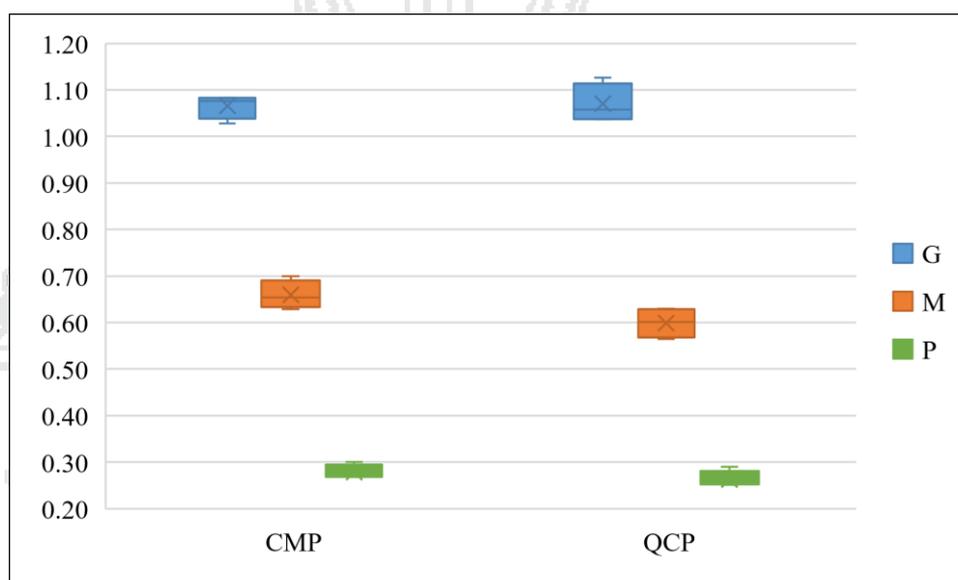


Figura 7. Densidad de Chillihua por sitios y tamaños en CIP Illpa.

Se puede inferir en la Figura 7 que, en ambos sitios el tamaño pequeño presenta poca dispersión, debido a que el tamaño es uniforme. El tamaño grande presenta mayor mediana. También se puede inferir, en el sitio QCP el tamaño grande presentó un promedio de altura de 1.07 m presenta mayor dispersión, debido a que en este sitio la presencia de animales es menor.

4.2 Producción de biomasa de “Chillihua”

La producción de biomasa verde y seca de la Chillihua en el sitio Chiji Mocco Pampa fue 4.98 t/ha y 4.41 t/ha respectivamente. Mientras que la producción de biomasa verde y seca en el sitio Quello Circa Pampa fue 7.56 t/ha y 6.61 t/ha respectivamente, puede verse en la tabla 9.

Tabla 9. Producción de biomasa verde y seca de “Chillihua” *Festuca dolichophylla* por tamaño

Sitio	Tamaño*	Densidad		Producción de biomasa verde			Producción de biomasa seca		
		25 m ²	ha	kg/ mata	t/ha	%	kg/mata	t/ha	%
Chiji Mocco Pampa	G	10.25	4 100	0.81	3.31	66.50	0.72	2.96	67.03
	M	11	4 400	0.33	1.44	28.86	0.29	1.26	28.52
	P	6.5	2 600	0.09	0.23	4.65	0.08	0.20	4.45
	TOTAL		11 100		4.98	100.00		4.41	100.00
Quello Circa pampa	G	9.5	3 800	1.17	4.44	58.70	1.04	3.94	59.52
	M	9.25	3 700	0.68	2.52	33.32	0.58	2.15	32.53
	P	6.75	2 700	0.22	0.60	7.98	0.19	0.53	7.95
	TOTAL		10 200		7.56	100.00		6.61	100.00

* G = Grandes, M = Mediano, P = Pequeño

Ticona, 2012. Indica que la producción promedio de biomasa verde y seca de arbustos de “Añahuaya” *Adesmia miraflorensis* fue 14.73 t/ha y 8.89 t/ha respectivamente. En el presente estudio se observa que la producción de biomasa verde promedio es de 6.27 t/ha y 5.51 t/ha de biomasa seca, el resulta es menor al encontrado por Ticona se puede atribuir al tamaño del arbusto.

Por su parte, Ttimpo (2010), reportó para el sitio Chiji Mocco Pampa, la disponibilidad de materia seca (MS) de la asociación *Festuchetum-Muhlenbergietum*, una disponibilidad de materia seca de 2.41 ± 0.58 t/ha para época de lluvia y 2.37 ± 0.62 t/ha para la época seca, mientras para el sitio Quello Circa Pampa, la disponibilidad de materia seca (MS) de la asociación *Muhlenbergietum-Festuchetum*, una disponibilidad de materia seca de 3.29 ± 0.75 t/ha para época de lluvia y 2.84 ± 0.49 t/ha para época seca, considerándose en ambos casos solo la biomasa aérea, mas no de la raíz. Comparando estos resultados con los encontrados en el presente estudio que se desarrolló en época de transición, encontramos que la producción de biomasa de la Chillihua es mayor, esta diferencia es atribuida por que se ha considerado toda la biomasa aérea y la biomasa de la raíz.

En la figura 8 y 9, se aprecia que el mayor contenido de biomasa seca esta en matas grandes y en cuanto al componente se encuentra en el tallo, posiblemente se deba a factores fisiológicos de la especie y la influencia de la época de recolección de muestras entre los meses de setiembre a diciembre del 2016 que corresponde de transición de seco a lluvioso. El tallo de la Chillihua es la más abundante de esta especie.

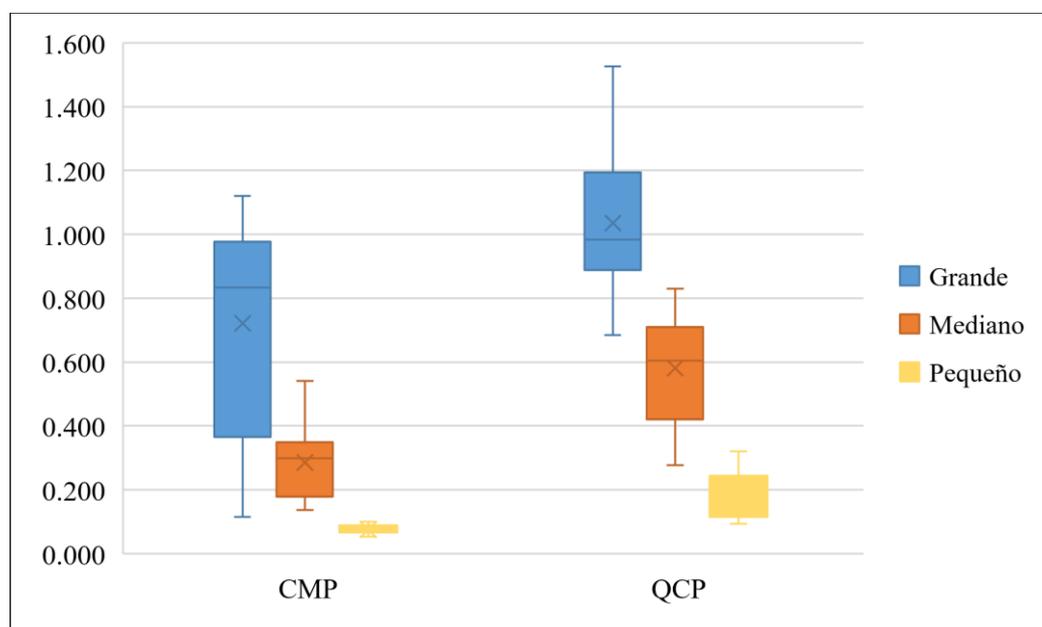


Figura 8. Biomasa seca por tamaño de la Chillihua en el CIP Illpa

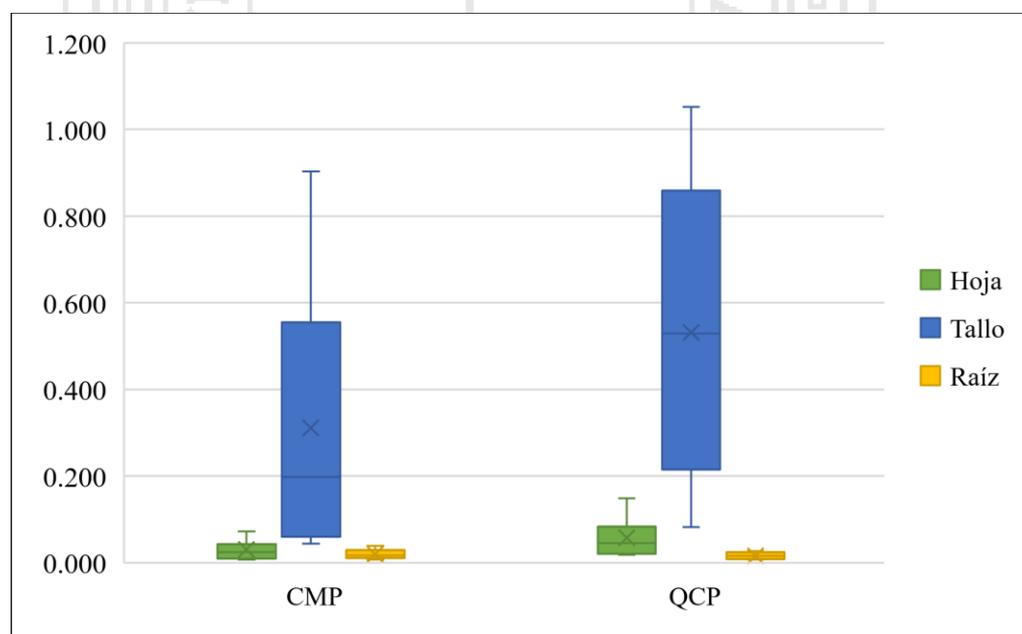


Figura 9. Biomasa seca por componente de la Chillihua en CIP Illpa

Tomando en cuenta la clasificación por tamaño según la figura 10, notamos que el mayor aporte en la producción de biomasa verde y biomasa seca del sitio Chiji Mocco Pampa y

Quello Circa Pampa lo realizan las matas grandes, seguido de los medianos y en último los pequeños; lo que demostraría que la producción de biomasa en las matas de “Chillihua” está en relación al tamaño y densidad.

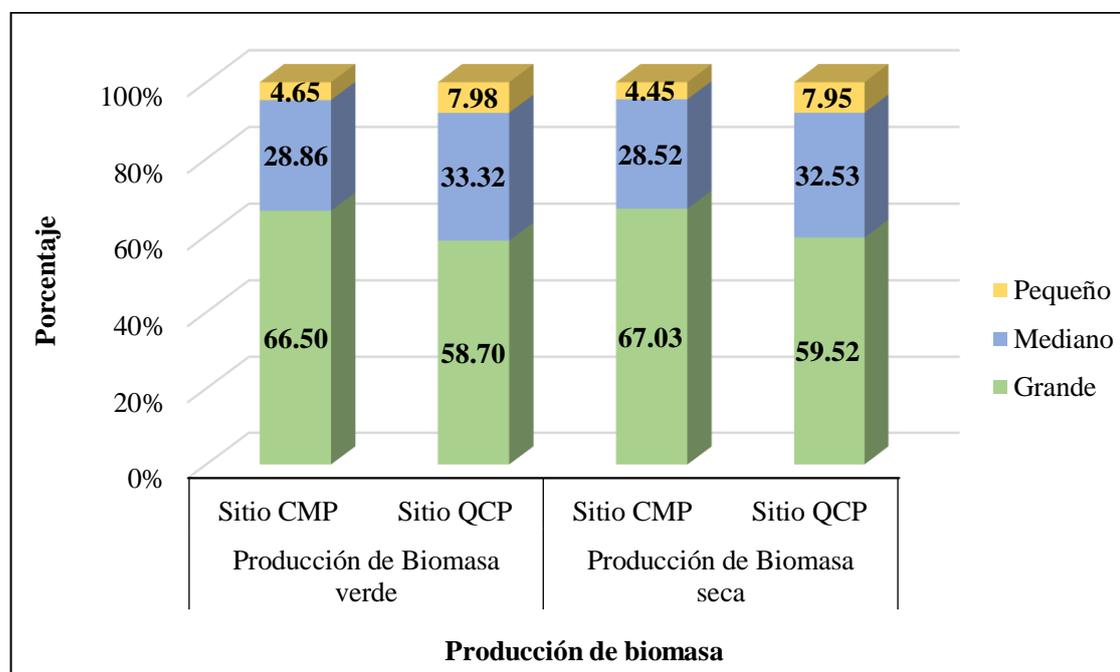


Figura 10. Aporte en la producción de biomasa verde y seca por tamaño.

Así mismo, la producción de biomasa verde y seca por componentes, en el sitio Chiji Mocco Pampa y Quello Circa Pampa, se observa en la tabla 10 y figura 11; donde el tallo muestra la mayor producción de biomasa, seguido de la hoja y en último la raíz, debiéndose muy probablemente a que los tallos de “Chillihua” son hueco cilíndrico, erecto muy abundante, los cuales almacenan mayor CO₂, las hojas involutas son escasos; a diferencia de las raíces que son fibrosas profundas que captan mínimas cantidades de CO₂.

Tabla 10. Producción de biomasa verde y seca del pastizal Chillihua por componente del CIP Illpa.

Componente	Sitios del pastizal Chillihua							
	Chiji Mocco Pampa				Quello Circa Pampa			
	Producción de biomasa				Producción de biomasa			
	Verde		Seca		Verde		Seca	
	t/ha	%	t/ha	%	t/ha	%	t/ha	%
Hoja	0.62	11.31	0.40	8.29	0.87	11.46	0.62	9.40
Tallo	4.49	82.12	4.19	86.42	6.46	85.43	5.82	88.05
Raíz	0.36	6.57	0.26	5.28	0.24	3.11	0.17	2.55
Total	5.46	100.00	4.84	100.00	7.56	100.00	6.61	100.00

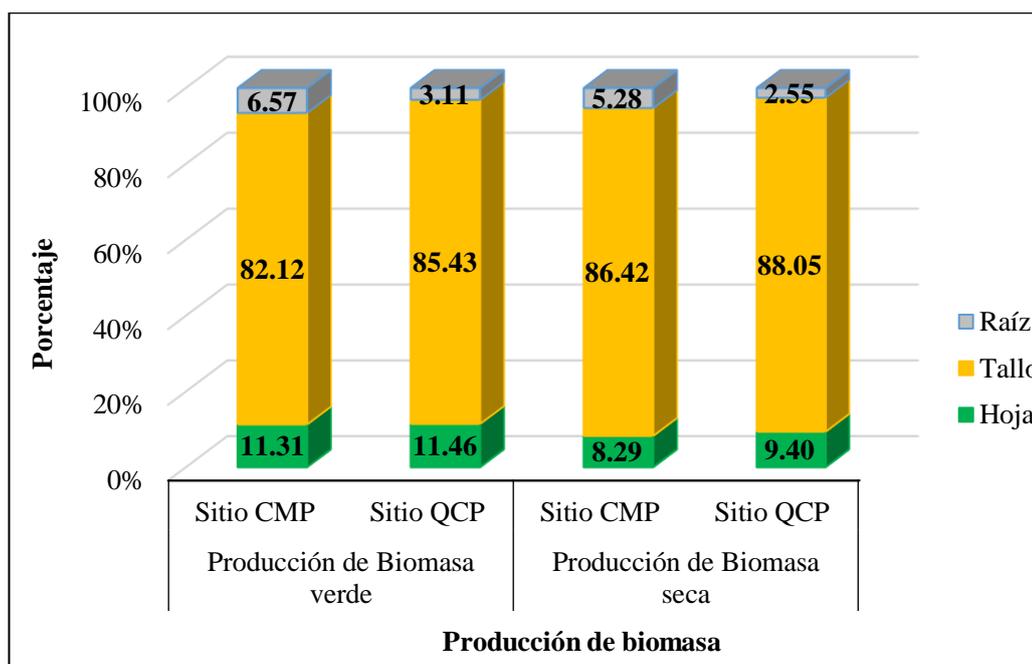


Figura 11. Aporte en la producción de biomasa verde y seca por componente.

