

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN - TACNA

Escuela de Posgrado

MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE

**EVALUACIÓN DEL SERVICIO AMBIENTAL DE CAPTURA Y
ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN LA COMUNIDAD
DE Tillandsial (Bromeliaceae) EN LAS PAMPAS DE
CERRO INTIORKO EN LA PROVINCIA
DE TACNA, 2016**

TESIS

PRESENTADA POR:

ELISBAN ARTURO CHINO CHINO

Para optar el Grado Académico de:

**MAESTRO EN CIENCIAS (*MAGISTER SCIENTIAE*) CON MENCIÓN
EN GESTIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE**

TACNA - PERÚ

2019

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN – TACNA
ESCUELA DE POSGRADO**

MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE

**EVALUACIÓN DEL SERVICIO AMBIENTAL DE CAPTURA Y ALMACENA-
MIENTO DE CARBONO EN LA COMUNIDAD DE Tillandsial
(Bromeliaceae) EN LAS PAMPAS DE CERRO INTIORKO “
EN LA PROVINCIA DE TACNA, 2016**

Tesis sustentada y aprobada el 31 de mayo de 2019; estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE :


.....
Dr. Walter Dimas Flores Ponce de León

SECRETARIO :


.....
M.Sc. Soledad Amparo Bornas Acosta

MIEMBRO :


.....
Dr. Richard Sabino Lazo Ramos

ASESOR :


.....
Dr. Pablo Juan Franco León

AGRADECIMIENTO

Al Ing. Alfredo Quispe Rivera por las facilidades logísticas brindadas para el análisis de las muestras de tejido vegetal.

A mis padres por la paciencia y apoyo incondicional.

Y a todas las personas que colaboraron de manera directa o indirecta en el desarrollo de este estudio.

CONTENIDO

PÁGINA DEL JURADO	ii
AGRADECIMIENTO	iii
CONTENIDO	iv
ÍNDICES DE TABLAS	viii
ÍNDICES DE FIGURAS	ix
ÍNDICES DE ANEXOS	ix
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN	01
CAPÍTULO I: EL PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	02
1.1 Descripción del problema.....	02
1.2 Formulación del problema.....	03
1.3 Justificación e importancia.....	03
1.4 Objetivos.....	03
1.4.1 Objetivo general.....	03
1.4.2 Objetivo específico.....	03
1.5 Hipótesis.....	04
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	05
2.1 Antecedentes del estudio.....	05
2.2 Ciclo de carbono global.....	08
2.3 Característica biológica del Tillandsial.....	12
2.3.1 Fijación fotosintética del carbono.....	12
2.3.1.1 Ciclo de Calvin.....	15

2.3.2	Características morfológicas del género Tillandsia.....	19
2.4	Familia Bromeliaceae y el género Tillandsia.....	24
2.4.1	Tillandsiales en el Perú y en Tacna.....	25
2.4.2	Taxonomía del género Tillandsia.....	27
2.4.3	Descripción botánica de las especies de Tillandsias en las pampas del Cerro Intiorko de Tacna.....	28
2.5	Servicios de los ecosistemas.....	32
2.5.1	Regulación climáticas de los ecosistemas.....	33
2.6	Cambio climático y los Gases de Efecto Invernadero (GEI).....	34
2.6.1	Compromisos del Perú sobre el cambio climático.....	37
2.6.2	Instrumentos políticos sobre la gestión GEI en el Perú.....	40
2.6.2.1	Instrumentos marco sobre la gestión ambiental.....	41
2.6.2.2	Documentos específicos sobre la gestión del cambio climático.....	41
2.6.2.3	Avances en la gestión de los GEI en el sector forestal.....	44
2.6.3	Opciones de mitigación de la emisión de carbono en la atmosfera en el sector forestal.....	45
2.7	Marco legal y demás instrumentos que promueven la conservación del Tillandsial del Intiorko.....	45
2.7.1	A nivel nacional.....	46
2.7.2	A nivel regional.....	47
2.8	Definición de términos.....	49
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO.....		52
3.1	Zona de estudio.....	52
3.1.1	Descripción.....	52
3.1.2	Clima.....	52
3.2	Tipo de investigación.....	53
3.3	Diseño de investigación.....	53
3.4	Población y muestra.....	53
3.4.1	Población de estudio.....	53

3.4.2	Tipo de muestreo.....	55
3.4.3	Unidades de muestreo.....	56
3.4.4	Tamaño de la muestra.....	57
3.4.5	Identificación de las especies.....	58
3.5	Operacionalización de variables.....	58
3.5.1	Identificación de las variables.....	58
3.5.2	Caracterización de las variables.....	59
3.5.3	Definición operacional de las variables.....	59
3.6	Materiales y equipos.....	60
3.7	Metodología de investigación.....	61
3.7.1	Medición de los componentes de biomasa del tillandsial.....	61
3.7.1.1	Medición de la biomasa viva sobre el suelo	61
3.7.1.2	Medición de la necromasa sobre el suelo.....	62
3.7.2	Determinación de la materia seca o peso seco.....	63
3.7.3	Estimación de la biomasa total del tillandsial.....	64
3.7.4	Determinación del contenido de carbono orgánico.....	65
3.7.4.1	Preparación de la muestra vegetal.....	66
3.7.4.2	Procedimiento.....	67
3.7.5	Estimación de la cantidad de carbono almacenado en la biomasa del tillandsial.....	68
3.7.5.1	Estimación de la cantidad de carbono en la muestra.....	68
3.7.5.2	Estimación de la cantidad de carbono almacenado en la biomasa total del tillandsial por hectárea.....	69
3.7.6	Estimación de la cantidad de CO ₂ capturado en la biomasa del tillandsial.....	70
3.8	Procesamiento y análisis de datos.....	71
CAPÍTULO IV: MARCO FILOSÓFICO.....		72
4.1	Características de la investigación cuantitativa.....	73
CAPÍTULO V: RESULTADOS.....		75

5.1 Determinación del contenido de carbono orgánico en las especies de tillandsias del Intiorko.....	75
5.2 Estimación de la biomasa total, biomasa viva y necromasa acumulada en la comunidad de Tillandsial del Intiorko	76
5.3 Estimación de la cantidad de carbono almacenado en la biomasa vegetal de la comunidad del Tillandsial del Intiorko.....	77
5.4 Estimación de la biomasa total y de carbono almacenado por estrato en la comunidad del Tillandsial del Intiorko.....	78
5.5 Estimación de la biomasa total y de carbono almacenado en las especies de la comunidad del Tillandsial del Intiorko.....	79
5.6 Estimación de cantidad de CO ₂ capturado en la biomasa de la comunidad de Tillandsialdel Intiorko.....	80
5.7 Análisis de varianza.....	81
CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN.....	83
CONCLUSIONES.....	89
RECOMENDACIONES.....	90
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	91
ANEXOS.....	112

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Definiciones de depósitos de carbono para un ecosistema terrestre de acuerdo a la orientación IPCC.....	11
Tabla 2: Principales diferencias entre las plantas C3, C4 y CAM.....	18
Tabla 3: Los servicios de provisión, regulación, culturales y de apoyo de los ecosistemas analizados en el marco de la evaluación de los ecosistemas del milenio	33
Tabla 4: Distribución de las muestras en cada estrato para la medición de la biomasa en el Tillandsial.....	58
Tabla 5: La operacionalización de las variables en la medición del carbono en la biomasa del Tillandsial.....	59
Tabla 6: Contenido de carbono orgánico en el tejido vegetal en las especies del Tillandsial del Intiorko.....	75
Tabla 7: La biomasa total, biomasa viva y necromasa acumulada en la comunidad del Tillandsial del Intiorko, 2016.....	76
Tabla 8: El carbono total almacenado en la biomasa viva y necromasa en la comunidad del Tillandsial del Intiorko, 2016.....	77
Tabla 9: La biomasa total acumulada y de carbono por estrato en la comunidad del Tillandsial del Intiorko, 2016.....	78
Tabla 10: La biomasa total acumulada y de carbono por especie de la comunidad del Tillandsial del Intiorko, 2016.....	79
Tabla 11: Cantidad de CO ₂ capturado por la biomasa de la comunidad de Tillandsial del Intiorko por especie, 2016.....	80
Tabla 12: Análisis de varianza en el contenido de carbono orgánicos en las especies estudiadas en la comunidad del Tillandsial del Intiorko, 2016.....	81
Tabla 13: Análisis de varianza de la cantidad de carbono almacenado por zonas ocupadas en la comunidad del Tillandsial del Intiorko, 2016.....	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ciclo del carbono terrestre en ecosistemas terrestres y acuáticos....	09
Figura 2: Esquema general del metabolismo CAM	16
Figura 3: Los procesos del ciclo de Calvin en las etapas de carboxilación, reducción y regeneración.....	17
Figura 4: Imagen estereoscópica de las Tricomias de <i>Tillandsia hildae</i> RAUH y <i>Tillandsia rauhii</i>	20
Figura 5: Variaciones en la secuencia de las células en las tricomas en las tillandsias.....	20
Figura 6: Vista de un tricoma sobre secciones longitudinales: II en la condición seca y III en la condición húmeda.....	20
Figura 7: Morfología básica de las especies del género <i>Tillandsia</i>	23
Figura 8: Distribución geográfica de las bromeliáceas en el mundo.....	24
Figura 9: <i>Tillandsia werdermannii</i> “Siempre viva”	29
Figura 10: <i>Tillandsia purpurea</i>	30
Figura 11: <i>Tillandsia landbeckii</i>	31
Figura 12: La estratificación de la población del Tillandsial en las pampas del Cerro Intiorko.....	55
Figura 13: Distribución de las unidades de muestreo en el área de estudio....	56
Figura 14: Pasos para la medición de materia viva sobre el suelo del Tillandsial.....	62
Figura 15: Pasos para la medición de la necromasa o materia muerta sobre el suelo.....	62

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Contenido de humedad en las diferentes especies de tillandsias en la comunidad de Tillandsial del Intiorko, 2016.....	113
Anexo 2: Características geográficas de la zona de estudio del Tillandsial del Intiorko.....	113
Anexo 3: Diagrama de flujo para la medición del carbono y la captura de CO ₂	114
Anexo 4: Mapa de distribución de las unidades de muestreo en la zona de estudio en el Tillandsial del Intiorko, 2016.....	115
Anexo 5: Mapa de distribución de los almacenes de carbono en el Tillandsial del Intiorko, 2016.....	118
Anexo 6: Mapa de distribución de la biomasa viva almacenada en el Tillandsial del Intiorko, 2016.....	119
Anexo 7: Mapa de distribución de la necromasa almacenada en el Tillandsial del Intiorko, 2016.....	120
Anexo 8: Mapa de distribución de la biomasa total almacenada en el Tillandsial del Intiorko, 2016.....	121
Anexo 9: Coordenadas UTM de las unidades de muestreo para la medición de carbono en el Tillandsial del Intiorko.....	122
Anexo 10: Formatos para la medición de los componentes de biomasa del Tillandsial del Intiorko, 2016.....	130
Anexo 11: Fotos de campo sobre los Tillandsiales del Intiorko.....	134
Anexo 12: Fotos de análisis de tejido vegetal en el laboratorio de química analítica de la FACI-UNGBG, Tacna.....	136
Anexo 13: Fotos de campo en el muestreo de la biomasa del Tillandsial del Intiorko.....	143

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo cuantificar el servicio ambiental de captura y almacenamiento de carbono en la comunidad del Tillandsial ubicadas en las pampas del Cerro Intiorko en la Provincia de Tacna. Para este objetivo, se estimó el contenido de carbono orgánico en tejido vegetal y cantidad de biomasa viva y necromasa acumulada en el Tillandsial. El contenido de biomasa se estimó de manera directa con parcelas de 2 m x 2 m, tomando una muestra de 503 parcelas. El contenido de carbono orgánico se determinó por oxidación utilizando el método propuesto por Schollenberger. Entre las especies evaluadas en la comunidad tillandsial, se encontró que *Tillandsia werdermannii* y *Tillandsia landbeckii* fueron las especies con el mayor y el menor contenido de carbono orgánico en el tejido vegetal con 43,13 % y 38,40 % respectivamente. La necromasa fue el componente de biomasa más importante y el principal reservorio de carbono en el ecosistema del tillandsial representó un 81 % de la biomasa total y de carbono almacenado. La cantidad promedio de biomasa estimada fue 6,38 t MS/ha y la biomasa total en 142 203,31 t MS. La cantidad promedio de carbono almacenado en la biomasa vegetal fue 2,75 t C/ha. Y la cantidad total de carbono almacenado en el área fue 61 250,21 t C que representó una captura de 224 788,28 t CO₂.

Palabras clave: Tillandsial, biomasa total, contenido de carbono orgánico, carbono almacenado, captura de carbono.

ABSTRACT

The present study has as objective to quantify the environmental service of capture and storage of carbon in the community of the Tillandsial located in the pampas the Cerro Intiorko in the Tacna province. For this objective, estimated the content of organic carbon in vegetable tissue and quantity of alive biomass and accumulated necromasa in the Tillandsial. The content of biomass was estimated in a direct way with plots of 2 x m 2 m, by taking a sample of 503 parcels. The content of organic carbon was decided for oxidation using the method proposed by Schollenberger. Between the species evaluated in the tillandsial community, it found that *Tillandsia werdermannii* and *Tillandsia landbeckii* went the species with the major and the smaller content of organic carbon in the vegetable tissue with 43,13 % and 38,40 % respectively. The necromasa went the component of more important biomass and the main reservoir of carbon in the ecosystem of the tillandsial represented 81 % of the total biomass and carbon stored. The mean quantity of biomass estimated went 6,38 t MS/ha and the total biomass in 142 203,3 t MS. The mean quantity of carbon stored in the vegetable biomass went 2,75 C t/ha. And the total quantity of carbon stored in the area went 61 250,21 t C that represented a capture of 224 788,28 t CO₂

Key words: tillandsial, total biomass, content of organic carbon, carbon stored, capture of carbon

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas proveen múltiples servicios a la sociedad y que mantienen directa o indirectamente nuestra calidad de vida (Olalde, 2010). Estos nos proveen alimento, agua, combustible, recreación y otros servicios esenciales como son la fijación y almacenamiento de carbono. En este servicio, las plantas desempeñan un papel fundamental al capturar este elemento a través de la fotosíntesis.

Localmente, la Provincia de Tacna, a pesar de su extrema aridez, alberga una comunidad única y característica del desierto costero comúnmente conocida como tillandsiales que viven en condiciones de extrema sequedad propia de los climas secos de la costa peruana. Estas formaciones vegetales forman una comunidad muy extensa en las pampas del Cerro Intiorko, la cual podrían ayudar en los esfuerzos actuales para reducir el exceso de dióxido de carbono en la atmosfera y mitigar los efectos del cambio climático global.

En la costa desértica de Tacna, esta comunidad es considerada una de las más extensas y representativa de la región. Se ubica al norte de la ciudad de Tacna en las pampas del Cerro Intiorko dentro de una extensión de aproximadamente 22 296 ha, sobre una altitud que varía entre 600 a 1 300 m s.n.m. Esta comunidad de tillandsial está formada por tres especies de tillandsia (*Tillandsia purpurea* Ruiz & Pavon, *Tillandsia landbeckii* Phil. y *Tillandsia werdermannii* Harms) una de las cuales es endémica (*Tillandsia werdermannii*) y se encuentra “En peligro” de extinción (D.S. N° 043-2006-AG). En esta región, estos tillandsiales desempeñan un papel fundamental en la captura y almacenamiento de carbono. El presente estudio evalúa este servicio ambiental con el fin de reconocer su importancia y su papel potencial en la captura y almacenamiento de carbono en la costa desértica de Tacna.

CAPÍTULO I

EL PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

El cambio climático representa uno de los mayores problemas ambientales que enfrenta la sociedad actual y esta generado a nivel mundial una enorme preocupación por los impactos que puede generar sobre los sistemas naturales y a la humanidad. El calentamiento del sistema climático y los subsecuentes cambios en el clima actual es causado por el incremento en las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmosfera (GEI) principalmente el CO₂, la cual es uno de los GEI antropogénico más importante. Las concentraciones de este gas en la atmosfera se han incrementado considerablemente desde la era preindustrial, debido a la utilización de combustibles fósiles y a los cambios de uso del suelo (IPCC, 2007; PNUMA-ORPALC / FS-UNEP Centre, 2014).

Ante este nuevo escenario ambiental, la vegetación terrestre puede desempeñar un papel importante y constituir en una opción viable para mitigar los efectos del cambio climático a nivel global al absorber el carbono (CO₂) por medio de la fotosíntesis. La vegetación posee una enorme influencia sobre el clima global y local y pueden convertirse en importante sumidero de carbono en los ecosistemas terrestres al capturar y almacenar cantidad significativas este elemento en la biomasa (Brack, 2006). En tal sentido, los tillandsiales del Intiorko - dada su extensión y biomasa - pueden constituir, en nuestra localidad, en un importante sumidero o reservorio de carbono, sin embargo, no se tiene información sobre la captura y almacenamiento de carbono en esta comunidad en la costa desértica de Tacna.

1.2 Formulación del problema

¿Cuál es la capacidad de captura y almacenamiento de carbono en la comunidad de tillandsial en las pampas del Cerro Intiorko, 2016?

1.3 Justificación e importancia del estudio

El Tillandsial del Intiorko es considerada una de las comunidades vegetales más extensas y representativas en la región. Estas formaciones vegetales forman un ecosistema único y característico del desierto de Tacna y proveen importantes servicios ambientales como es la captura y almacenamiento de carbono. Por lo tanto, resulta de vital importancia evaluar este servicio ambiental a fin de conocer su capacidad de captura y almacenamiento de carbono de estas formaciones vegetales en la región y su papel potencial en los esfuerzos actuales para reducir los niveles de emisiones de dióxido de carbono a nivel nacional. En base a esta información se pretende generar una nueva propuesta para la conservación y protección de este ecosistema que genera importantes beneficios tanto a nivel local como global.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

- Cuantificar la captura y el almacenamiento de carbono en la comunidad de Tillandsial (Bromeliaceae) en las pampas de Cerro Intiorko, 2016.

1.4.2 Objetivos específicos

- Determinar el contenido de carbono orgánico en el tejido vegetal de las especies de la comunidad de tillandsial.

- Estimar la cantidad de carbono almacenado en la biomasa viva y en la necromasa de la comunidad del tillandsial.
- Determinar el peso de la materia seca en la biomasa viva y la necromasa de la comunidad de tillandsial.
- Calcular la cantidad de CO₂ capturado en la biomasa de la comunidad de tillandsial.

1.5 Hipótesis

- La capacidad del servicio ambiental de captura y almacenamiento de carbono en la comunidad de tillandsial varía de acuerdo a su biomasa viva y necromasa presente en las pampas de cerro Intiorko, 2016.

CÁPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del estudio

En el ámbito nacional e internacional se han publicado diversos estudios sobre contenido y captura de carbono en diferentes ecosistemas terrestres principalmente en sector forestal. Entre estos estudios se destaca:

Gayoso & Guerra (2005), quienes realizaron un estudio del contenido de carbono en fustes, ramas, hojas y corteza en 16 especies nativas de tipo forestal en los bosques de Chile. En su estudio encontró que el contenido promedio de carbono orgánico en las especies estudiadas fluctúa en rango de valores entre 34,86 % y 48,31 %. Además, encontró diferencias significativas en el contenido de carbono orgánico entre grupo de especies y entre componentes del árbol. Asimismo, reportó que el carbono del fuste ($44,4 \pm 0,16$ %) de todas las especies es ligeramente mayor en ramas, hojas y corteza ($43,5 \pm 0,21$ %). No encontró diferencias significativas en el contenido de carbono, entre las especies caducifolias y las especies siempre verdes, ni entre el grupo de especies del tipo forestal Siempreverde y del tipo Roble-Raulí-Coigüe. Sin embargo, encontró diferencias en el contenido de carbono entre las coníferas nativas y las especies latifoliadas.

Cubero & Rojas (1999), realizaron una evaluación en términos ambientales y económicos “La fijación de carbono en plantaciones de *Gmelina arborea*, *Tectona grandis* y *Bombacopsis quinata* en los cantones de Hojancha y Nicoya, Guanacaste, Costa Rica”. En su estudio determinó que el contenido de carbono en las plantaciones de *Gmelina arborea* fluctúa entre 32 y 40 %, en *Tectona grandis* entre 32 a 38 % y en *Bombacopsis quinata* entre 33 a 36 %.

Además, encontró que la cantidad de carbono almacenado y fijado en las tres especies varía de acuerdo al sitio y edad de las plantaciones.

Segura (1997), realizó una evaluación física y monetaria del almacenamiento y fijación de carbono en *Quercus costaricensis*, en un bosque de altura en la cordillera de Talamanca, Costa Rica. En su estudio determinó el contenido de carbono tanto en fustes como en raíces y ramas a través de dos métodos el de ceniza total y por calorimetría. Y fijó en 43 % el contenido promedio de carbono tanto en ramas, fustes y raíces mediante el método de ceniza totales y en 43 % para fustes y 45 % para ramas y raíces por el método de calorimetría. Según sus resultados no encontró diferencias significativas entre el contenido de carbono en ramas, fustes y raíces en ambos métodos.

Martínez & Quintana (2010), realizaron un estudio del contenido de carbono en la biomasa de *Quercus microphylla* y dos unidades de suelo en el Predio Las Cruces, Texcoco en el estado de México. Señaló que el contenido de carbono en la biomasa es 46,27 % y que aporte medio de carbono en la biomasa de *Q. microphylla* y el suelo es de 80,49 t C/ha. Además, encontró que el suelo es el componente que aporta la mayor cantidad de carbono con 72,83 % y la biomasa el 27,17 % de carbono total del área de estudio. En su estudio encontró diferencias en la cantidad de carbono almacenado por unidad de suelo.

Prudencio (2006), realizó un estudio sobre las reservas totales de carbono en plantaciones forestales de *Eucalyptus globulus* Labill en la comunidad campesina Siete Imperios en el Distrito de Marcará, Carhuaz, Perú. En su estudio determinó la existencia de 195,436 t C/ha en el sistema de uso forestal de tierra, distribuido de la siguiente manera: 71,693 t C/ha en la biomasa vegetal total (51,768 t C/ha en la biomasa arbórea, 0,492 t C/ha en la biomasa arbustiva/herbácea, 2,889 t C/ha en la biomasa de la hojarasca y 16,544 t C/ha en la biomasa subterránea) y 123,743 t C/ha en el suelo.

Freitas et al. (2006), realizó una evaluación los servicios ambientales de almacenamiento y secuestro del ecosistema Aguajal en la Reserva Nacional Pacaya Samiria, Loreto-Perú. Encontró en La Reserva Nacional Pacaya Samiria, una reserva acumulada de carbono de 448 273 384,40 toneladas de carbono total, de las cuales 102 055 032,29 toneladas corresponden a la biomasa (23 %) y 346 218 752,11 toneladas al del suelo (77 %).

Tito (2012), realizó una estimación cuantitativa de la capacidad de captura del CO₂ en plantaciones de olivo en la zona de Los Palos, Yarada y Magollo en el Distrito de Tacna. En su estudio estimo la biomasa total acumulada en los árboles de *Olea europea* en 562 051,3 toneladas y el contenido de carbono almacenado de los tejidos de las plantaciones de olivo en 281 025,7 toneladas de carbono que equivale una captura de 1 031 364,319 toneladas de dióxido de carbono.

Morales (2014), efectuó una evaluación del estado actual del bosque de *Polylepis* y su eficiencia en la captura de CO₂ en la Provincia de Tarata, Departamento de Tacna. En su estudio encontró que la especie de *Polylepis rugulosa* presenta una eficiencia de la captura de 31 387,6 t de CO₂ /ha/ año.

Sin embargo, en el Perú los estudios sobre contenidos y capturas de carbono en ecosistemas no forestales son escasos y particularmente en tillandsiales no se conocen hasta el momento. Entre los pocos estudios publicados sobre poblaciones de tillandsiales en el Perú (Quispe, 2001; Lazo, 2011; Aponte & Flores, 2013), se destaca por lo realizado por Quispe (2001), quien realizó un estudio sobre la “Estructura de las poblaciones de *Tillandsia* de la Provincia de Tacna” y por Aponte & Flores (2013), quienes realizaron un estudio de la densidad y distribución espacial de *Tillandsia latifolia* en Cerro Piedra Campana en Lima-Perú. Sin embargo, los únicos datos publicados que se conoce hasta la fecha sobre biomasa de tillandsiales provienen del estudio realizado por Türkowsky & López-Ocaña (1983) quienes realizaron un estudio

ecológico del Tillandsial de Cajamarquilla (*Tillandsia purpurea* R & P, *T. paleaceae* Presl., *T. latifolia* var. major Mez, *T. latifolia* var. latifolia Meyen y *T. recurvata* L.) en Lima- Perú, donde registraron un promedio de 166,4 gramos de materia seca por metro cuadrado de biomasa y un valor máximo de 580 g MS/m² en zonas de mayor humedad.

2.2 El ciclo de carbono global

El carbono es el elemento químico fundamental de los compuestos orgánicos. El carbono circula entre tres grandes depósitos o reservorios: la atmósfera, el océano y sistema terrestre (Rügnitz, et al., 2009). De los tres depósitos los océanos contienen el 93 % del carbono del planeta (Feely, et al., 2001). Esta se encuentra almacenada en la forma inorgánica disuelta (bicarbonato y los iones carbonato), orgánica disuelta (pequeñas y grandes moléculas de orgánicas) y en partículas orgánicas de carbono (organismos vivos o fragmentos de plantas muertas y animales) (Post et al., 1990). Se estima alrededor de 38 000 Gt C se encuentra en forma inorgánica, 1 650 Gt de carbono en materia orgánica muerta y 3 Gt de carbono en materia viva (Smith & Smith, 2007). Los océanos absorben entre 10 a 30 % del total de emisiones de dióxido de carbono antropogénico producidas anualmente (Johnson & Parsons, 2015). La fijación anual de CO₂ en el océano se estima en $2,2 \pm 0,4$ PgC/año (Feely et al., 2001).

Con respecto a la vegetación terrestre se encuentran capturado unos 850 Gt de carbono, de las cuales en materia viva están 550 Gt C y como necromasa (mantillo) otros 300 Gt de carbono. En la materia orgánica del suelo se encuentra almacenado alrededor de 1 500 Gt C (Gallardo & Merino, 2007; Pardos, 2010). En la atmósfera se encuentra cerca de 880 ± 35 gigatoneladas de carbono en forma de CO₂, lo cual lo convierte en uno de los gases de efecto invernadero (GEI) antropógeno más importante (IPCC, 2014b). La incorporación anual de carbono en la atmosfera se estima en 3,3 PgC/año (1Pg equivale a 10¹⁵g). Según recientes estimaciones, las fotosíntesis de los

vegetales terrestres fijan del orden de 120 PgC/año y la respiración de las plantas libera a la atmósfera unos 60 PgC/año (Gallardo & Merino, 2007).

El ciclo de carbono terrestre empieza con la producción primaria de las plantas fotosintéticas que absorbe el CO_2 para producir compuestos orgánicos que sirven como fuente de energía en la cadena alimenticia (Fig. 1). En los ecosistemas terrestres este carbono regresa a la atmósfera por respiración, descomposición y por incendios (Post et al., 1990). Por medio del proceso de fotosíntesis, las plantas fijan el carbono en la biomasa de la vegetación y constituyen junto con sus residuos el stock natural de carbono (Rügnitz, et al., 2009). Cuando este stock de carbono aumenta en el tiempo son consideradas sumidero de carbono, en caso contrario, cuando disminuye en tiempo son consideradas fuente de carbono (Honorio & Baker, 2010). Las concentraciones atmosféricas de carbono (CO_2) fluctúan a lo largo del día y con las estaciones. Esto sucede tanto en ecosistemas terrestres como los acuáticos, siendo las fluctuaciones mucho mayores en ambientes terrestres (Smith & Smith, 2007).

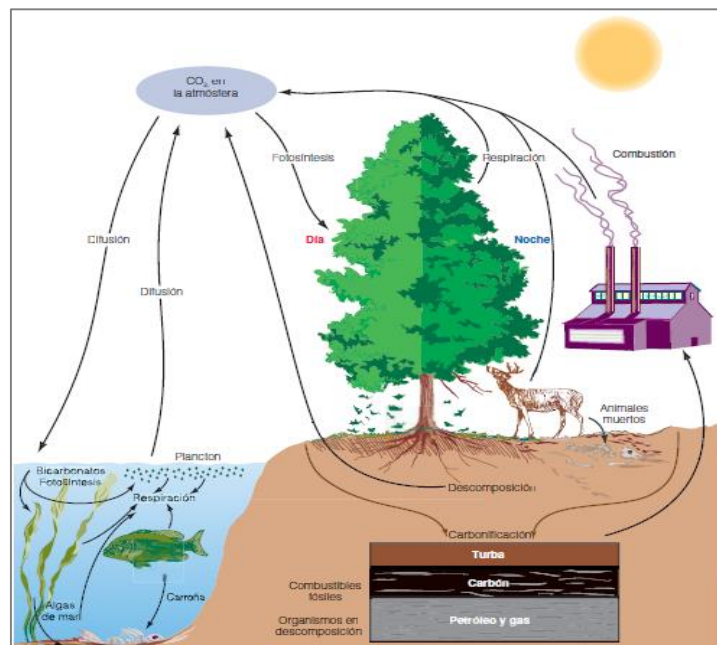


Figura 1. Ciclo de carbono en ecosistemas terrestre y acuáticos

Fuente: Smith & Smith, 2007

La biosfera terrestre es un componente clave en ciclo global de carbono y su equilibrio es fuertemente influenciado por el clima. Los climas extremos como sequías o tempestades pueden llevar a una disminución de los stocks de carbono en los ecosistemas regionales (Reichstein et al., 2013). Estos climas extremos pueden impactar en la estructura, composición y funcionamiento de los ecosistemas terrestres y al ciclo de carbono y su retroalimentación en el sistema climático (Frank et al., 2015).

Los ecosistemas terrestres mitigan el impacto de las emisiones de combustible fósil, pero son altamente sensibles a los acontecimientos extremos a gran escala (Wolf et al., 2016). El ciclo de carbono en la tierra está experimentando una variabilidad, debido a las tendencias y anomalías del clima causado por el cambio global (Baldocchi et al., 2016). Hay un nivel de confianza alto que el cambio climático global afectará a los procesos del ciclo del carbono de un modo que agudizará el aumento de CO₂ en la atmósfera. Según los modelos climáticos, los océanos y la tierra incorporaran menos carbono a medida que el clima se calienta, lo que constituye una retroalimentación climática positiva (IPCC, 2013).

El carbono en los ecosistemas terrestres se encuentra almacenado en cinco diferentes depósitos en la: a) biomasa sobre el suelo, b) biomasa bajo el suelo, c) madera muerta, d) mantillo y e) materia orgánica del suelo (IPCC, 2003) (Tabla 1). Para medir los stocks o reservas de carbono es necesario muestrear la biomasa viva almacenada en las hojas, ramas, el fuste y en las raíces; en la necromasa en la hojarasca y en la madera muerta y el carbono presente en la materia orgánica del suelo. Los stocks de carbono se expresan en términos de peso de carbono por unidad de área, mientras que los flujos incluyen el variable tiempo y cuantifican la cantidad de carbono que entra o sale de un componente del stock de carbono en el tiempo (Honorio & Baker, 2010).

