

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA ARGENTINA**

**“SANTA MARÍA DE LOS BUENOS AIRES”**

**FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERA “FRAY ROGELIO BACON”**

**MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL Y DESARROLLO  
SUSTENTABLE**



**“ESTIMACIÓN DEL SERVICIO AMBIENTAL DE  
CAPTURA DE CO<sub>2</sub> EN TOTORALES DE LA RESERVA  
NACIONAL DEL TITICACA-PUNO (PERU)”**

Presentado por:

**MARIO FLORES ARONI**

Director:

**Dr. Eduardo Luccini**

Co-Director:

**M.Sc. Edzon Ttimpo Choque**

**Rosario – Argentina**

**2016**

ESTABLECIMIENTO: Facultad de Química e Ingeniería del Rosario



ACTA DE EXAMENES DE ALUMNOS regulares

de Tesis de Maestría

correspondiente al primer año de estudios.

A los veintinueve días del mes de febrero del dos mil dieciséis

reunida la comisión Examinadora de la asignatura mencionada, con asistencia de sus tres miembros,

señores: Dr. Ignacio J. Coria - Mg. Ing. Francisco Cardozo

procedió a cumplir su cometido con el resultado que se consigna a continuación:

Nº de Orden	Permiso de Examen Nº	Nº del Documento Nacional de Identidad	APELLIDO Y NOMBRES	Examen Escrito	Examen Oral	Calificación Definitiva
1		5.942.590	Flores Aroni, Tario	-	-	7 siete 7 bueno
2			Titulo de tesis: Estimulación del servicio ambiental de			
3			capture de CO2 en totorales de la reserva nacional de liticaca-			
4			Puno (Pecú)			
5						
6						
7			Es un trabajo original en cuanto a la protección de los totorales			
8			del lago y su capacidad para retener CO2			
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23			Director de tesis: Dr. Eduardo Luccini			
24			Dr. Gerardo H. Orallo (evaluador externo)			
25						
26						

Ing. W. Azul Chamorro  
Secretaría Académica

Director de tesis: Dr. Eduardo Luccini  
Dr. Gerardo H. Orallo (evaluador externo)

Se hace constar sobre un total de 1 (uno) alumnos, resultaron: 1 (uno)  
0 (ninguno) aprobados, 0 (ninguno) desaprobados y 0 (ninguno) ausentes.

Ing. W. Azul Chamorro  
Secretaría Académica

UNIVERSIDAD CATOLICA ARGENTINA

NOTA: Será considerado como original el documento que se presente con la firma de todos los presentes, enunciamiento explícito de cada uno de ellos, con el número de la mesa.

DEL ORIGINAL. FOTOCOPIA FIEL

Rosario, 19 de febrero de 2016

## **DEDICATORIA**

Con eterna gratitud a mis padres  
Victor y Eleodora por brindarme  
Siempre su apoyo y confianza

A mis hermanos: Eusebia, Nancy, Marco y  
Juan por su apoyo constante.

A mis tíos(as) por su apoyo incondicional  
E invaluable.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Programa Nacional de Becas y Crédito Educativo (PRONABEC), por haber subvencionado la investigación.

A la Carrera de Post Grado de la Pontificia Universidad Católica Argentina y al personal docente y administrativo, por mi capacitación técnico científico.

Al Dr. Eduardo Luccini, Director del presente trabajo, por sus valiosas enseñanzas y apoyo incondicional.

Al M.Sc. Edzon Ttimpo Choque, Co-Director del presente trabajo, por su apoyo en el tema.

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

# ESTIMACIÓN DEL SERVICIO AMBIENTAL DE CAPTURA DE CO<sub>2</sub> EN TOTORALES DE LA RESERVA NACIONAL DEL TITICACA-PUNO (PERU)

## RESUMEN

La presente investigación se realizó en los totorales del sector Puno de la Reserva Nacional del Titicaca (RNT), ubicada a 3810 msnm en la región Puno. En este sector el totoral está dominado por la especie *Schoenoplectus tatora* (Neset Meyer Kunth) comúnmente denominada totora. El objetivo de la investigación fue estimar el contenido de carbono ( C ) almacenado en los componentes de la totora, utilizando el método del “Poder Calórico” (Eduarte & Segura, 1998), para luego estimar la captura de CO<sub>2</sub> , utilizando el factor de conversión de carbono a dióxido de carbono.

El componente de la totora que contiene más carbono es el tallo floral (6.15 tC/ha), seguido del rizoma-raíz (5.59 tC/ha), así el contenido de carbono promedio por hectárea de *Schoenoplectus tatora* fue 11.75 tC/ha. El contenido de carbono en suelo es 169.82 tC/ha. Los resultados indican que los totorales capturan 43.07 tCO<sub>2</sub>/ha en promedio y 498 087 tCO<sub>2</sub> en todo el sector Puno de la RNT.

Este ecosistema constituye un eficiente sumidero de carbono atmosférico, por lo que su conservación y protección es prioritaria.

Palabra clave: *Schoenoplectus tatora*, poder calórico, carbono, dióxido de Carbono, Perú.

## ESTIMATE ENVIRONMENTAL SERVICES IN CO<sub>2</sub> CAPTURE ON TOTORALES LOCATED IN TITICACA NATIONAL RESERVE-PUNO (PERU)

### ABSTRACT

This research was conducted in the “totorales” of the sector Puno, Titicaca National Reserve (TNR), located at 3810 meters in the Puno region. In this sector the totoral is dominated by *Schoenoplectus tatora* (Neset Meyer Kunth) species, commonly known as totora. The research objective was to estimate the carbon content (C) stored in the components of the totora, using the calorimetric method (Eduarte & Segura, 1998), and then estimate the capture of CO<sub>2</sub>, using the factor carbon conversion to carbon dioxide.

The component of the totora that contains more carbon is the flower stalk (6.15 tC/ ha), followed by root-rhizome (5.59 tC/ha). The average carbon content per hectare of *Schoenoplectus tatora* was 11.75 tC/ha. The carbon content in soil is 169.82 tC / ha. The results indicate, the reeds caught 43.07 tCO<sub>2</sub>/ha on average and 498 087 tCO<sub>2</sub> across the Puno sector of the RNT

This ecosystem is an efficient sink for atmospheric carbon, so their conservation and protection is a priority.

Key words: *Schoenoplectus tatora*, calorimetric method, carbon, dióxide, Carbon, Peru.

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	01
<b>II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	04
2.1 Objetivo general.....	04
2.2 Objetivos específicos.....	04
2.3 Hipótesis.....	04
<b>III. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	05
3.1 ANTECEDENTES.....	05
3.2 CAMBIO CLIMATICO.....	08
3.2.1 Causas del cambio climático.....	09
3.2.2 Efectos del cambio climático.....	10
3.3 CAPTURA DE CARBONO.....	12
3.3.1 Proceso bioquímico de la fijación y emisión de carbono en las plantas.	13
3.3.2 Métodos para secuestrar el carbono atmosférico (CO <sub>2</sub> ).....	14
3.3.3 Métodos para estimar carbono en la biomasa forestal.....	14
a. Estimación del dióxido de carbono.....	14
b. Estimación del contenido de carbono.....	15
b.1 Método de Walkley y Black.....	15
b.2 Método del poder Calórico.....	16
3.3.4 Estrategias relacionadas a la reducción del carbono atmosférico.....	17
a. Absorción de carbono.....	17
b. Captura de carbono.....	18
c. Sustitución del carbono.....	18
3.3.5 Tasas de fijación de carbono en la vegetación.....	19
3.3.6 Bonos de carbono.....	20
3.3.7 Mercado de los bonos de carbono.....	21
3.4 LOS BOSQUES COMO SUMIDEROS Y FUENTES DE CARBONO.....	22
3.4.1 Procesos que verifican que los árboles y bosques contribuyen a cambiar los niveles atmosféricos de los gases de efecto invernadero.....	24
3.4.2 Los árboles y los bosques absorben carbono de la superficie terrestre en diferentes proporciones durante distintas fases de su vida.....	25

3.4.3	Función de los bosques en las existencias mundiales de carbono.....	25
3.5	ESTIMACIÓN DE BIOMASA.....	26
3.5.1	Diseño de muestreo para la estimación de biomasa en bosques.....	26
3.5.2	Evaluación de la producción primaria de pastizales.....	28
3.6	HUMEDALES.....	30
3.6.1	Sistemas de humedales.....	30
3.6.2	Importancia de los humedales.....	31
3.6.3	Valor ambiental de los humedales.....	32
a.	Valores de uso.....	32
b.	Valores de no uso.....	33
3.7	LOS HUMEDALES ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO.....	33
3.7.1	Mitigación al cambio climático.....	34
3.7.2	Vulnerabilidad, impactos y adaptación al cambio climático.....	35
a.	Vulnerabilidad.....	35
b.	Impactos.....	36
c.	Adaptación.....	37
3.8	RESERVA NACIONAL DEL TITICACA.....	38
3.8.1	Antecedentes de creación.....	38
3.8.2	Objetivos de creación .....	38
3.8.3	Categoría y estatus legal.....	39
3.8.4	Reconocimiento internacional.....	39
3.8.5	Características biofísicas.....	40
a.	Geología y geomorfología.....	40
b.	Características físico químicas.....	41
c.	Flora.....	42
d.	Fauna.....	43
3.9	TOTORA DE LA RNT.....	44
3.9.1	Descripción de <i>Schoenoplectus tatora</i> .....	44
a.	Origen.....	44
b.	Ubicación taxonómica.....	45
c.	Descripción botánica.....	45
d.	Propagación.....	48
e.	Variedades.....	50

f. Producción de los totorales.....	50
g. Beneficios que proporciona la totora y su manejo.....	51
<b>IV. METODOLOGÍA.....</b>	<b>53</b>
4.1 ÁMBITO DE ESTUDIO.....	53
4.1.1 Ubicación.....	53
4.1.2 Extensión.....	53
4.1.3 Altitud.....	54
4.1.4 Suelos .....	54
4.1.5 Condiciones climáticas .....	54
a. Temperatura.....	56
b. Precipitación.....	57
4.1.6 Accesibilidad.....	58
4.2 METODOLOGÍA .....	59
4.2.1 Duración .....	59
4.2.2 Selección del área de estudio.....	59
4.2.3 Diseño de muestreo.....	61
4.2.4 Medición de la producción de biomasa verde y seca en los totorales....	62
4.2.5 Determinación del contenido de carbono en los totorales.....	68
a. Método de Walkley y Black.....	68
b. Método del por Calórico.....	70
4.2.6 Determinación del contenido de carbono de suelo de los totorales.....	71
4.2.7 Cuantificación de dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) capturado en los totorales.....	76
<b>V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>78</b>
4.1 PRODUCCIÓN BIOMASA VERDE Y SECA DE LOS TOTORALES.....	78
4.2 CONTENIDO DE CARBONO (C) EN LOS COMPONENTES DE LA PLANTA DE TOTORA.....	81
4.3 CONTENIDO DE CARBONO (C) EN EL SUELO DE LOS TOTORALES	87
4.3 CAPTURA DE DIOXIDO DE CARBONO (CO <sub>2</sub> ) DE LOS TOTORALES.....	90

<b>VI.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>96</b>
<b>VII.</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>97</b>
<b>VIII.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>98</b>
<b>IX.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>108</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

	<b>Pág.</b>
Cuadro 01. Zonificación de los totorales del sector Puno de la RNT.....	60
Cuadro 02. Producción de biomasa verde y seca en los totorales del sector Puno de la RNT.....	79
Cuadro 03. Determinación del contenido de carbono “C” por el método de Walkley Black.....	84
Cuadro 04. Determinación del contenido de carbono “C” por el método del poder Calórico.....	86
Cuadro 05. Estudios de contenido de carbono por especie y ecosistema.....	67
Cuadro 06. Expresión de resultados de la muestra de suelo de zonas de la RNT..	89
Cuadro 07. Captura de dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) por el método de Walkley Black.....	91
Cuadro 08. Captura de Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> ) por el método del Poder Calórico.....	92
Cuadro 09. Comparativo de la captura de dióxido de carbono por especie y ecosistema.....	93
Cuadro 10. Extensión de los totorales del sector Puno de la RNT.....	94
Cuadro 11. Captura de dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) en totorales del sector Puno de la RNT.....	95

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 01. Climadiagrama adaptado a la RNT del periodo 2008-2014.....	56
Figura 02. Temperatura maxima, media y minima de la RNT para el periodo 2008-2014 .....	57
Figura 03. Precipitación promedio mensual de la RNT del periodo 2008-2014...	58
Figura 04. Instalación de cuadrante de 1 x 1m.....	63
Figura 05. Cosecha de totora utilizando una quinina.....	63
Figura 06. Medida vertical de totora.....	64
Figura 07. División del tallo floral.....	64
Figura 08. Muestra del rizoma-raíz.....	53
Figura 09. Pesado de muestras cosechadas.....	53
Figura 10. Muestra de tallo floral y raíz rizoma.....	54
Figura 11. Picado de tallo floral.....	67
Figura 12. Muestra picada.....	67
Figura 13. Análisis de humedad.....	67
Figura 14. Extraccion de suelo.....	74
Figura 15. Muestra de suelo.....	74
Figura 16. Muestra de suelo para analisis de materia organica.....	74
Figura 17. Secado de suelo en estufa.....	75
Figura 18. Producción de biomasa verde y seca por zonas de la RNT.....	78
Figura 19. Producción de biomasa verde y seca por componente estructural de la totora.....	81
Figura 20. Fracción de conversión de carbono por componente estructural de la totora.....	82
Figura 21. Contenido de carbono por zonas de la RNT.....	83
Figura 22. Contenido de carbono por componente estructural de la Totora.....	87
Figura 23. Contenido de Carbono en el suelo de la RNT.....	88
Figura 24. Captura de dióxido de carbono por zonas de la RNT.....	90
Figura 25. Totorales de la RNT-Puno.....	122
Figura 26. Ingreso a la zona silvestre de la RNT-Puno.....	122
Figura 27. Utilización de la totora como materia prima para contrucción de viviendas.....	123
Figura 28. Utilización de la totora como materia prima para artesanía.....	124

- Figura 29. Utilización de la totora como alimento humano (chullu)..... 125
- Figura 30. Plano de zonificación del sector Puno de la Reserva Nacional del Titicaca
- Figura 31. Plano de zonificación de totorales del sector Puno de la RNT

## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
Anexo 01. Temperaturas máximas (°C), del periodo 2008-2014, RNT-Puno....	109
Anexo 02. Temperaturas mínimas (°C), del periodo 2008-2014, RNT-Puno.....	109
Anexo 03. Temperaturas medias (°C), del periodo 2008-2014, RNT-Puno.....	110
Anexo 04. Precipitación pluvial (mm), del periodo 2008-2014, RNT-Puno.....	110
Anexo 05. Producción de materia verde de los totorales de la RNT-Puno.....	111
Anexo 06. Análisis estadístico de biomasa verde, densidad y altura.....	112
Anexo 07. Análisis estadístico de materia seca.....	113
Anexo 08. Fracción de conversión de carbono por el método de Walkley Black..	113
Anexo 09. Fracción de conversión de carbono por el método del poder Calórico.	114
Anexo 10. Determinación de análisis de sub muestra de suelo de la RNT.....	114
Anexo 11. Determinación de muestra de suelo de la RNT.....	115
Anexo 12. Producción de Biomasa verde de la RNT.....	115
Anexo 13. Producción de Materia seca de la RNT.....	115
Anexo 14. Análisis de porcentaje de humedad y materia seca de los totorales....	116
Anexo 15. Análisis del contenido de carbono de la totora.....	117
Anexo 16. Análisis de energía bruta de la totora parte TF.....	118
Anexo 17. Análisis de energía bruta de la totora parte R-R.....	119
Anexo 18. Análisis de porcentaje de materia orgánica de muestra se suelo.....	120
Anexo 19. Análisis de porcentaje de humedad de muestra de suelo.....	121

## I. INTRODUCCIÓN.

Debido a la gran preocupación actual por el aumento acelerado en la concentración de algunos gases de efecto invernadero (principalmente CO<sub>2</sub>) considerando los causantes del cambio climático, algunos países industrializados se comprometieron en el Protocolo de Kyoto a reducir sus emisiones, empleando mecanismos de flexibilidad como la implementación conjunta, los mecanismos de desarrollo limpio y el comercio de emisiones (Ludevid, 1998 y Orrego *et al.*, 1998).

Se sabe que los bosques son los mayores sumideros de carbono, pero cuánto carbono es capaces de almacenar las especies de flora de un humedal, es una pregunta que el proyecto buscó responder. El dióxido de carbono es uno de los gases más importantes cuando se habla de calentamiento global, entonces el buscar soluciones para mitigar esta situación nos lleva a preguntarnos, qué importancia tienen aquellos ecosistemas pocos mencionados en la solución, así es el caso de los humedales, ecosistemas capaces de almacenar grandes cantidades de carbono gracias a la acción fotosintética de la flora (proceso por el cual el dióxido de carbono se toma de la atmósfera y que en el interior de la planta es transformado en proteínas, carbohidratos, etc) y a los procesos lentos de descomposición de la materia muerta que ocurren en el suelo, ayudando a la retención de estos gases por más tiempo (Medrano, et al., 2012).

El total de la Reserva Nacional del Titicaca (RNT), es considerado como un humedal lacustre de importancia internacional, siendo un ecosistema muy importante para 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 y en el suelo. Así mismo los totorales han jugado un papel primordial en el desarrollo y sostén de las poblaciones del anillo circunlacustre del Lago Titicaca por muchísimos años. Por tal motivo, la Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional (RAMSAR) reconoció la totalidad del lado Peruano del Lago Titicaca como Humedal de Importancia Internacional el 20 de enero de 1997, especialmente como hábitat de aves acuáticas (MINAG/INRENA/RNT, 2002).

Por otra parte, el temprano marchitamiento de la totora obliga a los pobladores a quemar grandes extensiones de totorales. Normalmente puede haber quema controlada de totorales entre julio y agosto con autorización de la RNT (esto ayuda a apurar el rebrote de la planta con la nueva temporada de lluvias). Sin embargo, personas inescrupulosas que logran burlar la vigilancia de los guardaparques suelen iniciar quemas para la caza furtiva de aves silvestres o para adelantar el proceso de rebrote de la totora. Esta quema de totorales en forma descontrolada y la variación de los patrones pluviométricos ponen en riesgo el débil ecosistema de la Reserva, además de un incremento de las concentraciones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y el aumento de la temperatura atmosférica (Fernández, 2008).

Frente a esta problemática, el presente trabajo de investigación está orientado a generar información calificada sobre la cantidad de carbono almacenado en la estructura vegetal de la totora y en el suelo, a partir del cual, se podrá estimar y cuantificar la cantidad de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) capturado en los totorales de la RNT, permitiendo identificar el desarrollo de proyectos e investigaciones conducentes a mejorar las técnicas de muestreo de la biomasa, determinación de las tasas de captura de carbono de los distintos humedales, proyectos de

reducción de CO<sub>2</sub>, entre otros. Así mismo, buscar las mejores alternativas de aprovechamiento y manejo de los totorales, que reduzcan la emisión de metano y la práctica de quema como una medida de mitigación al cambio climático, así como mantener en equilibrio el ecosistema de la RNT. Además, el desarrollo de esta tesis pretende dar respuesta a los siguientes interrogantes:

- ¿Cuál es la cantidad de biomasa verde y seca presente en los totorales de la RNT?
- ¿Qué cantidad de carbono se encuentra almacenado en los componentes de la planta de totora de la RNT?
- ¿Cuál es el contenido de carbono presente en el suelo de los totorales de la RNT?
- ¿Cuál es el potencial de captura del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) de los totorales de la RNT?

## **II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.**

### **2.1 Objetivo general**

Estimar el servicio ambiental de captura de CO<sub>2</sub> que brinda los totorales de la Reserva Nacional del Titicaca-Puno (Perú)

### **2.2 Objetivos específicos**

- Medir la disponibilidad de biomasa verde y seca en los totorales de la RNT.
- Determinar el contenido de carbono almacenado en los componentes de las plantas de totora de la RNT.
- Determinar el contenido de carbono presente en el suelo de los totorales de la RNT.
- Estimar el potencial de captura de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) de los totorales de la RNT.

### **2.3 Hipótesis**

La captura de CO<sub>2</sub> en los totorales y en suelo de la Reserva Nacional del Titicaca-Puno (Perú), brinda un servicio ambiental significativo.

### III. REVISIÓN DE LITERATURA

#### 3.1 ANTECEDENTES

Medrano, et al., (2012), estudio sobre “Almacenamiento de carbono en especies predominantes de flora en el lago Chinchaycocha” Junín, determino cuyo procedimiento estuvo basado en la recolección de muestras dividida en: biomasa aérea, biomasa radicular y muestras de suelo, hallándose el contenido de carbono que fue: En el total se obtuvo que *Schoenoplectus californicus* Var. *Totora* almacena 30.65 tC/ha y *Juncos articus* Var. *Andicola* 8.70 tC/ha. En el Pajonal *Deyeuxia recta* Kunth almacena 7.02 tC/ha en su biomasa aérea y 8.41 tC/ha en su biomasa radicular. En 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.

Palomino (2007), en la tesis “Estimación del servicio ambiental de captura del CO<sub>2</sub> en la flora de los Humedades de Puerto Viejo” Lima, determinó que las especies herbáceas contribuyen significativamente con la retención de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), siendo la totora (*Schoenoplectus californicus* (C.A.Mey) Soyak), la especie que más capta CO<sub>2</sub>, con 73.7 tCO<sub>2</sub>/ha, seguido por el junco (*Scirpus americanus* Pers) con 40.6 tCO<sub>2</sub>/ha, estas especies presentan un alto valor artesanal, de allí la importancia de estas especies en la captura de CO<sub>2</sub>, y el almacenaje del carbono es directamente proporcional a la captura de

CO<sub>2</sub>. Por el contrario, de realizarse prácticas de quema de estas especies se emitirían concentraciones de dióxido de carbono a la atmósfera.

El IIAP (Instituto de Investigación de la Amazonia Peruana) (2006), en el estudio sobre “Servicios ambientales de almacenamiento y secuestro de carbono del ecosistema Aguajal en la Reserva Nacional Pacaya Samiria” Loreto, determinó la predominancia en dos bosques de aguajales (denso y mixto) de aguaje (*Mauritia flexuosa* L. f.) y aguajillo (*Mauritiella aculeata* (Kunth) Burret). Además estimó en 484.52 tC/ha y 424.72 tC/ha el contenido de carbono almacenado en los aguajales denso y mixto, respectivamente, destacándose la mayor contribución del carbono del suelo, que representa el 76.18% y 79.18% de los totales.

Por otro lado, el carbono de la vegetación asciende a 115.40 tC/ha en el aguajal denso y 88.50 tC/ha en el aguajal mixto. Así mismo un balance de carbono en los aguajales de la Reserva Nacional Pacaya Samiria, utilizando una de tasa de fijación anual de 0.35 tC/ha/año, dio como resultado que se estaría fijando potencialmente 131 188.76 tC/año en 598 970 ha de aguajales densos y 81 599.47 tC/año en 372 145 ha de aguajales mixtos, que son equivalentes en CO<sub>2</sub> a 481 025.44 tCO<sub>2</sub>/año en aguajales densos y 299 198.05 tCO<sub>2</sub>/año en los aguajales mixtos.

Guzmán (2004), en la “Valorización Económica de beneficios ambientales en el manejo sostenible de Humedales: Estudio de caso del manejo sostenible de los sistemas de “Aguajal” en la comunidad de Parinari, Reserva Nacional Pacaya Samiria”. Desarrollado en la Amazonía Peruana, estimó que los humedales ocupan una superficie de 13 908 807 ha, y la base conceptual se sustenta en el valor de los beneficios ambientales por el desarrollo de prácticas sostenibles (a través del manejo y la no tala de aguajes). La metodología está

centrada en determinar por diferencia el beneficio del manejo sostenible en los ecosistemas de aguajal.

Entre las conclusiones se dice que los ecosistemas de aguajal estarían proporcionando los más altos beneficios por captura de carbono que cualquier otro ecosistema, siendo el contenido de carbono en la vegetación aérea y raíz de 80.99 tC/ha y 101.59 tC/ha respectivamente, en áreas sin manejo; y valores entre 103.29 tC/ha y 126.42 tC/ha en áreas con manejo.

Chambi (2001), en la “Valoración Económica de Captura de Carbono mediante simulación aplicada a la zona boscosa del río Inambari y Madre de Dios”. Comprende las zonas boscosas de Madre de Dios, Norte de Puno y Quispichanis de Cusco, donde la superficie total del área estudiada es de 2 448 000 hectáreas. La determinación del secuestro potencial de carbono involucra la estimación de la biomasa acumulada de los diferentes componentes del bosque, estimándose solo la biomasa por encima del suelo. Utilizó una metodología desarrollada por la Fundación Solar (Guatemala, 2000).

La evaluación de la biomasa a nivel de investigación de campo fue realizada en el bosque del Fundo San Antonio, ubicado a 21 km de la carretera Puerto Maldonado-Cusco en el cual, de un área de 50 ha, se tomó una muestra de 0.6% de la superficie total. El cálculo de secuestro de carbono fue obtenido a partir de ecuaciones propuestas por Brown y Alpizar (1997), citado por Chambi (2001). Las estimaciones para el secuestro de carbono fueron realizadas mediante un software de simulación, obtenido de un modelo matemático, que no ha sido validado en terreno. El diseño de muestreo fue al azar ubicando parcelas en los lugares más representativos.