En el análisis de varianza (Tabla 11) para producción de materia seca de “Chillihua” (*Festuca dolichophylla*), no se encontró significación estadística entre los sitios Chiji Mocco Pampa y Quello Circa Pampa, puesto que ambos son similares en cuanto al pendiente y cobertura basal; en cambio existe diferencia altamente significativa para el factor tamaños de matas, lo que indica que hay diferencia en producción de materia seca entre los 3 tamaños de mata en estudio. En tanto no hubo significación estadística para la interacción S x T, posiblemente estos factores se deben a que no son dependientes el uno del otro, porque su cobertura basal es homogénea.

Por otro lado, el coeficiente de variabilidad (S) 34.84 % y el CV (T) 10.01% nos indica la confiabilidad de los resultados obtenidos.

Tabla 11. Análisis de varianza de la producción de materia seca de “Chillihua”.

Fuente de Variabilidad	G.L.	S.C.	C.M.	Fc.	Sig.	0.05	0.01
Sitio	1	0.11	0.11	0.03	No Significativa	5.99	13.75
Error (Sitio)	6	25.24	4.31				
Tamaño	2	46.74	19.42	38.84	**	3.89	6.93
Sitio X Tamaño	2	2.49	1.21	2.42	No Significativa	3.89	6.93
Error (tamaño)	12	4.65	0.50				
Total	23	79.23					

La tabla 12, muestra la prueba de Duncan ($P \leq 0.05$), para producción de materia seca de matas de tamaños grande, mediano y pequeño. Donde, la Chillihua de tamaño grande ocupa el primer lugar con producción de 2.94 t/ha de materia seca y estadísticamente es superior a los otros tamaños, mientras las matas de tamaño mediano y pequeño ocupan el segundo y tercer lugar con producción de 0.74 y 0.08 de materia seca respectivamente, siendo ambos estadísticamente similares.

Tabla 12. Prueba de Duncan ($P \leq 0.05$) para producción de materia seca por tamaños de mata “Chillihua”

Nº	Tamaño mata	Materia seca t/ha
1	Grande	2.94 a
2	Mediano	0.74 b
3	Pequeño	0.08 b

4.3 Carbono almacenado en la biomasa de la Chillihua

Los resultados obtenidos en el laboratorio (LENA) mediante el método del poder calórico indican de la fracción de carbono por componente para el sitio Chiji Mocco Pampa es: 0.42 para hojas, 0.44 para el tallo y 0.38 para la raíz. Mientras que la fracción de carbono por componente para el sitio Quello Circa Pampa es 0.43 para hojas, 0.45 para el tallo y 0.39 para la raíz. Asimismo, la mayor fracción de conversión de carbono se encuentra en tallo de ambos sitios y la menor fracción de carbono está en la raíz tal como se observa en la figura 12. Este resultado puede ser explicado porque la estructura del tallo se encuentra en la parte aérea y es la que realiza la fotosíntesis junto con la hoja, mientras que la raíz se encuentra por debajo del suelo.

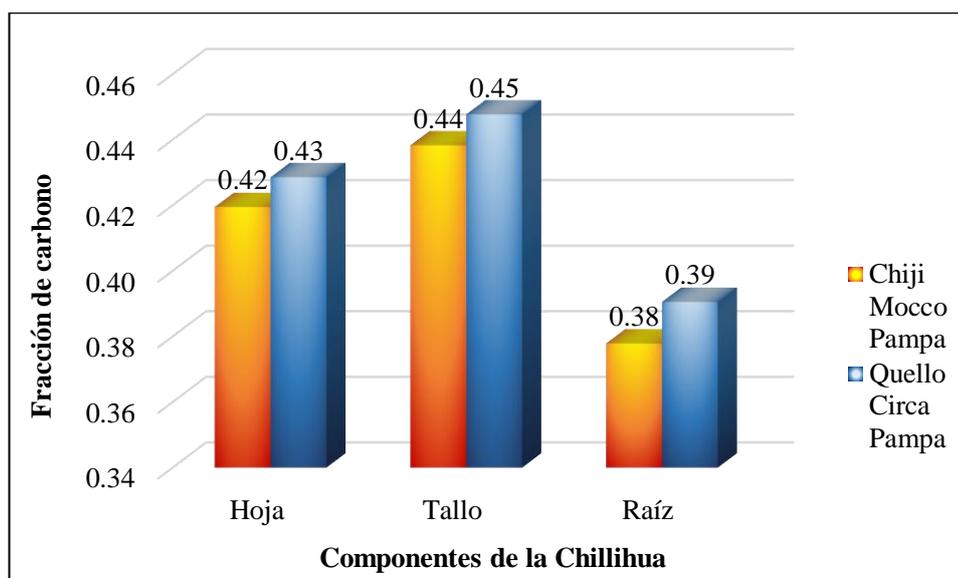


Figura 12. Fracción de carbono por componente.

En la tabla 13 y figura 13, podemos apreciar el contenido de carbono por componente en el sitio Chiji Mocco Pampa los cuales almacena en hoja 0.17 tC/ha, en tallo 1.83 tC/ha y en raíz 0.10 tC/ha, lo que en conjunto hace en total 2.10 tC/ha; mientras que para el sitio Quello Circa Pampa es: 0.27 tC/ha en hoja, 2.61 tC/ha en tallo y 0.07 tC/ha en raíz, lo que en conjunto hace en total 2.94 tC/ha; tendencia muy similar a lo encontrado en los resultados de fracción de carbono. Además, podemos indicar que el mayor contenido de carbono se encuentra en el tallo, seguido de la hoja y por último en la raíz, en ambos sitios.

Tabla 13. Cantidad de carbono en la biomasa de “Chillihua” *Festuca dolichophylla* por componente del CIP Ilpa.

Componentes	Sitios del pastizal Chillihua							
	Chiji Mocco Pampa				Quello Circa pampa			
	Producción de materia seca (t/Ha)	Fracción de carbono	Contenido de carbono		Producción de materia seca (t/Ha)	Fracción de carbono	Contenido de carbono	
			tC/ha	%			tC/ha	%
Hoja	0.40	0.42	0.17	8.02	0.62	0.43	0.27	9.06
Tallo	4.19	0.44	1.83	87.37	5.82	0.45	2.61	88.70
Raíz	0.26	0.38	0.10	4.61	0.17	0.39	0.07	2.24
Total	4.84		2.10	100.00	6.61		2.94	100.00

Observando el contenido de carbono según la clasificación por tamaño para el sitio Chiji Mocco Pampa, encontramos que las matas grandes presentan 1.21 tC/ha, seguido de los medianos con 0.52 tC/ha y los pequeños con 0.08 tC/ha; y para el sitio Quello Circa

Pampa se da la misma secuencia encontrada en el sitio (CMP), donde las matas grandes presentan 1.65 tC/ha, seguido de los medianos con 0.90 tC/ha y los pequeños con 0.22 tC/ha teniendo el menor contenido de carbono, (Tabla 14, figura 13).

Tabla 14. Contenido de carbono por tamaño de la Chillihua del CIP Illpa

Tamaños	Sitios					
	Chiji Mocco Pampa			Quello Circa pampa		
	Producción de materia seca (t/Ha)	Contenido de carbono		Producción de materia seca (t/Ha)	Contenido de carbono	
		tC/ha	%		tC/ha	%
Grande	2.96	1.21	67.03	3.94	1.65	59.52
Mediano	1.26	0.52	28.52	2.15	0.90	32.53
Pequeño	0.20	0.08	4.45	0.53	0.22	7.95
Total	4.41	1.81	100.00	6.61	2.78	100.00

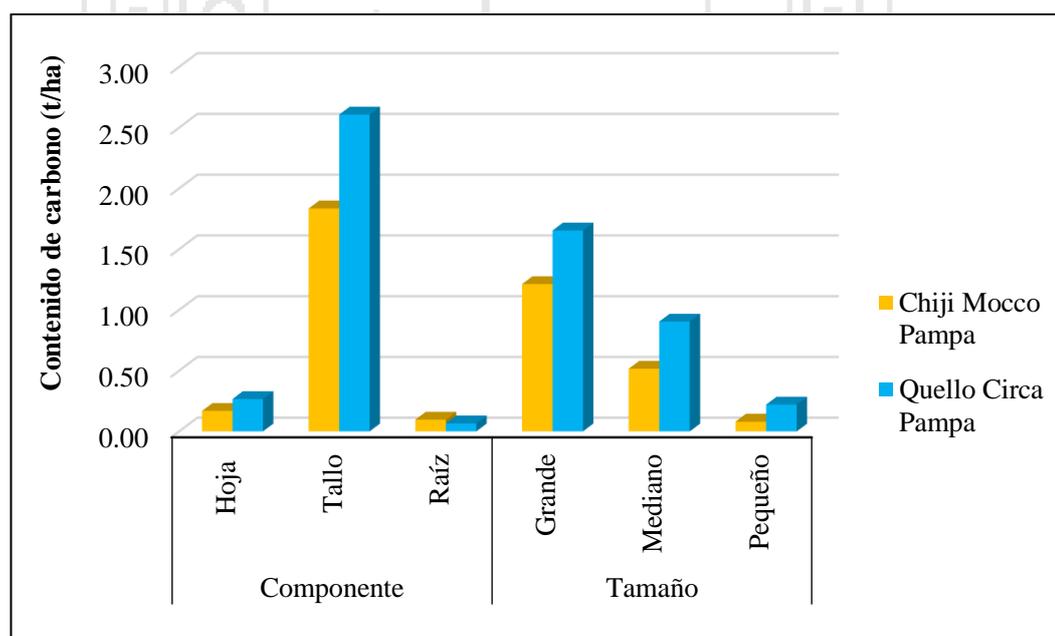


Figura 13. Contenido de carbono por componente y tamaño.

Por otra parte, podemos indicar que el contenido de carbono en la Chillihua está directamente relacionada al ritmo de crecimiento de la especie, es decir a mayor tamaño, mayor producción de biomasa lo que se traduce en un mayor contenido de carbono en las matas.

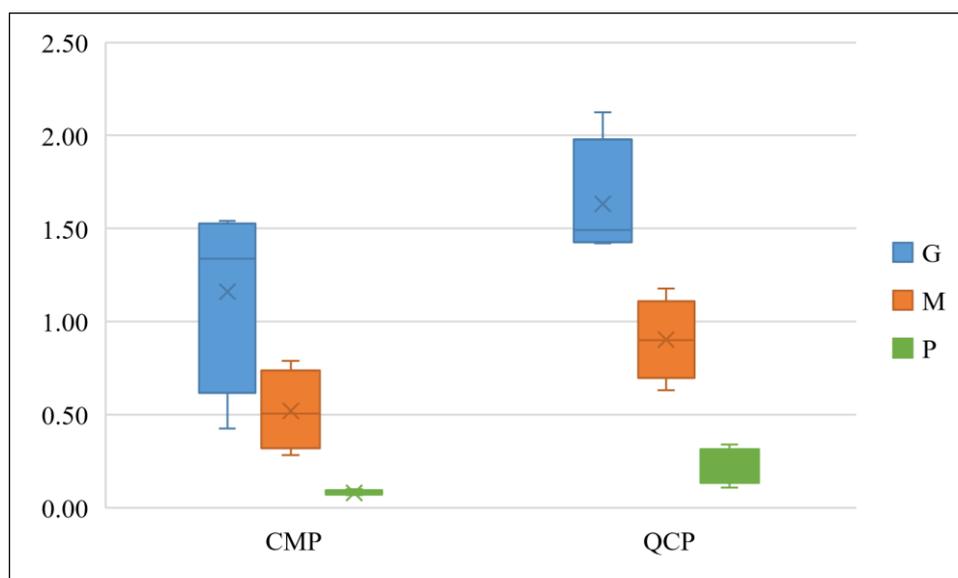


Figura 14. Comparación de contenido de carbono por sitios y tamaños.

Se puede inferir en la Figura 14 que, en sitio CMP de tamaño pequeño presenta poca dispersión, debido a que estas especies captan menor cantidad de carbono en su estructura. El sitio QCP de tamaño grande presenta mayor mediana. Así mismo se puede inferir que en el sitio CMP de tamaño grande presentó un promedio de altura de 1.07 m presenta mayor dispersión, debido a que en este sitio el ingreso de animales a pastar es menores, esta planta por su tamaño almacenar mayor carbono.

Según la Tabla 15, se pueden apreciar el contenido de carbono en otras especies realizados en Región Puno, llegan a superar en mayor parte al encontrado del presente estudio, donde el mayor contenido de carbono se encontró en Bosque del CIP- Camacani conseguido por un rodal de pino "*Pinus radiata*", en menores cantidades por "Añahuaya" "*Adesmia miraflorensis*" el cual se aproxima a la Chillihua del presente estudio. Según Alegre et al. (2002) los sistemas de plantación conforme van incrementando su edad a lo largo del tiempo, son más vigorosos y por lo tanto se produce mayor acumulación de biomasa, por el cual podemos decir el contenido de carbono en su biomasa está directamente relacionada con su crecimiento, los sistemas con mayor crecimiento e incremento de la biomasa presentan valores altos de acumulación de carbono.

Tabla 15. Contenido de carbono por distintas especies en Región Puno.