Tabla 1

Definiciones de depósitos de carbono para un ecosistema terrestre de acuerdo a la orientación IPCC sobre las buenas prácticas en el uso de las tierras, cambio del uso de las tierras y bosques (UTCUTS).

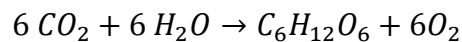
	Depósitos	Descripción
Biomasa viva	Biomasa sobre el suelo	Toda la biomasa viva que se encuentra sobre el suelo, incluyendo tallos, tocones, ramas, cortezas, semillas y follaje.
	Biomasa bajo el suelo	Toda la biomasa de raíces vivas. Se excluyen las raíces finas menos de 2 mm de diámetro, porque difícilmente se distinguen de la materia orgánica del suelo.
Materia orgánica muerta	Madera muerta	Comprende toda la biomasa forestal no viva que se encuentra en la superficie como raíces muertas y tocones de 10 cm de diámetro o más.
	Mantillo (hojarasca)	Toda la biomasa no viva con un diámetro inferior a un diámetro mínimo elegido por el país (por ejemplo 10 cm), ya sea muerta, en varios estados de descomposición sobre el suelo mineral u orgánico. Comprende la capa de detritus, fúmica y húmica.
Suelo	Materia orgánica del suelo	Comprende el carbono orgánico en suelos minerales y orgánicos (incluida la turba) a una profundidad específica elegida por el país. Se incluyen las raíces finas con la materia orgánica del suelo cuando no se pueden distinguirse empíricamente de ella.

Fuente: IPCC, 2003

2.3 Característica biológica del Tillandsial

2.3.1 Fijación fotosintética del carbono

La fotosíntesis es un proceso complejo, en el que intervienen múltiples reacciones bioquímicas que, en conjunto, requieren una elevada cantidad de energía. Por este medio las plantas fijan el CO₂ y utilizan la energía de la luz solar para producir carbohidratos y liberar oxígeno (Medrano et al., 2013). El proceso se puede expresar de la siguiente ecuación:



La asimilación del carbono se realiza en una de las tres vías fotosintéticas comúnmente llamadas C₃, C₄ y CAM. La vía fotosintética C₄ representa una modificación del ciclo fotosintético C₃ y es considerado un derivado, una vía evolutivamente más avanzada (Ehleringer et al., 1991). La CAM es otra vía que constituye una variación de la vía de C₃. En la vía fotosintética C₃ la fijación del CO₂ se realiza a través del ciclo de Calvin en las células del mesófilo. La mayoría de las plantas utilizan esta vía fotosintética para la fijación del CO₂. Por su parte, en la fotosíntesis C₄ la fijación del CO₂ requiere de coordinación de dos tipos de células fotosintéticas: las células del mesófilo y las células de la vaina vascular. Las plantas C₄ son en su mayoría nativas del trópico y de climas cálidos con elevada intensidad de luz y altas temperaturas (Tabla 2). Por su parte, las plantas CAM son muy frecuentes en ambientes áridos (Lara et al., 2010).

La vía metabólica CAM se asemeja en mucho a la vía C₄. Sin embargo, en la vía CAM la separación de las dos carboxilaciones no es espacial, como ocurre en las plantas C₄, sino temporal en un único tipo de célula fotosintética. En las plantas CAM, a diferencia de las plantas C₃ y C₄, fijación del CO₂ atmosférico ocurre predominantemente de noche. En esta vía metabólica el CO₂ es convertida en bicarbonato (HCO₃⁻) mediante la anhidrasa carbónica. El

bicarbonato y no el CO_2 es el sustrato de la fosfoenolpiruvato carboxilasa, que es la enzima que cataliza la carboxilación del fosfoenolpiruvato (PEP) que tiene lugar durante la noche en las células del mesófilo. El oxalacetato formado en la reacción del bicarbonato y el PEP es transformado en malato forma en la que se acumula el carbono durante la noche en estas plantas. El malato o ácido málico, acumulado activamente durante la noche, es almacenado en las vacuolas. Durante el día, el ácido málico es liberado en la vacuola y es descarboxilada a piruvato. Esta descarboxilación llega consigo la liberación de CO_2 dentro de las células del mesófilo. El piruvato resultante se transforma en almidón durante el día. Durante la noche siguiente, el almidón se degrada a glucosa, la cual origina mediante glucólisis moléculas de PEP que constituyen el sustrato de la carboxilación catalizada por la PEP carboxilasa, cerrándose de este modo el ciclo de CAM (Medrano et al., 2013) (Fig. 2). En este proceso metabólico las estomas permanecen abiertos en la noche y cerrados durante la mayor parte del día, resultando de esta manera en una pérdida mínima de agua y fotorrespiración reducida (Herppich & Peckmann, 2000 citado por Geydan & Melgarejo, 2005). El ciclo de CAM consta de 4 fases denominadas fase I, II, III y IV. La fase I tiene lugar durante la noche y la fase III durante las horas centrales del día. Entre estas dos fases existe un periodo transicional al principio (fase II) y al final del día (fase IV) donde el CO_2 es fijado directamente vía C_3 a carbohidrato. Entre las 4 fases, la II y IV no siempre se observan en las plantas CAM, ya que depende de las condiciones ambientales de su ambiente (Medrano et al., 2013).

La mayoría de las especies del género *Tillandsia* (60 %) muestran una fotosíntesis CAM (Crayn et al., 2015). Todas las especies de *tillandsia* epifitas de la región desértica costera utilizan este metabolismo totalmente (*T. purpurea*, *T. usneoides*, *T. recurvata*, *T. disticha*, *T. multiflora*, *T. capillaris*, *T. landbeckii*, *T. werdermannii*, *T. geissei*) o en parte. Al menos dos especies (*T. latifolia* y *T. tragophoba*) utilizan de un modo flexible C_3 -CAM para la fijación de carbono (Rundel et al., 1998). Las plantas C_4 por lo general poseen tasas fotosintéticas mayores que las plantas que presentan una ruta CAM que tienen

tasas más bajas (Salisbury & Ross, 2000). Las plantas con este tipo de metabolismo fotosintético emplean más energía para sintetizar azúcares, y la incorporación de CO₂ atmosférico es más lenta que las C₄ y C₃, por lo que este patrón está considerado como el más costoso de los tres. Sin embargo, las pérdidas de agua por evapotranspiraciones son sumamente baja (Rebollar & Sancho, 2010). Las plantas CAM exhiben una tasa de la eficiencia en el uso de agua (WUE) más altos que la C₃ y C₄. Típicamente, una planta CAM pierde entre 50 a 100 g de agua por cada gramo de CO₂ ganado, comparado con valores de 250 a 300 g y 400 y 500 g para plantas C₄ y C₃ respectivamente (Taiz & Zeiger, 2002).

La gran mayoría de las plantas CAM son suculentas y presentan una marcada adaptación a los estreses abióticos de las zonas áridas y desérticas como son el estrés hídrico y la salinidad. Poseen una limitada capacidad para almacenar el CO₂ y, por consiguiente, no sintetizan mucha materia orgánica, pero ahorran gran cantidad de agua, es por ello que son plantas de crecimiento lento (Zegarra & Chávez, 2006). Las plantas CAM se encuentran en aproximadamente el 7 % de las especies de plantas vasculares y en 34 familias tanto terrestres como acuáticas (Winter & Smith, 1996; Silvera et al., 2009).

Las plantas CAM pueden expresar una notable plasticidad con respecto a su metabolismo fotosintético. Muchas plantas CAM (p.e: *Tillandsia brachycaulos* y *T. elongata*) pueden comportarse como C₃, es decir, pueden cambiar de una vía fotosintética a otra, según las condiciones ambientales. Este tipo de plantas son consideradas facultativas o intermedias C₃-CAM pueden fijar el CO₂ durante el día mediante Rubisco y durante la noche mediante el PEPC modificando las fases II y III del modelo CAM (Andrade et al., 2007). En consecuencia, existen plantas que pueden exhibir un metabolismo C₃ estricto, otras con metabolismo intermedio C₃-CAM, otras con metabolismo CAM estricto, y otras con un metabolismo conocido como CAM “inútil” donde no se origina prácticamente ninguna ganancia neta de carbono donde las estomas se mantienen cerrados en el día y noche, de manera que el

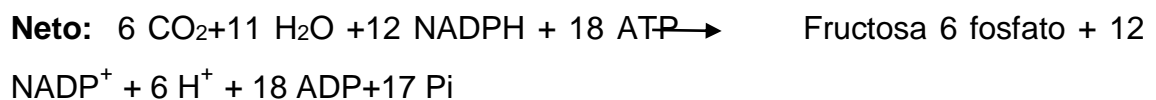
CO₂ producido por la respiración durante la noche se fija internamente en forma de malato y se asimila durante el día (Medrano et al., 2013).

Las principales familias que contienen una alta proporción plantas CAM son: Agavaceae, Asphodelaceae, Orchidaceae, Bromeliaceae, Aizoaceae, Didiereaceae, Cactaceae, Clusiaceae, Crassulaceae, Euphorbiaceae y Asclapiadaceae (Winter & Smith, 1996) y los géneros con mayor proporción de plantas CAM son: Bryophyllum, Kalanchoe, Sedum, Kleinia, Crassula, Aeonium, Asava, Annona, Cattleya, Epidendrum, Phalaenopsis, Mesembryanthemum, Tillandsia y Opuntia. Estas dos últimas forman parte de la vegetación desértica de Tacna (Zegarra & Chávez, 2006).

2.3.1.1 Ciclo de Calvin

El Ciclo de Calvin conocida también como el ciclo reductivo de las pentosas fosfato fue originalmente descrito para las especies C₃. Sin embargo, otras vías metabólicas se asociaron a la fijación fotosintética del CO₂ como la C₄ y CAM. En este ciclo de Calvin se distingue 3 fases: 1) la fase de carboxilación, 2) reducción y 3) regeneración (Fig. 3). En la primera fase ocurre la incorporación del CO₂ a la RuBP (ribulosa-1,5 bisfosfato) por medio de la enzima ribulosa-1,5-bisfosfato carboxilasa/oxigenasa formando 2 moléculas de 3-fosfoglicerato, primer intermediario estable en el ciclo de Calvin. En la segunda fase las moléculas 3-fosfoglicerato es reducida, formando el gliceraldehido-3-fosfato, para la síntesis de carbohidrato (sacarosa y almidón). En la tercera fase ocurre la regeneración de la RuBP, el aceptor del CO₂, en el estroma del cloroplasto (Taiz & Zeiger, 2002; Medrano et al., 2013).

El resultante del conjunto de reacciones puede sintetizarse a través de la siguiente ecuación:



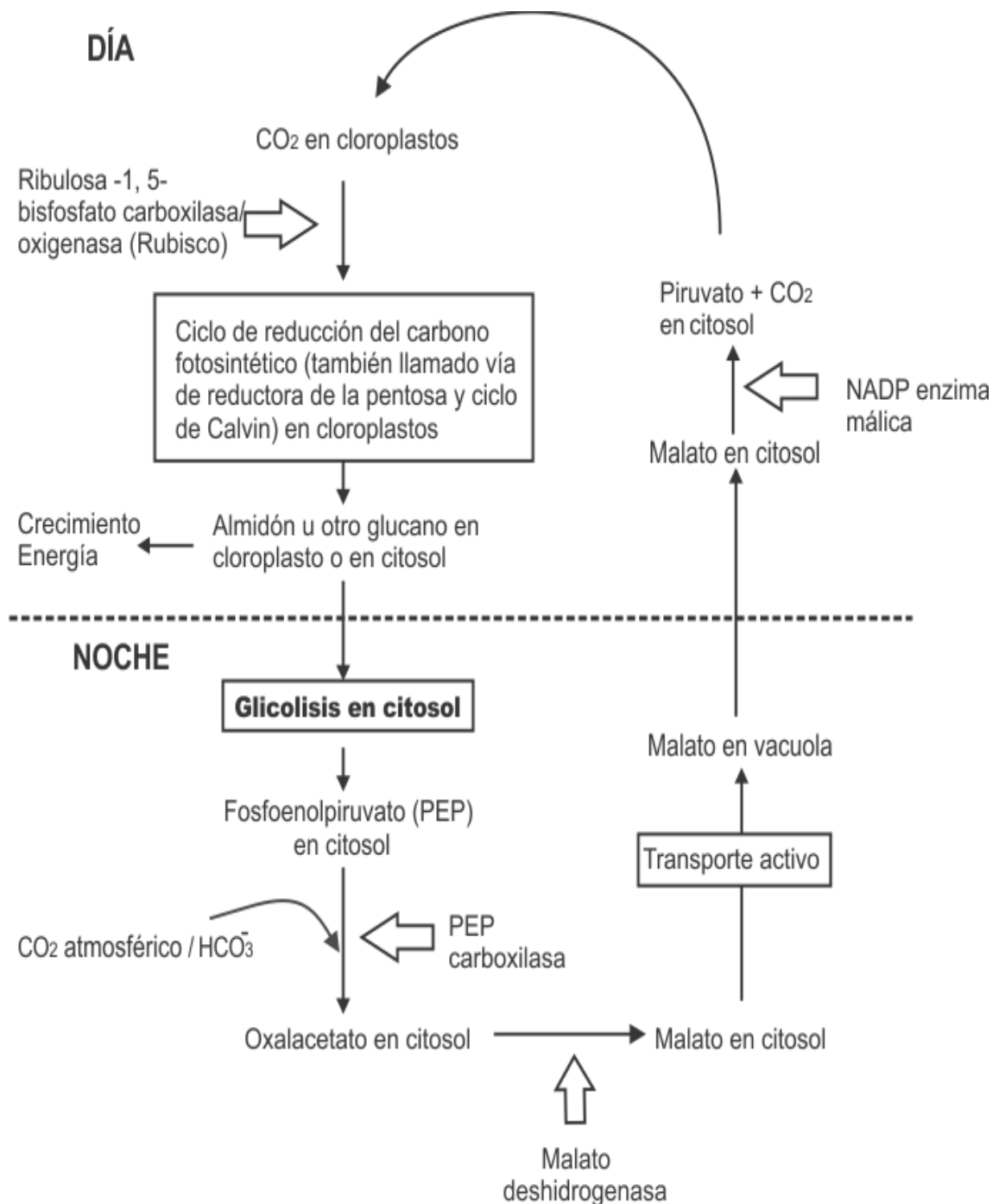


Figura 2. Esquema general del metabolismo CAM

Fuente: Nobel, 1991

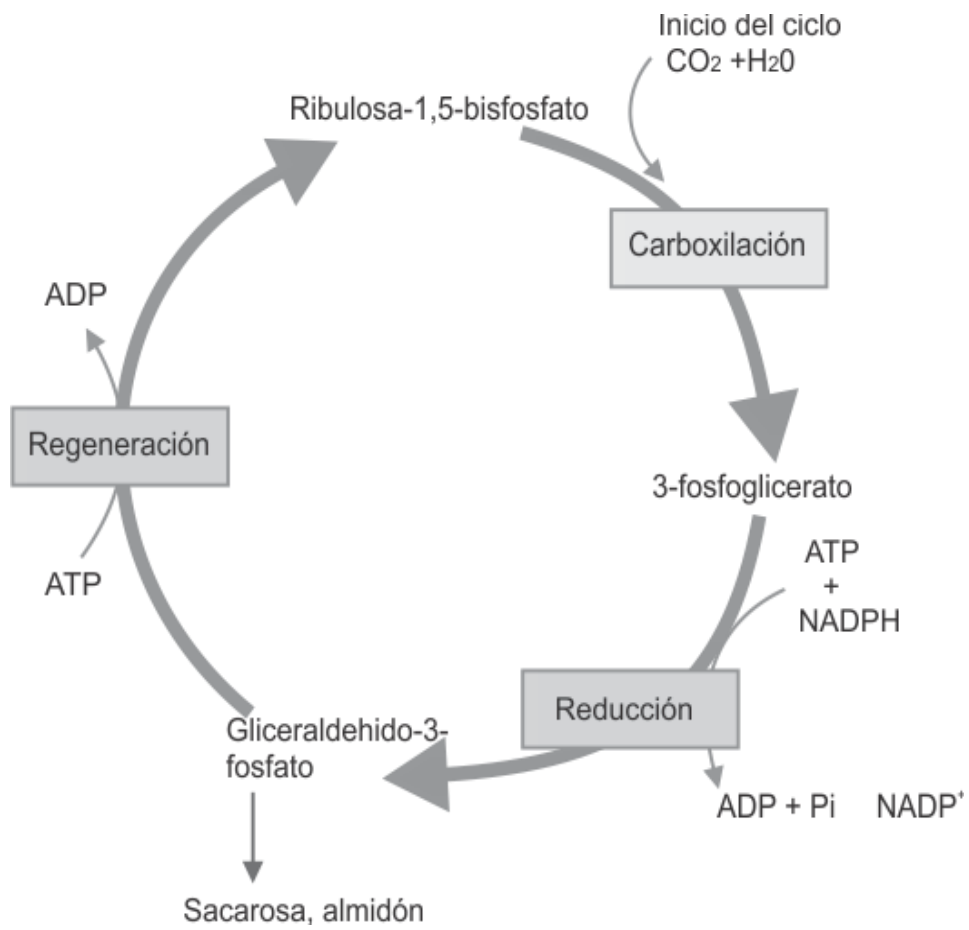


Figura 3. Los procesos del ciclo de Calvin en las etapas de carboxilación, reducción y regeneración.

Fuente: Taiz & Zeiger, 2002

Tabla 2**Principales diferencias entre las plantas C₃, C₄ y CAM**

	C₃	C₄	CAM
% de la flora mundial en número de especies	89 %	<1 %	10 %
Hábitat típico	Distribución amplia	Sitios cálidos y praderas	Sitios xerofito y epifíticos
Primer producto estable de la fijación de CO₂	PGA (ácido 3 fosfoglicérico)	Malato	Malato
Anatomía	Vaina del haz no presente o sin cloroplasto	Vaina del haz vascular con cloroplastos (Kranz)	Suculencia celular o de los tejidos
Fotorrespiración	Hasta 40% de la fotosíntesis	No detectable	No detectable
Frecuencia estomática (estomas mm⁻²)	40 - 300	100 - 160	1-8
EUA (g CO₂ fijado por kg H₂O transpirada)	1 - 3	2 - 5	10 - 40
Tasa máxima de crecimiento (g m⁻² d⁻¹)	5 - 20	40 - 50	0,2
Productividad máxima (ton ha⁻¹ año⁻¹)	10 - 30	60 - 80	Generalmente menor a 10

Fuente: Leegood, 1993

2.3.2 Características morfológicas del género *Tillandsia*

Las *tillandsia* presentan una serie adaptaciones morfológicas y fisiológica que le permite sobrevivir en ambientes de donde viven. Las principales características morfológicas que presentan son las siguientes:

- **Hojas:** Las hojas están conformadas por una vaina y una lámina foliar (Fig. 7). Estas varían de forma, tamaño y textura. En cuanto a la forma pueden ser rusuladas o fasciculada, polística o dística, entera, liguladas o subtriangulares (Macbride, 1936). Las hojas presentan una epidermis cubierta de pelos escuteliformes llamadas tricomas de morfología muy variable que actúan como bombas de succión (Türkowsky & López-Ocaña, 1983) (Fig. 4). La densidad de las mismas puede variar según la especie y dentro la misma especie en diferentes hábitats. Por lo general, son más altas en especies atmosféricas que viven en ambientes secos (32 % más tricomas/mm²) que en especies de tipo tanque que viven en ambientes húmedos (Cach-Pérez et al., 2016).

La densidad de las tricomas, en algunas especies de *tillandsia* (*T. purpurea*, *T. latifolia* var. *major*, *T. latifolia* var. *latifolia* y *T. paleaceae*), pueden alcanzar los 64 tricomas/mm² en promedio en la parte media de la hoja (Türkowsky & López-Ocaña, 1983). Las tricomas son estructuras multicelular en la epidermis de las hojas y están conformado por un grupo de 4 células centrales; las cuales están rodeadas de un anillo de 8, 16 y 32 células que forman el disco o escudo central. Este está rodeado por 64 células aladas o alas elongadas (Fig. 5). La secuencia de células en la mayoría de las *tillandsia* atmosféricas son de: 4-8-16-64 o 4-8-16-32-64 (Rauh et al., 1973).

En ambientes secos o cuando no ha existido ninguna lluvia o rocío durante mucho tiempo, las paredes de células del escudo central de las tricomas se pliegan, pero en contacto con agua, las células periféricas del escudo (células aladas) lo absorben rápidamente y las paredes de células del

escudo central empiezan a estirarse y a ampliar su volumen (Rauh et al., 1973) (Fig. 6).

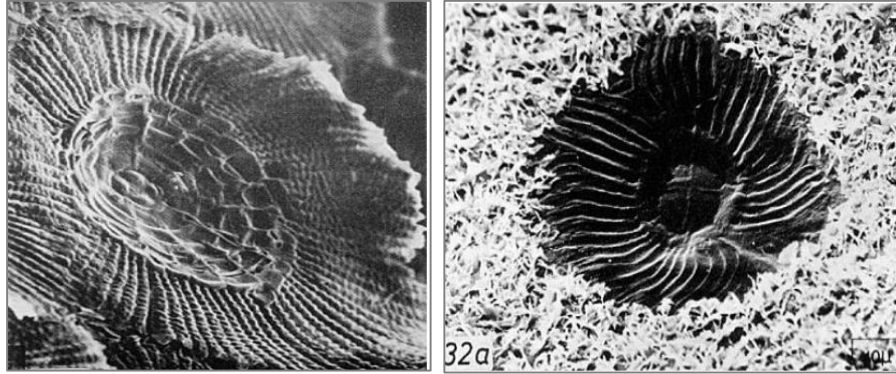


Figura 4. Imagen estereoscópica de las Tricomas de *Tillandsia hildae* RAUH y *Tillandsia rauhii* **Fuente:** Rauh et al.,1973

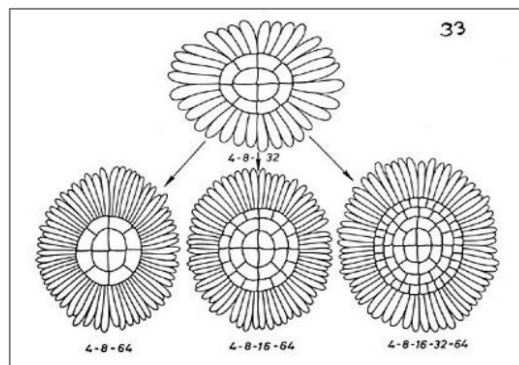


Figura 5. Variaciones en la secuencia de las células en las tricomas en las tillandsia. **Fuente:** Rauh et al.,1973

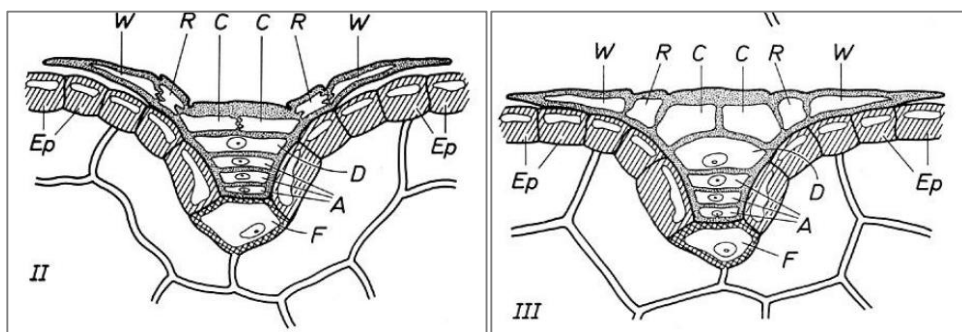


Figura 6. Vista de una tricoma sobre secciones longitudinales: II, en la condición seca y III, en la condición húmeda. C=células centrales rectangulares; W= células de ala; D= células de cubierta; A= células de absorción de agua. **Fuente:** Rauh et al.,1973

Las tricomas, además de su papel de absorción de agua y nutrientes cumple la función de fotoprotección contra la radiación solar (Benzing, 1980). Estas tricomas actúan como filtro difusivo de la luz, disminuyendo la radiación solar que llega a la superficie de la hoja (Benzing & Renfrow, 1971; Lüttge et al., 1986; Larcher, 2003 citado por Cach-Pérez et al., 2016). En las especies atmosféricas, estas tricomas pueden aumentar la reflectividad en la hoja entre un 18 y 40 % comparado con plantas sin estas estructuras (Pierce, 2007).

Las tillandsias han desarrollado diferentes formas de vida especializadas. De acuerdo a la forma, al indumento, tamaño y arreglo de las hojas, así como sus posibilidades de almacenamiento se pueden identificar 5 tipos de tillandsias (Benzing, 1980; Gardner, 1982 citado por Granados, 2005). Estas son:

- 1) **Tipo tanque.** En este grupo se incluye a aquellas que tienen la capacidad de almacenar agua y desechos. Normalmente tienen hojas anchas muy juntas y sobreponiéndose unas con otras en un tallo muy corto. Comprende a especies de hojas coriáceas, triangulares y variablemente lepidotas (p. ej.: *T. heterophylla* y *T. grandis*).
- 2) **Tipo atmosférico:** Comprende a plantas de tamaño mediano a pequeño. De hojas suculentas, densamente cubiertas de tricomas y enrolladas (p.ej.: *Tillandsia recurvata*, *T. usneoides* y *T. crocata*).
- 3) **Tipo almacenante moderado:** Incluye a planta de hojas rígidas, coriáceas, estrechamente triangulares y de escasa a moderadamente lepidotas con capacidad de almacenamiento moderada a nula (p.ej.: *Tillandsia fasciculata*).
- 4) **Tipo no almacenante:** A plantas de hojas de tipo lineares o filiformes, de vainas muy reducidas con capacidad de almacenamiento de agua nula, sin embargo, pueden almacenar hojas de árboles y desechos (p. ej.: *Tillandsia juncea*)

5) Tipo mimercofítico: Las vainas de las hojas de estas plantas se unen en sus ápices para formar un pseudobulbo y sus láminas normalmente se encuentran torcidas (p. ej.: *Tillandsia bulbosa*, *T. caput-medusae* y *T. butzii*).

- **Tallo:** En las Tillandsias se puede distinguir dos tipos de plantas las poseen tallo denominadas caulescentes, y los poseen tallos tan cortos que parece inexistente llamado acaulescente (Font Quer, 2001; Granados, 2005). En algunas especies como *T. purpurea*, *T. latifolia* y *T. paleaceae* son cortos (acaule) y están cubiertos por una vaina foliar. Tiene la función principal de acumulación de sustancias elaboradas y agua, así como la formación de nuevos brotes y raíces adventicias. (Türkowsky & López-Ocaña, 1983).

- **Raíz:** En las tillandsias del desierto las raíces son cortas, escasas y constituyen solo órgano de fijación (Weberbauer, 1945, citado por Türkowsky & López-Ocaña, 1983). Las raíces son adventicias, surgen del tallo en lugar de surgir de una raíz primaria principal (Granados, 2005). Las adventicias son más frecuentes, especialmente en *T. latifolia* var. *major* y *T. purpurea*, siendo de forma cilíndrica y de color amarillo verdoso. Las raíces embrionales son muy raras en las tillandsias (Türkowsky & López-Ocaña, 1983).

- **Propagación:** Se realiza de forma vegetativa y por semillas. Algunas especies como *Tillandsia usneoides*, *T. werdermannii*, *T. recurvata* la reproducción se realiza preferentemente de forma vegetativa, por medio de brotes separados o propágulos. Estos propágulos son diseminados por el viento para formar nuevas plantas (Rauh et al., 1973; Türkowsky & López-Ocaña, 1983; Zegarra & Chávez, 2006).

- **Tasa de crecimiento:** El crecimiento en las Tillandsias es lento y constante durante todo el año. La tasa de crecimiento es variable entre las especies de tillandsias. *Tillandsia purpurea* presenta una tasa de crecimiento promedio de 3,8 mm/semana, *T. paleaceae* de 1,5 mm/semana y *T. latifolia* var. *major* de 4 mm/semana (Türkowsky & López-Ocaña, 1983).

- **Fenología:** El desarrollo vegetativo y reproductivo se presentan en diferentes épocas del año, debido a diferencias genéticas y microclimáticas. Türkowsky & López-Ocaña (1983) identifica 6 diferentes estadios fenológicos en las tillandsias: 1) vegetativo, 2) floración y crecimiento del escapo, 3) floración, 4) fructificación, 5) maduración de semillas y diseminación, 6) esterilidad y/o aborto. Según sus resultados fenológico en las especies de Tillandsia en Cajamarquilla-Lima: *Tillandsia purpurea* florea durante los meses de junio, julio y agosto y alcanza su estado de fructificación entre setiembre y noviembre. En cambio, *Tillandsia paleaceae* alcanza el estadio de floración durante los meses de enero a marzo y *Tillandsia latifolia* var. *major* en octubre a diciembre.

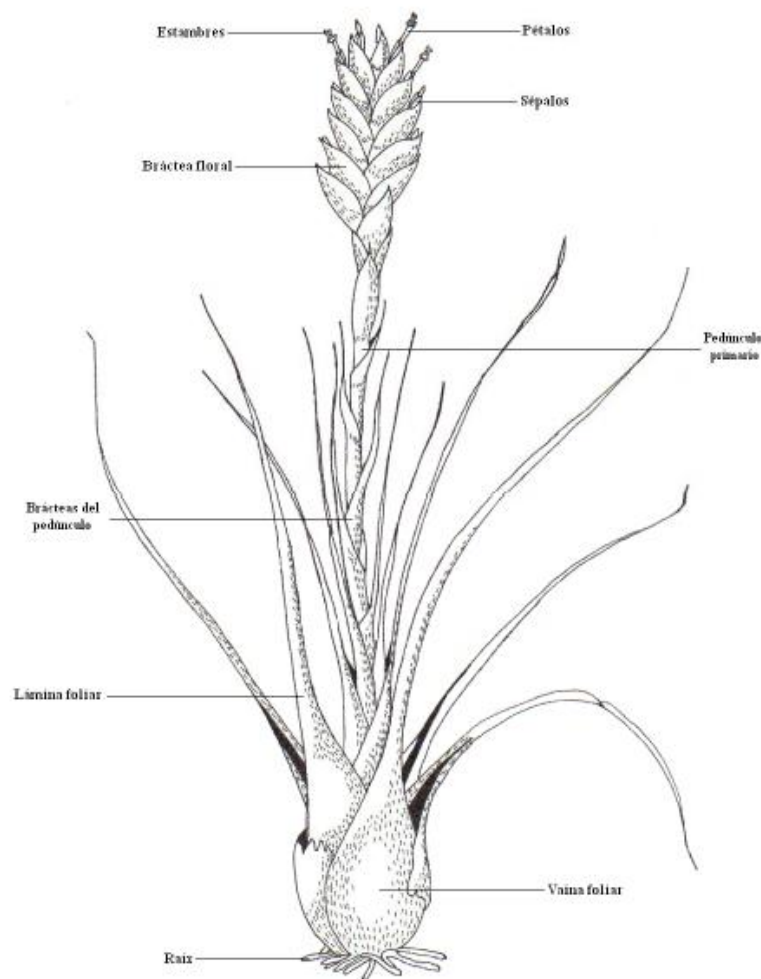


Figura 7. Morfología básica de las especies del Género Tillandsia

Fuente: Granados, 2005

2.4 Familia Bromeliaceae y el Género Tillandsia

El género *Tillandsia* pertenece a la familia de las bromeliáceas. Esta familia presenta alrededor de 3 350 especies en 56 géneros (Luther, 2012). Su distribución en el Neotrópico se extiende desde el Sur de Estados Unidos hasta el sudeste de Sudamérica (sur central de Chile y Argentina), excepto *Pitcairnia feliciana* que vive en Oeste de África (Benzing, 2000; Zizka et al., 2009) (Fig. 8). El género *Tillandsia* comprende alrededor de 450 spp. y es el más representativo de la familia Bromeliaceae (Lohmüller, 2005). En el Perú, se reconocen alrededor de 143 especies dentro de un amplio rango de ambientes entre las regiones ecológicas del país (Jorgensen et al., 2006).