De acuerdo a los diferentes trabajos revisados en la determinación de captura de carbono, se puede afirmar que estos han sido ejecutados en diferentes ecosistemas y con diferentes métodos de determinación de carbono.

## **3.2 CAMBIO CLIMÁTICO**

Se denomina cambio climático a las variaciones en el patrón del clima por la intervención humana. Esta alteración ha modificado el balance de la atmósfera en su capacidad de permitir la radiación mediante el ingreso de los rayos solares y la irradiación con la que se expulsa el calor solar al espacio. Si se reconoce que el clima es un sistema que va más allá de las condiciones atmosféricas, y se concibe la interacción de la geósfera, la biósfera, la hidrósfera y la criosfera, se pueden comprender que las modificaciones del clima proceden de la acción humana sobre todas estas partes del planeta, especialmente sobre la geósfera y la biosfera (Sancho, 1999). La OMM (1966), indica que el clima es la distribución de probabilidades del tiempo meteorológico, es decir, que está determinado por los parámetros o elementos meteorológicos medios que son encontrados en una región dada.

La CMNUCC (1992), en su artículo 1º, define 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.

### **3.2.1 Causas del cambio climático**

El clima de la Tierra ha cambiado muchas veces a lo largo de su historia. Esta variación se debió a cambios naturales que se han producido en el equilibrio energético entre la energía solar entrante y la energía remitida por la Tierra hacia el espacio.

Entre las causas naturales de esas variaciones se pueden citar: las erupciones volcánicas, los cambios en la órbita de traslación de la Tierra, los cambios en el ángulo del eje de rotación de la Tierra con respecto al plano sobre el que se traslada y las variaciones en la composición de la atmósfera (PNUMA, 2005).

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.

Los gases de efecto invernadero (GEI) son los componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropógenos, que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja emitido por la superficie de la Tierra, la atmósfera y las nubes. Esta propiedad es lo que produce el efecto invernadero.

En la atmósfera de la Tierra, los principales GEI son el vapor de agua ( $H_2O$ ), el dióxido de carbono ( $CO_2$ ), el monóxido de carbono ( $CO$ ), el óxido nitroso ( $N_2O$ ), el metano ( $CH_4$ ) y el ozono ( $O_3$ ). Hay además en la atmósfera una serie de GEI creados íntegramente por el ser humano, como los halocarbonos y otras sustancias con contenido de cloro y bromo, regulado por el Protocolo de Montreal.

Además del  $CO_2$ , el  $N_2O$  y el  $CH_4$ , el Protocolo de Kioto establece normas respecto de otros gases de efecto invernadero, a saber, el hexafluoruro de azufre ( $SF_6$ ), los hidrofluorocarbonos (HFC) y los perfluorocarbonos (PFC) (IPCC, 2001).

Además, las emisiones mundiales de GEI por efecto de actividades humanas han aumentado, desde la era preindustrial, en un 70% entre 1970 y 2004. Así mismo las concentraciones

atmosféricas mundiales de CO<sub>2</sub>, metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) han aumentado notablemente por efecto de las actividades humanas desde 1750, y son actualmente muy superiores a los valores preindustriales, determinados a partir de núcleos de hielo que abarcan muchos milenios.

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).

### **3.2.2 Efectos del cambio climático**

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 (CMNUCC, 1992):

- 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.

### **3.3 CAPTURA DE CARBONO**

El concepto de captura de carbono normalmente se relaciona a la idea de almacenar reservas de carbono en suelos, bosques y otros tipos de vegetación, donde dichas reservas están en peligro inminente de ser perdidas.

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 infinito por ello se considera que el suelo es el mejor componente de almacenamiento para el carbono (CIDIAG, 2001).

### 3.3.1 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  $\mu\text{mol}$  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  $\text{CO}_2$ , 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  $\text{CO}_2$  de la atmósfera, fijando C en la biomasa y liberando oxígeno ( $\text{O}_2$ ) (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 ( $P_b$ ). Las plantas consumen una parte de lo fotosintetizado en la Respiración ( $r$ ), el resto es incorporado a la planta y llamado producción neta ( $P_n$ ), así (Satoo y Madgwick, 1982):

$$P_n = P_b - r$$

### **3.3.2 Métodos para capturar el carbono atmosférico (CO<sub>2</sub>)**

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 (CO<sub>2</sub>) 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 CO<sub>2</sub>, eventualmente se hundirán en el fondo del mar.

### **3.3.3 Métodos de estimación de Carbono en la biomasa forestal**

#### **a. Estimación del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)**

Existen varios métodos para estimar la cantidad de CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> (44) y el peso del átomo de C (12), tal como se muestra a continuación:

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

Dónde:  $F = CC \times 44/12$

**b. Estimación del contenido de carbono (C)**

**b.1 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:

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

**b.2 Método del poder Calórico**

Otro método utilizado es el poder calórico, método basado 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 ( $\Delta H$ ) 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.

### **3.3.4 Estrategias relacionadas a la reducción del Carbono atmosférico**

La FAO (2001), indica que son tres las estrategias que pueden adoptarse en relación con el carbono presente en los bosques.

#### **a. Absorción de carbono (CO<sub>2</sub>)**

Consiste en aumentar la tasa de acumulación de carbono mediante la creación o ampliación de sumideros de carbono.

El potencial de carbono mediante actividades de forestación y reforestación depende de la especie, el lugar y el sistema de ordenación y por consiguiente es muy variable. Los índices normales de absorción, expresados en toneladas de carbono (tC) por hectárea y año, son de 0.8 a 2.4 tC en los bosques boreales, de 0.7 a 7.5 tC en las zonas templadas y de 3.2 a 10 tC en los trópicos (Brown, *et al.*, 1996; citado por FAO, 2001). El potencial de absorción de las actividades agroforestales es todavía más variable, y depende de la densidad de plantación y de los objetivos de producción del sistema.

Por su parte Manta (2011), afirma que el cambio de uso del suelo forestal a uso agrícola o pecuario contribuye a disminuir la tasa de carbono de los suelos forestales.

#### **b. Captura de carbono (C)**

Radica en impedir o reducir la emisión de carbono existente en los sumideros actuales.

Si bien el medio eficaz para reducir las concentraciones atmosféricas de CO<sub>2</sub> es la reducción de emisiones a partir de la combustión de productos fósiles, en relación con el uso de la tierra y la silvicultura, la conservación de los niveles actuales de carbono de los bosques ofrece

desde el punto de vista técnico las mayores posibilidades para una atenuación rápida del cambio climático. El potencial de conservación de carbono, si se frenara por completo el fenómeno de la deforestación se podría conservar de 1.2 a 2.2 Gt de carbono anuales (Dixon, *et al.*, 1993, citado por FAO, 2001). Los incendios provocan la liberación de grandes cantidades de carbono de los bosques cada año. Las condiciones meteorológicas derivadas del cambio climático, como la intensificación del fenómeno del niño, aumentan el riesgo de incendios forestales. Las prácticas de control de los incendios pueden favorecer la conservación de las existencias de carbono en los bosques. Por ello las medidas de prevención y lucha contra los incendios deben ir acompañados de cambios en la política de uso de la tierra y de medidas dirigidas a afrontar las necesidades de la población rural.

### **c. Sustitución del Carbono**

Es reducir la demanda de combustible fósil aumentando la utilización de madera, ya sea en productos de madera duraderos (es decir la sustitución de materiales como el acero y el cemento con un alto consumo de energía) o como combustibles. Si se sustituyen el biocombustible que se utiliza actualmente por la energía derivada de combustibles fósiles, se liberan a la atmósfera 1.1 Gt de carbono por año adicionales (IPCC, 2000; citado por FAO, 2001). La utilización de biocombustibles traerá como consecuencia una reducción de la emisión de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. La utilización de este combustible dependerá en gran medida del desarrollo de tecnologías que permitan utilizarlos en forma eficiente.

### **3.3.5 Tasa de fijación de carbono en la vegetación**

El programa Regional de desarrollo científico y tecnológico de la Secretaria 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  $698.9 \times 10^{18}$  cal, de las cuales  $426.1 \times 10^{18}$  corresponde a la superficie terrestre y el resto a la superficie oceánica. El consumo energético total del mundo en 1970 fue  $47.8 \times 10^{18}$  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 at.* (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  $0.71 \pm 0.34$  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 Manaus 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 m<sup>3</sup> /ha, mientras que el pino insigne tiene 24 m<sup>3</sup>/ha y el eucalipto 30 m<sup>3</sup>/ha. Asimismo presenta el contenido de carbono de algunas especies de importancia comercial; Coigue 270 kg/m<sup>3</sup>, Eucalipto 325 kg/m<sup>3</sup>, Pino Insigne 215 kg/m<sup>3</sup> y Roble 260 kg/m<sup>3</sup>.

### **3.3.6 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.

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 (PROCHILE, 2012).

Ello significa que una empresa peruana que disminuye sus emisiones de CO<sub>2</sub>, 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.

### **3.3.7 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).

### **3.4 LOS BOSQUES COMO SUMIDEROS Y FUENTES DE CARBONO**

La vegetación, a través de la fotosíntesis, transforma energía solar en química absorbiendo CO<sub>2</sub> del aire para fijarlo en forma de biomasa, y libera a la atmósfera oxígeno molecular (O<sub>2</sub>). Los bosques, en particular, juegan un papel preponderante en el ciclo global del carbono (C) ya que (The nature conservancy, 1999; citado por Palomino, 2007):

- Almacenan grandes cantidades de carbono en su biomasa (tronco, ramas, corteza, hojas y raíces) en el suelo (mediante su aporte orgánico) intercambian carbono en la atmósfera a través de la fotosíntesis y respiración.
- Son fuentes de emisión de carbono cuando son perturbados por causas naturales.

- Son sumideros donde son almacenados cuando son abandonadas las tierras perturbadas, que se recuperan mediante la regeneración natural.

Por otra parte, desde 1990 al año 2000 la superficie deforestada en el mundo ha sido de 132 millones de hectáreas, sin embargo el área total recuperada mediante actividades de reforestación ha sido de treinta y tres millones de hectáreas, quedando aún una superficie de 99 millones de hectáreas (FAO, 2001). Es éste el mayor proceso de pérdida de fuentes de fijación de carbono y una de las mayores causas de la acumulación de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, al igual que los causados por la combustión de los carburantes fósiles.

El bosque tropical en el Perú es un importante recurso para la población creciente de los trópicos húmedos bajos. En contraste, la región montañosa de la sierra peruana presenta pocos bosques naturales y lo poco que queda de vegetación nativa arbórea está en muchos casos en proceso de extinción, sin embargo existen plantaciones forestales y sistemas de cultivos intensivos durante los períodos de lluvias en la zonas altas o irrigadas en los valles interandinos muy fértiles. Según estudios recientes en éste ecosistema de montañas el carbono no está acumulado en la biomasa, sino en el suelo que sería lo contrario a lo que ocurre en la región tropical húmeda. (Alegre, *et al.*, 2001).

Las perturbaciones (naturales o antrópicas) motivan con frecuencia que los bosques se conviertan en fuentes de CO<sub>2</sub> debido a que la tasa de productividad primaria neta (Pn) es sobrepasada por la respiración total u oxidación de las plantas, el suelo y la materia orgánica muerta (producción neta del ecosistema  $P_n < 0$ ). Sin embargo, al mismo tiempo, algunas áreas de bosques aprovechados y degradados, o terrenos agrícolas y pastizales abandonados vuelven de forma natural al bosque o se convierten en plantaciones, transformándose de esta forma en sumideros de CO<sub>2</sub>. Por consiguiente, la tasa de respiración de las plantas, el suelo

y la materia orgánica muerta es sobrepasada por la productividad primaria neta ( $P_n > 0$ ) (Kyrklund, 1990; citado por Brown, 1997 y Simbaña, 2011).

Hoy en día entre el 40% a 60% del CO<sub>2</sub> emitido por el hombre permanece en la atmósfera y no se sabe con certeza si el resto se está almacenando en los océanos, los suelos o la biomasa de las plantas. Resultados preliminares, obtenidos por Phillips, *et al.* (1998); citado por Simbaña (2011), muestran que la biomasa de los bosques neotropicales podrían dar cuenta del 40% del carbono faltante. Al parecer los océanos son los mayores sumideros de carbono, aunque varios estudios estiman que estos solo absorben entre un 26 % a 44 % del CO<sub>2</sub> fósil (Sedjo, 1990). Al respecto, Tans, *et al.* (1990), concluyeron a partir de un modelo de circulación general que el total de CO<sub>2</sub> fijado por los océanos es considerablemente menor al tomado por los sistemas terrestres; sin embargo, estas afirmaciones se basan en muy pocos datos y no dejan de ser simples hipótesis.

### **3.5 ESTIMACIÓN DE BIOMASA**

#### **3.5.1 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, dividiendo a la parcela en dos mitades para la medición de los árboles.

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 geoméricamente 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 m<sup>2</sup>, 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 m<sup>2</sup> (4 m x 25 m) para

árboles comprendidos en diámetros de 2.5 y 30 cm. DAP y de 500 m<sup>2</sup> (5 m x 100 m) para árboles mayores a 30 cm DAP.

### **3.5.2 Evaluación de la producción primaria de pastizales**

Paladines (1992); citado por Choque (2010), indica 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 agronómicamente 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. Materia Seca (MS)/ha/día  
Producción : Kg. MS/ha/invierno o verano  
Kg. MS/ha/año

Astorga (1987); citado por Choque (2010), 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  $0.25\text{m}^2$  ( $0.50 \times 0.50 \text{ m}$ ). Para muestrear vegetación estepa arbustiva se utiliza cuadrantes de  $1\text{m}^2$  ( $1\text{m} \times 1\text{m}$ ).

### **3.6 LOS HUMEDALES**

Stolk, *et al.* (2006), indican que los humedales son sistemas que no son ni verdaderamente terrestres ni acuáticos; pueden ser ambas cosas al mismo tiempo, o ser estacionalmente acuáticos o terrestres. Este carácter dinámico de los humedales afecta a las

comunidades de flora y fauna hasta tal punto que los humedales son hábitats completamente diferentes de los hábitats acuáticos y terrestres.

Según la Convención de RAMSAR, los humedales son las extensiones de marismas, pantanos y turberas o superficies cubiertas de agua, sean estas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros (RAMSAR, 2000).

### **3.6.1 Sistemas de humedades**

Los humedales cubren aproximadamente 1.28 millones de hectáreas de la superficie terrestre, un área 50% más grande que Brasil (MEA, 2005). En general, se han podido identificar cinco grandes sistemas de humedales (Stolk, *et al.*, 2006):

- Estuarios.- desembocaduras de los ríos en el mar, donde el agua alcanza una salinidad equivalente a la media del agua dulce y salada (por ejemplo, deltas, bancos fangosos y marismas).
- Marino-Costeros.- áreas entre tierra y mar (por ejemplo, playas, manglares y arrecifes de coral).
- Fluviales.- tierras anegadas periódicamente como resultado del desbordamiento de los ríos (por ejemplo, llanuras de inundación, bosques inundables, islas fluviales y lagos de meandro).
- Palustres.- áreas que contienen aguas relativamente permanentes (por ejemplo, pantanos, turberas, marismas y ciénagas).

- Lacustres.- zonas cubiertas de aguas permanentes caracterizadas por una baja circulación (lagunas, lagos, lagos glaciales y cráteres de volcanes). Dentro de este sistema de humedal se encuentran los totorales de la RNT.

### **3.6.2 Importancia de los humedades**

Stolk, *et al.* (2006), indican que los humedales se encuentran entre los ecosistemas más productivos del planeta, ayudan a mitigar inundaciones, retienen sedimentos, sustancias tóxicas y nutrientes, poseen una alta biodiversidad, controlan la erosión, almacenan carbono, proveen servicios de transporte y de recreación y son una fuente importante de alimento. Es por ello que los humedales han jugado un papel primordial en el desarrollo y sostén de las sociedades en todas partes del mundo desde tiempos inmemoriales.

En la actualidad, el uso de los humedales se ha diversificado y ahora proveen otros servicios y fuentes alternativas de ingresos a la población local tales como la pesca recreacional, el turismo, la caza y la observación de aves. Estas actividades alternativas pueden convertirse a su vez en oportunidades para el desarrollo sostenible.

Dependiendo del tipo y ubicación del humedal, muchos de los servicios que éstos suministran a la población pueden ser menos tangibles. Ejemplos de ello son el mejoramiento de la calidad de agua, la mitigación y control de inundaciones y la provisión de canales navegables. Para numerosas poblaciones los humedales constituyen santuarios naturales ya sea como un paisaje que tiene una importancia histórica o cultural, o como una reserva de biodiversidad.

Los humedales son importantes para la gente debido a una gran variedad de razones desde el sostenimiento de la vida y la provisión de agua hasta la herencia cultural. El suministro continuo de estos servicios depende de la integridad y la salud del humedal y sus recursos.

Dentro del contexto de cambio climático los totorales se constituyen como sumideros de carbono, así como son una fuente de emisión de metano (CH<sub>4</sub>).

### **3.6.3 Valor ambiental de los humedales**

El valor de un bien o servicio suele medirse teniendo en cuenta la importancia que los mismos tienen para las personas. Mientras más importancia tenga un bien o servicio para las personas, tanto más valor tendrá para ellas. Para que sea posible calcular el valor económico total de un humedal, ha sido necesario diferenciar los distintos valores de un ecosistema. Esta clasificación se hace teniendo en cuenta la forma en que los humanos interactúan y se benefician de los humedales. Los valores de los humedales por lo tanto se clasifican de la siguiente manera (Stolk, *et al.* 2006):

- a. Valores de uso.-** son aquellos que resultan de la interacción humana y el uso de los humedales. Se dividen en:
- Valores de uso directo: son los beneficios derivados de los servicios obtenidos de los humedales tales como la pesca, la agricultura, la producción de madera, turba, frutas, tintes y otras plantas útiles, la recreación y el transporte.
  - Valores de uso indirecto: son los beneficios indirectos derivados de las funciones que desempeñan los humedales, como la retención de nutrientes, control de inundaciones, mejoramiento de la calidad del agua, estabilización de la costa, recarga de agua subterránea y el almacenamiento de carbono.

- Valor de opción: son los beneficios que se obtienen cuando hay una incertidumbre sobre el futuro. Este valor permite garantizar que se contará con un recurso que podrá usarse en el futuro. Un ejemplo de un valor de opción sería la protección de futuras propiedades y construcciones contra inundaciones gracias a la regulación del ciclo hidrológico.
  
- b. Valores de no uso.-** son aquellos valores intrínsecos de la naturaleza que se derivan del conocimiento que se tiene de un recurso (biodiversidad, patrimonio cultural o religioso, significado social o de legado). Este valor no se deriva de la utilización de los recursos del humedal.

### **3.7 LOS HUMEDALES ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO**

Moya, *et al.* (2005), mencionan que los humedales por sus características y peculiaridades suelen ser ecosistemas sensibles a ser afectados por las variaciones del clima y los fenómenos extremos del tiempo. Grandes pérdidas, a veces irreversibles, suelen ocurrir en estos por la acción del clima y los fenómenos meteorológicos extremos. Cambios en la temperatura, en los patrones de precipitación, aumento del nivel del mar, son entre otras cosas, variaciones del clima que pueden producir sensibles impactos en los humedales.

Algunos humedales, muestran una elevada vulnerabilidad al cambio climático, debido entre otras características a la fragilidad de sus ecosistemas, fragilidad que se ve estimulada tanto por acciones naturales como antropogénicas. No obstante esta vulnerabilidad, la relación entre humedales y el cambio climático debe verse en dos aspectos principales:

### **3.7.1 Mitigación al cambio climático**

En el primer caso los humedales, según el concepto promulgado en RAMSAR (2000), sirven de sumidero al 40% del carbono que se genera en el planeta. La destrucción de estos evitaría la eliminación de importantes cantidades de gases de efecto invernadero y por ende aumentaría el potencial de retención del calor en la atmósfera, con implicación en el calentamiento global y el crecimiento de las temperaturas con todo su efecto sobre el sistema climático en primera instancia y sobre la vida en una óptica más amplia.

Dentro de la propiedad de mitigación del cambio climático, en este caso a los impactos que produce este cambio, los humedales tienen como funciones la estabilización de costas, así como contribuyen una primera línea de defensa ante la acción de fenómenos severos del tiempo, permitiendo el desgaste de estos y la disminución de la intensidad de estos cuando actúan sobre otras áreas.

Entre los mecanismos de mitigación a los impactos del cambio climático, que tienen los humedales podemos citar:

- Estabilización de costas y orillas.
- Regulan la cantidad y calidad del agua (Colchones hidrológicos).
- Constituyen una primera defensa a la acción de huracanes y tormentas severas.
- Disminuye el impacto por fuertes vientos.
- Fuente de recursos para consumo directo.

### **3.7.2 Vulnerabilidad, impactos y adaptación al cambio climático**

#### **a. Vulnerabilidad**

En el segundo caso los humedales constituyen ecosistemas frágiles, con especies con endemismo local y otras peculiaridades naturales y antropogénicas que lo hacen muy vulnerables al cambio climático. Entre estas vulnerabilidades cabe citar:

- Poca altura sobre el nivel del mar o exposición a inundaciones o invasiones de agua.
- Exposición a los eventos de sequías.
- Asentamientos humanos en zonas bajas o expuestas a invasiones de agua.
- Exposición de las fuentes de abastos de agua potable a la inclusión salina o al desbalance hídrico.
- La exposición, endemismo local y fragilidad de la flora y fauna.
- Mal manejo del humedal y fragmentación de ecosistemas.
- Fragilidad de los ecosistemas.
- Exposición a tormentas y fenómenos severos del tiempo.
- Incertidumbres en las respuestas de la atmósfera al aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero y sobre los impactos por el cambio climático.
- Escaso desarrollo de estrategias de adaptación y mitigación de impactos por cambio y variabilidad del clima en los humedales.
- Exposición a incendios forestales.

Como muestra de la elevada vulnerabilidad de estos ecosistemas al cambio climático, debe mencionarse lo recogido en el tercer informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) que concluyó que algunos humedales incluidos los arrecifes, atolones y manglares, y los de pradera, así como los ecosistemas de bosque tropicales y boreales, y los ecosistemas árticos y alpinos,

con inclusión del permafrost, figuran entre los sistemas naturales especialmente vulnerables al cambio climático debido a su escasa capacidad de adaptación, y que pueden sufrir daños apreciables e irreversibles (IPCC, 2001).

## **b. Impactos**

Una serie de impactos potenciales pudieran ocurrir en los humedales por el cambio climático. El derretimiento de los permafrost en los Alpes por ejemplo, puede provocar afectaciones a la biodiversidad que se desarrolla bajo estos humedales, que pudiera llegar hasta la pérdida de especies por la imposibilidad de la emigración, dado la topografía de la región.

Los cambios en el régimen de temperaturas, radiación, viento e hidrología en los ecosistemas acuáticos pueden afectar directamente la disponibilidad de nutrientes en el ecosistema, la subsistencia, crecimiento y reproducción de los organismos, y la producción del ecosistema.

Algunos impactos potenciales esperados son:

- Afectación en las funciones ecológicas, al provocar cambios en la hidrología y otras condiciones físicas y químicas que favorecen la convivencia entre los componentes bióticos y abióticos del ecosistema.
- Pérdidas de hábitat y otras afectaciones a la flora y la fauna.
- Afectaciones por sequías y eventos de extremas precipitaciones (pérdidas sociales, económicas y medioambientales).
- Afectaciones a la fuente de abasto de agua por inclusión salina o desbalance hídrico.
- Aumento de la erosión costera.
- Afectaciones a ecosistemas bajo permafrost.
- Afectaciones al transporte de sedimentos y nutrientes.

- Variaciones en los patrones epidemiológicos y de las epifitas fundamentalmente por cambios en las condiciones medioambientales donde se desarrollan los patógenos.
- Pérdida de superficie de totorales de la RNT debido al mal uso del fuego

**c. Adaptación**

Teniendo en cuenta lo visto en las vulnerabilidades y los impactos resalta la necesidad de tomar medidas de adaptación al cambio climático en los humedales, como vía para impedir su desaparición o mitigar los impactos que sobre estos pueden ocurrir asociados al cambio climático. Entre estas medidas de adaptación destacamos:

- Desarrollo de estrategias conjuntas entre investigadores, especialistas y tomadores de decisión, para la adaptación y mitigación de los impactos por cambio climático.
- Restaurar y rehabilitar las zonas de humedales, eliminando el stress presente en los humedales y disminuyendo su vulnerabilidad.
- Evitar nuevas presiones que reduzcan la capacidad de los humedales a responder al cambio climático.
- Prevenir la fragmentación de los humedales.
- Protección y disminución de población en los lugares más bajos o vulnerables.
- Desarrollo de estudios de evaluaciones de vulnerabilidad, impactos y medidas adaptación, cuyos resultados sirvan de base para el trabajo de los administradores de humedales y para el manejo de estos.
- Monitoreo ecológico y climático.