Especie y ecosistemas	Observación	Contenido Carbono (tC/ha)	Método utilizado	Autor
Chillihua " <i>Festuca dolichophylla</i> "	Chiji Mocco Pampa	2.10*	Poder calórico	
	Quello Circa Pampa	2.94*		
Totora " <i>Schoenoplectus totora</i> "	Sin edad	11.75*	Poder calórico	Flores, 2016
		13.55*	Walkley y Black	
Bosque de queñuales " <i>Polylepis spp.</i> "	Estratos (suni alta, baja y media)	16.38**	Walkley y Black	Zapana, 2016
Eucalipto " <i>Eucaliptus globulus</i> "	Bosque del CIP-Camacani	95.42**	Walkley y Black	Huanacuni y Maquera, 2013
Pino " <i>Pinus radiata</i> "		164.12**		
Cipres " <i>Cupressus macrocarpa</i> "		88.99**		
"Añahuaya" " <i>Adesmia miraflorensis</i> "	Sitio Disperso	4.04*	Poder calórico	Ticona, 2012
	Sitio Denso	4.65*		

* Considera parte aérea y raíz.

** Considera solo parte aérea

En la Figura 15, se hace una comparación de captura de carbono en la biomasa con distintas especies presentando en los sitios de estudio, superan a los encontrados en la presente investigación a excepción de arroz y pasto alambre. Las diferencias se pueden deber a la densidad, tamaño y a la biomasa.

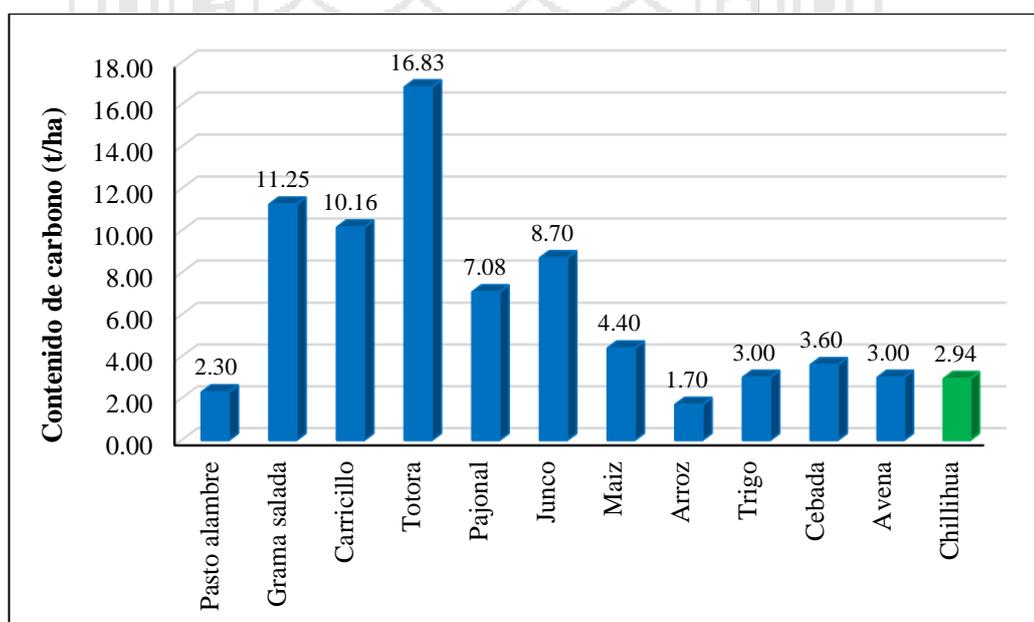


Figura 15. Carbono en la parte aérea de la biomasa en distintas especies.

Fuente: Adaptado de Pérez (2015), Carvajal (2010) y Lapeyre (2004)

Dónde: Pasto alambre "*Brachiaria brisantha*", Pajonal "*Deyeuxia recta* Kunth"

4.4 Captura de dióxido de carbono (CO₂) de la Chillihua

La captura de dióxido de carbono (CO₂), por componente para el sitio Chiji Mocco Pampa se muestra en la tabla 16 y figura 16, donde se observa una captura de 0.62 tCO₂/ha en hojas, 6.73 tCO₂/ha en tallos y 0.35 tCO₂/ha en raíces, lo que en conjunto hace en total 7.70 tCO₂/ha; en cambio el sitio Quello Circa Pampa presentó 0.98 tCO₂/ha en hojas, 9.56 tCO₂/ha en tallos y en raíces 0.24 tCO₂/ha, lo que en conjunto hace en total 10.78 tCO₂/ha. Además, podemos indicar que la mayor captura de CO₂ se encuentra en el tallo, seguido de la hoja y por último en la raíz, tanto del en ambos sitios.

Tabla 16. Captura de dióxido de carbono por componente de la Chillihua del CIP Illpa

Componente	Sitios							
	Chiji Mocco Pampa				Quello Circa pampa			
	Contenido de carbono (tC/ha)	Factor	Captura de carbono		Contenido de carbono (tC/ha)	Factor	Captura de carbono	
			tCO ₂ /ha	%			tCO ₂ /ha	%
Hoja	0.17	44/12	0.62	8.02	0.27	44/12	0.98	9.06
Tallo	1.83	44/12	6.73	87.37	2.61	44/12	9.56	88.70
Raíz	0.10	44/12	0.35	4.61	0.07	44/12	0.24	2.24
Total	2.10		7.70	100.00	2.94		10.78	100.00

Analizando la captura de CO₂ en la Chillihua, se tiene que, en el sitio Chiji Mocco Pampa las matas grandes capturan 4.45 tCO₂/ha, los medianos 1.89 tCO₂/ha y los pequeños 0.30 tCO₂/ha; mientras en el sitio Quello Circa Pampa las matas grandes capturan 6.06 tCO₂/ha, los medianos 3.31 tCO₂/ha y por último los pequeños 0.81 tCO₂/ha (Tabla 17 y Figura 16). Esa mayor captura se debe principalmente a la longitud y a la mayor cantidad de los tallos que comprenden las matas más grandes.

Tabla 17. Captura de dióxido de carbono por tamaños de la Chillihua del CIP Illpa

Tamaño	Sitios							
	Chiji Mocco Pampa				Quello Circa pampa			
	Contenido de carbono (tC/ha)	Factor	Captura de carbono		Contenido de carbono (tC/ha)	Factor	Captura de carbono	
			tCO ₂ /ha	%			tCO ₂ /ha	%
Grande	1.21	44/12	4.45	68.04	1.65	44/12	6.06	59.52
Mediano	0.52	44/12	1.89	29.62	0.90	44/12	3.31	32.53
Pequeño	0.08	44/12	0.30	2.34	0.22	44/12	0.81	7.95
Total	1.81		6.63	100.0	2.78		10.19	100.00

De los resultados de la tabla 17 y figura 16, podemos indicar que la mayor captura de carbono tanto del sitio Chiji Mocco Pampa como Quello Circa Pampa, lo realizan las matas grandes, seguida de medianos y pequeños, esta variación de la captura de CO₂ en los tres tamaños se debería al ritmo de crecimiento que presenta la especie, es decir a mayor tamaño mayor captura.

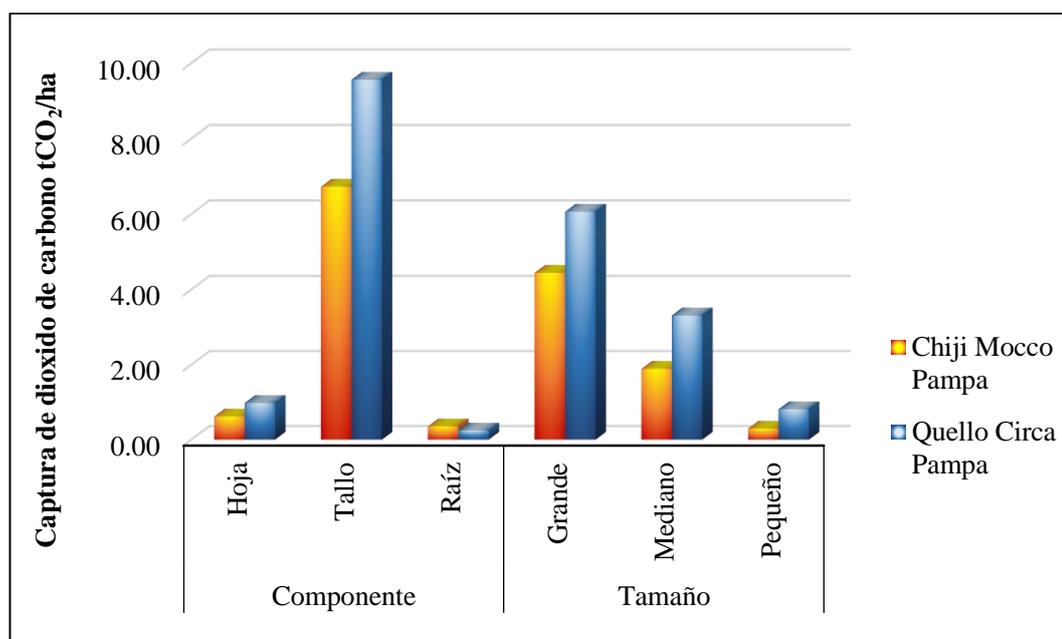


Figura 16. Captura de dióxido de carbono (CO₂) en la biomasa de la Chillihua

En la tabla 18 se compara la captura de dióxido de carbono “CO₂/ha” por especies estudiadas en la región Puno. Las concentraciones más altas, las presentaron los rodales de pino “*Pinus radita*” en el bosque del CIP- Camacani capturan más CO₂/ha, y la Chillihua con una menor captura de t/CO₂) esto puede deberse al bioma de las especies.

Tabla 18. Captura de dióxido de carbono por distintas especies en región Puno.

Espece y ecosistemas	Observación	Captura (tCO ₂ /ha)	Método utilizado	Autor
Chillihua " <i>Festuca dolichophylla</i> "	Chiji Mocco Pampa	7.70*	Poder calórico	
	Quello Circa Pampa	10.78*		
Totora " <i>Schoenoplectus totora</i> "	Sin edad	43.07*	Poder calórico	Flores, 2016
		49.68*	Walkley y Black	
Bosque de queñuales " <i>Polylepis spp.</i> "	Estratos (suni alta, baja y media)	60.06**	Walkley y Black	Zapana, 2016
Eucalipto " <i>Eucaliptus globulus</i> "	Bosque del CIP-Camacani	349.89**	Walkley y Black	Huanacuni y Maquera, 2013
Pino " <i>Pinus radiata</i> "		601.78**		
Cipres " <i>Cupressus macrocarpa</i> "		326.30**		
"Añahuaya" " <i>Adesmia miraflorensis</i> "	Sitio Disperso	14.82*	Poder calórico	Ticona, 2012
	Sitio Denso	17.06*		

* Considera parte aérea y raíz.

** Considera solo parte aérea

En la figura 17, se puede comparar con otras plantas herbáceas presentando las especies de los humedales mayor captura donde se pudo deducir que influye la densidad y la biomasa directamente al contenido de captura de CO₂².

En la figura 17, se compara la captura de dióxido de carbono "CO₂/ha" por especie herbáceas como hortícolas y por ecosistema natural (humedales de Ancash, San Martín, pastizales de "Chillihua"). Las capturas más altas, la presenta la totora seguido de grama salada y los pastizales de "Chillihua" con una mayor captura de tCO₂/ha que arroz y pasto alambre. donde se pudo deducir que influye la densidad, tamaño y la biomasa directamente al contenido de captura de CO₂.

² Adaptada los autores Carvajal, M. (2010). Investigación sobre la absorción de CO₂ por los cultivos más representativos y Lapeyre, (2004) determinación de las reservas de carbono de la biomasa aérea, en diferentes sistemas de uso de la tierra en San Martín, Perú.

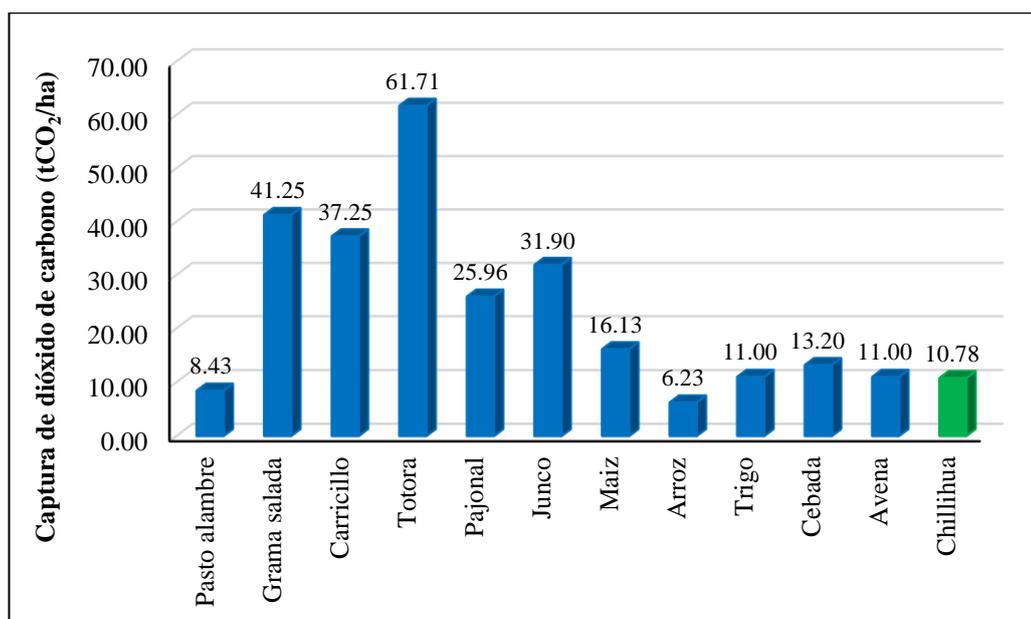


Figura 17. Captura de dióxido de carbono (CO₂) en distintas especies.

Fuente: Adaptado de Pérez (2015), Carvajal (2010) y Lapeyre (2004)

Dónde: Pasto alambre "*Brachiaria brisantha*", Pajonal "*Deyeuxia recta* Kunth"

Para estimar la captura total de CO₂ de la Chillihua del pastizal del CIP Illpa, se trabajó con imágenes LANDSAT, obtenidas del mes de octubre del año 2016, donde se estimó para el sitio Chiji Mocco Pampa 69.97 ha y 35.63 para sitio Quello Circa Pampa del pastizal Chillihua, tal como se observa en anexo 4, mapa 3. Además, en la tabla 19, podemos observar que la captura de CO₂ total de matas de "Chillihua" del pastizal fue de 154.67 tCO₂ para el sitio Chiji Mocco Pampa, 120.97 tCO₂ para el sitio Quello Circa Pampa, un total de 275.64 tCO₂ de ambos sitios, y lo que en promedio hace una captura de 137.82 tCO₂.