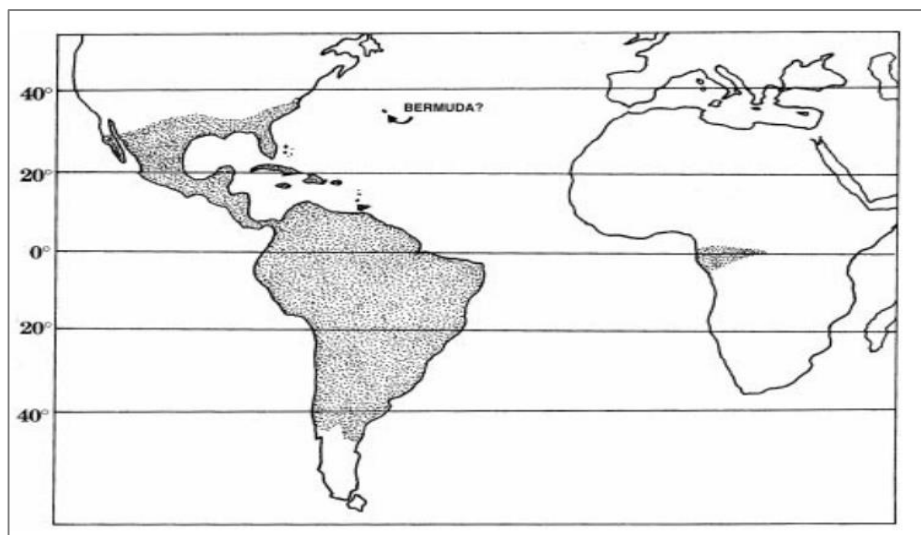


Figura 8. Distribución geográfica de las Bromeliáceas en el mundo

Fuente: Benzing, 2000

En el Perú, la familia Bromeliaceae está conformada por 19 géneros y alrededor de 450 especies (Brako & Zarucchi, 1993; Ulloa Ulloa et al., 2004 citado por León et al., 2006) de las cuales cerca de la mitad (223 spp.) son endémicas en el Perú. Los géneros que incluyen el mayor número de endemismos en la familia son la *Tillandsia*, *Puya* y *Pitcairnia* (León et al., 2006). La familia Bromeliaceae está conformada en su mayoría por plantas herbáceas, perennes, epifitas, rupícolas o terrestres (Simpson, 2006). Se

extienden desde el nivel del mar hasta las altitudes por encima de 4,000 m en desiertos y regiones húmedas (Benzing, 2000). Ecológicamente son un componente central en diversos ecosistemas, poseen adaptaciones fisiológicas diversas al estrés atmosférico y sirven como único hábitat para muchas especies de animales (Espejo-Serna et. al., 2007).

2.4.1 Tillandsiales en el Perú y en Tacna

En el Perú, los tillandsiales se encuentran distribuidas a lo largo del desierto costero desde Trujillo (8 °S) hasta Tacna (18 °S) (Türkowsky & López-Ocaña, 1983). Actualmente catorce especies de tillandsias (*Tillandsia disticha*, *T. latifolia*, *T. somnians*, *T. tragophoba*, *T. werdermannii*, *T. geissei*, *T. capillaris*, *T. landbeckii*, *T. recurvata*, *T. usneoides*, *T. marconae*, *T. paleacea*, *T. purpurea* y *T. multiflora*) han sido reportadas entre las costas de Perú y norte de Chile. Todas estas especies son consideradas epifitas, saxícola o epilíticas, de las cuales seis (*Tillandsia purpurea*, *T. latifolia*, *T. capillaris*, *T. marconae*, *T. werdermannii*, y *T. landbeckii*) son principalmente epiarénicas, es decir son capaces de crecer en arena (Rundel & Dillon, 1998). La mayoría de estas tillandsias han invadido los suelos arenosos cubriendo vastas áreas formando comunidades especializadas llamadas tillandsiales. En el Perú, son ocho especies forman estas comunidades: *Tillandsia capillaris*, *T. landbeckii*, *T. latifolia*, *T. marconae*, *T. paleacea*, *T. purpurea*, *T. recurvata* y *T. werdermannii* (Pinto et al., 2006). Estos tillandsiales representan un máximo grado de xerofitismo en la familia Bromeliáceae (*T. purpurea* y *T. werdermannii*) habitan y se reproducen en lugares desérticos donde ninguna otra planta fanerógama podría resistir a la escasez de agua (Zegarra & Chávez, 2006). En diversas partes del desierto se encuentran extensiones importantes de estas comunidades, que puede cubrir varias hectáreas y formar un ecosistema característico (Brack & Mendiola, 2000).

Estas formaciones vegetales obtienen toda su humedad de la neblina a través de hojas escamosas especializadas y utilizan un metabolismo CAM

como una adaptación fisiológica al medioambiente árido (Rundel et al.,1997). La mayoría de las especies de Tillandsias que habitan en desiertos poseen hojas relativamente estrechas cubiertas de tricomas absorbentes de agua en la superficie (Rundel & Dillon, 1998). En las tillandsias estas tricomas tiene la capacidad de reemplazar las funciones absorbentes de las raíces y cumplir otras funciones, como la fotoprotección contra la radiación solar (Benzing, 2000; Pierce et al., 2001). Y han desarrollado una plasticidad adaptativa que le permite sobrevivir en diferentes hábitats como en desiertos y bosques lluviosos (Stefano et al., 2008).

Alrededor de 4 especies de Tillandsias (*Tillandsia purpurea*, *T. landbeckii*, *T. werdermannii* y *T. capillaris*) han sido registrados en la Departamento de Tacna y se han identificado 4 zonas de tillandsiales cuyos nombres fueron puestos en referencia a la toponimia más cercana (GORET, 2007a):

- **Tillandsial del Intiorko:** Es el tillandsial más extenso del Perú. Se encuentra ubicado alrededor de la ciudad de Tacna entre los 700 y 1 300 m de altitud. Cubre una superficie aproximadamente de 400 km². Predominan dos especies *Tillandsia purpurea* y *Tillandsia werdermannii*. La *Tillandsia werdermannii*, se encuentran en planicies al norte de la ciudad cruzando la Panamericana en pampas del Intiorko, Alto de la Alianza y Loma asirume. *Tillandsia purpurea*, se encuentra en laderas y a mayores altitudes al noreste de la ciudad frente a Ciudad Nueva, Pocollay, Calana, Pachia y Calientes. En algunos sectores hay la presencia de *Tillandsia landbeckii*.

- **Tillandsial Lomas Arrojadero:** Está ubicado al norte de ciudad de Tacna en los Distritos de Inclán y Locumba en el Km 1 239 de la panamericana, 11 km al Este. Se encuentra a 1 100 m de altitud en una superficie de 36 km². Aquí predominan dos especies *Tillandsia werdermannii* en las planicies y *Tillandsia purpurea* en laderas.

- **Tillandsial de Miculla:** Está ubicado a 1 km al este de Miculla por camino a Palca a 1 300 m de altitud. Cubre menos de 1 km² y está formado exclusivamente por *Tillandsia capillaris*.
- **Tillandsial de la Quebrada de Higuera:** Este tillandsial está ubicado en laderas de exposición Sur de los cerros de la quebrada de Higuera, 6 km al Noreste de Tacna entre 1 000 y 1 200 m de altitud. Se extiende por alrededor de 4 km² está formado exclusivamente por *Tillandsia landbeckii*.

2.4.2 Taxonómica del Género Tillandsia

En el sistema de clasificación de las plantas propuesto por Cronquist (1981) el género *Tillandsia* se ubica en la familia Bromeliaceae, en el Orden Bromeliales, en la Clase Liliopsida y en la División Magnoliophyta.

Sistema de clasificación de Cronquist (1981)

Reino Plantae Haeckel, 1866

División Magnoliophyta Cronquist, Takht. & Zimmerm., 1966

Clase Liliopsida Cronquist, Takht. & Zimmerm., 1966

Subclase Zingiberidae Cronquist, 1978

Orden Bromeliales Lindl., 1833

Familia Bromeliaceae Juss., 1789

Subfamilia Tillandsioideae

Género *Tillandsia* L., 1753

Actualmente en el nuevo sistema de clasificación propuesto por el Angiosperm Phylogeny Group (APG sigla en inglés) publicada en 2003, el Género *Tillandsia* se ubica en la familia Bromeliaceae en el **Orden Poales** en el clado de los Commelinidas (APG II, 2003).

2.4.3 Descripción botánica de las especies de Tillandsias en las pampas del Cerro Intiorko de Tacna

a) *Tillandsia werdermannii* Harms, Notizbl. Bot.: Gart. Berlín- Dahlem 10: 218. 1928.

Planta perenne, de por lo menos 50 cm de longitud, de **raíces** ausentes. **Tallo** procumbente de 20 cm de longitud muy ramoso, algunas de las ramas se desprenden y sirven para la propagación vegetativa. Las **hojas** son densamente polísticas de 15 a 20 cm de longitud, densamente cinéreas, lepidotas; de vainas poco clara, por lo general menos de 3 cm de largo. Las hojas son suberecta, lineal-triangular de 10 - 15 mm de ancho, acanaladas, enrolladas, rígidas (Fig. 9). **El escapo terminal** de 20 a 30 cm de largo, de 4 mm de diámetro, liso; de **brácteas** erectas, densamente imbricadas, lanceoladas, agudas o puntiagudas, miden 5 a 8 cm de longitud, subcoriáceas, nervadas y lepidotas. La **inflorescencia** simple, lineal de 2 cm de ancho. Posee brácteas florales semejantes a las brácteas del escapo, pero lisas de 4 cm de longitud; **sépalos**, erectos, imbricados. Pedicelos muy cortos, sépalos lineal-lanceolado, agudo de 25 mm de longitud (Macbride, 1936, Zegarra & Chávez, 2006).

- **Hábito y formas de vida:** Terrestre (epiarénica).
- **Hábitat:** Laderas, colinas y dunas arenosas entre los 650 - 1 200 m s.n.m.
- **Distribución geográfica:** Perú, Tacna (endémica del Perú).
- **Estado de conservación:** Especie amenazada, categorizada “En peligro (EN)” de extinción según el D.S N° 043-2006-AG; B1ab(iii) definido en base a los criterios IUCN, 2001 versión 3.1.



Figura 9. *Tillandsia werdermannii* “Siempre viva”

Fuente: Elaboración propia, 2016

b) *Tillandsia purpurea* Ruiz & Pavon. Fl.3:41 pl. 270, f.a.1802, *T. azurea* Presl, Rel. Haenk. 1:124. pl.24. 1827. *T. longibracteata* Meyer, Reise 438. 1843., in synom. *Anoplophytum longibracteatum* Beer, Brom. 264. 1857. *Platystachys purpurea* Beer, Brom. 89. 1857. *Phytarhiza purpurea* E. Morr. Ex Baker, Brom. 167. 1889.

Planta perenne de tamaño muy variable. **Tallo:** acaulescente o caulescente de hasta 70 cm de longitud. **Hojas** rusuladas o distribuidas a lo largo del tallo, polísticas, de 10-20 cm de longitud, cinéreas, densamente tomentosas-lepidotas; vainas no diferenciadas; hojas estrechamente triangular de 14 mm de ancho (Fig. 10). **Escapo** delgado, erecto, variable en longitud, con brácteas imbricadas, estrechamente elípticas, filiformes, laminadas, densamente lepidotas. **Influorescencia** bipinnada; con brácteas lanceoladas, agudas, lepidotas, purpura, corto que la espiga. **Espiga** laxa de 7 flores, lanceoladas; raquis articulado, descubierto. **Brácteas florales** subextendidas, lanceoladas, aguda de 15-20 mm de longitud, exceden ligeramente a los sépalos. **Flores** pediceladas, sépalos lanceolados, glabros; pétalos purpura o azul y blanco (Macbride, 1936, Zegarra & Chávez, 2006).

- **Hábito y formas de vida:** Terrestre (epiarénica).
- **Hábitat:** Suelo arenosos, laderas, colinas y dunas arenosas entre los 0-3 000 m s.n.m.
- **Distribución geográfica:** Ecuador y Perú: Amazonas, Huánuco, Lima, Junín, Arequipa, Ancash, Apurímac, Cajamarca, Moquegua, Ica, Tacna y La libertad.
- **Estado de conservación:** No amenazada (D.S N° 043-2006-AG).



Figura 10. *Tillandsia purpurea*

Fuente: Elaboración propia, 2016

c) *Tillandsia landbeckii* Philippi, Linnaea 33: 248. 1864. *T. recurvata* Auct., not L. 1762.

Planta de una altura de 30 cm de longitud cuando está en floración. **Tallos** densamente agrupados de 20 cm de longitud. Las **raíces** presentes. De **hojas** dísticas de 6-12 cm de longitud, densamente cinéreas, lepidotas; vaina laxamente imbricada; hojas lineales (Fig. 11). **Escapo** terminal, delgado,

densamente cinéreas-lepidotas, con brácteas de 2 o 3 inmediatamente debajo de la inflorescencia, lineal, lanceolada, densamente lepidota. **Inflorescencia** de 1-2 flores. **Brácteas florales** semejante a las brácteas del escapo, igual a los sépalos. **Sépalos** elípticos, agudo de 1 cm de longitud, delgado, lepidotas. Pétalos amarillos (Macbride, 1936; Türkowsky, 1976).

- **Hábito y formas de vida:** Terrestre (epiarénica).
- **Hábitat:** Suelos arenosos, laderas, colinas y dunas arenosas entre los 0 - 2 500 m s.n.m.
- **Distribución geográfica:** Ecuador, Perú y Norte de Chile.
- **Estado de conservación:** No amenazada (D.S N° 043-2006-AG).



Figura 11. *Tillandsia landbeckii*

Fuente: Elaboración propia, 2016

2.5 Servicios de los ecosistemas

Los ecosistemas son multifuncionales y proveen a la sociedad un amplio rango de servicios ecosistémicos vitales (Olalde, 2010). Estos servicios son los beneficios que la gente obtiene de los ecosistemas que incluyen los servicios de provisión (alimento, agua, madera y fibra), de apoyo (formación de suelo, ciclo de nutrientes y fotosíntesis), de regulación (regulación del clima, agua, enfermedades y desechos) y servicios culturales (recreación, espirituales y estéticos) (MA, 2005) (Tabla 3).

Los tillandsiales son ecosistemas permanentes que proveen importantes servicios ambientales a la sociedad como combustible (leña), protección de suelos, fijación de carbono, recreación, ecoturismo y entre otros servicios esenciales. Se han registrado, en algunas especies, su uso con fines medicinales como remedio para combatir determinadas enfermedades comunes como: la tos, bronquitis, reumatismo e infecciones al ojo. Tienen una gran variedad de usos (forraje arreglos florales y adornos), pero su principal uso es como planta ornamental (Granados, 2005; Orozco et al., 2011).

Estos tillandsiales pueden ser utilizados como bioindicadores a los cambios climáticos (p.e. *Tillandsia landbeckii*), debido a sus relaciones altamente específicas con su hábitat y su dependencia a la humedad de las neblinas (Rundel et al., 1997) y pueden ser un buen modelo de estudio para identificar posibles efectos del cambio climático a nivel regional, debido a su dependencia a la disponibilidad de agua y a la rápida respuesta fisiológica ante variaciones ambientales (Cach-Pérez et al., 2014) y además pueden ser buenos indicadores de la presencia de niebla en ambientes desérticos costeros (Cereceda et al., 1999).

Tabla 3

Los servicios de provisión, regulación, culturales y de apoyo de los ecosistemas analizados en el marco de la evaluación de los ecosistemas del milenio.



Fuente: Millennium Ecosystem Assessment (2005): Ecosystems and Human Well- Being: synthesis.

2.5.1 Regulación climática de los ecosistemas

Los ecosistemas son actualmente un sumidero neto de CO₂ y de ozono troposférico y una fuente neta de CH₄ y NO₂. Los ecosistemas terrestres, en promedio, fueron durante el siglo XIX y los primeros años del siglo XX una fuente neta de emisiones de CO₂, pero alrededor de la mitad del siglo pasado se convirtieron en sumideros netos; y en los últimos 50 años, el papel de los ecosistemas en la regulación del clima mundial mediante la captura de carbono ha aumentado (MA, 2005).

Los factores contribuyentes en el crecimiento del papel de los ecosistemas en el secuestro de carbono incluyen la repoblación forestal, reforestación, y manejo de los bosques en América del Norte, Europa, China, y

otras regiones (MA, 2005). El servicio de almacenamiento de carbono que proporcionan los bosques del mundo es vital para la estabilización del clima. Los bosques tropicales almacenan la mayor parte del carbono (Chave et al., 2008; Lewis et al., 2009; Mahli et al., 2006; PNUMA, 2010 citado por WWF, 2012). Se estima que los bosques del mundo almacenan más de 650 Gt de carbono y solo en su biomasa se estima que almacena unos 296 Gt de carbono (45%). Los bosques contienen más carbono que la atmósfera entera. Las mayores densidades de carbono se encuentran en los bosques de América del Sur y de África occidental y central, que encierran alrededor de 120 toneladas de carbono por hectárea solamente en la biomasa viva. El promedio mundial es cercano a las 74 toneladas por hectárea (FAO, 2010, FAO, 2015).

Durante los últimos 25 años las existencias de carbono de la biomasa forestal se han reducido en casi 11,1 Gt, lo que equivale a una disminución de 442 millones de toneladas por año o a aproximadamente 1,6 Gt de dióxido de carbono (CO₂). Esta reducción se debe principalmente a los cambios en las existencias de carbono, que son el resultado de la transformación de las tierras forestales en tierras agrícolas y en asentamientos humanos y de la degradación de las tierras forestales (FAO, 2015).

La deforestación y degradación forestal generan actualmente más del 20 por ciento de las emisiones antropogénicas de CO₂. Esto hace que la conservación de bosques sea una estrategia fundamental en los esfuerzos globales para reducir drásticamente las emisiones de gases de efecto invernadero (WWF, 2012).

2.6 Cambio climático y gases de efecto invernadero (GEI)

El cambio climático es considerado una de las amenazas más serias para el medio ambiente global, que según se prevé tendrá un impacto negativo sobre la salud de los seres humanos, su seguridad alimenticia, la actividad económica, el agua y otros recursos naturales e infraestructura física (Euguren,

2004). Según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) el “cambio climático” lo define como una variación del estado del clima identificable en las variaciones del valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos períodos de tiempo, generalmente decenios o períodos más largos y puede deberse a procesos internos naturales, a forzamientos externos o a cambios antropógenos persistentes de la composición de la atmósfera o del uso de la tierra. (IPCC, 2007). Y es sumamente probable (con una probabilidad superior al 95 %) que la influencia humana en el clima ha sido la causa dominante de más de la mitad del aumento observado en la temperatura superficial media global en el periodo 1951-2010, lo que ha originado el calentamiento de los océanos, la fusión de hielo y nieve, la elevación del nivel del mar y cambios en algunos extremos climáticos en la segunda mitad del siglo XX (IPCC, 2014b).

El calentamiento global y los subsecuentes cambios en el clima actual se deben a la acumulación en la atmósfera de gases de efecto invernadero (GEI) como el vapor de agua, el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4), el óxido nitroso (N_2O), el hexafluoruro de azufre (SF_6) y los clorofluorocarbonos (CFC) (PNUMA-ORPALC / FS-UNEP Centre, 2014). Entre los principales GEI, el dióxido de carbono (CO_2) es el gas de efecto invernadero antropógeno más importante.

La concentración de dióxido de carbono (CO_2) en la atmósfera ha aumentado por la actividad humana, fundamentalmente por el uso de combustibles fósiles y por la deforestación, con una menor contribución de la producción de cemento (IPCC, 2014a). Según las estimaciones más recientes las emisiones de gases de efecto invernadero alcanzaron en el 2017 los 53,5 Gt $\text{CO}_2\text{eq.}$, lo que representa un aumento de 0,7 Gt $\text{CO}_2\text{eq.}$ con respecto al año 2016. Las emisiones de GEI -sin considerar los procedentes del cambio de uso de tierra- alcanzaron una cifra record de 49,2 Gt $\text{CO}_2\text{eq.}$, lo que representa un incremento 1,1 % con respecto al año anterior (UNEP, 2018). El CO_2 sigue siendo el principal gas de efecto invernadero antropógeno y en el 2010

representó el 76 % de las emisiones antropógenas totales de gases de efecto invernadero, seguida del metano (CH₄) con 16 %, óxido nitroso (N₂O) con 6,2 %, y los gases fluorados con 2,0 % (IPCC, 2014b). En el 2017, las emisiones globales totales de CO₂ procedente del uso de combustibles fósiles y cambio de uso de tierra alcanzaron los 41,2 ± 2,8 Gt CO₂. Para el 2018 se proyecta que las emisiones de CO₂ fósiles se incrementen en 2,7 % que respecto al año anterior (Le Quéré et al., 2018). Este incremento de las emisiones GEI en la atmósfera ha llevado a que la temperatura media global de la superficie de la tierra se incremente a 0,87 °C durante el periodo 2006-2015 (IPCC, 2018) y en los últimos cinco años (2014-2018) en 1,04 ± 0,09 °C de los niveles preindustriales (WMO, 2018)

Si los países asumieran sus compromisos de contribución a la mitigación (CDN incondicional) se esperaría que las emisiones mundiales de GEI alcanzarán los 54 Gt CO₂eq. (rango de: 53 a 58) en 2025 y 56 Gt CO₂eq. (rango de: 54 a 59) en 2030. La disparidad entre los niveles de emisiones alcanzaría los 15 Gt CO₂eq en 2030 hacia la meta de 2 °C. Si se implementan plenamente los compromisos de contribuciones determinadas a nivel nacional (CDN) condicionales la disparidad de las emisiones en 2030 se reduciría a 13 Gt CO₂eq. Y hacia la meta de 1,5 °C la disparidad se ubicaría en 32 Gt CO₂eq. y 29 Gt CO₂eq. respectivamente (PNUMA, 2015; UNEP, 2018).

En el Perú, en el año 94 el total de emisiones y captura de GEI alcanzó los 98 816 Gg de CO₂eq. En ese periodo, la principal fuente de emisión de GEI en el país se atribuyó a la deforestación (CONAM, 2001). En el año 2000 el total de emisiones/remociones de GEI a nivel nacional alcanzó las 120 023 Gg de CO₂eq. (MINAM, 2010a). Y en el último inventario nacional de gases de efecto invernadero (INGEI) realizado en el 2012, las emisiones y remociones de GEI en el país ascendieron a 171 310 Gg CO₂ eq. Esta cifra representó un incremento de 41,77 % con respecto al año 2000 excluyendo al Uso de suelo, Cambio de uso del suelo y Silvicultura (USCUSS). Según el inventario nacional de GEI, el Perú genera solo en emisión 187 534 Gg CO₂eq. donde más de

mitad (54,9 %) proviene de la categoría USCUSS. De las emisiones, el dióxido de carbono representó el 76 % (130 871 Gg CO₂ eq.) de las emisiones totales en el año 2012, seguido del metano con 15 % (25 615 Gg CO₂ eq.) y óxido nitroso con 9 % (14 823 Gg CO₂ eq.). La principal fuente de emisiones de GEI a nivel nacional se encontró en la categoría de Uso del suelo, Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura con 86 742 Gg CO₂ eq. lo que representó el 51% de total de emisión nacional. La principal fuente de emisiones en esta categoría se encontró principalmente de la conversión de bosques y pasturas (79 772 Gg CO₂ eq.). El sector forestal sigue siendo la principal fuente de emisiones de GEI en el Perú.

Según las últimas proyecciones de emisiones de GEI en el Perú, en el año 2030, alcanzarían un total de 298,3 millones de t CO₂eq. de las cuales 158,9 millones de t CO₂eq. estarían asociadas al sector Uso del suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura. Estas emisiones se producirían si se continua con el actual ritmo y de tendencia de las emisiones nacionales (MINAM, 2016).

Las emisiones de GEI en el Perú representan menos 1 % de las emisiones mundiales. Sin embargo, el Perú ha presentado ante la CMNUCC su compromiso de reducción (CPDN) sus emisiones de Gases de Efecto Invernadero en 30 % con respecto a la proyectadas para el año 2030 (298,3 Mt CO₂ eq.), lo que representa una reducción de 89,4 millones de t CO₂ eq. Se esperaría que el 67,8 % de las reducciones de emisiones propuestas provengan del sector de uso de suelo y silvicultura donde el sector forestal representa el 40 % del total de reducción de emisiones (Pulgar, 2015; MINAM, 2016).

2.6.1 Compromisos del Perú sobre el cambio climático

El Perú suscribió y ratificó varios acuerdos internacionales en relación al Cambio Climático como la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) en el año 1993, Protocolo de Kyoto en 1997 y el

Acuerdo de París en el 2016. En la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo (CNUMAD) celebrado en rio de janeiro, Brasil en el 1992, el Perú y los demás de países del mundo adoptaron la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y se comprometieron alcanzar los objetivos de la convención que es de estabilizar las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático (UNFCCC, 1992).

El Perú y los países Partes de la Convención, de conformidad a las responsabilidades comunes pero diferenciadas y sus capacidades respectivas, se comprometieron:

- a) Elaborar y actualizar periódicamente inventarios nacionales de las emisiones antropógenas por las fuentes y absorción por los sumideros de todos los gases de efecto invernadero.
- b) Formular y aplicar programas nacionales y regionales orientadas a mitigar el cambio climático.
- c) Tener en cuenta al cambio climático en sus políticas y medidas sociales, económicas y ambientales.
- d) Promover la gestión sostenible y promover y apoyar con su cooperación la conservación y el reforzamiento, según proceda, de los sumideros y depósitos de todos los gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal, inclusive la biomasa, los bosques y los océanos, así como otros ecosistemas terrestres, costeros y marinos.

Por otra parte, los países desarrollados y los demás países incluidas en el anexo I se comprometen a adoptar políticas nacionales y a tomar medidas de mitigación del cambio climático, limitando sus emisiones antropógenas de gases de efecto invernadero (UNFCCC, 1992).

En la conferencia de las partes (COP-3) celebrada el 11 de diciembre del 1997, Kyoto, Japón, los países desarrollados y los países en transición a una economía de mercado incluidas en el Anexo I de la CMNUCC adoptaron el protocolo de Kyoto y se comprometieron a limitar y a reducir el total de sus emisiones de: dióxido de carbono (CO₂), Metano (CH₄), Óxido nitroso (N₂O), Hidrofluorocarbonos (HFC), Perfluorocarbonos (PFC), Hexafluoruro de azufre (SF₆) a un nivel inferior en no menos de 5 % al de 1990 en el periodo comprendido entre el 2008 y 2012. Las metas de reducción de cada país se encuentran establecidas en el anexo B en el protocolo de Kyoto.

Para efectos de cumplir con los compromisos de reducir de emisiones de GEI el protocolo estableció tres mecanismos: El comercio de emisiones, el mecanismo de implementación conjunta y el mecanismo para un desarrollo limpio. Este tercer mecanismo tiene como propósito ayudar a los países en desarrollo a lograr un desarrollo sostenible y ayudar a los países desarrollados a cumplir con sus metas de reducción la emisión de GEI. Permite a los países no incluidas en el Anexo I de convención se beneficien económicamente a través de proyectos que tengan por resultado reducciones certificadas de emisión. Los países desarrollados podrán utilizar las reducciones certificadas de emisiones para el cumplimiento de una parte de sus compromisos la cual deberá ser certificada por las entidades operacionales que designe la Conferencia de las Partes (UNFCCC, 1998).

En la Conferencia de la Partes (COP-21) celebrada el 12 de diciembre del 2015, Paris, Francia, se aprobó un nuevo acuerdo mundial sobre el cambio climático en el Marco de la Convención con el objetivo de reforzar la respuesta mundial ante la amenaza del cambio climático. Este nuevo acuerdo climático tiene como meta: a) mantener el aumento de la temperatura media mundial por debajo de 2 °C con respecto a los niveles preindustriales y avanzar en los esfuerzos para limitar ese aumento a 1,5 °C b) aumentar la capacidad de adaptación a los efectos adversos del cambio climático y c) elevar el apoyo financiero hacia los países en desarrollo. Entre las disposiciones establecidas

en el Acuerdo se dispone la realización un “Balance Mundial” para determinar el avance colectivo en el cumplimiento de su propósito y sus objetivos de largo plazo. El primer balance se efectuará en 2023 y se elaborará a partir de la fecha cada 5 años. El Acuerdo entrará en vigencia a partir de enero del 2020 (UNFCCC, 2015).

2.6.2 Instrumentos políticos sobre la gestión GEI en el Perú

El Perú, en el marco de sus compromisos ante la CMNUCC, ha incorporado en su política ambiental diversos lineamientos de política en materia de mitigación y adaptación al cambio climático la cuales definen y orientan las acciones en materia ambiental en el País. Además, se han establecido diversos instrumentos en el marco de la gestión ambiental y para la gestión de los Gases de Efectos Invernaderos en el Perú (MINAM, 2015; MINAM, 2016).

Los 5 lineamientos de políticas en materia de mitigación y adaptación al cambio climático en la Política Ambiental son:

- a) Incentivar la aplicación de medidas para la mitigación y adaptación al cambio climático con un enfoque preventivo, considerando las particularidades de las diversas regiones del país.
- b) Establecer sistemas de monitoreo, alerta temprana y respuesta oportuna frente a los desastres naturales asociados al cambio climático, privilegiando a las poblaciones más vulnerables.
- c) Fomentar el desarrollo de proyectos forestales, manejo de residuos sólidos, saneamiento, usos de energías renovables y otros, para contribuir en la mitigación de los efectos del cambio climático.
- d) Conducir los procesos de adaptación y mitigación al cambio climático difundiendo sus consecuencias, así como capacitar a los diversos actores sociales para organizarse.

e) Promover el uso de tecnologías adecuadas y apropiadas para la adaptación al cambio climático y mitigación de gases de efecto invernadero y de la contaminación atmosférica.