### **3.8 RESERVA NACIONAL DE TITICACA**

#### **3.8.1 Antecedentes de creación**

El MINAG/INRENA/RNT (2002), indica que la RNT, fue establecida mediante D.S. N°185-78-AG del 31 de Octubre de 1978, forma parte del Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SINANPE), bajo la Jurisdicción del Ministerio de Agricultura, a través del Instituto Nacional de Recursos Naturales INRENA, el mismo que entre otras funciones está encargado de conducir y promover el desarrollo de las áreas naturales protegidas a nivel nacional según D.L. N°25902 y su reglamento aprobado por el D.S. N° 055-92-AG y la Ley N° 26834 de Áreas Naturales Protegidas, encargado de velar por la Conservación y el aprovechamiento racional de los Recursos Naturales Renovables con miras a fortalecer los pilares del desarrollo sostenible del país.

En la actualidad se mantiene el SINANPE bajo la autoridad técnica y normativa del Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas (SERNANP) cuya jurisdicción compete al Ministerio del Ambiente (MINAM) creado mediante Decreto Legislativo N° 1013 del 13 de mayo del 2008.

#### **3.8.2 Objetivo de creación**

La RNT, fue creada para cumplir los siguientes objetivos:

- Conservar la flora y fauna silvestre del Lago Titicaca.
- Apoyar el desarrollo socioeconómico de las poblaciones humanas que habitan las inmediaciones del Lago.
- Fomentar la recreación en la naturaleza.

- Mantener las tradiciones culturales de los grupos humanos que habitan en las inmediaciones de la reserva.

### **3.8.3 Categoría y Estatus Legal**

La RNT está comprendida en la categoría de áreas naturales protegidas (ANP) del SINANPE denominada de uso directo. Las reservas nacionales son áreas destinadas a la conservación de la diversidad biológica y la utilización sostenible de los recursos de flora y fauna silvestre, acuática y terrestre. En ellas se permite el aprovechamiento comercial de los recursos naturales bajo planes de manejo, aprobados, supervisados y controlados por la autoridad nacional competente.

Según Ley N° 26834, las ANP constituyen patrimonio de la nación y su condición debe mantenerse a perpetuidad. Las categorías de administración nacional: Parques Nacionales, Reservas Nacionales, Santuarios Nacionales, Santuarios Históricos, Reservas Paisajísticas, Refugios de Vida Silvestre, Reservas Comunales, Bosque de Protección y Cotos de Caza, conforman en su conjunto el SINANPE y a su gestión se integran las instituciones privadas y poblaciones locales relacionadas con el desarrollo del ANP.

### **3.8.4 Reconocimiento internacional**

El Lago Titicaca ha sido considerado un sitio de carácter especial por la Convención RAMSAR que es un tratado intergubernamental establecido en Irán en 1971, que entró en vigor en 1975, y tienen como objetivo fundamental la conservación de los humedales, reconociendo que estos son ecosistemas extremadamente importantes para la vida y el equilibrio de la diversidad biológica, así como el bienestar de las comunidades humanas. El

Perú se ha suscrito a la Convención de los humedales en 1986, ratificada por el Congreso de la República en 1991.

La totalidad del Lago Titicaca ha sido reconocida por la CONVENCIÓN RAMSAR el 20 de enero de 1997, considerándose un Humedal de Importancia Internacional, especialmente como hábitat de aves acuáticas; posteriormente el lado boliviano tuvo el mismo reconocimiento el 26 de agosto de 1998.

### **3.8.5 Características biofísicas**

#### **a. Geología y geomorfología**

La Geología de la Cuenca del Titicaca ha sido determinada por numerosos eventos tectónicos sucedidos durante largos períodos de tiempo. Durante el Cuaternario, la evolución del altiplano ha estado ligada fundamentalmente a la alternancia de períodos húmedos y secos, cálidos y glaciales, dando lugar a su cuenca endorreica y el desarrollo de lagos sucesivamente más amplios o más reducidos que los actuales. A estos diferentes procesos hidrogeológicos corresponden los diferentes depósitos desde morrenas glaciales en las cordilleras, a sedimentos fluviales entre el piedemonte y la planicie, y las formaciones lacustres y superficies susceptibles de evaporarse en la parte central de la llanura (MINAG/INRENA/RNT, 2002).

Entre las unidades geomorfológicas de la cuenca del Titicaca se pueden distinguir cinco grandes grupos: 1. Llanuras y depresiones, que corresponden a la llanura fluvio-lacustre actual, terrazas fluvio lacustres y acumulaciones eólicas; 2. Depósitos de vertiente, que corresponden a los depósitos detríticos y/o coluviales de pie de monte, a las acumulaciones morrénicas y a los abanicos aluviales; 3. Colinas, que según su litología se dividen en dos unidades: colinas sedimentarias redondeadas y disectadas y colinas volcánicas redondeadas

y disectadas; 4. Meseta volcánica, se trata de altiplanicies relativamente grandes localizadas cerca o junto a las cordilleras y caracterizadas por superficies uniformes a ligeramente onduladas y montañas que son los relieves más fuertes y, 5. Superficie de agua permanente que corresponde al Lago Titicaca y otros menores, que ocupa una fosa intermontañosa de origen tectónico, asimétrica con la parte más profunda de 283 m y su área es de 8 167 km<sup>2</sup>.

La RNT y alrededores, está formada por una parte acuática y otro continental, distinguiéndose las siguientes características:

- Área acuática, constituida por el espejo de agua, con zonas litoral y pelágica.
- Área continental, conformada por planicies inundables y deltas (ríos Ramis, Illpa y Coata), así como por islas, islotes y promontorios emergentes.

#### **b. Características Físico Químicas**

Los valores de las características físico químicas del lago Titicaca suelen variar espacial e incluso estacionalmente, los valores promedios se dan a continuación. Sus aguas son consideradas como salobres, tienen una salinidad de 1 000mg/l, el pH 8.6; Cloro 260 mg/l, sulfato 284 mg/l, calcio 66 mg/l, magnesio 34 mg/l, oxígeno disuelto 6.02 mg/l. En cuanto a la concentración de nutrientes, también es variable, en la bahía de Puno el nitrógeno inorgánico disuelto varía de 2.5 ug/l a 3.5 ug/l y las concentraciones de fósforo soluble reactivo entre 3ug/l hasta 24 ug/l, según la época y el lugar; zonas con tendencia eutrófica tienen mayores valores en nutrientes.

El lago en promedio presenta una concentración de oxígeno disuelto de 7 mg/l; las temperaturas varían entre 11.25 y 14.35 °C, siendo las más bajas en agosto y las más elevadas en marzo; los valores extremos de transparencia son 1.2 y 9 m (disco Secchi), siendo más

débiles en verano otoño, más fuertes en invierno y mínimas en zonas eutróficas (MINAG/INRENA/RNT, 2002).

### c. Flora

Las plantas superiores en la RNT colonizan sobretudo la zona litoral, hasta una profundidad de 8 m aproximadamente. La vegetación más conspicua sin duda la constituye la "tatora" *Schoenoplectus tatora*, especie emergente considerada también dentro del género *Scirpus*, conforma quizás los totorales más grandes del territorio peruano cuya importancia ecológica y económica ya ha sido descrita. Otra especie anfibia es la "matara" *Juncos arcticus* var. *Andicola*, similar a la tatora pero más pequeña y de tallo cilíndrico y hueco. Las principales especies sumergidas, enraizadas en el fondo, localmente denominadas como "llachos" son: *Elodea potamogeton* "yana llacho", *Myriophyllum elatinoides* "hinojo llacho", *Potamogeton strictus* "siji llacho" y *Zanichellia palustris* "siji llacho". Existen también especies flotantes libres, extendidas en algunos lugares de la RNT tales como la "lenteja de agua" *Lemna gibba* que se desarrolla abundantemente en aguas eutróficas y el helecho acuático *Azolla filiculoides* que aparenta alfombras flotantes de coloración verde rojizo. El conjunto de esta vegetación suministra a los habitantes recursos naturales de gran importancia (CIRNMA/CEDAFOR, 2001).

En cuanto a la flora de algas, el género más evidente es *Chara*, vernacularmente denominada como "purima", que incluye varias especies y que por su condición urticante no tiene utilidad forrajera. Una asociación de algas filamentosas la conforman principalmente los géneros *Spirogyra* y *Oedogonium* desarrolladas en zonas poco profundas dando la apariencia de una masa algodonosa de color verde, los pobladores la denominan "lak'o".

Entre las algas microscópicas o fitoplancton las diatomeas (bacilariofitas) tienen taxones más diversos, seguida por las clorofíceas, luego las cianofíceas y finalmente los euglenofitos, todas ellas constituyen un total aproximado de 48 especies, para el lago Titicaca, desconociéndose específicamente la diversidad de la RNT; la biomasa algal está dominada por las clorofíceas y cianofíceas, el fitoplancton constituye la estructura de la productividad primaria del ecosistema.

#### **d. Fauna**

El Diagnóstico e Inventario de Recursos Naturales de Flora y Fauna, en el área de la RNT y alrededores (CIRNMA/CEDAFOR, 2001), identifica la existencia de 115 especies de fauna, de las cuales 15 son mamíferos, 87 aves, 9 anfibios y 4 reptiles; igualmente, más de 26 especies de peces óseos habitan estos ecosistemas.

Las especies de fauna más representativas de la reserva la constituyen las aves, las cuales están conformadas principalmente por las familias Anatidae, Rallidae, Scolopacidae, Charadriidae, Laridae, Phalacrocoracidae, Podicipedidae, Ardeidae y otras. Entre estas resalta el zambullidor endémico *Centropelma micropterum* “kellola”, cuya caza indiscriminada y la presencia de redes de pesca en sus hábitats está poniendo en peligro sus poblaciones. Rallidos como la “choka” *Fulica americana* y el “tikicho” *Gallinula chloropus* y anátidos (patos silvestres) tienen importancia económica ya que son utilizadas en la alimentación por los pobladores locales, principalmente Uros.

Los peces son también especies de gran importancia socioeconómica en la reserva; las especies nativas de mayor demanda local son: los cyprinodontidos *Orestias agassi* “carachi negro”, *Orestias luteus* “carachi amarillo” y los trychomycteridos *Trichomycterus rivulatus*

“suche” y *Trichomycterus dispar* “mauri”. Las especies introducidas están constituidas por la “trucha” (*Oncorhynchus mykiss*) y el “pejerrey” (*Basilichthys bonaerensis*).

En anfibios se tiene a la famosa “rana gigante” del Lago Titicaca *Telmatobius culeus* conocido como “kelli” o “huankele”, especie endémica cuyo hábitat son mayormente las profundidades del Lago Titicaca.

### **3.9 TOTORA DE LA RNT**

#### **3.9.1 Descripción de *Schoenoplectus tatora***

##### **a. Origen**

Goyzueta (2005), indica que la totora tiene probablemente como centro de origen el Altiplano de Atacama y el Titicaca, y que no sólo tiene distribución y abundancia en el lago Titicaca, sino también en el lago Poopó o Aullagas en el departamento de Oruro Bolivia, que tiene su lecho de origen en las cercanías de la extensa región, hoy gran desierto de Atacama. La totora se caracteriza por su sociabilidad y distribución cosmopolita, considerada un recurso natural de gran importancia en la economía de las comunidades ribereñas del lago Titicaca.

##### **b. Ubicación taxonómica**

**Reino:** Vegetal

**División:** Phanerogamae

**Subdivisión:** Angiospermae

**Clase:** Monocotiledoneae

**Súper Orden:** Glumíferas

**Orden:** Cyperales

**Familia:** Cyperaceae

**Género:** *Schoenoplectus*

**Especie:** *Schoenoplectus tatora* (Nessey Meyer Kunth)

**N.C.:** “Totora”

**c. Descripción botánica**

PELT/ADESU (2001), menciona que la totora como especie vegetal acuática, tiene las siguientes características:

- **Raíz**

Las raíces de la totora por su origen son adventicias y se originan a partir de rizoma maduro y conformado principalmente por raíces secundarias, las que forman penachos delgados. Dan anclaje a la planta en el substrato de fondo, su desarrollo es horizontal, y crece de manera paralela a la superficie del suelo (fondo). Su diámetro varía en torno a 1mm, de grosor de acuerdo a la edad de la planta y al medio del suelo que la sustenta.

- **Rizoma**

En la totora, esta parte de la planta viene a ser un tallo modificado que se desarrolla inmediatamente después de la raíz y también de manera paralela al suelo. Su estructura interna está compuesta por un cilindro central con muchos haces libero-leñosos. Su corteza es de color blanco, con nudos a cada 2 a 6 cm, de donde brotan las yemas que posteriormente se convierten en tallos. Los rizomas contienen gran cantidad de sustancias de reserva, las que permiten a las plantas de totora mantenerse durante los períodos de sequía (estado de latencia) y cuando vuelven los períodos de humedad, rebrotan inmediatamente las yemas.

Los rizomas y las yemas se encuentran protegidas por unas hojas modificadas de color marrón claro amarillo, a manera de escamas (catáfilas). Además, los rizomas toman

diferentes nombres vernaculares de acuerdo al grado de madurez como sphi, sacca, etc.. Considerando estas características, se ha detectado la presencia de diferentes tipos de rizomas o tallos subterráneos, de acuerdo a su edad y forma, cuyas características son:

- Rizoma Maduro.- Presenta una coloración café marrón brillante denominado comúnmente como “Sphi” o “sippi”, caracterizándose por poseer una capa lignificada y un cilindro central, en donde se encuentra muchos haces libero leñosos, dispuestos en círculos concéntricos con una corteza de color blanco, y cuando llega a envejecer toma una coloración marrón oscuro acumulando gran cantidad de sustancias de reserva.
- Rizoma Joven o tierno.- Presenta coloración blanca, llamado “Sacka” o “sacca”, tiene los tejidos vegetales de un rizoma adulto, pero no presenta coloración, además que no acumula sustancias de reserva. Este tipo de rizoma es utilizado como alimento humano, conteniendo altos niveles de yodo.
- Rizoma del ápice.- Es la parte terminal, apical del tallo subterráneo que no tiene raíces adventicias, siendo su tejido meristemático, con una coloración mayormente blanquecina y que se encuentra en constante crecimiento, constituyendo la base de la expansión de la totora.

- **Tallo.**

De acuerdo a su situación, se clasifica en dos partes:

- Tallo aéreo.- Es la parte del tallo que sobresale del agua, es de color verde intenso por la clorofila que contiene. En su interior presenta tejido parenquimatoso no clorofílico (tejidos simples no diferenciados). La forma de su sección va de triangular

a circular, dependiendo de la edad de la planta, situación climática, nutrientes del sustrato de fondo, etc.

La parte fuera del agua presenta un tejido parenquimático llamado “aerenquima” que contiene aire, el cual favorece la circulación del aire en el tejido esponjoso, así como le permite flotar en el agua. El tejido parenquimático, desarrolla funciones de almacenamiento, respiración y en algunos casos realiza la fotosíntesis.

- Tallo sumergido.- Es la parte que comienza en el rizoma maduro, con una parte blanquecina (por falta de clorofila) denominada localmente “chullo” que almacena disacáridos y se usa como alimento humano, y alcanza hasta el pelo de agua (nivel). Sin embargo la descripción natural se ve modificada por el efecto de la quema, disminución del nivel del espejo de agua del lago, contaminación, incidencia de la radiación solar principalmente.

En su conjunto los tallos pueden crecer de 30 cm a 100 cm ó más de altura cada 4 meses aproximadamente, lo que está en función del sustrato, hábitat y medio ambiente llegando a alcanzar alturas de 2 a 6 metros.

- **Inflorescencia**

La totora tiene la inflorescencia tipo Umbela, llamada de forma vernacular: “Pancara” o “Panq’ ara”, compuesta, caracterizada porque las primeras ramificaciones dan lugar a su vez a otras umbelas pequeñas y la umbelilla dispuesta en sus ejes terminales tiene un número variable de flores, en el que cada eje terminal está cubierto de una bráctea escamosa de color café oscuro de 3 a 5 mm, de longitud.

La flor está rodeada por un conjunto de hojas pequeñas transformadas que rodean a los verticilos fértiles de las flores, que carecen de sépalos y pétalos. En sus verticilos externos está representada por 4 escamas que hacen las veces de un perigono haploide en algunas dicotiledóneas y que en este caso serían como las glumas de las gramíneas, toman de una disposición parecida al género *Triticum*. El perigonio es tetrámero actinomorfo; el androceo está dispuesto en dos verticilos, las escamas son semejantes a las glumillas de las gramíneas y finalmente se observa el último verticilo floral.

Una vez madura la inflorescencia, forma la semilla que por acción del viento caen al agua, dando lugar posteriormente a una nueva planta de totora como acción de una regeneración natural de la totora, siempre y cuando las condiciones naturales y antrópicas lo permitan.

#### **d. Propagación**

- **Propagación natural**

La propagación natural de la totora es sexual mediante semilla botánica, y asexual mediante el desarrollo de sus rizomas que se extienden horizontalmente bajo el suelo rebrotando cada cierta distancia y generando tallos.

- **Métodos de laboratorio para la propagación**

Para obtener la semilla necesaria para el Reimplante de Totora, se requiere deforestar aproximadamente 2 ha de totorales para plantar 100 ha. Por ese motivo nació la idea de realizar su reproducción *in vitro*, para reducir el impacto (PELT/ADESU, 2001).

La actividad está destinada a la obtención de plantines de alta calidad y sin alterar su naturaleza genética, para mejorar y recuperar los totorales sin alterar el medio ambiente ni el ecosistema. Por otra parte, se ha estimado en forma preliminar que la obtención de plantines extraídos de manera tradicional del lago, cuesta 0.5 Bolivianos (Bs) ó 0.20 nuevos

soles por unidad, mientras que los de laboratorio tiene un costo de Bs 1.80 ó 0.72 nuevos soles cada uno.

Durante el proceso de reproducción se realizaran las siguientes actividades:

- a) Obtención de muestras de totoras seleccionadas, tanto para forraje y balsas, como para artesanías.
- b) Desinfección de las plantas con insecticidas y bactericidas
- c) Obtención de meristemas de tamaño microscópico en una cámara de flujo.
- d) En una primera etapa establecer un medio de cultivo en el que permanezcan y desarrollen los meristemas durante 30 días, aproximadamente.
- e) En una segunda etapa, ponerlos en un medio de cultivo líquido con compuestos orgánicos que se constituyen en reguladores del crecimiento (nutrientes). Lo que toma un tiempo de aproximadamente 2 meses.
- f) Cuando tienen un tamaño de 10 cm o mas, pasarlos a una etapa de invernadero, con la finalidad de prepararlos y/o ambientarlos para las condiciones de campo.
- g) Cuando toman cuerpo y desarrollan a más de 20 cm, plantarlos en su hábitat definitivo.
- h) Efectuar el seguimiento de la experiencia para su validación técnica, económica, ecológica y social.

**e. Variedades**

La experiencia nos demuestra que existen algunas variedades de *Schoenoplectus tatora*, pues encontramos diferencias en sus aspectos externos, tales como la sección (cilíndrica o triangular), sus tallos tienen su relleno poroso, fibroso o en secciones, y su uso varía según sus características por cuanto sus cualidades son diferentes: para la construcción

de balsas se emplean tres tipos de totora, otro para artesanías, otro para alimentar al ganado, etc. lo que puede deberse a adaptaciones a los diferentes ambientes, o a variedades.

**f. Producción de los totorales**

- **Densidad**

En el estudio del PELT (2000), se determinó una densidad promedio de 336 tallos aéreos por m<sup>2</sup> y una longitud promedio de 2.08 m de tallo. El número de tallos varía según el tipo de suelo y época del año, pudiendo variar entre los 30 a 250; según Iltis y Mouguiart su promedio es de  $165 \pm 29$  por m<sup>2</sup>.

- **Biomasa vegetal**

El estudio del PELT (2000), el rendimiento de biomasa de los totorales expresados en materia verde es 311.02 t/ha; y considerando que la totora recién extraída contiene 12% de materia seca, el rendimiento es 37.66 t/ha de materia seca; la altura promedio del tallo de la totora es 2.05 m.

**g. Beneficios que proporciona los totorales y su manejo**

- **Para los pobladores del lago**

- 1) Provee materia prima para la construcción de viviendas, balsas y para la producción de artesanías.
- 2) El chullu fresco sirve de alimento, mientras que molido se usa para hacer sopas.
- 3) Como medicina previene el bocio, el carbón de la totora se usa para curar la disentería y para cicatrizar heridas de la cabeza y del ombligo en los niños; mientras que la raíz cocida es utilizada para lavar tumores y aftas.

- **Para el ganado**

- 1) Produce forraje rico en proteínas que complementa a otros forrajes y pastos.

- 2) Se pueden efectuar hasta tres cortes por año.
- 3) Representa la única fuente de forraje disponible para el ganado en época seca.
- 4) Puede ser conservado en forma de ensilado o heno.

- **Para los peces**

- 1) Los totorales representan un medio favorable para el desove de los peces.
- 2) Los totorales son utilizados como refugio natural en las primeras etapas de desarrollo de los peces.

- **Para las aves**

- 1) Los totorales representan un refugio natural, donde las aves se protegen y se reproducen.

- **Para la agricultura**

- 1) Cortada y enterrada, se descompone formando un buen abono.

- **Para el ambiente**

- 1) Purifica las aguas contaminadas.
- 2) Protege los suelos de la erosión causada por el oleaje del Lago.
- 3) La totora sirve de refugio natural para muchas especies de flora y fauna que en conjunto crean un ecosistema útil para el hombre y para el medio ambiente.

## IV. METODOLOGÍA

### 4.1 ÁMBITO DE ESTUDIO

El MINAG/INRENA/RNT (2002), indica que la RNT presenta las siguientes características:

#### 4.1.1 Ubicación

La RNT está ubicada en las aguas continentales del Lago Titicaca, en las inmediaciones de las Provincias de Puno y Huancané de la Región de Puno, siendo su ubicación geográfica es la siguiente:

<b>Coordenadas Geográficas</b>		<b>Coordenadas UTM</b>	
Latitud	: 15°16'21" - 15°50'20" (LS)	8320000	380000
Longitud	: 70°02'10" - 69°46'23" (LO)	8240000	430000

#### 4.1.2 Extensión

De acuerdo al Decreto Supremo de su creación la RNT tiene una superficie de 36 180 ha, comprende dos sectores que no tienen continuidad física, ubicados en:

- Sector Puno: con 29 150 ha que abarca los totorales comprendidos entre la Isla Estévez y la Península de Capachica. El sector Puno es el ámbito donde se desarrolló el estudio.

- Sector Ramis: con 7 030 ha, comprende los totorales de la margen derecha de los ríos Ramis y Huancané e incluyen las lagunas de Yaricoa (130 ha) y Sunuco (50 ha) a la margen izquierda del río Huancané.

#### **4.1.3 Altitud**

La RNT, se halla ubicada sobre una altitud promedio de 3 810 msnm; que corresponde al nivel histórico del Lago Titicaca. En la zona de amortiguamiento, conforme uno se aleja del Lago va aumentando la altitud, hasta los 4 100 msnm; que corresponde a cerros y elevaciones propios del altiplano.

#### **4.1.4 Suelos**

Según el mapa de Capacidad de Uso Mayor de las Tierras del Perú (ONERN, 1981; citado por MINAG/INRENA/RNT, 2002), los suelos de las extensas planicies que circundan el área de la RNT, son tierras aptas para cultivos arables propios de altura y pastoreo intensivo, como las pampas de Huatta y Coata. En la península de Capachica se tiene tierras apropiadas para cultivos intensivos y pastos cultivados.

En el área de los totorales, dentro de la reserva, se pueden distinguir suelos altamente orgánicos en el sustrato superior (más del 50%) y debajo de esta una capa de arcilla de color plumizo, frecuentemente con presencia de restos de conchas de moluscos gasterópodos. El horizonte orgánico puede tener hasta un espesor de 80 cm.

#### **4.1.5 Condiciones climáticas**

El MINAG/INRENA/RNT (2002), indica que el relieve y su elevada altitud, hacen que el clima del Altiplano sea frío, aún durante el verano; sin embargo, la presencia del lago

Titicaca constituye una fuente de humedad y un elemento de efecto termorregulador, en especial de la zona circunlacustre. La presencia de fuertes sequías en el altiplano como la registrada durante el año 1983 y las excesivas precipitaciones e inundaciones, como las de 1986, han constituido los riesgos naturales de mayor impacto ambiental, social y económico en la cuenca.

Con los registros climatológicos de la Estación Meteorológica LOS UROS del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) ubicada en la comunidad de los Urus, se ha elaborado el Climadiagrama (Figura 01) adaptado a los totorales de la RNT, para el periodo 2008-2014. En el podemos observar, que el periodo de lluvias se presenta desde diciembre a marzo, con altas temperaturas y altas precipitaciones, lo cual favorece el desarrollo de los ecosistemas forestales y de las actividades agropecuarias. Por otra parte, la época seca y fría se presenta entre los meses de mayo a agosto, con bajas temperaturas y un abrupto descenso de la precipitación, que limitan el desarrollo de los ecosistemas forestales y de las actividades agropecuarias, lo que conlleva a un inadecuado uso y manejo de los recursos naturales, entre ellos podemos mencionar la quema de totorales para la caza de aves en la RNT. Considerándose los demás meses como transitorios.