Tabla 19. Captura de CO₂ total de la Chillihua del CIP Illpa

Sitio	Tamaño	Extensión ha	Captura de CO ₂	
			tCO ₂ /ha	Total
Chiji Mocco Pampa	G	23.32	4.45	103.68
	M	23.32	1.89	44.11
	P	23.32	0.30	6.88
	Total	69.97	6.63	154.67
Quello Circa Pampa	G	11.88	6.06	72.00
	M	11.88	3.31	39.35
	P	11.88	0.81	9.61
	Total	35.63	10.19	120.97
Total, CMP y QCP		105.60	16.82	275.64
Promedio		52.80	8.41	137.82

De los resultados obtenidos en el presente estudio, podemos indicar que las matas de “Chillihua” de pastizal del CIP Illpa, capturan en promedio 8.41 tCO₂/ha. Considerando el servicio ambiental que brinda este ecosistema, se debe proponer adecuadas prácticas de manejo que promuevan su conservación.

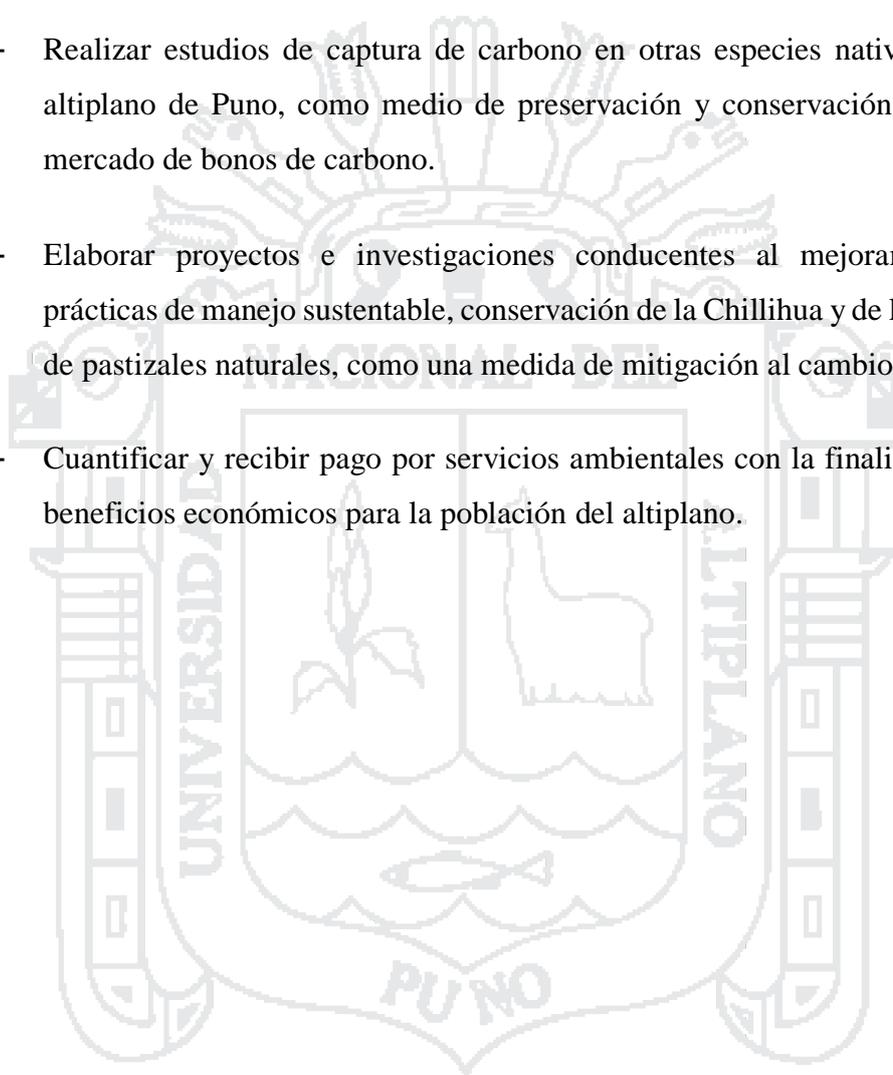
Banco Mundial, 2016. Indica el rango de precios de la tonelada de CO₂e es amplio entre las distintas iniciativas existentes. En este sentido, varía de menos de 1\$/tCO₂e hasta 131\$/tCO₂e, con alrededor de tres cuartas partes de las emisiones cubiertas en los mercados globales por debajo de los 10\$/tCO₂e. para el año 2017 el precio es de 13.4 US\$/ tCO₂, para el presente estudio con una captura total de 275.64 tCO₂/ha el precio obtenido por bonos de carbono de ambos sitios se recaudaría 3 693.58 US\$.

V. CONCLUSIONES

- La densidad de matas de Chillihua del sitio Chijji Mocco Pampa fue 11 100 matas/ha, de los cuales el 39.64% está representado por las matas medianos, el 36.94% y 23.42% lo componen las matas grandes y pequeños, respectivamente. Mientras en el sitio Quello Circa Pampa se encontro 10 200 matas/ha, de los cuales el 37.25% lo componen las matas grandes; el 36.27% y 26.47% lo componen las matas medianos y pequeños, respectivamente.
- La producción de biomasa verde y seca de la Chillihua del sitio Chijji Mocco Pampa fue 4.98 t/ha y 4.41 t/ha respectivamente. Mientras que en el sitio Quello Circa Pampa la producción de biomasa verde fue 7.56 t/ha y la producción de biomasa seca fue 6.61 t/ha. El mayor aporte en la producción de biomasa lo realizan las matas grandes, seguido de los medianos y por último los pequeños. Además, el componente que mayor biomasa aporta es el tallo, seguido de la hoja y en último lugar la raíz.
- La fracción de carbono para el sitio Chijji Mocco Pampa fue: 0.42 para hojas, 0.44 para el tallo y 0.38 para la raíz. Mientras que en el sitio Quello Circa Pampa presentó 0.43 para hojas, 0.45 para el tallo y 0.39 para la raíz. Por otra parte, el contenido de carbono del sitio Chijji Mocco Pampa fue 2.10 tC/ha; mientras que para el sitio Quello Circa Pampa fue 2.94 tC/ha. Además, podemos indicar que el mayor contenido de carbono se encuentra en el tallo, seguido de la hoja y por último en la raíz. Así mismo, el mayor aporte de carbono lo realizan las matas grandes, seguido de los medianos y por último los pequeños.
- La captura de dióxido de carbono para el sitio Chijji Mocco Pampa fue 7.70 tCO₂/ha; en cambio en el sitio Quello Circa Pampa fue 10.78 tCO₂/ha. Siendo el tallo el componente que más CO₂ captura, seguido de la hoja y la raíz. Además, la mayor captura de CO₂ lo realizan las matas grandes, medianos y pequeños. Por otra parte, se ha estimado que en las 105.60 ha que ocupan ambos sitios de Chillihua del CIP Illpa, se captura en total 275.64 tCO₂/ha, a un precio de 13.4 US\$/ tCO₂ en total por bonos de carbono se recaudaría 3 693.58 US\$.

VI. RECOMENDACIONES

- Promover la difusión sobre la importancia de pastizales naturales como sumideros de dióxido de carbono frente al cambio climático, gran parte de los problemas se deben al desconocimiento de los beneficios que pueden aportar.
- Realizar estudios de captura de carbono en otras especies nativas propias del altiplano de Puno, como medio de preservación y conservación para ofertar a mercado de bonos de carbono.
- Elaborar proyectos e investigaciones conducentes al mejoramiento de las prácticas de manejo sustentable, conservación de la Chillihua y de los ecosistemas de pastizales naturales, como una medida de mitigación al cambio climático.
- Cuantificar y recibir pago por servicios ambientales con la finalidad de obtener beneficios económicos para la población del altiplano.



VII. REFERENCIAS

- Alegre, J., Arévalo, L., Ricse, A. 2002. Reservas de carbono con diferentes sistemas de uso de la tierra en dos sitios de la amazonia peruana. ICRAF/INIA. Perú.
- Astorga, J. 1987. Manejo de praderas nativas. Universidad Nacional Técnica del Altiplano (I Parte). Puno. Perú.
- Atamari, M. 1992. Evaluación Agrostológica de los Pastizales del Centro Experimental Illpa, UNA-Puno. Tesis Ing. Agr. Puno. Perú.
- Banco Mundial, 2016. Situación y tendencias de los precios de carbono. Ecofys y Vivid Economics
- Brown, S.; Lugo, A. 1984. Biomass of tropical forest: a new estimate based on forest volumes. Science 223: 1290-1293 p.
- Brown, S.; Lugo, A.; Chapman, J. 1986. Biomass of tropical tree plantations and its implications for the global carbon budget. Canadian Journal of Forestry Research 16: 390-394 p.
- Carvajal, M. 2010. Investigación sobre la absorción de CO₂ por los cultivos más representativos. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Región de Murcia, España. Disponible en: http://www.ecorresponsabilidad.es/pdfs/lessco2/ponencia_cisc_espanol.pdf
- Choque, J. 2001. Herbario de la flora alto andina. Guia para la colección, herborización e identificación de la diversidad de pastos. Escuela de Post Grado, Universidad Nacional del Altiplano. Puno. Perú.
- Choque, J. 2010. Manual para el inventario y evaluación de praderas nativas y pasturas. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Altiplano. Puno. Perú. 107-114 p.
- 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.
- CIDIAG (Centro de Información y Desarrollo Integral de Autogestión). 2001. Manejo sostenible de las praderas Altoandinas: Experiencias en la comunidad campesina 14 incas. Lima. Perú. 22 p.

CMNUCC (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático). 1992. [en línea]. Consultado el 29 de noviembre 2016. Disponible en: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>

Coaquira, D. 2009. Determinación de las necesidades de agua en Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd. Variedad Salcedo INIA). Universidad Nacional del Altiplano. Tesis Ing. Agr. Puno. Perú.

Cuartas, C. 1993. Estimadores cualitativos de la biomasa aérea de especies dominantes de un bosque inundable de la Amazonía Colombiana. Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín. Tesis de Grado. Medellín. Colombia. 115 p.

Cubero, J. y Rojas, S. 1999. Fijación de carbono en plantaciones de Melina (*Gmelina arborea* Roxb.), Teca (*Tectona Grandis* L.f.) y Pochote (*Bombacopsis quinata* Jacq.) en los cantones de Hojanca y Nicoya. Guanacaste. Costa Rica. 86 p.

Duran, 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 p.

Eduarte, E. y Segura, M. 1998. Determinación de Carbón Utilizando la Calorimetría (Nota técnica). En *Ciencias Ambientales*. 15:54 -55 p.

FAO (1996). Cambio climático, bosques y ordenación forestal: una visión de conjunto. Roma. Italia. 146 p.

Fernandez, J., Choque, J. y Huacan T. 1992. Guía de germoplasma de pastos nativos andinos. Programa Interinstitucional de Waru Waru convenio: PELT/INADE-IC/COTESU. Puno. Perú. 150 p.

Flores, M. 2016. Estimación del servicio ambiental de captura de CO₂ en totorales de la Reserva Nacional del Titicaca-Puno (Perú). Pontificia Universidad Católica Argentina. Tesis de Post Grado. Rosario. Argentina. 121 p.

Florez, A. y Bryant, F. 1989. Manual de pastos y forrajes. Dirección Regional de Investigación Pecuaria INIAA. Lima. Perú.

- Florez, A. y Malpartida, E. 1987. Manejo de praderas nativas y pasturas en la región Altoandina del Perú. Tomo I Banco Agrario. Lima. Perú.
- Gamarra, J. 2001. Estimación del contenido de carbono en plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill, en Junín. Huancayo. Perú. 20 p.
- Genin, D. y Alzérreca, H. 2006. Campos nativos de pastoreo y producción animal en la puna semiárida y árida andina. Institut de Recherche Pour le Développement (IRD), Tarija. Bolivia. 17 p.
- Gómez, M. y Zapata, O. 1990. Determinación de la Biomasa en Árboles Muestreados. en: Práctica de Silvicultura. Campamento de ingeniería forestal Universidad Nacional de Colombia. Medellín. Colombia. 389-484 p.
- Goudriaan, J. 1992. ¿A dónde va el gas carbónico?: El papel de la Vegetación Mundo Científico 126(12): 687- 692 p.
- Heady, H. 1971. La explotación de los pastizales de secano. Editorial ACRIBIA. Zaragoza. España.
- Hoen, H. y Solberg, B. 1994. Potencial and economic efficiency of carbon sequestration in forest biomass through silvicultural management. *Forest Science* 40(3): 429-451 p
- Huanacuni, J. y Maquera, D. 2013. Estimación de Carbono capturado en los rodales de tres especies forestales en el bosque de CIP- Camacani. Universidad Nacional del Altiplano. Tesis de pre grado. Puno. Perú. 94 p.
- Huisa, T. 1996. Pastizales y nutrición al pastoreo. Centro Experimental y Producción La Raya Programa Ganadería Andina. Universidad Nacional San Antonio Abad. Cusco. Perú.
- ICRAF (Centro Internacional de Agroforesteria) / CODESOL (Comunidad de Desarrolladores de Software con Orientación Libre). 2003. 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.
- IIAP (Instituto de Investigación de la Amazonia Peruana). 2006. Servicios ambientales de almacenamiento y secuestro de carbono del ecosistema Aguajal en la Reserva Nacional Pacaya Samiria Loreto-Perú. Documento técnico N° 29. Loreto. Perú. 62 p.

IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). 2007. Cambio climático 2007. Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 p.

IPCC, 2007. Cambio climático 2007. Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 págs. Disponible en: www.ipcc.ch

IPCC. 2001. Tercer informe de evaluación. Cambio climático 2001. Resúmenes de trabajo. (en línea). Consultado el 10 de noviembre 2016. Disponible en: <https://www.ipcc.ch/pdf/climate-changes-2001/synthesis-spm/synthesis-spm-es.pdf>

IPCC. 2013. Quinto informe de evaluación. Cambio climático 2013. Resúmenes de trabajo. (en línea). Consultado el 10 de noviembre 2016. Disponible en: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_SPM_brochure_es.pdf

IPCC. 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Disponible en: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_All_Topics.pdf

Jaramillo, V. J. 2004. El ciclo global del carbono. Cambio climático: una visión desde México. 77 p.

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/~arocenaj/lab/kalra_maynard.pdf

Lapeyre, T. 2003. Determinación de las reservas de carbono de la biomasa aérea, en diferentes sistemas de uso de tierras en San Martín. Universidad Nacional Agraria la Molina. Tesis de Post Grado. Lima. Perú. 61 p.

