

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Escuela de Posgrado

**MAESTRÍA EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN GESTIÓN
AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE**

**PROPUESTA DE MITIGACIÓN DE LA DEGRADACIÓN
DEL TILLANDSIAL COMO ECOSISTEMA FRÁGIL
DEL DEPARTAMENTO DE TACNA, 2022**

TESIS

PRESENTADA POR:

GRECIA SOLANGE GÓMEZ CÁCERES

Para optar el Grado Académico de:

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

TACNA – PERÚ

2023

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN


ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE

PROPUESTA DE MITIGACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DEL TILLANDSIAL COMO ECOSISTEMA FRÁGIL DEL DEPARTAMENTO DE TACNA, 2022

Tesis sustentada y aprobada el 18 de mayo del 2023; estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE


:
Dr. Nataniel Mario Linares Gutiérrez

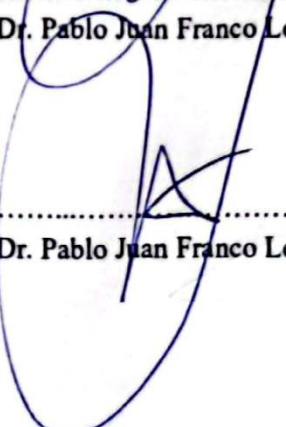
SECRETARIO


:
Dr. César Julio Cáceda Quiroz

MIEMBRO


:
Dr. Pablo Juan Franco León

ASESOR


:
Dr. Pablo Juan Franco León

CERTIFICADO DE SIMILITUD

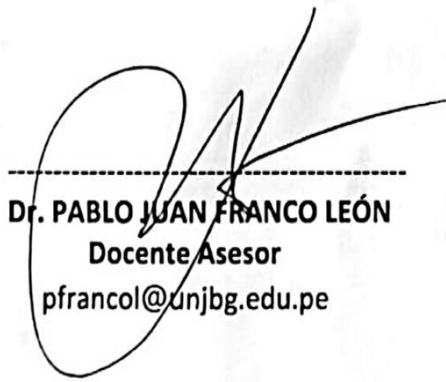
El que suscribe, Dr. Pablo Juan FRANCO LEÓN asesor de Tesis designado y acreditado mediante la Resolución de la Escuela de Posgrado N° 11661-2022-ESPG/UNJBG certifico que:

LA BACHILLER GRECIA SOLANGE GÓMEZ CÁCERES

Ha elaborado y presentado su tesis titulada "PROPUESTA DE MITIGACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DEL TILLANDSIAL COMO ECOSISTEMA FRÁGIL DEL DEPARTAMENTO DE TACNA, 2022" Para optar el grado académico de Maestro con Mención en Gestión Ambiental y Desarrollo Sostenible, la misma que cumple con lo establecido en el Reglamento de Originalidad y de Similitud de trabajos de investigación y producción intelectual, considerando que según revisión, evaluación y análisis realizado a través del software de similitud textual Turnitin, cuenta con el nivel de similitud permitido cuyo porcentaje es 8% Por lo que **CERTIFICO LA SIMILARIDAD** de la tesis, la cual está de acuerdo al nivel **PERMITIDO**, para continuar con los trámites correspondientes y para su publicación en el repositorio institucional.

Se expide el presente certificado, a solicitud de la interesada con fines de continuidad con los trámites correspondientes para su obtención del grado académico señalado en el párrafo precedente.

Tacna, 24 de abril del 2023



Dr. PABLO JUAN FRANCO LEÓN
Docente Asesor
pfrancol@unjbg.edu.pe

DEDICATORIA

A Dios, a mis padres, Marizol y Felipe, a mamá Benita, a mi hermana Milagros, a mi tío César y a toda mi familia, por apoyarme incondicionalmente.

AGRADECIMIENTO

A mi familia que siempre me brindó su apoyo incondicional. A mi mamá Benita, que, con su constancia y ánimos, permitió que concluya la presente tesis, a mi papá Felipe que me brindó la confianza para no rendirme durante el proceso. A mi tío César, por brindarme sus conocimientos y apoyo durante el proceso de investigación. A mi asesor Dr. Pablo Franco por su orientación, paciencia y apoyo al compartir sus conocimientos para concluir la tesis.

ÍNDICE GENERAL

Pág.

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	2
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.2.1 Problema general.....	3
1.2.2 Problemas específicos	3
1.3. JUSTIFICACIÓN EN IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.3.1 Justificación social	3
1.3.2 Justificación económica	3
1.3.3 Justificación técnica-ambiental	4
1.3.4 Importancia de la investigación.....	4
1.4. OBJETIVOS.....	4
1.4.1 Objetivo general.....	4
1.4.2 Objetivos específicos	4
1.5. HIPÓTESIS	5
1.5.1 Hipótesis general.....	5
1.6. VARIABLES.....	5
1.6.1 Identificación de las variables	5
1.6.2 Caracterización (o definición conceptual) de las variables	5
1.6.2.1 Definición conceptual de la VI Deterioro del ecosistema tillandsial	5
1.6.2.2 Definición conceptual de la VD Propuesta de mitigación	5
1.6.3 Definición operacional de las variables	6
1.6.3.1 Definición operacional de la VI Deterioro del ecosistema tillandsial	6
1.6.3.2 Definición operacional de la VD Propuesta de mitigación	6
1.6.4 Operacionalización de las variables	6
1.7. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	7
1.8. DELIMITACIÓN	8

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	9
2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO	9
2.1.1 Antecedentes internacionales	9
2.1.2 Antecedentes nacionales	11
2.1.3 Antecedentes regional o local.....	14
2.2. BASES TEÓRICAS	16
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS	26
2.4. MARCO LEGAL.....	27
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	30
3.1. TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	30
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA DE ESTUDIO.....	30
3.3. ACCIONES Y ACTIVIDADES PARA LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO.....	31
3.4. MATERIALES E INSTRUMENTOS	41
CAPÍTULO IV: RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	42
4.1. DETERMINACIÓN DEL CAMBIO DE USO DE SUELO DEL TILLANDSIAL EN LOS AÑOS 2002, 2012 Y 2022	42
4.2. IDENTIFICACIÓN DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DEL TILLANDSIAL	64
4.3. DETERMINACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE LAS ESPECIES DEL GÉNERO <i>TILLANDSIA</i>	65
4.3.1 Análisis de las variables bioclimáticas importantes para la determinación de la distribución potencial.....	65
4.3.2 Modelamiento para la distribución potencial de las especies del género <i>Tillandsia</i>	88
4.3.3 Propuesta de mitigación para el rescate y reubicación del género <i>Tillandsia</i> (tillandsial) como ecosistema frágil en el departamento de Tacna.	96
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN.....	99
CONCLUSIONES	106
RECOMENDACIONES	107
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	108
ANEXOS	116

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Localización y características de las comunidades de Tillandsia identificadas en el sur del Perú</i>	18
Tabla 2 <i>Características de las comunidades de Tillandsia evaluadas en Tacna</i>	19
Tabla 3 <i>Información geográfica del área de estudio</i>	31
Tabla 4 <i>Funciones de los ecosistemas para la identificación de los servicios ecosistémicos</i>	35
Tabla 5 <i>Uso de suelo del ecosistema tillandsial</i>	58
Tabla 6 <i>Cambio de superficie en hectáreas para las categorías del ecosistema tillandsial</i>	58
Tabla 7 <i>Tasa de cambio de uso de suelo</i>	59
Tabla 8 <i>Listado de los servicios ecosistémicos en el ecosistema tillandsial</i>	64
Tabla 9 <i>Clasificación de los servicios ecosistémicos identificados por tipos o categorías</i>	64
Tabla 10 <i>Importancia de las variables bioclimáticas para la distribución potencial de las especies del género Tillandsia</i>	89
Tabla 11 <i>Criterios usados en el rescate de epífitas</i>	98

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Delimitación del área de estudio</i>	8
Figura 2 <i>Esquema general del género Tillandsia</i>	17
Figura 3 <i>Ubicación del área de investigación</i>	31
Figura 4 <i>Área de estudio tillandsial</i>	32
Figura 5 <i>Descarga del programa MaxEnt</i>	37
Figura 6 <i>Coordenadas de las especies del género Tillandsia</i>	38
Figura 7 <i>Programa MaxEnt Versión 3.4.4</i>	38
Figura 8 <i>Procedimiento para obtener el mapa de distribución potencial</i>	39
Figura 9 <i>Delimitación del botadero municipal año 2002</i>	42
Figura 10 <i>Delimitación del botadero municipal año 2012</i>	42
Figura 11 <i>Delimitación del botadero municipal año 2022</i>	43
Figura 12 <i>Categoría del botadero municipal correspondiente a los años 2002, 2012 y 2022</i> ...43	
Figura 13 <i>Delimitación categoría publicidad año 2002</i>	44
Figura 14 <i>Delimitación categoría publicidad año 2012</i>	44
Figura 15 <i>Delimitación categoría publicidad año 2022</i>	45
Figura 16 <i>Publicidad mediante el uso de la especie del género Tillandsia</i>	45
Figura 17 <i>Categoría publicidad correspondiente a los años 2002, 2012 y 2022</i>	46
Figura 18 <i>Delimitación categoría zona rural año 2002</i>	46
Figura 19 <i>Delimitación categoría zona rural año 2012</i>	47
Figura 20 <i>Delimitación categoría zona rural año 2022</i>	47
Figura 21 <i>Zona rural en el ecosistema tillandsial</i>	48
Figura 22 <i>Categoría zona rural correspondiente a los años 2002, 2012 y 2022</i>	48
Figura 23 <i>Delimitación categoría zona agrícola año 2002</i>	49
Figura 24 <i>Delimitación categoría zona agrícola año 2012</i>	49
Figura 25 <i>Delimitación categoría zona agrícola año 2022</i>	50
Figura 26 <i>Cambio de uso de suelo para zona agrícola</i>	50
Figura 27 <i>Categoría zona agrícola correspondiente a los años 2002, 2012 y 2022</i>	51
Figura 28 <i>Delimitación categoría zona agropecuaria año 2012</i>	51
Figura 29 <i>Delimitación categoría zona agropecuaria año 2022</i>	52
Figura 30 <i>Categoría zona agropecuaria correspondiente a los años 2002, 2012 y 2022</i>	52
Figura 31 <i>Delimitación categoría remoción año 2012</i>	53
Figura 32 <i>Delimitación categoría remoción año 2022</i>	53
Figura 33 <i>Categoría remoción de las especies del género Tillandsia</i>	54
Figura 34 <i>Categoría remoción correspondiente a los años 2002, 2012 y 2022</i>	54
Figura 35 <i>Área total del ecosistema tillandsial año 2002</i>	55
Figura 36 <i>Área total del ecosistema tillandsial año 2012</i>	56
Figura 37 <i>Área total del ecosistema tillandsial año 2022</i>	57
Figura 38 <i>Área total del ecosistema tillandsial en los años 2002, 2012 y 2022</i>	57
Figura 39 <i>Cambio de la superficie en hectáreas en las categorías del ecosistema tillandsial</i> ...59	
Figura 40 <i>Tasa de cambio de uso de suelo</i>	60
Figura 41 <i>Mapa del ecosistema tillandsial año 2002</i>	61
Figura 42 <i>Mapa del ecosistema tillandsial año 2012</i>	62
Figura 43 <i>Mapa del ecosistema tillandsial año 2022</i>	63
Figura 44 <i>Temperatura de promedio anual</i>	65
Figura 45 <i>Oscilación diurna de la temperatura</i>	66
Figura 46 <i>Isotermalidad</i>	67