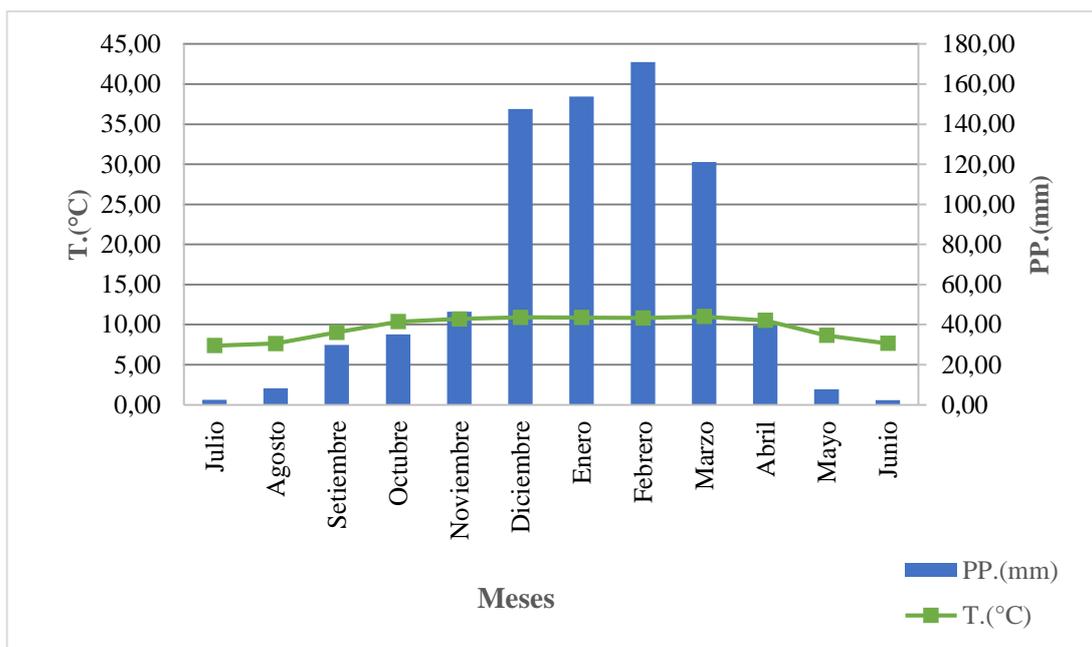


Figura 01. Climadiagrama adaptado a la RNT del periodo 2008-2014.

#### a. Temperatura

La estacionalidad térmica es moderada, con temperaturas relativamente altas de noviembre a febrero y bajas de junio a agosto. Si bien la amplitud térmica de las temperaturas medias en el altiplano es de 5.8 °C a 6.5 °C, en las cercanías del Lago Titicaca varía sólo de 3 °C a 4 °C. Las temperaturas máximas medias mensuales en las cercanías y al interior del lago Titicaca varían entre 14 °C y 16 °C; y las mínimas medias mensuales con valores de – 1 °C y 2.3 °C. Es importante mencionar que la información del MINAG/INRENA/RNT (2002), no indica el periodo de evaluación de los datos meteorológicos.

Actualmente las tendencias de la temperatura promedio en los totales de la RNT, correspondiente a los años 2008-2014 (Figura 02); muestran que la temperatura máxima promedio oscila entre los 14 °C a 17 °C, la temperatura media promedio oscila entre 7 °C a 11°C, y la temperatura mínima promedio varía de 0 °C a 6 °C, incluso se ha presentado valores por debajo de los 0 °C.

Por otra parte, podemos indicar que la temperatura máxima absoluta mensual del periodo de estudio fue de 17.34 °C en el mes de diciembre del año 2014, mientras la temperatura mínima absoluta mensual del periodo de estudio se registró en el mes de julio del año 2014 con -0.03 °C (Anexo 01, Anexo 02 y Anexo 03).

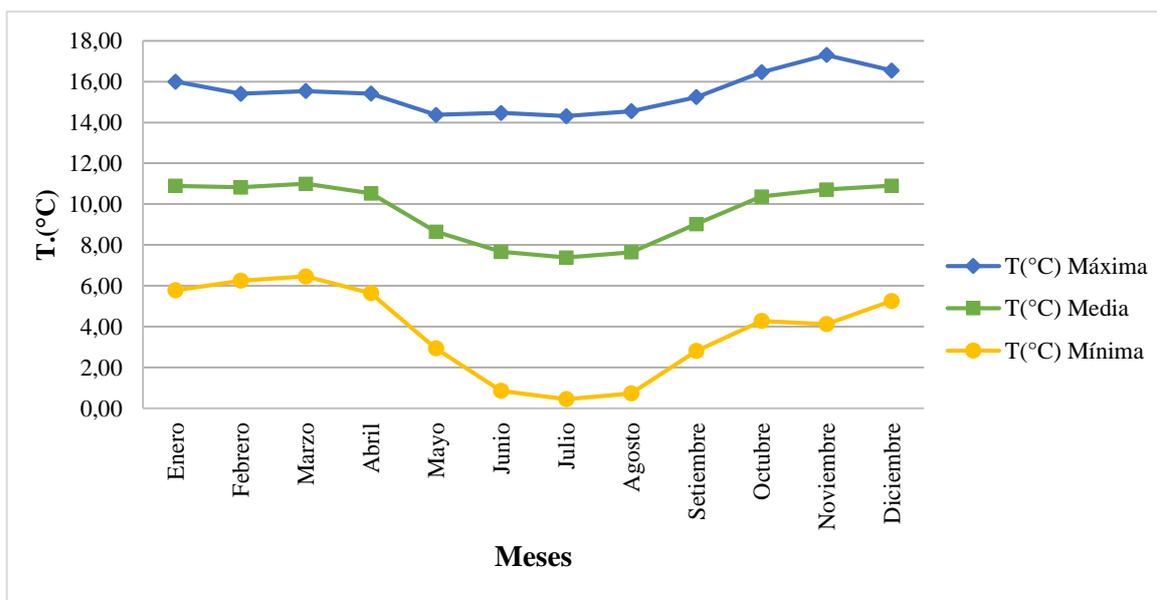


Figura 02. Temperatura máxima, media y mínima de la RNT para el periodo 2008-2014.

## b. Precipitación

La precipitación media anual es de 800 mm en los alrededores y 1400 mm sobre el lago Titicaca, con un período lluvioso de diciembre a marzo; y seco de mayo a agosto, considerándose los demás meses como de transición. Es importante mencionar que esta fuente de información no indica el periodo de evaluación de los datos meteorológicos.

De acuerdo a las observaciones de precipitación del periodo 2008-2014 (Anexo 04), se puede afirmar que en el último quinquenio la precipitación media anual fue 647 mm, es decir, inferior a la registrada en el plan maestro del año 2011 de la RNT. Este comportamiento habría influido en el descenso del nivel del espejo de agua del lago Titicaca, lo cual estaría afectando la producción primaria bruta de totora y pone en riesgo los límites de la Reserva

que fue establecida considerando el nivel histórico de 3810 msnm, porque las poblaciones aledañas están invadiendo las áreas de la RNT, para realizar actividades agropecuarias que podrían afectar el ecosistema del mismo.

Actualmente la precipitación promedio mensual en los totorales de la RNT, correspondiente a los años 2008-2014 (Figura 03), muestra que las precipitaciones inician en el mes de setiembre, alcanzando la precipitación máxima promedio en el mes de febrero con 171.03 mm; descendiendo abruptamente en el mes de abril hasta agosto.

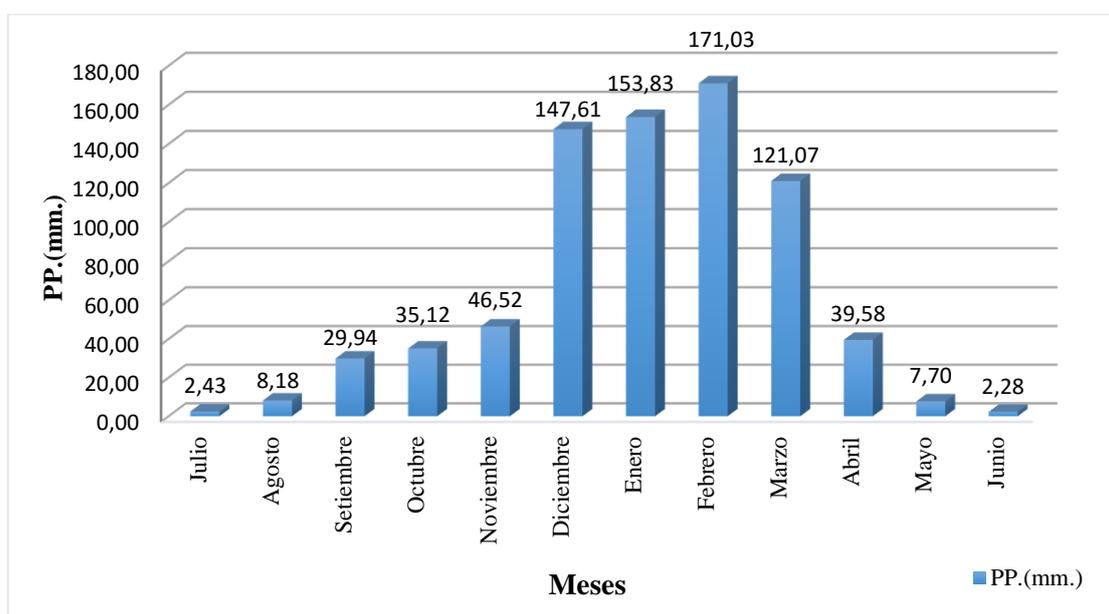


Figura 03. Precipitación promedio mensual de la RNT del periodo 2008-2014.

#### 4.1.6 Accesibilidad

La RNT tiene un acceso que incluye vía aérea, terrestre y lacustre, tal como se detalla a continuación:

- Lima – Juliaca, vía aérea, 1 hora y 30 minutos.
- Juliaca – Puno, carretera asfaltada, 45 minutos.
- Puno – Juliaca – Taraco – Puente Ramis, carretera asfaltada con un tiempo de 1 hora y 30 minutos.

- Puente Ramis- Sector Ramis, trocha carrozable 15 minutos.
- Taraco – Sector Ramis (Jatun Isla), 30 minutos.
- Puno – Isla los Uros, vía lacustre con un tiempo de 20 minutos.
- Puno – Paucarcolla – Huatta – Coata - Capachica, vía terrestre carretera asfaltada y afirmada 1 hora 30 minutos.
- Puno – Capachica, vía lacustre, dos horas.
- Capachica – Capano – Yapura - Llachón carretera afirmada, 30 minutos.

## **4.2 METODOLOGÍA**

### **4.2.1 Duración**

El estudio se ha desarrollado durante los meses de agosto del 2014 a octubre del 2015, las evaluaciones de campo se realizaron durante diciembre 2014 a febrero del 2015; mientras la etapa de laboratorio comprendió los meses de febrero a marzo de 2015. En el transcurso de 13 meses se obtuvo los datos necesarios para el cumplimiento de los objetivos planteados.

### **4.2.2 Selección del área de estudio**

El área de estudio seleccionado, corresponde al total de zonas del sector Puno que están identificadas en el plan maestro de la RNT, que son: Zona Silvestre (S), Zona Aprovechamiento Directo (AD), Zona de Recuperación (R), Zona Uso Especial (UE) y Zona de Uso Turístico y Recreativo (UT). Además, se evaluó el suelo de los totorales de los sectores antes mencionados dentro de las zonas de estudio, todas las zonas fueron incluidas para el cálculo de la captura de CO<sub>2</sub> total de los totorales de la RNT. Las características de las zonas de estudio se detallan en el cuadro 01:

Cuadro 01. Zonificación de los totorales del sector Puno de la RNT.

<b>Zonas</b>	<b>Características</b>
Zona Silvestre (S)	Se considera como tal a las zonas que han sufrido poca o nula intervención humana y en las que predomina el carácter silvestre, permanentemente mantiene hábitats acuáticos. Esta zona está conformada por formaciones de totoral denso a manera de islotes y por espejos de agua poco profundos.
Zona Aprovechamiento Directo (AD)	Espacios previstos para llevar a cabo la utilización directa de flora o fauna silvestre. Contiene áreas de totorales predominantemente densos, semi densos y en algunos sectores ralos.
Zona de Recuperación (R)	Zonas que por causas naturales o intervención humana, han sufrido daños importantes y requieren un manejo especial para recuperar su calidad y estabilidad ambiental. Estas áreas están predominantemente cubiertas de agua en meses de precipitación, de profundidad media con cobertura de totora aislada, sobre explotada o deteriorada.
Zona Uso Especial (UE)	Son espacios ocupados por asentamientos humanos preexistentes al establecimiento del Área Natural Protegida, o en los que por situaciones especiales, ocurre algún tipo de uso agrícola, pecuario, agrosilvopastoril u otras actividades que implican la transformación del ecosistema original” (Ley 26834).
Zona de Uso Turístico y Recreativo (UT)	Son espacios que tienen rasgos paisajísticos atractivos para los visitantes y, que por su naturaleza, permiten un uso recreativo compatible con los objetivos del área. En estas zonas se permite el desarrollo de actividades educativas y de investigación, así como infraestructura de servicios necesarios para el acceso, estadía y disfrute de los visitantes, incluyendo rutas de acceso carrozables, albergues y uso de vehículos motorizados.

Fuente. Elaboración propia.

### 4.2.3 Diseño de Muestreo

Para distribuir y ubicar las parcelas o puntos de muestreo en la superficie interior de cada zona de los totorales y de suelo del sector Puno de la RNT (Cuadro 01), se utilizó una variación del muestreo aleatorio simple, denominado “muestreo aleatorio simple cuadrado” que asegura una distribución uniforme de los puntos para la toma de muestras. Seguidamente se detalla el procedimiento realizado:

- Se realizó el reconocimiento y delimitación de los linderos de las zonas de totorales naturales del Sector Puno de la RNT utilizando el GPS navegador.
- Se procesó imágenes satelitales landsat para el sector Puno, donde se calculó la extensión total de cada zona, luego se elaboró un mapa de zonificación, tal como se observa en la Lamina 01.
- En el mapa de zonificación, se efectuó el trazo definitivo de los límites de cada zona, luego se cuadruló trazando líneas que atravesen todo el totoral, del número total de estas cuadrículas se eligió al azar 40 cuadrículas representativas para la toma de muestras, considerando 3 repeticiones en cada punto de muestreo, en cuanto al suelo se tomó 01 muestra por cuadrícula, las que fueron localizadas en cada zona usándose un GPS navegador.
- Dentro de las cuadrículas seleccionadas aleatoriamente, se colocó un cuadrante de 1 x 1 metro, en donde se estimó la producción de materia verde, materia seca, carbono fijado por los componentes de las plantas de totora y fracción de conversión de carbono.
- Los totorales no presentaron inconvenientes para el muestreo porque son zonas homogéneas.

Por otra parte, Borrelli, *et al.* (1986), citado por Borrelli y Oliva (2001), indican que para evaluar la disponibilidad de forraje en matorrales relativamente homogéneos, recomienda tomar un mínimo de 12 muestras con marco de 1.0 m<sup>2</sup>.

Comparado con otras evaluaciones, se podría indicar que el diseño de muestreo utilizado en el presente estudio, tiene una mejor distribución y una mayor cantidad de unidades de muestreo que le dan mayor fortaleza y robustez a los resultados obtenidos.

#### **4.2.4 Medición de la producción de biomasa verde y seca en los totorales**

Para la medición de la producción de materia verde en los totorales, se utilizó el método de “Cosecha en parcelas de corte y separación manual por peso”, propuesto por Paladines (1992); citado por Choque (2010). El procedimiento de medición de materia verde se realizó cosechando manualmente en parcelas cuadradas (1 x 1 m). A continuación se detallan los pasos seguidos:

- Previamente dentro de cada zona de los totorales del sector Puno, se eligió cuadrículas proporcional a la superficie de la zona, mediante el muestreo aleatorio simple cuadrulado.
- A continuación en cada cuadrícula seleccionada aleatoriamente, se colocó un cuadrante de 1 x 1m, para la toma de muestras.



Figura 04. Instalación de cuadrante de 1 x 1m.

- Una vez colocado el cuadrante sobre la vegetación, se procedió a cortar todas las especies herbáceas acuáticas con la ayuda de una quinina y una hoz.



Figura 05. Cosecha de totora utilizando una quinina.

- Se evaluó las siguientes variables de los totorales:

Densidad: Número de plantas de totora encontradas por unidad de superficie.

Altura: Medida vertical de los individuos de cada especie. Se mide desde el punto donde el tallo floral se une al rizoma, este o no sumergido en el espejo de agua del lago Titicaca, hasta la parte donde se inicia la inserción de la inflorescencia.



Figura 06. Medida vertical de totora

- La totora cosechada en las unidades muestrales de 1 x 1 m, se divide el tallo aéreo con la ayuda de una hoz.



Figura 07. División del tallo floral

- La materia verde de los rizomas-raíces se extrajeron con la ayuda de una pala recta, en unidades de muestreo de 25 cm de largo x 25 cm de ancho x 25 cm de profundidad (debajo de la unión del tallo floral y el rizoma, este o no sumergido).



Figura 08. Muestra del rizoma-raíz

- Se pesó con una balanza tipo reloj cada componente de la totora y su peso verde por metro cuadrado se anotó en el registro respectivo en  $\text{kg/m}^2$  y en  $\text{t/ha}$ .



Figura 09. Pesado de las muestras cosechadas

- Se colectó una sub muestra de los componentes de la totora y se registró el peso verde, colocándolo en una bolsa de papel correctamente identificada.
- Estas sub muestras debidamente rotuladas y embolsados se llevaron al laboratorio del Instituto Nacional de Innovación agraria (INIA) para su secado.
- Las sub muestras fueron llevadas a la estufa eléctrica por 48 y 72 horas a una temperatura de 65°C hasta obtener el peso constante. Luego por diferencia del peso original en forraje verde y forraje seco, se determinó el porcentaje de humedad (H). Para los cálculos se utilizó la siguiente fórmula de acuerdo a la Norma Técnica Peruana NTP 251.010.

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

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

- La materia seca calculada se expresó en kg/m<sup>2</sup> y en t/ha.



Figura 10. Muestra del tallo floral aéreo y raíz rizoma



Figura 11. Picado de tallo floral



Figura 12. Muestra picada



Figura 13. Análisis de humedad

#### **4.2.5 Determinación del contenido de carbono en los totorales**

Se realizó a través de la fracción de conversión de carbono de la totora, de tallo floral y rizoma-raíz, siguiendo el método de Titulación o Walkley y Black (1934) y el método del Poder Calórico de Eduarte y Segura (1998), Se realizó en el laboratorio de Suelos, Aguas y Abono del Instituto Nacional de Innovación agraria (INIA-PERÚ), a continuación se explica cada método:

##### **a. Método de Walkley y Black (1934)**

Para determinar de la fracción de conversión de carbono de la totora, se realizó el siguiente procedimiento en el laboratorio, sugerido por Kalra y Maynard (1991):

- Tener las muestras en peso seco de los componentes de la totora.
- Moler las muestras en el molino.
- Pesar 0.2 g de muestra y llevar a un frasco de Erlemeyer de 125 ml.
- Agregar a las muestras 20 ml de solución Dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ) 2N.
- Agregar 10 ml de Ácido sulfúrico concentrado ( $H_2SO_4$ ), mezclar para homogeneizar la solución. Durante esta reacción hay generación de calor.
- Reposar las muestras de 2 a 3 horas.
- Enrasar a 100 ml con agua desionizada (previamente hacer un blanco).
- Titular con solución Sulfato ferroso Amoniacal 0.2N, agregando gotas de indicador Difenil amina sulfúrica 1% (3 gotas/20 ml).
- 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, ya que se asume que la materia orgánica contiene el 58% de carbono.

$$\% \text{ Materia orgánica} = M \times \frac{(1.724 \times 0.4 \times N_{\text{SFA}} \times V_{\text{B}} - V_{\text{M}})}{\text{Peso de muestra inicial (g)}}$$

Sabiendo que:

$$V_{\text{B}} = \frac{V(\text{K}_2\text{CrO}_7) \times V_{\text{SFA}}}{4}$$

Donde:

M : Es la Molaridad de la solución de FeSO<sub>4</sub>

0.4 : Es el factor equivalente del peso del carbón

V<sub>B</sub> : Es el Volumen de la solución Ferrosa amoniacal requerido para el blanco (ml)

V<sub>M</sub> : Es el volumen de la solución Ferrosa amoniacal requerido para la muestra (ml)

N<sub>SFA</sub> : (Normalidad de la solución ferrosa amoniacal) = 4 / V<sub>SFABK</sub>  
(Volumen de la solución sulfato ferrosa amoniacal del blanco).

- Finalmente, considerando que el contenido de carbono orgánico es igual al porcentaje de materia orgánica dividido por el factor de 1.724, se tiene:

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

**b. Método del poder Calórico**

Este método utilizado es el del poder calórico, que se basa en la cantidad de energía que requiere una planta para fijar un mol de carbono, método de Eduarte y Segura, (1998). Por cada muestra de las partes estudiadas de la totora, se preparó muestras de 500gr de materia seca, las que fueron remitidas al laboratorio para determinar el valor calórico de las muestras. La fracción de carbono de las muestras se estimaron mediante las siguientes formulas:

$$\text{FrCa} = \text{FrCh} \times \text{Ch}.$$

Dónde:

FrCa = Fracción de carbono ajustada

FrCh = Fracción de carbono a un contenido de humedad

Ch = Contenido de humedad

La Fracción de Carbono a un determinado contenido de humedad se calculó de la siguiente manera.

$$\text{FrCh} = \frac{\text{Vc} \times 4,1868\text{J} \times \text{Pm}}{4,8 \times 10^5 \text{J} \times \text{PM}}$$

Dónde:

FrCh = Fracción de carbono a un determinado contenido de humedad

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<sup>5</sup>J = moles de carbono por J

PM = Peso de la muestra inicial

Para determinar el contenido de carbono (tC/ha) almacenado en el tallo floral (TF), y la parte Rizoma-Raíz (R-R) de la totora, se utilizó la siguiente fórmula:

$$C = MS \times FC$$

Dónde:

C = Contenido de carbono (tC/ha)

MS = Materia seca (t/ha)

FC = Fracción de carbono

- La materia seca del TF se elevó a tC/ha multiplicándose por la fracción de conversión de carbono estimada en laboratorio para el TF. Se realizó el mismo procedimiento para todas las muestras y componentes de la totora.
- El contenido de carbono (tC/ha) de la totora, se obtuvo sumando el contenido de carbono de TF y R-R.

#### **4.2.6 Determinación del contenido de carbono en suelo de los totorales**

El contenido de carbono del suelo se determinó en el Laboratorio de Suelos, Aguas y Abono del Instituto Nacional de Innovación agraria (INIA-Perú), mediante el método Colorimétrico; el cual está descrito por el Centro Internacional para la investigación en Agroforestería - ICRAF; que está basada en los Fundamentos Científicos para determinar con precisión el carbono almacenado en los diferentes sistemas de Uso de la Tierra (Arévalo et al., 2003), determinando 15 muestras de suelo. (Plano N° 02). El procedimiento a realizar se detalla a continuación:

- **Colecta de muestra de suelo**

- Las muestras de suelo se tomaron restringiéndose solo la capa arable (0 - 0.20m); para determinar la cantidad de carbono secuestrado en los suelos de la totora.
- Dentro de las cuadrículas seleccionadas se tomara la muestra de suelo en un área de 0.20 m de ancho x 0.20 m de largo x 0.20 m de profundidad (capa arable), utilizando una pala recta.
- Se sacara 1 kg. de cada muestra de suelo de la totora, se identificara y se ara secar.

- **Método colorimétrico**

La determinación de carbono de las muestras de suelo de la totora se realizó en laboratorio, mediante oxidación del carbono con Dicromato de potasio, permitiendo estimar el porcentaje de materia orgánica en el suelo con el siguiente procedimiento:

- En un frasco Erlenmeyer de 150 ml, colocar 1 g o 1 ml de suelo. Use 0.5 g o 0.5 ml en suelos altos de materia orgánica.
- Adicionar 10 ml de Dicromato de potasio 2 N y Adicionar 10 ml de ácido sulfúrico Q.P.
- Reposar 4 horas como mínimo. Adicionar 25 ml. de solución superfloc
- Tomar una alícuota del sobrenadante; verter en un tubo y luego adicionar 10 ml de agua destilada.
- Leer a una longitud de onda de 650 nm
- Correr una curva de calibración, construir una línea de regresión. Para esta línea hallar el valor de r (coeficiente). El valor de r debe ser lo más cerca de 1. Determinando el valor del % de M.O. de la muestra.
- Para convertir el porcentaje de materia orgánica en carbono se utilizará la ecuación:  
$$\% \text{ M. O} = 1.724 \times \% \text{ C};$$
 y reemplazando se tiene que:

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

- Se consideran suelos con alto contenido de materia orgánica aquellos que tienen un contenido mayor de 4% de M.O.

- **Colecta de muestra para medición de densidad aparente**

Para estimar el carbono almacenado en el suelo es necesario medir la densidad aparente del suelo en cada parcela. Para esto se utilizó material de una de las extremidades de la parcela no utilizadas, siguiendo el siguiente procedimiento (Rugnitz et al., 2009).