Lapeyre, T., Alegre, J., & Arévalo, L. 2004. Determinación de las reservas de carbono de la biomasa aérea, en diferentes sistemas de uso de la tierra en San Martín, Perú. *Ecología Aplicada*, 3(1-2), 35-44. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=34130206>

- Lopera, G. y Gutierrez, V. 2000. Viabilidad técnica y económica de la utilización de plantaciones de *Pinus patula* como sumideros de CO₂. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. Trabajo de grado. Medellín. Colombia. 146 p.
- Ludevid, A. 1998. El cambio global en el medio ambiente: introducción a sus causas. boixareu. Madrid. 45 p.
- Márquez, J. 2002. Distribución altitudinal de gramíneas de páramo como respuesta a las rutas metabólicas y los mecanismos de resistencia a las bajas temperaturas. Trabajo de grado para optar al título de Magister Scientiae. Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias. Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas, Postgrado en Ecología Tropical. Mérida.
- Medina C. 2006. Indicadores de impactos de los sistemas forestales y agroforestales. POSAF II p 1, 28 p.
- Medrano, R.; Chupan, L.; y Vila, M. 2012. Almacenamiento de carbono en especies predominantes de flora en el lago Chinchaycocha. *Apuntes de Ciencia & Sociedad*, 28(2). Junín. 8 p.
- Ministerio del Ambiente, 2015. Guía de inventario de la flora y vegetación. Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural. Lima. 45 p.
- Moldes, T. 1995. Tecnología de los sistemas de información geográfica. Madrid. España. Ediciones RA-MA. 45 p.
- Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONER), 1965. Programa de inventario y evaluación de los recursos naturales del departamento de Puno I (Cáp. IV y V). Lima. Perú
- Ordóñez, A. 1998. Estimación de la captura de carbono en un estudio de caso para bosque templado: San Juan Nuevo, Michoacán. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias. UNAM. México D.F.
- Orrego, S.; Jaramillo, L.; Loaiza, L. 1998. Venta de servicios ambientales: posibilidades y limitaciones para el departamento del Choco. *Alto vuelo comunicaciones*. Medellín. 20 p.

- Ortiz, R. 1997. Costa Rican 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 p.
- Paladines, O. 1992. Metodología para trabajar en fincas y proyectos de desarrollo agropecuario. Proyecto "Fomento Ganadero". Quito. Ecuador.
- Palao, A. 2014. Producción agroecológica de ecotipos de quinua nativa de colores (*Chenopodium quinoa* Willd.) con microorganismos eficaces en el altiplano de Puno. Universidad Nacional del Altiplano. Tesis doctoral. Puno. Peru. 76-77 p.
- 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. 90 p.
- Pearson, T., Walker, S. & Brown, S. 2005. Sourcebook for Land Use, Land-Use Change and Forestry Projects. Biocarbon Fund. Winrock International.
- Pérez, H. 2015. Estimación del servicio ambiental de captura de CO₂ por la flora nativa de los humedales de villa maría, Perú. Pontificia Universidad Católica Argentina. Tesis de Post Grado. Rosario. Argentina. 143 p.
- Philips, O.; Malhi, y.; Higuchi, N.; Laurence, W.; y Nuñez, P. 1998. Changes In The Carbon Balance Of Tropical Forests: Evidence from long-term plots. Science 282: 439-442 p.
- PROCHILE. 2012. Dirección de Promoción de Exportaciones. Servicios. Calidad y medio ambiente. [en línea]. Consultado el 10 de octubre 2016. Disponible en: http://www.prochile.cl/servicios/medioambiente/bonos_de_carbono.php.
- Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. 1977. Secretaria General de la Organización de los Estados Americanos. Introducción a la Ecofisiología Vegetal. Monografía N°16 .Washinton DC. Estados Unidos. 35-50 p.
- Ramírez, O.; Gomez, M.; Shultz, S. 1997. Valuing the contribution of plantation forestry to the national accounts of Costa Rica from the ecological economics perspective. Beijer Research Seminar. Costa Rica. 28 p.

Ruiz, C. y Tapia, M. 1987. Producción y manejo de Forrajes en los Andes del Perú. Editorial Artela. Lima. Perú. 304 p.

Sarria, P. 2007. El Mercado de carbono. EcoSecurities Group PLC.

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

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

Schroeder, P Y Winjum, J. 1995. Assessing Brazil´s carbon budget: I biotic carbon pools. Forest ecology and management 75: 77-86 p.

Segura, M. 1997. Almacenamiento y fijación de carbono en *Quercus costarricensis*, en un bosque de altura en la cordillera de Talamanca, Costa Rica. Universidad Nacional de Costa Rica. Tesis de licenciatura. Costa Rica. 147 p.

Segura, M. 1999. Valoración del servicio de fijación y almacenamiento de carbono en bosques privados en el área de conservación cordillera volcánica central de Costa Rica. Catie. Turrialba Costa Rica. 132 p.

Simbaña, N. 2011. Estimación de la captura de carbono plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill. Universidad Nacional Agraria la Molina. Tesis de Post Grado. Lima. Perú. 126 p.

Tapia, M. 1975. Pastizales de los Andes Altos como Recursos Forrajeros. IICA. Serie B de informes de conferencias y reuniones N° 86. Puno. Perú.

Tapia, M. y Flores, O. 1984. Pastoreo y Pastizales de los Andes del Sur del Perú. Instituto Nacional de Investigación y Promoción Agropecuaria. Ed. A.M. Fries. Lima. Perú.

The nature Conservancy. 1999. Agua: Valorización del Servicio Ambiental que prestan las áreas protegidas. Arlington. Virginia. 9 p.

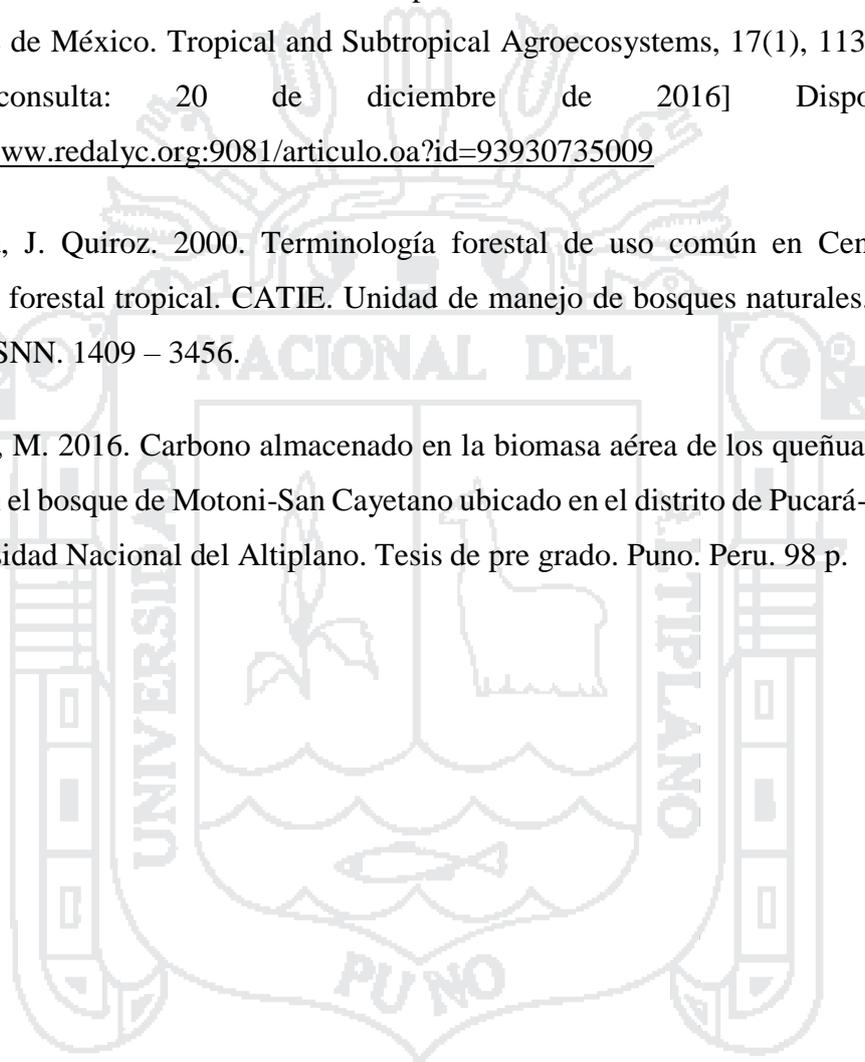
Ticona, R. 2012. Captura de Carbono (CO₂) por la vegetación arbustiva *Añahuaya* (*Adesmia miraflorensis* Remy) CIP ILLPA-Puno. Universidad Nacional del Altiplano. Tesis de pre grado. Puno. Perú. 86 p.

Ttimp, E. 2010. Evaluación Agrostológica de los Pastizales Naturales en Época de Lluvia y Seca del Centro de Investigación y Producción Illpa-Puno, UNA-Puno. Tesis Ing. Agrónomo. Puno. Perú. 103 p.

Yamallel, J. I. Y., Pérez, J. J., Rodríguez, E. A., Calderón, O. A. A., Tagle, M. A. G., & Garza, E. J. T. 2014. Dinámica de la Captura de Carbono en Pastizales Abandonados del Noreste de México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 17(1), 113-121.: [Fecha de consulta: 20 de diciembre de 2016] Disponible en: <http://www.redalyc.org:9081/articulo.oa?id=93930735009>

Zamora, J. Quiroz. 2000. Terminología forestal de uso común en Centro América. Manejo forestal tropical. CATIE. Unidad de manejo de bosques naturales. N 14. Junio, 2000. ISSN. 1409 – 3456.

Zapana, M. 2016. Carbono almacenado en la biomasa aérea de los queñuales (*Polylepis spp.*) en el bosque de Motoni-San Cayetano ubicado en el distrito de Pucará-Región Puno. Universidad Nacional del Altiplano. Tesis de pre grado. Puno. Peru. 98 p.



ANEXOS

Anexo 1. Glosario y definición de términos básicos

Adaptación al cambio climático: Se define Adaptación al Cambio Climático como “El ajuste de los sistemas naturales o humanos en respuesta a los estímulos climáticos reales o esperados o sus efectos que modera los daños o explota las oportunidades beneficiosas”³.

Área de conservación municipal: Son espacios naturales o modificados, continentales o marinos que contienen biodiversidad y/o valores naturales importantes, prestan servicios ecosistémicos y/o poseen valores culturales. Son establecidas o reconocidas por el Municipio mediante un instrumento legal y municipal en concordancia con las políticas ambientales, territoriales y de desarrollo del país y el sistema de áreas protegidas⁴.

Biomasa: El total de materia orgánica seca o el contenido almacenado de energía de los organismos vivos (Zamora et al., 2000).

Biomasa de las raíces: Está, la representan los sistemas radiculares, constituyen otro sumidero de carbono (Medina, 2006).

Biomasa aérea: Es la que conforma las estructuras leñosas aéreas de especies frutales, maderables y otros árboles y arbustos del sistema productivo (Medina, 2006).

Captura de carbono: Extracción y almacenamiento de carbono de la atmósfera en sumideros de carbono (como los océanos, los bosques o la tierra) a través de un proceso físico o biológico como la fotosíntesis⁵.

Carbono fijado: Se refiere a la cantidad de carbono que una unidad de área cubierta por vegetación tiene la capacidad de captar en un período de tiempo determinado (Segura, 1999).

³ IPCC. 2001. Climate change 2001. Impacts, adaptation and vulnerability. IPCC, WMO, UNEP. Cambridge university press. UK

⁴ Glosario de Términos de la Gestión Ambiental Peruana 2012, Ministerio del Ambiente. Disponible en la Web: <http://www.usmp.edu.pe/recursoshumanos/pdf/Glosario-de-Terminos.pdf>

⁵ Disponible en la página Web: <http://www.greenfacts.org/es/glosario/abc/captura-carbono.htm>

Dióxido de carbono (CO₂): Es un compuesto inorgánico formado por la unión simétrica de un átomo de carbono y dos átomos de oxígeno, espacialmente dispuestos para formar una molécula triatómica lineal de la siguiente forma: O = C = O. En condiciones normales es un gas inerte que se produce principalmente como un subproducto de procesos de combustión (Medina, 2010).

Fotosíntesis: Es un proceso realizado por las plantas, algas y bacterias fotosintéticas, que transforman la energía luminosa, almacenada en los fotones de la radiación solar, en energía química que permite que los cloroplastos y las moléculas de clorofila absorban y usen el CO₂ como fuente de carbono, para ser incluido en la biosíntesis de carbohidratos⁶.

Fuente: Cualquier proceso, actividad o mecanismo que libera un gas de efecto invernadero a la atmósfera⁷.

Impactos: Los impactos generalmente se refieren a efectos en las vidas, medios de subsistencia, salud, ecosistemas, economías, sociedades, culturas, servicios e infraestructuras, debido a la interacción de los cambios climáticos o fenómenos climáticos peligrosos que ocurren en un lapso de tiempo específico y a la vulnerabilidad de las sociedades o los sistemas expuestos a ellos. Los impactos también se denominan consecuencias y resultados.

Servicios ambientales: Está referido a los beneficios que la naturaleza proporciona a la humanidad en su conjunto o a una región, como la protección del recurso hídrico y de los suelos, la protección de la biodiversidad, la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero y la belleza escénica, entre otros⁸.

Stock: Es la cantidad absoluta de carbono almacenado en un depósito en un momento determinado⁹.

Sumidero de carbono: Se conoce como sumidero todo sistema o proceso por el que se extrae de la atmósfera un gas o gases y se almacena (Carvajal, 2010).

⁶ Lazcano, Cesar. (2003). Taller de Biología y Tratamiento de las Aguas residuales. Lima Perú. Pág. 11.

⁷ ECODECISIÓN. (2000). Opciones forestales en el mecanismo de Desarrollo Limpio: Un resumen de los principales temas para los países andinos. Ecuador.

⁸ Glosario de Términos de la Gestión Ambiental Peruana 2012, Ministerio del Ambiente Disponible en : <http://www.usmp.edu.pe/recursoshumanos/pdf/Glosario-de-Terminos.pdf>

⁹ ECODECISIÓN. (2000). Opciones forestales en el mecanismo de Desarrollo Limpio: Un resumen de los principales temas para los países andinos. Ecuador.

Emisiones a la atmósfera: La producción, transporte y consumo de energía es hoy fuente de emisiones atmosféricas: el dióxido de carbono, los óxidos de azufre y el nitrógeno, el metano, el monóxido de carbono, los metales pesados, las partículas en suspensión y los clorofluorocarbonos, son algunos de los contaminantes principales. Generando impactos en el medio ambiente como la influencia de los CFCs en la disminución de la capa de ozono, del CO₂ en el calentamiento global, de los dióxidos de azufre y nitrógeno en la lluvia acida, hay otra serie de fenómenos inducidos como las emisiones de sustancias cancerígenos (por ejemplo el níquel emitido en sistemas basados en petróleo) y las nieblas de invierno y verano. (Heras, 2008).