2.6.2.1 Instrumentos marco sobre la gestión ambiental

Para lograr una eficiente gestión de las emisiones GEI se han implementado diversos instrumentos que se articula con otras que componen el ámbito de la gestión ambiental tales como:

- a) Acuerdo Nacional (Suscrito el 22 de julio de 2002)
- b) Ley General del Ambiente (Ley N° 28611)
- c) Ley Orgánica de Gobiernos Regionales (Ley N° 27867 y su modificatoria)
- d) Marco macroeconómico multianual-MMM
- e) Política Nacional Ambiental (D.S. N° 012-2009-MINAM)
- f) Plan Nacional de Acción Ambiental PLANAA 2011-2021 (D.S. N° 014-2011-MINAM)
- g) Plan Bicentenario: el Perú hacia el 2021 (D.S. N° 054-2011-PCM)
- h) Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental (Ley N° 28245)
- i) Ley de Creación del Sistema Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres - SINAGERD (Ley N° 29664)
- j) Agenda Nacional de Acción Ambiental
- k) Política Nacional de Modernización de la Gestión Pública al 2021

2.6.2.2 Documentos específicos sobre la gestión del cambio climático

En el marco de la gestión del cambio climático se ha establecido diversos planes y estrategias para una eficiente gestión en el País. A continuación, se describe los principales instrumentos y documentos específicos que se han desarrollado para la gestión del cambio climático en el Perú:

a) Primera comunicación nacional sobre el cambio climático

La primera comunicación nacional fue presentada en 2001 y contiene los resultados del primer inventario nacional de GEI realizado en el Perú del año 1994. Esta comunicación tiene como objetivo informar a la comunidad sobre las emisiones y captura de Gases de Efecto Invernadero en el Perú y de los avances en materia de adaptación y mitigación al cambio climático en el País. (CONAM, 2001).

b) Estrategia nacional de cambio climático (ENCC)

Fue aprobada mediante el D.S. N° 011-2015-MINAM. Es un instrumento orientador que promueve las acciones nacionales referente al cambio climático. La ENCC proporciona los objetivos estratégicos nacionales, los indicadores y las líneas de acción para que cada entidad elabore sus planes de acción en cambio climático (MINAM, 2015).

c) Segunda comunicación nacional sobre el cambio climático

Fue presentada en 2010 e informa a los países partes de la convención sobre las emisiones y niveles de captura de GEI el año 2000 (año base) y sobre los avances en la gestión del cambio climático en materia de adaptación y mitigación en el Perú (MINAM, 2010a).

d) Plan de acción de adaptación y mitigación frente al cambio climático (PAAMCC):

El plan describe las propuestas del Ministerio del Ambiente para programas, proyectos y acciones prioritarias de corto y mediano plazo en relación al cambio climático (MINAM, 2010b).

e) Plan de gestión de riesgos y adaptación al cambio climático en el sector agrario, periodo 2012-2021 (PLANGRACC)

Es un Instrumento de gestión que proporciona estrategias, lineamientos de política, propuestas y acciones consensuadas con las regiones para la reducción de los riesgos, vulnerabilidades, generación de resiliencias y desarrollo de medidas de adaptación al cambio climático en el sector agrario (MINAM, 2015).

f) Estrategias regionales de cambio climático (Ley N° 27867)

La Ley Orgánica de los Gobiernos Regionales, Ley N° 27867, establece la obligación de los gobiernos regionales de formular, coordinar, conducir y supervisar las estrategias respecto al cambio climático dentro del marco de las estrategias nacionales (inciso c) del art.53º, Ley N° 27867. Desde su promulgación 12 regiones que cuentan con una estrategia regional de cambio climático: Junín, Amazonas, Arequipa, Loreto, Piura, Ayacucho, Lambayeque, Cusco, Apurímac, La libertad, Puno y Cajamarca.

g) Informe de la comisión multisectorial (aprobada mediante la Resolución N° 189-2012-PCM)

La comisión multisectorial elabora propuestas normativas y políticas orientadas a mejorar las condiciones ambientales y sociales desde las que se desarrollaran las actividades económicas, especialmente las industrias extractivas (MINAM, 2015).

h) Tercera comunicación nacional sobre el cambio climático

Fue presentada en 2015 e incluye los resultados de los inventarios de las emisiones GEI realizado del año 2012 y medidas formuladas, adoptadas e implementadas por el Perú para la gestión y planificación de la reducción de

emisiones de GEI y adaptación al cambio climático, incluyendo aspectos normativos (MINAM, 2016).

i) Ley N° 30754 Ley Marco sobre el Cambio Climático

La presente ley establece los principios, enfoques y disposiciones para la gestión integral del cambio climático en el País. Esta ley marco define las competencias y funciones de las autoridades competentes en materia del cambio climático, en las medidas de adaptación y mitigación y establece los instrumentos de gestión y el financiamiento climático.

2.6.2.3 Avances en la gestión de los GEI en el sector forestal

En el sector forestal ha mostrado grandes avances en la gestión de los GEI. Estos avances incluyen aspectos normativos e institucionales. En la parte normativa se ha establecido la nueva Ley forestal y de Fauna Silvestre (Ley N° 29763) y su reglamento, una Política Nacional Forestal y Fauna Silvestre; y a nivel institucional se ha creado el Servicio Nacional y Fauna Silvestre (SERFOR) y el Sistema Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SINAFOR). Se han implementado varios programas e iniciativas en el marco de la gestión de las emisiones de los GEI a nivel nacional y entre las cuales se destaca:

- a) Programa Nacional de Conservación de Bosques para la Mitigación del Cambio Climático (PNCBMCC)
- b) Estrategias Nacional sobre Bosques y Cambio Climático (ENBCC)
- c) Ley de Mecanismo de Retribución por Servicios Ecosistémicos
- d) Pacto Nacional por Madera Legal
- e) Iniciativa 20x20
- f) Inventario Nacional Forestal
- g) Plan Nacional de Reforestación
- h) Programa ONU-REDD
- i) Programa de Inversión Forestal

2.6.3 Opciones de mitigación de la emisión de carbono en la atmosfera en el sector forestal

Las medidas de mitigación están encaminadas a reducir las emisiones de GEI o a potenciar los sumideros que absorben estos gases de efecto invernadero (IPCC, 2007). Existen tres opciones básicas para reducir la emisión de carbono desde el sector forestal: Estas son mediante la conservación, reforestación, forestación y sustitución (De Jong, et al., 2004).

- a) La conservación.** Esta opción consiste en conservar los bosques naturales y los stocks de carbono, evitando la quema y la emisión de carbono (CO₂) hacia la atmosfera.

- b) La reforestación y forestación.** Consiste en recuperar áreas degradadas mediante acciones de protección de cuencas, reforestación urbana, la restauración y plantaciones forestales.

- c) La sustitución.** Consiste en sustituir los productos industriales por aquellos hechos de madera y sustituir combustibles fósiles por combustibles renovables.

2.7. Marco legal y demás Instrumentos que promueven la conservación del Tillandsial del Intiorko de Tacna

Hasta la fecha, se tiene un marco normativo y herramientas de gestión que promueven la protección y la conservación de esta comunidad en la región. Se han desarrollado importantes avances para su conservación a través de implementación de planes y proyectos de conservación.

El marco legal y otros instrumentos de gestión se describe a continuación:

2.7.1 A NIVEL NACIONAL

a) Constitución Política del Perú 1993 (Artículo 66º y 68º)

Los recursos naturales son patrimonio de la Nación y que el Estado está obligado a promover la conservación de la diversidad biológica y de las áreas naturales protegidas.

b) Ley N° 26839, Ley sobre la conservación y aprovechamiento sostenible de la diversidad biológica (artículo 4º, 5º y 13º)

El Estado es soberano en la adopción de medidas para la conservación y utilización sostenible de la diversidad biológica. Promueve la priorización de acciones de conservación de ecosistemas, especies y genes, privilegiando aquellos de alto valor ecológico, económico, social y cultural identificados en la Estrategia Nacional sobre Diversidad Biológica a que se refiere el Artículo 7º de la presente ley. El Estado promueve el establecimiento e implementación de mecanismos de conservación in situ de la diversidad biológica, tales como la declaración de Áreas Naturales Protegidas y el manejo regulado de otros ecosistemas naturales, para garantizar la conservación de ecosistemas, especies y genes en su lugar de origen y promover su utilización sostenible.

c) El D.S. N° 043-2006-AG que decreta la aprobación de la categorización de especies amenazada de flora silvestre.

La norma aprueba la categorización de las especies amenazadas de flora silvestre en el Perú en base a los criterios y categorías de IUCN. En esta lista *Tillandsia werdermannii* se encuentra clasificada y categorizada En Peligro (EN) de extinción. Esta especie forma parte del tillandsial en el Intiorko que es considerada una de las comunidades de tillandsiales más extensa del Perú.

2.7.2 A NIVEL REGIONAL

En el marco de sus competencias y funciones el Gobierno Regional de Tacna ha desarrollado a través de la Gerencia Regional de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente una serie de mecanismos e instrumentos de gestión para la conservación de determinados ecosistemas en la región. Con este propósito el Gobierno Regional ha desarrollado; a) una base legal para gestionar la diversidad biológica en su territorio, b) el fortalecimiento de la institucionalidad ambiental y c) los estudios de investigación de la flora y fauna amenazada en la región. Asimismo, cuenta con tres planes regionales para la conservación de flora, aves y mamíferos (SERNANP, 2014).

a) La Ordenanza Regional N° 028-2009-CR/GOB.REG.TACNA que fue modificada por la Ordenanza regional N° 036-2009-CR/GOB.REG. TACNA, la cual declara de interés y patrimonio regional las especies de flora en región de Tacna e incluye entre otras especies a *Tillandsia werdermannii* como patrimonio regional por encontrarse en Peligro de Extinción en la región.

b) Proyecto SNIP N° 12597 Zonificación Ecológica, Económica de Tacna. Eje temático Biodiversidad y Ecosistemas (2007). Gerencia de Recursos Naturales y Gestión de Medio Ambiente, Gobierno Regional de Tacna. La zonificación ecológica y económica es un instrumento de gestión que sirve para identificar opciones de uso sostenible de un territorio a fin de que se establezca mejores usos del mismo.

c) La Ordenanza Regional N° 012-2011-CR/GOB.REG.TACNA que Crea el Sistema Regional de Áreas Naturales Protegidas de Tacna (SIRANP). Es un instrumento de gestión para la conservación de la diversidad biológicas y tiene como finalidad asegurar la continuidad de los procesos ecológicos y evolutivos, dentro de áreas suficientemente extensas y representativas de cada una de las unidades ecológicas de la región.

d) Ordenanza Regional N° 012-2011-CR/GOB.REG.TACNA que identifica 8 sitios prioritario de conservación -SPC en la región Tacna.

El gobierno regional de Tacna ha identificado y ha propuesto 8 sitios prioritarios de conservación regional. Entre los 8 sitios prioritarios, el Tillandsial del Intiorko se encuentra considerado dentro uno de ellos.

Los nuevos sitios prioritarios de conservación propuesto son: Quebrada de burros, Lomas de Tacahuay, Tillandsiales de Intiorko, Valle de Cinto, Cabecera de la Cuenca del Caplina, Bofedales de Huaytire, Zona Baja de Candarave y Alto Perú- Tripartito.

e) Expediente técnico: Propuestas de Zona Reservada del Tillandsial del Intiorko (2012). Proyecto SNIP N°46073 “Desarrollo de capacidad para la conservación de Fauna Flora amenazada de la Región Tacna”. Gerencia de Recursos Naturales y Gestión de Medio Ambiente, Gobierno Regional de Tacna.

f) Estudio de la estructura comunitaria, función ecosifisiológica, red trófica y propuesta de conservación del Tillandsial de Intiorko (2012). Proyecto SNIP N° 233717 “Mejoramiento del servicio de monitoreo e información ambiental”. Gerencia de Recursos Naturales y Gestión de Medio Ambiente, Gobierno Regional de Tacna.

g) Informe: Evaluación Poblacional de *Tillandsia werdermannii* (2009). Proyecto SNIP N° 46073 “Desarrollo de capacidades para la conservación de la Flora y Fauna amenazada en la Región Tacna”. Gerencia de Recursos Naturales y Gestión de Medio Ambiente, Gobierno Regional de Tacna.

2.8 Definición de términos

a) Biomasa

Es la materia orgánica, tanto aérea como subterránea, y tanto viva como muerta de la planta y se expresa como el peso seco del material vivo por unidad de área (Matteucci & Colma, 1982).

b) Formación vegetal

La adaptación de las plantas a los factores de un ecosistema las lleva a formar comunidades vegetales muy características que se conoce como formaciones vegetales (Brack, 2006).

c) Comunidad

El término comunidad incluye en el sentido ecológico todas las poblaciones que habitan un área determinada (Odum,1972).

d) Forestal

Relativo a bosques y plantaciones arbóreas.

e) Ecosistema

Una unidad que incluye todos los organismos de un área determinada que actúan con reciprocidad con el medio físico de modo que una corriente de energía conduzca a una estructura trófica, una diversidad biótica y a ciclos materiales dentro del sistema. Es la unidad ecológica funcional básica que incluye tanto organismos como un ambiente abiótico, cada uno de los cuales influye en la propiedad de otro, siendo necesario ambos para la conservación de la vida (Odum,1972).

f) Depósito

Componente del sistema climático, distinto de la atmosfera, que tiene la capacidad para almacenar, acumular o emitir una sustancia que es motivo de preocupación como el carbono (IPCC, 2001).

g) Dióxido de carbono equivalente (CO₂eq.)

Concentración de dióxido de carbono que podría causar el mismo grado de forzamiento radiactivo que una mezcla determinada de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero (IPCC, 2001).

h) Flujo de carbono

Es la transferencia de carbono de un depósito a otro en unidades de medida de la masa por unidad de área y tiempo (IPCC, 2001).

i) Dióxido de carbono

Es el gas que existe espontáneamente y también como subproducto del quemado de combustibles fósiles procedentes de depósitos de carbono de origen fósil, como el petróleo, el gas o el carbón, de la quema de biomasa, o de los cambios de uso de la tierra y otros procesos industriales. Es el gas de efecto invernadero antropógeno que más afecta al equilibrio radiativo de la Tierra. Es también el gas de referencia para la medición de otros gases de efecto invernadero y, por consiguiente, su Potencial de calentamiento mundiales igual a 1 (IPCC, 2007).

j) Efecto invernadero

Es un fenómeno por el cual los gases presentes en la atmósfera, principalmente vapor de agua y CO₂, absorben la radiación térmica emitida por la superficie y atmósfera de la tierra. La atmósfera se calienta por este mecanismo y, a su vez, emite radiación térmica y una parte significativa de su energía actúa para calentar la superficie y la capa inferior de la atmósfera. Los gases responsables del efecto se le denomina gases de efecto invernadero (Smith & Smith, 2007).

k) Sumidero

Se entiende como todo proceso, actividad o mecanismo que absorbe un gas de efecto invernadero, un aerosol o un precursor de un gas de efecto invernadero de la atmósfera (UNFCCC, 1992).

l) Fotosíntesis

Proceso por el que las plantas verdes, las algas y ciertas bacterias absorben dióxido de carbono del aire (o bicarbonato del agua) para producir hidratos de carbono, emitiendo oxígeno en el proceso. Hay varias vías de fotosíntesis posibles, con diferentes respuestas a las concentraciones de dióxido de carbono en la atmósfera (IPCC, 2007).

m) Mitigación

Referida al cambio climático, es la aplicación de políticas destinadas a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y a potenciar los sumideros (IPCC, 2007).

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Zona de estudio

3.1.1 Descripción

La zona de estudio lo constituye el Tillandsial del Intiorko que se encuentra ubicado en las pampas del Cerro Intiorko entre la jurisdicción de los Distritos de Tacna, Alto de la Alianza, Ciudad Nueva, Calana y Pachia, dentro de la Provincia de Tacna (17° 56' Latitud Sur y 70° 14' Longitud Oeste). Esta zona presenta una extensión de aprox. 22 296 ha y una configuración topográfica variable que varía de plana a accidentada. La zona está conformada por diversas colinas, quebradas de pendiente muy pronunciada (>50 %) y de planicies de origen aluvial sobre una altitud que varía entre 600 a 1 300 m s.n.m. Esta zona es atravesada por dos vías por la carretera Panamericana y por la carretera Tacna –Tarata que divide la superficie del tillandsial en tres zonas.

3.1.2 Clima

El clima es desértico-árido. Según los datos de la estación meteorológica más cercana a la zona (Distrito de Calana, 848 m s.n.m.), la temperatura media anual alcanza los 17,1 °C, con una máxima de 25 °C y una mínima de 11 °C, presenta una humedad relativa media anual de 77 % y una precipitación total anual de 20,1 mm (GORET, 2007b). En esta zona desértica, la presencia de neblinas y de garuas es mayor entre los meses de abril a setiembre. Esta se ubica en la Ecorregión del desierto del Pacífico (Brack & Mendiola, 2000) y en

las zonas de vida en el Desierto Desechado -Templado Cálido y en el Desierto Superárido - Templado Cálido (INRENA, 1994).

3.2 Tipo de investigación

Es una investigación de tipo básica, porque busca ampliar el conocimiento científico ya existente.

3.3 Diseño de la investigación

Es un diseño no experimental, es de tipo descriptivo transversal, porque busca recolectar datos sobre una determinada variable en un momento determinado durante una cantidad de tiempo limitado. Este diseño se puede esquematizar de la siguiente manera:

M ₁	O ₁	
M ₂	O ₂	T
M ₃	O ₃	

Donde:

M_{1,2, n}= Representa cada una de las muestras seleccionadas al azar.

T= Tiempo.

O_{1,2, n}= Mediciones hechas sobre las variables de estudio.

3.4 Población y muestra

3.4.1 Población de estudio

La población de estudio está constituida por el Tillandsial del Intiorko ubicada en las pampas de Cerro del Intiorko. Para efectos de este estudio, la población del tillandsial fue dividida en 3 zonas o estratos de acuerdo a su división o fragmentación. Cada uno de los estratos establecidos presentan

características similares, pero difieren entre sí en cuanto a la cobertura vegetal, biomasa y topografía (Fig. 12). La delimitación y estratificación de cada uno de estos estratos se realizó mediante imágenes satelitales (Google Earth) y mediciones directas con equipos de GPS. Este proceso se realizó con el uso del programa ArGIS 10.2 (ArcMap). En base a este Sistema de Información Geográfica (SIG) se elaboraron mapas de campo de diferentes escalas para identificar cada zona o punto de muestreo en el área de estudio (MacDicken, 1997; Rüginitz et al., 2009).

Las características y límites geográficos de cada estrato o zona son las siguientes:

a) Zona Nº 1 (OESTE)

- **Ubicación:** Distrito de Tacna.

- **Área superficie:** 7 841 ha

- **Límites:** Por el Noroeste limita con Distrito de Sama, por el Este con la Carretera Panamericana, con el Sur con la Ciudad de Tacna y el Oeste con la pampa del desierto de Tacna.

b) Zona Nº 2 (CENTRO)

- **Ubicación:** Distrito del Alto de la Alianza.

- **Área superficie:** 9 509 ha

- **Límites:** Por el Noroeste limita con el Distrito de Inclán, por el Este con la Carretera Tacna -Tarata, por el Sur con la Ciudad de Tacna y Oeste con la Carretera Panamericana.

c) Zona Nº 3 (ESTE)

- **Ubicación:** Distritos de Ciudad Nueva, Calana y Pachía.

- **Área superficie:** 4 946 ha

- **Límites:** Por el Norte limita con el Distrito de Ciudad Nueva, por el Este con el valle del Distrito de Pachia, por el Sur y Sureste limita con los Distritos de Ciudad Nueva y Calana, por el Oeste con la carretera Tacna -Tarata.

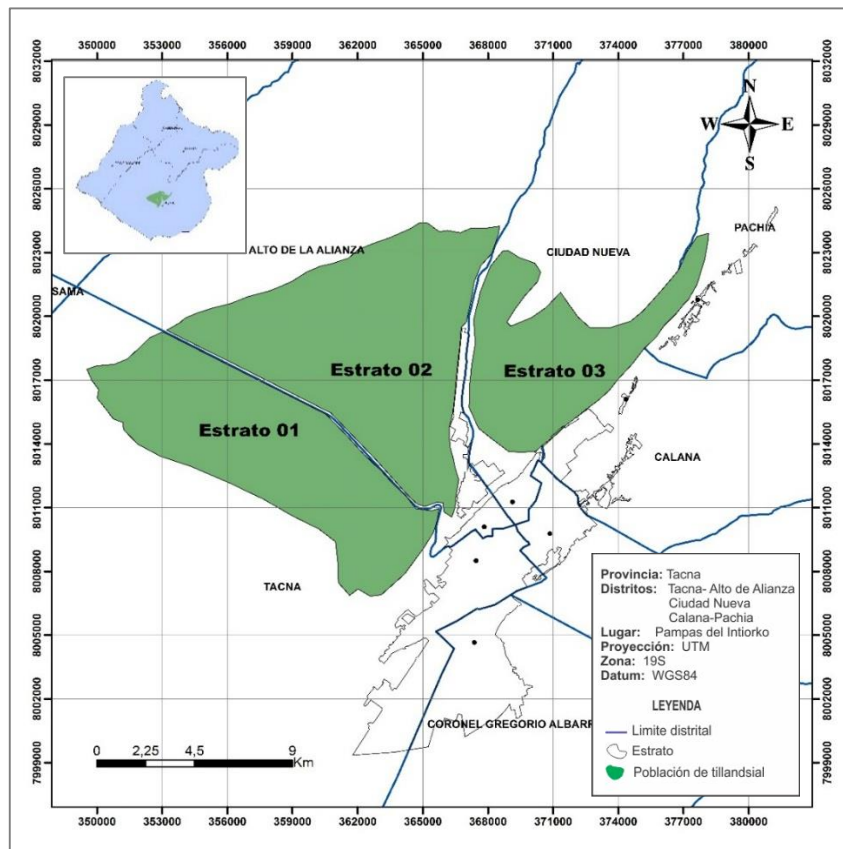


Figura 12. La estratificación de la población del tillandsial en las pampas del cerro Intiorko.

Fuente: Elaboración propio, 2016

3.4.2 Tipo de muestreo

El tipo de muestreo utilizado para el muestreo de la biomasa viva y necromasa fue muestreo aleatorio estratificado, debido a la variabilidad de la población. En este sistema, las unidades de muestreo son seleccionadas de manera aleatoria dentro de cada estrato de la población. Para seleccionar estas unidades de muestreo que constituirán la muestra se dividió el área total de cada estrato en parcelas de tamaño 2 m x 2 m y asignando un número en cada una ellas. Esta división se realizó a través del programa ArGIS (ArcMap) 10.2. La selección de cada unidad de muestreo de la población se realizó utilizando una tabla de números aleatorios, a fin de asegurar que cada unidad de muestreo tenga igual probabilidad de ser escogida como parte de la muestra

(CATIE, 2002). El empleo de tipo de muestreo nos permite obtener una mayor información del tillandsial y estimaciones más precisas de su población.

3.4.3 Unidades de muestreo

Para realizar este muestreo se utilizaron parcelas de forma cuadrada de tamaño 2 m x 2 m. La forma y el tamaño de las parcelas se definieron de acuerdo al tipo de vegetación, a la variabilidad de la población y de la precisión requerida en el estudio (CATIE, 2002). La georreferenciación de cada parcela o unidad de muestreo (UM) se realizó mediante coordenadas UTM (Mercator Transversa Universal) a través del programa ArcGIS 10.2 (Fig. 13). La localización de estas unidades de muestreo en campo se realizó mediante el uso de mapas topográficos (escala 1:60 000) y con equipos de GPS (Anexo 4, 9 y 10).

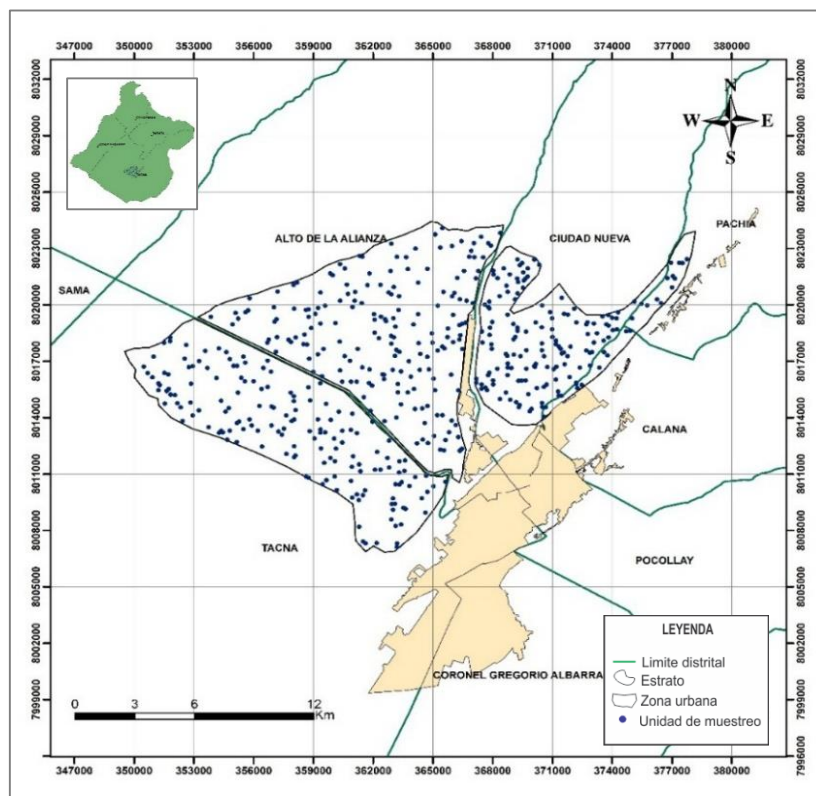


Figura 13. Distribución de las unidades de muestreo en la zona de estudio. **Fuente:** Elaboración propio, 2016

3.4.4 Tamaño de la muestra

El tamaño de muestra se estableció en función al error de muestreo requerido en el estudio (CATIE, 2002). Para el cálculo se utilizó un error de muestreo del 15 % sobre el valor promedio de carbono con un nivel de confiabilidad del 95 %. Para este tipo de estudio, se considera adecuado el uso de un error de 10 al 20 % sobre el valor promedio de carbono (Pearson et al., 2005).

Para la determinación de la muestra se realizó un muestreo preliminar de baja intensidad de 12 parcelas por estrato, con el fin de determinar el coeficiente de variación de la población. Para la medición de la biomasa se estableció un total de 503 parcelas en el área de estudio. Este cálculo se realizó a través de la siguiente ecuación:

$$n = \frac{(t_{\alpha/2gl})^2 * (CV\%)^2}{(E\%)^2 + \frac{(t_{\alpha/2gl})^2 * (CV\%)^2}{N}} \quad (\text{Ec.1})$$

Donde:

n = Número de unidades de muestreo o parcelas

$t_{\frac{\alpha}{2} g.l}$ = es el valor de t-Student definido a una significancia alpha (α) y con $n-1$ grado de libertad (g.l)

$CV\%$ = Coeficiente de variación estimada de la población estratificada

$E\%$ = Error de muestreo en porcentaje máximo requerido a un nivel de confiabilidad establecido.

N = El tamaño de la población (n^0 total de parcelas)

La distribución de las muestras se realizó de forma proporcional a la variación de cada estrato (Tabla 4). El tamaño del área de muestra comprendió una superficie muestreada de 2 012 m² y una intensidad de muestreo menor al

1%. La distribución de las unidades de muestreo en los estratos se definió de la siguiente forma:

Tabla 4

Distribución de las muestras en cada estrato para la medición de la biomasa en el Tillandsial del Intiorko

	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3
Localización	Oeste	Centro	Este
Área (ha)	7 841	9 509	4 946
Tamaño parcela (m ²)	4	4	4
Número de parcelas	160	182	161

Fuente: Elaboración propia, 2016

3.4.5 Identificación de las especies

La identificación de los tillandsiales se realizó con el uso de literatura especializada (Macbride, 1936; Zegarra & Chávez, 2006) y mediante consultas de expertos. La identificación de los ejemplares se realizó tomando en consideración las características más importantes de la morfología de la planta tanto de la parte vegetativa como la floral.

3.5 Operacionalización de variables

3.5.1 Identificación de las variables

Se identificaron de la siguiente manera:

Las plantas, a través de la fotosíntesis, capturan el CO₂ de la atmosfera y lo fija en su biomasa. Este carbono fijado es almacenado en la biomasa viva, en la necromasa y la materia orgánica del suelo.

3.5.2 Caracterización de las variables

Las variables lo constituyen la biomasa viva y necromasa de la comunidad del tillandsial y la captura y almacenamiento de carbono en la biomasa vegetal (Tabla 5).

3.5.3 Definición operacional de las variables

Tabla 5

La operacionalización de las variables en la medición del carbono en la biomasa del tillandsial

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO
Biomasa viva y necromasa del tillandsial.	Recurso natural	- Peso seco de la biomasa viva y de la necromasa	- Muestreo aleatorio
		- Peso húmedo de biomasa viva y la materia orgánica muerta (necromasa)	- Estratificado
		- Contenido de humedad en la biomasa vegetal	- Balanza
			- Estufa
			- SIG (Sistema de información geográfica)
Captura y almacenamiento de carbono	Ecofisiológico	- Contenido de carbono orgánico en el tejido vegetal del tillandsial.	
		- Cantidad de carbono acumulado en la biomasa del tillandsial.	- Método Shollenberger
		- Cantidad de CO ₂ capturado en la biomasa del tillandsial.	- Ecuaciones matemáticas

Fuente: Elaboración propia, 2016

3.6 Materiales y equipos

Para la medición y evaluación del tillandsial en el campo se emplearon los siguientes materiales y equipos:

3.6.1 Materiales:

- Estacas de metal de 50 cm (4 unidades)
- Mapa cartográfico a escala 1: 60 000
- Cuerdas o pábilo
- Lápiz y borrador
- Bolsas de papel para muestras
- Bolsas de plástico
- Guantes
- Libreta de campo
- Mochila
- Marcadores permanentes
- Tijera podadora
- Huincha métrica de 3 metros

3.6.2 equipos:

- GPS portátil
- Brújula
- Cámara digital
- Balanza digital de 0,01 kg a 40 kg
- Calculadora
- Computadora

3.7 Metodología de investigación

El estudio del tillandsial tuvo 3 fases: una fase de campo, laboratorio y de gabinete. La fase de campo se realizó de manera paralela al de laboratorio y tuvo una duración de 6 meses y se realizó entre los meses de enero a junio del 2016, durante las primeras horas del día y de la tarde entre 08:00 a 15:00 horas.

3.7.1 Medición de los componentes de biomasa del tillandsial

La medición de la biomasa viva y necromasa se realizó mediante el método directo o destructivo.

3.7.1.1 Medición de la biomasa viva sobre el suelo

Para la medición de la biomasa viva se utilizaron parcelas cuadradas de 2 m x 2 m de igual tamaño para cada estrato. Toda la materia viva encontrada dentro de la parcela fue cortada, colectada y pesada con la ayuda de una balanza digital hasta obtener el peso húmedo de la muestra (Matteuccii & Colma 1982; MacDicken, 1997; Rüginitz et al., 2009). Para esta medición se utilizó una plataforma en forma de caja (55 x 84 x10 cm) para el pesaje de todas las muestras (Fig. 14).