**Toma de muestra**

- Para determinar la densidad aparente, las muestras de suelo deben ser retirados utilizando cilindros metálicos de volumen conocido, específico para este tipo de muestreo.
- Realizar un hoyo pequeño donde se aprecie el perfil del suelo
- Marcar en el perfil del suelo la profundidad seleccionada (0.20 m)
- Penetrar los cilindros en el suelo (las muestras deben ser realizadas para la profundidad seleccionada).
- Extraer el cilindro con la muestra de suelo sin destruir el material



Figura 14. Extracción de suelo



Figura 15. Muestra de suelo

- Extraer la muestra de suelo del cilindro y depositarlo en un envase correctamente identificado.



Figura 16. Muestra de suelo para análisis de materia orgánica

### **Cálculo para determinar la densidad aparente del suelo**

- En el laboratorio, las muestras de suelo serán secadas en una estufa de aire forzado a 105 °C por el tiempo necesario hasta que lleguen a peso constante, obteniendo así el peso seco del suelo proveniente de cada uno de los cilindros.



Figura 17. Secado de suelo en estufa

- El cálculo para determinar la densidad aparente es el siguiente:

$$Da = ms/v \text{ total}$$

Donde, la división entre la masa del suelo seco (ms, en gramos) y el volumen del cilindro (v total, en cm<sup>3</sup>) corresponde a la densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>) del suelo.

- El volumen del cilindro es calculado por medio de la siguiente fórmula:

$$V = \pi \times r^2 \times h$$

Donde, r equivale al radio (en cm) y h a la altura (en cm).

### **Calculo del contenido de carbono en el suelo**

- Para estimar el contenido de Carbono del suelo se utiliza la siguiente formula:

$$CS = \% C \times PS$$

Dónde: CS = Contenido de carbono del suelo (tC/ha), % C = porcentaje de carbono del suelo (%) y PS = Peso del suelo (t/ha).

- Para estimar el peso del suelo se utiliza la siguiente formula:

$$PS = V \times Dap$$

Dónde: PS = Peso del suelo (t/ha), V = Volumen de la muestra de suelo (m<sup>3</sup>) y Dap = Densidad aparente del suelo (t/m<sup>3</sup>).

- Nota: Se debe considerar para el Volumen de la muestra de suelo que : 1 ha (10000m<sup>2</sup>) a 0.20 m de profundidad se tiene: 2000 m<sup>3</sup> de volumen

#### 4.2.7 Cuantificación de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) capturado en los totorales

Con los datos obtenidos del contenido del carbono (tC/ha) para el tallo floral (TF) y Rizoma-Raíz (R-R), se estima la captura de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) de los totorales. Para ello se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{CO}_2 = \text{C} \times \text{Kr}$$

Dónde:

CO<sub>2</sub> : Captura de dióxido de carbono (tCO<sub>2</sub>/ha)

C : Contenido de carbono (tC/ha)

Kr : 44/12 (Factor de conversión de carbono a dióxido de carbono)

- La muestra expresada en tC/ha del TF se multiplica por el factor de conversión de carbono a dióxido de carbono por (44/12) y se obtuvo la captura de dióxido de carbono en tCO<sub>2</sub>/ha. Se realiza el mismo procedimiento para todas las muestras y componentes de la totora.
- La captura de dióxido de carbono (tCO<sub>2</sub>/ha) de la totora, se obtuvo sumando las capturas de dióxido de carbono del TF, y del R-R.

Para estimar la cantidad total de CO<sub>2</sub> capturado en todo el total de la RNT, se realizó lo siguiente:

- Se estimó el área total de totorales presente en las 5 zonas de la RNT, utilizando imágenes LANDSAT del mes de junio del año 2013, donde se excluyó el área de los ríos, espejos de agua, canales de acceso, entre otros.
- Las áreas estimadas por zonas se multiplicaron por la captura de dióxido de carbono promedio (tCO<sub>2</sub>/ha) de cada componente de la totora.

- La captura de dióxido de carbono total ( $tCO_2$ ) de la totora, se obtuvo sumando las capturas de dióxido de carbono total del TF, y del R-R.

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 PRODUCCIÓN DE BIOMASA VERDE Y SECA DE LOS TOTORALES

La producción de biomasa verde y seca promedio de los totorales de la RNT fue 127.83 t/ha, y 29.95 t/ha, respectivamente, mientras que la producción de biomasa verde y seca por zonas de la RNT puede verse en la figura 18 y cuadro 02, donde se observa que la zona de Aprovechamiento Directo (AD) tiene la mayor producción primaria bruta verde y seca; seguida de la zona silvestre (S); zona de Recuperación (RE); zona de Uso Turístico y Recreativo (UT); mientras la zona de Uso Especial (UE) tiene la menor producción de biomasa verde y seca. De las diferentes zonas de la RNT.

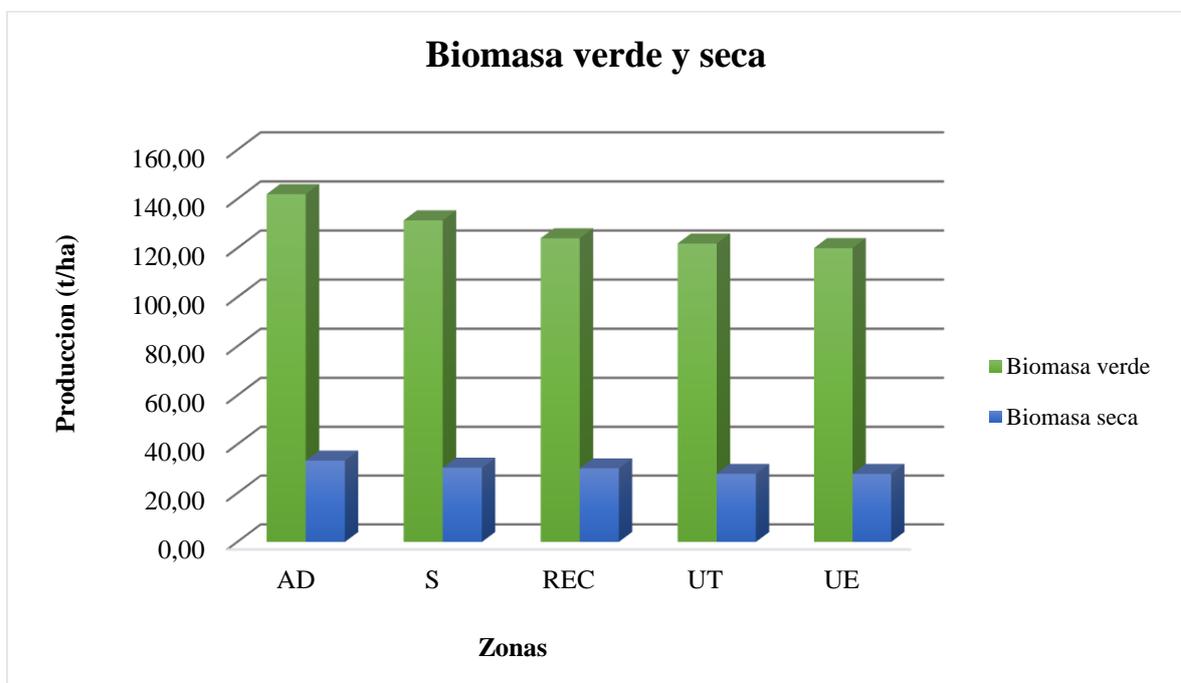


Figura 18. Producción de biomasa verde y seca por zonas de la RNT.

Cuadro 02. Producción de biomasa verde y seca en los totorales del sector Puno de la RNT.

Zonas	N° Puntos	Componentes estructurales de la Totora	Producción de Biomasa Verde		Producción de Biomasa Seca	
			(t/ha)	%	(t/ha)	%
Aprovechamiento Directo (AD)	19	TF	64.31	45.29	16.15	48.45
		R-R	77.67	54.71	17.18	51.55
		Sub total	141.98	100	33.33	100
Recuperación (REC)	5	TF	46.30	49.29	12.78	42.39
		R-R	77.67	50.71	17.38	57.61
		Sub total	123.98	100	30.16	100
Silvestre (S)	9	TF	60.08	45.76	15.86	52.12
		R-R	71.22	54.24	14.57	47.88
		Sub total	131.29	100	30.43	100
Especial (UE)	3	TF	60.74	50.61	17.35	62.20
		R-R	59.27	49.39	10.54	37.80
		Sub total	120.02	100	27.89	100
Turístico y Recreativo (UT)	4	TF	53.82	44.17	15.36	55.01
		R-R	68.04	55.83	12.56	44.99
		Sub total	121.87	100	27.92	100
<b>Promedio</b>						
TF (Tallo floral)			57.05	47.02	15.50	52.03
R-R (Rizoma-Raíz)			70.78	52.98	14.45	47.97
<b>TOTAL</b>			<b>127.83</b>	<b>100</b>	<b>29.95</b>	<b>100</b>

Fuente. Elaboración propia.

Los estudios realizados en la región Puno, solo evaluaron la producción del tallo floral (tallo floral (TF) aéreo y sumergido) sin considerar la producción del Rizoma-Raíz (R-R) y los resultados fueron expresados en materia verde; por tal motivo los resultados de producción total de biomasa verde y seca del presente estudio no pueden ser comparados.

Bajo estas consideraciones, se analizó y comparó solo la producción de biomasa verde del tallo floral (TF), encontrándose que los resultados de otras evaluaciones superan a lo registrado en el presente estudio, es así que el PELT (2000), encontró para la totora un rendimiento de 102 t/ha/año de materia verde y 20.4 t/ha/año de materia seca; mientras el

Ministerio de Agricultura (1984), registró una productividad en la Reserva del Titicaca de 225 t/ha/año de materia verde; por su parte Herbas (1978), estimó una productividad de 604 t/ha/año de materia verde; y Galiano (1977), encontró una productividad de 311 t/ha/año de materia verde.

La disminución actual de la producción de biomasa verde y seca en los totorales de la RNT, puede ser atribuido a las variaciones extremas del clima que tiene incidencia en los niveles del espejo de agua del lago, como es el caso de la sequía en 1983 y excesiva precipitación en 1985 y 1986. Otra causa es el uso y aprovechamiento del totoral por parte de la población que vive dentro y fuera de la RNT. Tal es el caso de la extracción indiscriminada de la totora, especialmente con fines de alimentación de ganado y fabricación de balsas y quesanas, la quema de totorales con fines de caza de aves y recolección de huevos y para adelantar el rebrote de la totora, el sobre pastoreo y por último, la otra causa importante es la subutilización que origina el desecamiento de totorales que dificulta el rebrotamiento causando la pudrición de raíces y rizomas.

Por otra parte, si hacemos el análisis de los resultados considerando las diferentes partes estructurales de la planta de totora, esto es TF y R-R, encontramos que la mayor cantidad de biomasa verde en R-R y biomasa seca de la planta se encuentra en TF (Cuadro 02 y Figura 19).

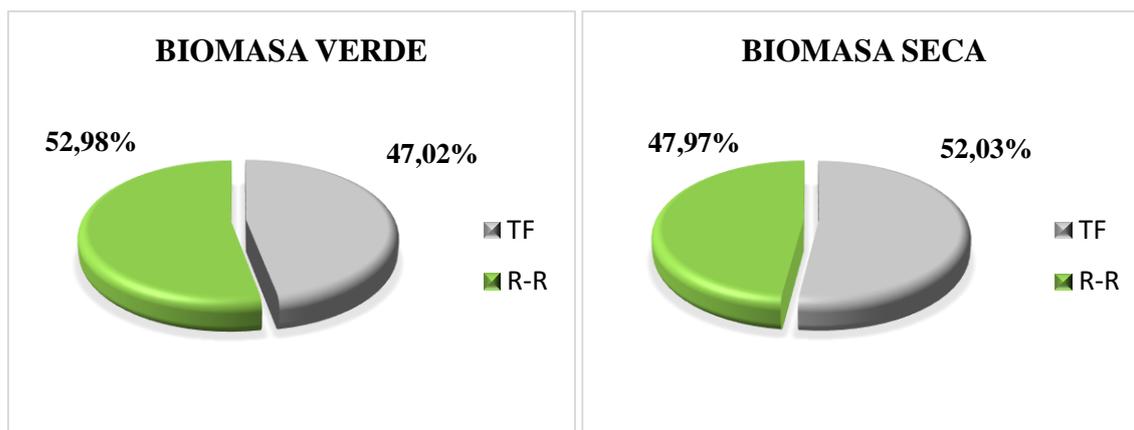


Figura 19. Producción de biomasa verde y seca por componente estructural de la Totora

## 5.2 CONTENIDO DE CARBONO (C) EN LOS COMPONENTES DE LA PLANTA DE TOTORA

Los resultados obtenidos en el laboratorio mediante el método de Walkley y Black, indican que la fracción de conversión de Carbono es: 0.48 para el tallo floral (TF) y 0.42 para el rizoma-raíz (R-R); mientras que los factores de conversión obtenidos mediante el método del poder Calórico indican que la fracción de conversión de Carbono es: 0.40 para el TF y 0.39 para el R-R (Figura 20). La diferencia de los factores de conversión de carbono obtenido por cada método, puede ser atribuido al procedimiento que utiliza cada método, pero se considera al método del poder Calórico como el más directo y preciso pues no trabaja bajo ningún supuesto, tal como mencionó Simbaña (2011).

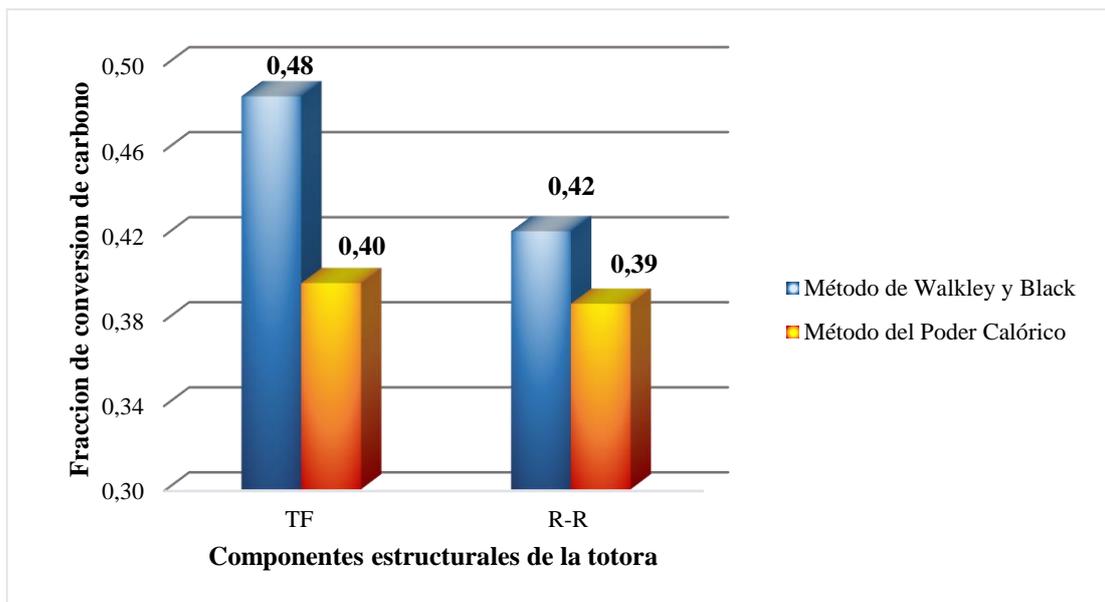


Figura 20. Fracción de conversión de Carbono por componente estructural de la Totora

Asimismo, ambos métodos indican que la mayor fracción de conversión de carbono se encuentra en el TF, seguido del R-R, tal como se observa en la figura 20. Este resultado puede ser explicado porque la estructura del TF se encuentra en la parte aérea y es la que realiza la fotosíntesis, mientras que el R-R se encuentra sumergida y sus tejidos son más blandos.

Comparando estos resultados con otras evaluaciones, se tiene que Palomino (2007), encontró que la fracción de carbono para la totora (*Schoenoplectus californicus* (C.A.M) Soyak) fue: 0.45 para los tallos florales, y 0.47 para la raíz. Podemos indicar que la fracción de conversión de carbono del tallo floral es menor, mientras que la fracción de conversión de la raíz es superior a lo encontrado en el estudio. El resultado obtenido en el presente estudio puede ser atribuido a que la raíz de la totora de la RNT se encuentra totalmente sumergida, mientras que la raíz de la totora de Puerto viejo se encuentra parcialmente sumergida.

Por otra parte, se ha estimado que el contenido de carbono “C” promedio de los totales de la RNT mediante el método de Walkley y Black y método del Poder Calórico fue 13.55 tC/ha, y 11.75 tC/ha, respectivamente; mientras que el contenido de carbono por zonas de la RNT, presenta a la zona de Aprovechamiento Directo con el mayor contenido de carbono; seguido de la zona Silvestre, zona de Recuperación, zona de Uso Especial; mientras la zona de Uso Turístico y Recreativo tiene el menor contenido de carbono (Figura 21, Cuadro 03 y 04).

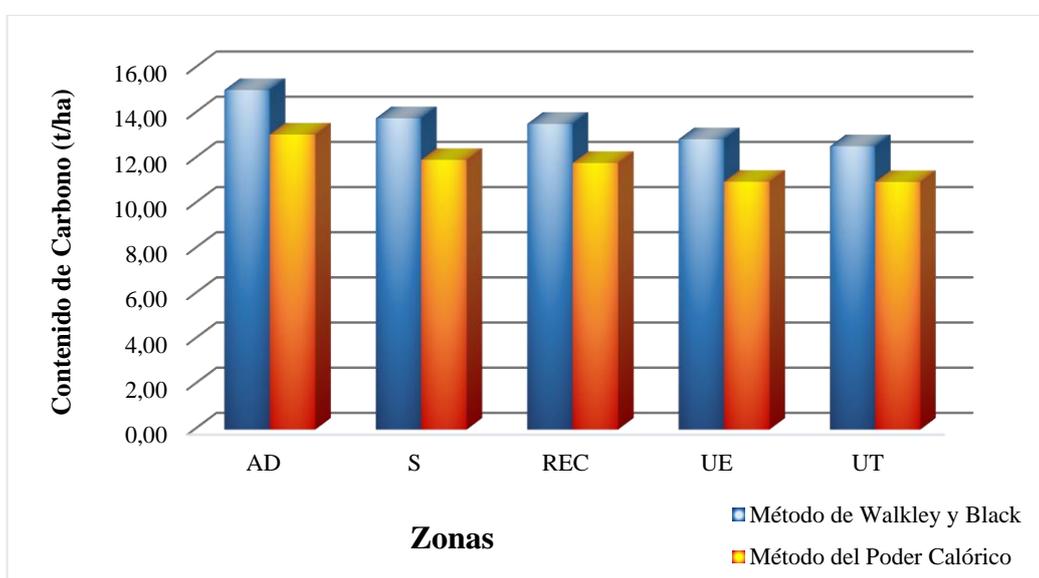


Figura 21. Contenido de Carbono por zonas de la RNT.

Cuadro 03. Determinación del contenido de Carbono “C” por el método de Walkley y Black.

Zona	N° Puntos	Componentes estructurales de la Titora	Producción de materia seca (t/ha)	Fracción de Carbono	Contenido de Carbono “C”	
					(tC/ha)	%
Aprovechamiento Directo (AD)	19	TF	16.15	0.48	7.83	52.09
		R-R	17.18	0.42	7.20	47.91
		Sub total	33.33		15.03	100
Recuperación (REC)	5	TF	12.78	0.48	6.20	45.79
		R-R	17.38	0.42	7.34	54.21
		Sub total	30.16		13.54	100
Silvestre (S)	9	TF	15.86	0.48	7.69	55.78
		R-R	14.57	0.42	6.10	44.22
		Sub total	30.43		13.78	100
Especial (UE)	3	TF	17.35	0.48	8.41	65.43
		R-R	10.54	0.42	4.44	34.57
		Sub total	27.89		12.85	100
Turístico y Recreativo (UT)	4	TF	15.36	0.48	7.32	58.34
		R-R	12.56	0.42	5.23	41.66
		Sub total	27.92		12.54	100
<b>Promedio</b>						
TF (Tallo floral)			15.50	0.48	7.49	55.49
R-R (Rizoma-Raíz)			14.45	0.42	6.06	44.51
<b>TOTAL</b>			<b>29.95</b>		<b>13.55</b>	<b>100</b>

Fuente. Elaboración propia.

Cuadro 04. Determinación del contenido de Carbono “C” por el método del Poder Calórico.

Zona	Nº Puntos	Componentes estructurales de la Totora	Producción de materia seca (t/ha)	Fracción de Carbono	Contenido de Carbono “C”	
					(tC/ha)	%
Aprovechamiento Directo (AD)	19	TF	16.15	0.40	6.41	49.07
		R-R	17.18	0.39	6.65	50.93
		Sub total	33.33		13.06	100
Recuperación (REC)	5	TF	12.78	0.40	5.08	42.99
		R-R	17.38	0.39	6.73	57.01
		Sub total	30.16		11.80	100
Silvestre (S)	9	TF	15.86	0.40	6.30	52.74
		R-R	14.57	0.39	5.64	47.26
		Sub total	30.43		11.94	100
Especial (UE)	3	TF	17.35	0.40	6.89	62.78
		R-R	10.54	0.39	4.08	37.22
		Sub total	27.89		10.97	100
Turístico y Recreativo (UT)	4	TF	15.36	0.40	6.10	55.62
		R-R	12.56	0.39	4.86	44.38
		Sub total	27.92		10.96	100
<b>Promedio</b>						
TF (Tallo floral)			15.50	0.40	6.15	52.64
R-R (Rizoma-Raíz)			14.45	0.39	5.59	47.36
<b>TOTAL</b>			<b>29.95</b>		<b>11.75</b>	<b>100</b>

Fuente. Elaboración propia.

Los resultados del contenido de carbono “C” en otras especies y ecosistemas superan a los encontrados en el presente estudio, tal como se observa en el cuadro 05; donde el mayor contenido de carbono se encontró en un rodal de eucalipto de 35 años, seguido de un rodal de pino de 22 años; mientras que el rodal de eucalipto de 5 años presenta el menor contenido de carbono.

De los comparativos realizados podemos indicar que el contenido de carbono de las especies arbustivas y arbóreas es variado durante su desarrollo, por estar directamente relacionado

con su crecimiento; mientras que el contenido de carbono en la totora de la RNT, está directamente relacionado al ciclo productivo.

Cuadro 05. Estudios del contenido de carbono por especie y ecosistema.

Región	Especies y ecosistemas	Observación	Contenido Carbono (tC/ha)	Método Utilizado	Autor
Junín	<i>Schoenoplectus californicus</i> Var. <i>Totora</i>	sin edad (tallo aéreo)	30.65	Walkley y Black	Medrano, 2012
Ancash	Pino " <i>Pinus patula</i> "	Rodal de 22 años	136.11	Valor estándar del IPCC	Camones, 2011
		Rodal de 15 años	49.7		
Ancash	Eucalipto " <i>Eucalyptus globulus</i> "	Rodal de 35 años	365.46	Poder Calórico	Simbaña, 2011
		Rodal de 05 años	22.35		
Lima	Totora " <i>Schoenoplectus californicus</i> "	Sin edad (tallo aéreo y raíz-rizoma)	28.9	Walkley y Black	Palomino, 2007

Fuente. Elaboración propia.

Además, podemos indicar que del análisis de los resultados del contenido de carbono mediante el método de Walkley y Black y método del Poder Calórico en las dos partes estructurales de la planta de totora, encontramos que el mayor contenido de carbono se encuentra en TF y la parte del R-R es la que tiene el menor contenido de carbono (Figura 22, Cuadro 03 y 04).

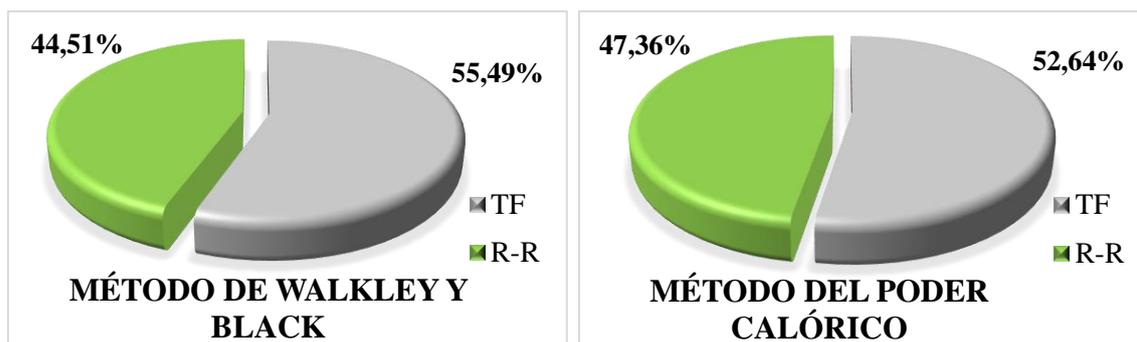


Figura 22. Contendio de Carbono por componente estructural de la Totora

Por su parte Palomino (2007), indica que el mayor contenido de carbono se encuentra en la parte aérea de la “totora” (*Schoenoplectus californicus* C.A.M.); con 20.1 tC/ha que representa el 69.56% y el carbono almacenado en las raíces hasta los 20 cm de profundidad es 8.8 tC/ha que representa el 30.44%. Este resultado es semejante al encontrado en el presente estudio, lo cual se atribuye al medio en donde se desarrolla y a la estructura de los R-R de los totorales de la RNT.

