

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



**VALORACIÓN ECONÓMICA DEL SERVICIO ECOSISTÉMICO DE CAPTURA
DE CARBONO DE TOLARES (*PARASTREPHIA LEPIDOPHYLLA*,
PARASTREPHIA LUCIDA Y *BACCHARIS TRICUNEATA*) EN LA RESERVA
NACIONAL DE SALINAS Y AGUADA BLANCA, AREQUIPA-PERÚ**

Tesis presentada por las Bachilleres:

Avendaño Quispe, Erika Vanesa

Urdánegui Ugarte, Isis Malú

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniera Ambiental

Asesor:

Mg. Paredes Zavala, Joshelyn

Mariangela

Arequipa - Perú

2022

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
INGENIERIA AMBIENTAL
TITULACIÓN CON TESIS
DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 07 de Noviembre del 2022

Dictamen: 003017-C-EPIA-2022

Visto el borrador del expediente 003017, presentado por:

2012204932 - URDANEGUI UGARTE ISIS MALU

2012220032 - AVENDAÑO QUISPE ERIKA VANESA

Titulado:

**VALORACIÓN ECONÓMICA DEL SERVICIO ECOSISTÉMICO DE CAPTURA DE CARBONO DE
TOLARES (PARASTREPHIA LEPIDOPHYLLA, PARASTREPHIA LUCIDA Y BACCHARIS
TRICUNEATA) EN LA RESERVA NACIONAL DE SALINAS Y AGUADA BLANCA, AREQUIPA ? PERÚ**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

**2829 - ARENAZAS RODRIGUEZ ARMANDO JACINTO
DICTAMINADOR**



**3240 - ZEBALLOS PATRON HORACIO
DICTAMINADOR**



**7727 - CARDENAS PILLCO BERLY EDINSSON
DICTAMINADOR**



DEDICATORIA

A Dios, por brindarme fuerza para continuar y aprender de cada
momento a lo largo de mi vida.

A mis padres, Alejandro y Verónica, por su amor, sacrificio y su
apoyo que a lo largo de estos años me permitieron llegar hoy aquí. El
impulso y herramientas que me brindaron me dieron la seguridad para
perseguir mis sueños.

A mi abuela, Alexis, de quien aprendí tanto con su fortaleza y
amor.

A la memoria de mi abuelo, Abel, quien fue un segundo padre y
a quien siempre llevo en mi corazón.

A mi familia, que no dejó de creer en mí, quienes estuvieron
presentes en cada etapa de mi vida y por el apoyo moral que me brindaron.

A mi familia por elección, a quienes aprecio profundamente y
agradezco a Dios por colocarlas en mi camino.

Erika Vanesa Avendaño Quispe

A Dios, la conciencia de unidad y fuente de amor infinita que
me permitió compartir esta vida con las personas y situaciones necesarias
para poder aprender, crecer y, sobre todo, servir.

A mis dos mamás, Genara y Celia, porque con su amor infinito,
ejemplo y apoyo incondicional me incentivan a seguir siendo actor de
cambio en pro del cuidado y conservación de nuestra tierra.

A mi hermano, David, y su familia, por ser fuente de unión y,
sobre todo, amor.

A mis ángeles y guías que me acompañan desde otro plano y
siempre velan mi andar.

A mi familia de sangre y mi familia de amigos, aquellos seres de
luz que tocaron mi alma y corazón, de quienes me llevo aprendizaje, mucho
apoyo y amor.

Gracias a todos por incentivar me a dar lo mejor y convertirme
en mejor ser humano.

Isis Malú Urdánegui Ugarte

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios por ser guía a lo largo de nuestra vida y fuente de fortaleza en aquellos momentos de dificultad y debilidad.

Gracias a nuestros padres y familiares por motivarnos a ser mejores cada día e incentivarnos a ir en busca de nuestros sueños, por confiar y creer en nuestras capacidades, por los consejos y valores que nos inculcaron.

A nuestros docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Católica de Santa María, por compartir sus conocimientos durante la preparación de nuestra profesión. De manera especial a nuestra asesora, la magíster Joshelyn Paredes Zavala.

Al Ing. John Machaca Centty, jefe de la Reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca en Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas, por permitirnos y facilitarnos iniciar nuestra investigación.

Agradecemos al Dr. Daniel Montesinos Tubeo por su valioso aporte, comentarios, sugerencias y por permitirnos usar algunas fotografías de sus publicaciones.

Gracias sinceras a nuestros amigos que nos apoyaron cuando el recorrido se hizo empinado, sin ustedes nada de esto sería posible.

RESUMEN

Los tolares se encuentran distribuidos en la zona centro y sur del país, donde la Reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca (RNSAB) alberga una población considerable de estas especies. La extracción indiscriminada para su uso como combustible generó gran deterioro de especies asociadas que sirven como forraje, usos medicinales o aplicaciones ecológicas, lo cual redujo la cobertura vegetal e incrementó la erosión del suelo. Actualmente, Perú cuenta con escasa información del potencial de captura de CO₂ en especies altoandinas, por esta razón, el objetivo principal de esta investigación consistió en realizar una valorización del servicio ecosistémico de captura de carbono de diferentes especies de Tola en la RNSAB.

La investigación que se llevó a cabo es del tipo aplicada cuantitativa, donde la población de estudio fue los tolares pertenecientes a las especies *Parastrephia lepidophylla*, *Parastrephia lucida* y *Baccharis tricuneata* presentes en los dominios de la reserva nacional. Asimismo, para este estudio se realizaron dos muestras, para la primera etapa se consideró la evaluación de altura y diámetro de 55 puntos aleatorios distribuidos en la RNSAB, seguido de la metodología de la “Guía de Inventario de la Flora y la Vegetación”. Por su parte, para la segunda etapa, en la elaboración de las ecuaciones alométricas se consideraron 72 ejemplares, incluyendo las tres especies en estudio. De acuerdo con los resultados obtenidos se logró valorizar el servicio ecosistémico de captura de carbono de Tola para las especies *Parastrephia lepidophylla*, *Parastrephia lucida* y *Baccharis tricuneata*.

Así también, el análisis de *stock* de carbono fue con base en dimensiones como altitud y diámetro de las especies en estudio. Finalmente, como resultado de la primera especie se tiene un valor de € 12 301.98, la segunda especie adquiere un valor de € 801.66, y la tercera un valor de € 2402.31. Estos hallazgos conllevan a indicar que los costos totales ascienden a una cifra de € 15 505.94 entre las tres especies que se estudiaron en esta investigación. Con respecto a la biomasa de las especies estudiadas, para la especie *Parastrephia lepidophylla* se obtuvo una biomasa de 1.90 Kg S/ha., para *Parastrephia lucida* fue de 0.30 kg S/ha. y para *Baccharis tricuneata* 1.20 kg S/ha

Palabras clave: tola, biomasa, servicio ecosistémico, valorización ecosistémica, carbono, modelo alométrico.

ABSTRACT

The tolares are especially distributed in the central and southern part of Peru, where the National Reserve of Salinas and Aguada Blanca (RNSAB) refuge a considerable population of this species. Indiscriminate extraction for use as fuel causes deterioration of associated species that serve as fodder, further reducing plant cover and increasing soil erosion. Currently, Peru has little information on the potential of CO₂ capture from high Andean species being for this reason that the main objective of this research was to make an assessment of the ecosystem service of carbon capture of Tola species in the RNSAB.

This research was based on the quantitative analysis, where the population under study were the tolares which belong to the species *Parastrephia lepidophylla*, *Parastrephia lucida* and *Baccharis tricuneata*. The first stage considered the evaluation of height and diameter of 55 random points distributed in the RNSAB, following the methodology of the "Guía de Inventario de la Flora y la Vegetación", for the second stage in the development of allometric equations 35 specimens were considered, including the three species under study. Based on the results obtained, it was possible to value the ecosystem service of carbon sequestration of Tola for the species *Parastrephia lepidophylla*, *Parastrephia lucida* and *Baccharis tricuneata*.

Also, the analysis of carbon stock was based on dimensions such as altitude and diameter of the species under study, finally as a result of the first species has a value of € 12 301.98, for the second species it acquires a value of € 801.66 and for the third species a value of € 2402.31. These results indicate that the total costs amount to € 15 505.94 for the three-species studied in this research. Respect to the biomass of the species studied, the biomass for the species *Parastrephia lepidophylla* was 1.90 kg S/ha, for *Parastrephia lucida* it was 0.30 kg S/ha and for *Baccharis tricuneata* 1.20 kg S/ha.

Keywords: Tola, biomass, ecosystem service, ecosystem recovery, carbon, allometric model.

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

AIB	Ácido indol butírico
ANP	Área Nacional Protegida
cm	Centímetros
cm ²	Centímetros cuadrados
DAP	Diámetro altura pecho
CO ₂	Dióxido de carbono
spp.	Dos o más especies, pero del mismo género
sp.	Especie
g	Gramos
g C / cm ²	Gramos carbono por centímetro cuadrado
g C/ g	Gramos carbono por gramo
ha	Hectárea (s)
m	Metros
m.s.n.m.	Metros sobre el nivel del mar
mm	Milímetros
pH	Potencial de hidrógeno
RNSAB	Reserva Nacional Salinas-Aguada Blanca
RN	Reserva Nacional
Tn CO ₂	Toneladas de dióxido de carbono
Tn MV/ha	Toneladas de materia verde por hectárea
Tn MS/ha	Toneladas de materia seca por hectárea

ÍNDICE

RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
INTRODUCCIÓN.....	16
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	18
1. Diagnóstico Situacional.....	19
1.1. Deforestación y Degradación del Ecosistema de Tolares.....	19
1.2. Cambio Climático	20
1.3. Información.....	21
1.4. Educación y Conciencia Ambiental.....	21
2. Problemática de la Investigación.....	21
3. Justificación.....	22
3.1. Ambiental.....	22
3.2. Social	22
3.3. Económica	22
3.4. Técnico-científica	23
3.5. Institucional	23
4. Objetivos	23
4.1. Objetivo General.....	23
4.2. Objetivos Específicos	23
5. Variables.....	24
5.1. Variable Independiente	24
5.2. Variable Dependiente	24
6. Hipótesis.....	24
CAPÍTULO II. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	25
1. Antecedentes de la Investigación	26
2. Marco Teórico	28
2.1. Área Natural Protegida (ANP).....	28
2.2. Reserva Nacional	29

2.3.	Reservas Nacionales de Perú	30
2.4.	Reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca	31
2.5.	Vegetación de la Reserva Nacional de Salina y Aguada Blanca	32
2.5.1.	Pajonal de Puna	34
2.5.2.	Tolar	35
2.5.3.	Almohadillar	35
2.5.4.	Bofedal	36
2.5.5.	Yaretal	36
2.5.6.	Queñual	36
2.6.	Formación Vegetal en Estudio: El Tolar	37
2.6.1.	Importancia de los Tolares	38
2.6.2.	Tipos de Tolares	38
2.6.3.	Ubicación y Distribución de los Tolares	42
2.6.4.	Clasificaciones Alternativas de Tolares	43
2.7.	Especie <i>Parastrephia lepidophylla</i>	44
2.7.1.	Clasificación Taxonómica	44
2.7.2.	Características Morfológicas	44
2.7.3.	Hábitat	45
2.7.4.	Propagación	45
2.7.5.	Usos	45
2.8.	Especie <i>Parastrephia lucida</i>	46
2.8.1.	Clasificación Taxonómica	46
2.8.2.	Características Morfológicas	46
2.8.3.	Hábitat	46
2.8.4.	Propagación	47
2.8.5.	Usos	47
2.9.	Especie <i>Baccharis tricuneata</i> (L. f.) Pers.	48
2.9.1.	Clasificación Taxonómica	48
2.9.2.	Características Morfológicas	48
2.9.3.	Hábitat	49
2.9.4.	Propagación	49
2.9.5.	Usos	49
2.10.	Estimación de biomasa	50
2.11.	Ecuación Alométrica	50

2.12. Servicios Ecosistémicos.....	52
2.13. Valorización Ecosistémica.....	53
2.14. Utilidad de la Valoración Económica	54
2.15. Métodos de Valoración Económica de los Servicios Ecosistémicos.....	55
2.15.1. Método Basado en Valores de Mercado (MPM).....	58
3. Marco Legal	59
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....	63
1. Tipo de Investigación	64
1.1. Nivel de Investigación	64
1.2. Diseño de la Investigación.....	64
1.3. Metodología de Investigación.....	64
2. Campo de Verificación.....	64
3. Determinación de la Población y Muestra	64
3.1. Población	64
3.2. Muestra	64
3.3. Muestreo	65
4. Técnicas e Instrumentos para la Recopilación de Información.....	65
4.1. Técnicas	65
4.2. Instrumentos.....	65
5. Materiales y Equipos.....	65
5.1. Equipos	65
5.2. Materiales.....	65
6. Metodología	66
6.1. Caracterizar el Área de Muestreo Basado en la Distribución de Tolares (Parastrephia lepidophylla, Parastrephia lucida y Baccharis tricuneata) en la RNSAB..	66
6.1.1. Elaboración y Presentación de la Documentación Necesaria para la Aprobación del Permiso de Investigación.....	66
6.1.2. Determinación del Tamaño de Muestra, Submuestra y Cobertura vegetal ...	67
6.1.3. Determinación del Número de Individuos por Extraer y su Selección por Punto de Muestreo:.....	69

6.2. Calcular la Biomasa para las Especies <i>Parastrephia lepidophylla</i> , <i>Parastrephia lucida</i> y <i>Baccharis tricuneata</i>	70
6.2.1. Evaluar la Biomasa Aérea de <i>Parastrephia lepidophylla</i> , <i>Parastrephia lucida</i> y <i>Baccharis tricuneata</i>	70
6.2.2. Cálculo de la biomasa subterránea por especie.	72
6.2.3. Generación y selección del modelo de regresión con mejor ajuste para cada especie	72
6.3. Determinar el contenido de carbono en arbustos de las especies <i>Parastrephia lepidophylla</i> , <i>Parastrephia lucida</i> y <i>Baccharis tricuneata</i> , a partir de los modelos alométricos elaborados	73
6.4. Determinar el valor económico del servicio ecosistémico de captura de carbono de <i>Parastrephia lepidophylla</i> , <i>Parastrephia lucida</i> y <i>Baccharis tricuneata</i>	73
6.4.1. Calcular la densidad de carbono por especie.	73
6.4.2. Determinar el stock de carbono por especie.	73
6.4.3. Hallar la valoración económica del servicio ecosistémico por especie.	74
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	75
1. Caracterización el área de muestreo basado en la distribución de Tola en la RNSAB	76
1.1. Elaboración y presentación de la documentación necesaria para la aprobación del permiso de investigación	76
1.2. Determinación del tamaño de muestra, submuestra y cobertura vegetal.	76
1.2.1. Tamaño de la muestra y cobertura vegetal en el área de estudio	76
1.2.2. Aplicación de información en campo.	77
1.2.3. Determinación de la submuestra	82
1.3. Determinación del número de individuos a extraer y su selección por punto de muestreo.	82
2. Cálculo la biomasa para las especies <i>Parastrephia lepidophylla</i> , <i>Parastrephia lucida</i> y <i>Baccharis tricuneata</i>	84
2.1. Evaluación de la biomasa aérea de <i>Parastrephia lepidophylla</i> , <i>Parastrephia lucida</i> y <i>Baccharis tricuneata</i>	84
2.1.1. Aplicación de la estadística descriptiva, medición de altura y diámetro de copa en las especies.	84
2.1.2. Determinación del peso húmedo de cada individuo extraído por especie.	85

2.1.3. Cálculo de la biomasa seca aérea por especie	90
2.2. Cálculo de la biomasa subterránea por especie	94
2.3. Generación y selección del modelo de regresión con mejor ajuste para cada especie.....	96
3. Determinación el contenido de carbono en arbustos de las especies <i>Parastrephia lepidophylla</i> , <i>Parastrephia lucida</i> y <i>Baccharis tricuneata</i> , a partir de los modelos alométricos elaborados	103
4. Determinación del valor económico del servicio ecosistémico de captura de carbono de <i>Parastrephia lepidophylla</i> , <i>Parastrephia lucida</i> y <i>Baccharis tricuneata</i>	106
4.1. Cálculo de la densidad de carbono por especie	106
4.2. Determinación el stock de carbono por especie.....	106
4.3. Valoración económica del servicio ecosistémico por especie	108
CONCLUSIONES.....	111
RECOMENDACIONES	113
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	114
ANEXOS.....	128
Anexo 1. Mapa Tolares en la Reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca.....	129
Anexo 2. Mapa de ubicación de puntos de muestreo - 55 parcelas.....	130
Anexo 3. Mapa de ubicación de puntos de submuestra - 8 parcelas	131
Anexo 4. Resolución Jefatural SERNANP.....	132
Anexo 5. Fichas de recolección de datos.....	133
Anexo 6. Cobertura vegetal en puntos de muestreo (55 parcelas)	134
Anexo 7. Cálculo de la submuestra	136
Anexo 8. Cálculo de unidades de muestreo para la extracción por especie	137
Anexo 9. Altura y diámetro de los especímenes encontrados en las parcelas de la submuestra.....	139
Anexo 10. Cálculo de porcentaje de la masa seca (% MS) y biomasa aérea	143
Anexo 11. Cálculo de la biomasa por especie	146

Anexo 12. Cálculo de la densidad y el stock de carbono	147
Anexo 13. Determinación del stock de carbono por especie.....	148
Anexo 14. Valoración económica del servicio ecosistémico por especie	149



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distritos de Arequipa con presencia de las tres especies de tola	27
Figura 2. Vista de SupuTolares	39
Figura 3. Vista de AlpachTolares	39
Figura 4. Vista de ChekaTolares	40
Figura 5. Vista de TalaTolares	41
Figura 6. Vista de LampayaTolares	41
Figura 7. Especie de tola <i>Parastrephia lepidophylla</i> , ubicada en RNSAB	45
Figura 8. Especie de tola <i>Parastrephia lucida</i> , ubicada en RNSAB	47
Figura 9. Especie de Tola, <i>Baccharis tricuneata</i> , ubicada en RNSAB	49
Figura 10. Métodos de estimación de biomasa	50
Figura 11. Procedimientos para el desarrollo de ecuación alométrica	51
Figura 12. Clasificación de los servicios de los ecosistemas según la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MEA)	53
Figura 13. Economía clásica vs. Economía ambiental	54
Figura 14. Descomposición del VET y los Métodos de Valoración Económica asociados	56
Figura 15. Valor Económico Total	57
Figura 16. Métodos de Valoración Económica	58
Figura 17. Diseño metodológico	66
Figura 18. Elaboración de cuadrante para la evaluación de datos	67
Figura 19. Medición de diámetro en las plantas de tola de la RNSAB	77
Figura 20. Medición de altura. A. Medición verificando desde la altura del suelo. B. Medición hasta la copa más alta de la especie	78
Figura 21. Cobertura vegetal en las 55 parcelas de muestreo	80
Figura 22. Homogenización de muestra. A. Corte de la muestra para homogenizar. B. Elección aleatoria de 200 g de muestra	86
Figura 23. Disposición de muestras en la estufa	86
Figura 24. Modelos de regresión para <i>Parastrephia lepidophylla</i> - Altura	97
Figura 25. Modelos de regresión para <i>Parastrephia lepidophylla</i> - Diámetro	98
Figura 26. Modelos de regresión para <i>Parastrephia lucida</i> - Altura	99
Figura 27. Modelos de regresión para <i>Parastrephia lucida</i> - Diámetro	100
Figura 28. Modelos de regresión para <i>Baccharis tricuneata</i> - Altura	101
Figura 29. Modelos de regresión para <i>Baccharis tricuneata</i> - Diámetro	102

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Extensión de tolares	20
Tabla 2. Operacionalización variable independiente	24
Tabla 3. Operacionalización variable dependiente.....	24
Tabla 4. Distribución altitudinal y zonas estudiadas. Se presenta la cobertura basal de las tres principales especies de tola en la RNSAB. Presencia de la especie (X)	27
Tabla 5. Tipos de tolas existentes y sus nombres científicos	42
Tabla 6. Ventajas y desventajas del método MPM	59
Tabla 7. Cálculo del tamaño de la muestra basado en la superficie a inventariar	76
Tabla 8. Especies encontradas por altura y diámetro	78
Tabla 9. Individuos encontrados en los puntos de muestreo	80
Tabla 10. Cantidad de individuos por especie de tola en unidades de muestro	83
Tabla 11. Estadísticos de <i>Parastrephia lepidophylla</i> , <i>Parastrephia lucida</i> y <i>Baccharis tricuneata</i> ...	84
Tabla 12. Cálculo del porcentaje de Materia Seca (MS) para <i>Parastrephia lepidophylla</i>	87
Tabla 13. Cálculo del porcentaje de materia seca (MS) para <i>Parastrephia lucida</i>	88
Tabla 14. Cálculo del porcentaje de materia seca (MS) para <i>Baccharis tricuneata</i>	89
Tabla 15. Determinación de biomasa de <i>Parastrephia lepidophylla</i>	90
Tabla 16. Determinación de biomasa de <i>Parastrephia lucida</i>	92
Tabla 17. Determinación de biomasa de <i>Baccharis tricuneata</i>	93
Tabla 18. Determinación de biomasa aérea, subterránea y total de <i>Parastrephia lepidophylla</i>	94
Tabla 19. Determinación de biomasa aérea, subterránea y total de <i>Parastrephia lucida</i>	95
Tabla 20. Determinación de biomasa aérea, subterránea y total de <i>Baccharis tricuneata</i>	96
Tabla 21. Modelos de regresión para <i>Parastrephia lepidophylla</i>	97
Tabla 22. Modelos de regresión para <i>Parastrephia lucida</i>	99
Tabla 23. Modelos de regresión para <i>Baccharis tricuneata</i>	100
Tabla 24. Biomasa por especie.....	103
Tabla 25. Biomasa por método	104
Tabla 26. Densidad de carbono por especie	106
Tabla 27. Stock de carbono por especie.....	107
Tabla 28. Valoración económica.....	108

INTRODUCCIÓN

La ubicación de la ciudad de Arequipa, sus características geográficas, edáficas y climatológicas resultan relevantes para la distribución de numerosos taxones de plantas nativas y endémicas en diversos ecosistemas al sur y norte de la región. Las particularidades edáficas, climáticas y geológicas de zonas andinas facilitan una amplia distribución de especies, lo que denota su importancia ecológica. (Weberbauer, 1945; Cabrera, 1968; Gutte, 1988; Linares, 2005; García y Beck, 2006; Thomas et al., 2010; Catorci et al., 2014; Catorci et al., 2014; Montesinos-Tubée et al., 2015)

Los ecosistemas en los cuales se desarrollan plantas de origen andino se conocen como Puna, este es un término de amplio espectro y su distribución tiene lugar desde el centro de Perú hasta el noroeste de Argentina, donde los géneros más predominantes son los siguientes: *Baccharis* L., *Parastrephia* Nutt. *Senecio* L. (Asteraceae), *Stipa* L. (Poaceae), *Pycnophyllum* J. Rémy (Caryophyllaceae), entre otros. (Montesinos-Tubée et al., 2015)

Ahora bien, se denomina tolar a aquella estepa arbustiva que abarca grandes extensiones, se encuentra permanentemente en contacto con la Puna y predominan asteráceas arbustivas de los géneros *Parastrephia* Nutt. y *Baccharis* (conocidos como Tolas o Tola), que se asocian a las gramíneas (familia Poaceae) de los géneros *Stipa* L. *Festuca* y *Calamagrostis* Adans. (Weberbauer, 1945; Beck, 1985)

Cabe mencionar que, en Perú, las grandes formaciones de Tola están distribuidas sobre los 3500 m.s.n.m. en Arequipa, Puno, Moquegua, Tacna, Ayacucho, Apurímac y Cusco (Manrique, 1997; Alzérreca et al., 2002; Roque, 2008; Machaca et al., 2010; Galán et al., 2011; Montesinos-Tubée, 2011), en Bolivia (Beck, 1985; Pinto y Ascencio, 1999; Navarro, 2019), Chile (Luebert y Gajardo, 2005), y Argentina (Ruthsatz y Movia, 1975; Maggi et al., 2015).

Con respecto a la captura de CO₂ en ecosistemas andinos del departamento de Arequipa, se conocen las investigaciones que realizó Sarcca-Huisa, quien determinó que los bosques de Queñuales (*Polylepis rugulosa* Bitter) poseen un stock de carbono de alto valor económico (Sarcca-Huisa 2017).

Además de la investigación de Alvis-Ccoropuna (2018), en la que destacó cómo difiere de manera significativa el carbono almacenado en sistemas acuáticos de bofedales.

Otros estudios revelan las características de la captura y almacenamiento de carbono en diversos tipos de ecosistemas andinos en Perú (Hualpa-Lima, 2018; Sullca-Otazú, 2018), así

como en Bolivia, Ecuador y Colombia (Granda y Ecológica, 2005; Saugier y Pontailier, 2006; Giraldo et al., 2008).

En los tolares existen especies como la *Chersodoma arequipensis*, *Parastrephia lepidophylla*, *Parastrephia lucida* y otras, las cuales ampara la legislación nacional Decreto Supremo N.º 43-2006-AG, 2006, por ser una especie endémica y ubicarse en un Área Natural Protegida. Sin embargo, no tiene una correcta gestión a pesar de los beneficios y servicios que brinda. Por ello, esta investigación pretendió demostrar que las especies altoandinas, tales como los tolares, tienen potencial para contribuir en la disminución de gases de efecto invernadero y mitigar los efectos del cambio climático. (Ministerio del ambiente, 2006)





CAPÍTULO I.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1. Diagnóstico Situacional

Para definir el problema se consideraron cuatro factores, los cuales se identificaron mediante un árbol de problemas que permitió evaluar las causas y consecuencias. Dichos factores se desarrollan a continuación:

1.1. Deforestación y Degradación del Ecosistema de Tolares

Según los dos últimos Plan Maestro de la RNSAB, los tolares se encuentran en estado vulnerable debido a que en las décadas del 90 y 2000 sufrieron una extracción indiscriminada a causa de las actividades económicas de la zona.

La población aledaña propició la reducción de estas extensiones, porque principalmente sirvieron como una gran fuente de energía, puesto que se usaban como leña para las panaderías, también se utilizaron gracias sus propiedades medicinales (la aplicación de hojas y cogollos triturados aceleran la cicatrización de heridas), por otro lado, las hojas frescas se empleaban para hacer el teñido de tejidos (lana de ovino y fibra de alpaca), a todo esto se suman las inadecuadas prácticas del manejo del sistema de pastoreo, las cuales conllevaron a la fragmentación y pérdida de grandes extensiones. Estas actividades no se controlaron de manera adecuada a pesar de la implementación de un Plan de Manejo de Tolares para la RNSAB y el Plan de Manejo de Recursos No Maderables. En consecuencia, la gran amplitud de áreas están desprovistas de cobertura vegetal, de tal forma que se generan procesos erosivos intensos, que aunado al cambio climático son cada vez más complejos de revertir.

El “Estudio de Peligros, Vulnerabilidad y Riesgos del Distrito de San Juan de Tarucani 2004” reportó que la tola constituyó una actividad económica de gran importancia para algunas comunidades, que se relacionan indistintamente a los actuales niveles de producción y áreas de aprovechamiento. Al comparar el Plan Maestro de 1985 y 2001 no se evidencian datos numéricos sobre la extensión o pérdida de tolares, solo se menciona que su estado es vulnerable debido a su extracción indiscriminada. En los posteriores “Plan Maestro” pertenecientes al 2006 y 2016, existen datos numéricos que muestran un incremento de 7 419.12 Ha (Tabla 1). Pese a esto, ambos documentos aún consideran a los tolares en estado de vulnerabilidad, por ende, es posible inferir que este ecosistema se fragmentó y todavía no se recupera en su totalidad. (Lizárraga Medina, 2004)

Tabla 1. Extensión de tolares

PLAN MAESTRO	EXTENSIÓN TOLARES (Ha)
2006-2011	48 623.80
2016-2020	56 042.92

Fuente: Lizárraga Medina, (2004)

Hoy en día la extracción de tola para uso como combustible aún constituye una actividad económica para algunas comunidades, especialmente las ubicadas en la zona central de la RNSAB, las cuales no pueden acceder a otras actividades como la ganadería, agricultura o hacer parte de actividad minera. (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente PNUMA, 2012)

Finalmente, de acuerdo con los datos del último Plan Maestro 2016-2020, los tolares abarcan un área de 56 042,92 Ha aproximadamente en la actualidad, lo que representa un 15.27 % del ANP (Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado SERNANP, 2016).

1.2. Cambio Climático

Los tolares se consideran como un ecosistema vulnerable de crucial importancia para mantener al sistema en su conjunto. Esta información tiene respaldo en la Categorización de Especies Amenazadas de Flora Silvestre que aprobó el Decreto Supremo N.º 043-2006-AG. (Ministerio de Agricultura y Riego – MINAGRI, 2006)

La vulnerabilidad del ecosistema conlleva a que los fenómenos naturales alteren los servicios ecosistémicos (control de la erosión del suelo, evitar escorrentía, entre otros) que estos brindan y los hace cada vez más frágiles.

Otra causa del cambio climático que puede afectar al mantenimiento del ecosistema es la disminución de lluvias. Las sequías prolongadas provocaron que el recurso hídrico sea un factor limitante para su óptimo desarrollo, pese a que la tola es una especie que tolera el estrés hídrico. Por otro lado, la erosión del suelo y la capacidad de filtración del agua tienen una relación directa, debido a esto se genera mayor escorrentía, de tal forma que evita la recarga de acuíferos y afecta directamente a la población que se beneficia de este recurso.

Ahora bien, los cambios drásticos del clima evitan la regeneración o crecimiento óptimo de las especies de tola, lo cual provoca que las especies palatables que se asocian a ellas se afecten de igual manera en su desarrollo y extensión. Ese problema se intensifica por el sobrepastoreo, puesto que limita aún más el desarrollo de este, y sobrecarga la capacidad de uso de suelo. En efecto, además de reducir la capacidad de adaptación al cambio climático, la degradación vegetal también afecta a las especies faunísticas que se benefician de este, lo que ocasiona que emigren en muchos casos.

1.3. Información

El problema que se enfrentó al iniciar esta investigación fue la disponibilidad de información, debido a que la mayoría de los estudios sobre valorización y captura de carbono se enfocaron en especies maderables y comerciales, especialmente en la Amazonía peruana.

A lo largo de la última década se evidenció un incremento en las investigaciones sobre los servicios ecosistémicos que brindan las especies altoandinas, estas realzan la importancia de establecer un equilibrio en el ecosistema, en especial en la regulación hídrica en cabeceras de cuenca. No obstante, aún no tiene mayor relevancia, pese a que absorben y almacenan CO₂ y, además, representan un sumidero de carbono que podría superar al que ofrecen los bosques, si se utilizan de forma adecuada. (Alejo Rivera, et al., 2014)

1.4. Educación y Conciencia Ambiental

En este punto se enfrenta a una población que requiere aumentar su conciencia ambiental con base en una educación integral, la cual afectan o merman los límites de acceso a la educación en las comunidades alejadas. Por otro lado, las costumbres y tradiciones que forman parte de su cultura y los escasos recursos económicos dificultan modificar su forma de gestionar los recursos, así generan muchas veces rechazo a las estrategias que se impulsan para la conservación de estos.

2. Problemática de la Investigación

¿La valoración económica del servicio ecosistémico de captura de carbono de tolares (*parastrephia lepidophylla*, *parastrephia lucida* y *baccharis tricuneata*) en la Reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca en Arequipa-Perú puede aportar en el cumplimiento de objetivos considerados en el plan maestro de la RNSAB como ANP?

La degradación y pérdida de servicios ecosistémicos de los tolares compuestos por las especies *Parastrephia lepidophylla*, *Parastrephia lucida* y *Baccharis tricuneata*, a causa de la deforestación, acciones antropogénicas y el efecto del cambio climático, originan que la tasa de extracción del recurso, entre otras actividades, supere la tasa de crecimiento en muchas ocasiones, de esta forma pone en grave peligro no solo a las especies, sino al ecosistema que dependen de estas.

3. Justificación

3.1. Ambiental

La deforestación y degradación del ecosistema de tolares por actividades extractivas, mal manejo del sistema de pastoreo, prácticas de quema y el cambio climático afectan directamente la conservación de la diversidad biológica, reducen la capacidad de almacenamiento de carbono para mitigar los gases de efecto invernadero, alteran el microclima, propician la erosión de suelos y la pérdida de agua por escorrentía, por ese motivo nació el deseo de conservar la biodiversidad existente en este ecosistema.

3.2. Social

Por efecto directo de la deforestación se reducen las oportunidades de empleo debido a la deficiente aplicación de una extracción sostenible del recurso, lo que disminuye su valor paisajístico y recreativo, así como la calidad de vida a causa principalmente de la reducción del agua (elemento indispensable) en la cuenca baja. Mediante la adecuada gestión originada por la valorización se aminoran los efectos y permite que la población se adapte al cambio climático con herramientas de gestión eficaces y eficientes.

3.3. Económica

La pérdida de la cobertura vegetal evita la filtración de agua y provoca la erosión de suelos, de esta manera disminuyen los nutrientes básicos para un suelo fértil, lo que genera la pérdida de producción de forraje para la ganadería y, por ende, pérdidas económicas. Al valorizar este servicio ecosistémico en los tolares de la RNSAB permitirá la aplicación de herramientas adecuadas para su conservación, así se generan proyectos que permitan la creación de nuevos empleos y la implementación de modelos de desarrollo sostenible.

3.4. Técnico-científica

Al no existir experiencias de acceso público relacionadas con la valorización económica de servicios ecosistémicos de formaciones vegetales alto andinas, se pretendió ampliar y fomentar la creación de proyectos destinados al mismo fin con base en la metodología de esta investigación.

3.5. Institucional

Las diferentes organizaciones gubernamentales, en especial la RNSAB, no logran cumplir a totalidad con los objetivos que se relacionan con la protección y conservación de zonas vulnerables. La valorización de estas especies contribuye al cumplimiento de metas para estas organizaciones, dado que no pueden proponer proyectos sin que estos los valoricen previamente. Esta propuesta incentivará la formulación y ejecución de este tipo de proyectos. Asimismo, la presente investigación puede ser un aporte importante para la creación de programas por parte de municipalidades y diferentes organizaciones que se interesen en este fin. Además, propiciará la investigación científica y técnica por estudiantes universitarios.

4. Objetivos

4.1. Objetivo General

Valorizar el servicio ecosistémico de captura de carbono de tolares (*Parastrephia lepidophylla*, *Parastrephia lucida* y *Baccharis tricuneata*) en la RNSAB.

4.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar el área de muestreo con base en la distribución de tolares (*Parastrephia lepidophylla*, *Parastrephia lucida* y *Baccharis tricuneata*) en la RNSAB.
- Calcular la biomasa para las especies *Parastrephia lepidophylla*, *Parastrephia lucida* y *Baccharis tricuneata*.
- Determinar el contenido de carbono en arbustos de las especies *Parastrephia lepidophylla*, *Parastrephia lucida* y *Baccharis tricuneata* a partir de los modelos alométricos elaborados.
- Establecer el valor económico del servicio ecosistémico de captura de carbono de *Parastrephia lepidophylla*, *Parastrephia lucida* y *Baccharis tricuneata*.

5. Variables

5.1. Variable Independiente

La variable independiente (Tabla 2) la compone el diámetro de copa de las especies y la altura de cada una de las tres especies en estudio.

Tabla 2.
Operacionalización variable independiente

Variable	Dimensiones	Indicadores	Unidad
Diámetro de copa de las especies	Característica de crecimiento	Diámetro de copa	cm
Altura de las especies	Característica de crecimiento	Tamaño del arbusto	cm

Fuente: Elaboración propia.