Figura 47 Estacionalidad de la temperatura	68
Figura 48 Temperatura máxima en el periodo más cálido	69
Figura 49 Temperatura mínima del mes más frío	70
Figura 50 Oscilación anual de la temperatura	71
Figura 51 Temperatura media del mes más húmedo	72
Figura 52 Temperatura media del mes más seco	73
Figura 53 Temperatura media del cuatrimestre más cálido	74
Figura 54 Temperatura media del cuatrimestre más frío	75
Figura 55 Precipitación anual.....	76
Figura 56 Precipitación del periodo más húmedo	77
Figura 57 Precipitación del periodo más seco	78
Figura 58 Estacionalidad de la precipitación	79
Figura 59 Precipitación del trimestre más húmedo	80
Figura 60 Precipitación del trimestre más seco	81
Figura 61 Precipitación del cuatrimestre más cálido	82
Figura 62 Precipitación del cuatrimestre más frío	83
Figura 63 Elevación	84
Figura 64 Presión de vapor.....	85
Figura 65 Radiación.....	86
Figura 66 Velocidad del viento.....	87
Figura 67 Análisis de contribución de variables	90
Figura 68 Curva característica del funcionamiento del receptor (ROC).....	91
Figura 69 Distribución potencial de las especies del género <i>Tillandsia</i>	92
Figura 70 Propuesta de desplazamiento para las especies del género <i>Tillandsia</i>	94
Figura 71 Vista panorámica de la especie <i>Tillandsia landbeckii</i> Phil, distrito de Calana	118
Figura 72 Flor de la especie <i>Tillandsia landbeckii</i> Phil, distrito de Calana	118
Figura 73 Vista panorámica de la especie <i>Tillandsia landbeckii</i> Phil, Centro Poblado Higuerani, distrito de Pachía	119
Figura 74 Especie <i>Tillandsia landbeckii</i> Phil	119
Figura 75 Vista panorámica de la especie <i>Tillandsia landbeckii</i> Phil, distrito Pachía	120
Figura 76 Vista panorámica de la especie <i>Tillandsia purpurea</i> , distrito de Calana	120
Figura 77 Especie <i>Tillandsia purpurea</i> , distrito de Calana.....	121
Figura 78 Flor de la especie <i>Tillandsia purpurea</i> , distrito Calana	121
Figura 79 Vista panorámica de la especie <i>Tillandsia purpurea</i> , distrito de Pachía	122
Figura 80 Flor de la especie <i>Tillandsia purpurea</i> , distrito de Pachía	122
Figura 81 Vista panorámica de la especie <i>Tillandsia werdermannii</i> , distrito Alto de la Alianza	123
Figura 82 Especie <i>Tillandsia werdermannii</i> , distrito Alto de la Alianza	123
Figura 83 Vista panorámica de la especie <i>Tillandsia werdermannii</i> , distrito de Calana	124
Figura 84 Especie <i>Tillandsia werdermannii</i> , distrito de Calana	124
Figura 85 Contaminación por residuos sólidos en el ecosistema tillandsial	125
Figura 86 Botadero municipal.....	125
Figura 87 Zona agropecuaria	126
Figura 88 Zona rural.....	126
Figura 89 Ecosistema tillandsial	127
Figura 90 Vista panorámica señalando el botadero municipal	127

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo diseñar y elaborar una propuesta de mitigación para rescatar y reubicar el género *Tillandsia* (tillandsial) como ecosistema frágil en el departamento de Tacna, para este objetivo, se determinó el cambio de uso de suelo en los años 2002, 2012 y 2022, mediante el análisis de las áreas de cinco categorías como el botadero municipal, publicidad, zona rural, zona agrícola, zona agropecuaria y la remoción de las especies del género *Tillandsia*, luego se identificaron los servicios ecosistémicos brindados por el tillandsial y se determinó la distribución de las especies del género *Tillandsia*, a través de puntos de presencia de las especies y 23 variables bioclimáticas. El cambio de uso de suelo para los años 2002-2012 fue de 0,038 % en el Botadero Municipal, para el intervalo 2012-2022 fue con un incremento de 0,116 % en cuanto al área, la categoría publicidad, tuvo un incremento de 0,004 % en los años 2002-2012, y en el intervalo 2012-2022 se incrementó al 0,008 %, la categoría zona rural tuvo un incremento en el cambio de uso de suelo de 0,23 %, en un intervalo 2012-2022 y para el intervalo 2012-2022 se incrementó a 0,059 %, se añadieron las categorías zona agrícola, zona agropecuaria y remoción a partir del año 2012, la zona agrícola tuvo un incremento de 0,16 %, la zona agropecuaria tuvo un incremento de 0,06 % y la remoción tuvo un incremento de 0,32 %, en cuanto a la pérdida de las especies del género *Tillandsia*, en el periodo 2002 al 2012 hubo una disminución de 0,014 % equivalente a una pérdida de 4 293,61 ha, en cuanto a la propuesta de mitigación para rescatar y reubicar el género *Tillandsia*, se identificaron tres zonas prioritarias de acuerdo al porcentaje de idoneidad del hábitat, teniendo como primer área prioritaria de 81 % - 100 % considerado muy alto para el desarrollo de la especie con 1 441 ha, la segunda área prioritaria se encuentra en los intervalos de 61 % - 80 % considerado alto con 3 342 ha y la tercera área prioritaria con un intervalo de 41 % - 60 % considerado como medio para el desarrollo de las especies del género *Tillandsia* con 7 790 ha, en base al modelamiento de distribución potencial de especies MaxEnt.

Palabras clave: Tillandsial, modelamiento de distribución de especies, área prioritaria.

ABSTRACT

The objective of this research was to design and develop a mitigation proposal to rescue and relocate the genus *Tillandsia* (tillandsial) as a fragile ecosystem in the department of Tacna, for this objective was determined the change of land use in the years 2002, 2012 and 2022, by analyzing the areas of five categories such as the Municipal Landfill, The ecosystem services provided by the tillandsial were identified and the distribution of the species of the *Tillandsia* genus was determined through points of presence of the species and 23 bioclimatic variables. The change in land use for the years 2002-2012 was 0,038 % in the Municipal Landfill, for the interval 2012-2022 it was with an increase of 0,116 % in terms of area, the category publicity, had an increase of 0,004 % in the years 2002-2012, and in the interval 2012-2022 it increased to 0.008 %, the category rural zone had an increase in land use change of 0,23 %, in a 2012-2022 interval and for the 2012-2022 interval it increased to 0,059 %, the categories agricultural zone, farming zone and removal were added as of 2012, the agricultural zone had an increase of 0.16 %, farming zone had an increase of 0,06 % and removal had an increase of 0. 32 %, as for the loss of species of the genus *Tillandsia*, in the period 2002 to 2012 there was a decrease of 0,014 % equivalent to a loss of 4 293. 61 ha, regarding the mitigation proposal to rescue and relocate the genus *Tillandsia*, three priority areas were identified according to the percentage of habitat suitability, having as first priority area of 81 % - 100 % considered very high for the development of the species with 1 441 ha, the second priority area is in the intervals of 61 % - 80 % considered high with 3 342 ha and the third priority area with an interval of 41 % - 60 % considered medium for the development of species of the genus *Tillandsia* with 7 790 ha, based on the modeling of potential distribution of MaxEnt species.

Keywords: Tillandsial, species distribution modeling, priority area.

INTRODUCCIÓN

El tillandsial es un ecosistema que, en estos últimos años ha sufrido impactos antropogénicos como ampliación del botadero municipal, expansión urbana y rural, extracción de material por la formación de canteras, diseño de publicidad, ha permitido la pérdida de la cobertura vegetal, por ende, las especies del género *Tillandsia*.

El ecosistema tillandsial está conformado por las especies *Tillandsia werdermanni*, *Tillandsia purpurea* y *Tillandsia landbeckii*, catalogado como especie endémica *Tillandsia werdermanni*.

En Tacna, el tillandsial se distribuye en las pampas y llanuras del cerro Blanco, Cerro Arrojadero y Sitana de la Zona Este, Centro y Oeste en los distritos de Ciudad Nueva, Alto de la Alianza y Tacna, forma una gran extensión y es uno de los más extensos de territorio nacional, con un rango altitudinal de 690 a 1300 m de altitud.

Para lo cual se necesita que se implemente esta propuesta de gestión, cuya finalidad es la recuperación y protección del ecosistema tillandsial, recuperación de los bienes y servicios que nos brinda y poder mitigar la degradación de este ecosistema.

En el Capítulo I se realiza el planteamiento del problema de investigación, en el cual se plantea el problema principal y problemas secundarios, el objetivo general y específicos y la hipótesis.

El Capítulo II comprende el marco teórico, antecedentes internacionales, nacionales y marco legal.

El Capítulo III comprende el marco metodológico.

El Capítulo IV comprende los resultados sobre el cambio de uso de suelo en los años 2002-2012 y 2012-2022, la identificación de servicios ecosistémicos y la distribución potencial para el desplazamiento de especies del género *Tillandsia*.

El Capítulo V comprende la discusión, finalmente las conclusiones, recomendaciones, bibliografía y anexos.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El cambio climático se refiere a la alteración del clima atribuido por actividades humanas, en la cuales se modifica la composición de la atmósfera (Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático, CMNUCC, 2015). Asimismo, el cambio climático genera efectos como aumento de temperatura, aumento del nivel del mar, sequía, que a su vez ocasiona problemas como migraciones forzadas y pobreza. Ministerio del Ambiente (MINAM, 2015).

El Perú es uno de los siete países de mayor diversidad en la Tierra, conocido como un país megadiverso, en el sur del país se encontraron 94 parches de *Tillandsia*, repartidos en 10 localidades del sur de Perú, abarcando una extensión de 467 km², ubicadas en los departamentos de Arequipa, Moquegua y Tacna (Pauca-Tanco et al., 2020).

En cuanto a su conservación, estas comunidades se encuentran amenazadas por la escasa gestión ambiental, crecimiento demográfico y el cambio climático. Por lo tanto, se pondría en riesgo los servicios ecosistémicos que brinda el tillandsial.