Estos resultados confirmarían, que la capacidad de purificación del agua se encuentra en el Rizoma-Raíz, por ser considerado un colchón hidrológico natural que retiene sedimentos, regulando la cantidad y calidad del agua; lo cual constituye otro servicio ambiental que presta los totorales además de absorber el CO<sub>2</sub> atmosférico.

### 5.3 CONTENIDO DE CARBONO (C) EN EL SUELO DE LOS TOTORALES

Mediante el contenido de carbono del suelo por unidad de volumen, se pudo estimarse el contenido de carbono total por hectárea para el suelo a una profundidad de 0.20 cm de las diferentes zonas de la RNT, puede verse en la figura 23 y cuadro 06, donde se observa que la zona de Uso Turístico y Recreativo (UT) tiene el mayor contenido de carbono con 202.43 tC/ha, zona Silvestre con 173.63 tC/ha, zona de Aprovechamiento Directo con 170.93 tC/ha, zona de Recuperación con 157.71 tC/ha; mientras la Zona de Uso Especial tiene el menor contenido de carbono con 144.37 tC/ha. (Figura 23)

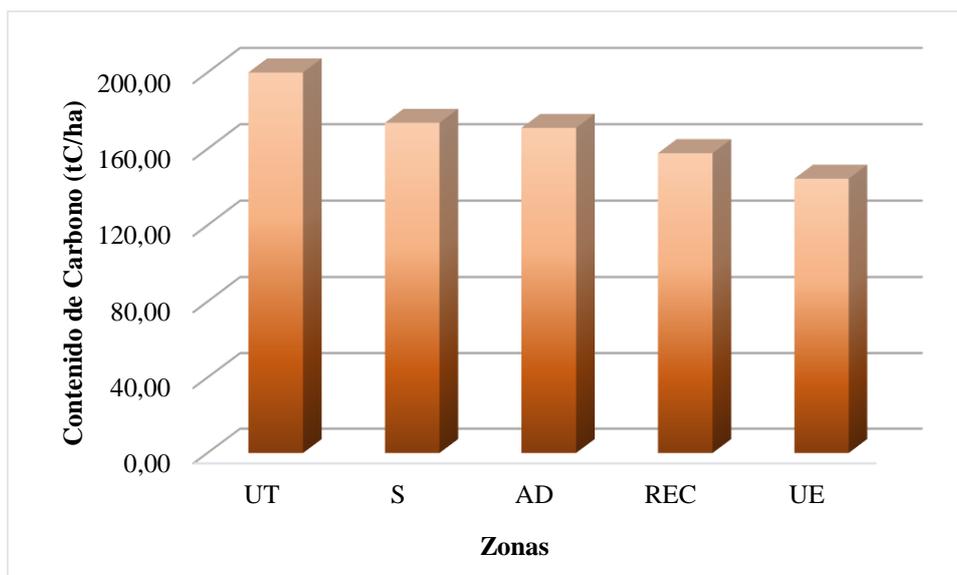


Figura 23. Contenido de Carbono en el suelo de la RNT.

Los resultados obtenidos en el laboratorio de Suelos, Aguas y Abono del Instituto Nacional de Innovación agraria (INIA-PERÚ), mediante el método colorimétrico, en el suelo de las diferentes zonas de la RNT indican la variación del contenido de materia orgánica (M.O.) predominante es la zona de Recuperación (REC) con 17.52, zona de Aprovechamiento Directo con 17.42%, zona de Uso Especial con 17.10%, zona de Uso Turístico y Recreativo con 16.92% y zona Silvestre con 16.84%. En comparación con Medrano (2012) que da como resultado en humedal Bofedal 39.34% de M.O. indica que hay mayor cantidad M.O. en suelos que permanecen inundados durante mucho tiempo y con aportes constantes de M.O. El alto contenido de (M.O) los valores altos puede ser atribuido al área de estudio que se encuentra en zonas anegadas o pantanosas donde el carbono almacenado por más tiempo y descomposición es más lenta.

Cuadro 06. Expresión de resultados de la muestra de suelo de zonas de la RNT

Zonas	Símbolo	% M.O (materia orgánica)	Peso de suelo*	% Carbono	contenido de carbono tC/ha
Aprovechamiento directo	AD	17.47	1686.82	10.13	170.93
Recuperación	REC	17.52	1551.88	10.16	157.71
Silvestre	S	16.84	1777.56	9.77	173.63
Uso especial	UE	17.1	1455.56	9.92	144.37
Uso turístico y recreativo	UT	16.93	2061.41	9.82	202.43

Fuente. Elaboración propia.

\*Muestras tomado a 20 cm

Comprando estos resultados con otras evaluaciones, se tiene que Palonimo (2007), encontró que el contenido de carbono en el suelo de las especies de flora de valor artesanal y predominante es el suelo de Junco con 99.00 tC/ha, totora con 9.57 tC/ha, grama salada con 11.55 tC/ha y Salicornia con 5.61 tC/ha. El resultado obtenido en el presente estudio en todas las zonas es superior el contenido de carbono que puede ser atribuido al alto contenido de materia orgánica muy superior al 4%. Según el mapa de Capacidad de Uso Mayor de las Tierras del Perú (ONERN, 1981; citado por MINAG/INRENA/RNT, 2002), en el área de los totorales, dentro de la reserva, se pueden distinguir suelos altamente orgánicos en el sustrato superior (más del 50%).

Medrano (2012), en estudio realizado en especies predominante de flora en el lago Chichaycocha, indica que el almacenamiento de carbono en suelos se determinó 774.76 tC/ha en pajonales y 684.58 tC/ha en bofedales, que es ampliamente superior al encontrado en el presente estudio teniendo solo un promedio de 169.82 tC/ha en la RNT.

## 5.4 CAPTURA DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO<sub>2</sub>) DE LOS TOTORALES

La captura de dióxido de carbono “CO<sub>2</sub>” promedio de los totorales de la RNT mediante el método de Walkley y Black y método del Poder Calórico fue 49.68 tCO<sub>2</sub>/ha, y 43.07 tCO<sub>2</sub>/ha respectivamente; mientras que la captura de dióxido de carbono por zonas de la RNT, presenta a la zona de Aprovechamiento Directo con la mayor captura de dióxido de carbono “CO<sub>2</sub>”, seguido de la zona Silvestre, zona de recuperación, zona de Uso Especial; mientras la zona de Uso Turístico y Recreativo tiene la menor captura de dióxido de carbono “CO<sub>2</sub>” (Figura 24, Cuadro 07 y 08).

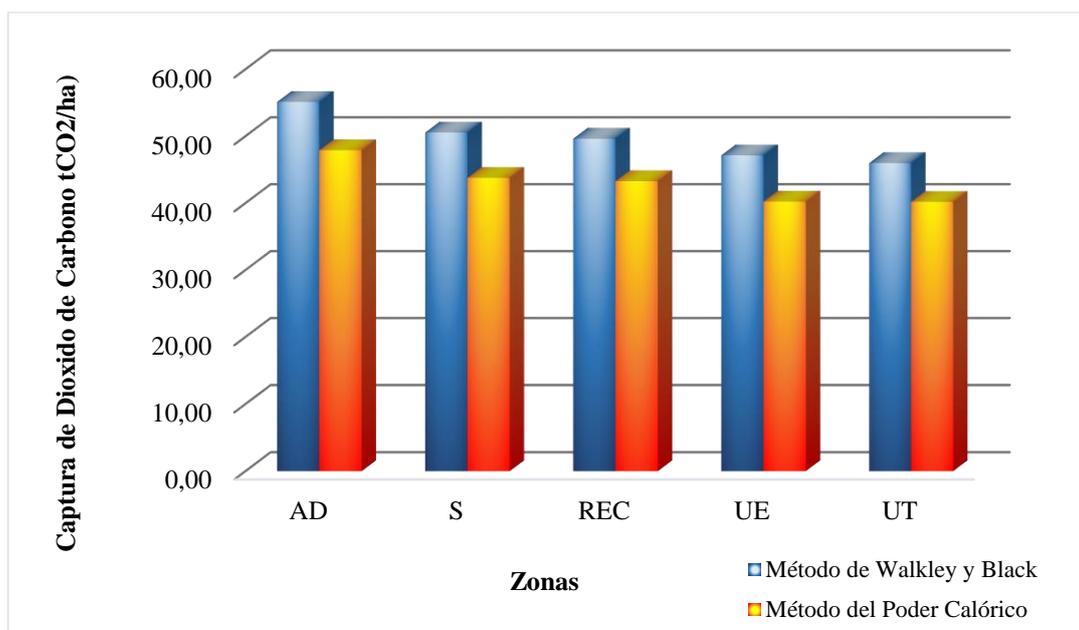


Figura 24. Captura de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) por zonas de la RNT.

Cuadro 07. Captura de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) por el método Walkley y Black.

Zona	N° Puntos	Componentes estructurales de la Totora	Captura de Carbono (tC/ha)	Factor	Captura de CO <sub>2</sub>	
					(tCO <sub>2</sub> /ha)	%
Aprovechamiento Directo (AD)	19	TF	7.83	44/12	28.71	52.09
		R-R	7.20	44/12	26.41	47.91
		Sub total	15.03		55.12	100
Recuperación (REC)	5	TF	6.20	44/12	22.73	45.79
		R-R	7.34	44/12	26.90	54.21
		Sub total	13.54		49.63	100
Silvestre (S)	9	TF	7.69	44/12	28.20	55.78
		R-R	6.10	44/12	22.35	44.22
		Sub total	13.78		50.54	100
Especial (UE)	3	TF	8.41	44/12	30.84	65.43
		R-R	4.44	44/12	16.29	34.57
		Sub total	12.85		47.13	100
Turístico y Recreativo (UT)	4	TF	7.32	44/12	26.83	58.34
		R-R	5.23	44/12	19.16	41.66
		Sub total	12.54		45.99	100
<b>Promedio</b>						
TF (Tallo floral)			7.49	44/12	27.46	55.49
R-R (Rizoma-Raíz)			6.06	44/12	22.22	44.51
<b>TOTAL</b>			<b>13.55</b>		<b>49.68</b>	<b>100</b>

Fuente. Elaboración propia.

Cuadro 08. Captura de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) por el método del Poder Calórico.

Zona	N° Puntos	Componentes estructurales de la Totora	Contenido de carbono (tC/ha)	Factor	Captura de CO <sub>2</sub>	
					(tCO <sub>2</sub> /ha)	%
Aprovechamiento Directo (AD)	19	TF	6.41	44/12	23.51	49.07
		R-R	6.65	44/12	24.40	50.93
		Sub total	13.06		47.90	100
Recuperación (REC)	5	TF	5.08	44/12	18.61	42.99
		R-R	6.73	44/12	24.67	57.01
		Sub total	11.80		43.28	100
Silvestre (S)	9	TF	6.30	44/12	23.09	52.74
		R-R	5.64	44/12	20.69	47.26
		Sub total	11.94		43.78	100
Especial (UE)	3	TF	6.89	44/12	25.25	62.78
		R-R	4.08	44/12	14.97	37.22
		Sub total	10.97		40.23	100
Turístico y Recreativo (UT)	4	TF	6.10	44/12	22.35	55.62
		R-R	4.86	44/12	17.84	44.38
		Sub total	10.96		40.19	100
<b>Promedio</b>						
TF (Tallo floral)			6.15	44/12	22.56	52.64
R-R (Rizoma-Raíz)			5.59	44/12	20.51	47.36
<b>TOTAL</b>			<b>11.75</b>		<b>43.07</b>	<b>100</b>

Fuente. Elaboración propia.

En el cuadro 09 se compara la captura de dióxido de carbono “CO<sub>2</sub>/ha” por especie y por ecosistema artificial (rodajes de Eucalipto) y ecosistema natural (totales de Lima, y Puno, aguajales densos y mixtos). Como era de esperar los rodajes de mayor edad (eucalipto de 35 años, cultivados a un distanciamiento de 3 m x 3 m) capturan más CO<sub>2</sub>/ha, que los ecosistemas naturales (aguajal denso y mixto seguido de los totales de Lima y de Puno). Si la comparación se hace a nivel de especie, se observa que la especie que captura más CO<sub>2</sub>/ha es el "*Eucalyptus globulus*", le sigue en orden de importancia "*Schoenoplectus californicus*" y el último lugar lo ocupa la "*Schoenoplectus tatora*".

Cuadro 09. Comparativo de la captura de dióxido de carbono por especie y ecosistema.

Región	Especies y ecosistemas	Observación	Captura dióxido de carbono		Método Utilizado	Autor
			(tCO <sub>2</sub> /ha)	(tCO <sub>2</sub> /ha/año)		
Puno	Totora " <i>Schoenoplectus tatora</i> "	Sin edad	43.07*	22.56**	Poder Calórico	
			49.68*	27.46**	Walkley y Black	
Ancash	Eucalipto " <i>Eucalyptus globulus</i> "	Rodal de 35 años	1340.02	38.29	Poder Calórico	Simbaña, 2011
		Rodal de 05 años	81.95	16.39		
Lima	Totora " <i>Schoenoplectus californicus</i> "	Sin edad	105.97*	-	Walkley y Black	Palomino, 2007
Loreto	Aguajales Aguaje " <i>Mauritia flexuosa</i> ", Aguajillo " <i>Mauritiella aculeata</i> "	Aguajal denso, sin edad	423.13	1.28	Poder Calórico	IIAP, 2006
		Aguajal mixto, sin edad	295.17			

\* Considera parte aérea y rizoma-raíz.

\*\* Considera solo parte aérea, porque se regenera anualmente.

Fuente. Elaboración propia.

Si hacemos el análisis temporal de la captura de CO<sub>2</sub>/ha/año (Cuadro 09) según el método de poder calórico, considerando especies de edades similares, esto es, que la edad de la "*Schoenoplectus tatora*" es similar a la del "*Eucalyptus globulus*" de 5 años, y observamos que la "*Schoenoplectus tatora*" captura más CO<sub>2</sub>/ha/año. Esta afirmación puede ser realizada, ya que en la zona de aprovechamiento directo (AD) de la RNT, los pobladores realizan hasta tres cosechas anuales del tallo floral (TF) de la totora; esta investigación sólo ha considerado la biomasa de una sola cosecha al año.

Así mismo, si comparamos la captura de CO<sub>2</sub>/ha/año de los aguajales densos y mixtos, con la de los totorales de Puno; encontramos que el total captura 21.28 tCO<sub>2</sub>/ha/año más que un aguajal denso y mixto, resultados que podrían ser explicados en términos de los ritmos

de crecimiento vegetativo de las especies, ya que las palmeras no alcanzan grandes diámetros y aparentemente tienen un lento crecimiento. Por lo tanto se puede afirmar que la captura de CO<sub>2</sub>/ha/año depende del ritmo de crecimiento de las especies, de la densidad del rodal/ha y de la capacidad de regeneración de las especies luego de hacer el aprovechamiento racional o irracional.

Para estimar la cantidad total de CO<sub>2</sub> capturado en todo el total de la RNT, se trabajó con imágenes LANDSAT del mes de marzo del año 2015, donde se estimó 11 563.30 ha de totorales; presentándose el mayor área de total en la zona de Aprovechamiento directo; mientras la zona de Uso especial presentó el menor área de totorales, tal como se observa en el cuadro 10 y lamina 02..

Cuadro 10. Extensión de los totorales del sector Puno de la RNT.

N°	Zona	Símbolo	Extensión			
			Totorales		Total	
			ha	%	ha	%
1	Aprovechamiento directo	AD	7 170.17	62.01	15 209.10	52.45
2	Recuperación	REC	754.40	6.52	1 104.63	3.81
3	Silvestre	S	3 092.61	26.75	6 115.31	21.09
4	Uso especial	UE	0.93	0.01	3 904.76	13.46
5	Uso turístico y recreativo	UT	545.19	4.71	2 665.62	9.19
<b>Total</b>			<b>11 563.3</b>	<b>100</b>	<b>28 999.42</b>	<b>100</b>

Fuente. Elaboración propia.

Así se pudo estimar que la captura de CO<sub>2</sub> total en los totorales de la RNT, de acuerdo al método de Walkely y Black y método del Poder Calórico fue 574 497 tCO<sub>2</sub> y 498 087 tCO<sub>2</sub>, respectivamente. Cuando se analiza la captura de CO<sub>2</sub> por zonas de la RNT, se observa que la zona de Aprovechamiento Directo tiene la mayor captura de dióxido de carbono, por

presentar la mayor extensión de totorales; mientras que la zona de Uso Especial tiene la menor captura de dióxido de carbono (Cuadro 11).

Cuadro 11. Captura total de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en totorales del sector Puno de la RNT.

	Método	Componentes estructurales de la Totora	Captura promedio de CO <sub>2</sub> (t/ha)	Extensión de Totorales por Zonas (ha)					Captura total (tCO <sub>2</sub> )
				AD	REC	S	UE	UT	
				7170.17	754.4	3092.61	0.93	545.19	
Captura total de Dióxido de Carbono (t/CO <sub>2</sub> )	Wakley y Black	Tallo floral	27.46	196 893	20 716	84 923	26	14 971	317528
		Rizoma-raíz	22.22	159 342	16 765	68 727	21	12 116	256969
		<b>TOTAL</b>	49.68	356 234	37 481	153 649	46	27 087	<b>574 497</b>
	Poder Calórico	Tallo floral	22.56	161 768	17 020	69 773	21	12 300	260883
		Rizoma-raíz	20.51	147 086	15 475	63 441	19	11 184	237205
		<b>TOTAL</b>	43.07	308 854	32 496	133 214	40	23 484	<b>498 087</b>

Fuente. Elaboración propia.

Como ya se indicó antes, el totoral es una especie tolerante al fuego; sin embargo, FAO (2007) y Manta (2011), afirman que hacer un mal uso del fuego altera la frecuencia y la intensidad del calor del fuego. En la RNT el mal uso del fuego en las prácticas de manejo de los totorales se ha extendido por el aumento demográfico que ha experimentado el lago Titicaca en los últimos años. Esta situación puede conducir a la ocurrencia de grandes incendios forestales. En este sentido un gran incendio forestal podría causar una emisión potencial de “CO<sub>2</sub>” equivalente a 574 497 tCO<sub>2</sub> ó 498 087 tCO<sub>2</sub> según el método de cálculo de Walkley y Black y del Poder Calórico respectivamente.

## VI. CONCLUSIONES

- La producción primaria bruta verde y seca promedio de los totorales de la RNT fue 127.83 t/ha, y 29.95 t/ha, respectivamente.
- La fracción de conversión de carbono estimado para los componentes de la “Totora” mediante el método de Walkley y Black y método del Poder Calórico indican que la mayor fracción de conversión de carbono se encuentra en el tallo floral, seguido del rizoma-raíz.
- El contenido de carbono “C” promedio de los totorales de la RNT mediante el método de Walkley y Black y método del Poder Calórico fue 13.55 tC/ha y 11.75 tC/ha, respectivamente. Mientras que el componente de la totora que contiene más carbono es el tallo floral, seguido de rizoma-raíz.
- El contenido de carbono “C” promedio en el suelo de la RNT es de 169.82 tC/ha.
- La captura de dióxido de carbono “CO<sub>2</sub>” promedio de los totorales de la RNT mediante el método de Walkley y Black y método del Poder Calórico fue 49.68 tCO<sub>2</sub>/ha, y 43.07 tCO<sub>2</sub>/ha, respectivamente. Mientras que la captura de dióxido de carbono “CO<sub>2</sub>” total en los totorales de la RNT, mediante el método de Walkley y Black y método del Poder Calórico fue 574 497 tCO<sub>2</sub> y 498 087 tCO<sub>2</sub>, respectivamente.

## VII. RECOMENDACIONES

- Los totorales de la Reserva Nacional del Titicaca (RNT) constituyen un recurso de gran importancia económica, cultural, científica, recreativa y turística que debe ser conservado por los beneficios que posee, así como los servicios ambientales que brinda.
- Evaluar el potencial de purificación del agua que presenta los totorales de la RNT.
- Realizar estudios y proyectos nacionales e internacionales de pago por servicios ambientales, que se obtienen por la captura de dióxido de carbono y purificación del agua por parte de los totorales de la RNT, con la finalidad de obtener beneficios económicos que promuevan el desarrollo de las poblaciones aledañas a la RNT.
- Realizar un plan de manejo sostenido de los totorales de la RNT, que promuevan la conservación y aprovechamiento de los recursos naturales.
- Elaborar proyectos que promuevan la articulación del plan maestro y los planes operativos anuales, para la elaboración de diversas artesanías y mejorar el sistema de comercialización, que permitan incrementar los ingresos económicos de los pobladores, el cual permite generar un verdadero proceso de desarrollo sostenible con enfoque de equidad y participación comunitaria, representando una alternativa de aprovechamiento y manejo sostenible de los recursos naturales.

## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alegre, J.; Arévalo, L.; Ricse, A. 2001. Reservas de carbono y emisión de gases con diferentes sistemas de uso de la tierra en dos sitios de la Amazonía Peruana. Taller Internacional de Sistemas Agroforestales CORPOICA. Santa Fe de Bogotá. Colombia. 15 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.
- Brown, S.; Lugo, A. 1984. Biomass of tropical forest: a new estimate based on forest volumes. *Science* 223: 1290-1293 p.
- Borrelli, P.; Olivia, G. 2001. Evaluación de pastizales. Capítulo 6. 161-182 pp. En: *Ganadería sustentable en la Patagonia Austral*. Ed. INTA Reg. Pat. Sur. Argentina. Consultado el 20 de octubre de 2014 Disponible en: <http://www.inta.gov.ar/santacruz/info/documentos/reclnat/Libro%20TME/TME%206.pdf>
- 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.

Chambi, P. 2001. Valoración económica de captura de carbono mediante simulación aplicada a la zona boscosa del río Inambari y Madre de Dios”. IICFOE (Instituto de Investigación y Capacitación para el Fomento de Oportunidades Económicas con Base en la Conservación de los Recursos Naturales). Tacna. Perú. 20 p.

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.

CIRNMA (Centro Internacional de Recursos Naturales y Medio Ambiente) / CEDAFOR (Centro de Desarrollo Agrario y Forestal). 2001. Diagnóstico e Inventario de los Recursos Naturales de Flora y Fauna. Proyecto Conservación de la Biodiversidad, ALT – PNUD. Puno. Perú. 137 p.

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.

CMNUCC (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático). 1992. (en línea). Consultado el 26 de Noviembre 2014. Disponible en: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>.

- 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 Hojancha y Nicoya. Guanacaste. Costa Rica. 86 p.
- Eduarte, E. y Segura, M. 1998. Determinación de Carbón Utilizando la Calorimetría (Nota técnica). En Ciencias Ambientales. 15:54 – 55 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación). 2007. Fire Management Global Assessment 2006. FAO, Forestry Paper N° 151. A Thematic study prepared in the framework of the Global Forest Resource Assessment 2005. Rome. Italy. 121 p. (en línea). Consultado el 23 de Agosto 2014. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/009/a0969e/a0969e00.HTM>.
- FAO. 2001. Situación de los bosques del mundo. Roma. Italia. 167 p.
- FAO. 1995. Cambio climático, Bosques y ordenación forestal una visión de conjunto. Roma. Italia.
- Fernández, C. 2008. Ecosistema en peligro: El cambio climático ya afecta a la RNT. El comercio. Puno, PE. Marzo 28. (En línea). Consultado el 25 de Octubre 2015. Disponible en: <http://cambio-climatiko.blogspot.com.ar/2008/05/el-cambio-climtico-ya-afecta-la-reserva.html>.
- Gamarra, J. 2001. Estimación del contenido de carbono en plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill, en Junín. Huancayo. Perú. 20 p.

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

Goyzueta, G. 2005. Majestuoso lago Titicaca fuente de vida. Empresa de Generación Eléctrica San Gabán. Puno. Perú. 36 p.

Gomez, M. y Zapata, O. 1990. Determinación de la biomasa en árboles muestreados. En: Práctica de Silvicultura. Campamento de ingeniería forestal Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín. Medellín. Colombia. 389-484 p.

Guzmán, W. 2004. Valoración económica de los beneficios ambientales en el manejo sostenible de humedales: Estudio del caso del manejo sostenible de sistemas de “Aguajal” en la comunidad de Parinari, Reserva Nacional de Pacaya Samiria. INRENA. Lima. Perú. 269 p.

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.

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.

ICRAF (Centro Internacional de Agroforestería) / 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.

IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura) / CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 2004. Redacción de referencias bibliográficas. Normas técnicas. (en línea). Consultado el 05 de Setiembre 2014. Disponible en: <http://www.edeca.una.ac.cr/files/NormasIICA.pdf>.

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)]. Ginebra. Suiza. 104 pp.

IPCC. 2001. Tercer informe de evaluación. Cambio climático 2001. Resúmenes de trabajo. (en línea). Consultado el 10 de Noviembre 2015. Disponible en: <https://www.ipcc.ch/pdf/climate-changes-2001/synthesis-syr/spanish/wg2-summaries.pdf>.

Kalra, P. y Maynard, G. 1991. Methods Manual for Forest soil and plant analysis. (en línea). Consultado el 10 de Octubre 2014. Disponible en: [http://web.unbc.ca/~arocenaj/lab/kalra\\_maynard.pdf](http://web.unbc.ca/~arocenaj/lab/kalra_maynard.pdf).