5.2. Variable Dependiente

A la variable dependiente (Tabla 3) la comprende la biomasa, la cual se calculó a través de los modelos alométricos para cada especie, la densidad y *stock* del carbono, y la concentración de carbono orgánico que se almacena en las raíces.

Tabla 3.
Operacionalización variable dependiente

Variable	Dimensiones	Indicadores	Unidad
Biomasa (ecuaciones alométricas)	Característica de especie	Cantidad de biomasa	g
Densidad y <i>stock</i> de carbono	Relación biomasa y carbono en tejidos	Cantidad de carbono	g C/ cm ²
Concentración de carbono orgánico	Carbono almacenado en las raíces	Cantidad de carbono	g C /g de suelo

Fuente: Elaboración propia.

6. Hipótesis

Debido a que los tolares (*Parastrephia lepidophylla*, *Parastrephia lucida* y *Baccharis tricuneata*) presentes en la RNSAB capturan carbono del ambiente, es posible valorizar su servicio ecosistémico por la cuantificación del contenido de carbono en su biomasa por medio de modelos alométricos.



CAPÍTULO II. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1. Antecedentes de la Investigación

La información que se generó en el ámbito internacional durante la última década indica que una de las causas de vulnerabilidad de ecosistemas de montaña de América Latina, África y Asia es el cambio climático (Shukla, et al., 1990; Hulme, et al., 200; Sakai, y Fujita, 2017). A su vez, las investigaciones evidenciaron una disminución en la disponibilidad de servicios ecosistémicos vitales como el agua dulce y tierras cultivables, e indirectamente por efectos de la pérdida de la biodiversidad, impacto negativo en la economía y la sociedad (Vargas, 2009, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2012; Sánchez Zavaleta, 2016; Molina, 2018).

A nivel nacional y local, los tolares se consideran importantes por brindar una serie de servicios ecosistémicos que sirven de sustento para mejorar la calidad de vida de los pobladores de comunidades aledañas. Estas especies arbustivas protegen el suelo y su entorno gracias a su amplio follaje, resistencia y distribución radicular, además, permite la absorción y posterior infiltración de agua por estar ubicada en la cuenca alta del río Quilca-Chili, de tal forma que regula el abastecimiento de agua y el ciclo hídrico favorable para la agricultura de la cuenca baja, y la alimentación y salud de toda la población de Arequipa, así evita la escorrentía y los bajos niveles en la recarga de los acuíferos subterráneos. (Gutte, 1985)

A través de la investigación que realizó la ONG DESCO “Estudio Fitosociológico, Agrostológico y Edáfico de los Tolares en la RNSAB”, en el que se compartieron datos sobre la distribución y cobertura basal de las especies que se contemplaron en esta investigación (Tabla 4), se evidenció que la especie del género *Parastrephia lucida* tiene una mayor cobertura basal con 2.1 %, además, las especies comparten presencia en estas zonas.

Tabla 4.

Distribución altitudinal y zonas estudiadas. Se presenta la cobertura basal de las tres principales especies de tola en la RNSAB. Presencia de la especie (X)

Especies	Rango altitudinal de distribución (m.s.n.m.)	Zonas				Cobertura Basal %
		San Antonio de Chuca	San Juan de Tarucani	Yanque	Yanahuara	
<i>Baccharis tricuneata</i>	3900-4500	X	X	X	X	0.55
<i>Parastrephia lepidophylla</i>	3900 a más	X	X	X	X	0.7
<i>Parastrephia lucida</i>	3500-4000	X	X	X	X	2.1

Fuente: Machaca et al. (2010).

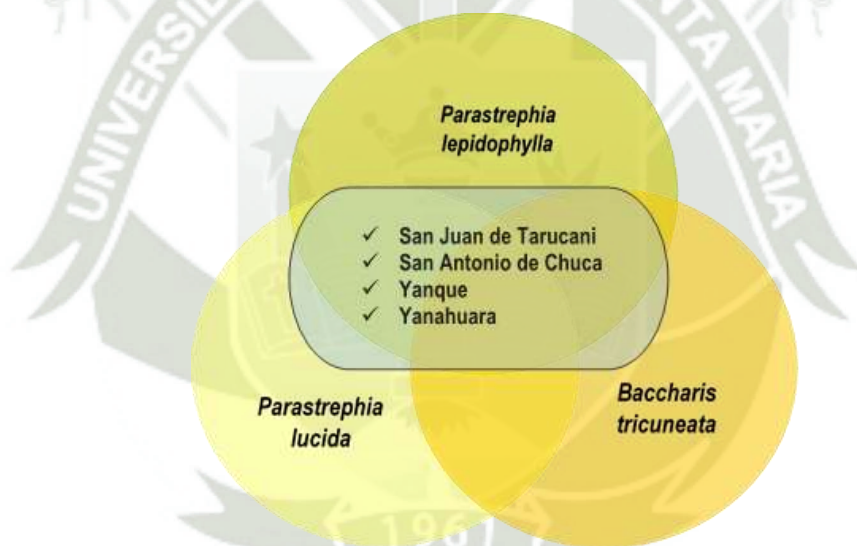


Figura 1. Distritos de Arequipa con presencia de las tres especies de tola

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 1 muestra las zonas de distribución en común de las especies de tola, en su mayoría se constituyen por *Parastrephia lepidophylla* (Wedd.) Cabrera, *Parastrephia lucida* (Meyen) Cabrera y *Baccharis tricuneata* (L. f.) Pers. Estas se ubican políticamente en la jurisdicción de la RNSAB que está entre las provincias de Arequipa y Caylloma, en el departamento de Arequipa, y en el Distrito de Ubinas, Provincia General Sánchez Cerro, departamento de Moquegua. Este tipo de vegetación se ubica comúnmente en la zona Huayllacucho, Condori y Tarucani en el distrito de San Juan de Tarucani, Tambo Cañahuas y Sumbay en el distrito de Yanahuara; Viscachani y Pillones

en el distrito de San Antonio de Chuca; Chalhuanca en el distrito de Yanque, y se establecen a una altitud que oscila entre los 3500 y 4500 m.s.n.m. (Vega, 2017)

A lo largo del tiempo las grandes extensiones de tola en la RNSAB sirvieron como una fuente de energía para los pobladores, dado que se usaban como combustible (leña), además, tradicionalmente se comercializaba para las panaderías de Arequipa, y también adquirió un uso para forraje ocasional y usos medicinales. Debido a estas actividades, entre otros factores, los tolares se vieron amenazados de manera continua a causa de la reducción de las poblaciones de estos, así como la pérdida de especies vegetales asociadas que son imprescindibles para la subsistencia de la fauna altoandina (Plan Maestro de la RNSAB 2016-2020). La tala indiscriminada e ilegal, las inadecuadas prácticas extractivas y la presión de carga que ejerce el pastoreo extensivo conllevó a tener como objetivo prioritario de la RNSAB la conservación de los tolares.

2. Marco Teórico

2.1. Área Natural Protegida (ANP)

En concordancia con la legislación vigente, la definición de áreas naturales protegidas que contempla la Ley 26834 Congreso de la República, 2017 es la siguiente: Las ANP son los espacios continentales y/o marinos del territorio nacional, expresamente reconocidos y declarados como tales, incluyendo sus categorías y zonificaciones, para conservar la diversidad biológica y demás valores asociados de interés cultural, paisajístico y científico, así como por su contribución al desarrollo sostenible del país. Las ANP constituyen patrimonio de la Nación. Su condición natural debe mantenerse a perpetuidad pudiendo permitirse el uso regulado del área y el aprovechamiento de recursos, o determinarse la restricción de los usos directos. (Ministerio del ambiente, 2017)

Tal como indica la legislación, las áreas protegidas son extensiones para la conservación y gestión de la biodiversidad, elementos culturales, servicios ecosistémicos, además de valores estéticos y culturales. Constituyen áreas representativas de los ecosistemas particulares por su flora, fauna y geomorfología, tomando en cuenta también la belleza de sus paisajes o sus valores culturales. La investigación en estos espacios permite un análisis para una mejor gestión de diferentes variables de origen sociocultural y físico. Por su parte, la información general correspondiente a las ANP, como su definición, caracterización, objetivos de

creación, categorización y gobernanza, la estableció la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, 2006). La IUCN es una red global que se fundó en 1948, cuyo fin es ayudar a la conservación de la biodiversidad natural de modo que se asegure el uso sustentable y equitativo de los recursos. Estas instituciones administran la información acerca de las áreas protegidas y determinan líneas de acción para la mejora de su gestión, es así que cada país realiza su propia categorización con respecto al manejo de sus recursos. (Hayward, 2009)

De igual forma, se manejan términos como reserva natural o ecológica, los cuales comparten características con el termino ANP. Estas son áreas de importancia para la vida silvestre, flora, fauna o con rasgos geológicos de especial interés; cabe mencionar que el hombre es quien la protege y maneja, con fines de conservación y de proveer oportunidades de investigación y educación. (Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado SERNANP, 2012)

En ese sentido, una reserva natural es aquella área dentro de un territorio, que se protege debido a su gran importancia para el mantenimiento y desarrollo de la flora, fauna y vida silvestre del lugar en el que está emplazada. El objetivo de creación de estos espacios naturales radica en proteger ecosistemas, comunidades o especies que por su rareza, fragilidad o singularidad merecen una valoración especial, la cual constituye una mayor gestión contra el deterioro y degradación medioambiental. (Solano, Cerdán, Capella, Baldovino, Monteferri, Peña, y Sánchez, 2011)

2.2. Reserva Nacional

Las reservas nacionales son áreas protegidas que se destinan a la conservación de la diversidad biológica presente en dicha área, además, permite y fomenta la utilización sostenible de los recursos silvestres, es decir, se pueden comercializar los recursos naturales siempre y cuando se tenga un plan de manejo aprobado y este lo supervise la autoridad competente. (Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado SERNANP, 2012)

Asimismo, según la gestión de las reservas naturales se tienen dos tipos, por un lado, las integrales, en las cuales se prohíbe la explotación de recursos, salvo que la administración lo autorice por razones de investigación, educativas o de conservación; por otro, las parciales, en las que se permite la explotación de recursos

de forma compatible con la conservación de los valores que se pretende proteger. (Solano, Cerdán, Capella, Baldovino, Monteferri, Peña, y Sánchez, 2011)

2.3. Reservas Nacionales de Perú

Las reservas nacionales forman parte de las ANP del país a cargo del Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SINANPE), cuyo objetivo es contribuir al desarrollo sostenible del Perú a través de la conservación de muestras representativas de la diversidad biológica. Este sistema se divide en categorías de acuerdo con características como presencia de especies vulnerables, cantidad de ecosistemas e impacto antropológico. Las categorías son las siguiente: parques y santuarios nacionales, santuarios históricos, reservas nacionales, refugios de vida silvestre, reserva paisajística, reserva comunal, bosques de protección, cotos de caza y zonas reservadas. En tal sentido, las reservas nacionales, al igual que los parques, refugios, santuarios, entre otros, también son zonas designadas a la conservación de la diversidad biológica, los recursos de la flora y fauna silvestre, y su utilización sostenible. La diferencia radica en que se denomina “reserva nacional”, debido a que en el territorio de dicha área se encuentran varios ecosistemas con diversidad biológica relevante, en adición, las comunidades realizan uso directo de los recursos silvestres. (Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado, 2019)

A continuación, se mencionan las 15 reservas nacionales en el país:

- RN Pampas Galeras Bárbara D’ Achille – Ayacucho
- RN Junín – Pasco
- RN Paracas – Ica
- RN Lachay – Lima
- RN Titicaca – Puno
- RN Salinas-Aguada Blanca – Arequipa y Moquegua
- RN Calipuy – La Libertad
- RN Pacaya-Samiria – Loreto
- RN Tambopata – Madre de Dios
- RN Allpahuayo Mishana – Loreto

- RN Tumbes – Tumbes
- RN Matsés – Loreto
- RN Sistema de Islas, Islotes y Puntas Guaneras
- RN Pucacuro – Loreto
- RN San Fernando – Ica. (Ministerio del ambiente, 2017)

2.4. Reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca

La RNSAB se localiza geográficamente en la región árido-andina del suroeste peruano y climáticamente es un ejemplo de la puna seca de América del Sur. Su creación fue en el año de 1979 con el objetivo de promocionar la conservación de la vicuña y el resguardo de diferentes especies de fauna silvestre como flamencos y tarucas, igualmente de algunas especies de flora tales como la queñua y tola, entre otras.

Con relación a los objetivos de creación, se planteó recuperar sus sistemas ecológicos y lograr el impulso de los hermosos paisajes, fundamentalmente de sus pajonales, tolares, yaretas y queñuales. En esta área de conservación, como en casi todas, habitan diversas agrupaciones campesinas dispersas en centros poblados, las cuales basan su economía en la crianza de camélidos domésticos, turismo, minería y, en menor proporción, agricultura. Este último incluye la extracción de vegetación, entre ellos especies en estado vulnerable. (Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado, 2019)

La reserva cuenta con un área de 366 936 hectáreas y comprende alturas desde los 2800 a más de 6000 metros en los departamentos de Arequipa y Moquegua, así pues, dentro de sus límites se encuentran dos cuencas alto andinas, la primordial es la cuenca alta del río Chili, que se establece como la fuente natural del vital líquido para consumo humano, uso agrícola, minero e industrial, así como la generación de electricidad mediante hidroeléctricas, de esta forma suministra servicio a más de un millón de habitantes de Arequipa y zonas contiguas. La otra cuenca, de no menos importancia, es la de la laguna de Salinas; a pesar de ser una cuenca endorreica se encuentra en estrecha relación con los manantiales que proveen la cuenca oriental de Arequipa, la conjurada “zona no regulada del Chili. (Fondo ambiental del Perú que

brinda alternativas innovadoras para el cuidado del medio ambiente y desarrollo sostenible PROFONANPE – SERNANP, 2010)

La RNSAB se distingue por la presencia de los majestuosos volcanes, Pichupichu, Misti y Chachani en la parte suroeste; el volcán Ubinas por el sureste; y por el lado norte con los nevados Chuccura y Huarancante. Asimismo, las planicies altoandinas están salpicadas de lagunas y bofedales. Todo ello completa el gélido paisaje de la mayor parte del territorio, en el que principalmente habitan camélidos sudamericanos y un gran número de aves terrestres y acuáticas, tal como lo certificó su designación como sitio Ramsar desde el año 2003. (De Ramsar, 1971)

Como se mencionó líneas arriba, la reserva se concibió inicialmente como un lugar para la protección de vicuñas, sin embargo, hoy también representa la principal reserva del recurso hídrico para la ciudad de Arequipa y alrededores. Este ecosistema proporciona un valioso e irremplazable servicio ambiental, que es muy importante para el desarrollo y la supervivencia de la ciudad. Por otro lado, los vientos que vienen desde el altiplano puneño-boliviano provocan lluvias, nieves y granizos entre octubre y abril, estos los retienen los yaretales, queñuales, pajonales y tolares, los cuales los almacenan en el subsuelo de bofedales y lagunas. De allí se libera lentamente a lo largo del año, con lo que se regula el ciclo hidrológico para beneficio de las comunidades y la ciudad. (Instituto Nacional de Recursos Naturales INRENA, 2001, Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado, 2019)

Todas estas características, sumadas a sus caprichosas formaciones rocosas, sus restos arqueológicos, la rica cultura viva de sus actuales pobladores y su fácil accesibilidad la convierten en una de las más valiosas ANP del país. (Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado SERNANP, 2012)

2.5. Vegetación de la Reserva Nacional de Salina y Aguada Blanca

En la RNSAB se registraron 463 especies de plantas vasculares, concernientes a 156 géneros de 47 familias. Las familias con más especies presentes son Asteraceae con 78 y Poaceae con 52; a su vez, los géneros con más especies son *Calamagrostis* con 15 especies, *Senecio* con 12 y *Werneria* con 10. Dentro de estas especies destaca la Queñua (*Polylepis rugulosa*), que se categoriza como especie amenazada y forma pequeños bosques al oeste de la Reserva, ocasionalmente asociada al árbol endémico *Nordenstamia longistyla* (Greenm. y Cuatrec.) B. Nord. (Asteraceae) y a numerosas

especies anuales, bianuales y perennes en estado silvestre. La vegetación en zonas altoandinas se caracteriza por la ausencia de Queñua, la se reemplaza por la tola (*Baccharis tricuneata*, *Parastrephia lepidophylla* y *Parastrephia lucida*), plantas almohadillas (*Azorella compacta* Phil. (Apiaceae), *Pycnophyllum molle* J. Remy (Caryophyllaceae)), y pastos como *Festuca orthophylla* Pilg. Y *Stipa ichu*. (Quipuscoa, y Huamantupa, 2010, Talavera, Ortega, y Villegas, 2010)

Por su parte, los bofedales (ecotonos azonales) poseen distribución en la zona altoandina y se caracterizan por ser receptores de humedad y fuente de agua de los manantiales y ríos. En estos ambientes es común encontrar plantas acolchonadas de la especie *Distichia muscoides* Nees y Meyen (Juncaceae), gramíneas (*Calamagrostis* spp., *Stipa* spp.) y hierbas muy pequeñas entre las que destacan *Gentianella* spp. (Gentianaceae), *Lachemilla diplophylla* (Diels) Rothm. (Rosaceae), *Ranunculus flagelliformis* Sm. (Ranunculaceae), *Castilleja pumila* (Benth.) Wedd. (Orobanchaceae), *Gentiana sedifolia* Kunth (Gentianaceae), entre otras. (Quipuscoa, y Huamantupa, 2010, Talavera, Ortega, y Villegas, 2010)

En este sentido, se identificaron tres pisos ecológicos en la RNSAB de acuerdo con lo que establecieron Weberbauer y ONERN, quienes hicieron referencia a la presencia de especies, los tipos de vegetación y la altitud. Dichos pisos se detallan a continuación:

A. Piso de las cactáceas columnares

Se caracteriza por la presencia de *Ambrosia artemisioides* (Asteraceae), *Dunalia spinosa* (Solanaceae), *Ephedra americana* (Ephedraceae), *Balbisia meyeniana* (Francoaceae), entre otras, y una variada diversidad herbácea que se desarrolla principalmente durante la estación de lluvias (Montesinos-Tubée et al., 2015). Este piso ocupa un sector pequeño en las laderas occidentales del Misti y el Chachani, y en el valle del Chili a la altura de Charcani V (Talavera et al., 2010). En concordancia con la investigación fitosociológica que realizó Montesinos-Tubée, se registra las asociaciones *Aloysia spathulatae-Corryocactetum brevistyli* y *Balbisio weberbaueri-Ambrosietum artemisioidis*. La distribución altitudinal se da entre los 2800 y 3700 m.s.n.m (Montesinos-Tubée, 2015).

B. Tolar mesotérmico

Con distribución altitudinal entre los 3800 a 4400 m.s.n.m., el tolar mesotérmico se caracteriza por la presencia de arbustos de hasta 1 m de altura, acompañado de la Queñua (*Polylepis rugulosa*), *Dunalia spinosa* (Solanaceae), *Colletia spinosissima* (Rhamnaceae), *Chersodoma jodopappa*, *Chuquiraga rotundifolia* (Asteraceae), entre otros. La vegetación herbácea se caracteriza por algunas especies nativas y endémicas en los géneros *Lepidium* (Brassicaceae), *Caiophora* (Loasaceae), entre otros. (Talavera et al., 2010)

C. Tolar microtérmico

Se encuentra sobre los 4400 a 4800 m, predominan los arbustos de baja talla como *Parastrephia lucida*, *P. lepidophylla*, *Baccharis tricuneata* (Asteraceae), *Tetraglochin cristatum* (Rosaceae), *Senecio rufescens*, *S. adenophyllus* (Asteraceae), plantas almohadilla como *Azorella compacta* (Apiaceae), *Mniodes* sp. (Asteraceae), *Pycnophyllum molle* (Caryophyllaceae), *Junellia 34ínima* (Verbenaceae), entre otros. Entre las plantas herbáceas predominan *Nototriche* spp. (Malvaceae), *Hypochaeris*, *Perezia* (Asteraceae), entre otras. (Talavera, Ortega, y Villegas, 2010)

En cuanto a las unidades fitosociológicas, se identificó la siguiente unidad zonal: *Parastrephio lucidae-Festucetum orthophyllae* (Galán de Mera et al., 2003).

En resumen, entre los principales tipos de vegetación se encuentran:

2.5.1. Pajonal de Puna

El pajonal de puna ocupa la mayoría del territorio que conforma la reserva entre los 3800 y los 4900 m de altitud. Esta se exhibe como una pradera altoandina de pastos naturales que se caracteriza por la dominancia de dos especies principalmente: *Festuca*, salpicada de parches de *Stipa* entre las localidades de Sumbay y Salinas.

Asimismo, los pajonales se encuentran en las seis zonas de vida que se identificaron en la RNSAB. Sin embargo, cabe resaltar que su presencia no es muy clara en las primeras zonas de vida, dado que a pesar de que las especies típicas de esta formación están en esas zonas, su cobertura es escasa u ocupan áreas degradadas en las que previamente estaban otras especies como los tolares.

Por lo general, los pajonales se consideran con gran valor forrajero para la alimentación del ganado, principalmente de llamas. (Quipuscoa, y Huamantupa, 2010, Talavera et al., 2010)

2.5.2. Tolar

Los tolares se pueden encontrar en las seis zonas de vida que se identificaron en la reserva: matorral desértico-subalpino subtropical, matorral desértico-montano subtropical, páramo húmedo-subalpino subtropical, tundra húmedo-alpina subtropical, tundra muy húmedo-alpina subtropical y nivel-subtropical. Esta formación vegetal se caracteriza por la presencia de especies de los géneros *Parastrephia*, *Lepidophyllum* y *Baccharis*, las cuales se presentan como arbustos de baja estatura y escasa palatabilidad forrajera, aunque la fauna la consume en temporada de escasez de alimento en los meses de septiembre a diciembre. (Quipuscoa, y Huamantupa, 2010, Talavera et al., 2010)

Por otro lado, Weberbauer clasificó a los tolares específicamente en dos formaciones vegetales de acuerdo con su respuesta frente a las condiciones climáticas: el primero ubicado entre los 3600 a 4000 m.s.n.m. denominado tolar meso térmico, y el que se sitúa entre los 3200 a 4500 m.s.n.m. llamado tolar microtérmico. (Weberbauer, 1945)

2.5.3. Almohadillar

Los almohadillares cuentan con la presencia continua de plantas almohadilla en planicies y laderas semirocosas, y siempre se relacionan con los géneros *Pycnophyllum* (Caryophyllaceae), *Mniodes* (Asteraceae) y *Azorella* (Apiaceae) (Chicalla-Rios 2018).

La presencia de tolares o pastizales es muy escasa y la representación leñosa se caracterizan por los géneros *Tetraglochin* (Rosaceae), *Senecio* (Asteraceae), *Salpichroa* (Solanaceae), entre otros. Se desconoce cualquier tipo de producción forrajera en este tipo de ambientes y los suelos no son aptos debido a su bajo pH y características edáficas. (Montesinos-Tubée, 2020)

2.5.4. Bofedal

Los bofedales se encuentran habitualmente en la cabecera y a lo largo de los ríos, manantiales y vertederos. Estos los conforman especies vegetales originarias de ambientes húmedos de carácter permanente, así se considera como una de las principales fuentes forrajeras alimenticias para el ganado. La producción forrajera tiene lugar durante la mayor parte del año, por esa razón muchos ganaderos de la zona de la RNSAB destinan este tipo de vegetación al pastoreo de las alpacas, puesto que ofrece un alto valor proteico entre los pastos nativos del altiplano, además de su agradable palatabilidad. (Quipuscoa, y Huamantupa, 2010, Talavera, Ortega, y Villegas, 2010)

2.5.5. Yaretal

Los yaretales se distribuyen en una topografía variada, con áreas de laderas suaves a abruptas, áreas con colinas suaves y planas, con suelos areno-arcillosos, pedregosos hasta rocosos. Estos se encuentran entre los 4500 y 5000 m, aunque con poca cobertura vegetal. Las yaretas son plantas resinosas de crecimiento lento y que al crecer forman grupos compactos que pueden llegar a 1 m de alto. En la antigüedad se emplearon como material combustible. Otras especies presentes en esta formación vegetal son *Pycnophyllum molle* y *P bryioides*, la "papusa" *Werneria paposa*, planta medicinal que se usa para calmar los dolores menstruales; la "thurpa" *Nototriche obcuneata*; el "crespilo" *Calamagrostis curvula*; la *Belloa longifolia*; y escasos arbustos de hasta 40 cm de altura como *Senecio adenophyllum*, *Baccharis buxifolia* y *Parastrephia lucida*. (Instituto Nacional de Recursos Naturales INRENA, 2001, Quipuscoa, y Huamantupa, 2010, Talavera, Ortega, y Villegas, 2010)

2.5.6. Queñual

Un queñual es un bosque que se caracteriza por la especie arbórea *Polylepis rugulosa*, la cual se conoce como queñua, acompañada de arbustos y hierbas. Crece entre los 3500 y 4000 m.s.n.m.; se encuentra distribuido en una topografía variada, en laderas muy escarpadas a suaves con suelos areno-arcillosos y pedregosos, en quebradas y laderas de cerros protegidos o de limitada accesibilidad debido a la presión extractiva a la que los sometieron. A esta especie se le puede localizar en las faldas del volcán Chachani como un bosque

ralo. Dentro de los queñuales se pueden encontrar especies arbustivas como la “tola blanca” *Chersodoma jodopappa*, las “tolas” *Parastrephia lepidophylla* y *Baccharis buxifolia*, la “china canlli” *Adesmia spinosissima*, “huamanpinta” *Chuquiraga rotundifolia*, “chojo” *Mutisia orbignyana* y “durazno silvestre” *Ribes brachybrotis*; especies herbáceas como el “atoj sara” o “maíz del zorro” *Bomarea ovata*, el “ichu” *Stipa ichu*, la “cola de zorro” *Hordeum muticum*, *Bromus* sp. o *Mutisia lanigera* de flores tubulares anaranjadas muy vistosas (especie que generalmente está enredada en las ramas de la queñua). Por su parte, la fauna está representada por vizcachas, tarucas, vicuñas, zorros y diversas especies de aves. (Instituto Nacional de Recursos Naturales INRENA, 2001, Quipuscoa, y Huamantupa, 2010, Talavera, Ortega, y Villegas, 2010)

2.6. Formación Vegetal en Estudio: El Tolar

La palabra tola quiere decir leña y se asocia a plantas, en este caso arbustos que dan leña como la supuTola, ñakaTola, taraTola, entre otros. Sin embargo, no todos los arbustos se denominan tola, como es el caso de la kailla o añahuaya que dan leña. Una de las que más se conoce en esta formación vegetal es la supuTola, cuyo uso principal se destina como combustible. Dentro de las características generales de las especies que conforman esta unidad vegetal, se describe como erecta, ramosa y resinosa, con una altura máxima que puede alcanzar los 120 a 150 cm; en cuanto a los tallos, estos son más duros porque llevan en su interior el compuesto llamado lignina. (Weberbauer, 1945, Beck, 1985, Alzerreca, Calle, y Laura, 2002, Hualpa-Lima 2018)

Como se puede inferir, la tola se constituyó en una de las especies vegetales útiles del sector alto andino, debido a que permite que la población realice un uso directo (Fondo ambiental del Perú que brinda alternativas innovadoras para el cuidado del medio ambiente y desarrollo sostenible PROFONANPE – SERNANP, 2010).

2.6.1. Importancia de los Tolares

Los tolares son de gran importancia económica, ecológica, social y biológica relevante. Entre sus principales funciones, características y beneficios se encuentran las siguientes:

- Actúan como cortinas rompe viento, debido a su estructura como comunidades vegetales.
- Aportan protección a los animales domésticos y fauna silvestre.
- Estabilizan y protegen los suelos contra todo tipo de erosión.
- Generan microclimas benignos y suelos fértiles los cuales benefician el crecimiento y producción de especies forrajeras para la alimentación del ganado y también para la agricultura.
- Forman parte de la dieta alternativa de llamas y ovejas en temporada de escases de pastizales.
- Representa un recurso energético gracias a la utilización como combustible por parte de los pobladores.
- Por sus características se usa como tinte natural (verde y amarillo).
- Debido a su elevada capacidad de retención de agua y suelo (gracias a su sistema radicular) conserva y protege los suelos de la erosión.
- Dada la forma de medialuna invertida o cono truncado que adquiere este tipo de vegetación, hace que sirva como amortiguador de las gotas de lluvia, las cuales posibilitan mayor absorción de agua para el suelo.
- Los pobladores emplean su etapa fenológica como indicador para comenzar la cosecha de papa. (Alzerreca, et al., 2002; Linares, 2005; García, y Beck, 2006; Montesinos-Tubée et al., 2015)

2.6.2. Tipos de Tolares

Existen diferentes especies de tolas, las cuales caracterizan a la vegetación de las zonas de altura, lo que representa un aporte a la biodiversidad florística de arbustos en los Andes Estos se describen a continuación (Alzerreca et al, 2002).

2.6.2.1. SupuTolares

En estos tolares dominan la especie *Parastrephia lepidophylla* (supuTola) que ocupa grandes extensiones en fondos de valle y llanuras. Con respecto a su tamaño, en comparación con otras especies de tola es una de las de mayor tamaño en promedio. Asimismo, posee el más alto rendimiento de leña frente a las otras tolas. Cabe añadir la supuTola se utiliza como leña. (Alzerreca, Calle, y Laura, 2002)



Figura 2. Vista de SupuTolares

Fuente: Elaboración propia.

2.6.2.2. AlpachTolares

Estos tolares se conforman en su mayoría por *Parastrephia quadrangularis* (alpachTola) en asociación a pajonales de Iru. La alpachTola es de tamaño pequeño a mediano (20 a 70 cm), topográficamente se encuentra en suelos arenosos con amplia distribución y abundancia en lugares con presencia de piedras pequeñas. (Alzerreca, Calle, y Laura, 2002)



Figura 3. Vista de AlpachTolares

Fuente: Alzerreca, Calle, y Laura, (2002)

2.6.2.3. ChekaTolares

En estos tolares dominan las tolas de *Parastrephia lucida* o *Parastrephia lucida* (chíiqiatiúla o púsquitiúla). Topográficamente se distribuyen en lugares de suelos arenosos, en orillas de ríos y algunos sitios de suelos alcalinos debido a su tolerancia a sales (Alzerreca, Calle, y Laura, 2002).



Figura 4. Vista de ChekaTolares

Fuente: Elaboración propia.

2.6.2.4. ÑakaTolares

Estos tolares se componen por la ÑakaTola (*Baccharis incarum*). El tamaño de planta es variable, se puede asociar con otras plantas como la añahuaya (*Adesmia spinosissima*), la kaylla (*Tetraglochin cristatum*) y los pajonales de sicuyincho e iru ichu (*Stipa ichu* y *Festuca orthophylla*). Se encuentra distribuidos en llanuras, laderas y serranías con bastante presencia de piedras. Si el clima y la altitud son favorables, estos tolares se usan con frecuencia para la agricultura. (Alzerreca, Calle, y Laura, 2002)

2.6.2.5. TaraTolares

La taraTola o amamayTola (*Fabiana densa*) tienen dominancia en este tolar, forman comunidades con otras plantas generalmente en laderas de serranía, en lugares donde abundan piedras con afloramientos rocoso. El tamaño de la taratara es variable según las características del suelo, microclima, fisiografía y las especies de plantas con las que convive. El uso de estos tolares

generalmente es para pastoreo de camélidos y ovinos. (Alzerreca, Calle, y Laura, 2002)



Figura 5. Vista de TalaTolares

Fuente: Alzerreca, Calle, & Laura, (2002)

2.6.2.6. LampayaTolares

Estos tolares son típicos y, en gran medida, se encuentran presentes en el Altiplano semiárido del departamento de Oruro. Su nombre se debe a la dominancia de la lampayaTola (*Lampaya castellani*) que habita en suelos arenosos en asociación con la paja brava (*Festuca orthophylla*). Este tipo de tolares se distribuyen generalmente en llanuras y muy poco en faldas de serranías, tienen como característica que son buenos estabilizadores de dunas (Figura 4). El uso de estos tolares es para el consumo ganadero como llamas, ovinos y en menor medida alpacas. (Alzerreca, Calle, y Laura, 2002)



Figura 6. Vista de LampayaTolares

Fuente: Alzerreca, Calle, y Laura, (2002)

En síntesis, la siguiente tabla muestra los tipos de tola existentes.

Tabla 5.
Tipos de tolas existentes y sus nombres científicos

Nombres comunes de tolas	Nombre científico
• SupuTola, tantaTola	• <i>Parastrephia lepidophylla</i>
• AlpachTola	• <i>Parastrephia quadrangularis</i>
• ChekaTola	• <i>Parastrephia lucida</i>
• ChekaTola Rumitutula	• <i>Parastrephia lucida</i>
• ÑakaTola	• <i>Baccharis incarum</i>
• JamachTola	• <i>Baccharis boliviensis</i>
• TarataraTola	• <i>Fabiana densa</i>
• LampayaTola	• <i>Lampayo castellani</i>
• CondorTola	• <i>Chersodoma jodopappa</i>

Fuente: Alzerreca, Calle, & Laura, (2002).

2.6.3. Ubicación y Distribución de los Tolares

A nivel de América del Sur los tolares se distribuyen geográficamente desde la Patagonia hasta el Perú Central y se encuentran entre los 3200 y 4500 m sobre el nivel del mar. Son arbustos de hasta 1.30 m de altura. Los diferentes autores destacaron la presencia del género *Parastrephia* (Asteraceae) en los departamentos de Arequipa, Puno, Moquegua, Tacna, Ayacucho, Apurímac y Cusco, (Manrique, 1997, Alzerreca, Calle, Cuti, Laura, y Zárate, 2002, Roque, 2008, Machaca, Montesinos, Lizárraga, Ocsa, Quispe, y Quiroz, 2010, Galán de Mera, Linares Perea, Campos de la Cruz, Trujillo Vera, Villasante Benavides, y Vicente Orellana, 2011, Montesinos-Tubée, 2011) en Bolivia (Beck, 1985, Pinto, y Ascencio, 1999, Navarro, 2019), Chile (Luebert y Gajardo, 2005), y Argentina (Ruthsatz y Movia, 1975, Maggi, Di Ferdinando, y Barrera, 2015). Por otro lado, el género *Baccharis* se ubica en distintas zonas del altiplano boliviano y peruano de acuerdo con la altitud sobre el nivel del mar. (Ajacopa et al., 2021; Gonzáles et al., 2019)

Con respecto a la distribución de tolares dentro del área de la RNSAB y su zona de amortiguamiento, se presentan en forma de parches de distinto tamaño a lo largo y ancho de la superficie de la RNSAB, los más grandes y densos se ubican al centro y norte. Las principales especies dominantes corresponden a *Parastrephia lepidophylla*, *P. lucida*, *P. quadrangularis*, *B. tricuneata*, *B. buxifolia*, cuya densidad tiene condiciones que se pueden considerar como muy disgregada y dispersa entre cada una de las especies, es decir, que sufrieron una

disminución por el exceso de explotación debido a sus deseables características. En cuanto a la distribución dentro de los parches, la *P. lucida* tiene una cobertura basal de 2.1 % promedio con respecto a la data reportada en cada una de las zonas; *P. lepidophylla*, se presenta con una cobertura basal media de 0.7 % y *B. tricuneata* con 0.55 % de cobertura basal. Las extensiones que se evaluaron de vegetación del tipo tolar reportan la escasa presencia de tolares con alta densidad; la mayor parte de ellos aparecen ralos y con amplia distancia entre planta y planta de la misma especie (en los rangos de 0.75 a 1.78 m), por ende, la situación de deterioro se agrava aún más con el escaso desarrollo foliar, así como la limitada cobertura basal que presentan. (Alzerreca, Calle, y Laura, 2002)

La condición de los pastizales naturales del tipo tolar está en el rango entre pobre y muy pobre, lo que indica que dichos pastizales se encuentran en una situación vulnerable. La extensión de los tolares en la RNSAB asciende a 56 042.92 hectáreas, las cuales están dispersas en parches de densidad y tamaño variable; en muchos de los casos se observa una sucesión, inducida en numerosas áreas por la extracción indiscriminada. (Ajacopa et al., 2021; Gonzáles et al., 2019)

2.6.4. Clasificaciones Alternativas de Tolares

2.6.4.1. Según la densidad de tolas

- **Densos:** son tolares donde la cobertura de tolas por hectárea (ha) asciende a más a 8900 arbustos. Estos tolares casi puros son indicadores de suelos fértiles, forman parches de tola que crecen en lugares con condiciones favorables
- **Intermedios:** son tolares donde la cantidad individuos es menor, la escala de densidad es de 3200 a 8900 arbustos por ha, su presencia abarca grandes extensiones en pampas
- **Ralos:** la presencia en cantidad de tolas es escasa y dispersa, generalmente en áreas con suelos pobres, muy expuestos en aquellas zonas donde la actividad agrícola removi6 los tolares. Su cantidad es menor a 3200 arbustos por ha. (Alzerreca, Calle, y Laura, 2002)

2.7. Especie *Parastrephia lepidophylla*

2.7.1. Clasificación Taxonómica

Clasificación propuesta por Angiosperm Phylogeny Group.