Las comunidades vegetales xerofíticas, donde predomina el género *Tillandsia*, en los desiertos costeros de Perú y Chile, son dependientes de la neblina proveniente del Océano Pacífico, por lo que presentan, a su vez, características únicas que le permiten sobrevivir al singular ecosistema. La distribución de los tillandsiales en el sur de Perú fue evaluada mediante técnicas de teledetección.

Los tillandsiales ubicados en el desierto costero de Perú y Chile, son formaciones vegetales principalmente monogenéricas (compuestas casi en su totalidad por plantas del género *Tillandsia*) con una o más especies. A pesar de la extrema aridez, y a diferencia de las comunidades de lomas, los tillandsiales son ecosistemas de tipo permanente y sobreviven gracias a la neblina costera (Pinto et al., 2006).

La degradación de los tillandsiales por la actividad antropogénica, conlleva a la pérdida de las especies *Tillandsia werdermanni*, *Tillandsia purpurea* y *Tillandsia*

landbeckii, A su vez, se encuentra la pérdida de los servicios ecosistémicos que brinda este ecosistema para nuestra población, por lo que es necesario proponer medidas de mitigación para su posterior conservación.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Problema general

¿Cómo se podría mitigar y reubicar el género *Tillandsia* (tillandsial) como ecosistema frágil en el departamento de Tacna?

1.2.2 Problemas específicos

1. ¿Cómo se determinará el cambio de uso de suelo del tillandsial en los años 2002, 2012 y 2022?
2. ¿Cómo se identificarán los servicios ecosistémicos del tillandsial?
3. ¿Cómo se determinará la distribución potencial de las especies del género *Tillandsia*?

1.3. JUSTIFICACIÓN EN IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 Justificación social

Permitirá mejorar la calidad de vida de la población aledaña a los tillandsiales, mediante la recuperación de los servicios ecosistémicos, contribuirá para la toma de decisiones en la conservación de las especies del género *Tillandsia* de gran importancia para esta zona.

1.3.2 Justificación económica

Según su enfoque ecosistémico y su valoración económica, la presente tesis permitirá que, en las próximas evaluaciones, se realice la valoración económica del tillandsial.

1.3.3 Justificación técnica-ambiental

Permitirá proponer nuevas técnicas de recuperación del ecosistema teniendo en cuenta el desplazamiento en los distritos de Alto de la Alianza, Ciudad Nueva, Pocollay, Calana y Pachía, provincia de Tacna, departamento de Tacna.

1.3.4 Importancia de la investigación

La degradación de los ecosistemas es la pérdida total o parcial de algunos de sus componentes básicos como son el agua, suelo o especies, reduciendo así su capacidad para proporcionar bienes y servicios ecosistémicos (R.M. 148-2019-MINAM).

Los tillandsiales son ecosistemas estables durante todo el año, dependiendo de la niebla costera para sobrevivir (Pinto et al., 2006). Además, este ecosistema es altamente vulnerable a los efectos del cambio climático.

Los servicios ecosistémicos son procesos ecológicos que contribuyen directa o indirectamente al bienestar humano (Arévalo y Aponte, 2020). Conocer los servicios que brinda un ecosistema, permite que exista una mejor interpretación de sus beneficios. Además, esta información se utiliza para generar un valor en el ecosistema, la cual podría ser parte de la gestión ambiental, con el fin de favorecer su cuidado y protección (Tena, 2018).

Por lo tanto, es importante la presente investigación permitirá la recuperación del ecosistema tillandsial y los bienes y servicios ecosistémicos que nos brinda.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general

Diseñar y elaborar una propuesta de mitigación para rescatar y reubicar el género *Tillandsia* (tillandsial) como ecosistema frágil en el departamento de Tacna.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Determinar el cambio de uso de suelo del tillandsial en los años 2002, 2012 y 2022.
2. Identificar los servicios ecosistémicos del tillandsial.
3. Determinar la distribución potencial de las especies del género *Tillandsia*.

1.5. HIPÓTESIS

1.5.1 Hipótesis general

El diseño y propuesta de mitigación permitirá el rescate y reubicación del tillandsial como ecosistema frágil en el departamento de Tacna.

1.6. VARIABLES

1.6.1 Identificación de las variables

VI: Variable Independiente

Variable 1

- Deterioro del ecosistema tillandsial

VD: Variable dependiente

Variable 2

- Propuesta de mitigación

1.6.2 Caracterización (o definición conceptual) de las variables

1.6.2.1 Definición conceptual de la VI Deterioro del ecosistema tillandsial

El deterioro del ecosistema se define como el proceso de degradación y destrucción de ecosistemas debido a las acciones directas e indirectas del hombre. Daño que los seres humanos provocamos a los ecosistemas causando desequilibrio al satisfacer nuestras necesidades (Carabias et al., 2009).

El deterioro del ecosistema se conceptúa como la reducción de manera efectiva la productividad de la tierra, disminución en la calidad de la tierra como consecuencia de su uso y se relaciona directamente a las actividades humanas (Landa et al., 1997).

1.6.2.2 Definición conceptual de la VD Propuesta de mitigación

La propuesta de mitigación del tillandsial tiene la finalidad de proteger a la biodiversidad de los procesos que la amenazan o potencialmente la puede poner en riesgo, protección, cuidado y manejo de los ecosistemas en sus diferentes niveles tróficos para que existan las condiciones de permanencia y salvaguarden sus condiciones naturales (List et al., 2017).

1.6.3 Definición operacional de las variables

1.6.3.1 Definición operacional de la VI Deterioro del ecosistema tillandsial

Fue medida mediante el programa Earth Explorer para determinar el área del tillandsial, usando el Software ArcGIS 10.1 se determinó el cambio de uso de suelo del tillandsial en los años 2002, 2012 y 2022.

1.6.3.2 Definición operacional de la VD Propuesta de mitigación

La propuesta de mitigación se midió a través de los puntos de ocurrencia del género *Tillandsia* y el uso de variables bioclimáticas.

1.6.4 Operacionalización de las variables

Variables	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
Variable Independiente	Recurso natural	Área de cambio de uso de suelo	ha.
Variable 1: Deterioro del ecosistema tillandsial	Actividad humana	<ul style="list-style-type: none"> • Densidad de la población • Crecimiento urbano 	<ul style="list-style-type: none"> • N° hab/Km² • Área en ha
Variable Dependiente Variable 2: Propuesta de mitigación de	Distribución potencial de la especie para la propuesta de mitigación	<ul style="list-style-type: none"> • Bio1 Temperatura promedio anual • Bio2 Oscilación diurna de la temperatura • Bio3 Isotermalidad • Bio4 Estacionalidad de la temperatura • Bio5 Temperatura máxima promedio del periodo más cálido • Bio6 Temperatura mínima del mes más frío • Bio7 Oscilación anual de la temperatura 	<ul style="list-style-type: none"> • °C • °C • % • Adimensional • °C • °C • °C

	<ul style="list-style-type: none"> • Bio8 Temperatura media del mes más húmedo • Bio9 Temperatura media del mes más seco • Bio10 Temperatura media del cuatrimestre más cálido • Bio11 Temperatura media del cuatrimestre más frío • Bio12 Precipitación anual • Bio13 Precipitación del periodo más húmedo • Bio14 Precipitación del periodo más seco • Bio15 Estacionalidad de la precipitación • Bio16 Precipitación del trimestre más húmedo • Bio17 Precipitación del trimestre más seco • Bio18 Precipitación del cuatrimestre más cálido • Bio19 Precipitación del cuatrimestre más frío • Viento • Radiación • Presión de vapor • Elevación 	<ul style="list-style-type: none"> • °C • °C • °C • °C • mm • mm • mm • Coeficiente de variación, CV • mm • mm • mm • mm • mm • mm • m/s • UV • Pa • m.s.n.m.
--	---	---

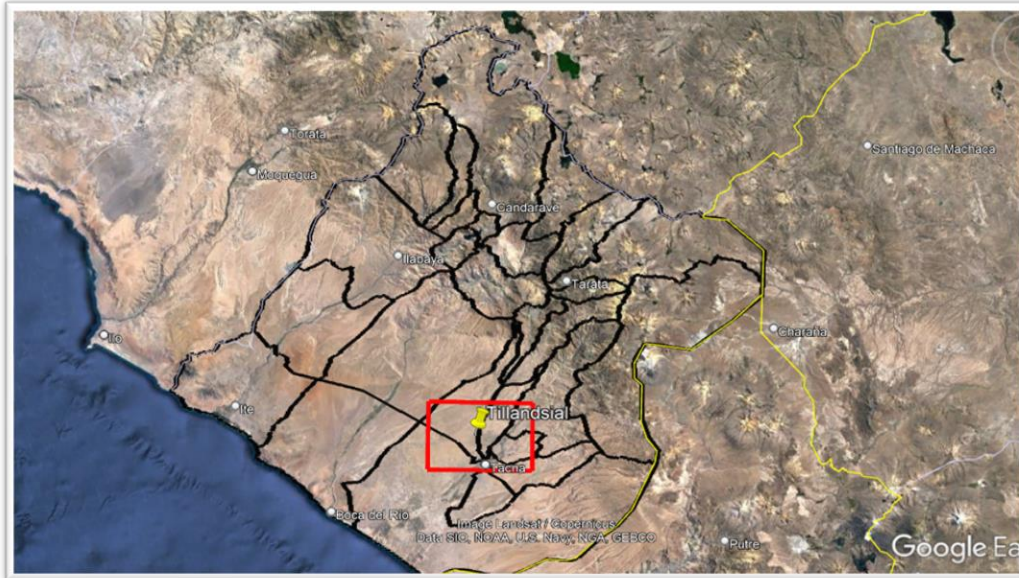
1.7. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Información catastral sobre las áreas, donde se realizó la propuesta para el desplazamiento de las especies.

1.8. DELIMITACIÓN

Figura 1

Delimitación del área de estudio



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

2.1.1 Antecedentes internacionales

Torres et al. (2018), en la investigación “Diversidad y distribución geográfica del género *Tillandsia*. en el Centro del Estado de Veracruz, México”, sustentada en la Institución de enseñanza e investigación en Ciencias Agrícolas, Campus Montecillo, Programa de Postgrado en Botánica, tuvo como objetivo compilar la información del género *Tillandsia* en el centro de Estado de Veracruz, datos de su taxonomía y distribución geográfica, en las cuales el método fue una revisión de los trabajos sobre las características del género *Tillandsia* en el Centro del estado de Veracruz, las colectas fueron en la zona centro del área de estudio, durante los años 2013 al 2016, cuyos resultados fueron que se registraron 44 especies: *Tillandsia bourgaei*, *T. roseoscapa* y *T. polita* var. *elongata*, se registró por primera vez la *Tillandsia lepidospala* y *Tillandsia prodigiosa* y se encontraron nueve híbridos de *Tillandsia* que con los registros aumentó un 30 % la diversidad de Veracruz.