Mitigación del cambio climático: Intervención humana destinada a reducir las fuentes o intensificar los sumideros de gases de efecto invernadero (GEI), guardando relación con las políticas y medidas destinadas a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.¹⁰

Dióxido de carbono equivalente (CO₂e): la unidad universal de medida usada para indicar el potencial de calentamiento de cada uno de los seis GEI¹¹.

¹⁰ Portal de labor del sistema de naciones unidas frente al cambio climático <http://www.un.org>

¹¹ Sarria, P. 2007. El mercado de carbono. EcoSecurities Group PLC.

Anexo 2. Marco legal

Constitución política del Perú de 1993

- Artículo 67.- Política Ambiental: El Estado determina la política nacional del ambiente promoviendo el uso sostenible de sus recursos naturales.
- Artículo 68.- Conservación de la diversidad biológica y áreas naturales protegidas: El Estado está obligado a promover la conservación de la diversidad biológica y de las áreas naturales protegidas.

Ley N°28611. Ley general del ambiente (Ministerio del Ambiente)

Artículo 99.- De los ecosistemas frágiles

- 99.1 “En el ejercicio de sus funciones, las autoridades públicas adoptan medidas de protección especial para los ecosistemas frágiles, tomando en cuenta sus características y recursos singulares; y su relación con condiciones climáticas especiales y con los desastres naturales”
- 99.3 El Estado reconoce la importancia de los humedales como hábitat de especies de flora y fauna, en particular de aves migratorias, priorizando su conservación en relación con otros usos.

Ley N° 30215. Mecanismos de retribución por servicios ecosistémicos¹²

- Artículo 1. La presente Ley promueve, regula y supervisa los mecanismos de retribución por servicios ecosistémicos que se derivan de acuerdos voluntarios que establecen acciones de conservación, recuperación y uso sostenible para asegurar la permanencia de los ecosistemas.

Ley N° 29763. Ley forestal y de fauna silvestre (Ministerio de Agricultura)¹³

- Artículo 13. Autoridad Nacional Forestal y de Fauna Silvestre: Créase el Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR) como organismo público

¹² Disponible en la página Web del Ministerio del Ambiente de Perú: <http://www.minam.gob.pe/>

¹³ Disponible en la página Web del Ministerio de Agricultura , Perú: <http://www.minagri.gob.pe/portal/>

técnico especializado, con personería jurídica de derecho público interno, como pliego presupuestal adscrito al Ministerio de Agricultura.

Convenios Internacionales

- Convenio de Viena para la protección de la capa de ozono, aprobado en Viena, Austria, 22 de marzo de 1985, depositario: secretaría general de las naciones unidas (ONU).
- Convenio marco de las naciones unidas sobre el cambio climático, aprobado en Nueva York, EE.UU. el 9 de mayo de 1992. Depositario: secretaría general de las naciones unidas.
- Convención Ramsar: El Perú ha ratificado la Convención Relativa a los humedales de Importancia Internacional especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas, conocido como “Convención Ramsar”, el 13 de noviembre de 1991, mediante Resolución Legislativa N° 25353, dada por el Congreso de la República.
- Convención internacional de lucha contra la desertificación y la sequía, aprobado en París, Francia, el 17 de junio de 1994. Depositario: secretaría general de las naciones unidas.
- Protocolo de Kioto de la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático fue aprobado el 11 de diciembre de 1997 durante tercera conferencia de las partes de la convención (Kioto, Japón, del 1 al 11 de diciembre de 1997).

Anexo 3. Densidad de matas por cuadrante de 25 m² en el sitio Chiji Mocco Pampa.

Cuad.	Tamaño (m)	Cant.	X	S	Medida de alturas (m)										
					0.85	0.87	0.95	0.96	0.97	0.99	1.04	1.08	1.1	1.14	
1	G	12	1.03	0.12	0.85	0.87	0.95	0.96	0.97	0.99	1.04	1.08	1.1	1.14	
					1.14	1.24									
	M	11	0.63	0.12	0.45	0.47	0.49	0.58	0.63	0.64	0.66	0.71	0.72	0.78	
2	P	5	0.30	0.04	0.24	0.27	0.31	0.33	0.35						
					0.85	0.88	0.98	0.99	1.11	1.15	1.21	1.25	1.3		
	M	12	0.64	0.11	0.43	0.55	0.55	0.58	0.61	0.63	0.64	0.7	0.74	0.75	
3	P	8	0.27	0.09	0.77	0.78	0.24	0.27	0.29	0.33	0.34	0.38			
					0.11	0.19	0.24	0.27	0.29	0.33	0.34	0.38			
	G	9	1.07	0.09	0.88	1.02	1.03	1.05	1.09	1.11	1.14	1.14	1.18		
4	M	12	0.66	0.08	0.53	0.58	0.59	0.6	0.61	0.65	0.66	0.71	0.72	0.75	
					0.77	0.78									
	P	6	0.27	0.11	0.11	0.16	0.25	0.34	0.37	0.38					
4	G	10	1.08	0.10	0.88	0.98	1.02	1.07	1.1	1.12	1.13	1.14	1.18	1.18	
					0.48	0.58	0.67	0.69	0.75	0.77	0.78	0.79	0.79		
	P	7	0.28	0.09	0.15	0.19	0.23	0.27	0.35	0.36	0.39				

Anexo 4. Densidad de matas por cuadrante de 25 m² en el sitio Quello Circa Pampa.

Cuad.	Tamaño (m)		Cant.	X	S	Medida de alturas (m)											
	G	M				0.89	0.97	0.99	1.04	1.09	1.14	1.14	1.14	1.15	1.17	1.28	
1	G	0.81 a +	12	1.13	0.14	1.31	0.97	0.99		1.04	1.09	1.14	1.14	1.14	1.15	1.17	1.28
	M	0.41-0.80	8	0.63	0.11	0.49	0.51	0.57	0.59	0.67	0.68	0.75	0.78				
	P	0.01-0.40	8	0.25	0.09	0.11	0.17	0.21	0.22	0.29	0.31	0.32	0.38				
2	G	0.81 a +	9	1.04	0.11	0.89	0.92	0.95	1.03	1.05	1.08	1.09	1.1	1.23			
	M	0.41-0.80	10	0.56	0.10	0.45	0.47	0.48	0.52	0.54	0.55	0.59	0.6	0.68	0.76		
	P	0.01-0.40	6	0.26	0.08	0.12	0.21	0.25	0.29	0.33	0.33						
3	G	0.81 a +	7	1.08	0.12	0.88	0.99	1.06	1.1	1.12	1.14	1.26					
	M	0.41-0.80	10	0.58	0.09	0.48	0.48	0.52	0.54	0.54	0.55	0.6	0.64	0.67	0.77		
	P	0.01-0.40	7	0.29	0.11	0.13	0.15	0.29	0.33	0.36	0.37	0.4					
4	G	0.81 a +	10	1.04	0.09	0.89	0.94	0.94	1.01	1.04	1.08	1.08	1.12	1.15			
	M	0.41-0.80	9	0.62	0.10	0.48	0.54	0.55	0.57	0.61	0.65	0.71	0.73	0.76			
	P	0.01-0.40	6	0.25	0.06	0.18	0.21	0.22	0.27	0.31	0.33						

Anexo 5. Producción de biomasa verde en el sitio Chiji Mocco Pampa.

Cuad.	Tamaño	Rep.	Altura mata (m)	Biomasa verde de arbusto (kg)				Peso \bar{X} arbusto (kg)
				Hoja	Tallo	Raíz	Total	
C1	Grande	1	1.04	0.031	0.203	0.041	0.275	0.250
		2	0.95	0.026	0.084	0.028	0.138	
		3	1.1	0.054	0.257	0.025	0.336	
	Mediano	1	0.72	0.047	0.112	0.014	0.173	0.183
		2	0.63	0.034	0.151	0.032	0.217	
		3	0.71	0.031	0.108	0.021	0.16	
	Pequeño	1	0.35	0.018	0.08	0.008	0.106	0.107
		2	0.27	0.012	0.078	0.012	0.102	
		3	0.31	0.009	0.094	0.009	0.112	
C2	Grande	1	1.15	0.084	0.824	0.054	0.962	0.821
		2	1.21	0.108	0.506	0.064	0.678	
		3	0.99	0.098	0.687	0.039	0.824	
	Mediano	1	0.63	0.045	0.214	0.028	0.287	0.346
		2	0.75	0.067	0.301	0.037	0.405	
		3	0.58	0.074	0.209	0.064	0.347	
	Pequeño	1	0.33	0.018	0.057	0.018	0.093	0.092
		2	0.38	0.024	0.064	0.014	0.102	
		3	0.29	0.021	0.044	0.016	0.081	
C3	Grande	1	1.14	0.154	1.054	0.045	1.253	1.122
		2	0.88	0.078	0.874	0.043	0.995	
		3	1.05	0.109	0.98	0.028	1.117	
	Mediano	1	0.75	0.078	0.508	0.018	0.604	0.452
		2	0.65	0.064	0.274	0.027	0.365	
		3	0.78	0.047	0.309	0.031	0.387	
	Pequeño	1	0.25	0.011	0.054	0.018	0.083	0.086
		2	0.37	0.012	0.068	0.011	0.091	
		3	0.34	0.019	0.049	0.017	0.085	
C4	Grande	1	1.13	0.045	0.781	0.068	0.894	1.035
		2	0.98	0.031	0.895	0.049	0.975	
		3	1.14	0.094	1.124	0.019	1.237	
	Mediano	1	0.75	0.024	0.157	0.018	0.199	0.324
		2	0.69	0.038	0.294	0.014	0.346	
		3	0.48	0.031	0.374	0.021	0.426	
	Pequeño	1	0.35	0.012	0.058	0.011	0.081	0.071
		2	0.27	0.009	0.038	0.018	0.065	
		3	0.19	0.011	0.046	0.009	0.066	

Anexo 6. Producción de biomasa verde en el sitio Quello Circa Pampa.

Cuad.	Tamaño	Rep.	Altura mata (m)	Biomasa verde de arbusto (kg)				Peso \bar{X} arbusto (kg)
				Hoja	Tallo	Raíz	Total	
C1	Grande	1	0.97	0.121	0.845	0.034	1	1.182
		2	1.14	0.145	1.005	0.041	1.191	
		3	1.28	0.11	1.208	0.038	1.356	
	Mediano	1	0.57	0.094	0.853	0.024	0.971	0.792
		2	0.68	0.045	0.742	0.018	0.805	
		3	0.78	0.047	0.521	0.031	0.599	
	Pequeño	1	0.38	0.024	0.241	0.008	0.273	0.287
		2	0.29	0.03	0.325	0.009	0.364	
		3	0.31	0.028	0.186	0.011	0.225	
C2	Grande	1	0.89	0.21	1.115	0.024	1.349	1.152
		2	1.23	0.148	0.958	0.03	1.136	
		3	0.95	0.112	0.841	0.018	0.971	
	Mediano	1	0.54	0.075	0.741	0.021	0.837	0.626
		2	0.68	0.068	0.453	0.037	0.558	
		3	0.45	0.094	0.347	0.042	0.483	
	Pequeño	1	0.25	0.021	0.194	0.011	0.226	0.273
		2	0.33	0.035	0.3	0.009	0.344	
		3	0.29	0.019	0.214	0.017	0.25	
C3	Grande	1	0.88	0.188	0.854	0.042	1.084	1.387
		2	0.99	0.241	1.45	0.032	1.723	
		3	1.26	0.21	1.12	0.024	1.354	
	Mediano	1	0.77	0.054	0.658	0.01	0.722	0.815
		2	0.48	0.068	0.84	0.006	0.914	
		3	0.54	0.047	0.745	0.018	0.81	
	Pequeño	1	0.4	0.028	0.241	0.011	0.28	0.207
		2	0.33	0.03	0.164	0.017	0.211	
		3	0.36	0.024	0.098	0.009	0.131	
C4	Grande	1	1.15	0.121	0.845	0.043	1.009	0.952
		2	0.94	0.098	0.648	0.028	0.774	
		3	1.01	0.091	0.947	0.0347	1.0727	
	Mediano	1	0.73	0.048	0.257	0.025	0.33	0.491
		2	0.71	0.06	0.614	0.017	0.691	
		3	0.54	0.038	0.395	0.019	0.452	
	Pequeño	1	0.33	0.031	0.087	0.008	0.126	0.126
		2	0.31	0.019	0.11	0.013	0.142	
		3	0.21	0.024	0.078	0.008	0.11	

Anexo 7. Producción de biomasa seca en el sitio Chiji Mocco Pampa.

Cuad.	Tamaño	Rep.	Altura mata (m)	Biomasa seca de matas (kg)				Peso \bar{X} arbusto (kg)
				Hoja	Tallo	Raíz	Total	
C1	Grande	1	1.04	0.020	0.189	0.030	0.239	0.216
		2	0.95	0.017	0.078	0.021	0.115	
		3	1.1	0.035	0.239	0.018	0.292	
	Mediano	1	0.72	0.032	0.105	0.010	0.146	0.156
		2	0.63	0.023	0.141	0.022	0.186	
		3	0.71	0.021	0.101	0.014	0.136	
	Pequeño	1	0.35	0.011	0.075	0.006	0.092	0.093
		2	0.27	0.007	0.073	0.009	0.089	
		3	0.31	0.005	0.088	0.007	0.100	
C2	Grande	1	1.15	0.054	0.767	0.040	0.861	0.726
		2	1.21	0.069	0.471	0.047	0.587	
		3	0.99	0.063	0.640	0.029	0.731	
	Mediano	1	0.63	0.030	0.200	0.019	0.250	0.297
		2	0.75	0.045	0.282	0.025	0.352	
		3	0.58	0.050	0.196	0.044	0.289	
	Pequeño	1	0.33	0.011	0.053	0.013	0.077	0.076
		2	0.38	0.015	0.060	0.010	0.085	
		3	0.29	0.013	0.041	0.012	0.065	
C3	Grande	1	1.14	0.099	0.982	0.033	1.113	1.004
		2	0.88	0.050	0.814	0.032	0.896	
		3	1.05	0.070	0.913	0.021	1.003	
	Mediano	1	0.75	0.052	0.476	0.012	0.540	0.400
		2	0.65	0.043	0.257	0.018	0.318	
		3	0.78	0.032	0.289	0.021	0.342	
	Pequeño	1	0.25	0.007	0.050	0.013	0.070	0.073
		2	0.37	0.007	0.064	0.008	0.079	
		3	0.34	0.012	0.046	0.012	0.070	
C4	Grande	1	1.13	0.029	0.727	0.050	0.806	0.939
		2	0.98	0.020	0.834	0.036	0.889	
		3	1.14	0.060	1.047	0.014	1.121	
	Mediano	1	0.75	0.016	0.147	0.012	0.175	0.290
		2	0.69	0.026	0.275	0.010	0.310	
		3	0.48	0.021	0.350	0.014	0.385	
	Pequeño	1	0.35	0.007	0.054	0.008	0.069	0.060
		2	0.27	0.005	0.035	0.013	0.054	
		3	0.19	0.007	0.043	0.007	0.056	