Reino: Vegetal

División: Angiospermae

Subdivisión: Eudicots

Clase: Euasterids II

Orden: Asterales

Familia: Asteraceae

Tribe: Astereae

Género: *Parastrephia*

Especie: *Parastrephia lepidophylla*

Autor: (Wedd.) Cabrera Nombre

común: “Pacha-taya”, “Tola”, “Taya Tola”,
“Tuya”, “Koa”, “T’ant’a T’ula”, “T’ant’aq”.

(Chase, et al, 2016)

2.7.2. Características Morfológicas

Arbusto de 20-200 cm de altitud, tallos y ramas de color marrón claro a grisáceo, con ligeras escamas entre los nudos. Posee hojas aciculadas a modo de escamas y dispuestas a lo largo de las ramas de manera densa y revestida. Cada foliolo mide entre 5 y 10 mm de longitud, tiene un aceite resinoso y las láminas son de color verde-amarillento. Sus flores están dispuestas en panículas algo densas, con capítulos discoides, de color amarillo oscuro y filarias verde-amarillentas. Cuenta con frutos en aquenios con vilano. El promedio de su cobertura foliar es de 1971 cm² y del área basal 106.4 cm².

2.7.3. Hábitat

Se desarrolla en matorrales arbustivos, raramente xerófitos, pajonales andinos y altoandinos, así como en comunidades con almohadillas. Su distribución data de los 3500 a los 5000 m s.n.m (Alzerreca, Calle, y Laura, 2002).

2.7.4. Propagación

La propagación resulta favorable mediante semillas bajo condiciones de terreno con sustrato mezclado con materia orgánica y tierra agrícola, de tal forma que se obtiene un incremento promedio en altura mensual entre 0.71–0.91 cm con esta combinación. Por otro lado, al aplicar fitohormas la como el ácido indolbutírico (AIB) la propagación tiene un efecto positivo en el enraizamiento de estacas. (Morales, 1997, Montero Terry, 2006, Canqui, 2013, Mersey, Reinoso, y Riquelme, 2015)

2.7.5. Usos

Generalmente como leña de uso comercial y doméstico, la aplicación de hojas y cogollos triturados acelera la cicatrización de heridas tanto en humanos y animales; y las hojas frescas se utilizan para realizar el teñido de tejidos de lana de ovino y fibra de alpaca. (Soukup, 1978, Brack Egg, 1999, Pinto, y Ascencio, 1999)



Figura 7. Especie de tola *Parastrephia lepidophylla*, ubicada en RNSAB

Fuente: Elaboración propia.

2.8. Especie *Parastrephia lucida*

2.8.1. Clasificación Taxonómica

Clasificación propuesta por Angiosperm Phylogeny Group

Reino: Vegetal

División: Angiospermae

Subdivisión: Eudicots

Clase: Euasterids II

Orden: Asterales

Familia: Asteraceae

Tribe: Astereae

Género: *Parastrephia*

Especie: *Parastrephia lucida*

Autor: (Meyen) Cabrera

Nombre común: “Tola”, “Vizcacha Tola”. (Chase, et al, 2016)

2.8.2. Características Morfológicas

Arbusto de 20-100 cm de altitud, tallos y ramas de color marrón claro a oscuro, a menudo cubiertos de las bases de ramas anteriores. Tiene hojas fuertemente aromáticas, resinosas, lineales, engrosadas, acortadas, de menos de 1 cm de longitud, con el haz verde claro a amarillento y el envés pubescente. Las flores dispuestas en panículas, algo densas, con capítulos discoides, de color amarillo y filarias verde-amarillentas. Sus frutos en aquenios con vilano. La cobertura foliar promedio es de 494 cm² y el área basal promedio de 30.5 cm².

2.8.3. Hábitat

Se desarrolla en pajonales altoandinos y comunidades con almohadillas, ocasionalmente en zonas con variados niveles de altitud. Su distribución data de los 4200 a los 5000 m.s.n.m (Alzerreca, Calle, y Laura, 2002).

2.8.4. Propagación

La propagación resulta favorable a través de semillas bajo condiciones de terreno con sustrato mezclado con materia orgánica y tierra agrícola, de tal manera que se observa un incremento promedio en altura mensual entre 0.7-0.91 cm con esta combinación. Por otro lado, la propagación con fitohormonas como el ácido indolbutírico (AIB) tiene un efecto positivo en el enraizamiento de estacas. (Morales, 1997, Montero Terry, 2006, Canqui, 2013, Mersey, Reinoso, y Riquelme, 2015)

2.8.5. Usos

Montesinos-Tubée destacó los usos hallados para el departamento de Moquegua: propiedades medicinales y usos costumbristas. No se conocen usos en particular para el departamento de Arequipa (Montesinos-Tubée, 2013).



Figura 8. Especie de tola Parastrephia lucida, ubicada en RNSAB

Fuente: Elaboración propia.

2.9. Especie *Baccharis tricuneata* (L. f.) Pers.

2.9.1. Clasificación Taxonómica

Clasificación propuesta por Angiosperm Phylogeny Group

Reino: Vegetal

División: Angiospermae

Subdivisión: Eudicots

Clase: Euasterids II

Orden: Asterales

Familia: Asteraceae

Tribe: Astereae

Género: *Baccharis*

Especie: *tricuneata*

Autor: (L. f.) Pers.

Nombre común: “Tola”, “Papa Tola”. (Chase, et al, 2016)

2.9.2. Características Morfológicas

Arbusto siempre verde (perennifolio) de 50-100 cm de altura por 20-50 cm de ancho. Tallos y ramas coriáceas, heterogéneas, provistas de pequeños ritidomas a lo largo de estos, de color marrón-grisáceo. Posee hojas pequeñas, reducidas, glabras, engrosadas, verde claras, resinosas y brillantes, ligeramente aromática, de 6-9 mm de longitud, son enteras excepto por la parte media-apical de la lámina que tienen márgenes dentados (tricuneado), generalmente en número de tres (raramente cinco) por hoja. Inflorescencias en capítulos terminales semidensos, a veces solitarios (mayormente axilares), capítulos con flores tubulares de color blanco cremoso, filarias de color verde claro. Sus frutos son en aquenios con vilano. (Chase, et al, 2016)

2.9.3. Hábitat

La distribución de esta especie se da en matorrales arbustivos, pajonales de puna, unidades con plantas almohadillas, ocasionalmente en ambientes azonales (bofedales, quebradas con agua, canales de riego y borde de cultivos). Su distribución oscila entre los 3000 y 4800 m.s.n.m. En el Perú se encuentra distribuida en gran parte de la sierra y tiene mayor amplitud en zonas del altiplano y partes aledañas. (Brako, y Zarucchi, 1993)

2.9.4. Propagación

La propagación resulta favorable por medio del repique, aplicando la mezcla de sustrato con materia orgánica (tierra agrícola, turba), así se obtiene un incremento promedio en altura entre 1.04-1.09 cm con la misma combinación (Montero Terry, 2006).

2.9.5. Usos

En alimentación humana, los abultamientos en las ramas (agallas, a veces llamado “frutos”) sirven como sustituto del limón. En la predicción del clima, una floración abundante predice un buen año (observación en setiembre), cuando vuelan las semillas entre las 4 y 5 p.m. va a solear el próximo día. (Alzerreca, Calle, y Laura, 2002)



Figura 9. Especie de Tola, *Baccharis tricuneata*, ubicada en RNSAB

Fuente: Elaboración propia.

2.10. Estimación de biomasa

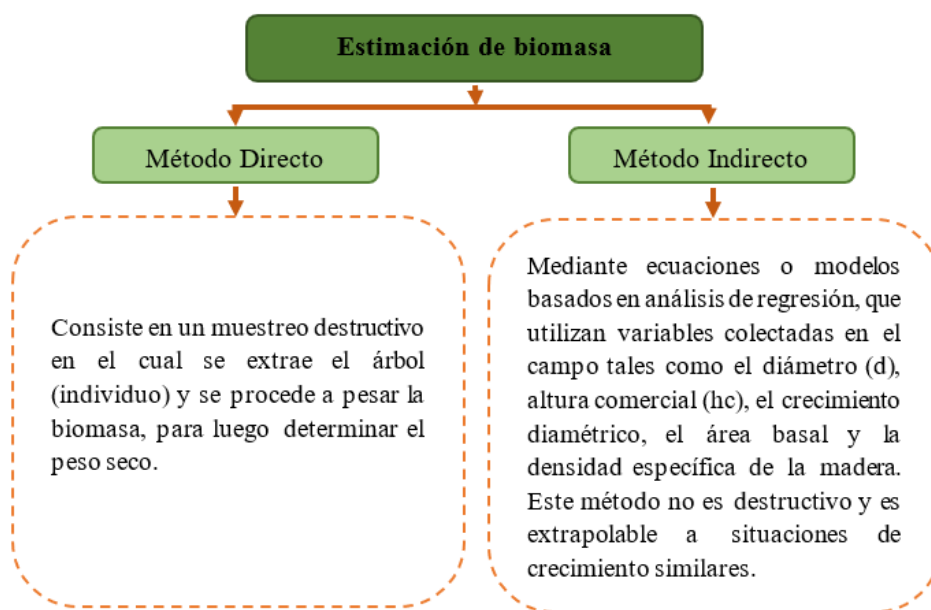


Figura 10. Métodos de estimación de biomasa

Fuente: Fonseca y otros, (2009).

2.11. Ecuación Alométrica

Una ecuación alométrica surge del análisis de correlación entre una variable independiente y variables dependientes, las cuales representan las dimensiones de una especie vegetal y su biomasa. Su uso más común se da en la estimación del contenido de carbono y para el entendimiento de ciclos de la energía, así como de nutrientes. (Smith, y Brand, 1992)

Estas ecuaciones dan soluciones en ciertas zonas que se destruyeron, por ello, se evita la aplicación de un proceso destructivo cada vez que se realice una evaluación. Por ende, representa una reducción significativa de trabajo en cuanto a tiempo y dinero. (Manrique, Franco, Núñez, y Seghezso, 2009)

Las ecuaciones alométrica se emplearon en biología vegetal para determinar relaciones correlativas entre variables que se vinculan a la biomasa de las plantas como su tamaño, con el fin de aplicarlas en la agricultura, funcionamiento de ecosistemas y manejo de bosques. (Niklas y Enquist, 2002)

En especies arbóreas se determinó la existencia de patrones alométricos como la relación del incremento de altura con el espacio del dosel y también con el aumento de la copa con el espacio horizontal (Fontes, 1999).

Las ecuaciones alométrica interrelacionadas con el diámetro medio a la altura de pecho de árboles con diferentes atributos morfológicos como biomasa, volumen de carbono y área foliar, se emplearon en diversas investigaciones para determinar impactos ecológicos (Delgado et al., 2005).

Entre las ventajas de estas ecuaciones es posible mencionar que, en el caso de los arbustos, se pueden hallar las medidas de una gran cantidad de variables, pero las que más se utilizan son el diámetro de copa, altura, volumen, entre otras. La significancia en el modelo de regresión será el coeficiente de correlación que determinará cuáles de estas variables son más significativas dentro de la ecuación alométrica.

Estas ecuaciones son flexibles, adaptables y se pueden aplicar ecuaciones existentes a especies nuevas, siempre y cuando tengan características morfológicas similares a nivel de especies o familias. Para realizar la ecuación alométrica se deben seguir pasos o etapas para lograr un buen ajuste en el modelo de regresión. Los pasos son detallados en la Figura 11.

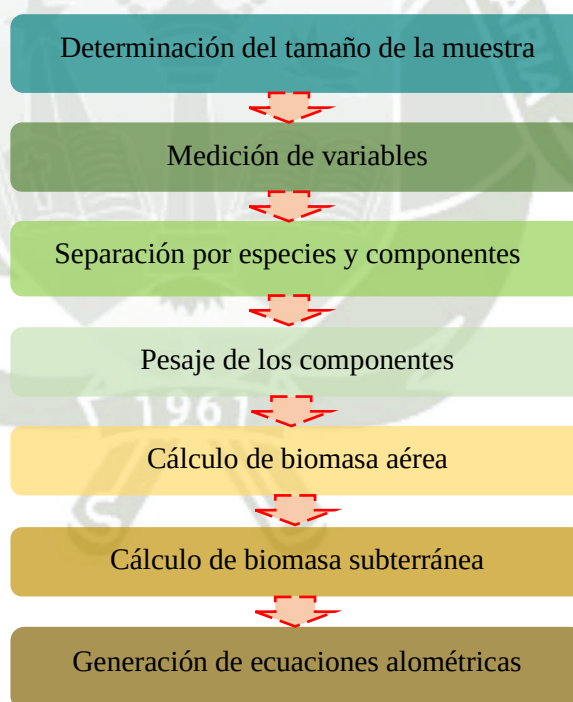


Figura 11. Procedimientos para el desarrollo de ecuación alométrica

Fuente: Elaboración propia.

2.12. Servicios Ecosistémicos

Según la Ley N.º 30215, “Ley de Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos”, un servicio ecosistémico se define de la siguiente manera:

“Aquellos beneficios económicos, sociales y ambientales, directos e indirectos, que las personas obtienen del buen funcionamiento de los ecosistemas, tales como la regulación hídrica en cuencas, el mantenimiento de la biodiversidad, el secuestro de carbono, la belleza paisajística, la formación de suelos y la provisión de recursos genéticos, entre otros, señalados en el reglamento de la presente Ley. Los servicios ecosistémicos constituyen patrimonio de la nación” Ley N.º 30215 Artículo 3; El Peruano, 29 de junio de 2014.

Estos servicios ecosistémicos se dividen en cuatro grupos bien definidos y diferenciados:

- Servicios de provisión o abastecimiento: son los beneficios que se obtienen de forma directa de bienes y servicios ecosistémicos.
- Servicios de regulación: constituyen los beneficios que se obtienen de la regulación de los procesos ecosistémicos.
- Servicios culturales: son beneficios no materiales que son recibidos de los ecosistemas.
- Servicios de soporte: agrupa los servicios necesarios para producir los otros servicios ecosistémicos. (Ministerio del ambiente servicios, 2014)

TIPO DE SERVICIO	DEFINICIÓN	EJEMPLO DE SERVICIOS
Servicio de provisión (suministro)	Son los beneficios que se obtienen de los bienes y servicios que las personas reciben directamente de los ecosistemas	-Alimento -Fibra -Recursos genéticos -Productos bioquímicos -Agua
Servicio de regulación	Son los beneficios que se consiguen de la regulación de los procesos de los ecosistemas	-Regulación de calidad de aire y clima -Regulación hídrica -Control de erosión -Regulación de enfermedades -Polinización -Secuestro de carbono
Servicios culturales	Son los beneficios no materiales que las personas reciben de los ecosistemas	-Valores espirituales y religiosos -Valores estéticos, belleza y paisajística -Recreación y ecoturismo -Sentido de identidad y pertenencia a un lugar
Servicio soporte	Son los servicios necesarios para producir los otros servicios ecosistémicos	-Ciclo de nutrientes -Formación de suelos -Producción primaria -Mantenimiento de la biodiversidad

Figura 12. Clasificación de los servicios de los ecosistemas según la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MEA).

Fuente: Millennium Ecosystem Assessment (2005)

2.13. Valorización Ecosistémica

La valorización ecosistémica se relaciona con la teoría de la economía ambiental, donde se trata de incluir conceptos de la economía clásica, los costos de los daños que se causan al medioambiente, así como darle un valor monetario a los recursos naturales y a las buenas prácticas ambientales.

En la economía moderna se agregó un concepto llamado “externalidad ambiental”. En concordancia con Pérez las externalidades ambientales se refieren a “los daños ambientales causados al planeta por la acción económica y humana” (Pérez, 2017).

La externalidad puede ser positiva o negativa, esta incluye un valor económico total ya sea para la ganancia o la pérdida de un recurso, o la reparación de este. Debido a esta necesidad la economía ambiental agregó estos conceptos en el cálculo de máximo de producción.

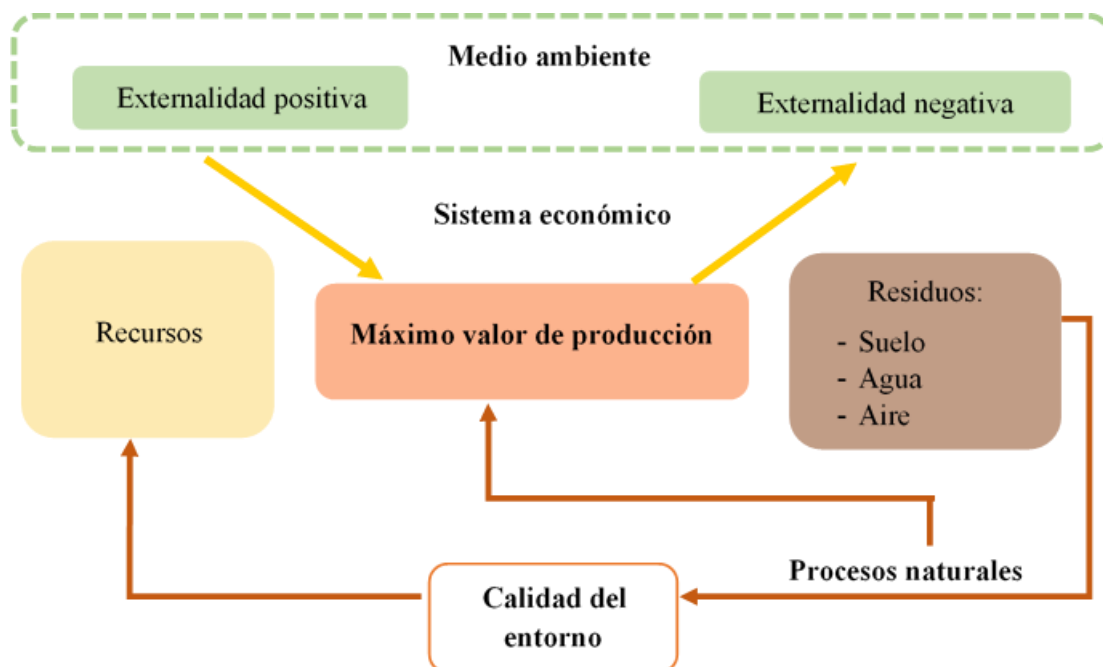


Figura 13. Economía clásica vs. Economía ambiental

Fuente: Elaboración propia.

2.14. Utilidad de la Valoración Económica

De acuerdo con la Guía de Valoración Económica del Patrimonio Natural que se publicó mediante RM-409-2014-MINAN, toda información que se genere de la valoración económica del medioambiente se utiliza para la toma de decisiones en diversas áreas, entre las que se tienen:

- Aumentar la conciencia ambiental: contribuir a la creación de una mayor conciencia ambiental en la sociedad, a través de indicar la importancia de la conservación de estas áreas para la sociedad actual y futura.
- Análisis costo-beneficio: se trata de lograr el máximo beneficio y bienestar social, mediante la selección de la mejor alternativa, de tal forma que se logre un mayor costo-beneficio.

- Planificación y diseño de políticas: al tener un valor económico y un patrimonio natural será mucho más sencillo determinar los beneficios de su conservación y sostenibilidad, así como calcular los costos de su degradación o pérdida. Esa es la base para las políticas ambientales de cualquier país.
- Regulación ambiental: esta valoración económica es la base para diseñar instrumentos de regulación ambiental, lo que genera cambios en las políticas económicas con el fin de alcanzar los niveles de calidad ambiental deseados.
- Mecanismos de financiamiento: al estar el patrimonio natural valorado, esto se puede utilizar para diseñar estrategias de financiamiento e incentivos económicos para la preservación de este. Esto podría ser a través de Mecanismo de Retribución Por Servicios Ecosistémicos (MRSE), Fondos de Recursos, Acuerdo de Conservación, entre otros.
- Contabilidad nacional: mediante la valoración económica se conoce el valor real del patrimonio y este, a su vez, pasa a formar parte de las cuentas nacionales del país y, por ende, forma parte de la estructura de costos ambientales nacionales. (Ministerio del ambiente, 2014)

2.15. Métodos de Valoración Económica de los Servicios Ecosistémicos

A la economía ambiental se le presenta una dificultad importante en el momento que se propone el cálculo de la valoración del medio ambiente, puesto que debe tomar en cuenta varios factores determinantes al momento de seleccionar el método. Penna, y Cristeche indicaron que el valor económico total (VET) depende de una clasificación de los bienes y servicios ecosistémicos:

- Valor de uso directo: se refiere al beneficio que adquiere una persona o comunidad por el consumo o uso de algún bien o servicio ecosistémico.
- Valor de uso indirecto: se asocia con los servicios ambientales que se derivan de la base del ecosistema. Estos son la base para la producción final de un bien o servicio, entre los que se encuentran las plantas de tratamiento de agua, dado que beneficia a todas las comunidades, el secuestro de carbono, debido a que beneficia a toda la comunidad con la mitigación del cambio climático.
- Valor de opción: se refiere al bienestar que experimenta la comunidad por el hecho de preservar la oportunidad de emplear en el futuro los servicios y bienes del

ecosistema, ya sea por las generaciones presentes (valor de opción) o de las generaciones futuras (valor de legado).

- Valor de existencia: es el valor que los individuos atribuyen a los ecosistemas por el simple hecho de que existan. Incluso cuando la población no realiza ningún uso actual o en el futuro, o no reciben ningún beneficio directo o indirecto de ellos. (Cristeche y Penna, 2008)



Figura 14. Descomposición del VET y los Métodos de Valoración Económica asociados

Fuente: Millenium Ecosystem Assessment (2005)

Los métodos de valoración dependen directamente del valor de uso y no uso del servicio o bien ecosistémico. En pro de homogenizar el enfoque VET, el Manual de Valoración Económica del Patrimonio Cultural [MINAM] propone:

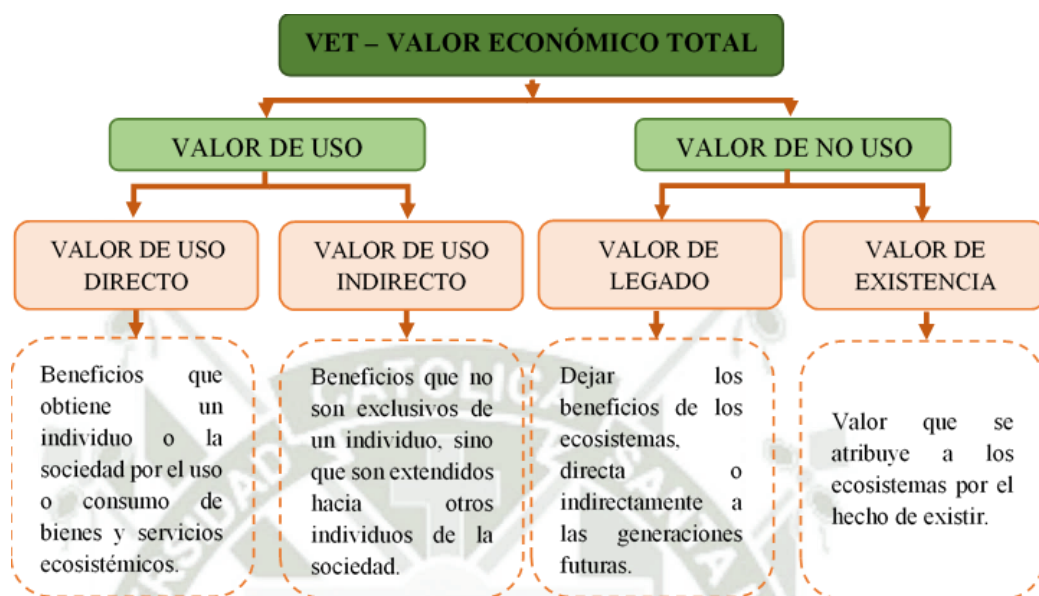


Figura 15. Valor Económico Total

Fuente: Ministerio del ambiente MINAM (2015).

Asimismo, muestra un compilado de los métodos de valoración económica. La elección del método depende de lo siguiente:

- Objetivo de la valoración
- La información disponible
- El bien o servicio ecosistémico
- El tipo de valor económico
- Los recursos financieros
- El tiempo. (Ministerio del ambiente MINAM, 2015)

MÉTODO DE VALORACIÓN	TIPO DE MÉTODO
MÉTODO DE VALORES DE MERCADO Brinda información sobre la importancia de servicios ecosistémicos a partir de la información disponible de mercado.	Se destaca un método: MPM Método de precios de mercado es el más conocido y permite estimar valores de uso directo.
MÉTODO BASADOS EN PREFERENCIAS REVELADAS Permite analizar cómo revelan las personas la importancia (valoración) que le dan a un bien o servicio ecosistémico mediante el estudio de su comportamiento en los mercados reales de bienes con los que están relacionados.	Se destacan cuatro métodos: MCP Método de cambios en la productividad. MCV Método de costo de viaje. MPH Métodos de precios hedónicos. MCE Método de costos evitados.
MÉTODO BASADOS EN PREFERENCIAS DECLARADAS Se justifican cuando no se dispone de información de mercado para valorar económicamente de los bienes y servicios ecosistémicos. En estas circunstancias la información se obtiene directamente de los individuos a través de encuestas, que plantean mercados hipotéticos. A través de estos escenarios se busca identificar las preferencias de los individuos.	Se destacan dos métodos: MVC Método de valoración contingente. MEE Método de experimentos de elección.
TÉCNICA DE TRANSFERENCIA DE BENEFICIOS Consiste en extrapolar valores o funciones estimadas por otros estudios que se realizaron en la base a alguna metodología de valoración económica.	TB Transferencia de beneficios: se utiliza cuando existen restricciones de tiempo y recursos financieros para realizar estudios primarios.

Figura 16. Métodos de Valoración Económica

Fuente: Ministerio del ambiente MINAM (2015).

2.15.1. Método Basado en Valores de Mercado (MPM)

Este método consiste en determinar el beneficio monetario que se vincula a un bien o servicio ecosistémico particular. Este servicio se obtiene con información del mercado (precios y costos). En algunos casos y a existe un precio establecido en el mercado para determinados bienes y servicios ecosistémicos a partir de información que proyectan los consumidores y productores. (Ministerio del ambiente MINAM, 2015)

2.15.1.1. Supuestos:

- El bien o servicio ecosistémico por valorar se transa en un mercado, de modo que la información del beneficio vinculado esté disponible o se pueda inferir.
- Cuando las fallas de mercado o efectos externos sean mínimos, de manera que el beneficio en el mercado para determinado servicio ecosistémico pueda tener una aproximación real a su valor económico. (Ministerio del ambiente MINAM, 2015)

Tabla 6.
Ventajas y desventajas del método MPM

VENTAJAS	LIMITACIONES
La aplicación del método es sencilla.	No todos los servicios ecosistémicos se encuentran transados en los mercados, es decir, sólo se encuentra disponible para un número limitado de bienes y servicios.
Los precios reflejan del valor económico que la sociedad da a los bienes y servicios ecosistémicos.	Cuando existen imperfecciones en el mercado los precios no reflejan el verdadero valor económico de los bienes y servicios, por lo que sería necesario realizar ajustes para eliminar el efecto de las distorsiones que originan las fallas de mercado.
Debido a los mercados establecidos, los precios, costos y cantidades son relativamente fáciles de obtener.	No permite estimar los valores de no uso.

Fuente: Ministerio del ambiente MINAM, (2015)

3. Marco Legal

- Decreto Supremo N.º 070-79-AA del 9 agosto de 1979, “Declara la Reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca”

En su Artículo 3º indica que el Ministerio de Agricultura y Alimentación a través de la Región Agraria VI-Arequipa se encargará de la administración y el desarrollo de la RNSAB. (Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado, 2019)

- Ley N.º 28611 del 15 octubre de 2005, “Ley General del Ambiente”.

En el artículo N.º 89 menciona las medidas para la adecuada gestión de los recursos naturales. Cada autoridad responsable tomará en cuenta, según sea conveniente

convenga, la adopción de medidas previas al otorgamiento de derechos, entre ellas se considera la realización de inventarios y valorización.

En el artículo N.º 97 del lineamiento para políticas sobre diversidad biológica, entre los que se toma en consideración la valorización de los servicios ambientales que presta la diversidad biológica. (Ministerio del ambiente, 2005)

- Ley N.º 26834 del 4 de julio de 1997, “Ley de Áreas Naturales Protegidas”, contempla en dos artículos referencias para su adecuada gestión.

El artículo N.º 18 de la Ley de Áreas Naturales Protegidas establece que las ANP deben contar con documentos para la planificación de carácter general y específico, por tipo de recursos y actividad, aprobados por la autoridad competente (SERNANP) con la participación de los sectores e instituciones competentes y correspondientes, los cuales una vez se aprueban constituyen normas de seguimiento obligatoria para cualquier actividad que sea desarrollada dentro del área.

El artículo 19 menciona los lineamientos de política y planeación estratégica de las ANP en su conjunto, los cuales se definirán en un documento denominado "Plan Director de las Áreas Naturales Protegidas". Este se elabora y es revisado bajo un proceso participativo y debe contener, al menos, el marco conceptual para la constitución y operación a largo plazo de las ANP del SINANPE, Áreas de Conservación Regionales y Áreas de Conservación Privadas; así como analizar los tipos de hábitat del sistema y las medidas para conservar y completar la cobertura ecológica que se requiere. (Ministerio del ambiente, 2017)

- Reglamento de la Ley de Áreas Naturales Protegidas aprobado mediante D.S. N.º 038-2001-AG.
- Ley N.º 26839 del 16 de julio de 1997, “Ley sobre la conservación y aprovechamiento sostenible de la diversidad biológica”.

En el artículo 13º del “Título IV: De los mecanismos de conservación” el Estado promueve establecer e implementar mecanismos para la conservación *in situ* de la diversidad biológica, tales como la declaración de ANP y el manejo sostenible de otros ecosistemas naturales, para garantizar la conservación de especies y genes en su lugar de origen, así como desarrollar y promover su utilización sostenible.

En el artículo 13 del “Título VII: de la investigación científica y tecnológica” se declara entre las prioridades de interés nacional la investigación científica sobre:

- Inventarios, estudios biológicos y de seguimiento ambiental como medio de conocimiento de las especies de flora, fauna, microorganismos y ecosistemas.
 - Manejo y conservación sostenible de los ecosistemas y especies silvestres de relevancia económica, científica, social o cultural.
 - Restauración de las zonas degradadas. (Ministerio del ambiente, 1997)
- Reglamento de la Ley sobre Conservación y Aprovechamiento Sostenible de la Diversidad Biológica aprobado mediante D.S. N.º 068-2001-PCM (Ministerio del ambiente, 2001).
 - Ley N.º 30754 del 18 de abril del 2018, “Ley marco sobre cambio climático”.

En el artículo N.º 3 entre los enfoques para la gestión integral del cambio climático se considera a la mitigación y adaptación basada en la conservación de reservas de carbono. De modo tal que se promueva la participación de los pueblos indígenas u originarios y comunidades locales en la protección, conservación y manejo sostenible de los bosques ya que estos constituyen importantes reservas de carbono, así como recuperar las áreas deforestadas en todo el territorio nacional, con el objetivo de incrementar las áreas destinadas a dichas reservas. (Ministerio de cultura, 2018)

- Reglamento de la Ley N.º 30754, Ley Marco sobre Cambio Climático aprobado mediante D.S. 013-2019-MINAM. (Ministerio de cultura, 2018)
- Ley N.º 30215 del 29 de junio del 2014, “Ley de mecanismos de retribución por servicios ecosistémicos”.

En su artículo N.º 6 menciona la estimación del valor económico del servicio ecosistémico como un elemento importante para el desarrollo y diseño de mecanismos de retribución, los fondos necesarios para mantener el flujo del servicio ecosistémico, la voluntad de pago u otros que contribuyan a los acuerdos.

En su artículo N.º 11 indica la responsabilidad del Estado de promover la inversión pública y privada en materia de conservación, recuperación y uso sostenible de las fuentes de los servicios ecosistémicos. (Ministerio del ambiente, 2014)

Reglamento de la Ley N.º 30215, Ley de Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos aprobado mediante D.S. N.º 009-2016-MINAM (Ministerio del ambiente, 2014).





CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

1. Tipo de Investigación

Se planteó una investigación de tipo aplicada cuantitativa, debido a que se calcularon y determinaron ecuaciones alométricas de acuerdo con las necesidades de los objetivos que se plantearon en la investigación.

1.1. Nivel de Investigación

Dentro de la línea de investigación se clasifica en el nivel descriptivo.

1.2. Diseño de la Investigación

La investigación es descriptiva, se desarrolló con el método de valoración de precios de mercado, a través de la tasación en el mercado de compensación de emisiones de carbono.

1.3. Metodología de Investigación

La investigación se considera como experimental, en la cual se hizo necesario el empleo de materiales para el trabajo en campo y equipos para la determinación de datos en el laboratorio. Mediante el uso de análisis estadísticos se pudieron obtener resultados del *stock* de carbono. Por último, al aplicar el método de valoración de precios de mercado y realizar la estimación del servicio ecosistémico se obtuvo el valor del precio del carbono en el mercado para el año 2021.

2. Campo de Verificación

El estudio de la presente investigación se concibió en el ámbito de la RNSAB, específicamente en la zona núcleo, la cual se ubica en la provincia y departamento de Arequipa. Su extensión es de 56 042.92 hectáreas y adquiere una altitud promedio de 4300 m.s.n.m. (ver Anexo 1).

3. Determinación de la Población y Muestra

3.1. Población

Para el presente trabajo de investigación se consideró la población de tolares dentro de los límites de la zona núcleo de la RNSAB, en específico se tomaron como estudio las especies *Parastrephia lepidophylla*, *Parastrephia lucida* y *Baccharis tricuneata*.

3.2. Muestra

Se determinaron dos tipos de muestra para cada segmento de la investigación:

- La muestra para la primera etapa de evaluación de altura y diámetro se obtuvo de manera aleatoria en 55 puntos distribuidos en la RNSAB.
- La muestra para la segunda etapa, en la cual se elaboran las ecuaciones alométricas, se determinaron mediante 35 ejemplares, que incluían las tres especies en estudio.

3.3. Muestreo

- El muestreo para la primera etapa se realizó de manera aleatoria por medio de cuadrantes en 55 puntos en toda la superficie de la RNSAB.
- El muestreo en la segunda etapa se llevó a cabo en función de la altura de cada especie, con la finalidad de tener una muestra representativa en relación con la altura.