Ayarde y Bulacio (2016), con la investigación “*Tillandsia mollis* var. *reptans* (Bromeliaceae), una novedad del Noroeste de Argentina” cuyo objetivo fue dar a conocer la especie *T. mollis* var. *reptans*, especie que habita en el sector alto de las Sierras de Calilegua, identificada como una nueva especie, para su identificación se usaron métodos clásicos de taxonomía en las cuales se consultaron con los herbarios de Argentina, de Bolivia y se realizaron consultas virtuales de tipos de *T. mollis* depositados en Nueva York y Washington, cuyo característica es que presenta una variedad más pequeña que difiere del tamaño y hábito típico de la colonia, enraizado sobre tallos postrados, cortos, simples o ligeramente ramificados, donde se encuentra en el nivel montano y la zona de pastizales de neblina con una altitud de 2 500 m.s.n.m. que crece sobre paredones rocosos o alcantilados, de acuerdo a la Categoría en la Lista Roja de IUCN, solo se conoce por la localidad Quebrada de Cortaderas, donde presenta muy poca extensión, para lo cual, se incluyó en la categoría de Datos Deficientes (DD).

Büneker y Witeck-Neto (2016), con la investigación “Estudio de Bromeliáceas en la región del curso medio del Río Toropi, Río Grande Do Sul, Brasil”, en esta investigación presentaron nuevas especies de *Bromeliaceae*, aportando para la identificación de nuevas especies para el país, datos ecológicos y el estado de conservación, la metodología que emplearon fue mediante expediciones entre los años 2011 a 2015, mediante la técnica de fotografía y colección de especies en herbarios. En los cuales los resultados fueron que en la zona de estudio se encontró 18 especies y 6 géneros, *Tillandsia* con 9 especies y *Dyckia* fueron las más connotativas, cuatro especies fueron endémicas y dos especies de la región central del estado, en cuanto a la conservación se encontraba en una principal preocupación, ya que se tenía planeado la implementación de pequeñas centrales hidroeléctricas, lo que generó un problema entre ambientalistas y el gobierno; durante el estudio, el campo se vio amenazado por el cultivo y presencia de ganado, con esto se vería muy probable que las especies dejen de existir en un corto tiempo. La presente investigación me demuestra que las especies necesitan de su conservación para evitar la extinción.

Castañeda et al. (2016), con su investigación “Propiedades magnéticas de *Tillandsia recurvata* L. y su uso para el biomonitorio de una zona metropolitana mexicana”, publicada en la revista Ecological Indicators, tuvieron como objetivo estudiar la especie *Tillandsia recurvata* L. como monitor de la contaminación atmosférica en una zona urbana de México, cuya metodología es la recolección de especies en 25 zonas expuestas a la contaminación, cuyos resultados fueron que el valor más alto se encuentra en zonas industriales y de tráfico vehicular, mediante un análisis multivariable, con una susceptibilidad magnética específica de masa hasta $171,5 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$, en cambio en las zonas con poco tráfico vehicular presenta un valor de $1,8 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$, en el estudio se mostró la presencia de minerales ferromagnéticos con tamaños de entre 0,1 a 1,0 μm y la presencia de minerales de alta coercitividad, estos resultados demuestran que la especie *T. recurvata* L. presenta la utilidad como monitor pasivo de contaminación.

Diaz (2018), con la investigación “Mapeo de la calidad ambiental urbana mediante bioindicadores en la ciudad de Santiago de Querétaro” sustentada en la Universidad Autónoma de Querétaro, México, tuvo como objetivo estudiar la calidad ambiental mediante el uso de una especie nativa vegetal mediante un programa de modelación atmosférica, obtuvo resultados de isotopía de nitrógeno y carbono en las muestras de la especie *Tillandsia recurvata*, así como de metales, usó el programa Weather Research and Forecasting para la modelación de variables climatológicas, cuyos resultados fueron que la *Tillandsia* se encontraba influenciada por la luz, temperatura, concentración de CO₂, agua, los valores de carbono fueron desde 16 % a 26 % y la atribución de nitrógeno se debió a la combustión de combustibles fósiles y la producida por animales, los valores máximos tanto de carbono como nitrógeno se encuentran en zonas con mayor tráfico vehicular, se encontró plomo, cromo, zinc y manganeso.

Pinto et al. (2006), con la investigación “Distribución geográfica de tillandsia Lomas en el desierto de Atacama, norte de Chile”, tuvo como objetivo estudio la evaluación de la distribución geográfica *Tillandsia* lomas desde Arica hasta el río Loa, para lo cual empleó un estudio de campo aéreo, análisis de 30 mapas de estudio de campo de la región, análisis de herbarios elaborados en la Universidad de Concepción Desierto de Atacama, obtuvo como resultado el registro de 30 rodales de *Tillandsia* principalmente de la especie *Tillandsia landbeckii* seguido de *Tillandsia marconae* y *Tillandsia virescens*, lo cual permitió llegar a la conclusión que proporcionaron evidencia sobre la amplia distribución de *Tillandsia* en el norte de Chile.

2.1.2 Antecedentes nacionales

Albarracin (2019), con la investigación “Evaluación de las fuentes de agua y su relación con la fenología de *Tillandsia purpurea*, durante los meses de febrero del 2018 a diciembre del 2018, en Pampa del Toro, Majes, Caylloma”, sustentada en la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, tuvo como objetivo el estudio la determinación de la relación que existe entre las fuentes de agua y la fenología de la *Tillandsia purpurea*, para lo cual empleó un diseño no experimental, con una muestra de 10 cuadrículas de esta especie, con un área de 4.5 m², separados por una distancia no menor de 10 m. Para la recolección de la información se aplicó la técnica de planillas de campo y planillas de

evaluación de estados fenológicos, se obtuvo como resultados que la cantidad promedio de agua de neblina captada fue de 5,106 L/0,25m², la cantidad promedio diario fue de 0,170 L/0,25m²/día, la menor cantidad de neblina se registró en el mes de febrero con 0,212 L/0,25m²/mes y el mes con mayor captación fue en agosto con 11,852 L/0,25m²/mes, lo cual permitió llegar a la conclusión que la floración ocurrió durante la época con mayor captación de neblina y precipitación. La presente investigación le permitió plantear que los tillandsiales presenta la función de captación de neblina.

Aponte y Flores (2013), con la investigación “Densidad y distribución espacial de *Tillandsia latifolia* en el tillandsial de Piedra Campana (Lima, Perú)”, tuvieron como objetivo estudiar la densidad y la distribución espacial y su relación con la topografía y el sustrato, para lo cual emplearon 72 parcelas cuadrangulares de 100 m², en las cuales se realizó un conteo del número de rametos y genetos, cuyos resultados fueron de 60,58 genetos/parcela, 235,03 rametos/parcela, la cobertura promedio fue de 9,60 %, cuya proporción de genetos/parcela fue de 3,71 rametos/genetos, encontrándose promedios más altos en orientaciones al noroeste y sur este con ($p < 0,05$), en las cuales dieron por conclusión que la especie *Tillandsia latifolia* es más abundante en las laderas hacia el mar y en sustratos arenosos con poca pendiente, la exposición hacia el mar permite una mayor exposición a la neblina, lo que favoreció la aparición de estas formaciones vegetales, esto no significa que no pueda crecer en zonas poco expuestas sino que la densidad disminuye, los valores de cobertura son bastante bajos para todo el área de estudio.

Arévalo et al. (2020), con la investigación “Almacenamiento de carbono y agua en *Tillandsia latifolia* Meyen en un sector del Tillandsial de Piedra Campana (Lima/Perú)”, publicada en la revista Ecología Aplicada del Departamento Académico de Biología, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima-Perú. El objetivo del estudio fue cuantificar la cantidad de carbono y agua en la especie *Tillandsia latifolia* Meyen, para lo cual evaluaron las laderas y quebradas del área de estudio, se pesó la biomasa aérea y se hallaron 72 parcelas de 100 m², dentro de cada parcela obtuvieron tres subparcelas de 1 m², hallados de manera aleatoria para lo cual se halló el porcentaje de agua y carbono almacenado en la biomasa y el carbono en las muestras de suelo, estos datos fueron procesados mediante la interpolación de kriging, cuyos resultados fueron de

94,10 toneladas (t) (3,63 t/ha), encontrándose mayor carbono almacenado en el suelo (76,50 t) que en la biomasa (17,60 t). La cantidad de agua almacenada fue de 164 000 L, valor es muy importante como reserva de agua para la región desértica.

Ayasta y Juarez (2020), con la investigación “El género *Tillandsia* (*Bromeliaceae*) en el departamento de Lambayeque, Perú”, publicada en la Revista peruana de biología de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. El objetivo es recopilar información de herbarios de universidades de la ciudad de Lambayeque, Cuya metodología se realizó mediante una colección de *Tillandsia* en los herbarios de la Universidad Pedro Ruiz Gallo, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, así como catálogos virtuales y bases de datos del Field Museum, los lugares colección corresponden a ecosistemas de bosque seco de colina, así como bosque húmedo y formación tillandsial. En las cuales se registraron 22 especies de *Tillandsia* L. de los cuales 12 se registraron por primera vez, mientras que 8 taxones se consideran endemismos del Perú. Referente a la conservación en el ámbito del departamento donde ha sido colectada, no se encuentra dentro de ninguna Área Natural Protegida y presenta un riesgo en cuanto a la comercialización. La presente investigación me permite identificar que existen más especies en el país y necesitan de su conservación ya que enfrentan a diferentes impactos.

Cabrera (2016), con la investigación “Almacenamiento de dióxido de carbono (CO₂) en biomasa aérea y necromasa presente en tillandsiales de la Quebrada Inocente - Zona Reservada Lomas de Ancón” sustentada en la Universidad César Vallejo, tuvo como objetivo determinar la cantidad de dióxido de carbono almacenado en la biomasa y necromasa en los tillandsiales, para lo cual empleó un muestreo no probabilístico condicional usando 6 parcelas de 25 m², se colectaron 200 gramos para los porcentajes de materia seca y carbono, cuyos resultados fueron que en toda la zona de estudio se tuvo almacenado 1880,8 t de CO₂ (8.39 t / ha), en las cuales la necromasa tuvo mayor porcentaje de fijación con un 89,23 %, mientras que en la biomasa aérea presenta un 10,77 %, se demostró con el valor $p > 0,05$ que el promedio de CO₂ almacenado en la biomasa aérea no es mayor al registrado en la necromasa las especies 1 más representativas fueron

Tillandsia purpurea y *Tillandsia paleacea*. Esta investigación le permitió identificar el servicio ecosistémico que brinda el tillandsial.