Kyrklund, B. 1990. Como pueden contribuir los bosques y las industrias forestales a reducir el exceso de anhídrido carbónico en la atmósfera. *Unasylva* 43(163):12-14p.

- 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.
- Lopera, G. y Gutierrez, V. 2000. Viabilidad técnica y económica de la utilización de plantaciones de *Pinus patula* como sumideros de CO<sub>2</sub>. 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.
- Manta, M. 2011. Global Change and wildfire in Peru. In 5Th International Conference on wildfire. 12 p. 7 to 13 of May, 2011. Sun City. South Africa.
- Medrano, R.; Chupan, L.; y Vila, M. (2012). Almacenamiento de carbono en especies predominantes de flora en el lago Chinchaycocha. Apunte Científico. Puno. Junín. 8 p.
- MINAG (Ministerio de Agricultura) / INRENA (Instituto Nacional de Recursos Naturales) / RNT (Reserva Nacional del Titicaca). 2002. Plan Maestro de la RNT 2003 - 2007. Puno. Perú. 97 p.
- Moya, B.; Hernández, A.; y Borrell, H. 2005. Humedales ante el cambio climático. Investigaciones Geográficas, N° 37. Instituto Universitario de Geografía. Universidad de Alicante. (en línea). Consultado el 10 de Noviembre 2015. Disponible en:

<http://descargas.cervantesvirtual.com/servlet/SirveObras/02415953000572506300080/019049.pdf?incr=1>.

OMM (Organización Mundial Meteorológica).1966. Vocabulario Meteorológico Internacional, OMM, núm. 182, Ginebra.

Ortiz, R. 1997. Costa Rican Secondary forest: an economic option for joint implementation initiatives to reduce atmospheric CO<sub>2</sub>. Draft paper presented for inclusion in the Beijer Seminar in Punta Leona. Costa Rica. 19 p.

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.

Paladines, O. 1992. Metodología para trabajar en fincas y proyectos de desarrollo agropecuario. Proyecto “Fomento Ganadero”. Quito. Ecuador.

Palomino, D. 2007. Estimación del servicio ambiental de captura del CO<sub>2</sub> en la flora de los Humedales de Puerto Viejo. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Tesis de Post Grado. Lima. Perú. 90 p.

PELT (Proyecto especial Lago Titicaca) / ADESU (Asociación para el Desarrollo Sustentable). 2001. Técnicas de Reimplante de Totora. Proyecto 21.03. Puno. Perú. 51p.

PELT. 2000. Evaluación de la Totora en el Perú. Proyecto Especial Binacional Lago Titicaca Subcontrato 21.02. Proyecto Conservación de la Biodiversidad en la Cuenca del (TDPS). Puno. Perú. 169 p.

PROCHILE. 2012. Dirección de Promoción de Exportaciones. Servicios. Calidad y medio ambiente. (en línea). Consultado el 10 de Enero 2015. Disponible en: [http://www.prochile.cl/servicios/medioambiente/bonos\\_de\\_carbono.php](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.

RAMSAR (Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional). 2000. Notas informativas sobre los valores y las funciones de los humedales. Mitigación del cambio climático. Hoja informativa N°5200. (en línea). Consultado el 10 de Diciembre 2014. Disponible en: [www.ramsar.org/values\\_climate\\_s.htm](http://www.ramsar.org/values_climate_s.htm).

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.

Rugnitz, M.; Chacón M.; y Porro R. 2009. Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales. Centro Forestal Mundial (ICRAF) / Consorcio en Iniciativa Amazónica (IA). Lima. Perú. 92 p.

- Sancho, F. 1999. Estimación del costo marginal de los servicios de fijación de carbono en Costa Rica. (en línea). Consultado el 15 de Noviembre 2015. Disponible en: <https://www.incae.edu/ES/clacds/publicaciones/pdf/cen704.pdf>.
- Satoo, T.; madgwick, H. 1982. Forest biomass. La Haya: Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers. 152 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.
- Sedjo, R. 1990 The global carbon cycle: are the forest the missing sink?. *Journal of Forestry* 88 (10): 33-34 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.
- SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología). 2015. Dirección Regional de Puno. Red de estaciones hidrometeorológicas en la Región Puno. Estación los Urus (en línea). Consultado el 10 de Noviembre 2015. Disponible en: <http://puno.senamhi.gob.pe/web/index.php>.

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.

Stolk, M.; Verweij, P.; Stuij, M.; Baker, C.; y Oosterberg, W. 2006. Valoración Socioeconómica de los Humedales en América Latina y el Caribe. Wetlands International. Los Países Bajos. 32 p.

Tans, P.; Fung, y.; Takahashi, T. 1990. Observational constraints on the global atmospheric CO<sub>2</sub> budget. Science 247:1431-1447 p.

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

## **IX. ANEXOS**

Anexo 01. Temperaturas máximas (°C), del periodo 2008 – 2014, RNT-Puno-Peru.

Meses	Años							Media
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
Enero	16.10	16.23	*	17.40	15.52	15.06	15.68	16.00
Febrero	16.02	15.68	*	15.65	14.41	14.66	15.98	15.40
Marzo	15.37	15.81	*	15.72	14.32	15.65	16.34	15.54
Abril	15.13	15.78	*	16.02	14.47	15.18	15.9	15.41
Mayo	13.95	12.69	*	15.14	14.2	14.72	15.52	14.37
Junio	14.17	12.52	*	15.30	14.39	13.77	16.65	14.47
Julio	13.11	14.81	*	14.50	14.49	13.58	15.37	14.31
Agosto	12.90	15.34	*	16.17	14.46	13.18	15.26	14.55
Setiembre	14.60	*	*	15.57	14.97	14.96	16.09	15.24
Octubre	16.15	*	*	17.10	16.17	16.41	16.48	16.46
Noviembre	16.87	*	18.37	17.70	16.64	16.93	17.29	17.30
Diciembre	16.87	*	17.22	15.82	16.1	15.91	17.34	16.54

\*Datos no registrados.

Fuente. Elaboración propia a partir de datos diarios del SENAMHI.

Anexo 02. Temperaturas mínimas (°C), del periodo 2008 – 2014, RNT-Puno.

Meses	Años							Media
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
Enero	5.9	5.19	*	4.87	5.43	6.77	6.55	5.79
Febrero	6.38	5.2	*	5.7	5.85	7.36	7.02	6.25
Marzo	6.48	5.69	*	6.25	6.48	7	6.86	6.46
Abril	4.82	4.8	*	5.57	6.96	5.68	6.01	5.64
Mayo	1.27	1.39	*	2.74	3.77	5.19	3.26	2.94
Junio	0.47	-0.1	*	-0.54	1.51	1.99	1.81	0.86
Julio	0.16	1.13	*	-1.59	0.85	2.2	-0.03	0.45
Agosto	0.06	-0.08	*	-1.03	1.92	1.81	1.7	0.73
Setiembre	1.17	*	*	1.23	4.05	3.2	4.4	2.81
Octubre	2.55	*	*	2	5.89	5.67	5.28	4.28
Noviembre	3.92	*	1	2.8	6.15	5.67	5.2	4.12
Diciembre	4.29	*	4.32	4.14	6.49	6.69	5.62	5.26

\*Datos no registrados.

Fuente. Elaboración propia a partir de datos diarios del SENAMHI.

Anexo 03. Temperaturas medias (°C), del periodo 2008 – 2014, RNT-Puno.

Meses	Años							Media
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
Enero	11	10.71	*	11.14	10.48	10.92	11.12	10.89
Febrero	11.2	10.44	*	10.68	10.13	11.01	11.50	10.83
Marzo	10.93	10.75	*	10.98	10.40	11.33	11.60	11.00
Abril	9.98	10.29	*	10.79	10.72	10.43	10.96	10.53
Mayo	7.61	7.04	*	8.94	8.99	9.96	9.39	8.65
Junio	7.32	6.21	*	7.38	7.95	7.88	9.23	7.66
Julio	6.64	7.97	*	6.45	7.67	7.89	7.67	7.38
Agosto	6.48	7.63	*	7.57	8.19	7.50	8.48	7.64
Setiembre	7.88	*	*	8.4	9.51	9.08	10.25	9.02
Octubre	9.35	*	*	9.55	11.03	11.04	10.88	10.37
Noviembre	10.39	*	9.69	10.25	11.40	11.30	11.25	10.71
Diciembre	10.58	*	10.77	9.98	11.30	11.30	11.48	10.90

\*Datos no registrados.

Fuente. Elaboración propia a partir de datos diarios del SENAMHI.

Anexo 04. Precipitación pluvial (mm), del periodo 2008 – 2014, RNT-Puno.

Meses	Años							Media
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
Enero	224	120.6	*	87.4	118.1	203.2	169.7	153.83
Febrero	80.8	137.6	*	230.8	268.9	199	109.1	171.03
Marzo	92.9	120.1	*	117	260.8	78.4	57.2	121.07
Abril	11.1	69.1	*	35.9	69.1	12.1	40.2	39.58
Mayo	5.5	0	*	19.1	0.9	20.4	0.3	7.70
Junio	2	0	*	0	0.4	11.3	0	2.28
Julio	0	4.9	*	6.6	0	2.5	0.6	2.43
Agosto	1.5	0	*	0.2	5.4	11.5	30.5	8.18
Setiembre	1.2	*	*	39.2	8	9.8	91.5	29.94
Octubre	73	*	*	9	16.3	46.5	30.8	35.12
Noviembre	55	*	18.1	49.3	71.6	70.3	14.8	46.52
Diciembre	116.4	*	150.5	187.5	166.36	150.6	114.3	147.61
<b>Total</b>	<b>663.4</b>	<b>452.3</b>	<b>168.6</b>	<b>782</b>	<b>985.86</b>	<b>815.6</b>	<b>659</b>	646.68

\*Datos no registrados.

Fuente. Elaboración propia a partir de datos diarios del SENAMHI.

Anexo 05. Producción de materia verde de los totorales de la RNT-Puno.

Zonas	N° Puntos	Coordenada UTM		Producción de materia Verde (t/ha)			Densidad (N°/m <sup>2</sup> )	Altura (m)	
		Este	Norte	TF	R-R	Total			
Aprovechamiento Directo (AD)	1	394245	8251416	58.34	58.23	116.57	326	140.97	
	2	394801	8252231	47.99	54.23	102.22	345	142.67	
	3	395163	8253284	78.98	126.63	205.61	589	122.23	
	4	394192	8253569	48.35	99.35	147.7	266	190.93	
	5	393641	8255094	43.21	58.67	101.88	318	140.27	
	6	392625	8255904	54.64	58.43	113.07	414	146.9	
	11	393212	8260886	91.07	102.5	193.57	356	143.43	
	12	394280	8259554	58.72	60.12	118.84	480	127.07	
	14	396722	8255107	99	68.34	167.34	304	190.07	
	18	397712	8248937	55.09	58.9	113.99	424	138.27	
	20	399415	8251533	72.32	62.44	134.76	366	137.05	
	25	401295	8262196	72.01	88.68	160.69	498	132.17	
	29	402710	8263486	50.42	60.08	110.5	303	129.85	
	34	408175	8262590	71.67	100.06	171.73	389	189.17	
	35	409232	8261988	51.65	59.87	111.52	377	135.67	
	36	407703	8266816	68.43	64.56	132.99	678	144.17	
	37	406212	8268474	62.5	88.5	151	356	148.93	
	38	405445	8270224	48.82	99.78	148.6	305	120.27	
	39	404811	8271415	88.68	106.42	195.1	265	169.77	
		Promedio			64.31	77.67	141.98	387.32	146.83
	Porcentaje			45.29	54.71	100			
Recuperación (REC)	7	393416	8255477	44.55	47.23	91.78	356	135.7	
	8	394440	8256030	46.06	55.77	101.83	198	121.8	
	9	393099	8258196	52.01	46.08	98.09	356	108.23	
	10	392961	8260014	33.11	42.42	75.53	490	123	
	40	404168	8271642	55.78	46.68	102.46	476	102.5	
		Promedio			46.302	47.64	93.94	375.20	118.25
		Porcentaje			49.29	50.71	100		
Silvestre (S)	13	395639	8258041	46.52	88.56	135.08	196	152.93	
	21	399460	8252727	101.15	86.54	187.69	208	196.23	
	22	398946	8256843	37.65	58.09	95.74	169	151.63	
	23	399278	8258581	63.91	74.67	138.58	580	110.33	
	24	400515	8260867	41	84.6	125.6	387	113	
	30	403166	8262055	71.92	69.28	141.2	300	143.83	
	31	404166	8262940	91.1	77.45	168.55	350	186	
	32	404483	8264709	39.28	56.98	96.26	206	135.73	
	33	405120	8263683	48.17	44.78	92.95	325	137.23	
		Promedio			60.08	71.22	131.29	302.33	147.43
		Porcentaje			45.76	54.24	100		

<b>Especial (UE)</b>	26	399910	8263298	65.27	67.54	132.81	367	132.43
	27	399961	8263883	57.32	53.88	111.2	256	168.44
	28	400408	8263905	59.64	56.4	116.04	183	126.6
	Promedio			60.74	59.27	120.02	268.67	142.49
	Porcentaje			50.61	49.39	100		
<b>Turístico y Recreativo (UT)</b>	15	396079	8253294	49.8	65.8	115.6	196	125.87
	16	396159	8251873	47.24	60.5	107.74	206	135.65
	17	395911	8250462	67.35	61.34	128.69	403	160.55
	19	398781	8250116	50.9	84.53	135.43	365	155.32
	Promedio			53.82	68.04	121.87	292.5	144.348
	Porcentaje			44.17	55.83	100		
<b>Promedio General</b>				<b>57.05</b>	<b>64.77</b>	<b>121.82</b>	<b>325.20</b>	<b>139.87</b>
<b>Porcentaje General</b>				<b>46.83</b>	<b>53.17</b>	<b>100</b>		

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 06. Análisis estadístico de biomasa verde, densidad y altura.

<b>Estadísticas</b>	<b>Componentes estructurales</b>			<b>Densidad</b>	<b>Altura</b>
	<b>TFA</b>	<b>R-R</b>	<b>Total</b>		
Media	59.79	70.12	129.91	348.30	142.82
Error típico	2.68	3.14	5.02	18.53	3.71
Mediana	55.44	61.89	122.22	353.00	137.75
Desviación estándar	16.94	19.87	31.77	117.20	23.49
Varianza de la muestra	286.88	394.66	1009.46	13736.47	551.89
Curtosis	0.21	0.24	-0.11	0.61	0.16
Coficiente de asimetría	0.90	0.91	0.75	0.71	0.77
Rango	68.04	84.21	130.08	509.00	93.73
Mínimo	33.11	42.42	75.53	169.00	102.50
Máximo	101.15	126.63	205.61	678.00	196.23
Suma	2391.62	2804.91	5196.53	13932.00	5712.86
Cuenta	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00
Nivel de confianza (95.0%)	5.42	6.35	10.16	37.48	7.51
Coficiente de Variabilidad	28.33	28.33	24.46	33.65	16.45

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 07. Análisis estadístico de materia seca.

Estadísticas	Componentes estructurales		
	TFA	TFS	Total
Media	15.67	14.82	30.49
Error típico	0.67	0.72	1.16
Mediana	14.59	13.27	28.09
Desviación estándar	4.26	4.55	7.34
Varianza de la muestra	18.16	20.66	53.92
Curtosis	0.21	0.56	-0.04
Coficiente de asimetría	0.84	1.09	0.84
Rango	17.56	18.85	29.21
Mínimo	9.14	9.16	18.63
Máximo	26.70	28.01	47.84
Suma	626.95	592.74	1219.69
Cuenta	40.00	40.00	40.00
Nivel de confianza (95.0%)	1.36	1.45	2.35
Coficiente de Variabilidad	27.19	30.67	24.08

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 08. Fracción de conversión de carbono por el método de Walkley y Black.

Clave	Contenido de Carbono por componentes estructurales de la Totora (%)	
	Tallo floral	Rizoma-raíz
1	46.71	41.92
2	48.55	42.23
3	49.76	41.83
4	49.75	43.12
5	47.65	41.6
<b>X</b>	<b>48.48</b>	<b>42.14</b>
<b>Fracción</b>	<b>0.48</b>	<b>0.42</b>

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 09. Fracción de conversión de carbono por el método de Poder Calórico.

Descripción	Componentes estructurales de la Titora	
	TF	R-R
Peso muestra seca	440.32	548.68
Kcal/kg	3792.773	3699.832
J	4.1868	4.1868
J/1000g	15879.58	15490.46
Energía requerida por una planta J	480000	480000
Moles de Carbono	0.03308	0.03227
Peso molecular del Carbono	12	12
Fracción de Carbono a un contenido de humedad	0.40	0.39
<b>Fracción de Carbono</b>	<b>0.40</b>	<b>0.39</b>

Anexo 10. Determinación de análisis de sub muestra de suelo de la RNT

Zonas	Símbolo	peso Húmedo	% de H	peso seco	% de materia seca
Aprovechamiento directo	AD	117.08	68.92	36.39	31.08
Recuperación	REC	118.27	65.06	41.32	34.94
Silvestre	S	82.55	55.00	37.15	45
Uso especial	UE	119.98	69.27	36.87	30.73
Uso turístico y recreativo	UT	91.87	58.22	38.38	41.78

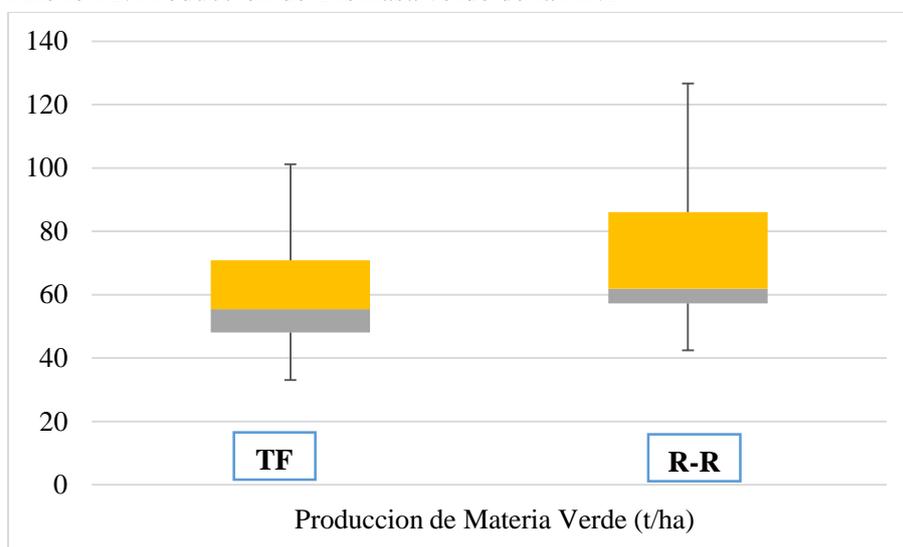
Fuente: Elaboración propia.

Anexo 11. Determinación de muestra de suelo de la RNT

Zonas	Símbolo	peso Húmedo	peso seco	Volumen en cm <sup>3</sup>	Densidad aparente en g/cm <sup>3</sup>
Aprovechamiento directo	AD	1100	341.88	405.35	0.84
Recuperación	REC	900.2	314.53	405.35	0.78
Silvestre	S	800.6	360.27	405.35	0.89
Uso especial	UE	960	295.01	405.35	0.73
Uso turístico y recreativo	UT	1000	417.80	405.35	1.03

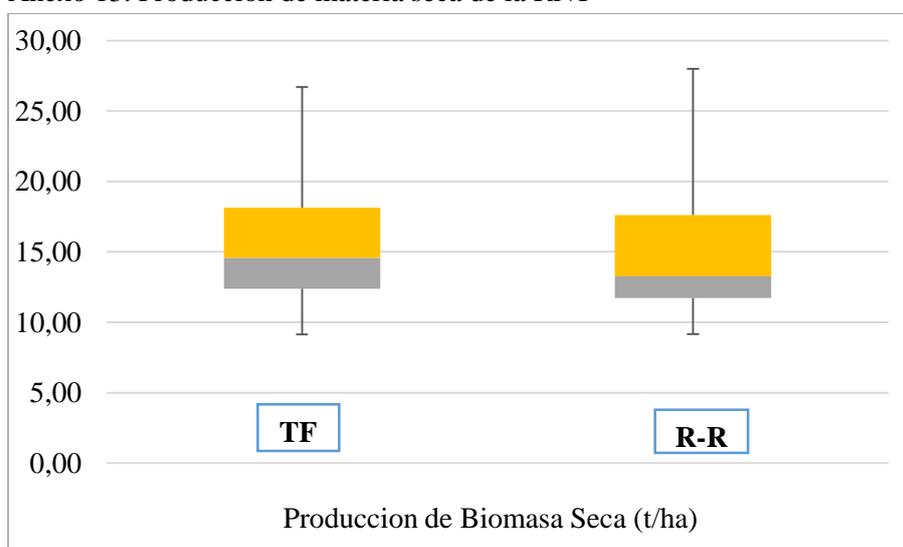
Fuente: Elaboración propia.

Anexo 12. Producción de Biomasa verde de la RNT



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 13. Producción de materia seca de la RNT



Fuente: Elaboración propia.

## Anexo 14. Análisis de porcentaje de humedad y materia seca de la totora



MINISTERIO DE AGRICULTURA  
INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACIÓN AGRARIA-INIA  
LABORATORIO DE ANÁLISIS  
ESTACION EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO  
ANEXO SALCEDO



### CERTIFICADO DE ANALISIS N° 0260K2-2015

SOLICITANTE : Mario Flores Aroni.  
DIRECCIÓN :  
PROCEDENCIA : Puno  
SECTOR : Varios.  
PRODUCTO : Totora.  
TIPO DE ANALISIS : Humedad y Materia Seca  
N° DE ANALISIS : 10.  
FECHA DE RECEPCIÓN : 18 de Febrero del 2015.  
FECHA DE CERTIFICACIÓN : 20 de Febrero del 2015.

Clave Laboratorio	Clave Usuario	Humedad %	Materia Seca %
260K2	TF3	73,59	26,40
260K3	TF2	72,38	27,61
260K4	TF4	71,43	28,56
260K5	TF1	74,88	25,11
260L1	TF5	71,46	28,53
260L2	RR3	79,53	20,46
260L3	RR5	81,53	18,46
260L4	RR2	77,62	22,37
260L5	RR4	82,20	17,79
260LL1	RR1	77,87	22,12

#### Referencias:

Manual de Metodos Análiticos Nutrición Animal Jhon V. Bateman Noviembre 1970 D.F. México 468p.  
Methods of analysis for soils, plants and waters. University of California, División of Agricultural Sciences E.U.A. Sexta reimpression, Octubre 1988. 195p.

#### Conclusiones:

La muestra analizada de Totora CUMPLE con los requisitos de documentos referenciales.

#### Nota:

Cualquier corrección y/o enmendadura anula al presente documento. (El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo)



INIA  
ESTACION EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO  
Ing° JORGE CANIUSA ROJAS  
Jefe Laboratorio Análisis  
SALCEDO

Los resultados son aplicables a estas muestras.

www.inia.gob.pe

Rinconada de Salcedo s/n  
Puno, Puno, Perú  
T: (051) 363-812

## Anexo 15. Contenido de Carbono de la totora.



MINISTERIO DE AGRICULTURA  
 INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACION AGRARIA-INIA  
 LABORATORIO DE ANALISIS  
 ESTACION EXPERIMENTAL AGRARIA ILLPA - PUNO  
 ANEXO SALCEDO  
 Of. Principal, Av. La Molina 1981- La Molina Lima



### CERTIFICADO DE ANALISIS N° 0260LL2-2015

SOLICITANTE	: Mario Flores Aroni.
DIRECCIÓN	:
PROCEDENCIA	: Puno
SECTOR	: Varios.
PRODUCTO	: Totora.
TIPO DE ANALISIS	: Porcentaje de Carbono.
N° DE ANALISIS	: 10.
FECHA DE RECEPCIÓN	: 18 de Febrero del 2015.
FECHA DE CERTIFICACIÓN	: 24 de Febrero del 2015.

Clave Laboratorio	Clave Usuario	Carbono %
260LL2	TF3	49,76
260LL3	TF2	48,55
260LL4	TF4	49,75
260LL5	TF1	46,71
260M1	TF5	47,65
260M2	RR3	41,83
260M3	RR5	41,60
260M4	RR2	42,23
260M5	RR4	43,12
260N1	RR1	41,92

**Referencias:**

Manual de Metodos Analíticos Nutrición Animal Jhon V. Bateman Noviembre 1970 D.F. México 468p.  
 Methods of analysis for soils, plants and waters. University of California, Division of Agricultural Sciences E.U.A. Sexta reimpression, Octubre 1988. 195p.

**Conclusiones:**

La muestra analizada de Totora CUMPLE con los requisitos de documentos referenciales.