4. Técnicas e Instrumentos para la Recopilación de Información

4.1. Técnicas

- Registro de datos mediante fichas *in situ* (ver Anexo 5).
- Análisis físicos en laboratorio.

4.2. Instrumentos

- Microsoft Excel.
- SPSS Versión 25.

5. Materiales y Equipos

5.1. Equipos

GPS Garmin 64s, balanza digital Patrick's gramera 30 kg, balanza electrónica Fertow Perú de precisión de 5000 g, balanza electrónica Ohaus Scout Pro de precisión 200 g, estufa bacteriológica y de cultivo Incubat Selecta.

5.2. Materiales

Cinta métrica marca Stanley de 10 m, dos plumones indelebles marca Faber Castell, guantes de jardinería, pico, lampa, tijeras de corte de ramillas, arco y sierra, papel kraft, bolsas plásticas, pinzas de metal, estacas y pabito.

6. Metodología

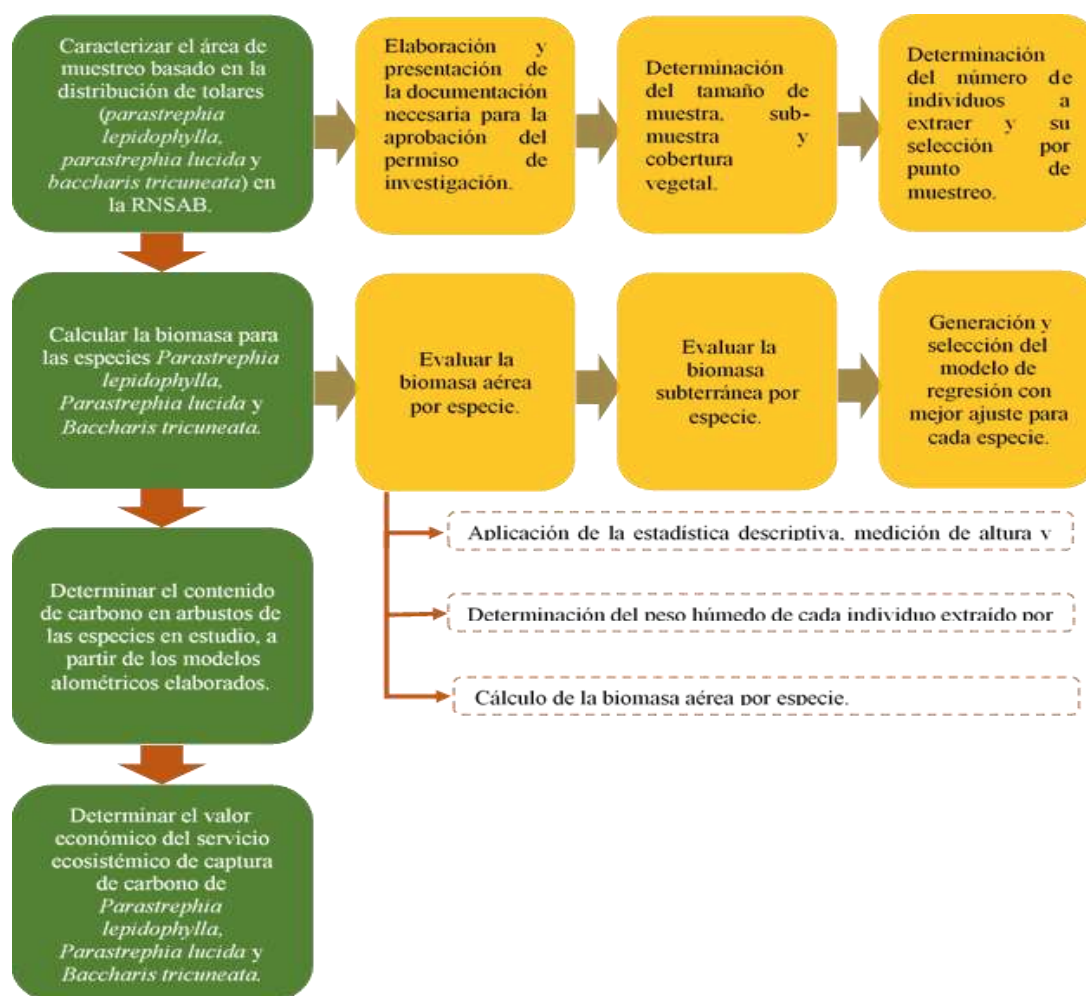


Figura 17. Diseño metodológico

Fuente: Elaboración propia.

6.1. Caracterizar el Área de Muestreo Basado en la Distribución de Tolares (*Parastrephia lepidophylla*, *Parastrephia lucida* y *Baccharis tricuneata*) en la RNSAB

Procedimiento de actividades:

6.1.1. Elaboración y Presentación de la Documentación Necesaria para la Aprobación del Permiso de Investigación.

Para la delimitación del área de muestreo de tolares en la RNSAB se gestionó el permiso para el presente proyecto de investigación, el cual otorgó el SERNANP a través del jefe de la RNSAB, el Ing. Jhon Everaldo Machaca Centty.

6.1.2. Determinación del Tamaño de Muestra, Submuestra y Cobertura vegetal

- **Tamaño de la muestra y cobertura vegetal en el área de estudio:**

Para la determinación del área de muestreo o puntos de muestreo se siguió la “Guía de Inventario de la Flora y la Vegetación 2016”, la cual propone la cantidad de puntos necesarios y el tamaño de las parcelas que se debería muestrear de acuerdo con el tipo de vegetación y el tamaño de la superficie en estudio. En este sentido, para la presente investigación la guía sugiere una cantidad de 55 puntos por muestrear.

Una se definió la cantidad de puntos por muestrear y el tamaño de las parcelas, estos se distribuyeron de manera aleatoria dentro del área de estudio. Posterior a ello, cada punto establecido se referenció con coordenadas UTM mediante el uso del software ArcGIS 10.5, asimismo, estos puntos se graficaron e identificaron en un mapa.

A partir de los datos que se obtuvieron en el gabinete, se dispuso el trabajo en campo a través del método de cuadrantes, específicamente con el uso de la técnica de punto central del cuadrante según Penfound (1963) y Parker (1954), en la que se realizó la delimitación de las parcelas de 100 m², para luego formar una equis uniendo las esquinas como se muestra en la Figura 17. Lo anterior con el propósito de evaluar, en primer lugar, las variables de altura y diámetro en los individuos que se encontraron bajo la equis (X), considerando para ello un margen de 0.5 m a cada lado de la línea. (Ministerio del ambiente MINAM, 2016)

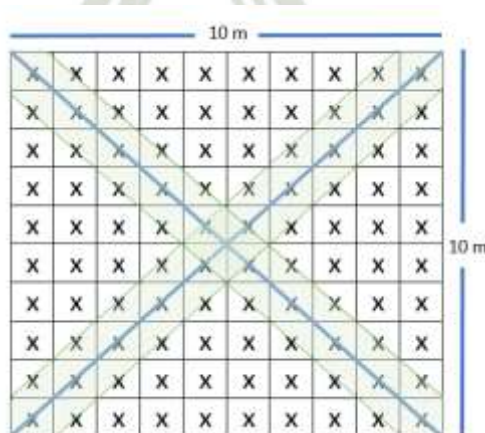


Figura 18. Elaboración de cuadrante para la evaluación de datos

Fuente: Elaboración propia.

En segundo lugar, posterior a la medición de las variables (altura y diámetro) de las especies, se procedió a evaluar la predominancia de estas en cada punto determinado (55 puntos) por medio de la contabilización de todos los individuos en estudio presentes en el cuadrante (100 m²). Para tal fin se generó como herramienta de recolección de datos un cuadro en el que se define la coordenada del punto de muestreo, la cantidad de especies encontradas (por cada especie en estudio), el tipo de especie y la correspondiente medición de altura y diámetro, tal como se evidencia en el Anexo 5.

En cuanto a la evaluación de los especímenes propiamente, resulta importante recalcar que la altura se consideró desde la base del arbusto al nivel del suelo hasta la punta más alta, y la medición del diámetro se realizó de un extremo a otro de la copa del arbusto.

- **Determinación de la submuestra:**

A partir del tamaño de la muestra y siguiendo con el procedimiento que se estableció en el ítem anterior, se determinó la submuestra, es decir, los puntos que se requieren para poder aplicar el método destructivo en las especies de estudio, ello con la finalidad de evaluar datos indispensables en el laboratorio y después generar las ecuaciones alométricas.

Para lograrlo se optó por utilizar la ecuación (1), la cual se indicó para la determinación de muestra de tipo aleatoria-simple según Choque a partir de ese resultado se determinaron los puntos necesarios para proceder con el método destructivo, sustituyendo el tamaño de la población (N) por el número de parcelas por muestrear. (Choque, 2001)

$$n = \frac{NK^2pq}{e^2(N-1)pq} \quad (1)$$

Donde:

n = número de unidades de muestreo

N = tamaño de la población

e = error de estimación deseado o permitido (0.1 para 10 % de error)

K = valor de la significancia

p = probabilidad de ser seleccionado

q = probabilidad de no ser seleccionado

6.1.3. Determinación del Número de Individuos por Extraer y su Selección por Punto de Muestreo:

Una vez se determinó la submuestra, es decir, los puntos para la aplicación del método destructivo, se procedió a determinar el número de especímenes por extraer por especie. Para calcular dicho dato, fue indispensable utilizar el promedio de las variables se evaluaron en campo. Seguido a esto, mediante el trabajo en gabinete y la ecuación (2) se pudo obtener el número de especímenes por extraer por cada especie en estudio. (Sarcca, 2017)

$$n = \left(\frac{t*s}{\epsilon*\bar{x}} \right)^2 \quad (2)$$

Donde:

n = número de especímenes a extraer

e = error de estimación deseado o permitido (0.1 para 10 % de error)

t = valor de *t*-Student

s = desviación estándar de la muestra

$\bar{x}$ = promedio de la variable

Con base en la cantidad de puntos para aplicar el método destructivo (submuestra) y el número de individuos por extraer por cada especie en estudio (dato obtenido de la ecuación 2), se realizó la selección de especies para extraer, sin discriminar altura, esto con la finalidad de obtener diferentes tamaños que permitan tener una muestra representativa. Así las cosas, es importante resaltar que la cobertura vegetal no fue homogénea en las ocho parcelas, por consiguiente, se determinó la extracción de los individuos en las parcelas con

mayor cobertura por especie, es decir, se realizó el muestreo destructivo para cada especie en las parcelas con mayor cobertura para cada una.

6.2. Calcular la Biomasa para las Especies *Parastrephia lepidophylla*, *Parastrephia lucida* y *Baccharis tricuneata*

6.2.1. Evaluar la Biomasa Aérea de *Parastrephia lepidophylla*, *Parastrephia lucida* y *Baccharis tricuneata*.

Para el presente apartado se estableció la siguiente secuencia de pasos con el fin de lograr el objetivo:

- **Aplicación de la estadística descriptiva, medición de altura y diámetro de copa en las especies:**

Para poder estimar la biomasa aérea se consideraron los individuos de las parcelas seleccionadas en la submuestra, que habían sido previamente identificados y se procedió a efectuar las mediciones correspondientes para luego extraerse a nivel del suelo. Debido a esto, se generó una base de datos por medio de la aplicación de la estadística descriptiva, la cual permitió obtener el valor promedio de las dimensiones (altura y diámetro), la desviación estándar y el dato máximo y mínimo de cada variable.

- **Determinación del peso húmedo de cada individuo extraído por especie:**

Una vez calculados los datos estadísticos de altura y diámetro de copa por cada especie, se procedió a determinar el peso húmedo de cada individuo extraído. Fue necesario, en primer lugar, obtener el peso total y el peso seco de la siguiente manera:

Para determinar el peso total de cada especie se procedió a pesar in situ cada muestra extraída, por medio del uso de la balanza digital Patrick's Gramera de 30 kg. Previamente, se pesó la bolsa plástica, la cual iba a contener la muestra y el dato obtenido y después, se consideró esta para disminuir al peso total; a continuación, la muestra vegetal se introdujo en la bolsa de plástico y se determinó el peso neto.

Una vez culminado el trabajo en campo, las muestras extraídas fueron transportadas, de forma delicada, hasta una mesa de trabajo, en la cual se

procedió a dividir las en pequeños trozos hasta lograr una muestra homogénea, tanto hojas, ramas y tallo principal se consideraron para la representatividad.

Posteriormente, para la determinación del peso seco se tomaron porciones de 200 g en peso húmedo y se colocaron en bolsas de papel kraft, no sin antes considerar el peso del papel para poder obtener el peso real de las muestras. Luego, estas se llevaron a la estufa eléctrica; cabe recalcar que, para los individuos cuyo peso era menor a 200 g, estos se colocaron en su totalidad con la finalidad de extraer el agua libre que contenían o el agua de capilaridad. (Hualpa-Lima, 2018)

Las submuestras fueron llevadas a la estufa a una temperatura de 80 °C hasta lograr que el peso se mantuviera invariable. Una vez obtenido el peso seco de cada submuestra, se procedió, por regla de tres simple, a calcular el peso seco con base en el peso total (peso húmedo) de la muestra. En seguida se calculó el porcentaje de materia seca; para esto se hizo uso de la ecuación (3), expuesta a continuación:

$$MS (\%) = \left(\frac{PS * 100}{PT} \right) \quad (3)$$

Donde:

MS = porcentaje de materia seca

PT = peso total (peso húmedo)

PS = peso seco

- **Cálculo de la biomasa seca aérea por especie:**

Para poder calcular la biomasa seca por cada especie se empleó el peso total (peso húmedo de la especie), luego se multiplicó por el porcentaje de materia seca (MS) tal como se muestra en la ecuación (4):

$$BS = PT * MS(\%) / 100 \quad (4)$$

Donde:

BS = biomasa seca

PT = peso total

MS = porcentaje de materia seca

Los resultados obtenidos fueron detallados en tablas por cada especie.

6.2.2. Cálculo de la biomasa subterránea por especie.

En este estudio se optó por la aplicación del cálculo referenciado por Hidalgo (2011), el cual indicó que la biomasa subterránea de las especies equivale al 56.62 % de la biomasa total de la especie, mientras que la biomasa aérea al 43.38 % de total, es decir:

$$\text{Biomasa total} = \text{Biomasa aérea} + \text{Biomasa subterránea} \quad (5)$$

$$\text{Biomasa total} = 43.38 \% + 56.62 \%$$

6.2.3. Generación y selección del modelo de regresión con mejor ajuste para cada especie

Las ecuaciones alométricas estiman el peso seco de una planta (biomasa) partiendo de características dasométricas fáciles de medir en campo (García y otros, 2015).

Para la exploración gráfica de los datos se procedió, en primer lugar, a generar una hoja de Excel en donde se ordenaron los datos de los individuos extraídos por especie. Se preparó una matriz con las siguientes variables independientes: Diámetro (cm) y Altura (cm), así como su biomasa (kg) seca total. (García y otros, 2015)

Una vez ordenados los datos se procedió a generar gráficas considerando en el eje “X” el Diámetro y en el eje “Y” la Biomasa Seca Total de cada individuo. Posteriormente se procedió a realizar gráficas considerando en el eje “X” la altura y en el eje “Y” la Biomasa Seca Total de cada individuo.

Para obtener las ecuaciones alométricas se realizaron análisis de regresión lineal, polinómica, potencial y exponencial con la finalidad de poder seleccionar, con posterioridad, el modelo que más se ajuste, es decir, a través del coeficiente de

determinación (R^2) más alto que describe la mejor relación entre las variables dependiente (biomasa) e independiente (altura y diámetro) se puede explicar de manera porcentual, la influencia de una variable sobre la otra.

6.3. Determinar el contenido de carbono en arbustos de las especies *Parastrephia lepidophylla*, *Parastrephia lucida* y *Baccharis tricuneata*, a partir de los modelos alométricos elaborados

Para poder determinar el contenido de carbono para cada una de las especies en estudio, se procedió a utilizar los datos obtenidos en las 55 parcelas evaluadas como muestra en el inciso B de la metodología, dentro de la caracterización del área de muestreo. Los datos promedio de las variables de diámetro y altura fueron fundamentales para, con posterioridad, realizar la sustitución en las ecuaciones alométricas que se generaron para cada especie y así, poder calcular el contenido de carbono para cada una de ellas.

6.4. Determinar el valor económico del servicio ecosistémico de captura de carbono de *Parastrephia lepidophylla*, *Parastrephia lucida* y *Baccharis tricuneata*

6.4.1. Calcular la densidad de carbono por especie.

Para el cálculo del volumen y/o densidad de carbono presente en el individuo se tomó en cuenta la biomasa calculada a partir de los modelos alométricos y la extensión de tolaraes, en relación con la cobertura vegetal obtenida. Para la aplicación de la fórmula se realizó el cambio de unidades (kilogramos a toneladas) y se procedió a calcular la densidad de carbono para cada una de las especies en estudio, ver Ecuación (6).

$$\text{Densidad del carbono (Tn C /ha)}_{(1,2,3)} = \text{CCI (Tn)}_{(1,2,3)} * \text{Extensión del área de tolaraes (ha)}_{(1,2,3)} \quad (6)$$

$$\text{Extensión del área de tolaraes (ha)}_{(1,2,3)}$$

Donde:

CCI (Tn) = cantidad de carbono carputado por el individuo

6.4.2. Determinar el stock de carbono por especie.

Para poder alcanzar los valores en términos de toneladas de carbono almacenadas o en toneladas de CO_2 , fue necesario realizar transformaciones en los datos obtenidos (Selva *et al.*, 2009). En relación con esto, el cálculo del *stock*

de carbono por especie se realizó teniendo en cuenta la densidad de carbono y el factor de conversión 3.67, que resultó de la relación entre el peso molecular del CO₂ (44 g/mol) y el peso atómico del carbono (12 g/mol); finalmente, se aplicó como se muestra, en la siguiente ecuación (7).

$$\text{Stock de carbono (Tn CO}_2\text{ eq)}_{(1,2,3)} = \text{Densidad del carbono (Tn C /ha)} * 3.67 \quad (7)$$

Donde:

Tn CO₂ eq = toneladas equivalentes de dióxido de carbono

6.4.3. Hallar la valoración económica del servicio ecosistémico por especie.

Según el Manual de Valoración Económica del Patrimonio Natural, se determinó el método de precios de mercado (MPM), el cual permitió estimar el beneficio monetario relacionado con un bien o servicio, a partir de la información de mercado como precios y costos. La valoración económica del servicio ecosistémico de las especies de tolare se determinó mediante la ecuación (8). (Ministerio del ambiente MINAM, 2016)

$$VE = \text{Stock de carbono (Tn CO}_2\text{ eq)} * P \quad (8)$$

Donde:

Tn CO₂ eq = toneladas equivalentes de dióxido de carbono

P = precio de toneladas de carbono equivalente

VE = valor económico



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Caracterización el área de muestreo basado en la distribución de Tola en la RNSAB

1.1. Elaboración y presentación de la documentación necesaria para la aprobación del permiso de investigación

El permiso solicitado fue atendido por la institución competente, dando lugar al Oficio N.º 003-2019-SERNANP-RNSAB, en el cual se hizo entrega de la Resolución Jefatural N.º 005-2018-SERNANP-DGANP-JEF, que permitió la ejecución de la presente investigación (ver Anexo 4).

1.2. Determinación del tamaño de muestra, submuestra y cobertura vegetal

1.2.1. Tamaño de la muestra y cobertura vegetal en el área de estudio

Mediante la aplicación de la “Guía de inventario de la Flora y la Vegetación” (2015), se pudo determinar que serían 55 el número de parcelas a muestrear con un tamaño de 100 m² (10 m de lado); tal como se evidencia en la Tabla 7, para las áreas mayores a 50 000 ha., se debió considerar 55 unidades de muestreo. En este sentido, para la aplicación en el presente estudio, se supo con base en la última actualización del Plan Maestro de la RNSAB 2016-2020, que la zona evaluada alcanzaba una extensión de 56 046.92 ha de tolare; por esta razón, para el tamaño de la muestra se consideraron 55 unidades de muestreo, es decir, parcelas de 100 m² cada una.

Tabla 7.

Cálculo del tamaño de la muestra basado en la superficie a inventariar

A (Constante)	B (Constante)	S (ha)	N.º de unidades muestrales
5	0.001	<1000	6
5	0.001	5000	10
5	0.001	10 000	15
5	0.001	20 000	25
5	0.001	30 000	35
5	0.001	> 50 000	55

Fuente: Ministerio del ambiente MINAM, (2016).

Después, mediante el uso del *software* ArcGIS 10.5, las 55 unidades de muestreo (parcelas) determinadas, se distribuyeron de forma aleatoria dentro de la zona núcleo de la RNSAB (sin considerar la zona de amortiguamiento). La aplicación de la herramienta antes mencionada permitió generar un mapa en el que es

posible evidenciar los 55 puntos a muestrear y también la georreferenciación de cada punto en el sistema de coordenadas geográficas UTM (ver Anexo 2).

1.2.2. Aplicación de información en campo

Con base en los puntos referenciados mediante el uso de GPS, se procedió a ubicar el punto en campo y a delimitar la parcela, según la metodología mencionada, es decir, se consideraron áreas de 100 m². Cabe señalar que, por la variación de la geomorfología de la zona, se limitó el acceso a determinados lugares, lo que brindó la alternativa de seleccionar un punto próximo y más accesible; para esto se generaron nuevas coordenadas, que después se modificaron en la lista y en el mapa de las 55 unidades muestrales (parcelas).

Con posterioridad, en función con lo planteado en la metodología y por medio de la utilización del formato de recolección de datos (ver Anexo 5), se efectuó, en un inicio, las mediciones de las variables de altura y diámetro, como se puede evidenciar en la Figura 19 y en la Figura 20 (A y B).



Figura 19. Medición de diámetro en las plantas de tola de la RNSAB

Fuente: Elaboración propia.



Figura 20. Medición de altura. A. Medición verificando desde la altura del suelo. B. Medición hasta la copa más alta de la especie

Fuente: Elaboración propia.

Con base en los resultados evaluados acerca de la altura y el diámetro de las especies, se obtuvo lo siguiente: para *Parastrephia lepidophylla* el diámetro promedio de 1285 especímenes fue de 47.91 cm y la altura promedio fue de 38.63 cm; para la especie *Parastrephia lucida*, el diámetro promedio de los 523 especímenes encontrados fue de 33.84 cm y la altura promedio fue de 25.88 cm. Mientras que en *Baccharis tricuneata*, el diámetro promedio de los 400 individuos hallados fue de 53.84 cm y la altura promedio fue de 41.62 cm, tal como se puede evidenciar en Tabla 8.

Tabla 8.

Especies encontradas por altura y diámetro

Especie	Cantidad (unidad)	Promedio de diámetro (cm)	Promedio de altura (cm)
<i>Parastrephia lepidophylla</i>	1285	47.91	38.63
<i>Parastrephia lucida</i>	523	33.84	25.88
<i>Baccharis tricuneata</i>	400	53.84	41.62

Fuente: Elaboración propia.

Los datos obtenidos fueron similares a los mencionados por Flores (1991) en su estudio, en el que señaló que la especie *Parastrephia lepidophylla*, son arbustos que alcanzan una altura promedio de 0.60 a 0.70, de baja aceptabilidad y propios de ambientes secos. Por su parte, Cabrera (1978) indicó que la *Parastrephia lepidophylla* es un arbusto erecto, ramoso, resinoso de 1.0 m a 1.5 m de altura; de igual manera, Paca y otros (2003) señalaron que la especie presenta una altura de 0.5 m a 2.0 m de altura. Por otro lado, Martínez (2002), en su investigación reportó que la especie *Baccharis tricuneata* tiene un promedio de altura de planta 0.74 m. y un área basal promedio de 0.73 m.

Cabe resaltar que las mediciones (altura y diámetro) se llevaron a cabo la última semana del mes de octubre siendo este mes correspondiente al periodo de estiaje o seco; Montero (2006) muestra en su investigación que a partir del mes de setiembre se presenta un incremento en el tamaño de las especies, asociado al aumento de la temperatura y posteriormente a precipitaciones, ese sentido la etapa de caracterización de medición y extracción de muestras se realizó con individuos en pleno desarrollo.

Finalmente, Paca et al. (2003) indican que la *Parastrephia lepidophylla* tiene una tasa de crecimiento de 7 a 10 cm/año por ser un arbusto leñoso. Bajo esta información podemos concluir que los individuos evaluados se encontraban en un periodo de crecimiento (en edad joven).

Una vez culminada la estimación de la altura y el diámetro de las especies, se procedió a evaluar la cobertura vegetal, tal como se indicó la metodología, mediante la cuantificación de individuos de las especies presentes en toda el área delimitada. Es importante remarcar que dicha contabilización, se realizó en los 55 puntos obtenidos en el tamaño de la muestra. La cantidad de individuos encontrados por especie se expresó en número y porcentaje en la siguiente Tabla 9.

Tabla 9.
Individuos encontrados en los puntos de muestreo

Especies	Presencia por parcela de muestreo	Especímenes encontrados	Porcentaje de cobertura vegetal (%)
<i>Parastrephia lepidophylla</i>	36/55	1285	58.20 %
<i>Parastrephia lucida</i>	26/55	523	23.69 %
<i>Baccharis tricuneata</i>	30/55	400	18.12 %
Total		2208	100.00 %

Fuente: Elaboración propia.

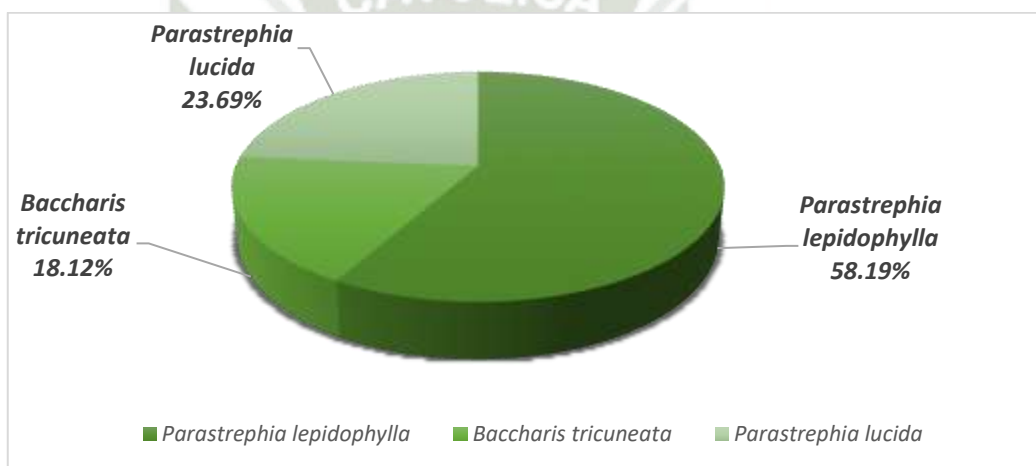


Figura 21. Cobertura vegetal en las 55 parcelas de muestreo

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 9 y Figura 20 mostraron que en las 55 parcelas muestreadas se encontraron un total de 2208 individuos distribuidos de la siguiente manera: *Parastrephia lepidophylla* se encontró en 36 de los 55 puntos muestreados y se encontraron 1285 individuos, que representaron un 58.20 % de cobertura vegetal de la especie. Para el caso de *Parastrephia lucida* se encontraron en 26 de los 55 puntos, un total de 523 especímenes, que representaron el 23.69 % de cobertura vegetal y, en el caso de *Baccharis tricuneata*, esta se encontró en 30 de los 55 puntos muestreados, es decir, un total de 400 especímenes que representan el 18.12 % de su cobertura vegetal (ver Anexo 6).

Estos resultados de cobertura de plantas por hectárea pudieron ser comparados con los obtenidos en el estudio realizado por Hualpa- Lima (2018), en el que las

especies *Parastrephia lepidophylla* y *Baccharis tricuneata* fueron evaluadas y se indicó que la primera tenía una cobertura promedio de 1800 t/ha y, la segunda, tenía una mayor densidad promedio de 2125 plantas por hectárea.

Por otro lado, los resultados de la presencia de *Parastrephia lepidophylla*, *Parastrephia lucida* y *Baccharis tricuneata* en la zona núcleo de la RNSAB, zona altoandina, coincidió con Alzerreca et al. (2002), quienes reportaron la presencia de biodiversidad de arbustos de los géneros *Parastrephia* y *Baccharis* en zonas andinas de elevada altitud; además, Ormachea et al. (1988) reportaron la presencia de arbustos del género *Parastrephia* entre los 3800 y 4200 m s.n.m. desde Patagonia hasta Perú. Asimismo, Echiburu-Chau et al. (2017) reportaron la presencia arbustos de este género, en la precordillera y el altiplano del norte de Chile y Argentina; mientras que Morales et al. (2008) indicaron la presencia de especies de *Baccharis* a 3200 y 3800 m s.n.m. en la Puna de Atacama, Chile, dado que esta zona presenta condiciones climáticas (temperatura, presión, entre otros) similares a la zona núcleo de la RNSAB.

Del mismo modo, Clotilde (2021) habló de la presencia de biodiversidad de arbustos de los géneros *Parastrephia* y *Baccharis* en la zona altiplánica central de Bolivia. Finalmente, los resultados obtenidos en la presente investigación estuvieron de acuerdo con Terry (2021), quien indicó la presencia de vegetación arbustiva del generó *Parastrephia* y *Baccharis*, en regiones andinas del Perú, como Puno, Tacna y Arequipa.

Como se describió en los estudios anteriormente mencionados, el tolar (estepa arbustiva) de los géneros *Parastrephia* y *Baccharis* está presente en zonas altoandinas, como en el país y, en adición, los resultados obtenidos en la investigación corroboraron la presencia de estos géneros en el departamento de Arequipa.

A pesar de lo anterior, son escasos los estudios que reportaron la densidad y la estructura poblacional de estos géneros de plantas en esta región o en otras regiones peruanas, puesto que la mayoría de los estudios llevados a cabo, solo han realizado un inventario de las especies de tola en zonas altoandinas. (Clotilde, 2021; Echiburu-Chau et al., 2017; Morales et al., 2008; Ormachea et al., 1988; Terry, 2021)

Por tal motivo, se observó que era indispensable crear una base de datos que permitiera reunir toda la información como la densidad y la cobertura de *Parastrephia lepidophylla*, *Parastrephia lucida* y *Baccharis tricuneata* en la zona núcleo de la RNSAB, para luego realizar una sistematización y poder cuantificar la diversidad nativa; esto permitiría plantear medidas para el manejo sostenible de la población de este recurso natural, que tiene gran valor en la región de Arequipa y además, se lograría un equilibrio de estas especies con su entorno, lo que podría satisfacer las necesidades actuales de la población, aledaña sin comprometer su diversidad en años futuros.

Por otro lado, también se observó que era indispensable estudiar los sistemas reproductivos, la variación morfológica y la diversidad genética de estas plantas nativas, para lograr formar un banco de germoplasma para su conservación.

1.2.3. Determinación de la submuestra

De los 55 puntos muestreados originalmente, se realizó el cálculo de la submuestra, puesto que este dato sería utilizado para realizar el muestreo destructivo con la finalidad de poder calcular la biomasa de la especie. Para este cálculo se procedió a utilizar el número de puntos muestreados (parcelas) y fue reemplazado en la ecuación (1) por el dato N = tamaño de población, con el que se obtuvo como resultado, ocho unidades de muestreo (n), como se evidencia a continuación:

$$n = \frac{55 * 2.32^2 * 0.5 * 0.5}{0.01^2(55 - 1)0.5 * 0.5} = 8$$

El resultado se expresó en ocho puntos de muestreo o parcelas (Anexo 7), en los cuales se realizó el método destructivo; estos se seleccionaron de los 55 puntos evaluados, previamente, de forma aleatoria. Las parcelas de muestreo se encuentran en el mapa “Ubicación de puntos de submuestra” (ver Anexo 3).

1.3. Determinación del número de individuos a extraer y su selección por punto de muestreo

Para poder determinar el número de individuos a extraer, en los puntos resultantes de la submuestra, es decir, dentro de los ocho puntos determinados anteriormente, se aplicó la ecuación (2) y se reemplazó el promedio de la altura de cada especie, lo que

dio como resultado el número de especies a extraer por cada especie evaluada, tal como se puede evidenciar en el Anexo 8. Por otro lado, en la Tabla 10 se representó el número de individuos encontrados por cada punto (N) y la cantidad de muestras a extraer (n) por especie, en las ocho unidades de muestreo.

Tabla 10.

Cantidad de individuos por especie de tola en unidades de muestro

Punto de muestreo	Especie						Total	
	<i>P. lepidophylla</i>		<i>P. lucida</i>		<i>B. tricuneata</i>		N	n
	N	n	N	n	N	n		
1	14	5	0	0	0	0	14	5
2	17	5	25	8	22	3	64	16
3	0	0	24	7	0	0	24	7
4	0	0	17	6	0	0	17	6
5	24	9	0	0	24	4	48	13
6	24	9	0	0	0	0	24	9
7	21	7	0	0	24	4	45	11
8	0	0	0	0	26	5	26	5
Total	100	35	66	21	96	16	262	72

Fuente: Elaboración propia.

De lo expuesto anteriormente, se halló un total de 100 individuos de *Parastrephia lepidophylla*, de los cuales solo se consideraron 35 individuos para el muestreo destructivo, tal como se evidenció en los resultados en la Tabla 3; asimismo, de *Parastrephia lucida* se encontraron un total de 66 individuos en los ocho puntos, de los cuales se seleccionaron 21, para realizar el muestreo destructivo; finalmente, de *Baccharis tricuneata* se encontraron 96 individuos, de los cuales solo se tomaron 16 para el muestreo destructivo.

Los resultados obtenidos estuvieron acordes con los reportados por Choque y Quispe (2013), quienes determinaron que el porcentaje de cobertura total en la zona muestreada de *Parastrephia lepidophylla* fue del 2 % con 4666 plantas/ha; de *Parastrephia lucida* fue del 5 %, con 3600 plantas, mientras que, para *Baccharis tricuneata* solo se identificaron 133 arbustos. Por otro lado, en el estudio de Paca et al. (2003) se observó que, de las tolas, la más abundante era la *Parastrephia lepidophylla* con una abundancia promedio de 8.4 % y se encontró en seis de las 14 áreas o unidades muestreadas; *Baccharis tricuneata* tuvo una abundancia de 1.4 % y

se encontró en dos de las 14 unidades; entre las menos abundantes estaba la *Parastrephia lucida* con una abundancia de 0.4 % y se encontró en una de las 14 unidades.

2. Cálculo la biomasa para las especies *Parastrephia lepidophylla*, *Parastrephia lucida* y *Baccharis tricuneata*

2.1. Evaluación de la biomasa aérea de *Parastrephia lepidophylla*, *Parastrephia lucida* y *Baccharis tricuneata*

2.1.1. Aplicación de la estadística descriptiva, medición de altura y diámetro de copa en las especies

Para la evaluación de las variables de altura y diámetro se aplicó la estadística descriptiva, con la cual se pudo detallar la información correspondiente a cada especie; los datos utilizados fueron los obtenidos en la muestra anterior. Para más detalle, los resultados de altura y diámetro de cada espécimen se detallaron en el Anexo 9; asimismo, en la Tabla 11 se representó el resumen de los datos estadísticos para las especies en estudio.

Tabla 11.

Estadísticos de *Parastrephia lepidophylla*, *Parastrephia lucida* y *Baccharis tricuneata*

Estadístico	Especie					
	<i>P. lepidophylla</i>		<i>P. lucida</i>		<i>B. tricuneata</i>	
	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Diámetro (cm)
Promedio	36.40	60.88	31.00	40.00	37.81	52.94
Desviación estándar	17.01	29.25	11.61	17.62	12.18	26.16
N	35	35	21	21	16	16
Mínimo	10	12	10	10	20	15
Máximo	80	165	70	90	60	100

Fuente: Elaboración propia.