Hinojosa (2019), en la investigación “Composición, distribución y estado de conservación de los tillandsiales de la provincia de Chincha del departamento de Ica enero 2017 – enero 2018” manifestó que describió 7 taxa correspondientes al género *Tillandsia* spp., determinando 5 especies *Tillandsia latifolia*, *Tillandsia marconae*, *Tillandsia paleacea*, *Tillandsia purpurea*, *Tillandsia aff. landbeckii* en el departamento de Ica, los factores que afectaron a la densidad y cobertura se determinaron que éstas no fueron afectadas si el terreno era de ladera o quebrada, los rangos de altura tampoco afectaron a la densidad y cobertura. Los disturbios determinados para los tillandsiales fueron agrupados en botadero municipal, explotación de canteras, actividades de crianza y producción de aves, obras civiles y presencia de población. La presente investigación le permitió comparar en cuanto a la acción antrópica que enfrenta el género *Tillandsia*.

Pauca et al. (2020), en la investigación “Distribución y caracterización de las comunidades de tillandsia (*Bromeliaceae*) en el sur de Perú y su relación con la altitud, pendiente y orientación fue dar a conocer que se determinaron seis especies de tillandsia en el sur del Perú”, siendo *T. purpurea* y *T. capillaris*, especies comunes en las localidades evaluadas, por otro lado, *T. latifolia*, *T. paleaceae*, *T. werdermannii*, y *T. landbeckii*. Mediante técnicas de teledetección, se logró identificar que las comunidades de *Tillandsia*, se localizan en 12 localidades, ocupando una extensión de 467,00 km². El análisis del ráster GDEM muestra que estas comunidades se encuentran desde 450 hasta los 1400 msnm, encontrándose un 96,35 % del área total de la comunidad desde 700 hasta 1300 msnm. En cuanto a la pendiente, un 92,45 % del área que ocupan las comunidades de *Tillandsia* se localizaron en pendientes muy bajas a bajas (0-16,7°C), mientras que un 0,01 % se localiza en pendientes muy altas. Esta investigación permitió identificar la distribución de la *Tillandsia* especialmente de la *T. werdermannii*.

2.1.3 Antecedentes regional o local

Chino (2019), en su investigación “Evaluación del servicio ambiental de captura y almacenamiento de carbono en la comunidad de tillandsial (*Bromeliaceae*) en las pampas de cerro Intiorko en la provincia de Tacna” deduce que, la especie con el mayor

contenido de carbono orgánico es *Tillandsia werdermannii* con 43,13 % seguido por *Tillandsia purpurea* con 42,62 % y de *Tillandsia landbeckii* con un 38,40 %. *Tillandsia werdermannii*, es la especie que almacena la mayor cantidad de carbono en la biomasa vegetal con 2,55 t C/ha. A diferencia de *Tillandsia landbeckii* que almacena 0,01 t C/ha. La presente investigación le permitió identificar el servicio ecosistémico que presenta el tillandsial.

Lazo (2016), con su investigación “Valoración biológica, física y geográfica de la hierba Siempre Viva *Tillandsia werdermannii* para su conservación en la Región de Tacna”, publicada en la revista Veritas Et Scientia. El objetivo del estudio fue establecer la valoración biológica, física y geográfica de *Tillandsia werdermannii* (Siempre Viva) en el tillandsial del Intiorko, la metodología que empleó fue el proceso de información cartográfica donde se obtuvieron imágenes satelitales, usando imágenes Landsat 7 para visualizar las tonalidades de la predominancia de *Tillandsia*, cuyos resultados fueron que la *Tillandsia werdermannii* posee una frecuencia de 93,24 % y una cobertura de 23,7 %, respecto a la valoración física en cuanto al daño antrópico por la presencia de residuos sólidos fue en un 62,65 % de las 83 muestras evaluadas en el distrito de Ciudad Nueva y un índice de conservación de 37,72 % lo cual es deficiente, referente a la valoración geográfica se indica 4 004,06 ha impactadas, es decir el 14,49 % del área del tillandsial del cerro Intiorko que cuenta con 27 643,06 ha, en las cuales están incluidos 1 782,75 ha de residuos sólidos esparcidos por el botadero municipal de Tacna. Esta investigación me permite comparar los resultados obtenidos.

Toledo (2020), en su investigación “Captura de Carbono en la especie *Tillandsia werdermannii* y *Tillandsia purpurea* (Siempre viva) en las Lomas Arrojadero situada entre los Distritos de Inclán y Locumba, Tacna”, indicó que entre las especies analizadas con el mayor contenido de carbono orgánico fue *Tillandsia werdermannii* con un 39,79 % seguido por *Tillandsia purpurea* con un 35,35 %, la especie *Tillandsia werdermannii*, almacena la mayor cantidad de carbono en la biomasa vegetal con 1,78 tn C/ha., *Tillandsia purpurea* es la especie que almacena la menor cantidad de carbono con 1,66 tn C/ha. La cantidad total de carbono almacenado en la biomasa viva y necromasa del Tillandsial en las Lomas de Arrojadero fue de 25,15 tn C, que simbolizó una captura

estimada de 92,30 toneladas de CO₂. Esta investigación le permitió identificar que la *Tillandsia* posee la propiedad de captación de carbono como servicio ecosistémico.

2.2. BASES TEÓRICAS

a) Tillandsia

Tiene una adaptación a zonas desérticas de toda la Costa de Perú y Chile, sometida a la topografía, vientos, son conocidas por su ausencia de raíces, alimentadas por las neblinas costeras, obtienen el agua como sus nutrientes, caso contrario a otras plantas que lo hacen a través del suelo (Aponte y Flores, 2013).

Las tillandsias presentan reproducción asexual y sexual, la reproducción asexual supone un gameto el cual se divide para formar su descendencia, este proceso es ventajoso para el mantenimiento de las poblaciones a corto plazo, porque no representa un gasto energético para las operaciones previas a la fecundación, además de que se evitan los riesgos relacionados a la germinación y establecimiento de plántulas, dos de los estadios más críticos en el ciclo de vida de las especies, en cambio la reproducción sexual necesita dos gametos, los cuales se reúnen y forman el huevo fecundado. La ventaja biológica es que permite la combinación de las características de los dos gametos y sostiene la diversidad genética en las poblaciones, ayudando a evitar la depresión endogámica; es por ello eficaz para el mantenimiento de las poblaciones a largo plazo (Snyder y Richards, 2005).

Figura 2

Esquema general del género Tillandsia



Nota: INECOL – Instituto de Ecología, año 2016

b) Ecosistema tillandsial

Son comunidades vegetales constituidas por una especie del género *Tillandsia* de porte pequeño, que habitan sobre los desiertos de la costa. Tienen una buena resistencia a la sequía sin marchitarse, sobreviven a expensas de su follaje cuya morfología favorece la captación, a través de su superficie, de la escasa humedad atmosférica nocturna y las partículas (Aponte y Flores, 2013).

c) Caracterización de las comunidades de *Tillandsia* en el sur del Perú

Se catalogaron un total de 6 especies *T. latifolia*, *T. purpurea*, *T. capillaris*, *T. werdermannii*, *T. landbeckii* y *T. paleacea*, siendo *T. purpurea* y *T. capillaris* las especies más comunes a lo largo de la costa de sur de Perú. Se encontraron 3 departamentos en 12 localidades del sur del Perú como se puede observar en la Tabla 2 y en la Tabla 3 se da a conocer las características del hábitat en el departamento de Tacna.

Tabla 1

Localización y características de las comunidades de Tillandsia identificadas en el sur de Perú.

Departamento	Localidad	Especies	Coordenadas	Área
Arequipa	Bella Unión	<i>T. purpurea</i> , <i>T. latifolia</i>	15°12' S, 74°47' O	21,05 km
	Yauca	<i>T. purpurea</i> , <i>T. paleacea</i> y <i>T. capillaris</i>	15°33' S, 74°31' O	15,51 km
	Chala	<i>T. purpurea</i>	15°44' S, 74° 9' O	7,57 km
	Cháparra	<i>T. purpurea</i>	15°47' S, 73°55' O	5,09 km
	Ocoña	<i>T. purpurea</i>	16°16' S, 73°10' O	18,94 km
	Camaná	<i>T. purpurea</i> , <i>T. capillaris</i> , <i>T. latifolia</i>	16°32' S, 72°33' O	22,92 km
	Quilca	<i>T. purpurea</i>	16°38' S, 72°19' O	11,72 km
	Islay	<i>T. purpurea</i>	16°54' S, 71°55' O	2,32 km
	Clemesí	<i>T. purpurea</i>	17° 6' S, 71°28' O	24,08 km
	Tacna	Arrojadero	<i>T. werdermannii</i> , <i>T. purpurea</i>	17°42' S, 70°35' O
Tacna		<i>T. werdermannii</i> , <i>T. purpurea</i> , <i>T. landbeckii</i>	17°55' S, 70°13' O	253,80 km

Nota: Distribución y caracterización de las comunidades de Tillandsia (Bromeliaceae) en el sur de Perú y su relación con la altitud, pendiente y orientación (Pauca-Tanco et al., 2020)

Tabla 2*Características de las comunidades de Tillandsia evaluadas en Tacna.*

Dpto.	Especies comunes	Localidad	Localización y descripción del hábitat	Distancia del océano	Elevación (msnm)
Tacna	<i>T. purpurea</i> <i>T. werdermannii</i>	Arrojadero	Localizados entre las localidades de Locumba y Sama Grande, sobre planicies arenosas, laderas y cima de los cerros.	43-50 km	740-1200
	<i>T. werdermannii</i> <i>T. purpurea</i>	Tacna	Considerado el más extenso del sur del Perú. Se desarrollan sobre planicies arenosas, fondo de quebradas, laderas y cimas de los cerros.	35-58 km	630-1300

Nota: Distribución y caracterización de las comunidades de Tillandsia (Bromeliaceae) en el sur de Perú y su relación con la altitud, pendiente y orientación (Pauca-Tanco et al., 2020).

En la Tabla 3 se observan dos localidades llamadas Arrojadero y Tacna, donde se encuentran a una distancia del océano de 43-50 km y 35-58 km, respectivamente, y una altitud de 740 – 1200 y 630 – 1300 msnm, las descripciones del hábitat se desarrollaron sobre planicies arenosas, laderas y cimas de cerros.

d) Especies de *Tillandsia*:

- *Tillandsia werdermannii*:

Es una planta grisácea con raíces ausentes, tallo rastrero con muchas ramificaciones. Sus hojas miden entre 15 a 20 cm de longitud, miden de 10 a 15 mm ancho, el tamaño es variable. Las vainas son apenas visibles y generalmente miden menos de 3 cm de longitud, mientras su inflorescencia es simple y de color amarillo,

los pétalos son libres, lanceoladas, agudos, lisos, amarillos. Su floración en el mes de octubre (Türkowsky, 1976). *Tillandsia werdermannii* es una especie endémica de la costa desértica y patrimonio natural de Tacna. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MINAGRI, 2006).