De cada muestra seleccionada se extrajo una submuestra de 100 g para la determinación de la humedad y el contenido de carbono orgánico en el tejido vegetal de tillandsial. Toda las submuestras colectadas fueron embolsada en papel y etiquetada debidamente mediante un código de identificación para ser analizadas en el laboratorio. En cada punto de muestreo se registró la altura, la topografía del terreno, la pendiente y la especie perteneciente de la muestra (Ver anexo 10, 11 y 13). Una vez terminado el proceso de medición, todas las muestras colectadas fueron devueltas y colocadas en el mismo lugar donde se encontró.



Figura 14. Pasos para la medición de materia viva sobre el suelo del tillandsial.

Fuente: Elaboración propia, 2016

3.7.1.2 Medición de la necromasa sobre el suelo

Para la medición de la necromasa se utilizó las mismas parcelas (2 m x 2 m) establecidas para la medición de la materia viva. Toda la materia muerta encontrado en la parcela fue colectado y pesado con la ayuda de una plataforma y una balanza digital hasta obtener el peso húmedo de la muestra (Rügnitz et al., 2009).

De cada muestra seleccionada se extrajo una submuestra de 50 g de tejido vegetal en diferentes estados descomposición para la determinación de la humedad y del contenido de carbono orgánico en este componente (Fig. 15). El manejo de las submuestras se realizó siguiendo los mismos procedimientos descritos para el muestreo de la biomasa viva (Ver anexo 10, 11 y 13).

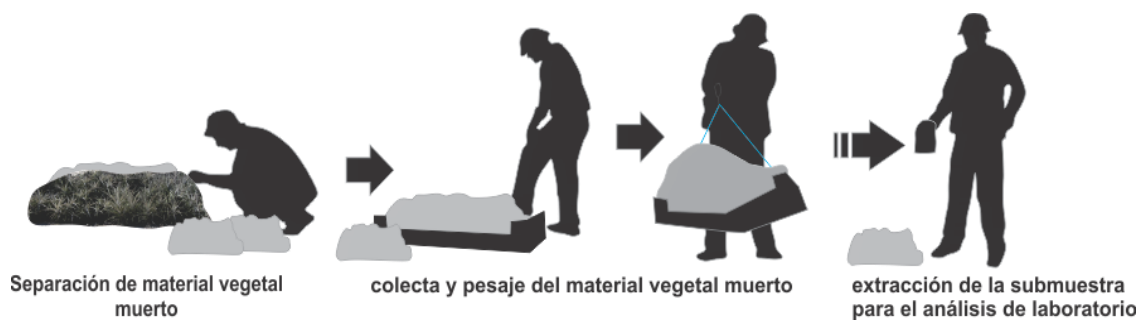


Figura 15. Pasos para la medición de la necromasa o materia muerta sobre el suelo.

Fuente: Elaboración propia, 2016

3.7.2 Determinación de la materia seca o peso seco

La materia seca se determinó utilizando una muestra representativa del material vegetal extraída (hojas y tallos) en el muestreo del tillandsial. Esta submuestra extraída fue cortada en pequeños trozos y dividida hasta obtener un tamaño deseado. Una vez obtenida la muestra fue pesada (10 a 15 g) y secadas en estufa a una temperatura de 70 a 80 °C por 24 horas hasta obtener un peso constante (MacDicken, 1997). El cálculo se realizó utilizando la siguiente ecuación:

Para el porcentaje de humedad (Paneque et al., 2010):

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(PHs - PSs) \times 100}{PHs} \quad (\text{Ec.2})$$

Para el peso seco:

$$\text{PS submuestra} = \frac{PHs \times (100 - H\%)}{100} \quad (\text{Ec.3})$$

Donde:

PHs: Peso húmedo de la submuestra

PSs: Peso seco de la submuestra

H%: Porcentaje de humedad de la submuestra

Una vez determinada el contenido de humedad en las submuestras de cada componente de biomasa se determinó la relación de peso seco y húmedo para cada una de las submuestras seleccionadas. El valor resultante se promedió para obtener un solo valor. El valor obtenido se multiplicó con el peso húmedo de la muestra de cada componente para obtener el peso de la materia seca por unidad muestral (Aristizabal & Guerra, 2002, Rüginitz et al., 2009). El cálculo se realizó utilizando la siguiente ecuación:

$$Fc = \sum \left(\frac{MS \text{ submuestra}}{MH \text{ submuestra}} \right) / n^{\circ} \text{ muestras} \quad (\text{Ec.4})$$

$$\text{MS muestra} = Fc \times MH \text{ muestra} \quad (\text{Ec.5})$$

Donde:

$MS_{muestra}$ = Peso de materia seca de la biomasa viva o necromasa en la muestra (kg MS/4 m²)

$MS_{submuestra}$ = Peso seco de la submuestra (kg)

$MH_{submuestra}$ = Peso húmedo de la submuestra (kg)

$MH_{muestra}$ = Peso húmedo de la muestra (kg/4 m²)

F_c = Factor resultante de la división entre materia seca y húmeda de la submuestra entre el número de muestras seleccionadas.

Con los datos obtenidos se estableció un promedio por especie y por estrato. Para ello, se colectaron y analizaron un total 40 muestras al azar de diferentes especies y procedentes de distintos estratos (Ver anexo 1 y 10).

3.7.3 Estimación de la biomasa total del tillandsial

La biomasa total se calculó a partir de la sumatoria de todas las muestras de materia seca de cada componente de biomasa (biomasa viva y necromasa). Este valor se expresó en toneladas de materia seca por hectárea y se determinó para todo el tillandsial y por especie. El cálculo se realizó utilizando la siguiente ecuación:

$$B = ((\sum MS / n^{\circ} \text{muestras}) / 1\ 000) \times (10\ 000 \text{ m}^2 / 4 \text{ m}^2) \quad (\text{Ec.6})$$

Biomasa total del tillandsial:

$$BT = B_{biomasa\ viva} + B_{necromasa} \quad (\text{Ec.7})$$

Donde:

MS = Materia seca de la muestra de cada componente de la biomasa del tillandsial (kg MS/4 m²)

Factor 1 000= Conversión de las unidades de la muestra de kg MS a t MS

Factor 10 000= Conversión del área a hectárea

BT = Biomasa total del tillandsial por hectárea (t MS/ha)

B= Biomasa de cada componente (t MS/ha)

Considerando que la población del tillandsial fue dividida en “n” estratos para cada uno se obtuvo un valor estimado de la biomasa promedio por hectárea. A partir de estos valores se calculó un promedio ponderado y el total para todo el tillandsial (CATIE, 2002). Este cálculo se realizó a través de la siguiente ecuación:

La biomasa total promedio ponderado por hectárea (BT_i):

$$BT_i = \sum(P_j \times B_{TA}) \quad (\text{Ec.8})$$

La biomasa total para todo el tillandsial (B_{total}):

$$B_{total} = BT_i \times A \quad (\text{Ec.9})$$

Donde:

P_j : Proporción del tamaño del estrato N_i/N

B_{TA} : Valor estimado del promedio por estrato (t MS/ha).

A : Área total del tillandsial (ha)

El error estándar de la media (S_{xts}):

$$S_{xts} = \sqrt{\sum(P_j^2 \times S_{xj}^2)} \quad (\text{Ec.10})$$

Donde:

P_j : Proporción del tamaño del estrato N_i/N

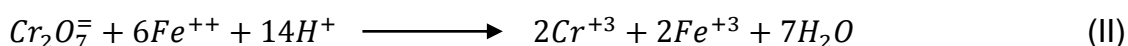
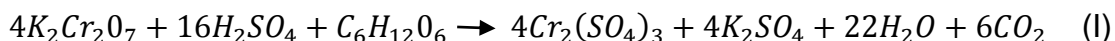
S_{xj} : Valor estimado del error estándar por estrato (t MS/ha).

3.7.4 Determinación del contenido de carbono orgánico

El contenido de carbono orgánico en las muestras de tejido vegetal se determinó mediante el método Schollenberger (1927) descrito por Aristizabal & Guerra (2002). Este método analítico se basa en la oxidación de carbono orgánico por acción de dicromato del potasio ($K_2Cr_2O_7$) y ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) y en presencia de una fuente externa de calor (155 °C) que mejora el nivel de oxidación del carbono. El dicromato en exceso, no

utilizado en la oxidación, es determinado por titulación con una solución de sulfato ferroso de 0,1 N. La cantidad del carbono oxidado es calculada cuantificando la cantidad de ácido crómico reducido.

Reacción de óxido-reducción del carbono



a) Materiales: espátula, tubos de ensayo, luna de reloj, vaso de vidrio de 250 ml, matraz de Erlenmeyer de 225 y 250 ml, probeta de 25 ml, bureta de 25 ml, Fiola de 100 ml, pinzas para tubos de ensayo, Pipeta graduada de 5 ml, piseta, varilla de vidrio, termómetro, cuentagotas, soporte para tubo de ensayo, bandejas de metal y tijeras.

b) Equipos: cocina eléctrica, balanza analítica 0,0001 g de precisión, estufa y un desecador.

c) Reactivos: Dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$), Ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado al 96%, Solución de Sulfato ferroso ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) de 0,1 N e indicador ferroína (complejo ferroso ortofenantrolina) de 0,025 M.

3.7.4.1 Preparación de la muestra vegetal

Las muestras colectadas en el muestreo (hojas y tallos) fueron limpiadas con agua destilada, cortadas en pequeños trozos y secadas en estufa a 70 °C por 24 horas. Luego, fueron molidas finamente con un mortero hasta obtener partículas iguales o menores a 0,5 mm. La muestras secada y molida fueron colocadas en un recipiente de plástico y almacenadas a temperatura ambiente para su análisis. (Mckean, 1993; Sadzawka et al., 2007; Paneque et al., 2010).

3.7.4.2 Procedimiento

En una luna de reloj se pesó 0,015 g de la muestra finamente molida y secada. Luego se transfirió a un tubo de ensayo de 150 ml. Se añadió 0,2 g de dicromato de potasio y 4 ml de ácido sulfúrico concentrado. Se agitó durante un minuto hasta obtener una mezcla homogénea.

Se tomó los tubos con una pinza y se calentó a temperatura de 155 °C por un tiempo de 10 minutos. Luego se dejó enfriar durante un periodo de 10 minutos. Una vez enfriado a temperatura ambiente se transfirió a una Fiola de 100 ml y se enraso con agua destilada.

Se tomó una alícuota de 20 ml y se transfirió en un matraz Erlenmeyer de 250 ml. Se añadió 4 gotas de indicador ferroína y se tituló con la solución de sulfato ferroso 0,1 N hasta que el color del contenido cambie de verde brillante a rojo. Se anotó la cantidad de mililitros gastado de la solución ferrosa en la valoración (Aristizabal & Guerra, 2002).

- Cálculo:

Conociendo la cantidad de dicromato usado y la cantidad de dicromato en exceso se obtiene, por diferencia, la cantidad de carbono oxidado. La cantidad de miliequivalentes de dicromato utilizado en la reacción corresponde a los miliequivalentes de carbono oxidado. Para convertir los miliequivalentes de carbono oxidado en gramos de carbono se multiplicó el valor por 3/1000 que equivale el peso equivalente de carbono entre 1000. El contenido de carbono orgánico se calculó asumiendo que se logra una oxidación del 100 % del carbono en la muestra. El contenido de carbono orgánico en la muestra se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\%C = \frac{(\text{meq. de K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \text{ usado} - \text{meq. de K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \text{ exceso}) \times 0,003}{\text{Peso de la muestra (g)}} \times 100 \quad (\text{Ec.11})$$

Donde:

meq. $K_2Cr_2O_7$ _{usado}= Cantidad de dicromato utilizado en la prueba en expresado en miliequivalentes.

meq. $K_2Cr_2O_7$ _{exceso}= Cantidad de dicromato en exceso no utilizado en la reacción expresado en miliequivalentes.

Peso de la muestra= Peso expresado en gramos.

Factor 0,003= Para convertir miliequivalentes de carbono oxidado a gramos.

Factor 100= Para convertir el valor en porcentaje.

Con los datos obtenidos se estableció un promedio del contenido de carbono por especie con la finalidad de determinar la cantidad de carbono almacenado en la biomasa de la comunidad de tillandsial. Para determinar este valor se colectaron y analizaron un total de 30 muestras al azar. Todas las muestras de tejido vegetal colectadas fueron analizadas por completo sin hacer una diferenciación entre los diferentes tejidos de la planta del tillandsial (ej. hojas, tallos y raíces).

La determinación de la materia seca y del contenido de carbono orgánico en el tejido vegetal se realizó en el laboratorio de Química Analítica de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann con la supervisión del técnico del laboratorio (Ver anexo 12).

3.7.5 Estimación de la cantidad de carbono almacenado en la biomasa del tillandsial

3.7.5.1 Estimación de la cantidad carbono en la muestra

La cantidad de carbono almacenado en la muestra se calculó multiplicando la fracción de carbono obtenida en el análisis por la cantidad de materia seca determinada en la muestra (Rügnitz et al., 2009). Este cálculo se realizó a través de la siguiente ecuación:

$$C_m = MS_{\text{muestra}} \times CF \quad (\text{Ec. 12})$$

Donde:

C_m = Cantidad de carbono contenida en la muestra (kg C/ 4m²).

MS_{muestra} = Cantidad de materia seca presente en la muestra (kg MS/4 m²).

CF = La fracción de carbono determinada en el laboratorio para cada especie.

3.7.5.2 Estimación de la cantidad de carbono almacenado en la biomasa total tillandsial por hectárea

Se determinó sumando la cantidad de carbono almacenado de todas las muestras de biomasa viva y en la necromasa analizados. Este valor se expresó en toneladas de carbono por hectárea convirtiendo en kilogramo en toneladas de carbono y en metro cuadrado en hectáreas (Rügnitz et al., 2009). Este cálculo se realizó a través de la siguiente ecuación:

$$C_B = \left(\left(\frac{\sum C_{mi}}{n^{\circ} \text{muestras}} \right) / 1\,000 \right) \times \left(\frac{10\,000 \text{ m}^2}{4 \text{ m}^2} \right) \quad (\text{Ec.13})$$

Cantidad de carbono almacenado en la biomasa total del tillandsial:

$$CT = C_{\text{Biomasa viva}} + C_{\text{necromasa}} \quad (\text{Ec.14})$$

Donde:

C_B = La cantidad de carbono almacenado en cada componente de biomasa del tillandsial.

C_T = Cantidad de carbono almacenado en la biomasa total del tillandsial (t C/ha).

$\sum C_{mi}$ =Sumatoria de la cantidad de carbono de todas las muestras de cada componente de la biomasa del tillandsial (kg C/4 m²).

Factor 1 000= conversión de las unidades de la muestra de kg MS a t MS.

Factor 10 000= Conversión del área a hectárea.

A partir de estos resultados se obtuvo el valor estimado del promedio de carbono almacenado por estrato. En base a estos datos se obtuvo el valor promedio ponderado por hectárea y el total para todo el tillandsial (CATIE, 2002). El cálculo se realizó a través de la siguiente ecuación:

El promedio ponderado por hectárea (CT_i):

$$CT_i = \sum(P_j \times X_i) \quad (\text{Ec.15})$$

La cantidad total de carbono almacenado para todo el tillandsial (C_{total}):

$$C_{total} = CT_i \times A \quad (\text{Ec.16})$$

Donde:

P_j : Proporción del tamaño del estrato N_i/N .

X_i : Valor promedio de carbono almacenado por estrato (t C/ha).

A : Área total del tillandsial (ha).

El error estándar de la media (S_{xts}):

$$S_{xts} = \sqrt{\sum(P_j^2 \times S_{xj}^2)} \quad (\text{Ec.17})$$

Donde:

P_j : Proporción del tamaño del estrato N_i/N

S_{xj} : Valor estimado del error estándar por estrato (t C/ha).

3.7.6 Estimación de la cantidad de CO₂ capturado por la biomasa del tillandsial

Una vez obtenida las toneladas de carbono almacenado en la biomasa, esta se multiplicó por 44/12, que representa la relación del peso molecular del CO₂ y el peso atómico del carbono, para determinar la cantidad de CO₂ absorbido o capturado por la biomasa del tillandsial (IPCC, 2003; Rüginitz et al.,

2009). En base a esta conversión una tonelada de carbono equivale a 3,67 toneladas de CO₂ capturado (Ver anexo 3).

$$\text{CO}_2 = C_{total} \times 3,67 \quad (\text{Ec.18})$$

Donde:

CO₂= CO₂ capturado o absorbido por la biomasa vegetal.

C_{total}= La cantidad total de carbono almacenado en la biomasa vegetal del tillandsial (t C).

3.8 Procesamiento y análisis de datos

El procesamiento y análisis de los datos se realizó mediante un software estadístico (STATGRAPHICS versión XVI), a través del cual se determinó la media, la media ponderada, desviación estándar, los intervalos de confianza y el error estándar del contenido de carbono y de biomasa por cada estrato. Se realizó un análisis de la varianza (ANOVA) para determinar posibles diferencias significativas entre las medias del contenido de carbono orgánico en las especies y la cantidad de carbono almacenado según sitios ocupados por el tillandsial. Asimismo, se realizó una prueba de comparaciones múltiples de medias a través de la prueba de Tukey ($\alpha=0,05$) para determinar qué medias son significativamente diferentes unas de otras.

CAPÍTULO IV

MARCO FILOSÓFICO

En la investigación de las ciencias naturales y sociales se hace uso de una serie de procedimientos y de paradigmas filosóficas para explicar los fenómenos estudiados. En la investigación se reconocen 4 paradigmas que sustentan los diversos procesos de investigación científica: el positivismo, post-positivismo, la teoría crítica o idealista y el constructivismo (Guba & Lincoln, 1994 citado por Ramos, 2015). El positivismo es un modelo de investigación cuantitativo que se caracteriza por ser racional y objetivo, se basa en lo observable, en lo manipulable y verificable (Cuenya & Ruetti, 2010 citado por Ramos, 2015). El enfoque positivista sigue un orden lógico, metodológico y estructurado. Considera solo como objeto de estudio los fenómenos observables pues son los únicos susceptibles a la medición, análisis y control experimental. Es un sistema hipotético-deductivo calificado como científico-naturalista, racionalista-cuantitativo, científico-tecnológico y sistemático-gerencial (Martínez, 2013). Para el positivismo la realidad es absoluta y es susceptible de conocerse, es regida por las leyes y mecanismos naturales (Field, 2009 citado por Ramos, 2015). Esta realidad es objetiva e independiente de las creencias que tengamos sobre ella, en donde la relación del investigador y el fenómeno estudiado son totalmente independientes y donde está asume una posición neutral (Hernández, Fernández & Baptista, 2006).

Este estudio se apoya bajo este enfoque positivista. Se enmarca dentro del ámbito de la investigación cuantitativa, donde se utiliza la lógica o razonamiento deductivo, donde la recolección de datos se fundamenta en la medición de las variables y se utiliza procedimientos estandarizados y aceptados por una comunidad científica. Este tipo de investigación se

caracteriza porque sigue un conjunto de procesos sistemático y riguroso. Este proceso parte de una idea que luego se plasma en un problema de investigación, en uno o varios objetivos y pregunta de investigación, luego se construye un marco teórico y define la investigación y su alcance; establece la hipótesis y las variables y somete a prueba mediante el empleo de diseños de investigación y recolecta datos de los objetos o fenómenos que se estudia y analiza mediante procedimientos estadísticos y por último se establece una serie de conclusiones a los objetivos planteados. Este método de investigación ha sido ampliamente usado en las ciencias como física, química y la biología, es decir en las ciencias llamadas “exactas o naturales” (Hernández, Fernández & Baptista, 2006). En cambio, el constructivismo y el ideológico o crítico, posee un enfoque completamente diferente al planteamiento positivista. Estos paradigmas son las que guían la investigación cualitativa particularmente el campo social donde la investigación cuantitativa no logra comprender en su cabal dimensión.

4.1 Características de la investigación cuantitativa

La investigación cuantitativa la cual se apoya en las bases del positivismo posee una serie de características: (Hernández, Fernández & Baptista, 2006)

- a) Planteamiento del problema es delimitado y específico. Por lo tanto, es poco flexible
- b) La naturaleza de los datos es cuantitativa y se analizan a través de métodos estadísticos.
- c) Se miden variables o conceptos contenidos en las hipótesis.
- d) Se confía en la experimentación y los análisis de causa- efecto.
- e) Fragmenta los datos en parte para responder al planteamiento del problema.
- f) Busca ser objetiva y minimiza las preferencias personales del investigador como creencias, deseos y tendencias que influya en los resultados del estudio.

- g) Pretende describir, explicar y predecir los fenómenos investigados.
- h) Pretende generalizar los resultados encontrados en un grupo (muestra) a una colectividad mayor (población).
- i) La meta principal es la construcción y la demostración de teorías.
- j) Se prueban hipótesis para aceptarla o rechazarlas dependiendo del grado de certeza.
- k) El diseño de investigación es estructurado y predeterminado.
- l) El objetivo es generalizar los datos de una muestra a una población.
- m) Involucra a muchos sujetos en la investigación debido a que se pretende generalizar los resultados del estudio.
- n) Los datos son obtenidos por observación, medición y documentación de mediciones. La recolección se basa en instrumentos estandarizados.
- ñ) Los datos son representados en forma de números que son analizados estadísticamente.
- o) Los reportes de los resultados utilizan un tono objetivo, impersonal y no emotivo.

Un paradigma está constituido por un conjunto de creencias, reglas y procedimientos que guían al investigador en la búsqueda del conocimiento. El presente estudio busca conocer y analizar los hechos de forma objetiva. Pretende medir y analizar determinadas variables de interés para establecer una serie de conclusiones. Por lo tanto, el positivismo, la cual se basa en el método cuantitativo, es la base filosófica que guía y sustenta nuestro proceso de investigación.

CAPITULO V

RESULTADOS

5.1 Determinación del contenido de carbono orgánico en las especies de tillandsia del Intiorko

Tabla 6

Contenido de carbono orgánico en el tejido vegetal en las especies del Tillandsial del Intiorko. n= Tamaño de muestra. SD= Desviación estándar. CV=Coeficiente de variación.

Especie	n	Media (%C)	SD (%C)	CV (%)	Valores Min. - Máx.
<i>Tillandsia werdermannii</i>	10	43,13 ^a	2,25	5,22	40,44 - 46,58
<i>Tillandsia purpurea</i>	10	42,62 ^a	1,53	3,58	41,03 - 45,12
<i>Tillandsia landbeckii</i>	10	38,40 ^b	1,64	4,26	35,56 - 40,01

* media con letras diferentes indican diferencias significativas entre sí, de acuerdo a la prueba de Tukey ($\alpha=0,05$)

Fuente: Elaboración propia, 2016

Como se muestra en la Tabla 6, el contenido de carbono orgánico en la biomasa seca de las especies de tillandsias estudiadas fluctuó entre 38,40 y 43,13 % en promedio. Entre las especies evaluadas, *Tillandsia werdermannii* presentó el mayor contenido de carbono orgánico en las muestras de tejido vegetal con $43,13 \pm 2,25$ % en promedio. Por su parte *Tillandsia landbeckii* presentó un menor porcentaje de carbono con $38,40 \pm 1,64$ %

5.2. Estimación de la biomasa total, biomasa viva y necromasa acumulada en la comunidad del Tillandsial del Intiorko

Tabla 7

La biomasa total, biomasa viva y necromasa acumulada en la comunidad del Tillandsial del Intiorko, 2016.

Resumen estadístico	COMPONENTES DE BIOMASA		TOTAL
	Biomasa viva	Necromasa	
Promedio ponderado (t MS/ha)	1,22	5,16	6,38
Desviación estándar (t MS/ha)	2,41	8,83	10,73
Error estándar (t MS/ha)	0,11	0,44	0,51
Límites de confianza inf. (t MS/ha)	1,00	4,33	5,42
Límites de confianza sup. (t MS/ha)	1,44	6,02	7,33
Tamaño de parcela (n)	503	503	

Fuente: Elaboración propia, 2016

En la Tabla 7 se observa un resumen estadístico de los resultados de biomasa y muestra que la biomasa total promedio acumulada en el tillandsial fue 6,38 t MS/ha. La necromasa o materia orgánica muerta fue 5,16 t MS/ha en promedio y la biomasa viva acumulada fue 1,22 t MS/ha.

5.3 Estimación de la cantidad de carbono almacenado en la biomasa vegetal en la comunidad del Tillandsial del Intiorko

Tabla 8

El carbono total almacenado en la biomasa viva y necromasa en la comunidad del Tillandsial del Intiorko, 2016.

Resumen estadístico	DEPÓSITOS DE CARBONO		TOTAL
	Biomasa viva	Necromasa	
Promedio ponderado (t C/ha)	0,53	2,22	2,75
Desviación estándar (t C/ha)	1,04	3,81	4,62
Error estándar (t C/ha)	0,05	0,19	0,22
Límites de confianza inf. (t C/ha)	0,43	1,90	2,33
Límites de confianza sup. (t C/ha)	0,62	2,60	3,16
Tamaño de parcela (n)	503	503	

Fuente: Elaboración propia, 2016

En la Tabla 8 se presenta un resumen estadístico de los resultados de carbono y muestra que el carbono total almacenado en la biomasa del tillandsial fue 2,75 t C/ha en promedio. El carbono almacenado en la necromasa fue 2,22 t C/ha y en la biomasa viva tuvo un valor promedio de 0,53 t C/ha.

5.4. Estimación de la biomasa total y de carbono almacenado por estrato en la comunidad del Tillandsial del Intiorko

Tabla 9

La biomasa total acumulada y de carbono por estrato en la comunidad del Tillandsial del Intiorko, 2016

Estrato /zona	Área (ha)	Promedio biomasa total (tMS/ha)	Promedio de carbono total (tC/ha)	Total biomasa (tMS)	Total de carbono almacenado (tC)
1	7 841	1,33	0,58	10 467,22	4 512,47
2	9 509	6,90	2,97	65 599,13	28 286,77
3	4 946	13,37	5,75	66 136,96	28 450,97
	22 296	6,38	2,75	142 203,31	61 250,21

Fuente: Elaboración propia, 2016

En la Tabla 9 se muestra que la cantidad total de biomasa acumulada en toda el área del tillandsial evaluado fue de 142 203,31 t MS y la cantidad total de carbono almacenado en el tillandsial fue 61 250,21 t C. Los mayores depósitos de carbono fueron encontrados en la zona 3 y 2 correspondiente a la zona Este y Centro del Tillandsial del Intiorko.

5.5 Estimación de la biomasa total y de carbono almacenado en las especies de la comunidad del Tillandsial del Intiorko

Tabla 10

La biomasa total acumulada y de carbono por especie de la comunidad del Tillandsial del Intiorko, 2016

Especie	Promedio Biomasa total (tMS/ha)	Total Biomasa (tMS)	Promedio Carbono total (tC/ha)	Total carbono almacenado (tC)
<i>Tillandsia werdermannii</i>	5,91	131 783,13	2,55	56 838,06
<i>Tillandsia purpurea</i>	0,44	9 734,57	0,19	4 148,87
<i>Tillandsia landbeckii</i>	0,03	685,61	0,01	263,28
TOTAL	6,38	142 203,31	2,75	61 250,21

Fuente: Elaboración propia, 2016

Como se muestra en la Tabla 10, la especie con mayor cantidad de carbono almacenado en la biomasa del tillandsial fue *Tillandsia werdermannii* con 56 838,06 t C. Por su parte, *Tillandsia landbeckii* fue la especie con la menor cantidad de biomasa y de carbono almacenado en el tillandsial con 685,61 t MS y 263,28 t C respectivamente.

5.6 Estimación de la cantidad de CO₂ capturado en la biomasa de la comunidad de tillandsial en el Intiorko

Tabla 11

Cantidad de CO₂ capturado por la biomasa de la comunidad de Tillandsial del Intiorko por especie, 2016

Especie	Promedio tCO₂/ha	Total de CO₂ (tCO₂)	Porcentaje (%)
<i>Tillandsia werdermannii</i>	9,36	208 595,69	92,80
<i>Tillandsia purpurea</i>	0,68	15 226,36	6,77
<i>Tillandsia landbeckii</i>	0,04	966,22	0,43
TOTAL	10,08	224 788,28	100

Fuente: Elaboración propia, 2016

Como se muestra en la Tabla 11, la cantidad total de dióxido de carbono capturado en la biomasa vegetal del tillandsial fue de 224 788,28 t CO₂, siendo *Tillandsia werdermannii* la especie que presentó la mayor cantidad de captura de CO₂ en el área con 208 595,69 t CO₂.

5.7 Análisis de la varianza (ANOVA)

Tabla 12

Análisis de varianza del contenido de carbono orgánico en las especies de tillandsia en la comunidad del Tillandsial del Intiorko, 2016

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	142,11	2	71,06	23,041	1,45E-06	3,35
Dentro de los grupos	83,26	27	3,08			
Total	225,38	29				

Fuente: Elaboración propia, 2016

Según los resultados de análisis de la varianza que se aprecia en la Tabla 12, se encontraron diferencias significativas en el contenido medio de carbono orgánico entre las distintas especies de tillandsias ($F=23,04$; $P<0,05$).

Tabla 13

Análisis de varianza de la cantidad de carbono almacenado por zonas ocupadas en la comunidad del Tillandsial del Intiorko, 2016

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	2 155,16	2	1 077,58	32,09	7,757E-14	3,01
Dentro de los grupos	1 6792,19	500	33,58			
Total	1 8947,35	502				

Fuente: Elaboración propia, 2016

Se encontraron diferencias significativas en la cantidad de carbono almacenado entre los diferentes sitios o zonas ocupadas por el tillandsial en las pampas del Intiorko ($F=32,09$; $P<0,05$), tal como se muestra en la Tabla 13.

CAPÍTULO VI

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos muestran una variabilidad en el contenido de carbono orgánico entre las diferentes especies de tillandsia. Estas diferencias en el contenido de carbono resultaron significativas ($F=12,05$; P valor $< 0,05$) en el caso *Tillandsia landbeckii* resultó significativamente menor con el resto de las especies evaluadas. Por otra parte, *Tillandsia werdermannii* mostró un mayor contenido de carbono orgánico en el tejido vegetal con respecto a *Tillandsia purpurea* y *Tillandsia landbeckii*. Sin embargo, no mostró diferencias significativas en el contenido de carbono con respecto a *Tillandsia purpurea* que alcanzó un valor promedio de $42,62 \% \pm 1,53$ de carbono.

Las variaciones en el contenido de carbono entre las especies también han sido citada por otros autores para otras especies de plantas de tipo forestal: Gayoso & Guerra (2005), reporta una variación en el contenido de carbono entre 34,86 y 48,31% para 16 especies de tipo forestal Siempreverde y Roble-Rauli-Coigue en bosque nativos en Chile; Figueroa et al. (2005), reporta una variación entre 47,3 y 51,3 % para seis especies en el bosque de Sierra Norte de Oaxaca, México; Yerena et al. (2011), reporta valores entre 44,25 y 47,08 % el contenido de carbono para 10 especies leñosas en el matorral espinoso tamaulipeco de la planicie costera del Golfo de México; Montero et al. (2013), reporta una variación en el contenido de carbono entre 46,72 y 53,83 % para 123 especies de matorrales y arbustados en España.