Según lo expuesto en la Tabla 11, la altura promedio de los arbustos de la especie *Parastrephia lepidophylla*, fue de 36.40 cm, con una desviación estándar de 17.01 cm; además, se determinó que el arbusto más pequeño adquiriría una altura

de 10 cm y el más alto una altura de 80 cm. En cuanto al diámetro, el promedio fue de 60.88 cm con una desviación estándar de 29.25 cm, el diámetro más angosto fue de 12 cm y el más ancho fue de 165 cm. Dichos resultados pudieron compararse con los de Hualpa (2018), quien señaló, en su estudio, que el tamaño promedio para la especie de tola *Parastrephia lepidophylla* se encuentra entre los 41 cm y 80 cm.

Asimismo, en la Tabla 11 se presentaron los datos estadísticos como parte de los resultados de la especie *Parastrephia lucida*, con los que se observó que la altura de esta especie fue de 31.00 cm, con una desviación estándar de 11.61 cm; el individuo más pequeño de altura tuvo una medida 10 cm y el más alto fue de 70 cm. En cuanto al diámetro, el promedio fue de 40.00 cm, con una desviación estándar de 17.62 cm y el diámetro más angosto fue de 10 cm y el más ancho fue de 90 cm.

Finalmente, la Tabla 12 recopiló los datos correspondientes a la especie *Baccharis tricuneata* y se observó que la altura promedio fue de 37.81 cm, siendo esta la que adquiere mayor altitud. Asimismo, se obtuvo una desviación estándar, que fue de 12.18 cm; de igual modo se observó que el individuo con menor altitud fue de 20 cm y el más alto fue de 60 cm. En cuanto al diámetro, el promedio fue de 52.94 cm, con una desviación estándar de 26.16 cm; el diámetro más angosto fue de 15 cm y el más ancho fue de 100 cm. Dichos resultados se pudieron comparar con lo planteado por Linares (2000), quien reportó datos de alturas de hasta 80 cm y un diámetro de 70 cm para *Baccharis tricuneata*, especie estudiada en la zona andina Yura-Chivay, departamento de Arequipa.

De acuerdo a los datos estadísticos la desviación nos indica que hay una heterogeneidad mayor entre los datos de diámetro en comparación con los datos de altura para cada una de las especies en estudio.

2.1.2. Determinación del peso húmedo de cada individuo extraído por especie

Para obtener el peso húmedo de cada especie extraída, fue necesario determinar, en primer lugar, el peso total del individuo *in situ*; para esto, se empleó la metodología establecida y así, se determinó el peso total de cada individuo. Dichos resultados se expusieron en el Anexo 10 y quedaron expresados en tablas

por cada especie. Para la determinación del peso seco, tanto hojas como ramas y tallo se dividieron en pequeñas fracciones, hasta tener una muestra homogénea.



Figura 22. Homogenización de muestra. A. Corte de la muestra para homogenizar. B. Elección aleatoria de 200 g de muestra.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede evidenciar en la Figura 21. A y B, la muestra homogénea se dividió en porciones de 200 g en peso húmedo. Posteriormente, las submuestras de 200 g se envolvieron en papel *kraft* y se introdujeron a la estufa u horno de secado, para poder determinar el peso seco, tal como se muestra en la Figura 23.



Figura 23. Disposición de muestras en la estufa

Fuente: Elaboración propia.

Para determinar el peso seco, las muestras permanecieron en la estufa a 80 °C hasta que el peso se mantuviera constante, para esto transcurrió un tiempo estimado de 96 horas, aproximadamente. Las submuestras de 200 g fueron separadas por especie y pesadas, continuamente, hasta que el proceso terminó;

con los datos previos se procedió a calcular el porcentaje de materia seca, por medio del uso de la ecuación (3), lo que dejó como resultado, las siguientes tablas.

Tabla 12.

Cálculo del porcentaje de Materia Seca (MS) para *Parastrephia lepidophylla*

N.º	Peso húmedo (g)	Peso seco (g)	MS (%)
1	1456	900.11	61.82
2	805	570.58	70.88
3	2897	2296.16	79.26
4	865	569.59	65.85
5	3274	2479.07	75.72
6	953	678.41	71.19
7	1547	1144.78	74.00
8	4475	3433.00	76.72
9	912	559.88	61.39
10	1625	1166.26	71.77
11	37	26.99	72.94
12	550	406.18	73.85
13	572	430.72	75.30
14	989	688.15	69.58
15	1005	712.14	70.86
16	80	59.86	74.83
17	565	419.31	74.22
18	631	390.09	61.82
19	1108	785.35	70.88
20	154	122.06	79.26
21	598	393.77	65.85
22	42	31.80	75.72
23	358	254.85	71.19
24	548	405.52	74.00
25	1120	859.21	76.72
26	690	423.59	61.39
27	678	486.60	71.77
28	1114	812.55	72.94
29	955	705.27	73.85
30	2789	2100.12	75.30
31	1878	1306.71	69.58
32	1104	782.29	70.86
33	1455	1088.78	74.83
34	2000	1484.30	74.22
35	3542	2189.69	61.82

Fuente: Elaboración propia.

El porcentaje de masa seca en la especie varía entre 61.39 % y 79.26 %; esto representó el porcentaje de materia seca para la especie *Parastrephia lepidophylla*, lo que indicó que la cantidad de humedad liberada no fue la misma en las submuestras de esta especie. Asimismo, a continuación, se presentaron los datos obtenidos para la especie *Parastrephia lucida*.

Tabla 13.

Cálculo del porcentaje de materia seca (MS) para *Parastrephia lucida*

N.º	Peso húmedo (g)	Peso seco (g)	MS (%)
1	280	170.13	60.76
2	80	48.57	60.71
3	595	445.42	74.86
4	235	190.07	80.88
5	340	264.52	77.80
6	520	413.27	79.48
7	76.97	65.81	85.50
8	750	542.81	72.38
9	380	260.78	68.63
10	332	224.98	67.77
11	294	178.63	60.76
12	221	134.18	60.71
13	572	428.20	74.86
14	197	159.34	80.88
15	165	128.37	77.80
16	10	7.95	79.48
17	265	226.58	85.50
18	297	214.95	72.38
19	324	222.35	68.63
20	275	186.35	67.77
21	301	182.89	60.76

Fuente: Elaboración propia.

El porcentaje de masa seca en la especie varía entre 60.71 % y 85.50 % que representó el porcentaje de materia seca para la especie *Parastrephia lucida*; esto indicó que la cantidad de humedad liberada no fue la misma en las submuestras de esta especie. Por último, en la Tabla 14 se detallaron los datos de materia seca para la especie *Baccharis tricuneata*.

Tabla 14.
Cálculo del porcentaje de materia seca (MS) para *Baccharis tricuneata*

N.º	Peso total (g)	Peso seco (g)	MS (%)
1	398	319.79	80.35
2	354	250.35	70.72
3	435	322.94	74.24
4	254	193.56	76.21
5	402	314.46	78.23
6	894	655.53	73.33
7	305	208.94	68.51
8	456	356.91	78.27
9	1875	1392.00	74.24
10	341	259.86	76.21
11	2114	1653.68	78.23
12	875	641.59	73.33
13	896	609.86	68.07
14	402	323.01	80.35
15	1987	1405.21	70.72
16	445	302.89	68.07

Fuente: Elaboración propia.

El porcentaje de masa seca en la especie varía entre 68.07 % y 80.35 %, que representó el porcentaje de materia seca para la especie *Baccharis tricuneata*; esto indicó que la cantidad de humedad liberada no fue la misma en las submuestras de esta especie.

Al hacer una comparación de los porcentajes de materia seca de las especies en estudio, se pudo apreciar que el porcentaje más alto de materia seca era el de la especie *Parastrephia lucida* con un 85.50 %, seguida de la especie *Baccharis tricuneata* con un 80.35 % y, por último, estaba la especie *Parastrephia lepidophylla* con un 79.26 %.

Estos porcentajes de materia seca fueron proporcionales a las características morfológicas de cada especie; así, se observó que la especie *Baccharis tricuneata* estaba provista de hojas más engrosadas y resinosas, que las otras especies. Con respecto a la igualdad de los resultados, dentro de casi todos los individuos de cada especie, estos respondieron a las características propias de su especie y no hubo interferencia debido al tamaño de estos.

Por otro lado, la materia seca de una planta puede emplearse como un indicador de productividad, dado que es el resultado de las condiciones ambientales del desarrollo de la planta (Tekalign y Hammes, 2005), y, por tanto, al identificar el valor de la materia seca se puede mejorar la productividad de una planta. Además, la materia seca también es empleada como un parámetro para medir la tasa crecimiento, puesto que esto representa un significado económico en la productividad. (Ñústez et al, 2009).

2.1.3. Cálculo de la biomasa seca aérea por especie

Para poder obtener la biomasa aérea o peso seco por cada especie, se procedió a emplear la ecuación (4). Los resultados se mostraron a continuación en la Tabla 15, para la especie *Parastrephia lepidophylla*; en la Tabla 16, para la especie *Parastrephia lucida* y en la Tabla 17, para la especie *Baccharis tricuneata*.

Tabla 15.

Determinación de biomasa de *Parastrephia lepidophylla*

Puntos	N.º	Peso húmedo (g)	MS (%)	Biomasa aérea (g)
Punto 1	1	1456.00	61.82 %	900.11
	2	805.00	70.88 %	570.58
	3	2897.00	79.26 %	2296.16
	4	865.00	65.85 %	569.59
	5	3274.00	75.72 %	2479.07
Punto 2	6	953.00	71.19 %	678.41
	7	1547.00	74.00 %	1144.78
	8	4475.00	76.72 %	3433.00
	9	912.00	61.39 %	559.88
	10	1625.00	71.77 %	1166.26
Punto 5	11	37.00	72.95 %	26.99
	12	550.00	73.85 %	406.18
	13	572.00	75.30 %	430.72
	14	989.00	69.58 %	688.15
	15	1005.00	70.86 %	712.14
	16	80.00	74.83 %	59.86
	17	565.00	74.21 %	419.31
	18	631.00	61.82 %	390.09

	19	1108.00	70.88 %	785.35
	20	154.00	79.26 %	122.06
	21	598.00	65.85 %	393.77
	22	42.00	75.71 %	31.80
	23	358.00	71.19 %	254.85
Punto 6	24	548.00	74.00 %	405.52
	25	1120.00	76.72 %	859.21
	26	690.00	61.39 %	423.59
	27	678.00	71.77 %	486.60
	28	1114.00	72.94 %	812.55
	29	955.00	73.85 %	705.27
	30	2789.00	75.30 %	2100.12
	31	1878.00	69.58 %	1306.71
Punto 7	32	1104.00	70.86 %	782.29
	33	1455.00	74.83 %	1088.78
	34	2000.00	74.22 %	1484.30
	35	3542.00	61.82 %	2189.69

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16.
Determinación de biomasa de *Parastrephia lucida*

Puntos	N.º	Peso total (g)	MS (%)	Biomasa aérea (g)
Punto 2	1	280.00	60.76 %	170.13
	2	80.00	60.71 %	48.57
	3	595.00	74.86 %	445.42
	4	235.00	80.88 %	190.07
	5	340.00	77.80 %	264.52
	6	520.00	79.48 %	413.27
	7	76.97	85.50 %	65.81
	8	750.00	72.37 %	542.81
Punto 3	9	380.00	68.63 %	260.78
	10	332.00	67.77 %	224.98
	11	294.00	60.76 %	178.63
	12	221.00	60.71 %	134.18
	13	572.00	74.86 %	428.2
	14	197.00	80.88 %	159.34
	15	165.00	77.80 %	128.37
Punto 4	16	10.00	79.50 %	7.95
	17	265.00	85.50 %	226.58
	18	297.00	72.37 %	214.95
	19	324.00	68.63 %	222.35
	20	275.00	67.76 %	186.35
	21	301.00	60.76 %	182.89

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17.
Determinación de biomasa de *Baccharis tricuneata*

Puntos	Nº	Peso húmedo (g)	MS (%)	Biomasa aérea (g)
Punto 2	1	398	80.35 %	319.79
	2	354	70.72 %	250.35
	3	435	74.24 %	322.94
Punto 5	4	254	76.20 %	193.56
	5	402	78.22 %	314.46
	6	894	73.33 %	655.53
	7	305	68.50 %	208.94
Punto 7	8	456	78.27 %	356.91
	9	1875	74.24 %	1392
	10	341	76.21 %	259.86
	11	2114	78.23 %	1653.68
Punto 8	12	875	73.32 %	641.59
	13	896	68.06 %	609.86
	14	402	80.35 %	323.01
	15	1987	70.72 %	1405.21
	16	445	68.07 %	302.89

Fuente: Elaboración propia.

Todos estos resultados fueron comparables con los obtenidos por las especies *Parastrephia lepidophylla* y *Baccharis tricuneata*, dado que, entre ambas hubo 313 kg de materia seca por ha, en el estudio realizado por Alzerraca et al. (2002); sin embargo, esta discrepancia se puede atribuir a diferencias en la época de muestreo.

De igual manera los resultados obtenidos, se asemejaron a los revelados por Hualpa, en su investigación, puesto que, según él, las biomásas del arbusto son presentadas en Tn/ha de materia verde y seca; para la especie *Parastrephia lepidophylla* y para la *Baccharis tricuneata*, el resultado fue de 3.65 Tn/ha de materia verde y 3.84 t/ha, respectivamente y para biomasa seca fue 2.65 Tn/ha de materia seca y 2.63 t/ha de materia seca, respectivamente. (Hualpa, 2018)

2.2. Cálculo de la biomasa subterránea por especie

Según Hidalgo (2011), las biomásas subterráneas de las especies equivalen al 56.62 % de la biomasa total de la especie y la biomasa aérea al 43.38 % de total, es decir:

$$Biomasa\ total = Biomasa\ aérea + Biomasa\ subterránea\ (5)$$

$$Biomasa\ total = 43.38\% + 56.62\%$$

Mediante la aplicación de la ecuación se obtuvieron unos resultados que se expusieron en la Tabla 18, para la especie *Parastrephia lepidophylla*; en la Tabla 19, para la especie *Parastrephia lucida* y en la Tabla 20, para la especie *Baccharis tricuneata*.

Tabla 18.

Determinación de biomasa aérea, subterránea y total de *Parastrephia lepidophylla*

Puntos	N.º	Biomasa aérea (g)	Biomasa total (g)	Biomasa subterránea(g)
Punto 1	1	900.11	2074.94	1174.83
	2	570.58	1315.31	744.73
	3	2296.16	5293.13	2996.97
	4	569.59	1313.02	743.43
	5	2479.07	5714.78	3235.71
Punto 2	6	678.41	1563.88	885.47
	7	1144.78	2638.96	1494.18
	8	3433.00	7913.79	4480.79
	9	559.88	1290.64	730.76
	10	1166.26	2688.47	1522.21
Punto 5	11	26.99	62.22	35.23
	12	406.18	936.33	530.15
	13	430.72	992.90	562.18
	14	688.15	1586.33	898.18
	15	712.14	1641.63	929.49
	16	59.86	137.99	78.13
	17	419.31	966.60	547.29
	18	390.09	899.24	509.15
	19	785.35	1810.40	1025.05
Punto 6	20	122.06	281.37	159.31
	21	393.77	907.72	513.95
	22	31.80	73.31	41.51
	23	254.85	587.48	332.63
	24	405.52	934.81	529.29
	25	859.21	1980.66	1121.45

	26	423.59	976.46	552.87
	27	486.60	1121.72	635.12
	28	812.55	1873.10	1060.55
	29	705.27	1625.80	920.53
	30	2100.12	4841.22	2741.10
	31	1306.71	3012.24	1705.53
Punto 7	32	782.29	1803.34	1021.05
	33	1088.78	2509.87	1421.09
	34	1484.30	3421.62	1937.32
	35	2189.69	5047.69	2858.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19.

Determinación de biomasa aérea, subterránea y total de *Parastrephia lucida*

Puntos	N.º	Biomasa aérea (g)	Biomasa total (g)	Biomasa subterránea(g)
	1	170.13	392.19	222.06
	2	48.57	111.96	63.39
	3	445.42	1026.79	581.37
Punto 2	4	190.07	438.15	248.08
	5	264.52	609.77	345.25
	6	413.27	952.67	539.40
	7	65.81	151.71	85.90
	8	542.81	1251.29	708.48
	9	260.78	601.15	340.37
	10	224.98	518.63	293.65
	11	178.63	411.78	233.15
Punto 3	12	134.18	309.31	175.13
	13	428.20	987.09	558.89
	14	159.34	367.31	207.97
	15	128.37	295.92	167.55
	16	7.95	18.33	10.38
	17	226.58	522.31	295.73
Punto 4	18	214.95	495.50	280.55
	19	222.35	512.56	290.21
	20	186.35	429.58	243.23
	21	182.89	421.60	238.71

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20.
Determinación de biomasa aérea, subterránea y total de *Baccharis tricuneata*

Puntos	N.º	Biomasa Aérea (g)	Biomasa total (g)	Biomasa subterránea(g)
Punto 2	1	319.79	737.18	417.39
	2	250.35	577.11	326.76
	3	322.94	744.44	421.50
Punto 5	4	193.56	446.20	252.64
	5	314.46	724.90	410.44
	6	655.53	1511.13	855.60
	7	208.94	481.65	272.71
Punto 7	8	356.91	822.75	465.84
	9	1392.00	3208.85	1816.85
	10	259.86	599.03	339.17
	11	1653.68	3812.08	2158.40
Punto 8	12	641.59	1479.00	837.41
	13	609.86	1405.86	796.00
	14	323.01	744.61	421.60
	15	1405.21	3239.30	1834.09
	16	302.89	698.22	395.33

Fuente: Elaboración propia.

Se concluye que la biomasa total evaluada mediante el método directo (muestreo destructivo) en los puntos de sub muestra otorga un valor de 2052.542 g. (0.0020525 Tn) para la especie *Parastrephia lepidophylla*, un valor de 515.505 g. (0.0005155 Tn) para la especie *Parastrephia lucida*, y finalmente un valor de 1327.019 g. (0.001327 Tn) para la especie *Baccharis tricuneata*.

En relación con la biomasa, este es un parámetro de plantas que permite determinar el nivel de captura de carbono que puede tener dicha planta (Galicia et al., 2015). En relación con los arbustos, se puede determinar el contenido de carbono teniendo en cuenta la biomasa (Acosta-Mireles et al., 2009), dado que el carbono es almacenado en la biomasa de las plantas, mediante la fotosíntesis y además del suelo, en el que está cultivado, el carbono es acumulado como materia orgánica (Ávila et al., 2001).

2.3. Generación y selección del modelo de regresión con mejor ajuste para cada especie

Por otro lado, se desarrollaron los modelos de regresión, que indicaron el coeficiente de determinación R^2 con el objetivo de identificar y comparar cada modelo y así

poder seleccionar el más adecuado; estos resultados quedaron detallados en los siguientes cuadros, según cada especie en estudio.

Tabla 21.

Modelos de regresión para *Parastrephia lepidophylla*

Ecuación	Altura R^2	Diámetro R^2
Lineal	0.8741	0.4838
Polinómica	0.9130	0.4938
Potencial	0.8375	0.6409
Exponencial	0.7009	0.4951

Fuente: Elaboración propia.

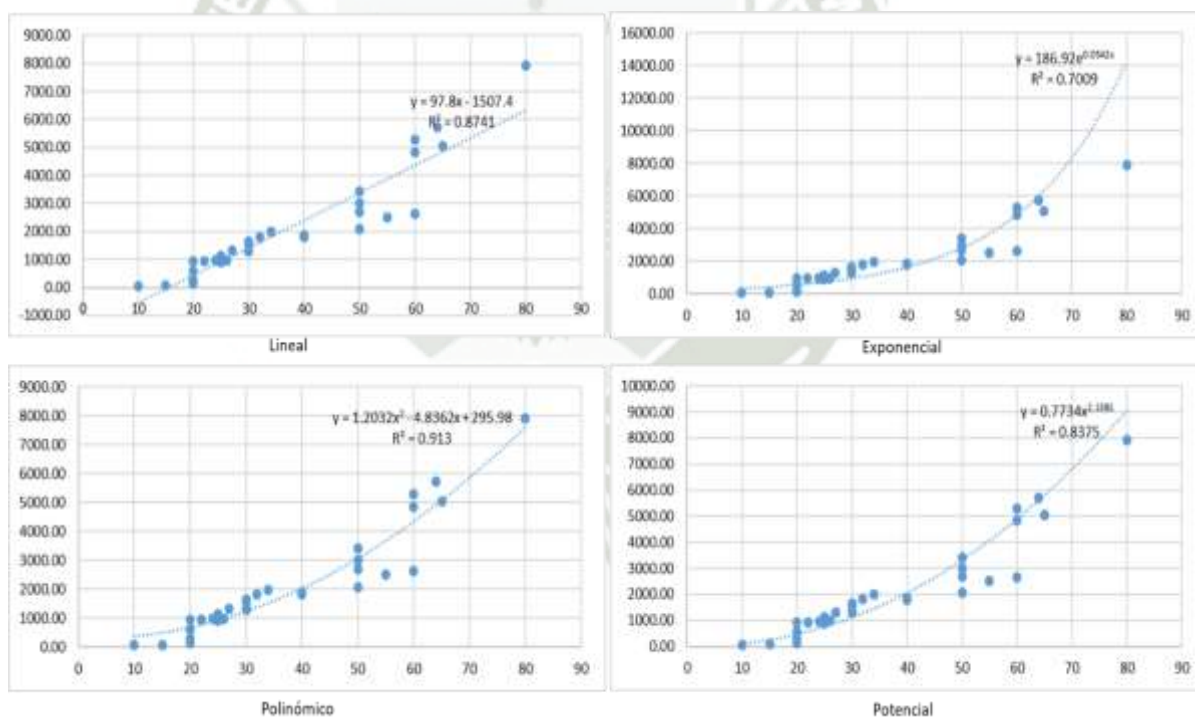


Figura 24. Modelos de regresión para *Parastrephia lepidophylla* - Altura
Fuente: Elaboración propia.

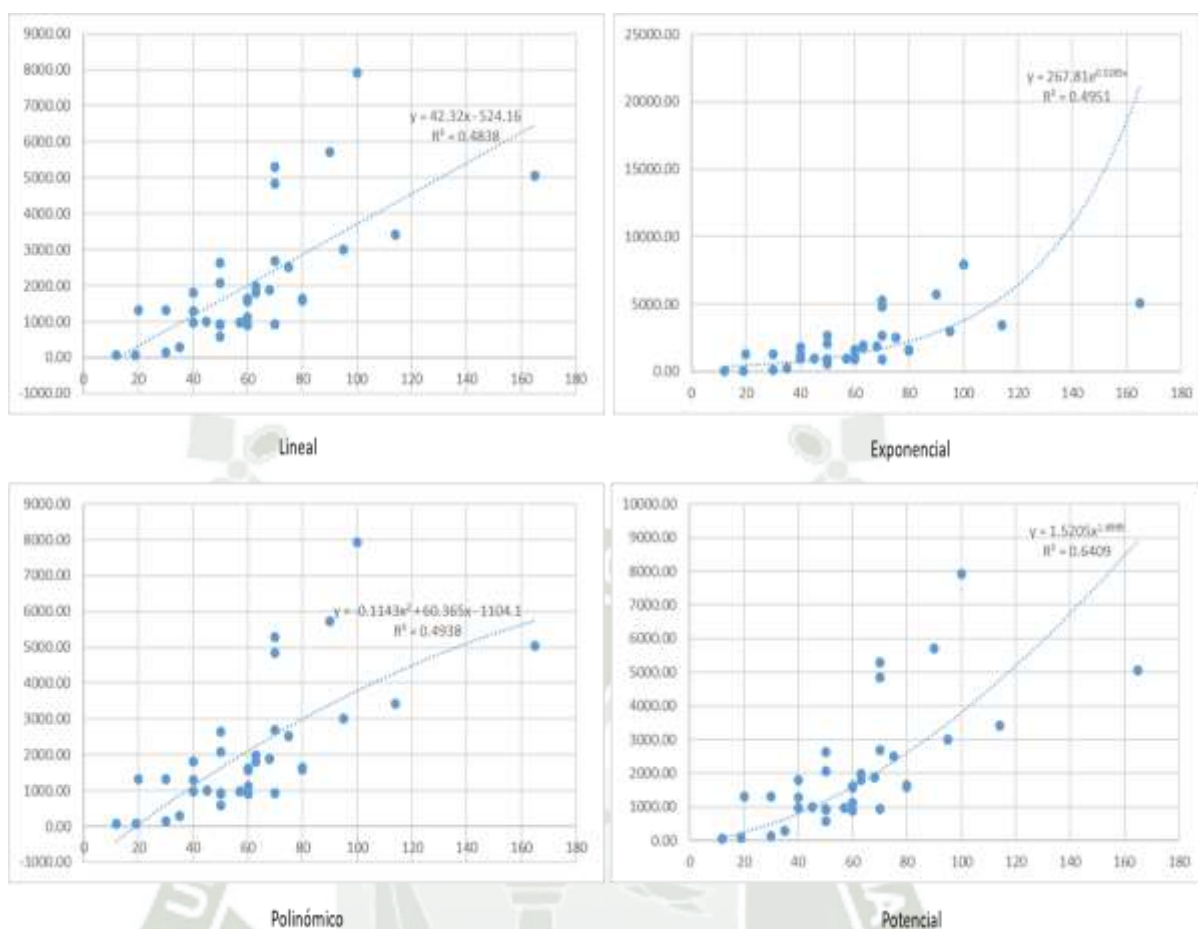


Figura 25. Modelos de regresión para *Parastrephia lepidophylla* - Diámetro
Fuente: Elaboración propia.

Para la selección del mejor modelo, se eligió el que tuviera el R^2 más alto; para esta especie el R^2 seleccionado fue el del modelo polinómico, que tuvo un 0.9130 o un 91.30%, porcentaje que representó a las variables en estudio, por medio de empleo de la variable altura y quedó el modelo de la siguiente forma:

$$Y = 1.2032x^2 - 4.8362x + 295.98(9)$$

En el caso de la *Parastrephia lucida* se obtuvo lo siguiente:

Tabla 22.

Modelos de regresión para *Parastrephia lucida*

Ecuación	Altura R^2	Diámetro R^2
Lineal	0.8327	0.4472
Polinómica	0.8644	0.4514
Potencial	0.8847	0.5101
Exponencial	0.6203	0.3317

Fuente: Elaboración propia.

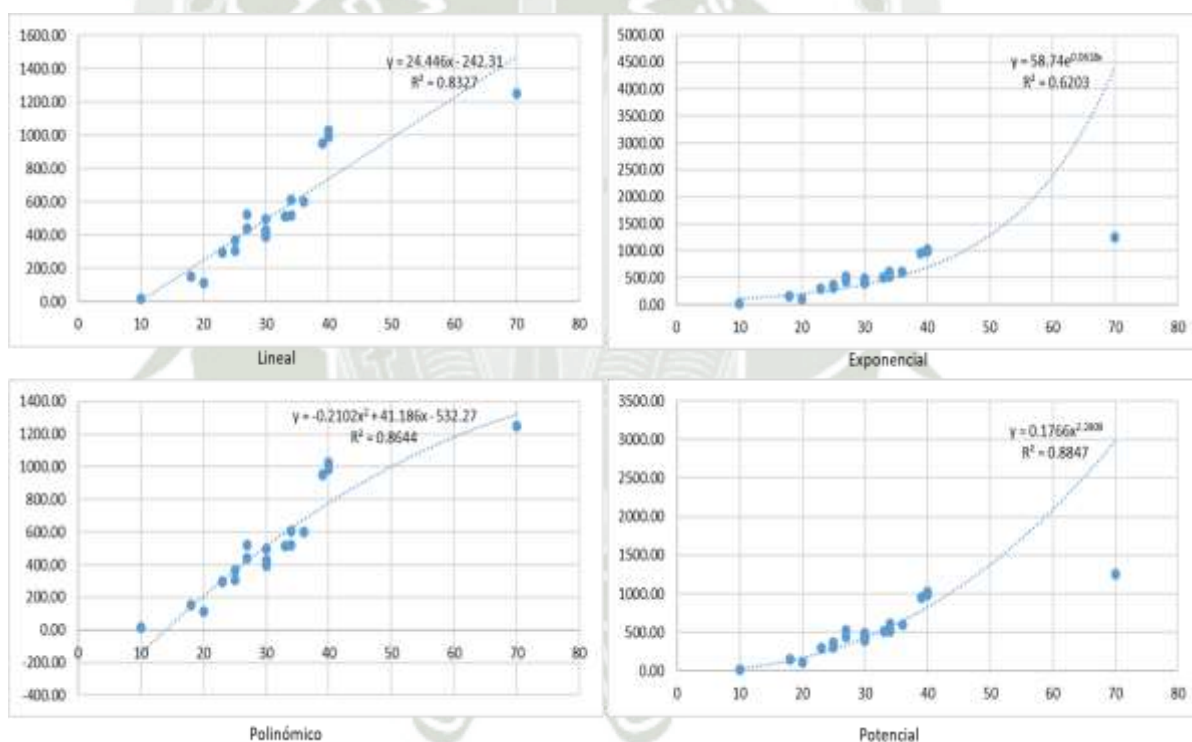


Figura 26. Modelos de regresión para *Parastrephia lucida* - Altura

Fuente: Elaboración propia.

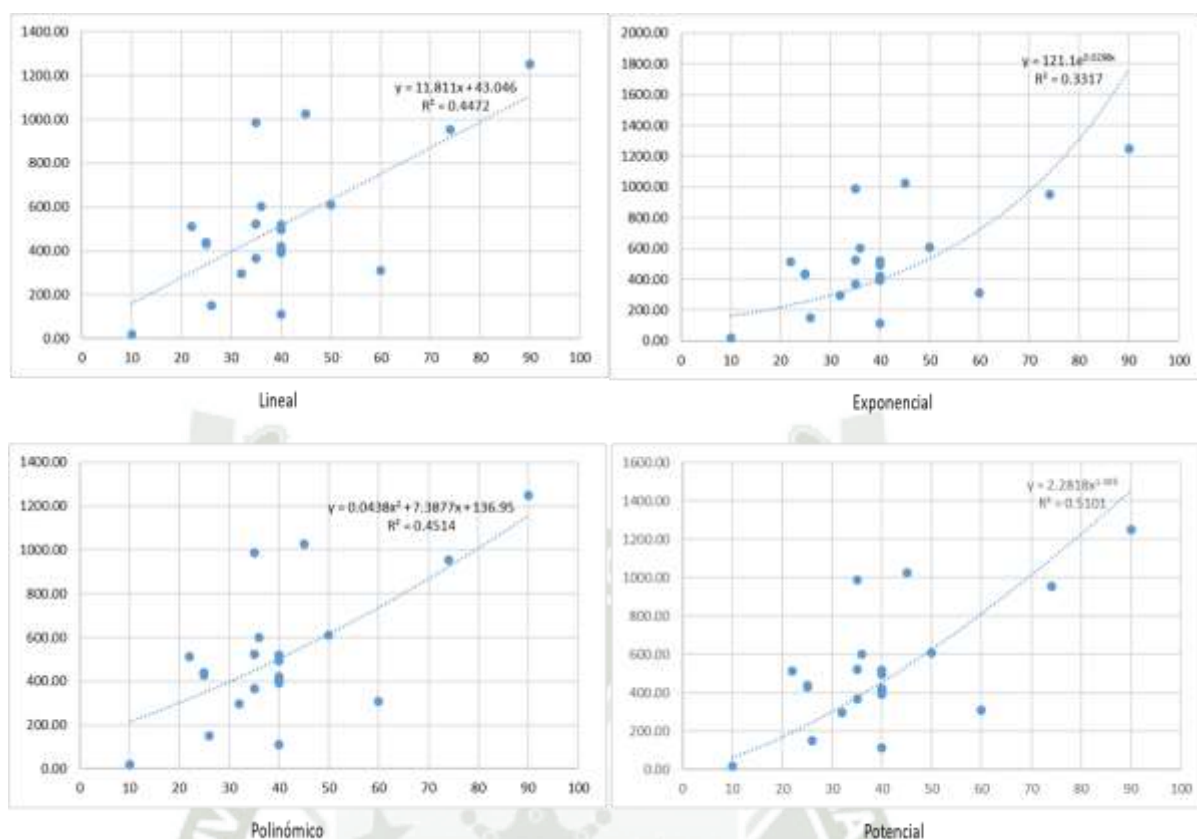


Figura 27. Modelos de regresión para *Parastrephia lucida* - Diámetro
Fuente: Elaboración propia.

Para la selección del mejor modelo, se seleccionó el que tuviera el R^2 más alto; para esta especie el R^2 seleccionado fue el del modelo potencial con un 0.8847 o un 88.47%, porcentaje que representó a las variables en estudio, por medio del empleo de la variable altura. El modelo quedó de la siguiente forma:

$$Y = 0.1766x^{2.2909} \quad (10)$$

Por otro lado, para el caso de la especie *Baccharis tricuneata* se obtuvo lo siguiente:

Tabla 23.

Modelos de regresión para *Baccharis tricuneata*

Ecuación	Altura R^2	Diámetro R^2
Lineal	0.7873	0.5442
Polinómico	0.9312	0.5506
Potencial	0.7868	0.6202
Exponencial	0.8538	0.6794

Fuente: Elaboración propia.

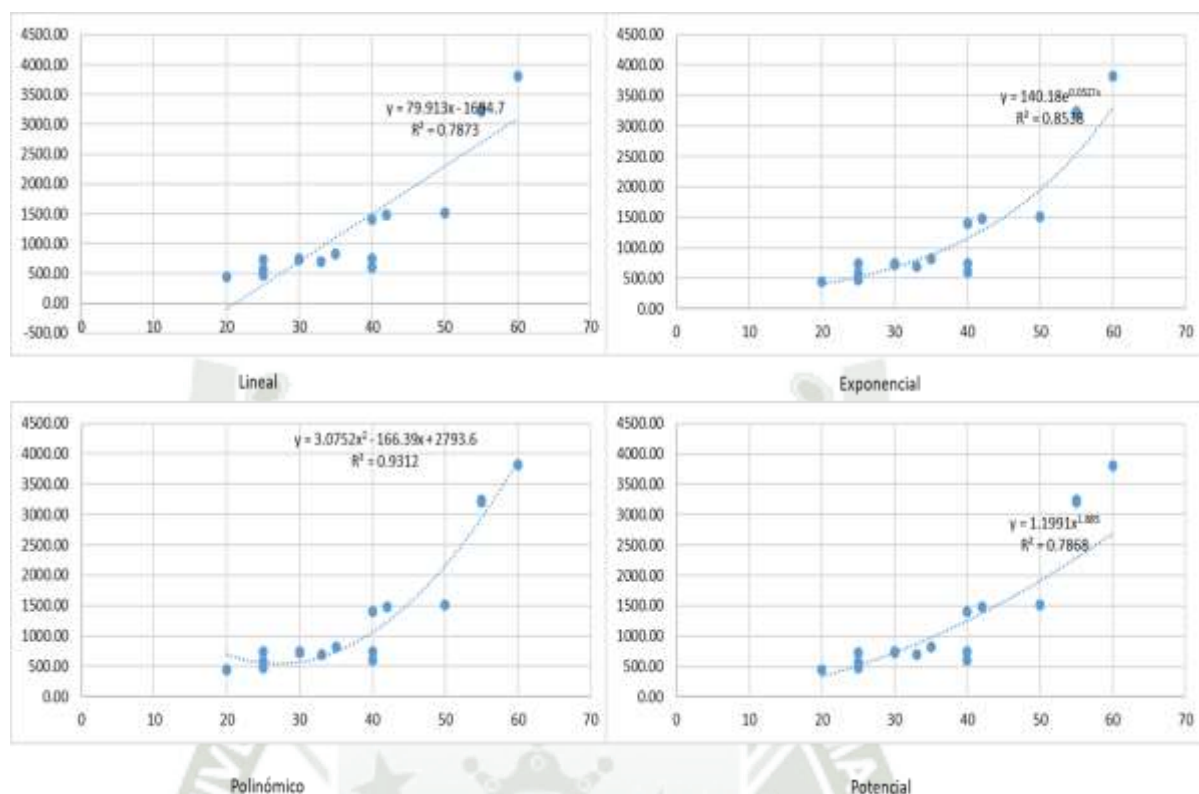


Figura 28. Modelos de regresión para *Baccharis tricuneata* - Altura
Fuente: Elaboración propia.