Anexo 8. Producción de biomasa seca en el sitio Quello Circa Pampa

Cuad.	Tamaño	Rep.	Altura mata (m)	Biomasa seca de matas (kg)				Peso \bar{X} arbusto (kg)
				Follaje	Tallo	Raíz	Total	
C1	Grande	1	0.97	0.085	0.779	0.024	0.887	1.053
		2	1.14	0.101	0.926	0.028	1.056	
		3	1.28	0.077	1.113	0.026	1.216	
	Mediano	1	0.57	0.071	0.740	0.018	0.829	0.677
		2	0.68	0.034	0.644	0.013	0.691	
		3	0.78	0.035	0.452	0.023	0.511	
	Pequeño	1	0.38	0.018	0.216	0.006	0.240	0.252
		2	0.29	0.022	0.292	0.007	0.320	
		3	0.31	0.021	0.167	0.008	0.196	
C2	Grande	1	0.89	0.147	1.027	0.017	1.191	1.021
		2	1.23	0.104	0.883	0.021	1.007	
		3	0.95	0.078	0.775	0.012	0.866	
	Mediano	1	0.54	0.057	0.643	0.016	0.716	0.530
		2	0.68	0.051	0.393	0.028	0.472	
		3	0.45	0.071	0.301	0.031	0.404	
	Pequeño	1	0.25	0.016	0.174	0.008	0.198	0.239
		2	0.33	0.026	0.269	0.007	0.302	
		3	0.29	0.014	0.192	0.013	0.219	
C3	Grande	1	0.88	0.132	0.787	0.029	0.948	1.223
		2	0.99	0.169	1.336	0.022	1.527	
		3	1.26	0.147	1.032	0.017	1.196	
	Mediano	1	0.77	0.041	0.571	0.007	0.619	0.700
		2	0.48	0.051	0.729	0.004	0.785	
		3	0.54	0.035	0.647	0.013	0.696	
	Pequeño	1	0.4	0.021	0.216	0.008	0.245	0.180
		2	0.33	0.022	0.147	0.013	0.182	
		3	0.36	0.018	0.088	0.007	0.112	
C4	Grande	1	1.15	0.085	0.779	0.030	0.893	0.846
		2	0.94	0.069	0.597	0.019	0.685	
		3	1.01	0.064	0.873	0.024	0.960	
	Mediano	1	0.73	0.036	0.223	0.019	0.278	0.418
		2	0.71	0.045	0.533	0.013	0.591	
		3	0.54	0.029	0.343	0.014	0.386	
	Pequeño	1	0.33	0.023	0.078	0.006	0.107	0.108
		2	0.31	0.014	0.099	0.010	0.122	
		3	0.21	0.018	0.070	0.006	0.094	

Anexo 9. Análisis estadístico de materia seca en el sitio Chiji Mocco Pampa

Estadísticas	Materia seca por tamaño sitio CMP		
	Grande	Mediano	Pequeño
Media	0.72	0.29	0.08
Error típico	0.10	0.03	0.00
Mediana	0.83	0.30	0.07
Desviación estándar	0.34	0.12	0.01
Varianza de la muestra	0.12	0.01	0.00
Curtosis	-0.77	0.64	-0.67
Coefficiente de asimetría	-0.70	0.66	0.12
Rango	1.01	0.40	0.05
Mínimo	0.12	0.14	0.05
Máximo	1.12	0.54	0.10
Suma	8.65	3.43	0.91
Cuenta	12.00	12.00	12.00
Nivel de confianza (95.0%)	0.22	0.07	0.01
Coefficiente de Variabilidad	47.30	40.75	18.54

Anexo 10. Análisis estadístico de materia seca en el sitio Quello Circa Pampa

Estadísticas	Materia seca por tamaño sitio QCP		
	Grande	Mediano	Pequeño
Media	1.04	0.58	0.19
Error típico	0.06	0.05	0.02
Mediana	0.98	0.61	0.20
Desviación estándar	0.22	0.17	0.08
Varianza de la muestra	0.05	0.03	0.01
Curtosis	1.17	-0.95	-0.96
Coefficiente de asimetría	0.78	-0.29	0.20
Rango	0.84	0.55	0.23
Mínimo	0.69	0.28	0.09
Máximo	1.53	0.83	0.32
Suma	12.43	6.98	2.34
Cuenta	12.00	12.00	12.00
Nivel de confianza (95.0%)	0.14	0.11	0.05
Coefficiente de Variabilidad	21.24	29.62	38.72

Anexo 11. Determinación del porcentaje de humedad y materia seca de Chillihua

clave	Biomasa verde	Biomasa seca	H(%)	MS(%)
CMP-T1	195.906	182.47	6.858	93.142
CMP-T2	193.618	181.331	6.346	93.654
CMP-T3	199.061	185.963	6.580	93.420
QCP-T1	168.842	155.591	7.848	92.152
QCP-T2	196.474	170.541	13.199	86.801
QCP-T3	170.103	152.583	10.300	89.700
CMP-H1	163.841	104.869	35.993	64.007
CMP-H2	183.339	123.189	32.808	67.192
CMP-H3	159.058	97.046	38.987	61.013
QCP-H1	161.121	112.735	30.031	69.969
QCP-H2	149.205	112.602	24.532	75.468
QCP-H3	157.792	116.893	25.920	74.080
CMP-R1	103.209	75.649	26.703	73.297
CMP-R2	101.408	69.127	31.833	68.167
CMP-R3	103.845	75.145	27.637	72.363
QCP-R1	75.47	52.185	30.853	69.147
QCP-R2	98.46	73.673	25.175	74.825
QCP-R3	84.365	62.41	26.024	73.976

Anexo 12. Fracción de conversión de carbono por el método de poder calórico.

Descripción	Componentes estructurales de la Chillahua					
	Chiji Mocco Pampa			Quello Circa Pampa		
	CMP - Hoja	CMP- Tallo	CMP - Raiz	QCP - Hoja	QCP- Tallo	QCP - Raiz
Peso muestra seca g.	108	106	106	114	106	104
Kcal/kg	4007.3	4187	3609.6	4094	4277.2	3730.6
J	4.1868	4.1868	4.1868	4.1868	4.1868	4.1868
J/1000g	16777.76	17530.13	15112.67	17140.76	17907.78	15619.28
Energía requerida por una planta J	480000	480000	480000	480000	480000	480000
Moles de carbono	0.03495	0.03652	0.03148	0.03571	0.03731	0.03254
Peso molecular del carbono	12	12	12	12	12	12
Fracción de carbono	0.42	0.44	0.38	0.43	0.45	0.39



Anexo 13. Contenido de carbono (C) en Chillihua del CIP Iipa.

Sitio	Cuadrante	Tamaño	Densidad		Contenido de carbono en Chillihua		
			25 m ²	Ha	kg/individuo	kg/ha	%
Chiji Mocco Pampa	C1	G	12	4800	0.088	424.19	6.03
		M	11	4400	0.064	281.65	4.00
		P	5	2000	0.038	76.59	1.09
	C2	G	10	4000	0.298	1191.38	16.93
		M	12	4800	0.122	584.47	8.31
		P	8	3200	0.031	99.41	1.41
	C3	G	9	3600	0.412	1481.83	21.06
		M	12	4800	0.164	787.57	11.19
		P	6	2400	0.030	71.72	1.02
	C4	G	10	4000	0.385	1539.66	21.88
		M	9	3600	0.119	428.66	6.09
		P	7	2800	0.025	68.76	0.98
Quello Circa pampa	C1	G	12	4800	0.442	2123.00	19.24
		M	8	3200	0.284	910.20	8.25
		P	8	3200	0.106	338.69	3.07
	C2	G	9	3600	0.429	1544.23	13.99
		M	10	4000	0.223	891.12	8.07
		P	6	2400	0.101	241.25	2.19
	C3	G	7	2800	0.514	1438.70	13.04
		M	10	4000	0.294	1175.96	10.65
		P	7	2800	0.076	211.41	1.92
	C4	G	10	4000	0.355	1421.56	12.88
		M	9	3600	0.176	632.38	5.73
		P	6	2400	0.045	108.51	0.98

Anexo 14. Captura de dióxido de carbono (CO₂) en el pastizal “Chillihua”.

Sitio	Cuadrante	Tamaño	Densidad		Captura de dióxido de carbono en Chillihua		
			100 m ²	Ha	kg/individuo	kg/ha	%
Chiji Mocco Pampa	C1	G	12	4800	0.324	1555.38	6.03
		M	11	4400	0.235	1032.73	4.00
		P	5	2000	0.140	280.82	1.09
	C2	G	10	4000	1.092	4368.41	16.93
		M	12	4800	0.446	2143.07	8.31
		P	8	3200	0.114	364.51	1.41
	C3	G	9	3600	1.509	5433.37	21.06
		M	12	4800	0.602	2887.76	11.19
		P	6	2400	0.110	262.98	1.02
	C4	G	10	4000	1.411	5645.44	21.88
		M	9	3600	0.437	1571.76	6.09
		P	7	2800	0.090	252.11	0.98
Quello Circa pampa	C1	G	12	4800	1.622	7784.33	19.24
		M	8	3200	1.043	3337.40	8.25
		P	8	3200	0.388	1241.87	3.07
	C2	G	9	3600	1.573	5662.17	13.99
		M	10	4000	0.817	3267.44	8.07
		P	6	2400	0.369	884.59	2.19
	C3	G	7	2800	1.884	5275.22	13.04
		M	10	4000	1.078	4311.84	10.65
		P	7	2800	0.277	775.17	1.92
	C4	G	10	4000	1.303	5212.38	12.88
		M	9	3600	0.644	2318.73	5.73
		P	6	2400	0.166	397.87	0.98

Anexo 15. Análisis de Energía bruta de la Chillihua



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE ZOOTECNIA - DEPARTAMENTO ACADEMICO DE NUTRICION
LABORATORIO DE EVALUACION NUTRICIONAL DE ALIMENTOS
Av. La Molina s/n - La Molina
TELEFAX 3480830

INFORME DE ENSAYO LENA N° 1154/2016

CLIENTE : MARIO FLORES ARONI
NOMBRE DEL PRODUCTO : 06 muestras de *Festuca dolichophylla* en harina
(Denominación responsabilidad del cliente)
MUESTRA : PROPORCIONADA POR EL CLIENTE
FECHA DE RECEPCIÓN : 24-11-2016
FECHA DE ANÁLISIS : Del 24/11/16 al 07/12/16
CANTIDAD DE MUESTRA : Indicados en tabla
PRESENTACION : Muestra en bolsa de polietileno
IDENTIFICACION : AQ16-1154/01-06

RESULTADOS DE ANALISIS QUIMICO

CODIGO	MUESTRA	Peso (gramos)	ENERGIA TOTAL, Kcal/Kg.
AQ16-1154/01	CMP - Hoja	108	4007.30
AQ16-1154/02	QCP - Hoja	114	4094.00
AQ16-1154/03	CMP - Tallo	106	4187.00
AQ16-1154/04	QCP - Tallo	106	4277.20
AQ16-1154/05	CMP - Raíz	106	3609.60
AQ16-1154/06	QCP - Raíz	104	3730.60

Métodos utilizados:

Energía Total x Bomba Calorimétrica

Atentamente,

La Molina, 07 de Diciembre del 2016


Ing. Gloria Palacios Pinto
Jefe del Laboratorio de Evaluación
Nutricional de Alimentos



Anexo 16. Análisis de porcentaje de humedad y materia seca de la totora



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
LABORATORIO DE PASTOS Y FORRAJES



RESULTADO DE ANÁLISIS

Asunto : Análisis de porcentaje de humedad y materia seca de Chillihua (*Festuca dolichophylla*)
 Procedencia : CIP ILLPA
 Interesado : Bach. MARIO FLORES ARONI
 Fecha de recepción : 10/11/2016
 Fecha de análisis : 10/11/2016 al 15/11/2016

Clave Laboratorio	Clave Usuario	H (%)	MS (%)
A1	CMP-T1	6.858	93.142
A2	CMP-T2	6.346	93.654
A3	CMP-T3	6.580	93.420
A4	CMP-H1	35.993	64.007
A5	CMP-H2	32.808	67.192
A6	CMP-H3	38.987	61.013
A7	CMP-R1	26.703	73.297
A8	CMP-R2	31.833	68.167
A9	CMP-R3	27.637	72.363
B10	QCP-T1	7.848	92.152
B11	QCP-T2	13.199	86.801
B12	QCP-T3	10.300	89.700
B13	QCP-H1	30.031	69.969
B14	QCP-H2	24.532	75.468
B15	QCP-H3	25.920	74.080
B16	QCP-R1	30.853	69.147
B17	QCP-R2	25.175	74.825
B18	QCP-R3	26.024	73.976