- *Tillandsia purpurea*

Es una planta peculiar que no posee raíces, porque obtiene agua y los nutrientes por medio de los tricomas foliares (Chávez et al., 2017). Presenta una inflorescencia lilapúrpura, donde brotan las flores de color blanca con la punta de color lila, que permiten la reproducción sexual y también posee reproducción asexual, la *Tillandsia purpurea* es una hierba epífita de hasta 50 cm de altura, tallo semi erecto que termina en flores, hojas delgadas que crecen apiñadas desde la base, de color verde claro, con puntas delgadas, presenta frutos marrones y alargados, con semillas muy pequeñas.

- *Tillandsia landbeckii*

Planta de 30 cm incluido el escapo floral. Tallos delgados agrupados en cojines densos, generalmente con muchas ramificaciones. Hojas lineares cubiertas de escamas. Inflorescencia con 1 a 3 flores de gran variedad de colores: marfil, amarillo, naranja, púrpura y café. Fruto: una cápsula cilíndrica de 2 cm de largo. Semillas con apéndices plumosos. Crece epífita y sobre arena, raro sobre roca, entre los 300 y los 1 500 msnm (Contreras et al., 2022).

e) Servicios ecosistémicos:

Se refiere a los beneficios y servicios que presenta un ecosistema, bajo esta designación se integran los beneficios tangibles e intangibles que se producen en la naturaleza para provecho del ser humano y que, de acuerdo a ciertos criterios, pueden ser valorados económicamente a fin de equiparlo como una manera de actividad económica que implican cambios de uso de suelo, y de esta manera contar con argumentos adicionales para su conservación y manejo (Camacho y Ruiz, 2012).

f) Cambio de uso de suelo

El cambio de uso de suelo es la suma de transiciones físicas del suelo asociado a las acciones humanas, en forma pragmática, el concepto se refiere al resultado de las actividades socioeconómicas que se desarrollan sobre una cobertura del terreno (Bardales, 2019).

g) MaxEnt

MaxEnt es un software para modelar la distribución de especies (Phillips et al., 2006). Forma parte de los modelos de ecología distribucional utilizados en gran medida por el uso de información geográfica en las últimas décadas (Elith & Leathwick, 2009). Es el más popular de todos los modelos, porque supera en precisión predictiva a sus análogos y porque es un software relativamente fácil de usar (Merow et al., 2013) al requerir únicamente datos de presencia de las especies y de variables ambientales para generar los análisis, el enfoque de modelización Maxent puede utilizarse en su forma actual para muchas aplicaciones con conjuntos de datos de sólo presencia, y merece más investigación y desarrollo (Phillips et al., 2006).

h) Variables climáticas

- Bio 1: Temperatura promedio anual

Se obtiene a partir de la temperatura media de cada mes y se promedia el resultado a lo largo de los doce meses, la temperatura media anual se aproxima a los aportes energéticos totales de un ecosistema, la unidad es de grados Celsius.

- Bio 2: Oscilación diurna de la temperatura

Se define como la media de los rangos mensuales diurno de temperatura (máxima mensual menos mínima mensual), esta diferencia se promedia en los doce meses del año. Dado que los datos climáticos son mensuales o promedios mensuales a lo largo de varios años, este cálculo utiliza la fluctuación de temperatura registrada dentro de un mes para capturar el rango de temperatura diurno.

- Bio 3: Isotermalidad

La isotermia cuantifica la magnitud de las oscilaciones entre el día y la noche en relación con las oscilaciones entre el verano y el invierno (anuales).

Cálculo:

$$Bio\ 3 = \frac{Bio\ 2}{Bio\ 7} \times 100$$

La isotermia se obtiene calculando la relación entre el rango diario medio (Bio 2) y el rango de temperatura anual (Bio 7, que se comenta más adelante), y multiplicando por 100.

Un valor de isotermia de 100 indica que el rango de temperatura diario es equivalente al rango de temperatura anual, mientras que cualquier valor inferior a 100 indica un nivel menor de variabilidad de la temperatura dentro de un mes medio en relación con el año.

- Bio 4: Estacionalidad de la temperatura

La cantidad de variación de la temperatura a lo largo de un año determinado basado en la desviación estándar de los promedios mensuales de temperatura.

- Bio 5: Temperatura máxima del mes más cálido

La temperatura máxima mensual que se produce en un año determinado, se calcula seleccionando el valor máximo de temperatura de todos los meses de un año determinado.

Interpretación: Esta información es útil para examinar si la distribución de las especies se ve afectada por las anomalías de temperatura cálida a lo largo del año.

- Bio 6: Temperatura mínima del mes más frío

La temperatura mínima mensual que se produce en un año determinado, se calcula seleccionando el valor mínimo de temperatura de todos los meses de un año determinado.

- Bio 7: Oscilación anual de la temperatura

Definición: Medida de la variación de la temperatura en un periodo determinado.

Cálculo:

$$Bio\ 7 = Bio\ 5 - Bio\ 6$$

Se calcula restando Bio 6 (Temperatura mínima del mes más frío) de Bio 5 (Temperatura máxima del mes más cálido).

- **Bio 8: Temperatura media del mes más húmedo**
Se aproxima a las temperaturas medias que prevalecen durante la estación más húmeda. Para calcular este predictor bioclimático, primero identificamos los tres meses consecutivos con el mayor total de precipitación acumulada.
- **Bio 9: Temperatura media del mes más seco**
Se aproxima a las temperaturas medias que prevalecen durante el trimestre más seco. Para calcular este predictor bioclimático, primero se identifican los tres meses consecutivos con el menor total de precipitación acumulada.
- **Bio 10: Temperatura media del cuatrimestre más cálido**
Este índice se aproxima a las temperaturas medias que prevalecen durante el cuatrimestre más cálido.
Entradas de datos: La temperatura media de cada mes
Para calcular este predictor bioclimático, primero se identifica el cuatrimestre más cálido del año (se suman las temperaturas medias de cada mes del cuatrimestre, se selecciona el cuatrimestre con el valor más alto). Si se producen empates cuatrimestrales, se selecciona el primer cuatrimestre cronológico como el más cálido.
- **Bio 11: Temperatura media del cuatrimestre más frío**
Este índice trimestral se aproxima a las temperaturas medias que prevalecen durante el cuatrimestre más frío.
Entradas de datos: La temperatura media de cada mes
Para calcular este predictor bioclimático, primero identificamos el cuatrimestre más frío del año (se suman las temperaturas medias de cada mes del cuatrimestre; se selecciona el cuatrimestre con el valor más bajo). Si se producen empates trimestrales, se selecciona el primer cuatrimestre cronológico como el más frío.

- **Bio 12: Precipitación anual**
Es la suma de todos los valores totales de precipitación mensual.
Unidad: Milímetros
Entradas de datos: Precipitación total para cada mes
Para calcular este predictor bioclimático se suman los valores de precipitación de cada uno de los 12 meses de un año.
- **Bio 13: Precipitación del periodo más húmedo**
Definición: Este índice identifica la precipitación total que prevalece durante el mes más húmedo.
Unidades: Milímetros
Para calcular este predictor bioclimático, se identifica el mes con el mayor total de precipitaciones acumuladas.
- **Bio 14: Precipitación del mes más seco**
Este índice identifica la precipitación total que prevalece durante el mes más seco.
Unidades: Milímetros.
Para calcular este predictor bioclimático, se identifica el mes con el menor total de precipitaciones acumuladas.
- **Bio 15: Estacionalidad de la precipitación**
Es una medida de la variación de los totales mensuales de precipitación a lo largo del año. Este índice es la relación entre la desviación estándar de la precipitación total mensual y la precipitación total mensual media y se expresa en porcentaje.
- **Bio 16: Precipitación del trimestre más húmedo**
Este índice trimestral se aproxima a la precipitación total que prevalece durante el trimestre más húmedo.
Unidades: Milímetros
Para obtener este predictor bioclimático, primero se identifican los tres meses consecutivos con el mayor total de precipitación acumulada y luego se suman los valores de precipitación de los tres meses. Si se producen empates trimestrales, se selecciona el primer trimestre cronológico como el más lluvioso.

- **Bio 17 Precipitación del trimestre más seco**
Definición: Este índice trimestral se aproxima a la precipitación total que prevalece durante el trimestre más seco.
Para obtener este predictor bioclimático, primero se identifican los tres meses consecutivos con el menor total de precipitación acumulada y luego sumamos los valores de precipitación de los tres meses. Si se producen empates trimestrales, se selecciona el primer trimestre cronológico como el más seco
- **Bio 18: Precipitación del cuatrimestre más cálido**
Se aproxima a la precipitación total que prevalece durante el cuatrimestre más cálido.
Para calcular este predictor bioclimático, primero se identifica el cuatrimestre más cálido del año (se suman las temperaturas medias de cada mes del cuatrimestre; se selecciona el cuatrimestre con el valor más alto). Si se producen empates, se selecciona el primer cuatrimestre cronológico como el más cálido.
- **Bio 19: Precipitación del cuatrimestre más frío**
Se aproxima a la precipitación total que prevalece durante el cuatrimestre más frío.
Unidades: Milímetros
Entradas de datos: La temperatura media y la precipitación total de cada mes
Para calcular este predictor bioclimático, primero se identifica el cuatrimestre más frío del año (se suman las temperaturas medias de cada mes del cuatrimestre; se selecciona el cuatrimestre con el valor más bajo). Si se producen empates, se selecciona el primer cuatrimestre cronológico como el más bajo (Ignizio, 2012).
- **Viento:**
Relación entre la distancia recorrida por el aire y el tiempo que tarda en recorrerla. La velocidad instantánea corresponde al caso de un intervalo de tiempo infinitamente pequeño. La "velocidad media" corresponde al caso en que el intervalo de tiempo es finito (Subdirección de Meteorología, 2019).

- Radiación:
Radiación emitida por la superficie de la Tierra, por la atmósfera y por las nubes. Se denomina también radiación infrarroja térmica o radiación de onda larga (Ministerio del Ambiente, 2018).
- Presión de vapor:
Presión que ejercen las moléculas de vapor de agua en un volumen de aire dado (Gómez, 2015).
- Elevación:
Distancia vertical de un nivel o de un punto sobre la superficie terrestre o fijo a esta superficie, medido a partir del nivel del mar (Subdirección de Meteorología, 2019).