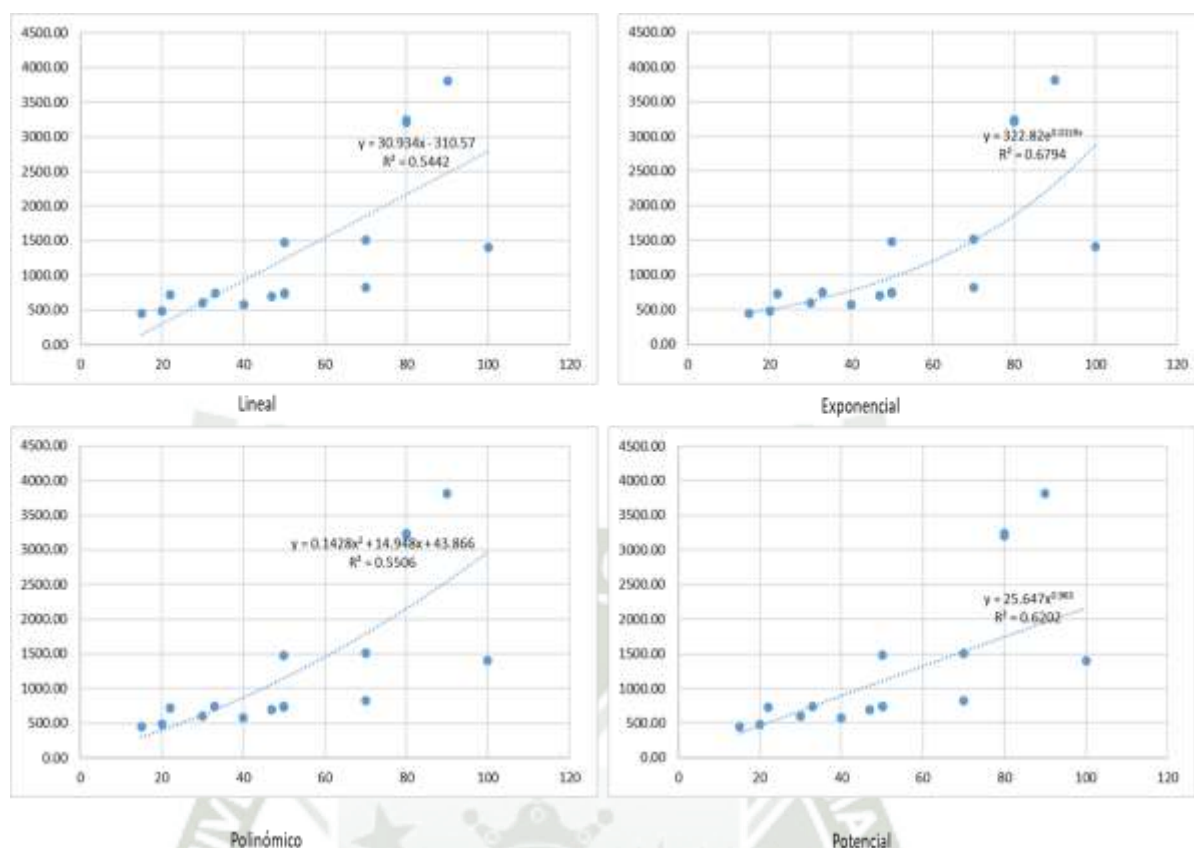


Figura 29. Modelos de regresión para *Baccharis tricuneata* - Diámetro

Fuente: Elaboración propia.

Para la selección del mejor modelo, se eligió el que tuviera el R^2 más alto; para esta especie el R^2 seleccionado fue el del modelo polinómico con un 0.9312 o un 93.12%, porcentaje que representó a las variables en estudio, por medio del empleo de la variable altura. Teniendo en cuenta lo anterior, el modelo quedó de la siguiente forma:

$$Y = 3.0752x^2 - 166.39x + 2793.6(11)$$

El modelo establecido en la investigación para *Parastrephia lucida* es comparable al modelo obtenido por Yerena et. Al. (2020) en su estudio de generación de ecuaciones alométricas para matorral espinoso tamaulipeco que concluye un modelo potencial, asimismo, indica que el diámetro a la base y la altura son variables que predicen eficientemente la biomasa en hojas, ramas, fuste y total, por ende, la utilización de modelos específicos para una especie en particular en un área determinada con condiciones climáticas locales genera una mejor estimación de la biomasa.

Al analizar la heterogeneidad de los datos de diámetro, estadísticamente nos muestra que no fue una variable óptima para la estimación de biomasa, siendo la variable altura la que predice mejor la biomasa para las especies en estudio. Esto responde a sus características morfológicas de cono truncado o media luna invertida ya que sus ramas se expanden de forma horizontal.

3. Determinación el contenido de carbono en arbustos de las especies *Parastrephia lepidophylla*, *Parastrephia lucida* y *Baccharis tricuneata*, a partir de los modelos alométricos elaborados

Luego de aplicar las ecuaciones (9), (10) y (11) (ver Anexo 11), se observó que la biomasa total estimada era la siguiente para cada especie.

Tabla 24.

Biomasa por especie

Especie	N.º total de individuos	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Biomasa (g)
<i>Parastrephia lepidophylla</i>	1285	47.91	38.63	1904.66
<i>Parastrephia lucida</i>	523	33.84	25.88	304.75
<i>Baccharis tricuneata</i>	400	53.84	41.62	1195.38

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos mostraron que la biomasa de la especie *Parastrephia lepidophylla* es de 1.9 kg, la de *Parastrephia lucida* es de 0.3 kg y la de la *Baccharis tricuneata* es 1,2 kg, en las 55 áreas de muestreo establecidas en el estudio.

Los resultados obtenidos mediante la aplicación de ecuaciones alométricas generadas como método indirecto es comparable con los datos obtenidos mediante el método directo presentados también en esta investigación (Punto 2.2), los resultados de ambas metodologías son contrastados en la siguiente tabla.

Tabla 25.
Biomasa por método

Especie	Método Directo		Método Indirecto	
	Biomasa		Biomasa	
	Gramos	Toneladas	Gramos	Toneladas
<i>Parastrephia lepidophylla</i>	1904.66	0.001905	2052.542	0.0020525
<i>Parastrephia lucida</i>	304.75	0.000305	515.505	0.0005155
<i>Baccharis tricuneata</i>	1195.38	0.001195	1327.019	0.001327

Fuente: Elaboración propia.

Según la tabla 25 se puede deducir la diferencia entre los datos de cada metodología para cada especie, siendo de 147.9 g. para la especie *Parastrephia lepidophylla*, 210.8 g. para la especie *Parastrephia lucida*, y 131.6 g. para *Baccharis tricuneata*. Es importante considerar la proporción de muestra para cada metodología, ya que para el método directo se emplearon los datos de los individuos extraídos y para el método indirecto (ecuaciones alométricas) se utilizaron los datos de mediciones evaluados las 55 parcelas.

En este punto cabe mencionar que las ecuaciones alométricas elaboradas para cada especie corresponden a un aporte de la investigación, ya que facilita la cuantificación de biomasa para otras investigaciones con las mismas especies o con características similares, mediante simple sustitución de una variable en este caso altura; en comparación con el método directo que si bien es cierto es más preciso, significaría una extracción considerable de individuos.

Las ecuaciones alométricas se utilizaron en biología vegetal para determinar relaciones correlativas entre las variables vinculadas a la biomasa de las plantas, como, por ejemplo, su tamaño, con el propósito de determinar el funcionamiento de los ecosistemas (Niklas y Enquist, 2002). En especies arbóreas se determinó la existencia de patrones alométricos como la relación del incremento de altura con el espacio del dosel y también con incremento de la copa con el espacio horizontal (Fontes, 1999). Por su parte, las ecuaciones alométricas interrelacionadas con el diámetro medio a la altura de pecho de árboles y con diferentes atributos morfológicos como la biomasa, el volumen de carbono y el área foliar, se han empleado en diversas investigaciones para determinar los impactos ecológicos. (Delgado et al., 2005)

Por otro lado, determinar la biomasa de *Parastrephia lepidophylla*, *Parastrephia lucida* y *Baccharis tricuneata*, fue un parámetro importante dentro de las estrategias, para

lograr la captura de carbono y realizar la comparación con otros organismos, puesto que las plantas, mediante la fotosíntesis logran incorporar el carbono de su entorno a su biomasa. (Cruz-Huerta et al., 2005)

Los resultados de la biomasa obtenidos mediante ecuaciones alométricas en la presente investigación, permitieron establecer la captura de carbono por parte de *Parastrephia lepidophylla*, *Parastrephia lucida* y *Baccharis tricuneata* en la zona núcleo de la RNSAB, de forma similar a como lo hizo Díaz-Franco (2007), quien reportó una cuantificación de la biomasa en *Pinus patula* para estimar su contenido de carbono capturado; del mismo modo, Ramos-Escalante et al., (2018) indicó la estimación de biomasa y carbono acumulado en la palma de aceite de 12 años, mediante las ecuaciones alométricas.

En cuanto a las plantas de tipo arbustos como los tolares, Maldonado-Ortiz (2022) reportó la utilización de ecuaciones alométricas para estimar la biomasa de *Euphorbia antisiphilitica* Zucc., a partir de variables morfométricas. Asimismo, Mora-Delgado et al. (2018), determinaron una ecuación alométrica para evaluar la biomasa de los arbustos de *Tithonia diversifolia*, por medio del empleo de mediciones de altura y diámetro de la planta. Finalmente, Villavicencio-Gutiérrez., et al (2018) determinaron las relaciones alométricas entre la biomasa foliar de *Lippia graveolens* Kunth y las variables morfométricas de la planta, como, por ejemplo, la altura, el diámetro de arbusto y el diámetro de copa.

4. Determinación del valor económico del servicio ecosistémico de captura de carbono de *Parastrephia lepidophylla*, *Parastrephia lucida* y *Baccharis tricuneata*

4.1. Cálculo de la densidad de carbono por especie

Fue necesario utilizar la ecuación (6) (ver Anexo 12); al sustituir se obtuvieron los siguientes valores:

Tabla 26.
Densidad de carbono por especie

Especie	Densidad de carbono (Tn C/ha)
<i>Parastrephia lepidophylla</i>	62.5964
<i>Parastrephia lucida</i>	4.0791
<i>Baccharis tricuneata</i>	12.2237

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados indicaron que *Parastrephia lepidophylla*, *Parastrephia lucida* y *Baccharis tricuneata*, tenían una cantidad de Biomasa de: 1.90 kg S/ha, 0.30 kg S/ha y 1.20 kg S/ha respectivamente. Estos fueron comparables con los resultados de Hualpa (2018), quien, en su estudio concluyó que la estimación de la biomasa seca total resultó en 2.65 kg S/ha para la especie *Parastrephia lepidophylla* y, por otra parte, la densidad de carbono almacenado por la *Parastrephia lepidophylla* fue de 1.27 Tn C/ha.

4.2. Determinación el stock de carbono por especie

Una tonelada de carbono equivale a 3.67 toneladas de CO₂ eq basado en los pesos moleculares 44/12; por tanto, para determinar el CO₂ eq retenido por el servicio ecosistémico de cada especie tolar, se calculó el stock de carbono ecosistémico por cada especie y luego se calculó la cantidad CO₂ eq secuestrado, por medio de una multiplicación entre el carbono del ecosistema por 3.67. Para realizar el cálculo se utilizó la ecuación (7) (ver Anexo 13).

Tabla 27.
Stock de carbono por especie

Especie	Stock de carbono (Tn CO ₂ eq/ha)
<i>Parastrephia lepidophylla</i>	229.7288
<i>Parastrephia lucida</i>	14.9703
<i>Baccharis tricuneata</i>	44.8610

Fuente: Elaboración propia.

Según Picard et al. (2012) una ecuación alométrica no es más que una predicción de medida de un atributo basado en otra medida; el autor indicó, en su trabajo, que esta predicción se ajusta al comportamiento de los datos y de las especies en estudio.

De los resultados de la estimación de la captura de CO₂ eq por parte del servicio ecosistémico, se obtuvo el valor más alto en *Parastrephia lepidophylla* con 229.7288 Tn CO₂ eq, seguido de *Baccharis tricuneata* con 44.8610 Tn CO₂ eq y, por último, *Parastrephia lucida* con una cantidad de 14.9703 Tn CO₂ eq. Como se observa en la Tabla 26, el stock de carbono fue mayor en *Parastrephia lepidophylla*, puesto que fue la especie de tola con mayor abundancia; además la captura de CO₂ es directamente proporcional al diámetro. (Mollocondo y Aguilar, 2019)

El género *Baccharis* presentó un stock de carbono de 44.8610 Tn/ha y esta especie fue utilizada como alimento para camélidos andinos y para la creación de cercos vivos; por lo que los resultados se pueden comparar con los resultados brindados por Vásquez et al. (2020), quienes obtuvieron una mayor cantidad de CO₂ capturado en la Pona con 658 t/ha y el más bajo en Aliso con 396 t/ha, ambas especies pertenecientes a pasturas de cuencas ganaderas. Por último, *Parastrephia lucida* tuvo 14.9703 Tn/ha toneladas por hectárea; en comparación, por su parte, Medina et al., (2020) declaró que, en un área de 0.1 ha, llevó a cabo la estimación del secuestro de carbono y obtuvo 0.000004659 t/ha.

Los tolares poseen diversos servicios ecosistémicos diferentes al servicio de regulación; entre ellos se encuentran los servicios de aprovisionamiento y los servicios de soporte, pues la especie *Parastrephia lucida* es empleada como medicina antiinflamatoria y, antiguamente, se usaba para tratar dolores de muelas (Echiburu –

Chau et al., 2017), ocurre algo similar con el género *Baccharis* que brinda aportes medicinales, como aliviar el dolor de estómago, tratar problemas de hígado, circulación sanguínea y, en adición, sirve para tratar úlceras, quemaduras y heridas cutáneas (Morales et al., 2008). Además, estas plantas aportan otros recursos naturales que forman parte fundamental de la vida de los pobladores aledaños, dado que es su alimento, combustible vegetal, material de construcción y el forraje que forma parte del 90 % de la nutrición de los ganados (Godínez – Álvarez et al., 2008; Clotilde Reyna, 2021; Terry, 2021). Finalmente, cabe resaltar que esta especie está vinculada con prácticas de conservación de suelo, dado su sistema radicular y rusticidad y es empleada en cercos vivos. (Terry, 2021)

Estudiar o investigar los servicios ecosistémicos que brindan las especies de comunidades vegetales en distintos ecosistemas, da la oportunidad de llevar una buena gestión de estos recursos, no solo con base en lo ecológico y lo sociocultural, sino también desde lo económico. (Conti et al., 2021)

Parastrephia lepidophylla, *Parastrephia lucida* y *Baccharis tricuneata* ofrecen el servicio de captación de carbono en zona núcleo de la RNSAB, dado que la biomasa de estas plantas es el mayor reservorio de carbono en dicha zona, por tal motivo se observó que es necesario implementar medidas para su conservación, debido al gran impacto positivo en el ecosistema del cual forma parte.

4.3. Valoración económica del servicio ecosistémico por especie

Para obtener la valoración económica se hizo uso de la ecuación (8), para lo cual previamente se determinaron los valores de las toneladas de carbono en el 2021, según el sistema europeo de negociación de CO₂ (SENDECO) (ver Anexo 14).

Tabla 28.

Valoración económica

Especie	Valoración económica (€)
<i>Parastrephia lepidophylla</i>	12 301.98
<i>Parastrephia lucida</i>	801.66
<i>Baccharis tricuneata</i>	2402.31

Fuente: Elaboración propia.

- El valor económico para *Parastrephia lepidophylla* fue de € 12 301.98, es decir, que si no se hacen proyectos o programas para la conservación de la especie se perderían 229.7288 Tn CO₂ eq.
- El valor económico para *Parastrephia lucida* fue de € 801.66, es decir, que si no se hacen proyectos o programas para la conservación de la especie se perderían 14.9703 Tn CO₂ eq.
- El valor económico para *Baccharis tricuneata* fue de € 2 402.31, es decir, que si no se hacen proyectos o programas para la conservación de la especie se perderían 44.861 Tn CO₂ eq.

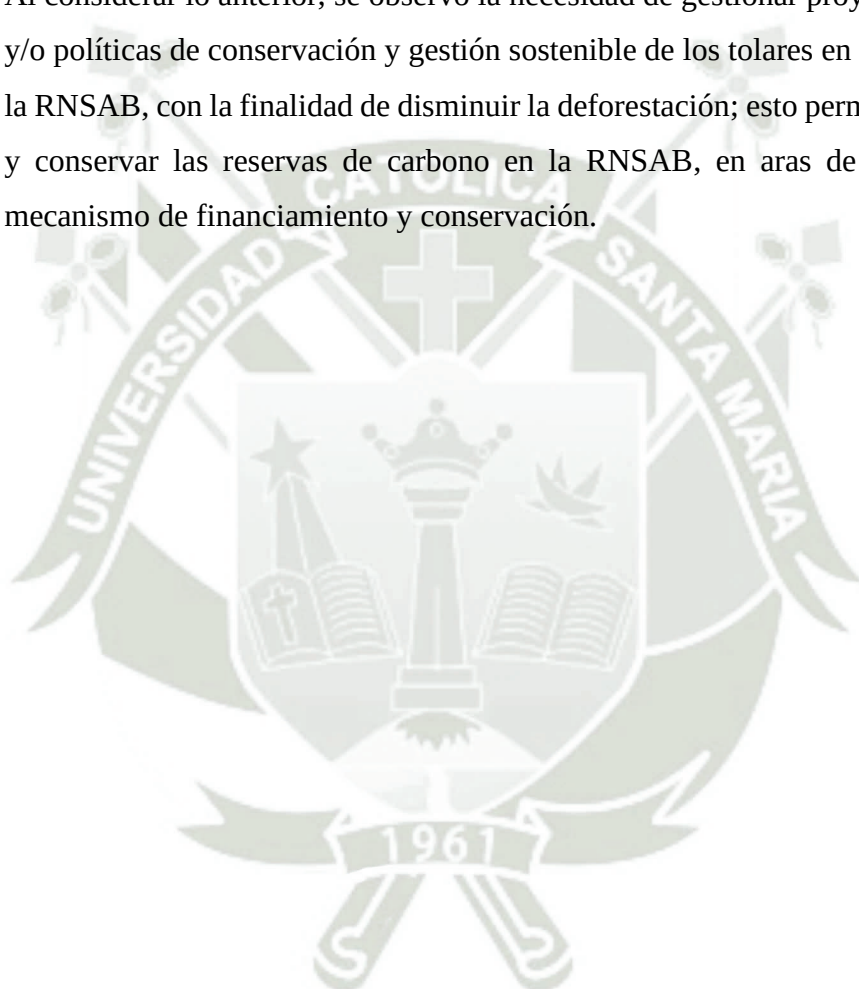
Dichos resultados indicaron que los costos totales ascendían a €15 505.94; resultado que estuvo acorde con la proporción brindada por Calle Medina, en su estudio realizado para valorar económicamente los bienes y servicios ecosistémicos, proporcionados por la Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca (producción de fibra de vicuña, ecoturismo y secuestro y almacenamiento de CO₂), en el que se obtuvo un valor económico total de USD 119 034 797.58 para a los bienes y servicios antes mencionados, siendo el servicio de secuestro y almacenamiento de CO₂ el que aportó el 81.36 % de dicho valor, seguido del servicio de ecoturismo (18.32 %) y del bien fibra de vicuña (0.32 %). (Calle Medina, 2018)

Por otra parte, los resultados de valoración económica del servicio ecosistémico de *Parastrephia lepidophylla*, *Parastrephia lucida* y *Baccharis tricuneata*, fue menor en comparación con los reportado por Medina et al. (2020), puesto que estos establecieron un valor económico de USD 1 447 442.93 por unidad de vegetación de tolar en la RNSAB; esto podría deberse a que, en su metodología, el promedio de la tonelada de CO₂ equivalente fue establecido en el mercado peruano con el objetivo de obtener el valor económico del servicio ambiental; mientras que en la investigación se estableció el precio de CO₂ de acuerdo con el mercado europeo, por ser un parámetro empleado con mayor frecuencia.

Por otro lado, la valoración económica del servicio ecosistémico de *Parastrephia lepidophylla*, *Parastrephia lucida* y *Baccharis tricuneata*, fue menor en comparación con la *Polylepis* (queñua), otra especie vegetación altoandina con crecimiento en el departamento de Arequipa. Por su parte, Joruro (2018) reportó que el valor económico total de los bosques de queñua de S/. 84 293 039.22. De manera similar,

Sarcca (2017) indicó un valor económico del servicio ecosistémico de 5 326 259.87 € para el bosque de *Polylepis*, ubicado en la zona del volcán Pichu Pichu en el departamento de Arequipa. Otro caso fue el de Barrientos (2021) que reportó un valor económico de S/ 4 998 285.20 para este tipo de bosque en Paras en el departamento de Ayacucho, según el mercado voluntario de CO₂ de USD 6.39/t de CO₂ equivalente.

Al considerar lo anterior, se observó la necesidad de gestionar proyectos, programas y/o políticas de conservación y gestión sostenible de los tolarees en la zona núcleo de la RNSAB, con la finalidad de disminuir la deforestación; esto permitirá incrementar y conservar las reservas de carbono en la RNSAB, en aras de acceder a algún mecanismo de financiamiento y conservación.

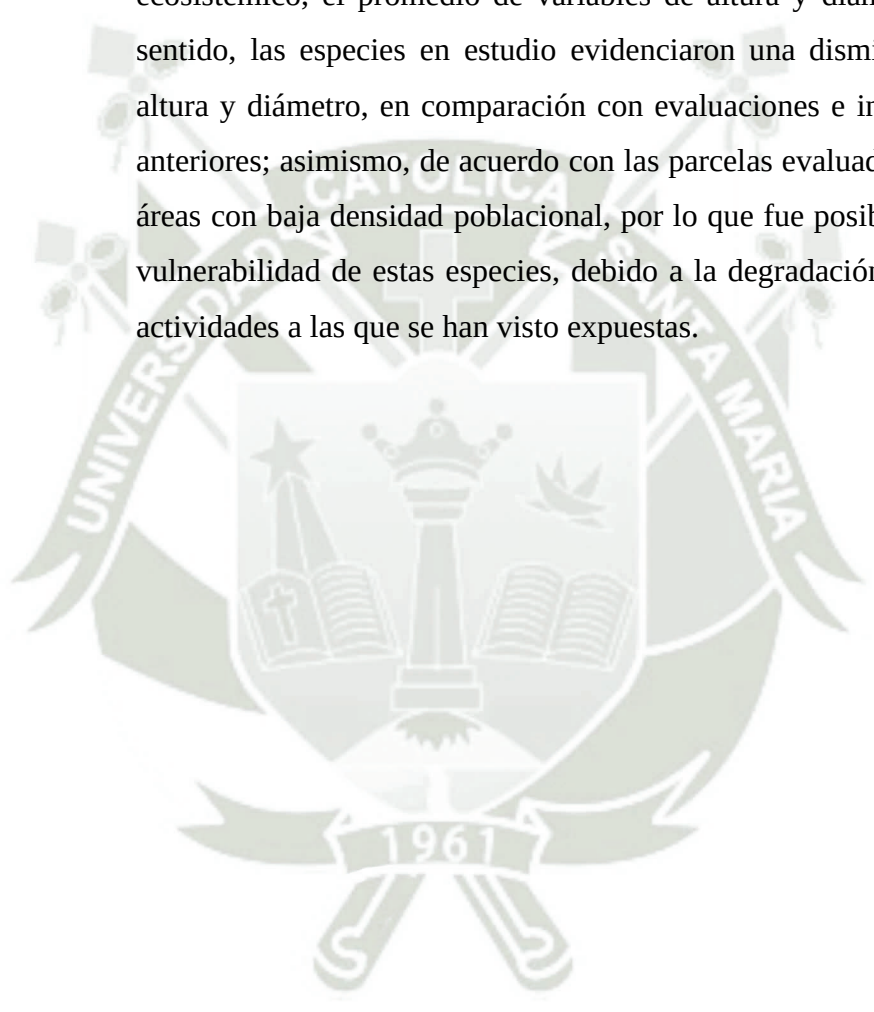


CONCLUSIONES

- Primera** Para la caracterización del área de muestreo basado en la heterogeneidad de la distribución de tola en la Reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca, se utilizó un muestreo aleatorio simple conformado por un total de 55 puntos que debieron ser muestreados en toda la zona núcleo. Posteriormente, se realizó un muestreo para determinar los cálculos correspondientes a la densidad de carbono presente en cada especie y se manejó, igualmente, un muestreo aleatorio simple, que arrojó una submuestra de ocho zonas para utilizarse.
- Segunda** Para el cálculo de la biomasa aérea y subterránea de *Parastrephia lepidophylla*, *Parastrephia lucida* y *Baccharis tricuneata*, se tomaron en cuenta los conceptos y las metodologías bien definidas. Con esto se obtuvo que, para la primera especie, la biomasa total fue de 1.90 kg S/ha.; para la segunda fue de 0.30 kg S/ha y, para la tercera, fue de 1.20 kg S/ha. Para calcular la biomasa subterránea se tomó lo mencionado por Hidalgo (2011), dado que este autor especificó que la biomasa subterránea de las especies es equivalente al 56.62 % de la biomasa total de la especie y la biomasa área al 43.38 % de total.
- Tercera** Para determinación del contenido de carbono en las especies en estudio, a partir de la generación de los modelos alométricos, se tuvo en cuenta la altura y el diámetro en cada especie, se realizaron los cálculos y se determinaron los tres modelos alométricos. $Y = 1.2032x^2 - 4.8362x + 295.98$ es el modelo para la especie *Parastrephia lepidophylla*, $Y = 0.1766x^{2.2909}$ es el modelo encontrado para la especie *Parastrephia lucida* y, por último, la especie *Baccharis tricuneata* presentó el siguiente modelo alométrico:
- $$Y = 3.0752x^2 - 166.39x + 2793.6.$$
- Cuarta** Luego de valorizar el servicio ecosistémico de captura de carbono en los tolares de la Reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca para las especies *Parastrephia lepidophylla*, *Parastrephia lucida* y *Baccharis tricuneata*, se observó que, la primera especie adquirió un valor de € 12

301.977; en el caso de la segunda especie esta tuvo un valor de € 801.659 y, finalmente, para la tercera especie se obtuvo un valor de € 2 402.3066. Dichos resultados indicaron que los costos totales ascendían a una cifra de € 15 505.94 entre las tres especies estudiadas.

Debido al estado de conservación de los tolare en la RNSAB se evidenció como factor determinante para estimar el servicio ecosistémico, el promedio de variables de altura y diámetro. En este sentido, las especies en estudio evidenciaron una disminución en su altura y diámetro, en comparación con evaluaciones e investigaciones anteriores; asimismo, de acuerdo con las parcelas evaluadas se observó áreas con baja densidad poblacional, por lo que fue posible concluir la vulnerabilidad de estas especies, debido a la degradación por diversas actividades a las que se han visto expuestas.



RECOMENDACIONES

- Primera** Fomentar la línea de investigación sobre la captura de carbono en otras especies altoandinas, como, por ejemplo, las formaciones queñual, yareta y pajonal, que también poseen un amplio rango de distribución y representatividad en la sierra peruana.
- Segunda** Se recomienda utilizar información que se genere en este estudio para una adecuada planificación y diseño de políticas a nivel local y regional, que impulsen y fortalezcan la conservación y gestión sostenible de la RNSAB.
- Tercera** Es importante destacar que es prioritario que la población sea incentivada en la conservación de especies andinas y altoandinas, no solo por sus características ambientales y biológicas, sino también para que también, haya una promoción por parte del Estado y de gobiernos regionales, con el objetivo de que se puedan implementar mecanismos de retribución por sus servicios ecosistémicos.
- Cuarta** Realzar la política de educación ambiental a nivel educativo e institucional, con el fin de concientizar y promover la importancia de la conservación de la RNSAB y, en especial, del ecosistema de tolares.
- Quinta** Postular a incentivos nacionales e internacionales con fines de conservación del medio ambiente y mercado de bonos de carbono en especies altoandinas.
- Sexta** De acuerdo con los resultados obtenidos en la presente investigación, se evidenció la importancia de mantener una adecuada población de tolares para la sostenibilidad de captura de carbono, además de ser una especie indispensable para el desarrollo del ecosistema. Debido a lo anterior, se recomienda fomentar e incentivar proyectos de inversión concerniente a la reforestación en las áreas con menos cobertura vegetal.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ajacopa Laime, C., Cruz Choque, D., y Huaycho Callisaya, H. (2021). *Caracterización morfológica y descripción botánica de poblaciones de tolares (Parastrephia sp, Baccharis sp, Fabiana sp y Clinopodium sp) en las comunidades del municipio de Patacamaya del Altiplano Central del departamento de La Paz*. *Apthapi*, 7, 2160
- Alejo Rivera, J., Valor Barazorda, F., Pérez Salinas, J., Canales Sierra, L., & Bustinza Urviola, V. (2014). *Manual Técnico N° 2: Manejo de pastos naturales altoandinos*. Lima: Programa de Adaptación al Cambio Climático - PACC Perú.
- Alzérreca, H., Prieto, G., Calle, P., Zarate, V., Cuti, J., ... & López, M. (2002) *Evaluación de cuatro métodos de establecimiento del arbusto thola parastrephia lepidophylla y determinación de la composición de la dieta en llamas y ovinos en praderas de suputholares*. *Uso pastoril en humedales altoandinos*, 41.
- Alvis Ccoropuna, T. (2018). *Almacenamiento de carbono en los humedales altoandinos del centro poblado Chalhuanca, Caylloma–Arequipa, 2017*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Facultad de Ciencias Biológicas, Escuela Profesional de Biología. Arequipa, Perú. 150 p.
- Alzérreca, H., Calle, P., Cuti, J., Laura, J., y Zárate, A. (2002). *Manual de manejo y uso sostenible de la Tola y los Tolares*. La Paz, Bolivia. 10 p.
- Alzerreca, H., Calle, P., y Laura, J. (2002). *Manual de manejo y uso sostenible de la Tola y los Tolares*. Obtenido de http://www.alt-perubolivia.org/Web_Bio/PROYECTO/Docum_bolivia/21.07%20manual.pdf
- Aragón, O.R.A., y López, M.V.A. (2018). *Variación de Humedad Volumétrica del Suelo en Ecosistemas Tolares y Suelos Agrícolas en las Principales Zonas Productoras de Quinoa (Chenopodium Quinoa; Willd.) en el Contexto del Cambio Climático, de los Municipios de Llica, Tomave y Uyuni del Departamento de Potosí*. Obtenido de: <http://ecosaf.org/congreso5/Variaci%C3%B3n%20de%20Humedad%20Volum%C3%A9trica%20del%20Suelo%20en%20Ecosistemas%20Tholares%20y%20Suelos%20Agr%C3%ADcolas%20en%20las%20Principales%20Zonas%20Productoras%20de%20Quinoa.pdf>

- Aranibar, L.F.M. (2015). Estado actual del bosque de *Polylepis* y su eficiencia en la captura de CO₂ en la provincia Tarata, departamento de Tacna. *Ciencia y Desarrollo* (19), 36-43.
- Ayala Flores, G. (2017) INKA UYUS-Resguardadores de la biodiversidad y recarga de bolsones acuíferos. *Revista Estudiantil Agro-Vet*, 59.
- Ávila, G., F. Jiménez, J. Beer, M. Gómez y M. Ibrahim. 2001. Almacenamiento, fijación de carbono y valoración de servicios ambientales en sistemas agroforestales en Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 30: 32–35
- Barrientos Pillaca, G. E. (2021). *Valoración económica del servicio ecosistémico de captura de carbono en “queñua” Polylepis sp., y el almacenamiento de agua en el bosque de Paras, Cangallo–Ayacucho.*
- Beck, S. (1985). Flórmula ecológica de Bolivia. *Ecología en Bolivia* 6: 20–25.
- Brack Egg, A. (1999). *Diccionario enciclopédico de plantas útiles del Perú.*
- Brako, L., y Zarucchi, J. (1993). Catalogue of the Flowering Plants and Gymnosperms of Peru. *Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden* 45: 1–1286.
- Cabrera, A.L. (1968). Ecología vegetal de la Puna. Geocology of the mountainous regions of the tropical Americas (ed. by C. Troll), 91–116 pp. *Colloquium Geographicum* 9, Ferd. Dümmlers Verlag, Bonn, DE.
- Cabrera, A. (1978). *Flora de la provincia de Jujuy. Colección científica del INTA.* Buenos Aires, Argentina
- Choque, G., & Quispe Huanca, J. L. (2013). Evaluación preliminar de soportabilidad y diversidad de praderas nativas de la comunidad de Challacollo, Llica Potosí. *Revista Científica de Investigación INFO-INIAF*, 1, 57.
- Calle Medina, A. (2018). *Conservación de Servicios Ecosistémicos en Microcuencas de Tiquipaya como factor de Resiliencia ante el Cambio Climático.* Obtenido de: http://ddigital.umss.edu.bo:8080/jspui/handle/123456789/28/browse?type=title&sort_by=1&order=ASC&rpp=45&etal=50

- Canqui, C. (2013). *Efecto de enraizadores en la propagación vegetativa de la thola (Parastrephia lepidophylla) en ambiente atemperado (No. CIDAB-T-SB108-C8e)*. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz (Bolivia). Facultad de Agronomía.
- Catorci, A., Piermarteri, K., y Tardella, F.M. (2014). Distribution of the Nurse Species *Pycnophyllum molle* J. Rémy and *P. weberbaueri* Muschl. In the Andean Dry Puna (Arequipa District-Southern Peru): Role of Topographic/Soil Variability and Disturbance Regime. *Polish Journal of Ecology* 62(2): 385–390
- Catorci, A., Velasquez, J.L., Cesaretti, S., Malatesta, L., Tardella, F.M. y Zeballos, H. (2014) How environment and grazing influence floristic composition of dry puna in the southern Peruvian Andes. *Phytocoenologia* 44: 103–119.
- Chase, M.W., Christenhusz, M.J.M., Fay, M.F., Byng, J.W., Judd, W.S., Soltis, D.E., Mabberley, D.J., Sennikov, A.N., Soltis, P.S., y Stevens, P.F. (2016). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 181(1), 1-20.
- Chirinos Espinoza, K. D. R. (2018). *Implicancias de establecer un marco metodológico para identificar, delimitar y zonificar las cabeceras de cuenca en el Perú*. Análisis de la modificación del artículo 75° de la Ley de Recursos Hídricos. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.
- Choque, J. (2001). *Herbario de la flora altoandina. Guía para la colección, herborización e identificación de la diversidad de pastos*. Escuela de Post Grado, Universidad Nacional del Altiplano. Puno. Perú.
- Clotilde Reyna, T. A. (2021). Conservación de biodiversidad *in situ* de th'ulares (*Parastrephia lepidophylla*, *Baccharis incarum* y *Lamphaya Castellani*) como práctica de agricultura sostenible para la seguridad alimentaria del Altiplano Boliviano. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 8(2), 61-71.
- Conti, G., Enrico, L., Jaureguiberry, P., Cuchietti, A., Lipoma, M. L., y Cabrol, D. (2018). El rol de la diversidad funcional en la provisión de múltiples servicios ecosistémicos: Un análisis empírico en el Chaco seco de Córdoba, Argentina central: *Ecosistemas*, 27(3), 60-74. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1491>

- Cristeche, E., y Penna, J. A. (2008). Métodos de valoración económica de los servicios ambientales. *Estudios socioeconómicos de la sustentabilidad de los sistemas de producción y recursos naturales*, 3, 1-55.
- Cruz-Huerta, N., Ortiz-Cereceres, J., del Castillo, F. S., y del Carmen Mendoza-Castillo, M. (2005). Biomasa e índices fisiológicos en chile morrón cultivado en altas densidades. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 28(3), 287-293.
- Ministerio del ambiente. (2017). *Ley de Áreas Naturales Protegidas*. LEY N° 26834. Perú. Obtenido de <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Ley-N%C2%B0-26834.pdf>
- Delgado, L. U. Z., Acevedo, M. F., Castellanos, H., Ramírez, H., y Serrano, J. (2005). Relaciones alométricas y patrones de crecimiento para especies de árboles de la reserva forestal Imataca, Venezuela. *Interciencia*, 30(5), 275-283
- De Ramsar, C. (1971). *Convención relativa a humedales de importancia internacional*.
- Díaz-Franco, R. (2007). Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula* Schl. et Cham. *Madera bosques*, 25-34.
- Echiburu-Chau, C., Pastén, L., Parra, C., Bórquez, J., Mocan, A., y Simirgiotis, M. J. (2017). High resolution UHPLC-MS characterization and isolation of main compounds from the antioxidant medicinal plant *Parastrephia lucida* (Meyen). *Saudi Pharmaceutical Journal*, 25(7), 1032-1039.
- Fernández Cirelli, A., y EAbraham, E. (2002). *El agua en Iberoamérica: de la escasez a la desertificación* (No. 504.45 AGU).
- Flores, S. M. L. (1991). *Las obreras agrícolas: un sujeto social en movimiento*. Nueva Antropología, 11(39), 99-114.
- Fontes, L. M. (1999). Padrões alométricos em espécies arbóreas pioneiras tropicais. Allometric patterns for tropical pioneer tree species. *Scientia Forestalis*, 55, 79-87.
- Fondo ambiental del Perú que brinda alternativas innovadoras para el cuidado del medio ambiente y desarrollo sostenible PROFONANPE – SERNANP. (2010). *Diversidad Biológica de la Reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca*. Lima: Desco.