El contenido de carbono obtenida en este estudio para las tres especies de tillandsia (*T. werdermannii*, *T. purpurea* y *T. landbeckii*) resultaron superiores a los valores reportados por Yaranga & Custodio (2013), en 4 especies de pastos naturales altoandinos: *Stipa ichu* (32,07 %), *Alchemilla*

pinnata (29,14 %), *Festuca dolichophylla* (30,86%) y *Muhlenbergia ligularis* (30,24 %) procedente en los Distritos de Huasicancha y Chicche en la Provincia de Huancayo en Junín. Asimismo, estos valores resultaron superiores a lo reportado por Cubero & Rojas (1999), que señala un 36 % la fracción de carbono para las plantaciones *Gmelina arborea* y en 35 % para *Tectona grandis* y *Bombacopsis quinata*. Sin embargo, estos valores obtenidos resultaron inferiores al valor (50 %) por defecto sugerido por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) para estimaciones de carbono. Ya que, por lo general, se asume sin diferenciar especies que el contenido de carbono corresponde el 50 % de la materia seca en todas las especies. Por lo cual, se sugiere utilizar este valor para las estimaciones de carbono, aunque exista un margen de variación en el contenido de carbono entre las especies, en los tejidos (tallos, raíces y hojas) o en la edad del árbol (IPCC, 2003). No obstante, los valores más citados en estimaciones de contenido de carbono fluctúan en 43 a 58 % (IPCC, 1996). Es importante destacar que en el presente estudio se evalúa únicamente la fracción orgánica del carbono y no el contenido total que incluye, además, la parte inorgánica del carbono. Gayoso & Guerra (2005) en su estudio, establece que la diferencia entre contenido de carbono orgánico y el total es de $5,51 \pm 0,76$ %. Por consiguiente, se puede aseverar que más 94 % del carbono en el tejido vegetal se encuentra almacenada en forma orgánica.

Esta variabilidad en el contenido de carbono entre las diferentes especies de tillandsias probablemente esté relacionada en la proporción del contenido de lignina y de minerales en las hojas. Según Gifford (2000), el contenido de carbono dependerá de la proporción de compuestos como la lignina y de minerales inorgánicos en los tejidos. Puesto que la lignina y los contenidos de minerales difieren en diferentes tejidos y es esperable que diversos tejidos del árbol presente diferentes fracciones en el contenido de carbono. Sin embargo, Ascencio (1982) citado por Yerena et al. (2011), señala que la variabilidad en el contenido de carbono en las hojas depende de las características anatómicas, a los procesos fisiológicos como la fotorrespiración,

carboxilación y oxigenación, del balance o razón entre las actividades de las enzimas y de los cambios de la temperatura en el ambiente.

Por otro lado, en relación a la biomasa, la cantidad promedio biomasa total estimada en este estudio (6,38 t MS/ha) resultó superior al valor reportado por Türkowski & Ocaña (1983) en el tillandsial de Cajamarquilla (Lima, Perú) donde reporta en esta comunidad (*Tillandsia purpurea*, *T. paleaceae*, *T. recurvata*, *T. latifolia* var. *major*, *T. latifolia* var. *latifolia*) una biomasa media de 166,4 g MS/m². Esta elevada cantidad de biomasa reportada en el Tillandsial del Intiorko, se debe a la alta cantidad de necromasa (materia orgánica muerta) acumulada en el área. El aporte de este componente de biomasa representa el 81% de la biomasa total, lo cual sugiere que este reservorio o depósito de carbono es el componente más importante en la biomasa del tillandsial (Ver anexo 6, 7 y 8). En base a estos resultados se puede señalar que la producción y acumulación de necromasa en el área es superior a la de biomasa viva. Según Hernández-García et al., (2003), la acumulación de hojarascas y la retención de residuos orgánicos muertos (humus) son indicativos de valores bajos de descomposición y, por el contrario, la ausencia de humus o su escasa acumulación son indicativos de altos valores de descomposición y un reciclaje mineral más rápido. Según Bucher et al. 2003; Torres et al., 2005 citado por Noe & Abril (2008), estos valores bajos de descomposición son debido a las condiciones climática no favorables para la actividad de los organismos descomponedores, pues las condiciones de temperatura y de baja humedad reducen o inhibe la actividad de estos microorganismos y sus poblaciones (Smith & Smith, 2007). Por consiguiente, en este ambiente el carbono circula muy lentamente a través de este ecosistema.

Por otra parte, entre las especies tillandsias estudiadas, *Tillandsia werdermannii*, es la especie que aporta la mayor cantidad biomasa y de carbono en el ecosistema del tillandsial. Esta especie de tillandsia aportó más 92% de biomasa total y de carbono, lo cual sugiere su papel relevante en la captura y almacenamiento de carbono en la comunidad de tillandsial. La

cantidad de carbono almacenado en la biomasa en esta especie alcanzó los 2,55 t C/ha en promedio y para toda el área en 56 839 t C.

Con respecto a *Tillandsia landbeckii*, la cantidad de biomasa media estimada (30 kg MS/ha) en el Tillandsial del Intiorko resulto inferior a lo reportado por Rundel et. al. (1997) en Iquique, Chile, donde reporta una biomasa media total de 715 kg/ha para la especie, alcanzando unos 1 460 kg/ha en elevaciones superiores en la cima de la cordillera de la costa de Iquique. Esta baja cantidad de biomasa estimada en la zona del Intiorko, se debe probablemente a las condiciones microclimáticas, al tipo de sustrato y a la topográfica del lugar, ya que únicamente se registró en determinados lugares al Este del tillandsial, principalmente en zonas de mayor pendiente por encima de 1 000 m s.n.m.

En cuanto al carbono almacenado, se realizó la estimación en dos depósitos de carbono (biomasa viva y necromasa) donde se acumula este elemento en el ecosistema del tillandsial. Para fines de este estudio no se consideró el carbono almacenado en la materia orgánica del suelo por su menor contribución. De acuerdo a los resultados, la cantidad de carbono almacenado en las zonas estudiadas varió de acuerdo al sitio ocupado por el tillandsial. El mayor almacenamiento de carbono se presentó en zonas predominantemente accidentada al Este del tillandsial (5,75 t C/ha) comparado con zonas con un relieve topográfico plano a ligeramente ondulado donde las cantidades de carbono fueron menores en la Zona Oeste y Centro del tillandsial (Ver anexo 2 y 5). La cantidad promedio por hectárea estimado en estas zonas variaron entre 0,58 t C/ha a 2,97 t C/ha. Estas diferencias en las cantidades de carbono se deben principalmente a las variaciones en el contenido de biomasa en el área. Y estas variaciones se deben a las condiciones microclimáticas y topográficas que presenta el lugar, lo que origina diferentes condiciones para el crecimiento y desarrollo del tillandsial en la zona.

Por otro lado, la cantidad promedio de carbono almacenado en la biomasa del tillandsial ($2,75 \pm 0,41$ t C/ha) resultó menor a los valores reportados para otras comunidades o ecosistemas. Tito (2012) en su estudio sobre la capacidad de captura de CO₂ en *Olea europea* (olivo) en los Palos, La Yarada y Magallo en el Distrito de Tacna, reportó un promedio de 34,8 t C/ha en la biomasa de estas plantaciones. Mientras que, Martel y Cairampoma (2012) reportó en promedio 260,79 t C/ha en 5 formaciones vegetales (bosques de terraza, bosques inundables, aguajal, pacal y carrizales) en la amazonia de Madre de Dios, Perú. En tanto, Concha et al. (2007) reportó entre 26,2 t C/ha y 45,07 t C/ha en la biomasa aérea en 6 diferentes sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao L.*) entre 5, 12 y 20 años de edad asociados a especies maderables y frutales en la región de San Martín. Sin embargo, la cantidad total de carbono estimado en la biomasa de tillandsial del Intiorko fue 61 250,21 t C, lo que representa una remoción de 224 788,28 toneladas de CO₂. Estos resultados demuestran que la biomasa de estas formaciones vegetales son un importante reservorio de carbono en la costa de Tacna y que su capacidad de almacenamiento y captura de carbono está directamente relacionada a la cantidad de biomasa acumulada en la comunidad de tillandsial.

En la costa desértica de Tacna, esta comunidad vegetal cumple un papel fundamental en la captura y almacenamiento de carbono. Por tanto, resulta de interés prioritario su conservación y protección a fin de asegurar la prestación de este servicio y los demás servicios esenciales que proporciona el tillandsial en la localidad. Esta medida de protección impulsará la implementación de futuros proyectos o planes para la conservación del tillandsial que actualmente se encuentra seriamente amenazada por la expansión urbana y por las diferentes actividades que se desarrolla en su entorno, lo cual ha generado una pérdida considerable de biomasa y la disminución de reservas de carbono en distintas partes del tillandsial. Su establecimiento como área natural protegida contribuirá a realizar una mejora en la conservación y protección de su hábitat y en la implementación de estrategias y acciones para eliminar o mitigar las distintas amenazas que enfrenta el tillandsial en la zona. Además, de debe

tomar en cuenta que este grupo de plantas son altamente vulnerables al cambio climático global, dada a su alta sensibilidad a las variaciones ambientales, particularmente a la reducción a la disponibilidad del agua y al incremento de la temperatura ambiental (Cach-Pérez et al., 2014).

CONCLUSIONES

De acuerdo al análisis de los resultados se puede obtener las siguientes conclusiones:

1. La especie con el mayor contenido de carbono orgánico en el tejido vegetal es *Tillandsia werdermannii* con 43,13 %; seguido por *Tillandsia purpurea* con 42,62 % y en menor cantidad *Tillandsia landbeckii* con 38,40 %.
2. En la comunidad de Tillandsial, *Tillandsia werdermannii*, es la especie que almacena la mayor cantidad de carbono en la biomasa vegetal con 2,55 t C/ha. Por su parte, *Tillandsia landbeckii* es la especie que almacena la menor cantidad de carbono con 0,01 t C/ha.
3. La necromasa es el componente de biomasa más importante y representa el principal reservorio de carbono en la comunidad de Tillandsial, constituye el 81% de la biomasa total y del carbono almacenado.
4. La cantidad total de biomasa viva y necromasa acumulada en la comunidad de Tillandsial del Intiorko es de 142 203,31 t MS y la cantidad total de carbono almacenado en la biomasa viva y necromasa del Tillandsial es de 61 250,21 t C, que representa una captura estimada de 224 788,28 toneladas de CO₂.

RECOMENDACIONES

1. A los investigadores e instituciones (ONG y universidades) interesadas e involucradas en el estudio de captura de carbono, se recomienda implementar un sistema de monitoreo en los diferentes depósitos donde se acumula este elemento en el tillandsial (biomasa viva, necromasa y el suelo), con el fin de detectar y contabilizar los posibles cambios en la captura y almacenamiento de carbono en la biomasa del tillandsial.
2. Al Gobierno Regional de Tacna a través de la Gerencia de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente, se recomienda formular un Plan para la Conservación del Tillandsial en la región de Tacna, con el fin de asegurar la conservación de las poblaciones de tillandsiales, sus hábitats y los servicios ambientales que ofrece este ecosistema en la región.
3. Para futuros estudios, se recomienda incrementar el número de ensayos en la determinación del carbono para obtener estimaciones más precisas de su contenido entre las diferentes especies de tillandsiales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, J., Barrera, E., Reyes-García, C., Ricalde, M., Vargas-Soto, G. & Cervera, J. (2007). El metabolismo ácido de las crasuláceas: Diversidad, Fisiología Ambiental y Productividad. *Bol. Soc. Bot. Méx.* 81:37-50. Recuperado el 23 de abril del 2017 de: <http://www.redalyc.org/pdf/577/57708102.pdf>
- APG II (2003). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG II. *Botanical Journal of the Linnean Society* 141 (4): 399–436. Recuperado el 23 de abril del 2017 de: <http://www.biodiversitas.org.br/florabr/apg2.pdf>
- Aponte, H. & Flores, J. (2013). Densidad y Distribución espacial de *Tillandsia latifolia* en el Tillandsial de Piedra Campana – Lima, Perú. En revista: *Ecología Aplicada* 12(1),2013. Recuperado el 23 de abril del 2017 de: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1726-22162013000100005&script=sci_arttext.
- Aristizabal, J. & Guerra, A. (2002). Estimación de la Tasa de Fijación de carbono en el Sistema Agroforestal Nogal Cafetero (*Cordia alliodora*) - Cacao (*Theobroma cacao* L.)- Plátano (*Musa paradisiaca*). Tesis de Titulo, Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá D.C. Recuperado el 23 de abril del 2017 de: <http://www.sidalc.net/repdoc/A4836e/A4836e.pdf>
- Baldocchi, D., Ryu, Y. & Keenan, T. (2016). Terrestrial Carbon Cycle Variability. *F1000 Faculty Rev.* 2371. Recuperado el 23 de abril del 2017 de: <https://f1000research.com/articles/5-2371/v1>

- Benzing, D. H. (1980). *The biology of the bromeliads*. Mad River Press INC. California. 305 p.
- Benzing, D. H. & Renfrow, A. (1971). The significance of photosynthetic efficiency to habitat preference and phylogeny among tillandsioid bromeliads. *Botanical Gazette* 132:19-30.
- Benzing, D. H. (2000). *Bromeliaceae: Profile of an adaptative Radiation*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Brack, A. & Mendiola, C. (2000). *Ecología del Perú*. Lima-Perú: Editorial Bruño.
- Brack, A. (2006). *Enciclopedia temática del Perú: Tomo 5 Ecología*. 2 da. Edición. Orbis Ventures S.A.C. Lima-Perú
- Brako, L. & Zarucchi, J. L., (1993). Catalogue of the flowering plants and gymnosperms of Perú. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 45, 1–1286
- Cach-Pérez, M. J., Andrade, J. L. & Reyes-García, C. (2014). La susceptibilidad de las bromeliáceas epifitas al cambio climático. *Bot. Sci.* vol. 92 (2). México, 2014. Recuperado el 23 de abril del 2017 de: <http://www.scielo.org.mx/pdf/bs/v92n2/v92n2a1.pdf>
- Cach-Pérez, M. J., Andrade, J. L., Cetzal-IX, W. & Reyes-García, C. (2016). Environmental influence on the inter-and intraspecific variation in the density and morphology of stomata and trichomes of epiphytic bromeliads of the Yucatan Peninsula. *Botanical Journal of the Linnean Society* 181:441-458. Recuperado el 14 de mayo del 2017 de: <https://academic.oup.com/botlinnean/article/181/3/441/2707802/Environmental-influence-on-the-inter-and>

- CATIE (2002). Inventario Forestal para Bosques Latifoliados en América Central. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza-CATIE, Turrialba, Costa Rica 2002. Serie técnica. Manual Técnico/CATIE nº50. Recuperado el 23 de abril del 2017 de: http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/training_material/docs/Inventarios_Forestales%20Bosques_Latifoliados_AC.pdf
- Cereceda, P., Larrain, H., Lazaro, P., Osses, P., Schemenauer, R.S. & Fuentes, L. (1999). Campos de tillandsias y niebla en el desierto de Tarapacá. *Revista de Geografía Norte Grande*. 26:3-13. Recuperado el 23 de abril del 2017 de: <https://repositorio.uc.cl/bitstream/handle/11534/10413/000294483.pdf?sequence=1>
- CONAM. (2001). Primera Comunicación Nacional del Perú a la Convención Nacional sobre el Cambio Climático. Consejo Nacional del Ambiente. Recuperado el 23 de abril del 2017 de: <http://unfccc.int/resource/docs/natc/pernc1.pdf>
- Concha, J., Alegre, J. & Pocomucha, V. (2007). Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de sistemas agroforestales de *Theobroma cacao* L. en el Departamentp de San Martin, Perú. *Ecología Aplicada*, 6(1,2). Recuperado el 23 de abril del 2017 de: http://www.lamolina.edu.pe/ecolapl/Articulo_9_Vol6.pdf
- Crayn, D. M., Winter, K., Schulte, K. & Smith, J. (2015). Photosynthetic pathways in Bromeliaceae: phylogenetic and ecological significance of CAM and C3 based on carbon isotope ratios for 1893 species. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 178: 169-221.
- Cronquist, A. (1981). *An Integrated System of Classification of Flowering Plants*. Ed. Columbia University Press. 1062 p.

- Cubero, J. & 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. Tesis Licenciatura en Ciencias Forestales con Énfasis en Desarrollo Forestal. Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar. Escuela de Ciencias Ambientales. Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica. Recuperado el 23 de abril del 2017 de: <http://es.scribd.com/doc/53354622/Estudio-sobre-Fijacion-de-Carbono-en-Plantaciones#scribd>
- De Jong, B., Masera, O. & Hernández-Tejeda, T. (2004). Opciones de captura de carbono en el sector forestal. Martínez, J. & Bremauntz, A. (Eds.), Cambio climático: una visión desde México. (pp. 369-380). México. Instituto Nacional de Ecología.
- Decreto Supremo N° 043-2006-AG. Diario oficial de El Peruano de Perú, Lima, Perú, 13 de julio de 2006.
- Decreto Supremo N° 011-2015-MINAM. Diario oficial de El Peruano de Perú, Lima, Perú, 23 de setiembre de 2015.
- Ehleringer, J. R., Sage, R. F., Flanagan, L. B. & Pearcy, R. W. (1991). Climate change and the evolution of C4 photosynthesis. *Trends in Ecology and Evolution*, 6(3), 95-99. Recuperado 23 de abril de 2017 de: <http://www.ehleringer.net/uploads/3/1/8/3/31835701/129.pdf>
- Espejo-Serna, A., López-Ferrari, A. R., Martínez-Correa, N. & Pulido-Esparza, V. A. (2007). Bromeliad flora of Oaxaca, Mexico: richness and distribution. *Acta Botánica Mexicana*, (81), 71-147.
- Euguren, L. (2004). El mercado de Carbono en América Latina y el caribe: Balance y perspectivas. Santiago de Chile: CEPAL, 2004. 83 p. (Serie

Medio Ambiente y Desarrollo). Recuperado el 23 de abril del 2017 de:
<ftp://ftp.fao.org/docrep/nonfao/lead/x6367s/x6367s00.pdf>

FAO. (2010). Global Forest Resources Assessment 2010. FAO Forestry paper N°163. Roma, Italia. Recuperado el 23 de abril del 2017 de:
www.fao.org/docrep/008/a0400e/a0400e00.htm

FAO. (2015) Evaluación de los recursos forestales mundiales 2015. 2da. Edición. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma, Italia

Feely, R. A, Sabine, C.L., Takahashi, T., & Wanninkhof, R. (2001). Uptake and Storage of Carbon Dioxide in the Ocean: The Global CO₂ Survey. *Oceanography*.14 (4). pp.18-32. Recuperado el 23 de abril del 2017 de:
http://tos.org/oceanography/assets/docs/14-4_feely.pdf

Figuerola, C., Etchevers, J., Vélaquez, A. & Acosta, M. (2005). Concentración de carbono en diferentes tipos de vegetación de la Sierra Norte de Oaxaca. En revista *Terra Latinoamericana* 23(1):57-64. Universidad Autónoma Chapingo. México. Recuperado el 23 de abril del 2017 de:
<http://www.redalyc.org/pdf/573/57323108.pdf>

Font Quer, P. (2001). Diccionario de Botánica. 2da. Edición. Ediciones Peninsula s.a. Barcelona- España.

Frank, D., Reichstein, M., Bahn, M., Thonicke, K., Frank, D., Mahecha, M. D., ... & Beer, C. (2015). Effects of climate extremes on the terrestrial carbon cycle: concepts, processes and potential future impacts. *Global change biology*, 21(8), 2861-2880.

Freitas, L., Otárola, E., Castillo, D., et al. (2006). Servicios ambientales de almacenamiento y secuestro del ecosistema Aguajal en la Reserva

Nacional Pacaya Samiria, Loreto- Perú. Documento Técnico N°29, noviembre 2006. Iquitos-Perú. Recuperado el 23 de abril del 2017 de: <http://www.iiap.org.pe/Upload/Publicacion/ST029.pdf>

Gallardo, J. F. & Merino, A. (2007). El ciclo del carbono y la dinámica de los sistemas forestales. Fundación Gas Natural (Ed.). El papel de los bosques españoles en la mitigación del cambio climático. pp:43-64. Recuperado el 23 de abril del 2017 de: <http://digital.csic.es/handle/10261/35792>

Gardner, C. S. (1982). A systematic study of Tillandsia subgenus Tillandsia. PhD. Dissertation. Texas A. and M. University. 305 p.

Gayoso, J. & Guerra, J. (2005). Contenido de carbono en la biomasa aérea de bosques nativos en Chile. En revista Bosque 26(2):33-38,2005. Recuperado el 23 de abril del 2017 de: <http://mingaonline.uach.cl/pdf/bosque/v26n2/art05.pdf>

Geydan, T.D. & Melgarejo, L. M. (2005). Metabolismo Ácido de las Crasuláceas. Acta Biológica Colombiana, 10(2):3-15. Recuperado el 23 de abril del 2017 de: <http://www.scielo.org.co/pdf/abc/v10n2/v10n2a01.pdf>

Gifford, R. (2000). Carbon contents of above-ground tissues of forest and woodland trees. Canberra: Australian Greenhouse Office. National carbon accounting system. Technical Report N° 22. 17 p.

GORET (2007a). Zonificación Ecológica Económica de Tacna. Eje temático de Biodiversidad y Ecosistema. Gerencia de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente. Proyecto SNIP N° 61712 "Fortalecimiento de Capacidades en Planificación y Ordenamiento Territorial para el Desarrollo Sostenible en la Región Tacna"

- GORET (2007b). Zonificación Ecológica Económica de Tacna. Eje temático climatología. Gerencia de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente. Proyecto SNIP N° 61712 “Fortalecimiento de Capacidades en Planificación y Ordenamiento Territorial para el Desarrollo Sostenible en la Región Tacna”
- Granados, C. (2005). Estudio taxonómico del Género Tillandsia L. (Bromeliaceae) en la Sierra de Juárez (Oaxaca, México). Tesis para optar el grado de Bióloga. Universidad Nacional de México. Recuperado el 30 de abril del 2017 de: [https:// www.researchgate.net/publication/237076591_Estudio_taxonomico_del_genero_Tillandsia_L_Bromeliaceae_en_la_Sierra_de_Juarez_Oaxaca_Mexico](https://www.researchgate.net/publication/237076591_Estudio_taxonomico_del_genero_Tillandsia_L_Bromeliaceae_en_la_Sierra_de_Juarez_Oaxaca_Mexico)
- Hernández-García, M. A., Mendoza, D. & Sánchez-Gonzales, A. (2003). Productividad de los ecosistemas en las regiones áridas. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 9(2):113-123. Recuperado el 23 de abril del 2017 de: <http://www.redalyc.org/pdf/629/62913142002.pdf>
- Hernández, R., Fernández, C. & Baptista, P. (2006). Metodología de la Investigación (4a. ed.). México D.F.: McGraw-HILL / Interamericana Editores, S.A. de C.V.
- Honorio, E. N. & Baker, T. (2010). Manual para el monitoreo del ciclo del carbono en bosques amazónicos. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. Universidad de Leeds. Lima, 54 p. Recuperado el 23 de abril del 2017 de: http://www.rainfor.org/upload/Manuals_Spanish/Honorio_Baker2010%20Manual%20carbono.pdf
- INRENA (1994). Mapa ecológico del Perú: Guía explicativa. Ministerio de agricultura. Lima-Perú

- IPCC (1996). Chapter: Land Use Change & Forestry. Greenhouse Gas Inventory Reference Manual. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Revised Version. London, 1996, vol. 3. 57 p.
- IPCC (2001). Cambio climático 2001: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Tercer Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza"
- IPCC (2003). Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme, Published by the Institute for Global Environmental Strategies (IGES) for the IPCC. Recuperado el 23 de abril del 2017 de: http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf_files/GPG_LULUCF_FULL.pdf
- IPCC (2007). Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 págs. Recuperado el 23 de abril del 2017 de: https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf
- IPCC (2013). Resumen para responsables de políticas. En: Cambio Climático 2013: Bases físicas, Contribución del grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático. [Stocker, T.F., D. Qin, G.- K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América. Recuperado el 23 de abril del 2017 de:

https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_SPM_brochure_es.pdf

- IPCC (2014a). Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad – Resumen para responsables de políticas. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea y L.L. White (eds.)]. Organización Meteorológica Mundial, Ginebra, Suiza, 34 págs.
- IPCC (2014b). Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza. 157 pp. Recuperado el 23 de abril del 2017 de: https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf
- IPCC (2018). Summary for Policymakers. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. World meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 32 pp.

- Johnson, G.C. & Parsons, A. R. (2015). Global Oceans. Blunden, J. & Arndt, D. (Eds), State of the climate 2014. Bulletin of the American Meteorological Society. Vol. 96 (7), July 2015. S59 p.
- Jorgensen, P., Ulloa, C. & Maldonado, C. (2006). Riqueza de plantas vasculares. Botánica económica de los Andes Centrales. 2006:37-50
- Lara, M., Drincovich, M. & Andreo, C. (2010). Transición metabólica en la fijación fotosintética del carbono en plantas del género *Portulaca*. Gonzales, J. & Sancho, A. (Eds.). Aplicación de especies autóctonas C4 y CAM en programas de revalorización y desarrollo de zonas áridas y semiáridas del Mediterráneo español. CSIC- Fundación Ramón Areces. Recuperado el 23 de abril del 2017 de: <https://digital.csic.es/bitstream/10261/29768/10/lara.pdf>
- Larcher, W. (2003). Physiological Plant Ecology: Ecophysiology and Stress Physiology of Functional Groups. 4a ed. Springer. Nueva York.
- Lazo, R. S. (2011). Valoración biológica, física y geográfica de la hierba siempre viva *Tillandsia werdermannii* para la conservación en la Región Tacna, 2010. Tesis de Maestría, Escuela de Posgrado de Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna, Perú.
- Leegood, R. C. (1993). Carbon Dioxide Concentrating Mechanisms. In: P.J. Lea and R.C. Leegood (Eds.). Plant Biochemistry and Molecular Biology. John Wiley and Sons, Ltd. Chichester, U.K.
- León, B., Sagástegui, A., Sánchez, I. & Zapata, M. (2006). Bromeliaceae endémicas del Perú. Rev. Perú. Biol. 13(2):708s-737s. Recuperado el 23 de abril del 2017 de: <http://sisbib.unmsm.edu.pe/BVrevistas/biologia/v13n2/pdf/a133.pdf>

- Le Quéré, C., Andrew, R., Friedlingstein, P., Sitch, S., Hauck, J., Pongratz, J. & et al. (2018). Global Carbon Budget 2018. *Earth System Science Data*. 10. 2141–2194, 2018. <https://doi.org/10.5194/essd-10-2141-2018>
- Ley N° 27867. Diario oficial de El Peruano de Perú, Lima, Perú, 09 de noviembre 2002.
- Lohmüller, F. A. (2005). *The Botanical System of the Plants. Family Bromeliaceae: Genera Tillandsia*. <http://www.f-lohmueller.de>
- Luther, HE. (2012). An alphabetical list of bromeliad binomials, 13th edn. Holst BK, Rabinowitz L, eds. Sarasota, FL: Marie Selby Botanical Gardens/Bromeliad Society International. Recuperado el 30 de abril del 2017 de: http://selby.org/wp-content/uploads/Bromeliad_Binomial_List_For_Web.pdf
- Lüttge, U., Klauke, B., Griffiths, H., Smith, J.A.C. & Stimmel, K.H. (1986). Comparative ecophysiology of CAM and C3 bromeliads. V. Gas exchange and leaf structure of the C3 bromeliad *Pitcairnia integrifolia*. *Plant, Cell and Environment* 9:411-419.
- Macbride, F. J. (1936). *Flora of Perú. Botanical Series. Vol. XIII. Part I, N°3*. Field Museum of Natural History, Chicago, USA. Recuperado el 30 de abril del 2017 de: <http://www.biodiversitylibrary.org/item/19696#page/3/mode/1up>
- MacDicken, K.G. (1997). *A Guide to Monitoring Carbon Storage in Forestry and Agroforestry Projects. Forest Carbon Monitoring Program*. Winrock International Institute for Agricultural Development. 87 p. Recuperado el 30 de abril del 2017 de: <http://www.forestry.gov.cn/uploadfile/thw/2010-1/file/Winrock%20International%20%E7%A2%B3%E7%9B%91%E6%B5%8B%E6%8C%87%E5%8D%97.pdf>

- Martel, C. & Cairampoma, L. (2012). Cuantificación del carbono almacenado en formaciones vegetales amazónicas en CICRA, Madre de Dios (PERU). En revista Ecología Aplicada, 11(2), 2012. Recuperado el 30 de abril del 2017 de: http://www.lamolina.edu.pe/ecolapl/articulo_7_Vol_11_no_2.pdf
- Martínez, D. & Quintana, S. (2010). Determinación del contenido de carbono en *Quercus microphylla* y dos unidades de suelo en el Predio las cruces, Texcoco, Estado de México. Tesis de Título, División de Ciencias Forestal, Universidad Autónoma Chapingo, México.
- Martínez, V. (2013). Paradigmas de investigación: Manual multimedia para el desarrollo de trabajos de investigación. Una visión desde la epistemología dialéctico crítica. Pág 11. Recuperado el 01 de junio del 2019 de: www.pics.uson.mx/uploads/2013/10pdf
- Matteucci, S. & Colma, A. (1982). Metodología para el estudio de la Vegetación. Monografía nº 22. Secretaria de la Organización de los Estados Americanos. Programa regional de desarrollo Científico y Tecnológico Washington D.C.
- McKean, J. S. (1993). Manual de análisis de suelos y tejido vegetal: Una guía teórica y práctica de metodologías. Documento de trabajo N°129. Laboratorio de Servicios Analíticos. Centro Internacional de Agricultura Tropical-CIAT. Recuperado el 30 de abril del 2017 de: http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/Digital/S593.M2_Manual_de_an%C3%A1lisis_de_suelos_y_tejido_vegetal_Una_gu%C3%ADa_te%C3%B3rica_y_pr%C3%A1ctica_de_metodologia.pdf
- Medrano, H., Galmés, J. & Flexas, J. (2013). Fijación del dióxido de carbono y biosíntesis de fotoasimilados. Azcon-Bieto & Talón (Eds.). Fundamentos de Fisiología Vegetal. (pp.227-245). Madrid, McGraw-Hill-Interamericana de España S.L. Recuperado el 30 de abril del 2017 de:

<https://es.scribd.com/doc/277013049/Fundamentos-de-Fisiologia-Vegetal-Azcon-Bieto-2ed>.

Millennium Ecosystem Assessment - MA. (2005). Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington, DC.

MINAM (2010a). El Perú y el Cambio Climático. Segunda Comunicación Nacional del Perú a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático 2010. Lima: Ministerio del Ambiente. Recuperado el 30 de abril del 2017 de: <http://cdam.minam.gob.pe/novedades/peruycambioclimaticoresumen.pdf>

MINAM. (2010b). Plan de Acción de Adaptación y Mitigación frente al Cambio Climático. Ministerio del Ambiente. Editorial Súper Gráfica E.I.R.L. Recuperado el 30 de abril del 2017 de: <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/rm-060-2010-minam.pdf>

MINAM (2015). Estrategia Nacional ante el Cambio Climático 2015. Lima: Ministerio del Ambiente. Recuperado el 30 de abril del 2017 de: <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2015/09/ENCC-FINAL-250915-web.pdf>

MINAM (2016). El Perú y el Cambio Climático: Tercera Comunicación Nacional del Perú a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) 2016. Fondo editorial MINAM. Lima- Perú. Recuperado el 23 de abril del 2017 de: <http://cdam.minam.gob.pe/novedades/peruycambioclimaticoresumen.pdf>

Montero, G., Pasalodos, M., Montoto, R., Lopez, E., Onrubia, R., Bravo, A., & Ruiz, R. (2013). Contenido de carbono de la biomasa de las principales especies de matorral y arbustados de España. Sociedad Española de Ciencias Forestales. 6º Congreso Forestal Español. 10-14 junio 2013.