%MS Y %H= Porcentaje de materia seca y humedad determinado en el laboratorio

Puno, C.U. 25 noviembre de 2016

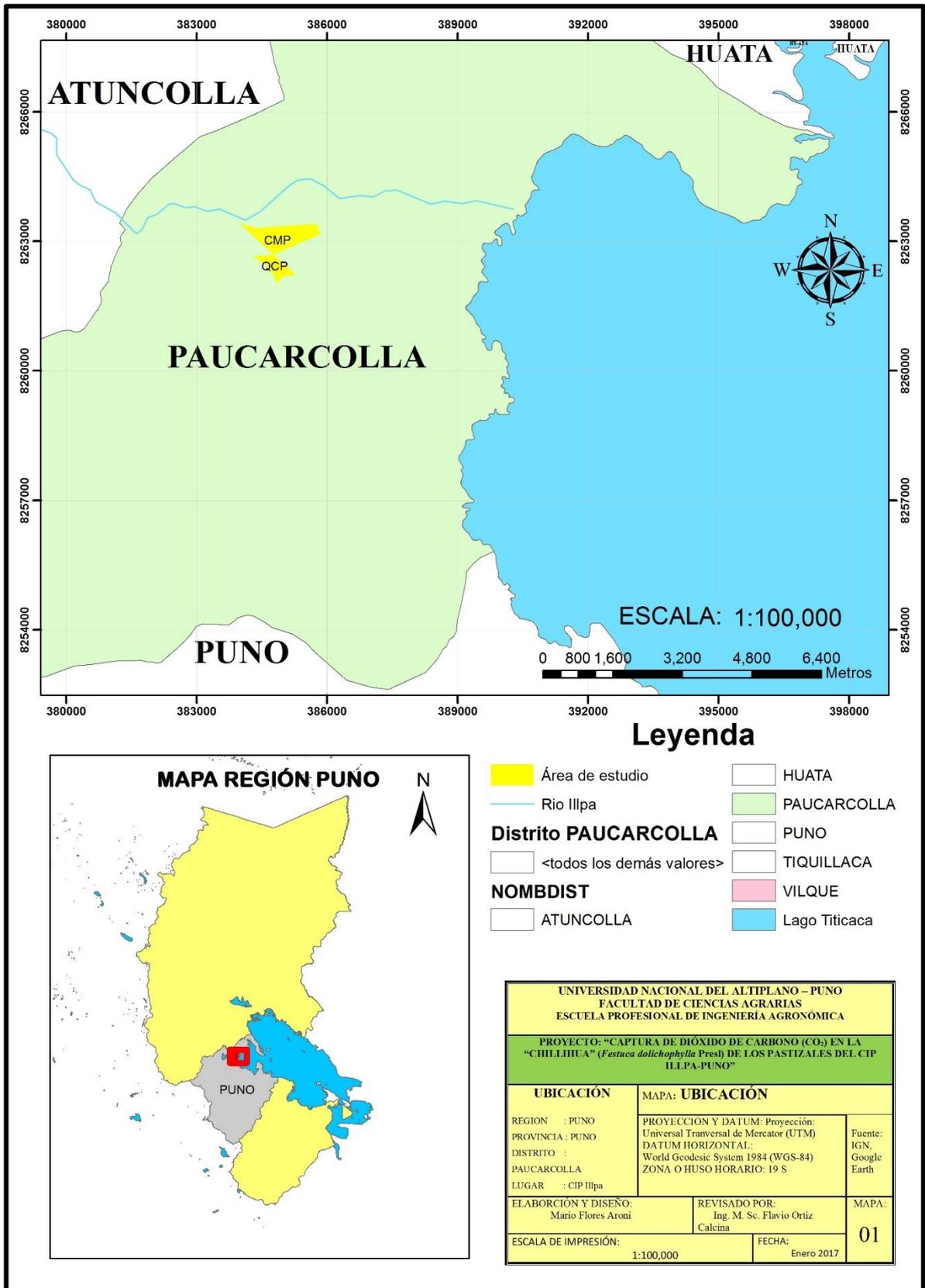
Atentamente,

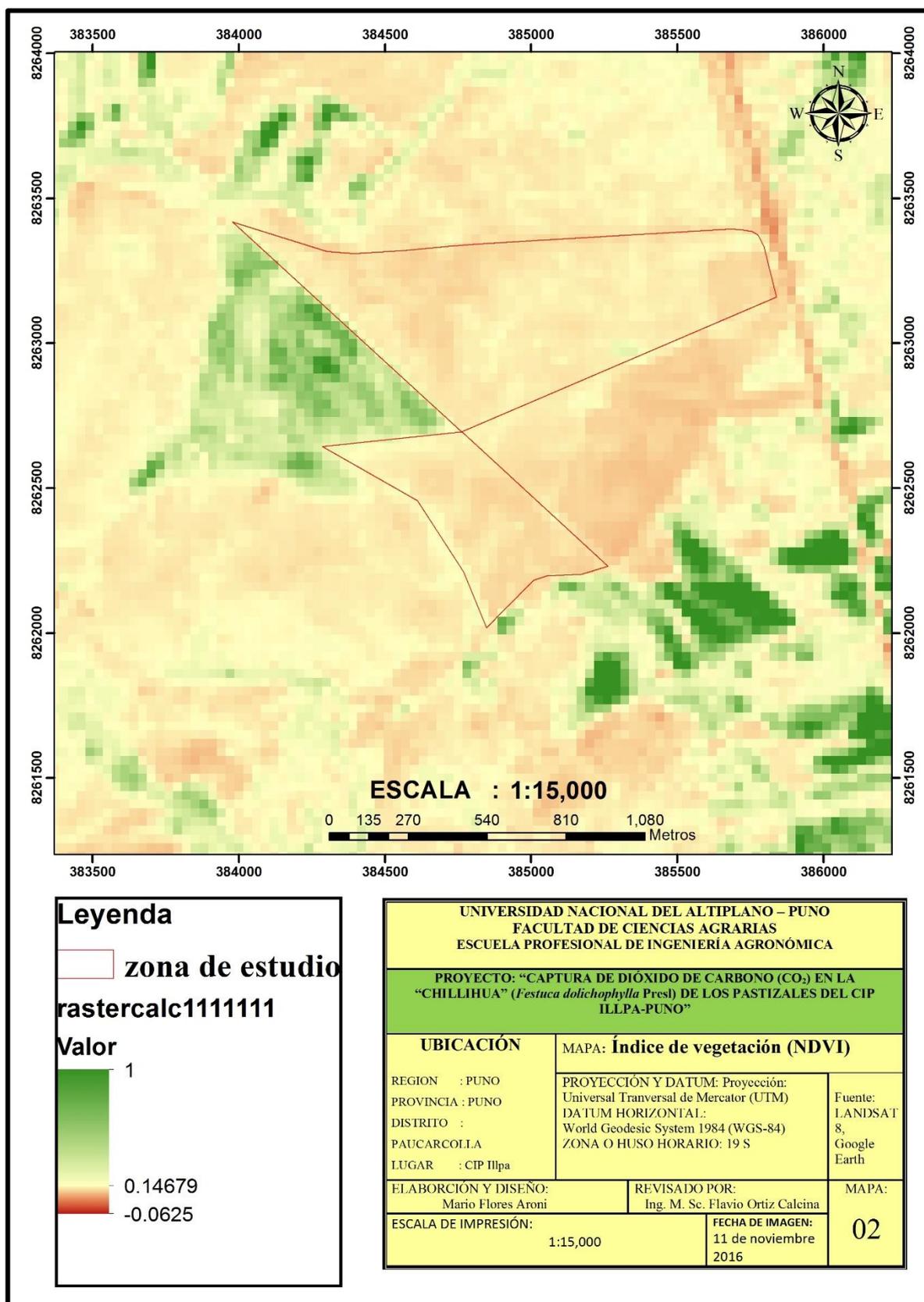


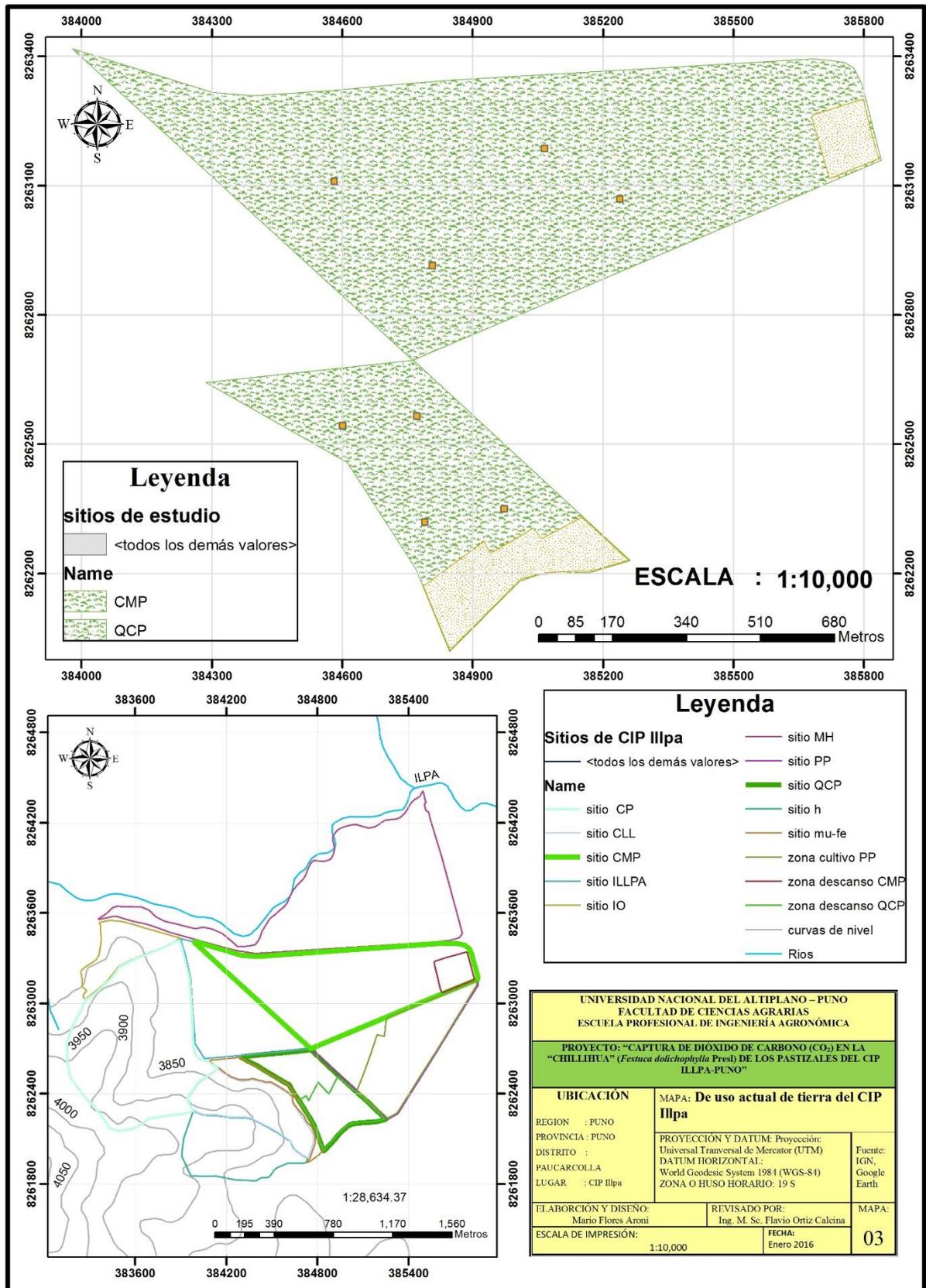
M. Sc. Francis Miranda Choque
 Jefe de Laboratorio de Pastos y Forrajes
 EPIA - FCA - UNA - PUNO

Marcelino Ticona Cruz
 ANALISTA DE LABORATORIO
 F.C.A. UNA - PUNO

Anexo 17. Mapas y planos



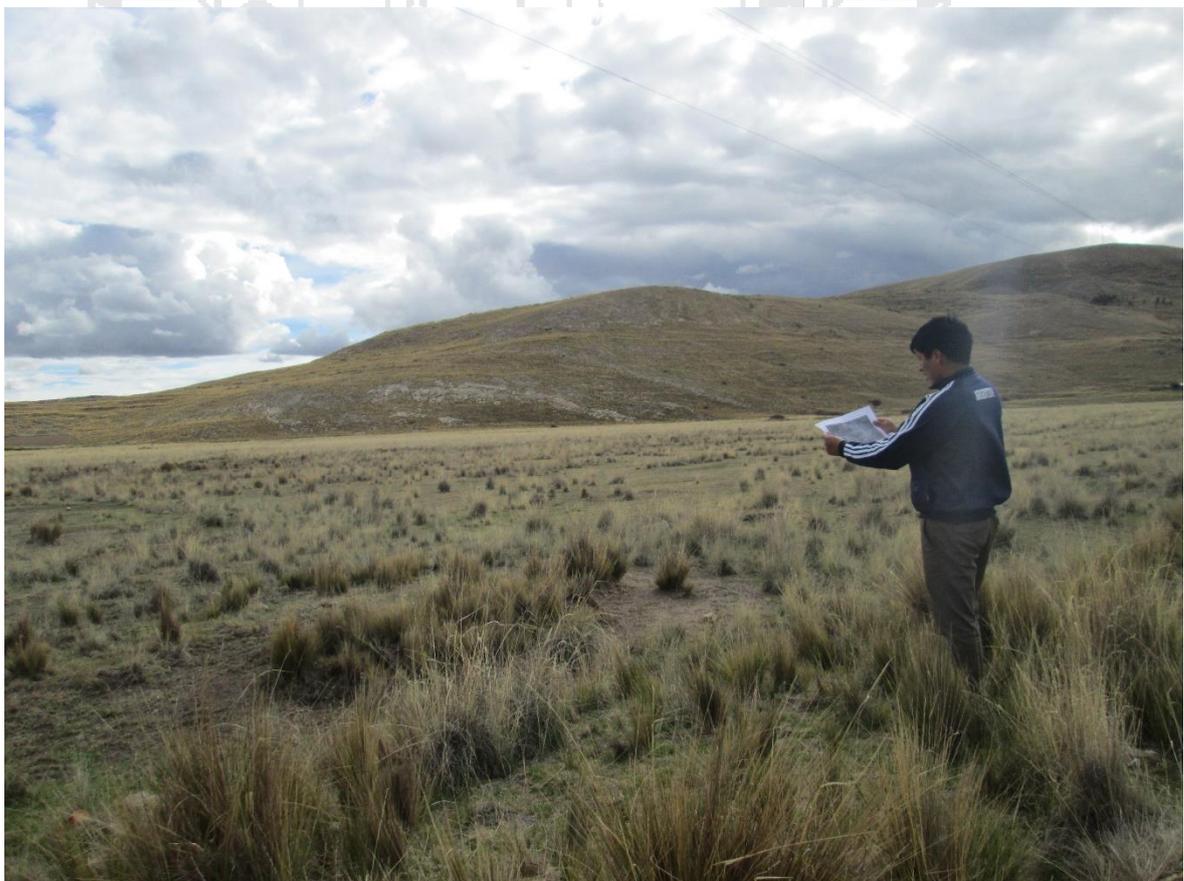




Anexo 18. Panel fotográfico



Fotografía 1. Centro de Investigación y Producción Illpa UNA-Puno



Fotografía 2. Reconocimiento y delimitación de áreas de estudio



a.



b.

Fotografía 3. Establecimiento de parcelas de muestreo, sitio Chiji Mocco Pampa (a.) y sitio Quello Circa Pampa (b.)



c.



d.



e.

Fotografía 4. Secuencia de recolección de datos, conteo de matas en parcela (c.), medición de altura de Chillihua (d.), medición de raíz (e.)



Fotografía 5. Cosecha y extracción (f.), corte y selección de hoja, tallo y raíz (g.), pesado de muestras cosechadas (h.)



Fotografía 6. Muestras en laboratorio por componente (i.), tallo de Chillihua (j.)



Fotografía 7. Muestras de Hoja de Chillihua (k.) y raíz (l.)



Fotografía 8. Pesado de muestras de materia verde (m.) y análisis de humedad (n.)



Fotografía 9. Molido de muestras por componente (o.) y tamizado de muestras (p.)



Fotografía 10. Muestras molidas de hoja, tallo y raíz (q.) y pesado (r.)



Fotografía 11. Muestras de hoja, tallo y raíz.