- Fonseca G, W., Alice G, F., & Rey B, J. (2009). *Modelos para estimar la biomasa de especies nativas en plantaciones y bosques secundarios en la zona Caribe de Costa Rica*. *Bosque* 30 (1), 36-47.
- Galán de Mera, A., Cáceres, C. y Gonzáles, A. (2003). La vegetación de la alta montaña andina del sur de Perú. *Acta Botánica Malacitana* 28: 121–147.
- Galán de Mera, A., Linares Perea, E., Campos de la Cruz, J., Trujillo Vera, C., Villasante Benavides, F. y Vicente Orellana, J.A. (2011). Novedades sobre la vegetación del departamento de Arequipa (Perú). *Arnaldoa* 18: 125–144.
- Galicia, L., Saynes, V., y Campo, J. (2015). Biomasa aérea, biomasa subterránea y necromasa en una cronosecuencia de bosques templados con aprovechamiento forestal. *Botanical Sciences*, 93(3), 473-484.
- García, E. y Beck, S.G. (2006). *Puna*. En: M. Moraes, B. Øllgaard, L.P. Kvist, F. Borchsenius y H. Balslev (eds.). *Botánica económica de los Andes Centrales*. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, 557 p.
- Giraldo, A., Zapata, M., y Montoya, E. (2008). Captura y flujo de carbono en un sistema silvopastoril de la zona Andina Colombiana. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 16(4), 215-220.
- Godínez-Alvarez, Héctor, Jiménez, Miguel, Mendoza, Marleth, Pérez, Fabiola, Roldán, Patricia, Ríos-Casanova, Leticia, y Lira, Rafael. (2008). Densidad, estructura poblacional, reproducción y supervivencia de cuatro especies de plantas útiles en el Valle de Tehuacán, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 79 (2), 393-403
- Gonzáles, P., Cano, A., y Müller, J. (2019). An unusual new record of *Baccharis* (Asteraceae) from the Peruvian Andes and its relation with the northern limit of the dry puna. *Acta botánica mexicana*, (126).
- Granda, P., y Ecológica, A. (2005). *Sumideros de carbono en los Andes ecuatorianos*. Los impactos de las plantaciones forestales del proyecto holandés FACE-PROFAFOR sobre comunidades indígenas y campesinas.
- Gutte, P. (1988). Der anthropogene Einfluss in der Puna-Region Zentralperus. *Flora* 180: 31–36.

- Hayward, M.W. (2009). The need to rationalize and prioritize threatening processes used to determine threat status in the IUCN Red List. *Conservation Biology*, 23(6), 1568-1576.
- Hidalgo, P. (2011). *Determinación de las reservas totales de carbono en un sistema agroforestal de la selva alta de Tingo María*. Aporte Santiaguino, ág-87.
- Hualpa-Lima, M. (2018). *Captura de carbono (CO₂) en dos especies de "Tola" (Parastrephia lepidophylla Wedd) y (Baccharis incarum Wedd) en el sector Llusta distrito de Mazocruz-Puno*. Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ciencias Biológicas, Escuela Profesional de Biología, Puno, Perú. 125 p.
- Hulme, M., Doherty, R., Ngara, T., New, M., y Lister, D. (2001). African climate change: 1900-2100. *Climate research*, 17(2), 145-168.
- Instituto Nacional de Recursos Naturales INRENA. (1985). *Plan Maestro de la Reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca*. Arequipa: INRENA.
- Instituto Nacional de Recursos Naturales INRENA. (2001). *Plan Maestro de la Reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca 2001-2006*. Arequipa: INRENA.
- Instituto Nacional de Recursos Naturales INRENA. (2006). *Plan Maestro de la Reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca 2006-2011*. Primera ed. Arequipa: INRENA.
- Jururo Quispe, M. (2018). *Valorización económica de los servicios ecosistémicos de almacenamiento de agua y carbono en los Bosques de Queñua (Polylepis) del Distrito de Chiguata de la Provincia de Arequipa*.
- Linares, E. (2000). Etnobotánica del transecto Yura-Chivay, Departamento de Arequipa, Perú. *Chloris chilensis revista chilena de flora y vegetación*, 3(1).
- Linares Perea, E. (2005). Flora Andina: Estudio Botánico de Quebradas y Puna entre Arequipa y el Valle del Colca. *Boletín de la Sociedad Geográfica de Lima* 118: 91–144.
- Linares, E. (2000). Etnobotánica del transecto Yura-Chivay, Departamento de Arequipa, Perú. *Chloris Chilensis*, 3(1).
- Lizárraga Medina, J. C. (2004). *Estudios de peligros, vulnerabilidad y riesgos del distrito de San Juan de Tarucani de la provincia y región Arequipa*. Documentos de estudio. Arequipa: PREDES, ECHO - OXFAM.

- Luebert, F. y Gajardo, R. (2005). Vegetación altoandina de Parinacota (norte de Chile) y una sinopsis de la vegetación de la Puna meridional. *Phytocoenologia* 35: 79–128.
- Machaca, J., Montesinos, F.A., Lizárraga, J.C., Ocsa, E., Quispe, F., y Quiroz, G.F. (2010). *Los Tolaes de la reserva nacional de salinas y aguada blanca*. Diversidad biológica de la Reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca, 145-159.
- Maggi, A.E., Di Ferdinando, M., y Barrera, D.F. (2015). *Influencia del fenómeno ENOS sobre la productividad vegetal en dos comunidades vegetales de la Puna Argentina*. In Actas del XII Congreso Nacional de Meteorología CONGREMET XII. Mar del Plata, Argentina (pp. 26-29).
- Martínez (2002), Propagación mediante semilla botánica de *Parastrephia quadrangularis* y *Baccharis tricuneata* en San José de Aymará–Huancavelica, Perú. *Revista Forestal del Perú*, 36(2), 197-210.
- Manrique, R. (1997). *Degradación de los Tolaes (provincias de Arequipa y Caylloma, 1996): evaluación y análisis de sensibilidad*. Tesis Profesional de Biólogo. Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa.
- Manrique, S., Franco, J., Núñez, V., y Seghezzo, L. (2009). Estimación de densidad de biomasa aérea en ecosistemas naturales de la provincia de salta. *AVERMA*, 13(6), 37-45.
- Ministerio del ambiente. Decreto Supremo N.º 43- 2006- AG. (2006). *Aprueban categorización de especies amenazadas de flora silvestre*. El Peruano. 13 de julio de 2006. D.O. N.º 323527.
- Ministerio del ambiente servicios (29 de junio de 2014). El Peruano. *Ley De Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos*. Ley N° 30215 Artículo 3. 1-3 p.
- Ministerio del ambiente MINAM (2015). *Guía de Valoración Económica de Patrimonio Natural*.
- Ministerio del ambiente MINAM (2016). *Guía de Inventario de la Flora y Vegetación*.
- Montero Terry, S. (2006). *Propagación sexual de: Parastrephia quadrangularis, y Baccharis Tricuneata en San José de Aymará - Huancavelica*. Lima, Perú, 2006
- Maldonado-Ortiz, M., López-Serrano, P. M., Valdez-Cepeda, R. D., Mata-González, R., García-González, F., y Martínez-Salvador, M. (2022). Ecuaciones para estimar

biomasa total de candelilla (*Euphorbia antisiphilitica* Zucc.) en Chihuahua. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 13(72), 173-200.

Medina, C. E., Medina, Y. K., y Bocardo, E. F. (2020). Valoración económica del secuestro y almacenamiento de carbono en la puna seca del suroeste del Perú. *Bosque (Valdivia)*, 41(2), 165-172.

Mersey, L., Reinoso, F., y Riquelme, F. (2015). *Experiencias en Propagación y Cultivo de Especies de Plantas Andinas de Ambientes Zonales y Azonales de la Región de Antofagasta (Ii), Chile*.

Millennium Ecosystem Assessment (2005). *MEA. Ecosystems and human well-being: wetlands and water*.

Ministerio de Agricultura y Riego - MINAGRI. (2006). *Decreto Supremo N° 043-2006-AG.- Aprueban categorización de especies amenazadas de flora silvestre*. Retraído de: <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-categorizacion-especies-amenazadas-flora-silvestre>

Ministerio de cultura (2018) Ley N.º 30754, *Ley marco sobre cambio climático*. Disponible en: <https://consultaprevia.cultura.gob.pe/proceso/reglamento-de-la-ley-marco-sobre-cambio-climatico#:~:text=El%2018%20de%20abril%20de,las%20pol%C3%ADticas%20p%C3%BAblicas%20para%20la>

Ministerio del ambiente (1997) Ley N.º 26839, “*Ley sobre la conservación y aprovechamiento sostenible de la diversidad biológica*” Disponible en: <https://sinia.minam.gob.pe/normas/ley-conservacion-aprovechamiento-sostenible-diversidad-biologica#:~:text=Ley%20N%C2%B0%2026839%20.,Sostenible%20de%20la%20Diversidad%20Biol%C3%B3gica.&text=La%20presente%20ley%20norma%20la,l a%20Constituci%C3%B3n%20Pol%C3%ADtica%20del%20Per%C3%BA>.

Ministerio del ambiente (2001). *Ley sobre Conservación y Aprovechamiento Sostenible de la Diversidad Biológica*. Aprobado mediante D.S. N.º 068-2001-PCM

Ministerio del ambiente (2014) Ley N.º 30215 *Ley de mecanismos de retribución por servicios ecosistémicos*. Disponible en: <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Ley-N%C2%B0-30215.pdf>

- Ministerio del ambiente (2019). *Resolución Jefatural SERNANP*. Servicio nacional de áreas naturales protegidas por el estado.
- Ministerio del ambiente. (2005) *Ley N.º 28611, Ley General del Ambiente*. Disponible en: <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Ley-N%C2%B0-28611.pdf>
- Ministerio del ambiente (2014). *RM-409-2014- MINAN*. Guía de Valoración Económica del Patrimonio Natural publicado mediante.
- Molina, S.G. (2018). *El Perú frente al cambio climático: Resultados de investigaciones franco-peruanas*. IRD Éditions.
- Mollocondo Turpo, M. N., y Aguilar Atamari, L. E. (2019). *Estimación de la captura de CO₂ en plantaciones forestales de Polylepis sp, Cupressus spp y Eucaliptus globulus, para mitigar el cambio climático en el Centro de Producción San Juan de Potojani–Puno, 2018*.
- Montero Terry, S. (2006). *Propagación sexual de: Parastrephia quadrangularis, y Baccharis tricuneata, en San José de Aymará-Huancavelica*.
- Montesinos-Tubée, D.B. (2011). Diversidad florística de la cuenca alta del río Tambo-Ichuña (Moquegua, Peru). *Revista Peruana de Biología* 18(1): 119–132.
- Montesinos-Tubée, D.B. (2013). *Flora de los Andes de Moquegua. Etnobotánica de la Cuenca de los ríos Alto Tambo-Ichuña*. CDH-Gold Fields. Lima, Peru. 300 pp.
- Montesinos-Tubée, D.B., Cleef, A.M., y Sýkora, K.V. (2015). The Puna vegetation of Moquegua, South Peru: Chasmophytes, grasslands and Puya raimondii stands. *Phytocoenologia* 45(4): 365–397.
- Montesinos-Tubée, D.B., Sýkora, K.V., Quipuscoa-Silvestre, V., y Cleef, A.M. (2015). Species composition and phytosociology of xerophytic plant communities after extreme rainfall in South Peru. *Phytocoenologia* 45(3): 203–250.
- Mora-Delgado, J., y Holguín, V. A. (2018). Aplicación de modelos matemáticos no lineales para la estimación de biomasa forrajera de Tithonia diversifolia (Hemsl.) A. Gray. *Revista UDCA Actualidad y Divulgación Científica*, 21(1), 43-50.

- Morales, G., Paredes, A., Sierra, P., y Loyola, L. A. (2008). Antimicrobial activity of three *Baccharis* species used in the traditional medicine of Northern Chile. *Molecules*, 13(4), 790-794.
- Morales, J. (1997). *Evaluación de la propagación vegetativa por esquejes en thola (Parastrephia lepidophylla, Weed.) procedente de cuatro zonas del Departamento de Oruro*. (Doctoral dissertation, Tesis Ing. Agr. Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias, Universidad Técnica de Oruro. Oruro, Bolivia. IOOp).
- Navarro, G. (2019). A floristic-ecological classification of the shrublands of the dry Bolivian Altiplano. *Phytocoenologia*, 49(2), 199-208.
- Nina, J. (2015). *Cambios de la cobertura del suelo en la Reserva Nacional*. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/517>
- Niklas, K. J., y Enquist, B. J. (2002). On the vegetative biomass partitioning of seed plant leaves, stems, and roots. *The American Naturalist*, 159(5), 482-497.
- Ñústez López, C. E., Santos Castellanos, M., y Segura Abril, M. (2009). Acumulación y distribución de materia seca de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en Zipaquirá, Cundinamarca (Colombia). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 62 (1), 4823-4834.
- Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales ONERN. (1974). (Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales). *Inventario, evaluación y uso racional de los recursos naturales de la costa: cuencas de los ríos Quilca y Tambo*. ONERN, Lima, Perú.
- Ormachea, G., y de Ugaz, O. L. (1988). Avances en el estudio químico del *Lepidophyllum* Tola. *Revista de Química*, 2(1), 11-14.
- Paca Pantigoso, F., Paca Pantigoso, R., Palao Iturregui, A., Canaza Mamani, D., Bustinza Fernandez, H., Vasquez Pareja, G., Chavez Barbery, M. (2003). *Proyecto de la biodiversidad en la cuenca del lago titicacadesaguadero-poopo-salar de coipasa (TDPS)*. Puno - Peru.
- Picard, N., Saint-André, L., & Henry, M. (2012). *Manual for building tree volume and biomass allometric equations: from field measurement to prediction*. Manual for

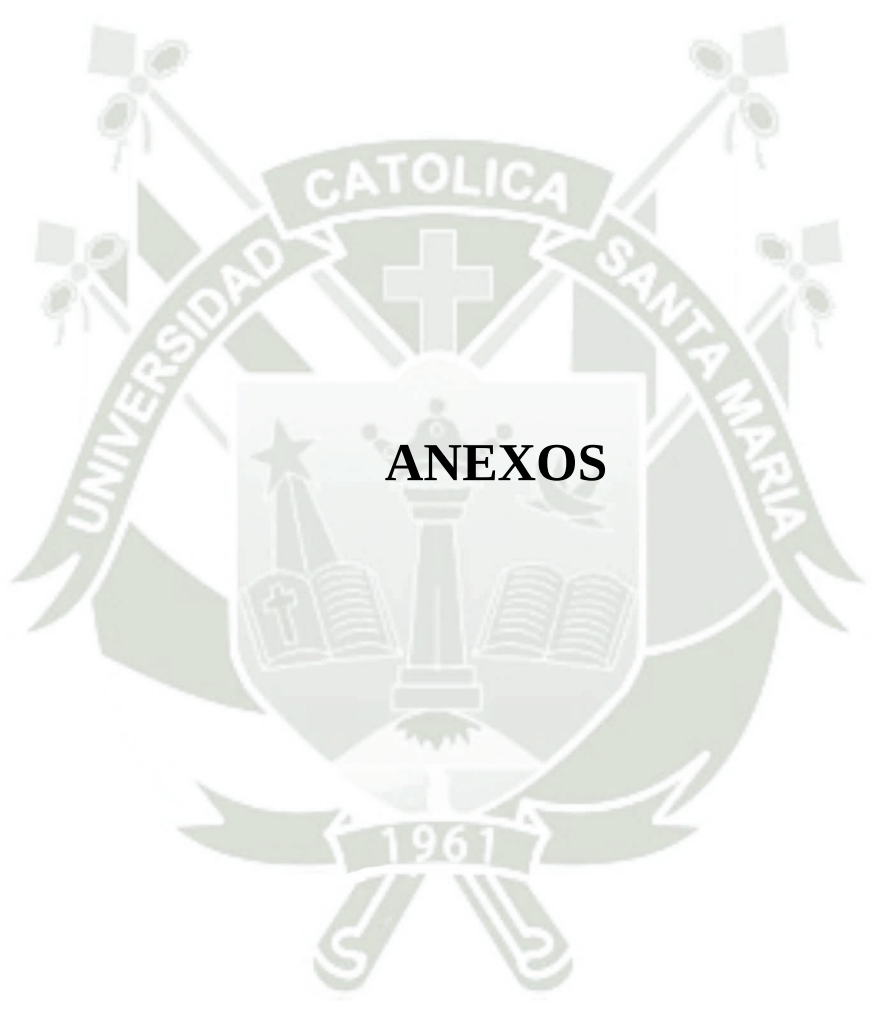
building tree volume and biomass allometric equations: from field measurement to prediction, FAO; Food and Agricultural Organization of the United Nations

- Pérez, C. (2017). Permisos de emisión transables y el control de la contaminación atmosférica en Santiago. *Revista Derecho Administrativo Económico*, (04), 473-485.
- Pinto, A., y Ascencio, F. (1999). *Efecto de la deforestación en la producción y condición del tholar (Parastrephia lepidophylla), Corque-Oruro (No. CIDAB-T-SB193-A7e)*. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz (Bolivia). Facultad de Agronomía.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente PNUMA. (2012). *Documento final de la Conferencia PNUMA 2012*, Río de Janeiro: s.n.
- Polo Espinal, J.C. (2013). El Estado y la Educación Ambiental Comunitaria en el Perú. *Acta Médica Peruana*, 30(4), 141-147.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2012). *Ambiente* Retraído de <<https://www.un.org/es/>>
- Quipuscoa, V., y Huamantupa, I. (2010). *Plantas vasculares de la Reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca, Arequipa-Perú*. Zevallos, H., Ochoa, A. y López E. Diversidad biológica de la Reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca, 63-88.
- Quispe, J. (2015). *Crecimiento de suputula (Parastrephia lepidophylla Cabrera) con abonamiento orgánico en el centro experimental K'iphak'iphani, Viacha*. (Doctoral dissertation, Tesis Ing. Agrónomo. Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia).
- Ramos-Escalante, G., Ley de-Coss, A., Arce-Espino, C., Escobar-España, J. C., Raj-Aryal, D., Pinto-Ruiz, R., ... y Guerra-Medina, C. E. (2018). Ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en el trópico húmedo de Chiapas, México. *Agrociencia*, 52(5), 671-683.
- Reynel, C. (2012). *Guía de identificación de las plantas comunes del derecho de vía del ducto de Perú LNG*. Lima.
- Rojas, F. (2007). *Botánica sistemática*. La Paz - Bolivia.
- Roque, J.E. (2008). Flora vascular y vegetación de la laguna de Parinacochas y alrededores (Ayacucho, Perú). *Revista peruana de biología*, 15(1), 61-72.

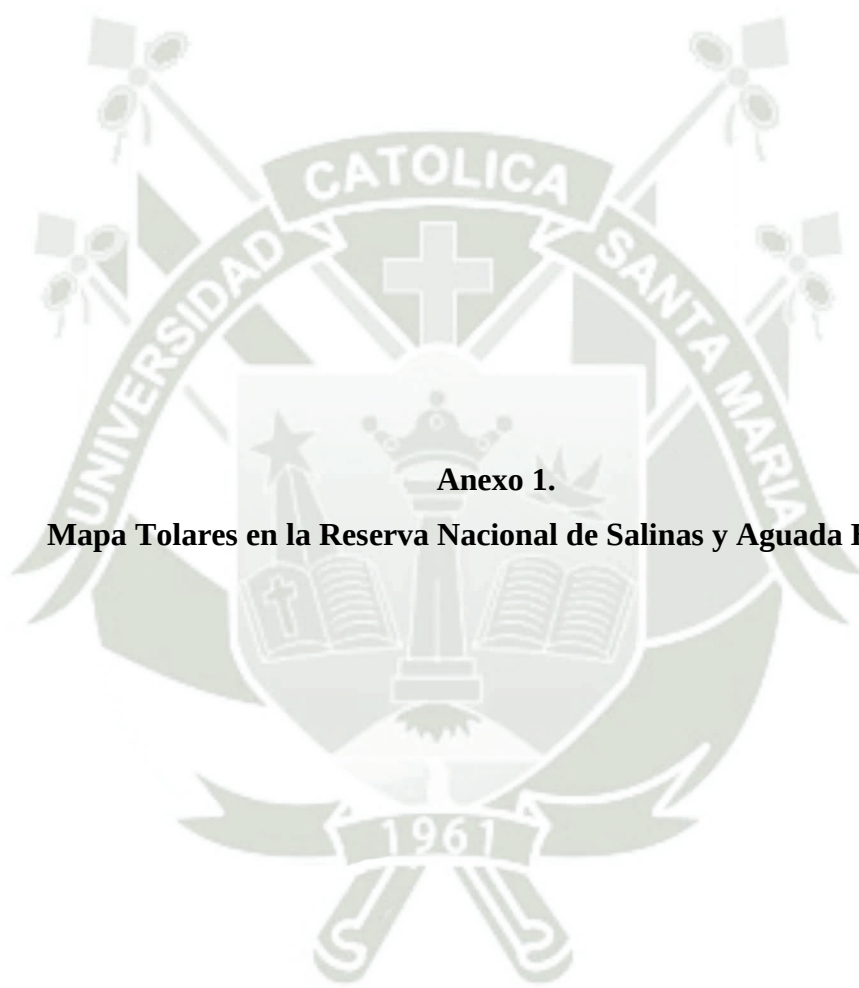
- Ruthsatz, B., y Movia, C. (1975). *Relevamiento de las estepas andinas del noroeste de la provincia de Jujuy República Argentina*. FECIC, Facultad de Agronomía, Univ. Nacional de Buenos Aires.
- Sakai, A., y Fujita, K. (2017). Contrasting glacier responses to recent climate change in high-mountain Asia. *Scientific reports*, 7(1), 1-8.
- Sánchez Zavaleta, C.A. (2016). Evolución del concepto de cambio climático y su impacto en la salud pública del Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 33, 128-138.
- Sarcca-Huisa, Y.R. (2017). *Valoración económica del servicio ecosistémico de secuestro y almacenamiento de carbono en el bosque de Polylepis del Pichu Pichu, Arequipa - 2016*.
- Saugier, B., y Pontailier, J. Y. (2006). El ciclo global del carbono y sus consecuencias en la fotosíntesis en el Altiplano boliviano. *Ecología en Bolivia*, 41(3), 71-85.
- Selva, A., y Pan, E. (2009). *Evaluación del CO₂ almacenado en la vegetación del bosque nativo de Santiago del Estero (Argentina): bases para la conservación de bosques en regeneración*.
- Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado SERNANP. (2012). *Aguada blanca* Obtenido de: <http://www.sernanp.gob.pe/de-salinas-y-aguada-blanca>
- Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado. (2019). *Ministerio del Ambiente*. Perú. Obtenido de: www.sernanp.gob.pe
- Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado SERNANP. (2016). *Plan maestro de la reserva nacional de Salinas y Aguada blanca*. <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/aprueban-plan-maestro-de-la-reserva-nacional-de-salinas-y-ag-resolucion-no-257-2016-sernanp-1432669-1/>
- Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado. (2019). *Reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca*. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/sernanp/informes-publicaciones/1719015-reserva-nacional-de-salinas-y-aguada-blanca>
- Shukla, J., Nobre, C., y Sellers, P. (1990). Amazon deforestation and climate change. *Science*, 247(4948), 1322-1325.

- Smith, B.W., y Brand, G.J. (1992). *Allometric biomass equation for species of herbs, shrubs, and small trees*. North Central Forest Experiment Station, 1-8.
- Solano, P., Cerdán, M., Capella, J.L., Baldovino, S., Monteferri, B., Peña, P., y Sánchez, A. (2011). *Manual de instrumentos legales para la conservación privada en el Perú*. Sociedad Peruana de Derecho Ambiental.
- Soukup, J. (1978). *Vocabulario de los nombres vulgares de la flora peruana y catálogo de los géneros*. Editorial Salesiana, Arequipa, Perú.
- Sullca-Otazú, W.A. (2018). *Determinación de la captura de carbono en suelos forestales de queñual (Polylepis sp.) en la comunidad de Quello Quello, Región Puno*, 2018.
- Tacarpo-Antivo, A.M. (2018). *Estimación del potencial de captura de carbono de las especies de flora predominante de la parte alta del bosque de la comunidad campesina de Tumpa–provincia de Yungay*, 2018.
- Talavera, C., Ortega, A. y Villegas, L. (2010). *Flora y vegetación de la Reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca, Perú*. In: Zeballos, H., Ochoa, J.A. y López, E. (eds.). *Diversidad biológica de la Reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca (Arequipa-Moquegua)*, 89–104 pp. Desco / PROFONANPE / SERNANP, Lima, Perú.
- Terry, S. M. (2021). Propagación mediante semilla botánica de *Parastrephia quadrangularis* y *Baccharis tricuneata* en San José de Aymará–Huancavelica, Perú. *Revista Forestal del Perú*, 36(2), 197-210.
- Tekalign, T., y Hammes, P. S. (2005). Growth and productivity of potato as influenced by cultivar and reproductive growth: II. Growth analysis, tuber yield and quality. *Scientia horticulturae*, 105(1), 29-44
- Thomas, E., Damme, P., y Van Goetghebeur, P. (2010). Some factors determining species diversity of prepuna and puna vegetations in a Bolivian Andes region. *Plant Ecology and Evolution* 143(1): 31–42.
- Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza IUCN. (2006). *2006 IUCN red list of threatened species*. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, Gland, Switzerland.
- Vargas, P. (2009). *El cambio climático y sus efectos en el Perú*. Lima: Banco Central de Reserva del Perú.

- Vásquez, Héctor V., Valqui, Leandro, Orihuela, Julio C. Alegre, Gómez, Carlos, y Maicelo, Jorge L. (2020). Análisis de cuatro sistemas silvopastoriles en Perú: Caracterización física y nutricional de pasturas, composición florística, reserva de carbono y CO₂. *Scientia Agropecuaria*, 11(2), 167-176.
- Vega, W., (2017). Distritos de Arequipa con presencia de las tres especies de tola [Entrevista] (18 mayo 2017).
- Villavicencio-Gutiérrez, E. E., Hernández-Ramos, A., Aguilar-González, C. N., y García-Cuevas, X. (2018). Estimación de la biomasa foliar seca de *Lippia graveolens* Kunth del sureste de Coahuila. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 9(45), 187-207.
- Weberbauer, A. (1945). *El mundo vegetal de los Andes Peruanos*. Estación Experimental Agrícola de la Molina. Dirección de Agricultura, Lima. 250–319 pp.
- Yañez, D., & Rodriguez, J. (27 de Abril de 2012). *Conciencia Eco*. Obtenido de que es una reserva natural: <https://www.concienciaeco.com/2012/ggg04/27/que-es-una-reserva-natural/>
- Yerena Yamallel, J., Jiménez Pérez, J., Marroquín Morales, P., Alanís Rodriguez, E., Cuellar Rodriguez, L., & Aguirre Calderón, O. (2020). Ecuaciones alométricas para estimar biomasa aérea de cinco especies del matorral espinoso Tamaulipeco. *Interciencia*, 382.
- Zeballos, H., Ochoa, J., y López, E. (2010). *Diversidad biológica de la reserva nacional de Salinas y Aguada Blanca*. DESCO, INRENA, PROFONANPE. Arequipa, Perú.



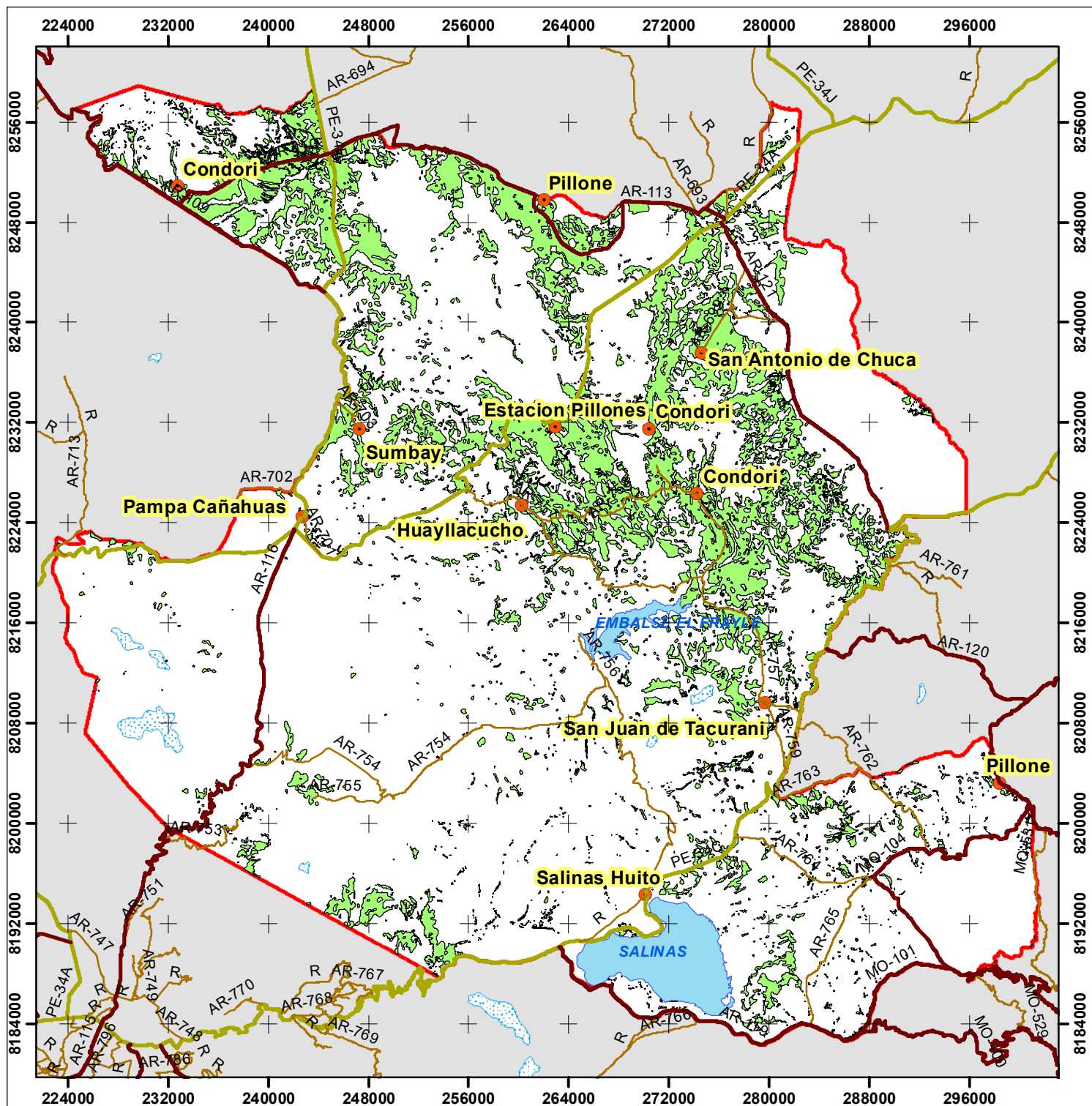
ANEXOS



Anexo 1.