Recuperado el 30 de abril del 2017 de: https://www.researchgate.net/profile/Ricardo_Ruiz-Peinado/publication/265556924_Contentido_de_carbono_en_la_biomasa_de_las_principales_especies_de_matorral_y_arbustados_de_Espana/links/54886c100cf268d28f08f2fb.pdf

Morales, L. (2014). Estado actual del bosque de *Polylepis* y su eficiencia en la captura de CO₂ en la provincia de Tarata, Departamento de Tacna. Tesis de Maestría. Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna, Perú.

Nobel, P. S. (1991). Achievable productivities of certain CAM plants: basis for high values compared with C₃ and C₄ plants. *New phytologist*, 119(2), 183-205. Recuperado el 30 de abril del 2017 de: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1469-8137.1991.tb01022.x/full>

Noe, L. & Abril, A. (2008) Interacción entre la calidad de restos vegetales, descomposición y fertilidad del suelo en el desierto del Monte de Argentina. *Ecología Austral* 18: 181-193. Recuperado el 20 de junio del 2017 de: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S16-67782X2008000200003

Odum, E. P. (1972). *Ecología* (3a ed.). México: Editorial Interamericana S.A.

Olalde, M. O. (2010). Biodiversidad y servicios de los ecosistemas. UNESCO Etxea. *Servicios de los ecosistemas y bienestar humano* (pp.9-14). Bilbao, España. Recuperado el 30 de abril del 2017 de: http://www.unescoetxea.org/dokumentuak/Ecosistemas_bienestar.pdf

Orozco, C. A., Sagastume, H. A., Feldhoff, U. M., Suchini, A. E., et al. (2011). Propagación in vivo e in vitro de cinco especies del género *Tillandsias* en

vías de extinción y de potencial uso sostenible. Informe final. PROYECTO FODECYT N° 04-2006. Guatemala

Paneque, V., Calaña, J., Calderón, M., Borges, Y., Hernández, T., Caruncho, M. (2010). Manual de Técnicas analíticas para análisis de suelo, foliar, abonos orgánicos y fertilizantes químicos. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas-INCA. Laboratorio de Agroquímica. Ediciones INCA, La Habana, Cuba. Recuperado el 30 de abril del 2017 de: http://mst.ama.cu/578/1/folleto_suelos.pdf

Pardos, J. A. (2010). Los ecosistemas forestales y el secuestro de carbono ante el calentamiento global. Madrid. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA). Recuperado el 30 de abril del 2017 de: http://www.inia.es/gcontrec/pub/60587OT_LIBRO_WEB_1277883079734.pdf

Pearson, T., Walker, S. & Brown, S. (2005). Sourcebook for Land use, land-use change and forestry projects. Biocarbon Fund. Winrock International.

Pierce, S., Maxwell, K., Griffiths, H. & Winter, K. (2001). Hydrophobic trichomes layers and epicuticular wax powderd in Bromeliaceae. American Journal of Botany 88(8): 1371-1389. Recuperado el 30 de abril del 2017 de: http://www.stri.si.edu/sites/publications/PDFs/Pierce_et_al_2001.pdf

Pierce, S. (2007). The jeweled armor of Tillandsia - multifaceted or elongated trichomes provide photoprotection. Aliso: A Journal of Systematic and Evolutionary Botany: vol.23: 44–52.

Pinto, R., Barria, I., & Marquet, P.A. (2006). Geographical distribution of Tillandsial lomas in the Atacama Desert, northern Chile. Journal of arid environments. 65:543-552. Recuperado el 30 de abril del 2017 de:

<http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/119983/Pinto%20R.pdf?sequence=1>

PNUMA (2015). Informe de 2015 sobre la disparidad en las emisiones. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Nairobi. Recuperado el 30 de abril del 2017 de: https://uneplive.unep.org/media/docs/theme/13/EGR_2015_Technical_Report_ES.pdf

PNUMA-ORPALC / FS-UNEP Centre. (2014). La agricultura andina frente al cambio climático. Documento del proyecto Microfinanzas para la adaptación basada en Ecosistemas (MEbA). Panamá. Recuperado el 23 de abril del 2017 de: http://www.pnuma.org/meba/documentos/agricultura_Andina_frente_al_CC_baja.pdf

Post, W. M., Peng, T. H., Emanuel, W. R., King, A., Dale, V. H., & DeAngelis, D. L. (1990). The global carbon cycle. *American scientist*, 78(4), 310-326

Prudencio, H. (2006). Determinación de las reservas totales de carbono en plantaciones forestales de *Eucalyptus globulus* en Maracará- Carhuaz 2003. Tesis de Maestría. Escuela de Postgrado. Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo- Huaraz-Perú. Recuperado el 23 de abril del 2017 de: http://www.concytec.gob.pe/portalsinacyt/images/stories/corcytecs/ancash/tesis_unasam_2006_posgrado_determinacion_de_las_reservas_totales_de_carbono.pdf

Pulgar, M. V. (2015). Cop21 y el Acuerdo de París: El largo proceso hacia el éxito, el rol y las oportunidades para el Perú. Recuperado el 30 de abril del 2017 de: <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2015/12/Acuerdo-de-Par%C3%ADs-ADs-MPV-Paris.pdf>

- Quispe, T. (2001). Estructura de las poblaciones de *Tillandsia* de la Provincia de Tacna. Tesis para Título. Escuela de Biología – Microbiología de la Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna, Perú.
- Ramos, C. A. (2017). Los paradigmas de la investigación científica. *Avances en Psicología*, 23(1), 9-17.
- Rauh, W., Schill, R., Ehler, N. & Barthlot, W. (1973). Some remarks on the supply of bromeliads. *Journal of the Bromeliad Society*. Vol. XXIII (3). P.8.
- Rebollar, J. L. & Sancho, A. Ch. (2010). C4 y CAM. Característica generales y uso en programas de desarrollo de tierras áridas y semiáridas. Consejo superior de investigaciones científicas. Madrid-España.
- Reichstein, M., Bahn, M., Ciais, P., Frank, D., Mahecha, M. D., & Seneviratne, S. I. (2013). Climate extremes and the carbon cycle. *Nature*, 500, 287-295. Recuperado el 30 de abril del 2017 de: https://www.researchgate.net/profile/Ariane_Walz/publication/258615849_Climate_extremes_and_the_carbon_cycle_-_a_review
- Rügnitz, M. T., Chacón, M. L., & Porro, R. (2009). Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales - 1. ed. - Lima, Perú.: Centro Mundial Agroforestal (ICRAF) / Consorcio Iniciativa Amazónica (IA). 79 p. Recuperado el 30 de abril del 2017 de: <http://www.worldagroforestry.org/downloads/Publications/PDFS/B16293.pdf>
- Rundel, P., Palma, B., Dillon, M., Sharifi, M., Nilsen, E., & Boonpragob, K. (1997). *Tillandsia landbeckii* in the coastal Atacama Desert of northern Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*. 70: 341-349.

- Rundel, P. & Dillon, M. (1998). Ecological patterns in the Bromeliaceae of the lomas formations of Coastal Chile and Perú. *Pl. Syst. Evol.* 212:216. Recuperado el 30 de abril del 2017 de: http://www.researchgate.net/publication/248021287_Ecological_patterns_in_the_Bromeliaceae_of_the_Lomas_formation_of_Coastal_Chile_and_Peru
- Sadzawka, A., Carrasco, M., Demanet, R., Flores, H., Grez, R., Mora, M. & Neaman, A. (2007). Método de análisis de tejidos vegetales. 2da. Edición. Instituto de Investigaciones Agropecuarias-INIA. Serie Actas INIA-Nº 40, Santiago, Chile. 140p. Recuperado el 30 de abril del 2017 de: <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/serieactas/NR34664.pdf>
- Salisbury, F.B. & Ross, C. (2000). Fisiología de las plantas. Thompson Editores Spain. Paraninfo, S.A. 389-411 pp.
- Schollenberger, C. J. (1927). A rapid approximate method for determining soil organic matter. *Soil Sci.* 24:65-68.
- Segura, M. (1997). Almacenamiento y Fijación de carbono en *Quercus costaricensis* en un bosque de altura en la Cordillera de Talamanca, Costa Rica. Tesis para licenciado en Cs. Forestales. Universidad Nacional. 147 pág.
- SERNANP (2014). Documento de trabajo nº08. Los sistemas regionales de conservación: Avances y lecciones aprendidas. Lima-Perú. Pág. 60
- Silvera, K., Santiago, L. S., Cushman, J. C., & Winter, K. (2009). Crassulacean Acid Metabolism and Epiphytism Linked to Adaptive Radiations in the Orchidaceae. *Plant Physiology.* 149:1838-1847 pp. Recuperado el 30 de abril del 2017 de: <http://www.plantphysiol.org/content/149/4/1838.full>

- Simpson, M. (2006). *Plant systematics*. Elsevier Academic Press. Printed in Canada.
- Smith, T. & Smith R. (2007) *Ecología* (6a ed.). Madrid: Pearson Educación, S.A.
- Stefano, M., Papini, A., & Brighigna, L. (2008). A new quantitative classification of ecological types in the bromeliad genus *Tillandsia* (Bromeloaceae) based on trichomes. *Rev. Biol. Trop.* 56(1): 191-203. Recuperado el 20 de mayo del 2017 de: [http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0034-77442008000100014 &script=sci_arttext&tlng=pt](http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0034-77442008000100014&script=sci_arttext&tlng=pt)
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2002). *Plant Physiology*. (3rd ed.). Sinauer Associates.
- Tito, C. (2012). Estimación cuantitativa de la capacidad de captura del CO₂ en plantaciones de olivo en el Distrito de Tacna, 2010. Tesis de Maestría. Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna, Perú
- Türkowsky, J. (1976). Estudio bioecológico del Tillandsial de Cajamarquilla, Lima, Tesis. Universidad Nacional Agraria la Molina, Perú.
- Türkowsky, J., & López, C. (1983). Estudio ecológico del Tillandsial de Cajamarquilla, Lima. En revista: *Zonas áridas* N° 3, enero-diciembre:5-24. Recuperado el 30 de abril del 2017 de: <http://www.lamolina.edu.pe/zonasaridas/pdf/ZONAS%20ARIDAS%20VOLUMEN%20III.pdf>
- UNEP (2018). *The Emissions Gap Report 2018*. United Nations Environment Programme, Nairobi. Recuperado el 12 de diciembre del 2017 de: <http://www.unenvironment.org/emissionsgap>
- UNFCCC (1992). *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Naciones Unidas. FCCC/INFORMAL/84.

- UNFCCC (1998). Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Naciones Unidas.
- UNFCCC (2015). Aprobación del acuerdo de Paris. Naciones Unidas. FCCC/CP/2015/L.9/Rev.1
- Winter, K., & Smith, J. A. C. (1996). An introduction to crassulacean acid metabolism. Biochemical principles and ecological diversity. In Crassulacean acid metabolism (pp. 1-13). Springer Berlin Heidelberg.
- Wolf, S., Keenan, T. F., Fisher, J. B., Baldocchi, D. D., Desai, A. R., Richardson, A. D., ... & Peters, W. (2016). Warm spring reduced carbon cycle impact of the 2012 US summer drought. *Proceedings of the National Academy of Sciences, U S A.*; 113(21): 5880–5885. Recuperado el 20 de mayo del 2017 de: <http://www.pnas.org/content/113/21/5880.full>
- WMO (2018). WMO Provisional statement on the State of the Global Climate in 2018. World Meteorological Organization. 12 pp. Recuperado el 25 de febrero del 2019 de: <https://public.wmo.int/en/our-mandate/climate/wmo-statement-state-of-global-climate>
- WWF (2012). Informe Planeta Vivo 2012: Biodiversidad, biocapacidad y propuestas de futuro. WWF Internacional Gland, Suiza. Recuperado el 20 de mayo del 2017 de: http://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/informe_planeta_vivo_2012.pdf
- Yaranga, R. & Custodio, M. (2013). Almacenamiento de carbono en pastos naturales altoandinos. *Scientia Agropecuaria* 4(2013) 313-319.
- Yerena, J., Jiménez, J., Aguirre, O., et al. (2011). Concentración de carbono en la biomasa aérea del matorral espinoso Tamaulipeco. En *Revista*

Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 17(2): 283-291, 2011.

Zegarra, R. & Chávez, R. (2006). Biodiversidad Ecosistema y Taxonomía de la vegetación desértica de Tacna. Tacna - Perú: Imprenta Universitaria – IMUN

ANEXOS

ANEXOS

Anexo 1: Contenido de humedad en los diferentes especies de tillandsias en la comunidad del Tillandsial del Intiorko, 2016. n= Tamaño de muestra.

ESPECIE	n	% PROMEDIO DE HUMEDAD	
		Biomasa viva	Necromasa
<i>Tillandsia werdermannii</i>	22	72,05	7,06
<i>Tillandsia purpurea</i>	11	78,82	5,81
<i>Tillandsia landbeckii</i>	7	64,24	5,17

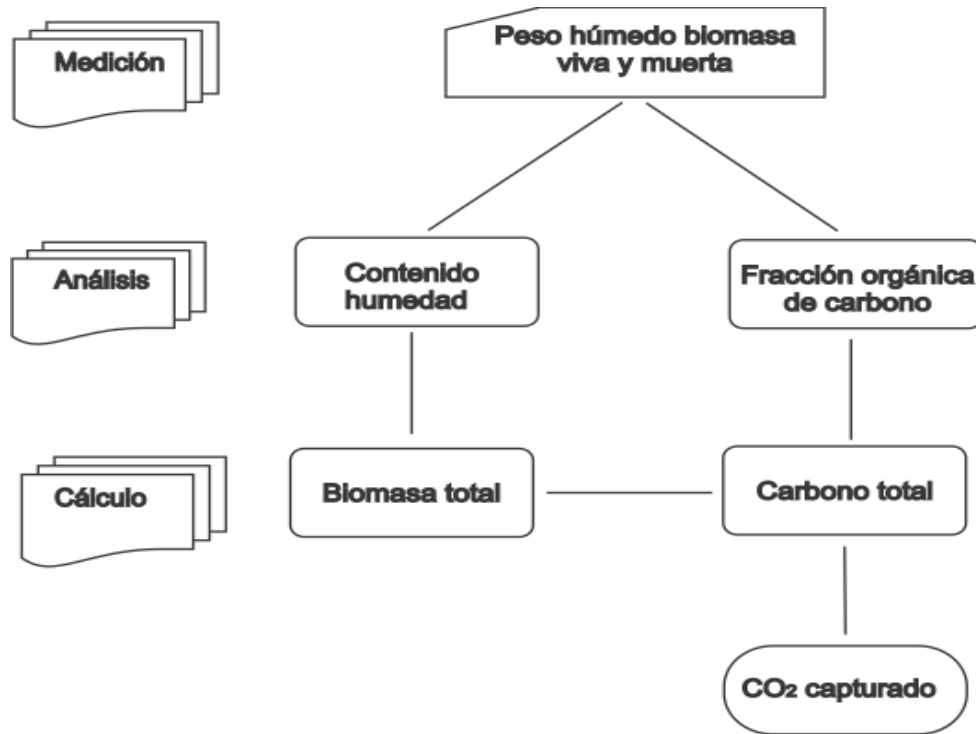
Fuente: Elaboración propia, 2016

Anexo 2: Características del medio geografico de la zona de estudio del Tillandsial del Intiorko

Zona de muestreo	Ubicación	Topografía	Sustrato	Altura (m s.n.m.)	Pendiente (%)
1	Oeste	Plano ligeramente ondulado	Arenoso	588 - 829 m	1-4
2	Centro	Plano a ondulado interrumpidas con pequeñas quebradas	Arenoso con 1-15% de rocas	693 -1153 m	1-13
3	Este	Plano a accidentado con numerosas quebradas de laderas empinadas	Arenoso	859 -1342 m	1-54

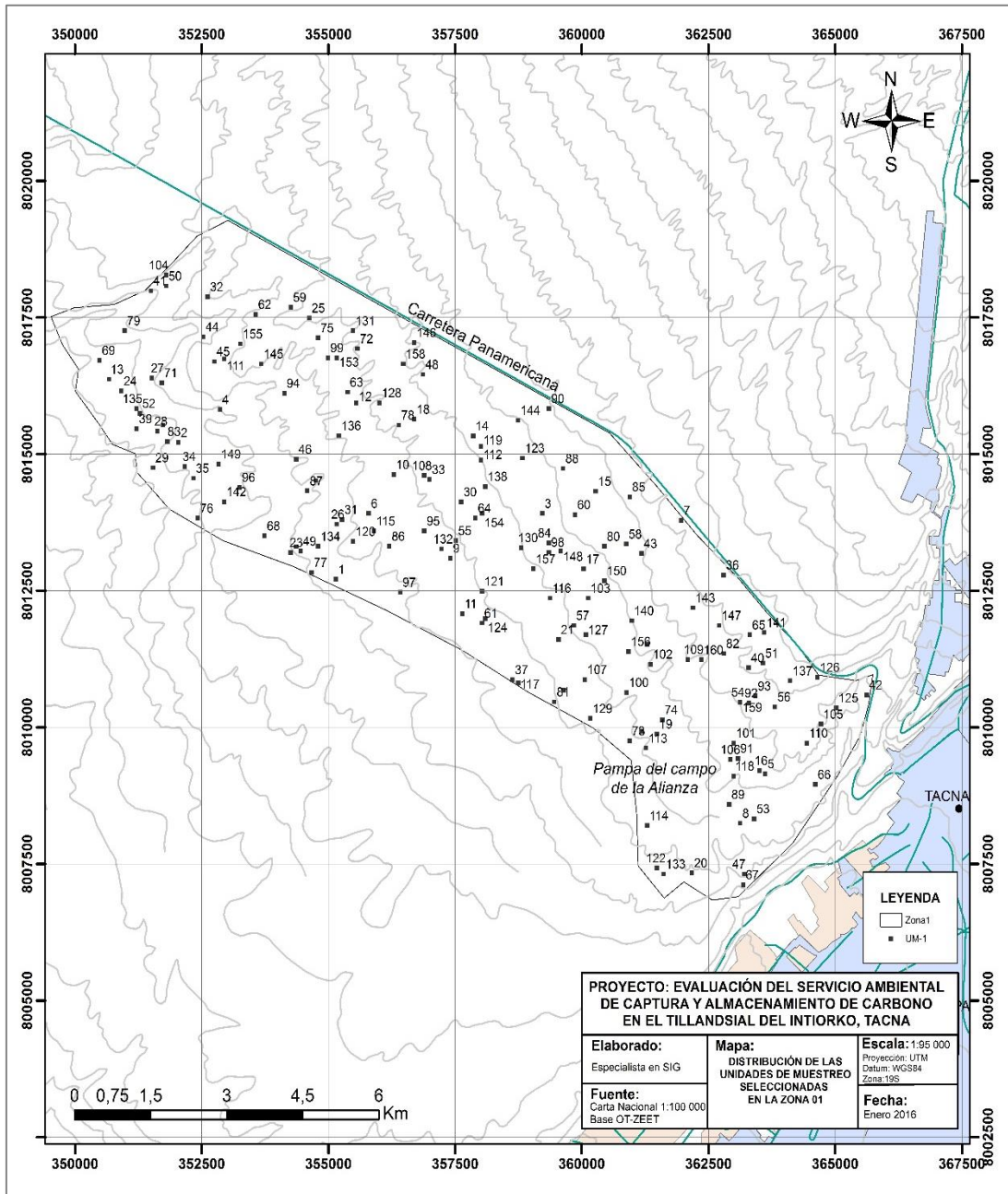
Fuente: Elaboración propia, 2016

Anexo 3: Diagrama de flujo para la medición del carbono y la captura de CO₂



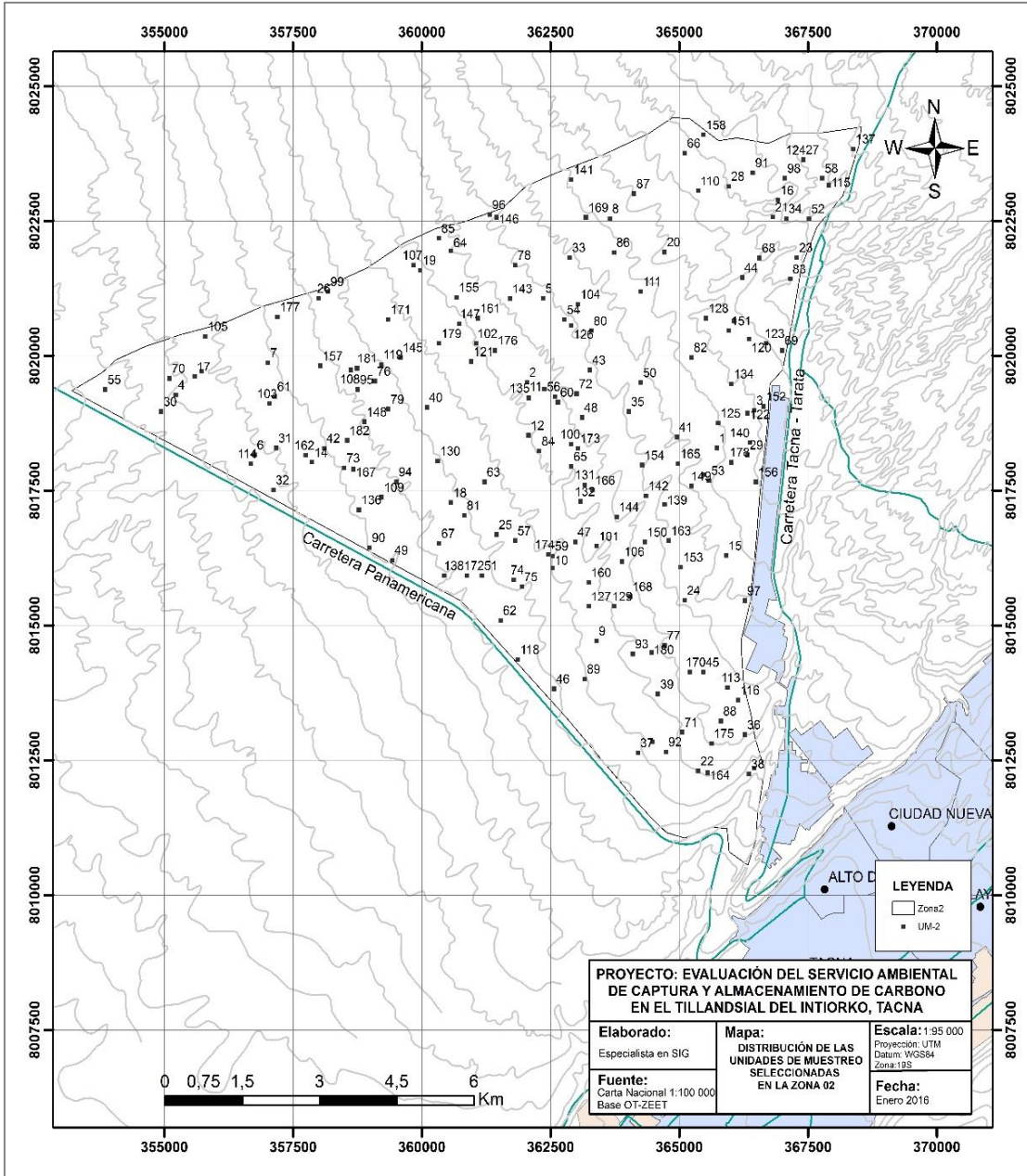
Fuente: Elaboración propia, 2016

Anexo 4: Mapas de distribución de las unidades de muestreo en la zona de estudio del Tillandsial del Intiorko, 2016



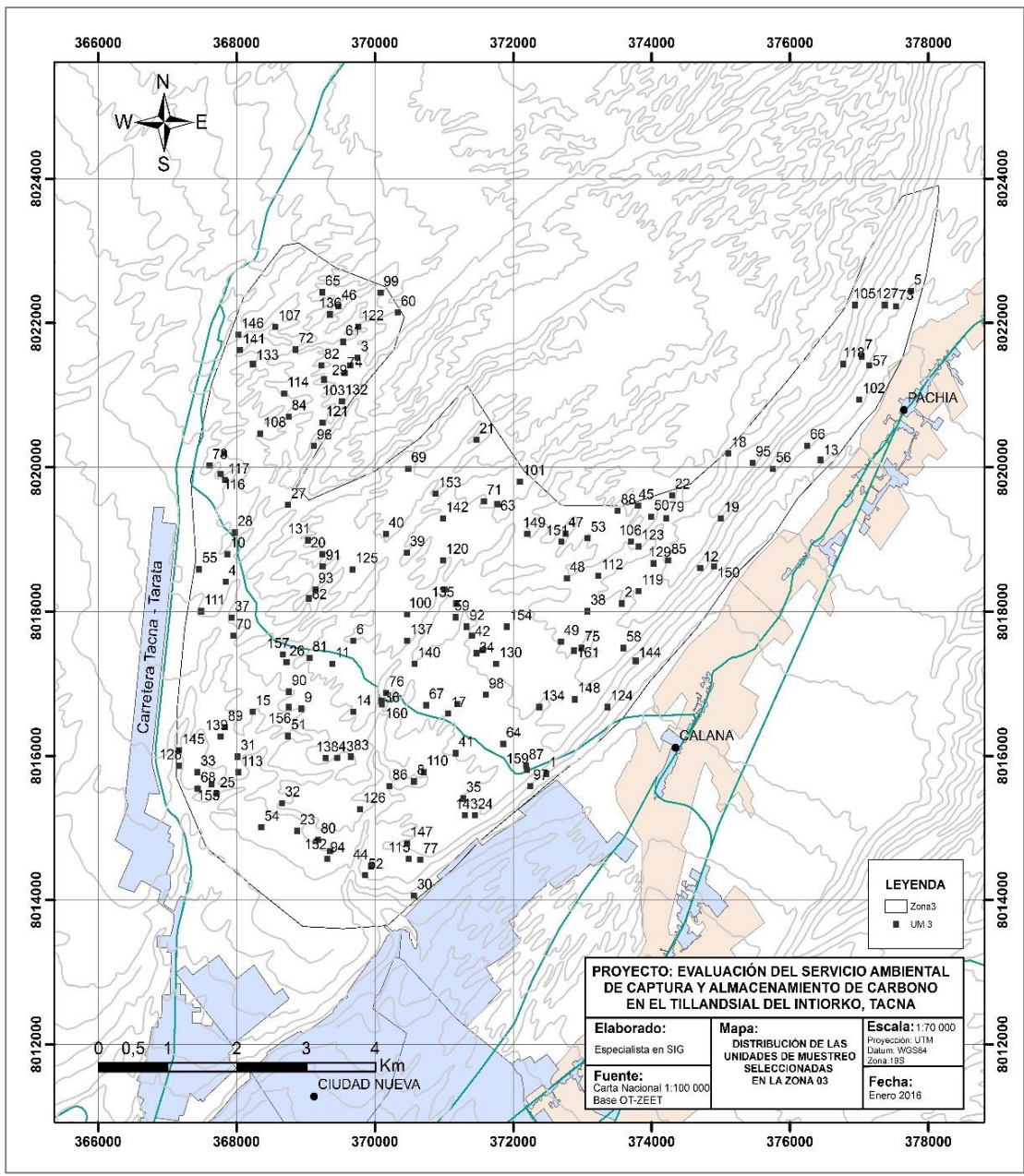
Fuente: Elaboración propia, 2016

continúa...



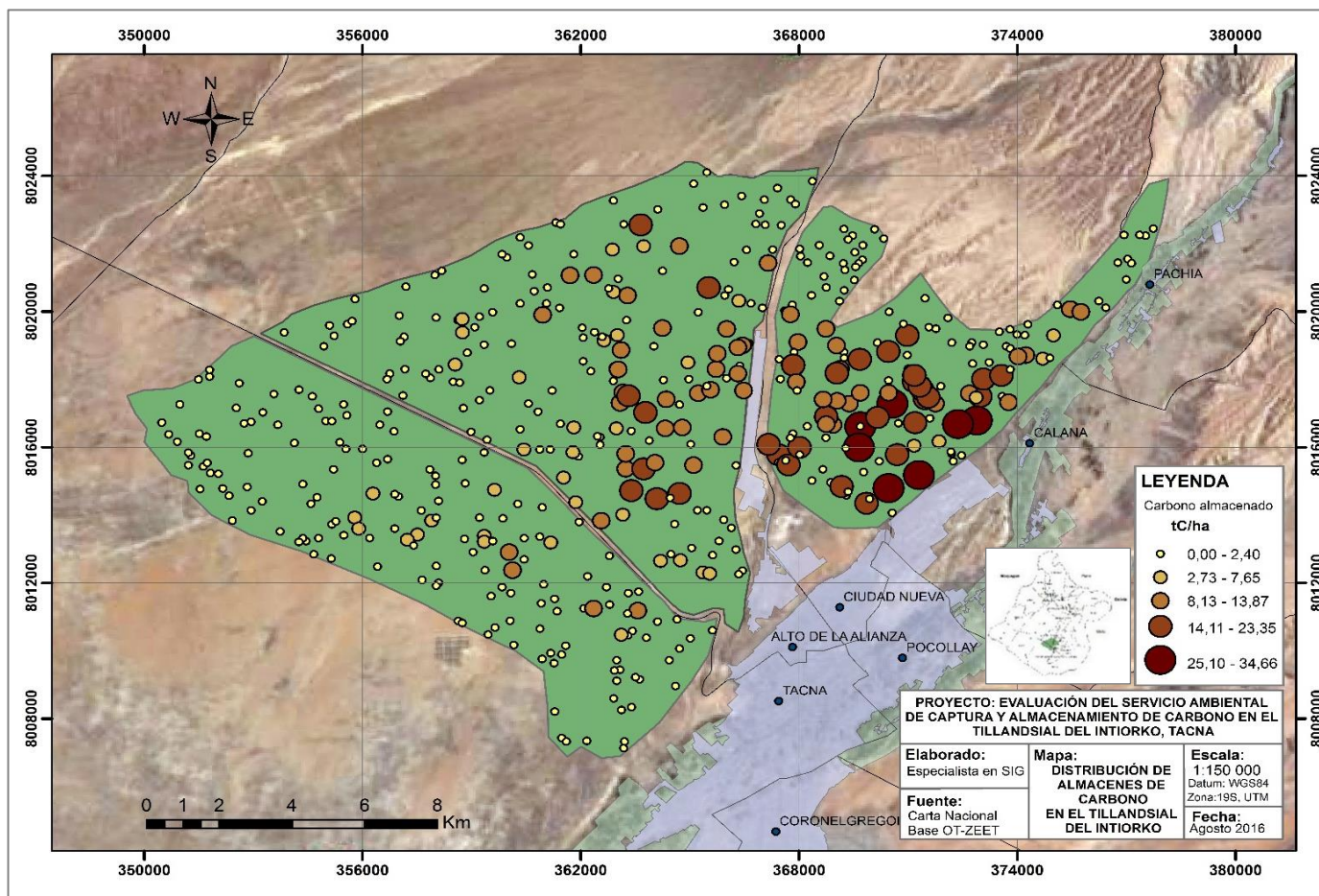
Fuente: Elaboración propia, 2016

continúa...