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

a) Especie

Se considera una especie fundamental para la taxonomía como categoría, grupo natural y unidad básica de la evolución, se define como una agrupación de organismos, los cuales comparten, por norma general, una serie de características morfológicas y anatómicas, un estilo de vida, y, bajo alguna manera de reproducción, pueden dar lugar a una descendencia viable y fértil similar a los progenitores (Bousquets y Aguirre, 2000).

b) Población

Se define como un conjunto de organismos (individuos) de la misma especie, esto significa que comparten propiedades biológicas que ocasionan una alta cohesión reproductiva y ecológica del grupo (Consuelo et al., 2013).

c) Ecosistema

Cualquier unidad que incluya todos los organismos en un área dada interactuando con el ambiente físico, de forma que el flujo de energía lleva a definir estructuras tróficas, diversidad biótica y ciclos de materiales (Odum, 1954).

d) Diversidad

Propiedad ecológica debido a la existencia de distintas especies, regiones, ambientes y tipos de hábitat en un determinado tiempo y espacio (Sarmiento, 2001).

e) Mitigación

Se refiere a la reducción de la vulnerabilidad, conjunto de medidas que se pueden tomar para minimizar los impactos ambientales negativos, cualquier participación humana que permita reducir las fuentes, mejorar la captura o secuestro de gases de efecto invernadero (MINAM, 2015).

2.4. MARCO LEGAL

A nivel nacional

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

El Estado está obligado a promover la conservación de la diversidad biológica y de las áreas naturales protegidas, se promueve el uso sostenible de recursos naturales, los recursos naturales son patrimonio de la Nación.

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

Artículo 4.- El Estado es soberano en la adopción de medidas para la conservación y utilización sostenible de los componentes de la diversidad biológica.

Artículo 5.- El Estado promueve la priorización de acciones de conservación de ecosistemas, especies y genes, privilegiando un alto valor ecológico, económico, social y cultural, identificados en la Estrategia Nacional sobre Diversidad Biológica, la prevención de la contaminación y degradación de los ecosistemas terrestres y acuáticos, mediante prácticas de conservación y manejo.

Artículo 13.- El Estado promueve el establecimiento e implementación de mecanismos de conservación in situ de la diversidad biológica, tales como la declaración de Áreas Naturales Protegidas y el manejo de otros ecosistemas naturales, para garantizar la conservación de ecosistemas, especies y genes en su lugar de origen.

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

La norma aprueba la categorización de las especies amenazadas de flora silvestre en el Perú en base a los criterios y categorías de IUCN. En esta lista *Tillandsia werdermannii* se encuentra clasificada y categorizada En Peligro (EN) de extinción.

A nivel regional

- a) Ordenanza Regional N° 028-2009-CR/GOB.REG.TACNA que fue modificada por la Ordenanza regional N° 036-2009-CR/GOB.REG. TACNA.

Se declara de interés y patrimonio regional las especies de la flora regional de Tacna que incluye entre otras especies a la *Tillandsia werdermannii* como patrimonio regional por encontrarse en Peligro de Extinción en la región.

- b) Ordenanza Regional N° 012-2011-CR/GOB.REG.TACNA

Crea el Sistema Regional de Áreas Naturales Protegidas de Tacna (SIRANP). Es un instrumento de gestión para la conservación de la diversidad biológicas y tiene como finalidad asegurar la continuidad de los procesos ecológicos y evolutivos, dentro de áreas suficientemente extensas y representativas de cada una de las unidades ecológicas de la región.

- c) Ordenanza Regional N° 012-2011-CR/GOB.REG.TACNA

Se identifican 8 sitios prioritario de conservación -SPC en la región Tacna. El gobierno regional de Tacna ha identificado y ha propuesto 8 sitios prioritarios de conservación regional. Entre los 8 sitios prioritarios, el tillandsial del Intiorko se encuentra considerado dentro uno de ellos. Los nuevos sitios prioritarios de conservación propuesto son: Quebrada de burros, Lomas de Tacahuay, tillandsiales de Intiorko, Valle de Cinto, Cabecera de la Cuenca del Caplina, Bofedales de Huaytire, Zona Baja de Candarave y Alto Perú- Tripartito.

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

- e) Estudio de la estructura comunitaria, función ecosifisiológica, red trófica y propuesta de conservación del Tillandsial de Intiorko (2012). Proyecto SNIP N° 233717 “Mejoramiento del servicio de monitoreo e información ambiental”. Gerencia de Recursos Naturales y Gestión de Medio Ambiente, Gobierno Regional de Tacna. g) Informe: Evaluación Poblacional de Tillandsia werdermannii (2009). Proyecto SNIP N° 46073 “Desarrollo de capacidades para la conservación de la Flora y Fauna amenazada en la Región Tacna”. Gerencia de Recursos Naturales y Gestión de Medio Ambiente, Gobierno Regional de Tacna.
- f) Resolución Gerencial General Regional N° 206-2014-GGR/GOB. REG. TACNA, en las cuales el Tillandsial se considera como área de Conservación Regional de Tillandsia y Zona Intangible.
- g) Resolución Ejecutiva Regional N° 469-2013-P. R/GOB. REG. TACNA, proyecto Resguardo y colocación de paneles de madera, en terreno de propiedad del Gobierno Regional de Tacna, en las cuales se justifica la necesidad de proteger, resguardar y custodiar el terreno de propiedad del Gobierno Regional de Tacna y del Estado.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación es aplicada según Arévalo (2019) ya que su objetivo es la aplicación o empleo de conocimientos obtenidos, luego de establecer y organizar la práctica basada en esta investigación. Se hace uso de los resultados de investigación para conocer la realidad de una forma rigurosa y sistemática. El diseño de investigación es descriptiva cuantitativa, porque no se manipulan las variables y se estudia al fenómeno de igual forma a como se muestra en su entorno original.

Respecto al diseño de investigación, el desarrollo fue no experimental, según Hernández et al. (2014) está referido a los estudios sin la alteración intencionada de variables y en los que sólo se observan los fenómenos en su contexto natural para después analizarlos. En este punto, es necesario mencionar que las variables no serán manipuladas, sino que, se analizará la superficie de tillandsiales deforestadas en los años 2002, 2012 y 2022 en el departamento de Tacna.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA DE ESTUDIO

- Población:

La población de estudio estuvo constituida por el tillandsial (especies del género *Tillandsia*) en los años 2002, 2012 y 2022.

- Muestra de estudio:

Se utilizó el muestreo no probabilístico. Un estudio exploratorio, la selección de la muestra se realizó por convicción y facilidad de acceso. Según (Hernández et al., 2014) el muestreo no probabilístico por conveniencia es cuando la muestra es accesible durante el tiempo de duración de la investigación, estos elementos no dependen de la probabilidad, si no que el investigador escoge cuales son las características que cumplen con el propósito de su investigación. La muestra será igual a la población.

3.3. ACCIONES Y ACTIVIDADES PARA LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO

Información del área de estudio

El área de estudio comprende los distritos de Alto de la Alianza, Ciudad Nueva, Pocollay, Calana y Pachía, correspondientes a la provincia y departamento de Tacna.

Tabla 3

Información geográfica del área de estudio

Área de estudio	Descripción
Coordenadas	367610.76 E, 8018201.05 S
Zona	19
Altitud	1029 msnm
Departamento y provincia	Tacna
Distritos	Alto de la Alianza, Ciudad Nueva, Pocollay, Calana y Pachía.

Figura 3

Ubicación del área de investigación

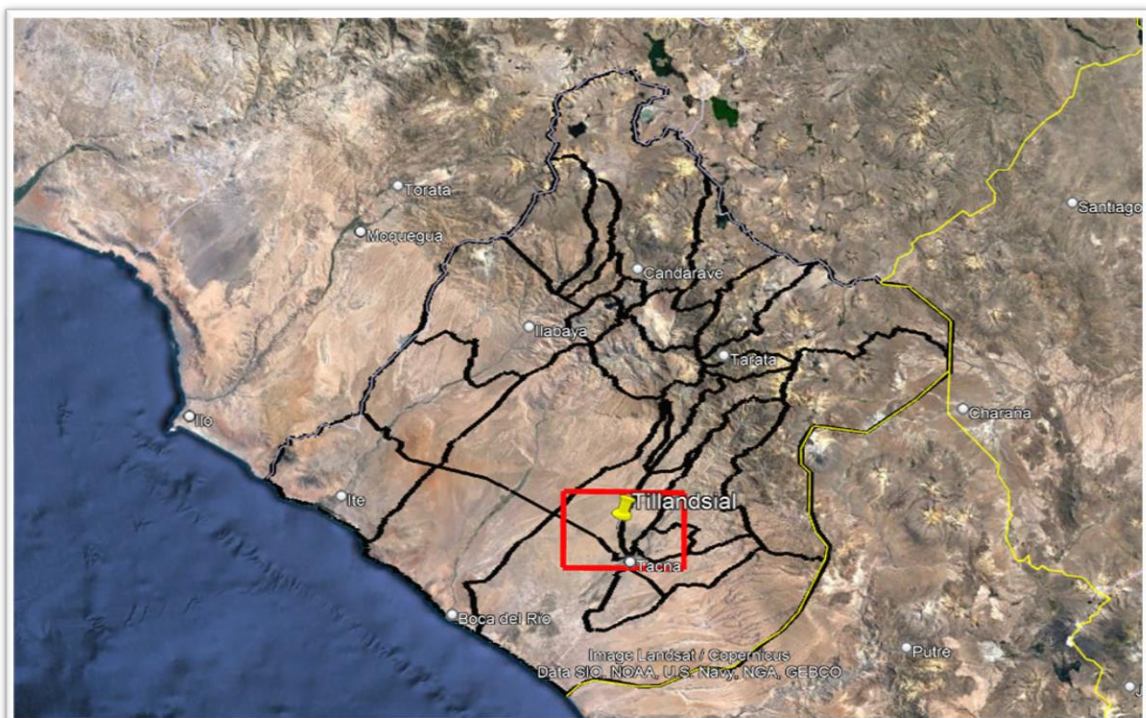
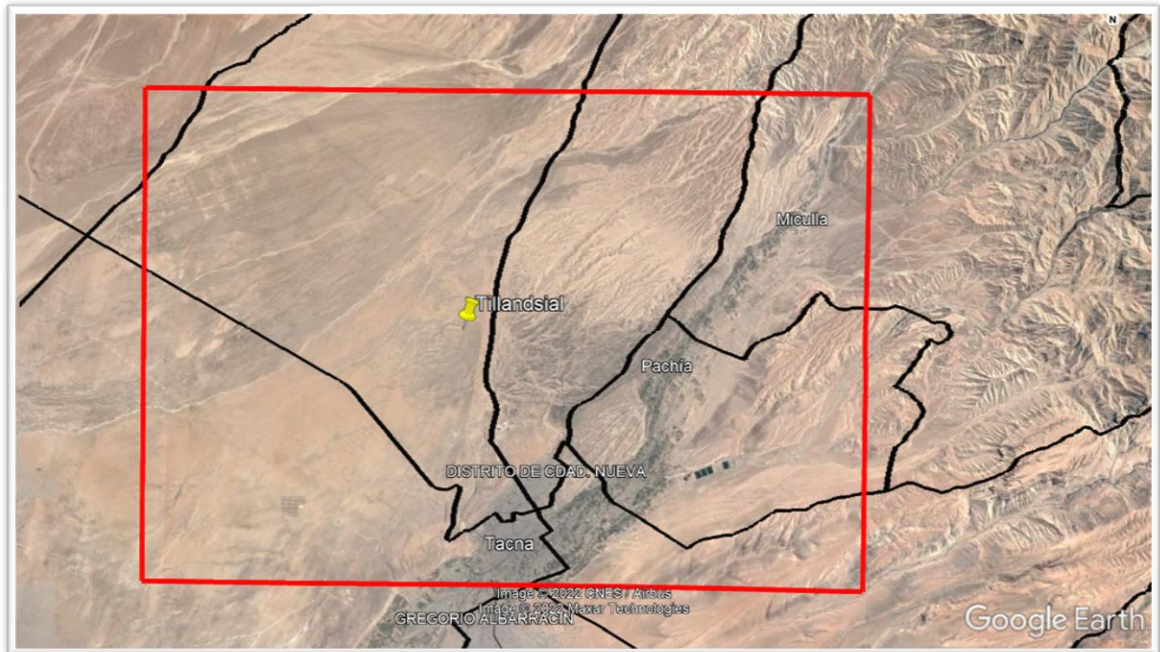