**Nota:**

Cualquier corrección y/o enmendadura anula al presente documento. (El informe solo afecta a la muestra sometida a ensayo)



INIA  
 ESTACION EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO  
 Ing° JORGE CANIOLA ROJAS  
 Jefe Laboratorio Análisis  
 SALCEDO

Los resultados son aplicables a estas muestras.

www.inia.gob.pe

Rinconada de Salcedo s/n  
 Puno. Puno. Perú  
 T: (051) 363-812

## Anexo 16. Análisis de Energía bruta de la Totora parte TF



MINISTERIO DE AGRICULTURA  
 INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACION AGRARIA-INIA  
 LABORATORIO DE ANALISIS  
 ESTACION EXPERIMENTAL AGRARIA ILLPA - PUNO  
 ANEXO SALCEDO  
 Of. Principal, Av. La Molina 1981- La Molina Lima



### CERTIFICADO DE ANALISIS N° 026003-2015

SOLICITANTE : Mario Flores Aroni.  
 DIRECCIÓN :  
 PROCEDENCIA : Puno  
 SECTOR : Varios.  
 PRODUCTO : Totora Tallo Floral.  
 TIPO DE ANALISIS : Energía Bruta.  
 N° DE ANALISIS : 01.  
 FECHA DE RECEPCIÓN : 18 de Febrero del 2015.  
 FECHA DE CERTIFICACIÓN : 26 de Febrero del 2015.

#### DETERMINACIONES ENERGÍA BRUTA:

Determinaciones	Totora
Energía Bruta Cal/g	3792.773

#### Referencias:

Manual de Métodos Analíticos Nutrición Animal Jhon V. Bateman Noviembre 1970 D.F. México 468p.  
 Determinación por Bomba Calorimétrica.

#### Conclusiones:

La muestra analizada de Totora CUMPLE con los requisitos de documento referencial.

#### Nota:

Ninguno.

#### Validez del Certificado:

El presente Certificado es válido, si permanece en el papel original. El documento en su papel original tendrá validez por el período de noventa (90) días calendario a partir de la fecha de emisión.



INIA  
 ESTACION EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO  
 Ing° JORGE CANIHUA ROJAS  
 Jefe Laboratorio Análisis  
 SALCEDO

Los resultados son aplicables a esta muestra.

www.inia.gob.pe

Rinconada de Salcedo s/n  
 Puno, Puno, Perú  
 T: (051) 363-812

## Anexo 17. Análisis de Energía bruta de la Totora parte R-R



MINISTERIO DE AGRICULTURA  
 INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACION AGRARIA-INIA  
 LABORATORIO DE ANALISIS  
 ESTACION EXPERIMENTAL AGRARIA ILLPA - PUNO  
 ANEXO SALCEDO  
 Of. Principal. Av. La Molina 1981- La Molina Lima



### CERTIFICADO DE ANALISIS N° 026004-2015

SOLICITANTE	: Mario Flores Aroni.
DIRECCIÓN	:
PROCEDENCIA	: Puno
SECTOR	: Varios.
PRODUCTO	: Totora Raíces.
TIPO DE ANALISIS	: Energía Bruta.
N° DE ANALISIS	: 01.
FECHA DE RECEPCIÓN	: 18 de Febrero del 2015.
FECHA DE CERTIFICACIÓN	: 26 de Febrero del 2015.

#### DETERMINACIONES FISICO QUIMICAS:

Determinaciones	Totora
Energía Bruta Cal/g	3699.832

#### Referencias:

Manual de Métodos Analíticos Nutrición Animal Jhon V. Bateman Noviembre 1970 D.F. México 468p.  
 Determinación por Bomba Calorimétrica.

#### Conclusiones:

La muestra analizada de Totora CUMPLE con los requisitos de documento referencial.

#### Nota:

Ninguno.

#### Validez del Certificado:

El presente Certificado es válido, si permanece en el papel original. El documento en su papel original tendrá validez por el periodo de noventa (90) días calendario a partir de la fecha de emisión.



INIA  
 ESTACION EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO  
 Ing° JORGE CANIHUA ROJAS  
 Jefe Laboratorio Análisis  
 SALCEDO

Los resultados son aplicables a esta muestra.

[www.inia.gob.pe](http://www.inia.gob.pe)

Rinconada de Salcedo s/n  
 Puno. Puno. Perú  
 T: (051) 363-812

## Anexo 18. Análisis de porcentaje de materia orgánica de muestra de suelo



MINISTERIO DE AGRICULTURA  
 INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACION AGRARIA-INIA  
 LABORATORIO DE ANALISIS  
 ESTACION EXPERIMENTAL AGRARIA ILLPA - PUNO  
 ANEXO SALCEDO  
 Of. Principal. Av. La Molina 1981- La Molina Lima



### CERTIFICADO DE ANALISIS N° 026005-2015

SOLICITANTE : Mario Flores Aroni.  
 DIRECCIÓN :  
 PROCEDENCIA : Puno  
 SECTOR : Varios.  
 PRODUCTO : Suelo (Lodo).  
 TIPO DE ANALISIS : Materia Orgánica.  
 N° DE ANALISIS : 05.  
 FECHA DE RECEPCIÓN : 18 de Febrero del 2015.  
 FECHA DE CERTIFICACIÓN : 26 de Febrero del 2015.

Clave Laboratorio	Clave Usuario	Materia Orgánica %
260N2	S1	17,47
260N3	S3	16,84
260N4	S5	16,92
260N5	S4	17,10
260O1	S2	17,52

#### Referencias:

Manual de Metodos Analíticos Nutrición Animal Jhon V. Bateman Noviembre 1970 D.F. México 468p.  
 Methods of analysis for soils, plants and waters. University of California, División of Agricultural Sciences E.U.A. Sexta reimpression, Octubre 1988. 195p.  
 Método Por Colorimetría Longitud De Onda 650nm, Equipo Thermo Spectronic Génesis 21.

#### Conclusiones:

La muestra analizada de Totorá CUMPLE con los requisitos de documentos referenciales.

#### Nota:

Cualquier corrección y/o enmendadura anula al presente documento. (El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo)



INIA  
 ESTACION EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO  
 Ing° JORGE CANIHUA ROJAS  
 Jefe Laboratorio Análisis  
 SALCEDO

Los resultados son aplicables a estas muestras.

www.inia.gob.pe

Rinconada de Salcedo s/n  
 Puno. Puno. Perú  
 T: (051) 363-812

## Anexo 19. Análisis de porcentaje de humedad de muestra de suelo



MINISTERIO DE AGRICULTURA  
 INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACION AGRARIA-INIA  
 LABORATORIO DE ANALISIS  
 ESTACION EXPERIMENTAL AGRARIA ILLPA - PUNO  
 ANEXO SALCEDO  
 Of. Principal. Av. La Molina 1981- La Molina Lima



### CERTIFICADO DE ANALISIS N° 0260N2-2015

SOLICITANTE : Mario Flores Aroni.  
 DIRECCIÓN :  
 PROCEDENCIA : Puno  
 SECTOR : Varios.  
 PRODUCTO : Suelo (lodo).  
 TIPO DE ANALISIS : Porcentaje de Humedad.  
 N° DE ANALISIS : 05.  
 FECHA DE RECEPCIÓN : 18 de Febrero del 2015.  
 FECHA DE CERTIFICACIÓN : 26 de Febrero del 2015.

Clave Laboratorio	Clave Usuario	Peso Inicial	Humedad %
260N2	S1	117,08	68,92
260N3	S3	82,55	55,00
260N4	S5	91,87	58,22
260N5	S4	119,98	69,27
260C1	S2	118,27	65,06

#### Referencias:

Manual de Metodos Análíticos Nutrición Animal Jhon V. Bateman Noviembre 1970 D.F. México 468p.  
 Methods of analysis for soils, plants and waters. University of California, División of Agricultural Sciences E.U.A. Sexta reimpression, Octubre 1988. 195p.

#### Conclusiones:

La muestra analizada de Totorá CUMPLE con los requisitos de documentos referenciales.

#### Nota:

Cualquier corrección y/o enmendadura anula al presente documento. (El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo)



INIA  
 ESTACION EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO  
 Ing° JORGE CANIJA ROJAS  
 Jefe Laboratorio Análisis  
 SALCEDO

Los resultados son aplicables a estas muestras.

www.inia.gob.pe

Rinconada de Salcedo s/n  
 Puno. Puno. Perú  
 T: (051) 363-812



Figura 25. Totorales de la RNT-Puno



Figura 26. Ingreso a la zona silvestre de la RNT-Puno



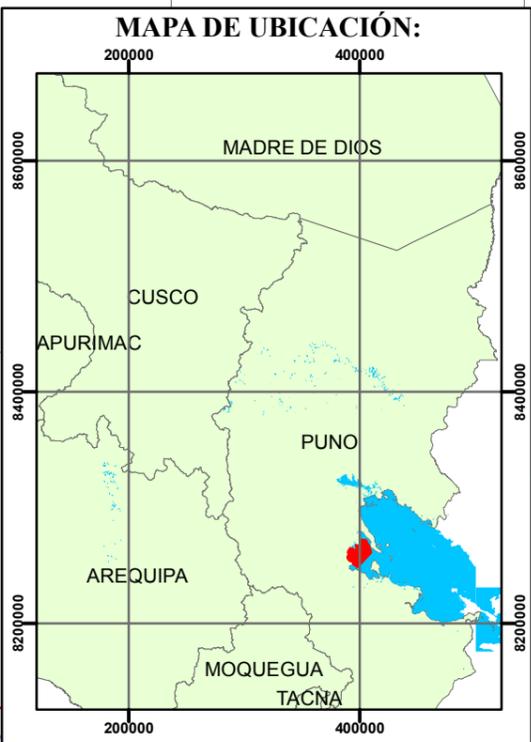
Figura 27. Utilización de la totora como materia prima para construcción de viviendas



Figura 28. Utilización de la totora como materia prima para artesanía

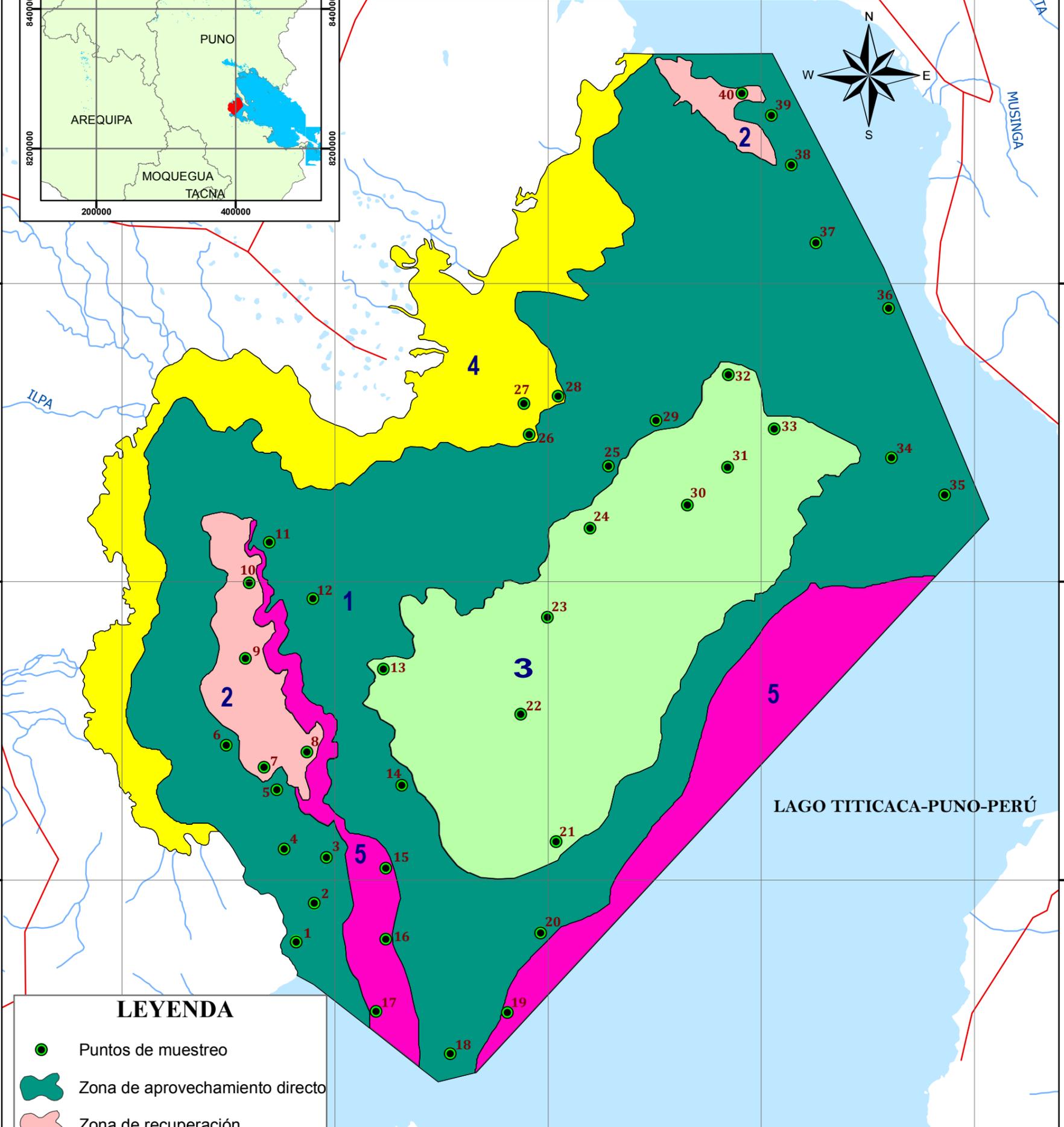


Figura 29. Utilización de la totora como alimento humano (chullu)



**ZONIFICACIÓN DEL SECTOR PUNO**

COD	ZONA	ÁREA	
		ha	%
1	Zona de aprovechamiento directo	15209.10	52.45
2	Zona de recuperación	1104.63	3.81
3	Zona silvestre	6115.31	21.09
4	Zona de uso especial	3904.76	13.46
5	Zona de uso turístico	2665.62	9.19
<b>TOTAL</b>		<b>28999.42</b>	<b>100.00</b>



**LEYENDA**

- Puntos de muestreo
- Zona de aprovechamiento directo
- Zona de recuperación
- Zona de silvestre
- Zona de uso especial
- Zona de uso turístico
- Carreteras
- Rios
- Lagos

**UBICACIÓN**

Lugar : Sector Puno-RNT  
Provincia : Puno  
Región : Puno  
País : Perú

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA ARGENTINA**

**PROYECTO DE TESIS DE MAESTRÍA**

MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL Y DESARROLLO SUSTENTABLE

TESIS: ESTIMACIÓN DEL SERVICIO AMBIENTAL DE CAPTURA DE (CO2) EN TOTORALES DE LA RESERVA NACIONAL DE TITICACA-PUNO (PERÚ)

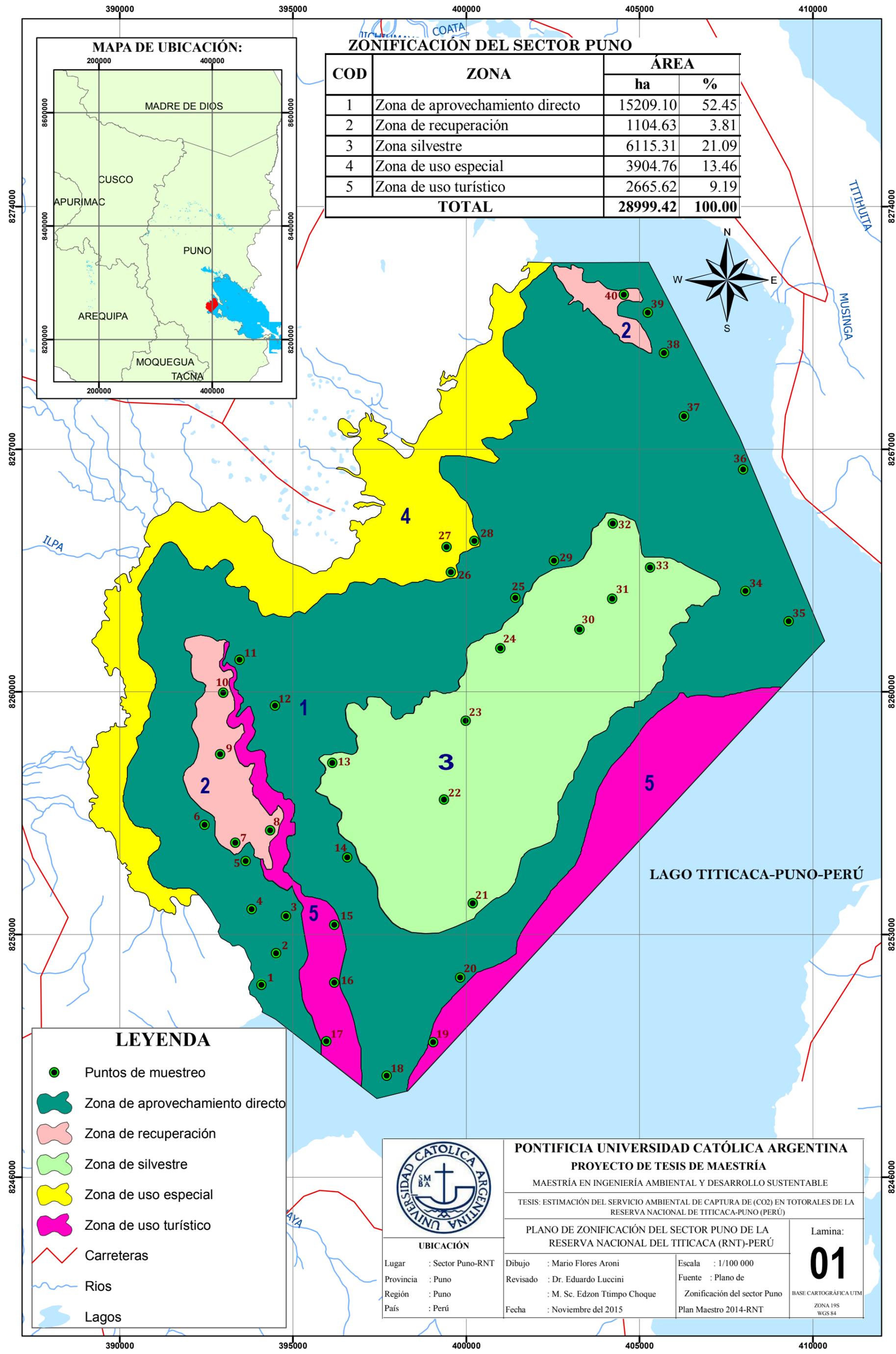
PLANO DE ZONIFICACIÓN DEL SECTOR PUNO DE LA RESERVA NACIONAL DEL TITICACA (RNT)-PERÚ

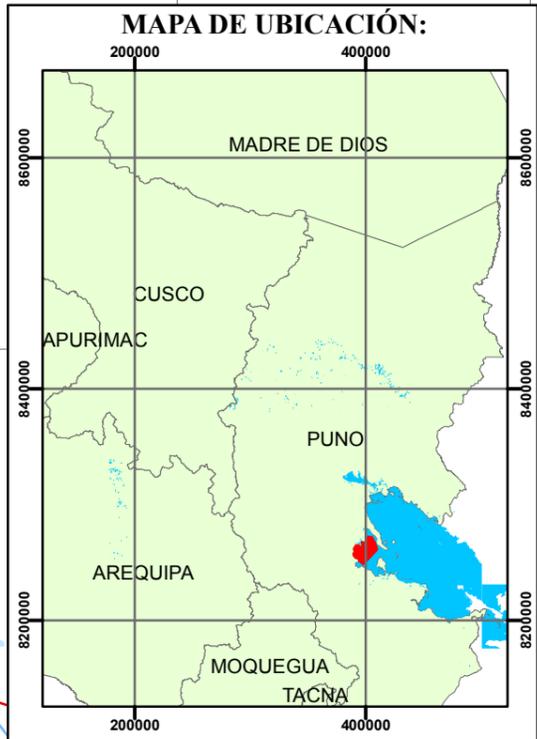
Dibujo : Mario Flores Aroni  
Revisado : Dr. Eduardo Luccini  
Fecha : Noviembre del 2015

Lamina:

**01**

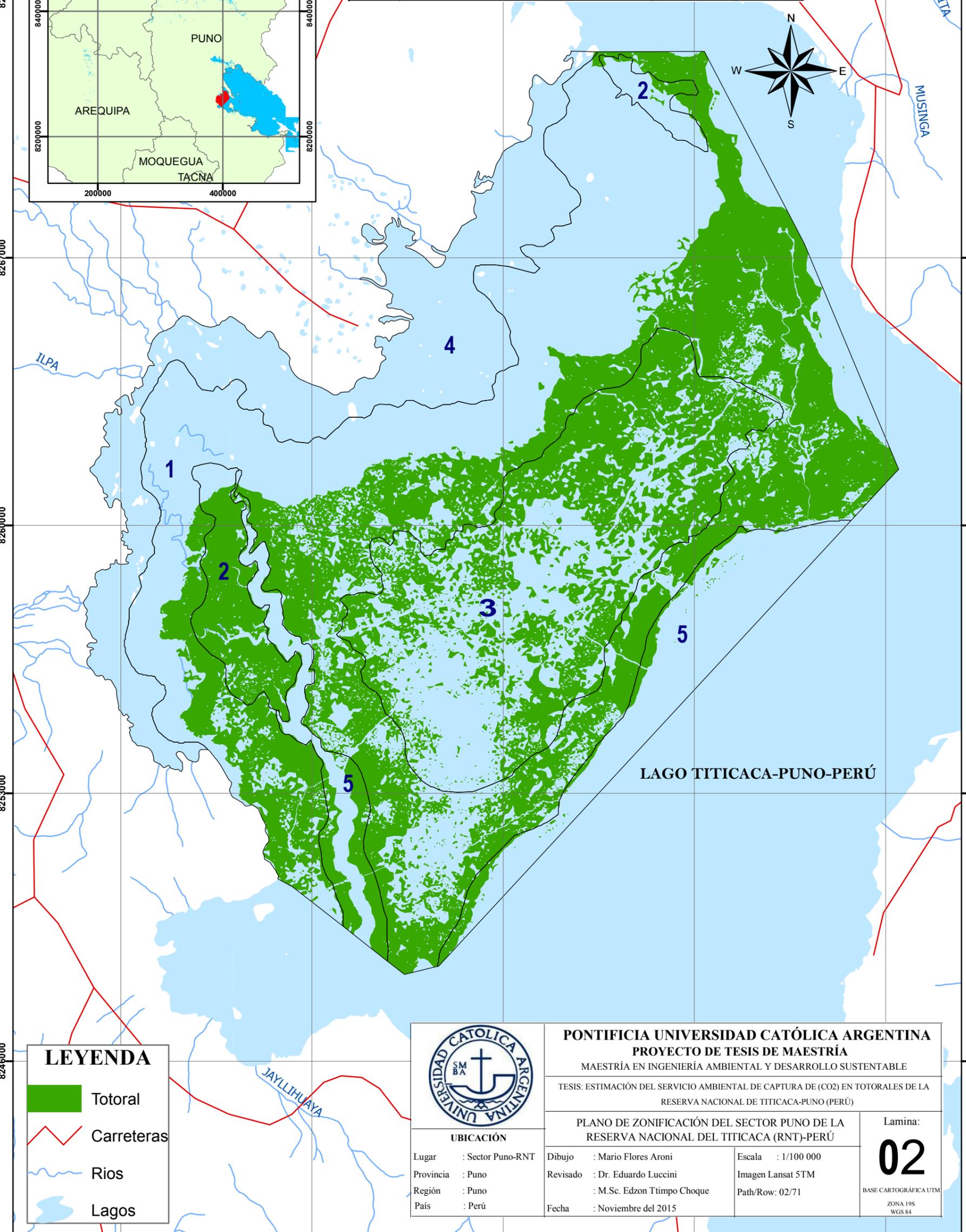
BASE CARTOGRÁFICA UTM  
ZONA 19S  
WGS 84





**ZONIFICACIÓN DE TOTORALES DEL SECTOR PUNO.**

COD	ZONA	ÁREA TOTORAL	
		ha	%
1	Zona de aprovechamiento directo	7170.17	62.01
2	Zona de recuperación	754.40	6.52
3	Zona silvestre	3092.61	26.75
4	Zona de uso especial	0.93	0.01
5	Zona de uso turístico	545.19	4.71
<b>TOTAL</b>		<b>11563.29</b>	<b>100.00</b>



**LEYENDA**

	Total
	Carreteras
	Rios
	Lagos

<p><b>PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA ARGENTINA</b> PROYECTO DE TESIS DE MAESTRÍA</p>	<p>MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL Y DESARROLLO SUSTENTABLE</p>	
	<p>TESIS: ESTIMACIÓN DEL SERVICIO AMBIENTAL DE CAPTURA DE (CO<sub>2</sub>) EN TOTORALES DE LA RESERVA NACIONAL DE TITICACA-PUNO (PERÚ)</p>	
<p>UBICACIÓN</p>		<p>Lamina:</p>
<p>Lugar : Sector Puno-RNT</p>	<p>Dibujo : Mario Flores Aroni</p>	<p>Escala : 1/100 000</p>
<p>Provincia : Puno</p>	<p>Revisado : Dr. Eduardo Luccini</p>	<p>Imagen Lansat 5TM</p>
<p>Región : Puno</p>	<p>: M.Sc. Edzon Tímipo Choque</p>	<p>Path/Row: 02/71</p>
<p>País : Perú</p>	<p>Fecha : Noviembre del 2015</p>	<p><b>02</b></p>
		<p>BASE CARTOGRÁFICA UTM ZONA 19S WGS 84</p>