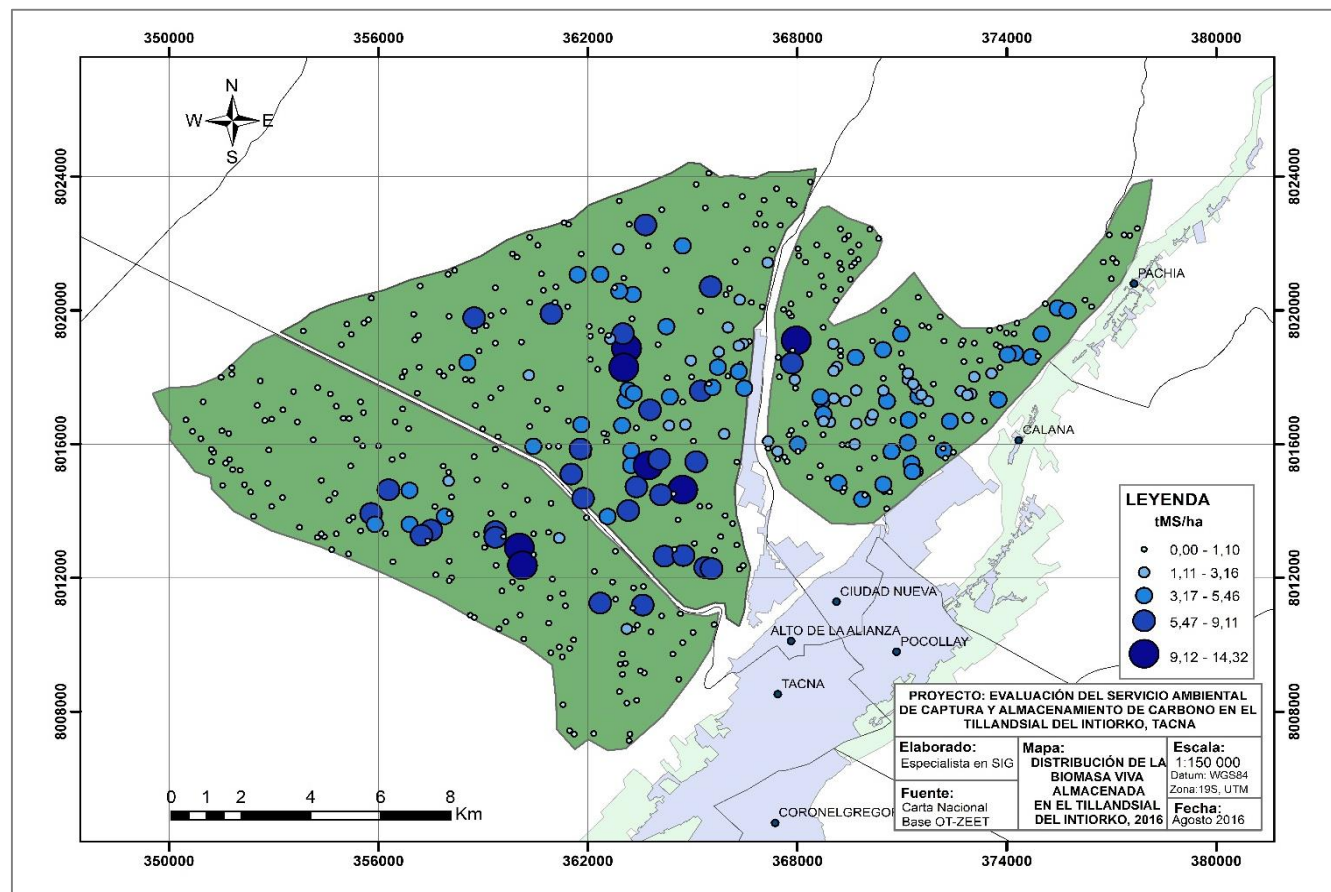
Fuente: Elaboración propia, 2016

Anexo 5: Mapa de distribución de los almacenes de carbono en el Tillandsial del Intiorko, 2016



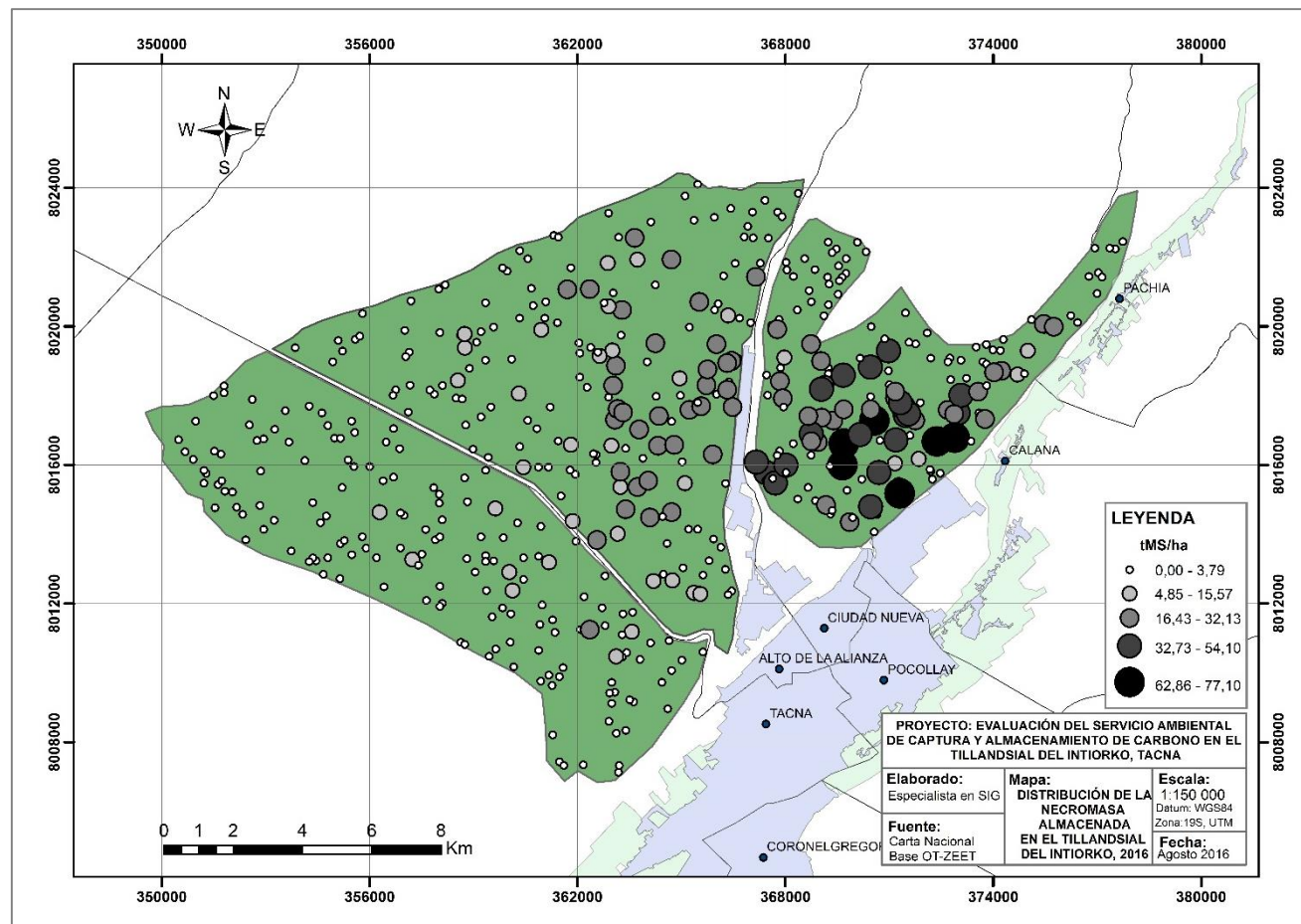
Fuente: Elaboración propia, 2016

ANEXO 6: Mapa de distribución de la biomasa viva almacenada en el Tillandsial del Intiorko, 2016



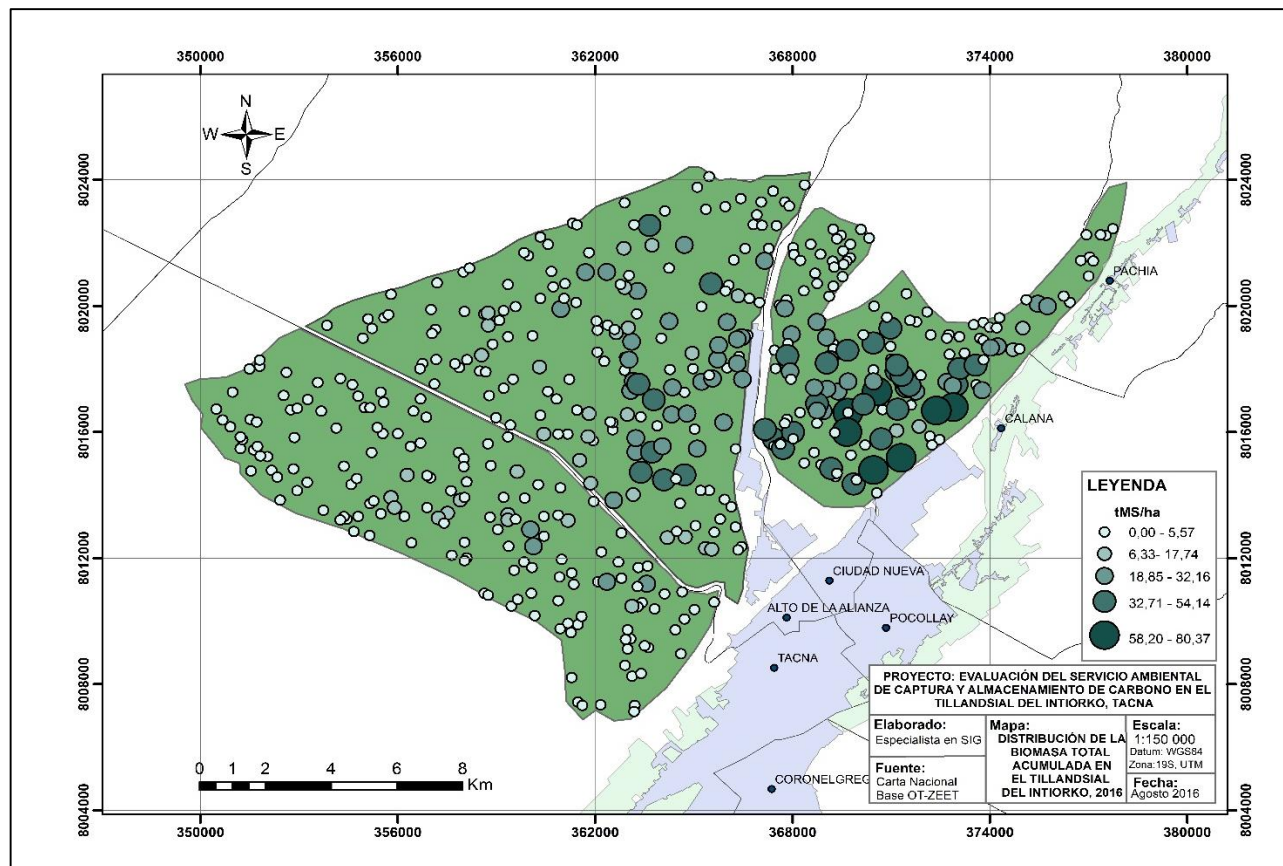
Fuente: Elaboración propia, 2016

ANEXO 7: Mapa de distribución de la necromasa almacenada en el Tillandsial del Intiorko, 2016



Fuente: Elaboración propia, 2016

ANEXO 8: Mapa de distribución de la biomasa total acumulada en el Tillandsial del Intiorko, 2016



Fuente: Elaboración propia, 2016

Anexo 9: Coordenadas UTM de las unidades de muestreo para la medición de carbono en el Tillandsial del Intiorko (Datum: WGS84)

Nº	Este	Norte	Altura (m s.n.m.)	Nº	Este	Norte	Altura (m s.n.m.)
1	355148	8012714	667	36	362798	8012796	829
2	352042	8015215	608	37	358636	8010877	702
3	359223	8013921	749	38	354754	8014521	664
4	352862	8015819	632	39	351218	8015470	601
5	363622	8009156	784	40	363293	8011093	816
6	355794	8013921	680	41	351499	8017995	631
7	361962	8013792	820	42	365624	8010598	750
8	363126	8008250	733	43	361181	8013186	782
9	357412	8013102	707	44	352534	8017154	647
10	356290	8014633	701	45	352750	8016701	664
11	357644	8012085	699	46	354367	8014911	662
12	355552	8015945	694	47	363208	8007321	673
13	350678	8016376	624	48	356869	8016464	735
14	357859	8015341	738	49	354453	8013229	664
15	360275	8014327	776	50	351801	8018081	629
16	363509	8009217	781	51	363575	8011181	805
17	360037	8012904	755	52	351283	8015752	616
18	356695	8015643	720	53	363402	8008334	735
19	361482	8009885	747	54	363122	8010469	784
20	362172	8007341	708	55	357515	8013423	702
21	359541	8011610	737	56	363812	8010383	803
22	354366	8013314	661	57	359844	8011871	736
23	354258	8013206	662	58	360879	8013359	774
24	350916	8016160	623	59	354259	8017693	703
25	354625	8017497	709	60	359866	8013898	766
26	355164	8013724	677	61	358033	8011914	703
27	351519	8016397	637	62	353569	8017564	683
28	351627	8015427	604	63	355381	8016140	694
29	351541	8014759	595	64	357904	8013833	718
30	357622	8014133	721	65	363316	8011698	815
31	355272	8013810	680	66	364610	8008960	730
32	352619	8017885	671	67	363187	8007127	630
33	356997	8014543	712	68	353742	8013510	647
34	352166	8014780	606	69	350486	8016723	588
35	352339	8014565	610	70	361181	8009930	743

continúa...

Nº	Este	Norte	Altura (m.s.n.m)	Nº	Este	Norte	Altura (m.s.n.m)
71	351715	8016313	637	106	362931	8009416	771
72	355575	8016938	708	107	360063	8010882	739
73	360944	8009757	736	108	356893	8014613	715
74	361591	8010146	754	109	362090	8011249	784
75	354798	8017132	690	110	364440	8009718	792
76	352426	8013833	605	111	352947	8016747	669
77	354669	8012841	665	112	358014	8014893	736
78	356394	8015537	714	113	361271	8009631	744
79	350982	8017262	606	114	361292	8008208	731
80	360448	8013316	764	115	355901	8013599	680
81	359459	8010472	717	116	359373	8012370	729
82	362802	8011356	806	117	358748	8010817	704
83	351825	8015238	603	118	362996	8009114	766
84	359351	8013383	746	119	358014	8015152	741
85	360947	8014224	792	120	355491	8013405	681
86	356203	8013319	679	121	358033	8012496	714
87	354586	8014332	660	122	361483	8007429	698
88	359632	8014742	761	123	358831	8014933	761
89	362909	8008596	738	124	358098	8012000	705
90	359351	8015842	775	125	365020	8010362	770
91	363082	8009437	774	126	364653	8010922	819
92	363298	8010451	791	127	360082	8011698	749
93	363427	8010580	802	128	356006	8015946	709
94	354133	8016122	666	129	360168	8010167	725
95	356893	8013599	701	130	358809	8013294	741
96	353249	8014397	631	131	355488	8017262	709
97	356419	8012478	672	132	357235	8013272	695
98	359351	8013211	747	133	361613	8007321	699
99	354995	8016769	695	134	354798	8013316	672
100	360882	8010645	747	135	351219	8015839	620
101	362996	8009718	777	136	355208	8015343	685
102	361357	8011162	773	137	364114	8010857	820
103	360128	8012370	744	138	358098	8014415	726
104	351804	8018279	642	139	359650	8010685	725
105	364721	8010063	782	140	360987	8011957	773

continúa...

Nº	Este	Norte	Altura (m.s.n.m)	Nº	Este	Norte	Altura (m.s.n.m)
141	363597	8011741	828	176	366920	8022886	1089
142	352944	8014135	622	177	355589	8019619	742
143	362195	8012194	805	178	360567	8017285	823
144	358745	8015623	764	179	359971	8021590	884
145	353677	8016658	675	180	364716	8021927	999
146	356696	8017046	735	181	366816	8022575	1093
147	362712	8011871	811	182	365364	8012307	889
148	359586	8013229	749	183	367283	8021823	1076
149	352836	8014825	622	184	365105	8015470	931
150	360448	8012690	759	185	361449	8016689	838
151	361289	8011526	771	186	358000	8021071	822
152	351736	8015537	611	187	367413	8023638	1116
153	355165	8016766	697	188	365961	8023145	1064
154	358033	8013919	728	189	366324	8018167	1004
155	353267	8017025	675	190	354941	8018971	725
156	360923	8011396	762	191	357171	8018297	761
157	359047	8012906	741	192	357119	8017519	750
158	356480	8016658	727	193	362875	8021823	946
159	363122	8010469	778	194	367076	8022549	1099
160	362358	8011242	792	195	364016	8018971	944
161	365727	8018297	977	196	366272	8012981	907
162	362045	8019515	889	197	364198	8012644	863
163	366453	8018997	1015	198	366350	8012255	840
164	355226	8019282	735	199	364587	8013733	898
165	362357	8021071	925	200	360101	8019049	834
166	356756	8018167	752	201	364952	8018497	951
167	357015	8019878	783	202	358107	8018290	788
168	363653	8022549	986	203	363267	8019742	929
169	363394	8014718	867	204	366223	8021453	1029
170	362538	8016067	854	205	365471	8014141	928
171	362383	8019386	900	206	362567	8013830	824
172	362071	8018530	885	207	362982	8016552	865
173	366453	8012359	843	208	363111	8018860	907
174	357871	8018037	778	209	359429	8016215	788
175	365909	8016300	970	210	364252	8019508	952

continúa...

Nº	Este	Norte	Altura (m.s.n.m)	Nº	Este	Norte	Altura (m.s.n.m)
211	361167	8015930	819	246	363734	8021920	975
212	367519	8022542	1108	247	364122	8023009	1018
213	365575	8017693	969	248	365808	8013233	925
214	362774	8020675	925	249	363163	8014011	851
215	353854	8019379	693	250	358988	8016449	775
216	362593	8019249	900	251	366430	8023398	1080
217	361815	8016578	839	252	364745	8012663	882
218	367778	8023294	1131	253	364097	8014478	896
219	362541	8016293	853	254	359507	8017667	802
220	362645	8019145	906	255	358755	8019379	813
221	357148	8019249	778	256	361322	8022620	934
222	361530	8015100	821	257	366275	8015463	961
223	361218	8017667	845	258	367052	8023294	1101
224	360570	8021946	907	259	358185	8021194	829
225	362904	8017952	885	260	362904	8018367	894
226	365108	8023761	1059	261	363396	8016474	879
227	360337	8016526	814	262	361063	8020234	883
228	366560	8021816	1050	263	357044	8019119	773
229	367001	8020105	1044	264	363033	8020960	936
230	355099	8019586	729	265	355799	8020364	756
231	365056	8013026	898	266	363889	8016189	899
232	363008	8019301	917	267	359844	8021686	882
233	358496	8017927	789	268	358625	8019742	817
234	361789	8015852	833	269	359222	8017382	790
235	361944	8015723	840	270	365367	8023061	1047
236	359092	8019534	819	271	364252	8021194	971
237	364719	8014634	912	272	355721	8019716	748
238	361815	8021686	932	273	365938	8013856	931
239	359351	8019016	818	274	356681	8018004	747
240	363293	8020468	928	275	367908	8023164	1135
241	360829	8017045	803	276	366145	8013622	930
242	365237	8019975	993	277	365471	8017797	966
243	367156	8021427	1072	278	361867	8014374	821
244	362281	8018238	888	279	359222	8019845	831
245	360337	8022179	900	280	366352	8020312	1027

continúa...

Nº	Este	Norte	Altura (m.s.n.m)	Nº	Este	Norte	Altura (m.s.n.m)
281	360959	8019897	875	316	366482	8017667	1004
282	366326	8018938	1010	317	358029	8019819	808
283	366689	8020234	1041	318	365471	8024098	1075
284	367415	8023631	1116	319	364485	8012844	874
285	365756	8018756	982	320	363241	8015800	872
286	362904	8020571	922	321	361089	8020701	899
287	363241	8015360	869	322	357744	8018160	772
288	365523	8020701	1018	323	364797	8016578	936
289	363734	8015360	883	324	365549	8012274	887
290	360311	8018056	832	325	364978	8018004	950
291	363163	8017615	892	326	363319	8017512	892
292	363085	8017304	882	327	358677	8017901	796
293	366067	8020649	1033	328	364045	8015541	893
294	366015	8019482	1002	329	363189	8022568	972
295	362074	8019223	890	330	365211	8014141	921
296	358781	8017149	788	331	359351	8020675	854
297	368375	8023838	1153	332	360881	8015930	821
298	360441	8015930	807	333	363033	8018290	908
299	364719	8017252	936	334	362463	8016319	858
300	366378	8018393	1006	335	365626	8012818	912
301	362904	8023268	992	336	361426	8020105	885
302	364356	8017408	908	337	357199	8020727	796
303	361711	8021064	909	338	366015	8018030	994
304	363785	8017019	901	339	360337	8020234	867
305	359585	8019975	849	340	364460	8014504	908
306	361452	8022568	937	341	358747	8019775	817
307	360726	8020597	886	342	358550	8018435	793
308	358885	8018782	813	343	372475	8015756	992
309	365237	8017589	955	344	373568	8018114	1201
310	364330	8016552	916	345	369753	8021521	1208
311	365963	8020468	1026	346	367846	8018414	1050
312	366638	8019067	1021	347	377747	8022443	1169
313	365030	8016086	941	348	369689	8017599	1096
314	364278	8017978	924	349	377040	8021543	1203
315	360674	8021090	892	350	370567	8015649	996

continúa...

Nº	Este	Norte	Altura (m.s.n.m)	Nº	Este	Norte	Altura (m.s.n.m)
351	368939	8016656	1024	386	369947	8014476	958
352	367867	8018799	1051	387	373805	8019470	1275
353	369389	8017278	1072	388	369476	8022234	1166
354	374704	8018607	1159	389	372755	8019084	1215
355	376440	8020107	1067	390	372776	8018462	1196
356	369689	8016613	1059	391	372691	8017584	1163
357	368231	8016613	1007	392	373998	8019320	1263
358	367824	8020192	1081	393	368747	8016276	1013
359	371060	8016592	1069	394	369862	8014347	952
360	375111	8020192	1287	395	373076	8019019	1219
361	375004	8019292	1231	396	368361	8015012	980
362	369239	8018799	1100	397	367461	8018591	1043
363	371468	8020385	1224	398	375755	8019984	1168
364	374296	8019614	1270	399	377148	8021420	1148
365	368874	8014963	995	400	373591	8017498	1177
366	371446	8015178	1043	401	371169	8017926	1095
367	367717	8015478	952	402	370333	8022148	1231
368	368724	8017299	1043	403	369540	8021741	1188
369	368746	8019485	1066	404	369047	8018184	1068
370	367974	8019099	1069	405	371769	8019491	1215
371	369646	8021414	1201	406	371855	8016169	1077
372	370567	8014063	859	407	369240	8022427	1180
373	368017	8015992	967	408	376248	8020305	1116
374	368660	8015349	1011	409	370740	8016705	1071
375	367438	8015778	968	410	367440	8015548	969
376	371468	8017428	1110	411	370483	8019984	1206
377	371275	8015413	1053	412	367954	8017669	1024
378	370096	8016763	1060	413	371576	8019534	1214
379	367931	8017921	1028	414	368854	8021634	1152
380	373075	8018006	1185	415	377534	8022234	1163
381	370460	8018821	1167	416	369562	8021313	1191
382	370160	8019078	1161	417	372991	8017498	1143
383	371169	8016041	1062	418	370162	8016876	1062
384	371405	8017669	1116	419	370655	8014562	991
385	369454	8015976	1030	420	367611	8020027	1066

continúa...

Nº	Este	Norte	Altura (m.s.n.m)	Nº	Este	Norte	Altura (m.s.n.m)
421	374212	8019298	1231	456	368690	8021029	1136
422	369176	8014840	993	457	370490	8014578	982
423	369054	8017364	1064	458	367768	8019914	1069
424	369226	8021415	1174	459	367833	8019829	1070
425	369654	8015993	1038	460	376769	8021436	1297
426	368754	8020707	1134	461	373812	8018286	1227
427	374241	8018714	1263	462	370983	8018714	1175
428	370211	8015585	992	463	369247	8020622	1153
429	372183	8015864	1088	464	369761	8021950	1184
430	373512	8019400	1260	465	373812	8018907	1222
431	367833	8016400	997	466	373362	8016678	1021
432	368754	8016893	1036	467	369676	8018586	1113
433	369247	8018629	1097	468	369783	8015264	1010
434	371326	8017793	1112	469	377370	8022251	1207
435	369140	8018307	1092	470	367168	8015864	965
436	369311	8014578	974	471	374026	8018671	1251
437	375462	8020065	1290	472	371755	8017278	1110
438	369118	8020300	1108	473	369033	8018993	1117
439	372247	8015585	987	474	369526	8020922	1158
440	371605	8016850	1084	475	368240	8021436	1122
441	370083	8022422	1194	476	372376	8016678	1097
442	370469	8017964	1139	477	371176	8018114	1131
443	372097	8019807	1234	478	369354	8022122	1154
444	377005	8020943	1119	479	370469	8017600	1097
445	369269	8021222	1171	480	369290	8015971	1033
446	371562	8017471	1112	481	367768	8016271	992
447	376941	8022251	1342	482	370576	8017278	1089
448	373705	8018972	1241	483	368047	8021629	1107
449	368561	8021950	1129	484	370983	8019293	1193
450	368347	8020472	1110	485	371304	8015178	1041
451	371004	8018307	1136	486	373769	8017321	1063
452	370704	8015778	1028	487	367168	8016078	970
453	367490	8018007	1032	488	368025	8021843	1114
454	373233	8018500	1199	489	370469	8014792	1010
455	368025	8015778	989	490	372890	8016786	1126

continúa...

Nº	Este	Norte	Altura (m.s.n.m)
491	372205	8019079	1208
492	374905	8018629	1098
493	372698	8018972	1211
494	369354	8014685	980
495	370876	8019636	1173
496	371905	8017793	1132
497	367640	8015607	981
498	368754	8016678	1037
499	368668	8017407	1035
500	371197	8016721	1086
501	372200	8015807	1082
502	370105	8016717	1046
503	372875	8017461	1148

Fuente: Elaboración propia, 2016

Anexo 10: Formatos para la medición de los componentes de biomasa del Tillandsial del Intiorko, 2016

FORMATO 01: MEDICIÓN DE LA BIOMASA VIVA SOBRE EL SUELO DEL TILLANDSIAL

Responsable: Zona:

1.- Datos generales

Método muestreo:
 Tamaño de parcela:
 Total de parcelas:

2.- Tiempo de trabajo

H. Inicio	H. final	Total
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Topografía: 1=Loma; 2=Ladera de cerro (Baja, Media, Alta); 3=Quebrada; 4=Planicie

Sustrato: 1=100% arena; 2=arena y arcilla 1-15% de rocas; 3=arena y arcilla con 15-35% rocas 4=arena y arcilla con 35-75% de rocas

Nº=Número de parcela analizada

3.- Datos de campo

Nº	ESPECIE	PESO HÚMEDO (Kg)					SUBMUESTRA (g)		FECHA MEDICIÓN	Altitud	Topografía	Sustrato	Pendiente %
		P1	P2	P3	P4	TOTAL	M1	CÓD.					

Fuente: Elaboración propia, 2016

ANEXO 11: Fotos de campo sobre los Tillandsiales del Intiorko, Tacna



Figura 1. *Tillandsia werdermannii*

Fuente: Elaboración propia, 2016



Figura 2. *Tillandsia purpurea*

Fuente: Elaboración propia, 2016



Figura 3. *Tillandsia landbeckii*

Fuente: Elaboración propia, 2016



Figura 4. Vista panorámica de la comunidad de tillandsial del Intiorko (Ciudad Nueva)

Fuente: Elaboración propia, 2016

Anexo 12: Fotos de análisis de tejido vegetal en el laboratorio de química analítica de la FACI-UNGBG, Tacna



Figura 1. Corte de la muestra para determinación de la humedad (cuarteo)

Fuente: Elaboración propia, 2016



Figura 2. Pesaje de la muestra húmeda en una balanza analítica para la determinación de la humedad

Fuente: Elaboración propia, 2016



Figura 3. El secado de las muestras de tejido vegetal en estufa a 80 °C

Fuente: Elaboración propia, 2016



Figura 4. El pesaje de la muestra seca para la determinación de la humedad

Fuente: Elaboración propia, 2016



Figura 5. Preparación de las muestras vegetales para el análisis de carbono (izq.: *T. purpurea*, centro: *T. werdermannii* y derecha: *T. landbeckii*)

Fuente: Elaboración propia, 2016



Figura 6. El secado de las muestras vegetales para el análisis de carbono

Fuente: Elaboración propia, 2016



Figura 7. La molienda de la muestra seca en un mortero de porcelana

Fuente: Elaboración propia, 2016



Figura 8. La pesada de la muestra finamente molida para el análisis de carbono

Fuente: Elaboración propia, 2016



Figura 9. La lista de reactivos para el análisis de carbono

Fuente: Elaboración propia, 2016



Figura 10. Los tubos de ensayo con la mezcla de la muestra con el ácido sulfúrico y el dicromato de potasio

Fuente: Elaboración propia, 2016



Figura 11. El calentamiento de la solución a una temperatura de 155°C en una cocina eléctrica.

Fuente: Elaboración propia, 2016



Figura 12. La transferencia de la solución a una fiola de 100 ml para la toma de una alícuota para la titulación con la solución ferrosa.

Fuente: Elaboración propia, 2016



Figura 13. Titulación con la solución de Sulfato ferroso 0,1 N.

Fuente: Elaboración propia, 2016



Figura 14. Cambio de color de verde brillante a rojo en la titulación con la solución de sulfato ferroso 0,1 N.

Fuente: Elaboración propia, 2016

Anexo 13: Fotos de campo en el muestreo de la biomasa del Tillandsial del Intiorko



Figura 1. Identificación de la especie para la medición del peso de la biomasa del tillandsial.

Fuente: Elaboración propia, 2016



Figura 2. Separación y colecta de la materia vegetal viva y la biomasa muerta acumulada en la unidad de muestreo (4m²)

Fuente: Elaboración propia, 2016



Figura 3. El pesado de la materia vegetal viva acumulada en el área de la parcela (4 m²)

Fuente: Elaboración propia, 2016



Figura 4. La colecta y pesada de la materia muerta acumulada en la unidad de muestreo

Fuente: Elaboración propia, 2016