Mapa Tolares en la Reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca

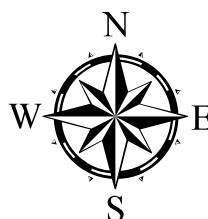
TOLARES EN LA RESERVA NACIONAL DE SALINAS Y AGUADA BLANCA



0 2,5 5 10 15 20 Kilometers

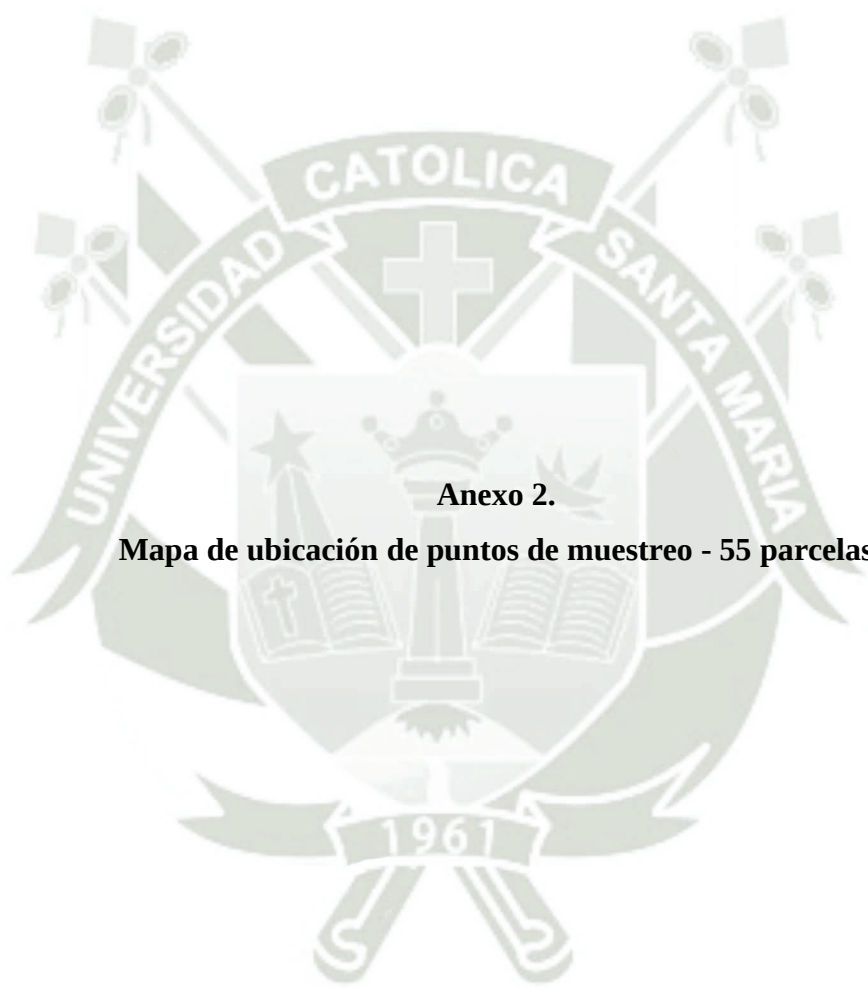
Leyenda

- Red_vial_departamental
- Red_vial_vecinal
- Red_vial_nacional
- Centros Poblados
- Lagos
- Tolares RNSAB
- nevados
- Zona de Reserva



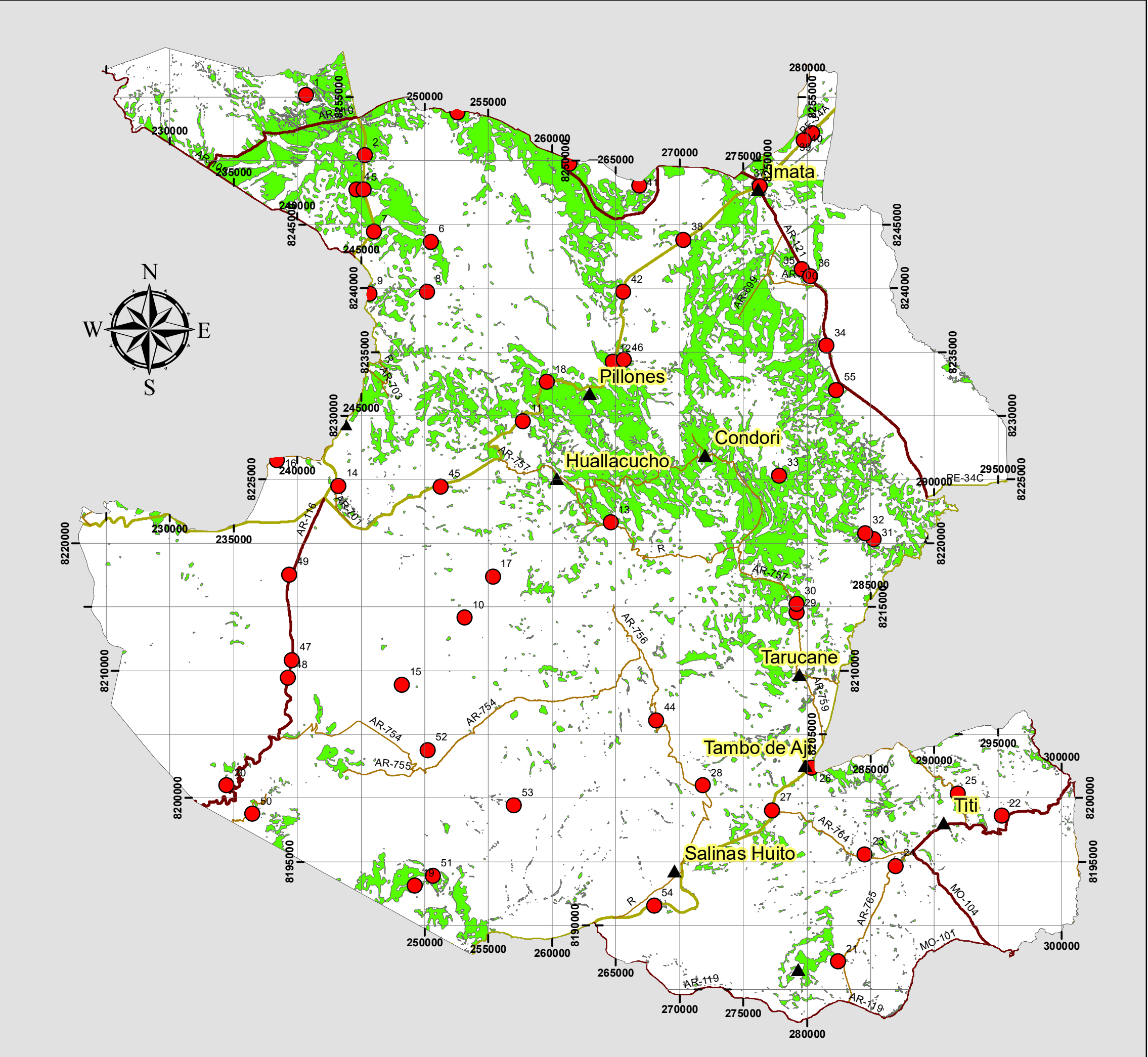
SUPERFICIE DE ECOSISTEMAS	
CATEGORÍA	SUPERFICIE RNSAB (ha)
TOLARES	56'461





Anexo 2.

Mapa de ubicación de puntos de muestreo - 55 parcelas



Leyenda

 Centros_Poblados

 Puntos de muestreo 55

 Red_vial_departamental

 Red_vial_vecinal

 Red_vial_nacional

 TOLARES_RNSAB

 RNSAB

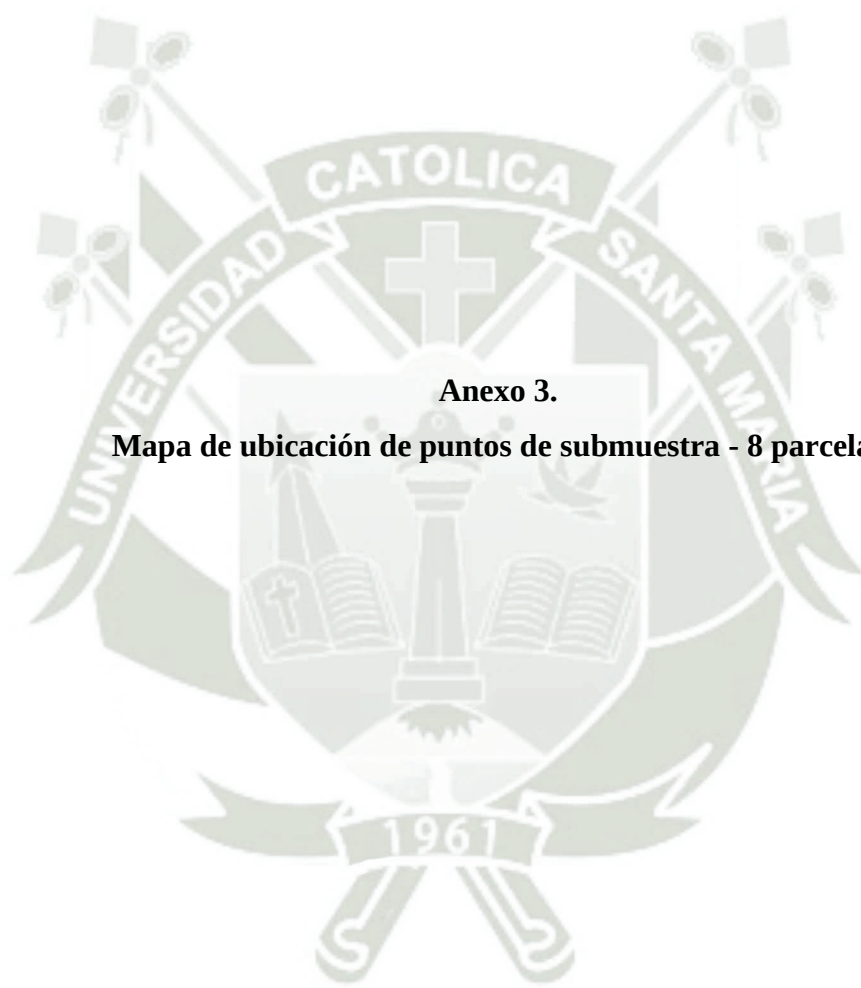
COORDENADAS		
PUNTO	ESTE	NORTE
1	240698	8255155
2	245325	8250434
3	252615	8253776
4	244679	8247736
5	245249	8247723
6	250498	8243638
7	246059	8244416
8	250238	8239725
9	245696	8239573
10	253179	8214139
11	257762	8229549
12	264823	8234223
13	264626	8221595
14	243276	8224471
15	248255	8208855
16	238434	8226507
17	255378	8217342
18	259611	8232624
19	249265	8193089
20	234473	8200974
21	282511	8187137
22	295333	8198577
23	284585	8195539
24	287016	8194623
25	291869	8200334
26	280425	8202364
27	277323	8199001
28	268276	8205293
29	279254	8214557
30	279254	8215230
31	285307	8220285
32	284613	8220762
33	277865	8225275
34	281575	8235472
35	279666	8241460
36	280317	8240939
37	276347	8247990
38	270358	8243781
39	280447	8252134
40	279774	8251614
41	266865	8248055
42	265629	8239681
43	261420	8249769
44	269302	8213886
45	270469	8224526
46	265675	8234356
47	239587	8210790
48	239290	8209424
49	239409	8217503
50	236498	8198732
51	250695	8193862
52	250279	8203722
53	257050	8199386
54	268039	8191545
55	282355	8231996

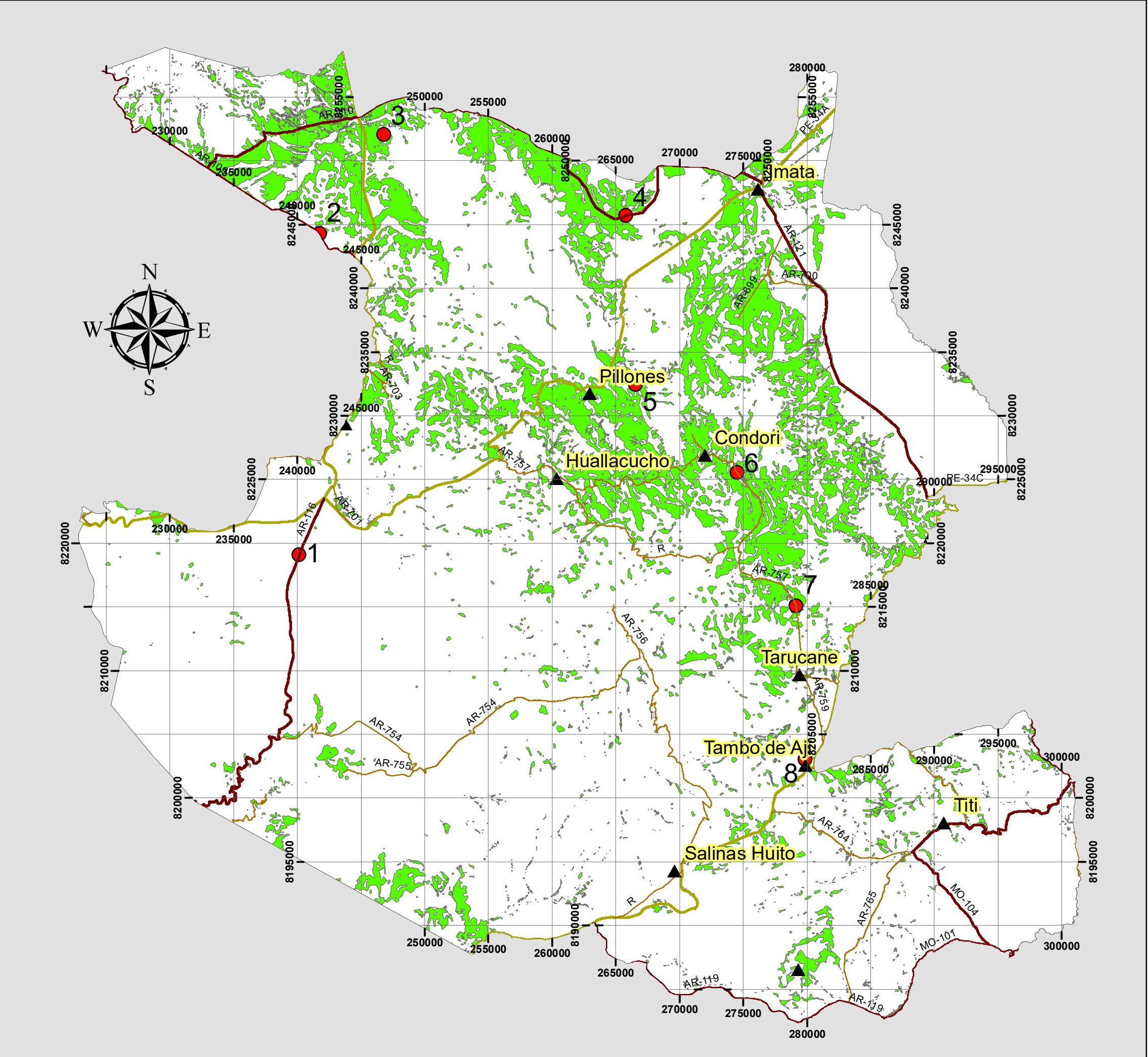
PUNTOS DE MUESTREO

55 PARCELAS

Anexo 3.

Mapa de ubicación de puntos de submuestra - 8 parcelas





Leyenda

Centros_Poblados

Red_vial_departamental

Red_vial_vecinal

Red_vial_nacional

TOLARES_RNSAB

RNSAB

Puntos de muestreo 8

N° PUNTO	NORTE	ESTE	SECTOR	DISTRITO
1	8219072	240137	Loma Colorada, Comunidad	Yanahuara
2	8244275	241760	Quebrada Calli Calli, Anexo de	Yanque
3	8252078	246787	Cutihuasi, Centro poblado	Yanque
4	8245700	265826	Tucalala, Anexo de Pillone	San Antonio de Chuca
5	8232450	266568	Irucala, Anexo de Pillones	San Antonio de Chuca
6	8225532	274549	Pampa Llapatera, Comunidad	San Juan de Tarucani
7	8215044	279180	Carpani, Comunidad	San Juan de Tarucani
8	8202988	279921	Puropuro, Comunidad	San Juan de Tarucani

UBICACIÓN DE PUNTOS DE SUB MUESTRA 8 PARCELAS

Anexo 4.

Resolución Jefatural SERNANP



"Año de la Lucha Contra la Corrupción y la Impunidad"

Arequipa, 03 de Enero del 2019

OFICIO N° 003-2019-SERNANP-RNSAB

Señoritas:
BACH. ERIKA VANESA AVENDAÑO QUISPE
DNI N° 72220521
BACH. ISIS MALÚ URDÁNEGUI UGARTE
DNI N° 73195098
Investigadoras
Universidad Católica de Santa María
Arequipa

Presente.-

Asunto : ENTREGA RESOLUCIÓN JEFATURAL N° 005-2018-SERNANP-DGANP-JEF

Me es grato dirigirme a Ud. para saludarlo cordialmente y por medio del presente hacer de su conocimiento la entrega de la Resolución Jefatural del ANP Reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca N° 005-2018-SERNANP-DGANP-JEF, que autoriza la realización de la investigación denominada: *"Valoración económica del servicio ecosistémico de captura de carbono de toares (Parastrephya lepidophylla, Parastrephya phyllicaeformis y Baccharis tricuneata) en la Reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca, Arequipa - Perú"*, en el ámbito del ANP Reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca, por el periodo de un año; así mismo se tendrá en cuenta el cumplimiento estricto de las responsabilidades y obligaciones asumidas en la presente Resolución Jefatural por parte del equipo de investigación, así como mantener las condiciones de conservación de la biodiversidad al interior del ANP.

Se adjunta la Resolución Jefatural e informe correspondiente, va en folios once (11 folios), para conocimiento y fines.

Sin otro particular y agradeciendo su atención, hago propicia la ocasión para expresarle las muestras de mi consideración más distinguida y estima personal.

Atentamente,



SERVICIO NACIONAL DE ÁREAS NATURALES
PROTEGIDAS POR EL ESTADO
Reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca

Ing. John Machaca Centy
Jefe

JMC/
Cc: Arch.

Sede Arequipa: Coop. Los Independientes A-4 Urb. Independencia Americana Umacollo - Yanahuara - Arequipa Telefax: (054) 257461

Fuente: Ministerio del ambiente (2019)

Anexo 5.

Fichas de recolección de datos

Parcela N.º ____			
Coordenadas		N	
		E	
Especie		Cantidad	
<i>Parastrephia lepidophylla</i>			
<i>Parastrephia lucida</i>			
<i>Baccharis tricuneata</i>			
N.º	Especie	Altura (cm)	Diámetro (cm)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			

Anexo 6.
Cobertura vegetal en puntos de muestreo (55 parcelas)

Punto	Especie			Total
	<i>Parastrephia lepidophylla</i>	<i>Parastrephia lucida</i>	<i>Baccharis tricuneata</i>	
1	0	24	0	24
2	3	42	0	45
3	1	32	0	33
4	43	0	4	47
5	41	0	0	41
6	33	14	3	50
7	15	21	3	39
8	17	20	1	38
9	9	36	4	49
10	71	0	0	71
11	40	10	3	53
12	7	15	0	22
13	26	0	21	47
14	131	0	0	131
15	34	0	6	40
16	141	0	0	141
17	25	0	18	43
18	39	3	0	42
19	45	0	8	53
20	0	0	41	41
21	0	0	31	31
22	0	0	23	23
23	0	0	24	24
24	0	0	24	24
25	0	0	17	17
26	0	0	17	17
27	0	12	54	66
28	0	12	28	40

29	52	0	0	52
30	78	0	0	78
31	39	0	1	40
32	33	0	0	33
33	24	0	0	24
34	0	27	0	27
35	0	10	0	10
36	0	24	0	24
37	0	45	0	45
38	0	33	0	33
39	1	6	0	7
40	0	5	0	5
41	0	39	0	39
42	21	8	4	33
43	45	3	2	50
44	0	9	16	25
45	31	0	1	32
46	1	47	0	48
47	67	0	0	67
48	33	0	5	38
49	69	0	0	69
50	9	0	0	9
51	18	0	3	21
52	25	0	17	42
53	18	0	6	24
54	0	0	15	15
55	0	26	0	26
Total	1285	523	400	2208

Anexo 7.

Cálculo de la submuestra

$$n = \frac{NK^2pq}{e^2(N-1)pq} \quad (1)$$

Dónde:

n = número de unidades de muestreo =?

N = Tamaño de la población = 55

e = error de estimación deseado o permitido (0.1 para 10 % de error)

K = valor de la significancia = 2.32

p = probabilidad de seleccionarse = 0.5

q = probabilidad de no seleccionarse = 0.5

$$n = \frac{55 * 2.32^2 * 0.5 * 0.5}{0.01^2(55 - 1)0.5 * 0.5} = 8$$

Anexo 8.

Cálculo de unidades de muestreo para la extracción por especie

Para el cálculo del número de unidades de muestreo se planteó la siguiente ecuación:

$$n = \left(\frac{t * s}{\epsilon * \bar{x}} \right)^2 \quad (2)$$

Dónde:

n = número de unidades de muestreo

E = error de estimación deseado o permitido (0.1 para 10 % de error)

t = valor de t-student

s = desviación estándar de la muestra

$\bar{x}$ = promedio de la variable

Cálculo de la muestra para la especie *Parastrephia lepidophylla*

La información recolectada para esta especie correspondió a los 100 datos recolectados en los ocho puntos:

$$E = 0.10$$

$$t_{0.10,99} = 1.28$$

$$\bar{x} = 38.1$$

$$s = 17.71$$

$$n = \left(\frac{t * s}{\epsilon * \bar{x}} \right)^2 = \left(\frac{1.28 * 17.71}{0.10 * 38.10} \right)^2 = 35.41 \cong 35$$

Los resultados indicaron que la muestra por extraer en esta especie correspondía a 35.

Cálculo de la muestra para la especie *Parastrephia lucida*

La información recolectada para esta especie correspondió a los 66 datos recolectados en los ocho puntos.

$$E = 0.10$$

$$t_{0.10,99} = 1.28$$

$$\bar{x} = 37.73$$

$$s = 11.26$$

$$n = \left(\frac{t * s}{\epsilon * \bar{x}} \right)^2 = \left(\frac{1.28 * 11.26}{0.10 * 37.73} \right)^2 = 20.64 \cong 21$$

Los resultados indicaron que la muestra por extraer en esta especie correspondía a 21.

Cálculo de la muestra para la especie: *Baccharis tricuneata*

La información recolectada para esta especie correspondía a los 96 datos recolectados en los ocho puntos.

$$E = 0.10$$

$$t_{0.10,99} = 1.28$$

$$\bar{x} = 37.79$$

$$s = 11.74$$

$$n = \left(\frac{t * s}{\epsilon * \bar{x}} \right)^2 = \left(\frac{1.28 * 11.74}{0.10 * 37.79} \right)^2 = 15.83 \cong 16$$

Los resultados indicaron que la muestra por extraer en esta especie correspondía a 16.

Anexo 9.

Altura y diámetro de los especímenes encontrados en las parcelas de la submuestra

Parastrephia lepidophylla

Puntos	N.º	Altura	Diámetro	Puntos	N.º	Altura	Diámetro
Punto 1	1	50	50	Punto 5	35	20	30
	2	15	20		36	20	30
	3	47	35		37	24	60
	4	30	30		38	20	78
	5	70	100		39	20	67
	6	60	70		40	25	45
	7	74	60		41	30	80
	8	50	60		42	25	60
	9	55	50		43	35	70
	10	27	25		44	30	80
	11	90	100		45	20	30
	12	65	100		46	24	40
	13	27	20		47	27	70
	14	64	90		48	25	30
Punto 2	15	40	40	Punto 6	49	30	40
	16	30	50		50	34	70
	17	60	100		51	25	60
	18	30	60		52	25	52
	19	60	50		53	32	63
	20	50	40		54	23	48
	21	45	50		55	30	64
	22	80	100		56	14	15
	23	45	40		57	25	55
	24	30	40		58	20	27
	25	50	50		59	25	45
	26	30	30		60	25	55
	27	30	90		61	20	30
	28	50	70		62	30	60
Punto 5	29	40	100		63	20	35
	30	72	90		64	27	70
	31	70	180		65	25	60
	32	17	15		66	35	60
	33	10	12		67	25	50
	34	22	50		68	15	19

Puntos	N.º	Altura	Diámetro	Puntos	N.º	Altura	Diámetro
Punto 6	69	24	35	Punto 7	85	60	70
	70	22	33		86	50	95
	71	20	50		87	55	50
	72	20	70		88	64	60
	73	20	75		89	55	60
	74	30	94		90	35	70
	75	25	60		91	40	40
	76	31	67		92	65	70
	77	34	63		93	60	110
	78	26	57		94	55	75
Punto 7	79	40	68		95	50	114
	80	34	60		96	65	165
	81	30	60		97	40	32
	82	45	80		98	34	37
	83	50	40		99	63	45
	84	60	60		100	73	90

Parastrephia lucida

Puntos	N.º	Altura	Diámetro	Puntos	N.º	Altura	Diámetro
Punto 2	1	30	40	Punto 2	20	18	26
	2	40	60		21	40	60
	3	28	50		22	20	32
	4	34	25		23	40	70
	5	30	18		24	70	90
	6	35	50		25	50	100
	7	20	40		26	36	36
	8	40	45		27	36	46
	9	27	25		28	34	40
	10	29	39	Punto 3	29	20	27
	11	50	50		30	42	30
	12	36	40		31	30	40
	13	34	50		32	33	24
	14	34	26		33	25	40
	15	40	69		34	25	60
	16	37	44		35	40	40
	17	27	50		36	42	75
	18	39	74		37	30	30
	19	50	120		38	35	75

Puntos	N.º	Altura	Diámetro	Puntos	N.º	Altura	Diámetro
Punto 3	39	57	65	Punto 4	53	12	16
	40	32	50		54	10	10
	41	40	35		55	23	30
	42	37	43		56	30	33
	43	25	35		57	27	35
	44	30	30		58	10	13
	45	23	32		59	24	30
	46	30	50		60	15	35
	47	35	50		61	30	40
	48	30	40		62	33	22
Punto 4	49	21	33		63	30	25
	50	16	16		64	34	69
	51	25	25		65	30	40
	52	15	13		66	36	75

Baccharis tricuneata

Puntos	N.º	Altura	Diámetro	Puntos	N.º	Altura	Diámetro
Punto 2	1	40	50	Punto 5	23	66	120
	2	30	50		24	26	23
	3	40	80		25	25	30
	4	30	60		26	42	58
	5	20	43		27	28	53
	6	27	33		28	43	90
	7	25	15		29	23	38
	8	25	50		30	22	27
	9	20	30		31	50	70
	10	45	50		32	42	66
	11	25	40		33	23	12
	12	25	35		34	20	15
	13	35	50		35	30	22
	14	25	20		36	25	30
	15	30	60		37	20	25
	16	30	33		38	38	70
	17	22	34		39	50	70
	18	30	34		40	20	30
	19	20	27		41	25	20
	20	40	40		42	50	60
	21	32	60		43	40	70
	22	20	37		44	30	40

Puntos	N.º	Altura	Diámetro	Puntos	N.º	Altura	Diámetro
Punto 5	45	30	60		71	50	140
	46	50	80		72	50	75
	47	23	49		73	30	30
	48	35	70		74	40	30
	49	54	56		75	42	50
	50	32	73		76	40	60
	51	40	57		77	35	50
	52	55	60		78	40	100
	53	45	60		79	60	80
	54	55	70		80	56	75
Punto 7	55	35	40		81	45	75
	56	70	90		82	40	70
	57	40	35	Punto 8	83	30	60
	58	55	80		84	40	50
	59	50	65		85	40	80
	60	40	30		86	55	80
	61	46	50		87	42	80
	62	30	30		88	53	63
	63	40	35		89	55	80
	64	55	70		90	33	47
Punto 8	65	60	90		91	39	50
	66	37	60		92	55	86
	67	34	36		93	45	76
	68	40	49		94	39	38
	69	32	42		95	43	60
	70	38	57		96	36	70

Anexo 10.

Cálculo de porcentaje de la masa seca (% MS) y biomasa aérea

Parastrephia lepidophylla

Puntos	N.º	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Peso total húmedo (g)	Peso seco (g)	% MS	Biomasa aérea (g)
Punto 1	1	50	50	1456	900.11	61.82 %	900.11
	2	30	30	805	570.58	70.88 %	570.58
	3	60	70	2897	2296.16	79.26 %	2296.16
	4	27	20	865	569.59	65.85 %	569.59
	5	64	90	3274	2479.07	75.72 %	2479.07
Punto 2	6	30	60	953	678.41	71.19 %	678.41
	7	60	50	1547	1144.78	74.00 %	1144.78
	8	80	100	4475	3433	76.72 %	3433
	9	30	40	912	559.88	61.39 %	559.88
	10	50	70	1625	1166.26	71.77 %	1166.26
Punto 5	11	10	12	37	26.99	72.95 %	26.99
	12	22	50	550	406.18	73.85 %	406.18
	13	25	45	572	430.72	75.30 %	430.72
	14	30	80	989	688.15	69.58 %	688.15
	15	30	80	1005	712.14	70.86 %	712.14
	16	20	30	80	59.86	74.83 %	59.86
	17	24	40	565	419.31	74.21 %	419.31
	18	25	60	631	390.09	61.82 %	390.09
	19	32	63	1108	785.35	70.88 %	785.35
Punto 6	20	20	35	154	122.06	79.26 %	122.06
	21	25	50	598	393.77	65.85 %	393.77
	22	15	19	42	31.8	75.71 %	31.8
	23	20	50	358	254.85	71.19 %	254.85
	24	20	70	548	405.52	74.00 %	405.52
	25	34	63	1120	859.21	76.72 %	859.21
	26	26	57	690	423.59	61.39 %	423.59
	27	25	60	678	486.6	71.77 %	486.6
	28	40	68	1114	812.55	72.94 %	812.55

Puntos	N.º	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Peso total húmedo (g)	Peso seco (g)	% MS	Biomasa aérea (g)
Punto 7	29	30	60	955	705.27	73.85 %	705.27
	30	60	70	2789	2100.12	75.30 %	2100.12
	31	50	95	1878	1306.71	69.58 %	1306.71
	32	40	40	1104	782.29	70.86 %	782.29
	33	55	75	1455	1088.78	74.83 %	1088.78
	34	50	114	2000	1484.3	74.22 %	1484.3
	35	65	165	3542	2189.69	61.82 %	2189.69

Parastrephia lucida

Puntos	N.º	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Peso total húmedo (g)	Peso seco (g)	% MS	Biomasa aérea (g)
Punto 2	1	30	40	280	170.13	60.76 %	170.13
	2	20	40	80	48.57	60.71 %	48.57
	3	40	45	595	445.42	74.86 %	445.42
	4	27	25	235	190.07	80.88 %	190.07
	5	34	50	340	264.52	77.80 %	264.52
	6	39	74	520	413.27	79.48 %	413.27
	7	18	26	76.97	65.81	85.50 %	65.81
	8	70	90	750	542.81	72.37 %	542.81
Punto 3	9	36	36	380	260.78	68.63 %	260.78
	10	34	40	332	224.98	67.77 %	224.98
	11	30	40	294	178.63	60.76 %	178.63
	12	25	60	221	134.18	60.71 %	134.18
	13	40	35	572	428.2	74.86 %	428.2
	14	25	35	197	159.34	80.88 %	159.34
	15	23	32	165	128.37	77.80 %	128.37
Punto 4	16	10	10	10	7.95	79.50 %	7.95
	17	27	35	265	226.58	85.50 %	226.58
	18	30	40	297	214.95	72.37 %	214.95
	19	33	22	324	222.35	68.63 %	222.35
	20	30	25	275	186.35	67.76 %	186.35
	21	30	40	301	182.89	60.76 %	182.89

Baccharis tricuneata

Puntos	N.º	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Peso total húmedo (g)	Peso seco (g)	% MS	Biomasa aérea (g)
Punto 2	1	25	50	398	319.79	80.35 %	319.79
	2	25	40	354	250.35	70.72 %	250.35
	3	30	33	435	322.94	74.24 %	322.94
Punto 5	4	20	15	254	193.56	76.20 %	193.56
	5	30	22	402	314.46	78.22 %	314.46
	6	50	70	894	655.53	73.33 %	655.53
	7	25	20	305	208.94	68.50 %	208.94
Punto 7	8	35	70	456	356.91	78.27 %	356.91
	9	55	80	1875	1392	74.24 %	1392
	10	40	30	341	259.86	76.21 %	259.86
	11	60	90	2114	1653.68	78.23 %	1653.68
Punto 8	12	42	50	875	641.59	73.32 %	641.59
	13	40	100	896	609.86	68.06 %	609.86
	14	40	50	402	323.01	80.35 %	323.01
	15	55	80	1987	1405.21	70.72 %	1405.21
	16	33	47	445	302.89	68.07 %	302.89

Anexo 11.

Cálculo de la biomasa por especie

Para realizar este cálculo se emplearon los valores de la especie que se obtuvieron en los 55 puntos que visitados al inicio del estudio. Después, con la información obtenida se calculó un promedio de la variable altura y se sustituyó en las respectivas ecuaciones

Especie	Especies encontradas en los 55 puntos	Promedio de diámetro	Promedio de altura
<i>Parastrephia lepidophylla</i>	1285	47.91	38.63
<i>Parastrephia lucida</i>	523	33.84	25.88
<i>Baccharis tricuneata</i>	400	53.84	41.62

Las ecuaciones de biomasa por cada especie fueron las siguientes:

Parastrephia lepidophylla

$$Y = 1.2032x^2 - 4.8362x + 295.98 = 1.2032 * 38.63^2 - 4.8362 * 38.63 + 295.98 = 1904.66 \quad (9)$$

Parastrephia lucida

$$Y = 0.1766x^{2.2909} = 0.1766(25.88)^{2.2909} = 304.75 \quad (10)$$

Baccharis tricuneata

$$Y = 3.0752x^2 - 166.39x + 2793.6 = 3.0752 * 41.62^2 - 166.39 * 41.62 + 2793.6 = 1195.38 \quad (11)$$

Especie	Biomasa	
	Gramos	Toneladas
<i>Parastrephia lepidophylla</i>	1904.66	0.001905
<i>Parastrephia lucida</i>	304.75	0.000305
<i>Baccharis tricuneata</i>	1195.38	0.001195

Anexo 12.

Cálculo de la densidad y el stock de carbono

En resumen, al realizar la evaluación de cobertura vegetal con los datos obtenidos en las parcelas de muestreo (55) y en relación con la extensión de tolares, se obtuvo lo siguiente:

Especies	Cobertura vegetal (%)	Extensión ha
<i>Parastrephia lepidophylla</i>	58.20 %	32 859
<i>Parastrephia lucida</i>	23.69 %	13 374
<i>Baccharis tricuneata</i>	18.12%	10 229
Total	100.00 %	56 461

Nota. Elaboración propia.

Para el cálculo de la densidad de carbono se emplearon las siguientes ecuaciones:

$$\text{Densidad del carbono (Tn C /ha)}_{(1,2,3)} = \frac{\text{CCI (Tn)}_{(1,2,3)}}{\text{Extensión del área de tolares (ha)}_{(1,2,3)}} \quad (6)$$

Donde

CCI (Tn) = cantidad de carbono capturado por el individuo

La extensión que se tomó para cada especie se obtuvo con base en el cálculo de cobertura vegetal con relación a la extensión de tolares en la RNSAB, calculados en la tabla anterior. Al sustituir los valores se obtuvo lo siguiente:

Especie	Biomasa (Tn)	Extensión ha	Densidad de carbono (Tn C/ha)
<i>Parastrephia lepidophylla</i>	0.001905	32 859	62.5964
<i>Parastrephia lucida</i>	0.000305	13 374	4.0791
<i>Baccharis tricuneata</i>	0.001195	10 229	12.2237

Anexo 13.

Determinación del stock de carbono por especie

El cálculo de la estimación del servicio ecosistémico por especie se realizó a través de la siguiente ecuación:

$$\text{Stock de carbono (Tn CO}_2\text{ eq)}_{(1,2,3)} = \text{densidad del carbono (Tn C /ha)} * 3.67 \quad (7)$$

Donde:

Tn CO₂ eq = toneladas equivalentes de dióxido de carbono

Especie	Densidad del carbono (Tn C/ha)	CO ₂ eq	Stock de carbono (Tn CO ₂ eq/ha)
<i>Parastrephia lepidophylla</i>	62.5964	3.67	229.7288
<i>Parastrephia lucida</i>	4.0791	3.67	14.9703
<i>Baccharis tricuneata</i>	12.2237	3.67	44.8610

Anexo 14.

Valoración económica del servicio ecosistémico por especie

Para hallar la valoración económica del servicio ecosistémico por especie se empleó la siguiente ecuación:

$$VE = Tn \text{ CO}_2 \text{ eq} * P \quad (8)$$

Donde:

Tn CO₂ eq = toneladas equivalentes de dióxido de carbono

P = precio de toneladas de carbono equivalente.

Precios CO ₂	EUA	CER
Media anual	53,55 €	0,14 €
Enero	33,43 €	0,37 €
Febrero	37,89 €	0,39 €
Marzo	40,87 €	0,42 €
Abril	45,22 €	0,60 €
Mayo	51,99 €	0,00 €
Junio	52,78 €	0,00 €
Julio	53,28 €	0,00 €
Agosto	56,53 €	0,00 €
Setiembre	61,02 €	0,00 €
Octubre	59,43 €	0,00 €
Noviembre	66,04 €	0,00 €
Diciembre	79,72 €	0,00 €

Nota. SENDECO.

Por otro lado, al aplicar la fórmula se obtuvo lo siguiente:

Especie	Estimación del servicio ecosistémico	Precio de CO ₂	Valoración económica
<i>Parastrephia lepidophylla</i>	229.7288	53.55	12 301.977
<i>Parastrephia lucida</i>	14.9703	53.55	801.65957
<i>Baccharis tricuneata</i>	44.861	53.55	2402.3066