Figura 4

Área de estudio tillandsial



Fase 1: Recopilación de datos

- Para el análisis del cambio de uso de suelo del área de estudio del tillandsial se obtuvieron imágenes satelitales extraídas del programa Google Earth correspondientes a los años 2002, 2012 y 2022.
- Los datos de las variables ambientales fueron proporcionados por la base de datos WorldClim, que es una de las referencias más empleadas a la hora de disponer de variables ambientales cartográficas, y de carácter climático, en el análisis de modelos de distribución potencial de especies.
- Se obtuvo el estudio especializado sobre servicios ecosistémicos del departamento de Tacna teniendo en cuenta, la Guía Metodológica para la Elaboración de los Instrumentos Técnicos Sustentatorios para el Ordenamiento Territorial, según R.M N° 135-2013-MINAM, proporcionado por el Gobierno Regional.

Fase 2: Fase de campo

- Para el trabajo en campo se realizaron siete visitas entre los meses de agosto, setiembre y octubre del año 2022, en las cuales se registraron puntos GPS en cada zona de observación, se anotaron en una hoja de recolección de datos.
- Para el trabajo de campo se realizarán siete visitas entre los meses de agosto, septiembre y octubre del año 2022 en el tillandsial, en los distritos comprendidos de Alto de la Alianza, Ciudad Nueva, Pocollay, Calana y Pachía, provincia de Tacna, se registraron puntos GPS en cada zona de observación para la identificación de especies, posteriormente se anotarán en una hoja de recolección de datos la fecha, hora de inicio, hora fin, tipo de ecosistema, evaluador, el nombre de la especie, las coordenadas del punto (X, Y), altitud y observaciones. Con el fin de recabar información de la distribución espacial de las especies del género *Tillandsia*.

Fase 3: Fase Gabinete

- a) Determinación del cambio de uso de suelo del tillandsial en los años 2002, 2012 y 2022.
 - En el programa Earth Explorer Pro se delimitó el área del tillandsial del año 2002.
 - Se delimitó el tillandsial a través de polígonos para determinar el área del ecosistema en los años 2002, 2012 y 2022, se realizó en el servidor Earth Explorer Pro.
 - Se crearon polígonos por categorías de actividad antrópica divididos en publicidad, creación de caminos, delimitación de lotes, delimitación del botadero municipal y agrupamiento de tillandsiales correspondientes a los años 2002, 2012 y 2022, con el fin de determinar la extensión por cada categoría y su posterior comparación.
 - Importación y exportación de Google Earth a ArcGIS 10.1. en los años 2002, 2012 y 2022: Una vez obtenidos los polígonos se importaron y exportaron en el programa ArcGIS, se definirán el sistema de coordenadas en “Data Frame Properties” y se seleccionaron las coordenadas proyectadas WGS 1984 Complex UTM Zone 19N, luego se usará la herramienta ArcToolbox, luego se seleccionará

“From KML” ya que el formato de Google Earth es en “.kml” y eligió la opción de “KML To Layer” para poder convertir el formato y se pueda observar en el programa ArcGIS.

- Se seleccionó el archivo KML de los polígonos a interpretar, la segunda opción se seleccionó una carpeta para guardar el archivo, y se pudieron visualizar los shapes de polígonos en el programa ArcGIS.
- Con esta función se pudo determinar la extensión de las áreas de los tillandsiales en los años 2002, 2012 y 2022, como las categorías de acción antrópica diferidas en cada año mencionado.
- Determinación de la tasa de cambio de uso de suelo del tillandsial en los años 2002, 2012 y 2022: Teniendo en cuenta las áreas en los años 2002, 2012 y 2022 se tomó en cuenta la Guía Metodológica para la Elaboración de los Instrumentos Técnicos Sustentatorios para el Ordenamiento Territorial, según R.M N° 135-2013-MINAM, consignado en la Pauta 2. Analizar la tasa de cambio de uso del suelo.
- Se analizó de manera comparativa los cambios de uso de suelo en tres escenarios con 10 años de diferencia entre ellas, se determinará la superficie en hectáreas que ha sufrido cambios en el tillandsial.

Se usó la siguiente fórmula: (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 1996).

Fórmula de la tasa de cambio

$$T_c = \left(1 - \frac{t_1 - t_2}{t_1}\right)^{\frac{1}{t}} - 1$$

Donde:

- Tc = Tasa de cambio
- t_1 = Superficie de uso de suelo en el tiempo inicial (Año 1)
- t_2 = Superficie de uso de suelo en el tiempo final (Año 10)
- t = Amplitud del periodo 10 años

Posteriormente se realizaron gráficos de barra para la tasa de cambio de uso de suelo, cada 10 años, la tasa de cambio se obtendrán en unidades de porcentaje.

b) Identificación de los servicios ecosistémicos del tillandsial

Teniendo en cuenta el Estudio Especializado sobre Servicios Ecosistémicos del departamento de Tacna aprobado por el Ministerio del Ambiente en base a la Guía Metodológica para la Elaboración de los Instrumentos Técnicos Sustentatorios para el Ordenamiento Territorial del año 2017, según R.M N ° 311-2015-MINAM, es que se pudo identificar los servicios ecosistémicos del tillandsial, para ello se siguió las siguientes pautas:

Identificación de los principales servicios ecosistémicos. Implicó determinar las clases de servicios ecosistémicos (de soporte, de provisión, de regulación y culturales), y las áreas en las que estos se ubican.

Procedimiento técnico y metodológico

Fase 1. Recopilación de información y sistematización.

Se recopiló información elaborado de la ZEE (Zonificación Ecológica y Económica) del Gobierno Regional de Tacna: eje temático de biodiversidad.

Fase 2. Desarrollo de la identificación de los Servicios Ecosistémicos

Se desarrolló teniendo en cuenta las pautas técnicas establecidas en la R.M. N° 311-2015-MINAM.

Tabla 4

Funciones de los ecosistemas para la identificación de los servicios ecosistémicos

Funciones del ecosistema	Algunos ejemplos	Tipos o categorías de servicios ecosistémicos
Nutrición	Alimento Agua	Servicios de Provisión
Materiales	Fibra Recursos energéticos Productos bioquímicos, medicinas naturales,	

	productos farmacéuticos (recursos medicinales).	
Energía	Combustibles	
Regulación del ambiente físico	Regulación de la calidad del aire Regulación del clima Purificación del agua y tratamiento de aguas de desecho	Servicios de Regulación
Regulación de flujos	Regulación hídrica Control de la erosión Regulación de riesgos naturales	
Regulación del ambiente biótico	Regulación de enfermedades Regulación de plagas Polinización Secuestro de carbono	
Simbólico	Belleza paisajística	Servicios Culturales
Intelectual y experimental	Valores espirituales y religiosos Valores estéticos Recreación y ecoturismo Sentido de identidad y pertenencia a un lugar	
Regulación del ambiente físico	Formación de suelos	Servicios de soporte, hábitat o base
Regulación del ambiente biótico	Ciclo de nutrientes Producción primaria Mantenimiento de la biodiversidad (especies, genes y ecosistemas).	

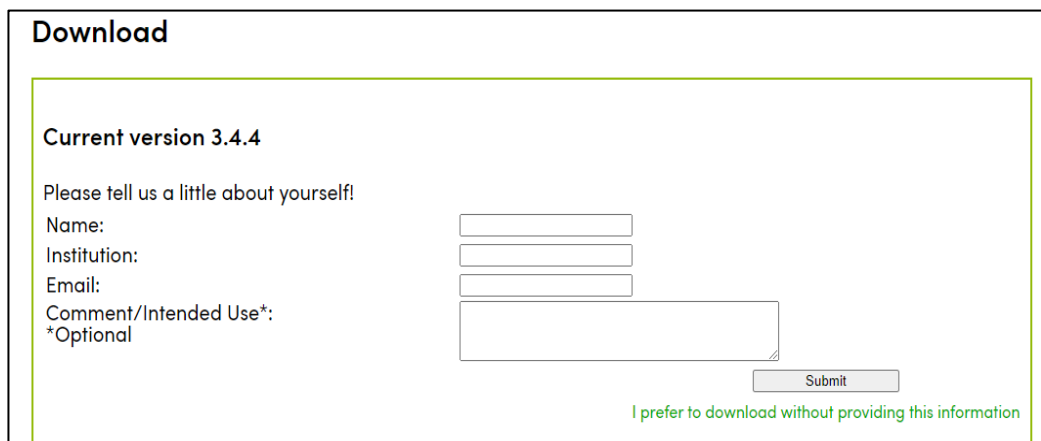
Nota: Adaptado de los Lineamientos para la formulación de proyectos de inversión pública en diversidad biológica y servicios ecosistémicos, aprobado por R.D N° 006-2015-EF/63.01. DGPGI-Ministerio de Economía y Finanzas.

c) Determinación de la distribución potencial del género *Tillandsia*

Se usó la metodología de MaxEnt (Metodología de la Máxima Entropía) que permite la predictibilidad espacial de las especies, a fin de alcanzar las estimaciones que relacionan las variables ambientales y la calidad del hábitat para su potencial distribución geográfica. Este método ha probado ser útil para aplicaciones prácticas en el rubro de ecología, especialmente en la conservación. En primer lugar, se descargó el programa MaxEnt en la versión 3.4.4.

Figura 5

Descarga del programa MaxEnt



The image shows a web form titled "Download" for MaxEnt version 3.4.4. The form asks the user to provide personal information: Name, Institution, and Email, each with a corresponding text input field. There is also a larger text area for "Comment/Intended Use*" which is marked as optional. A "Submit" button is located at the bottom right of the form. Below the form, there is a green link that says "I prefer to download without providing this information".

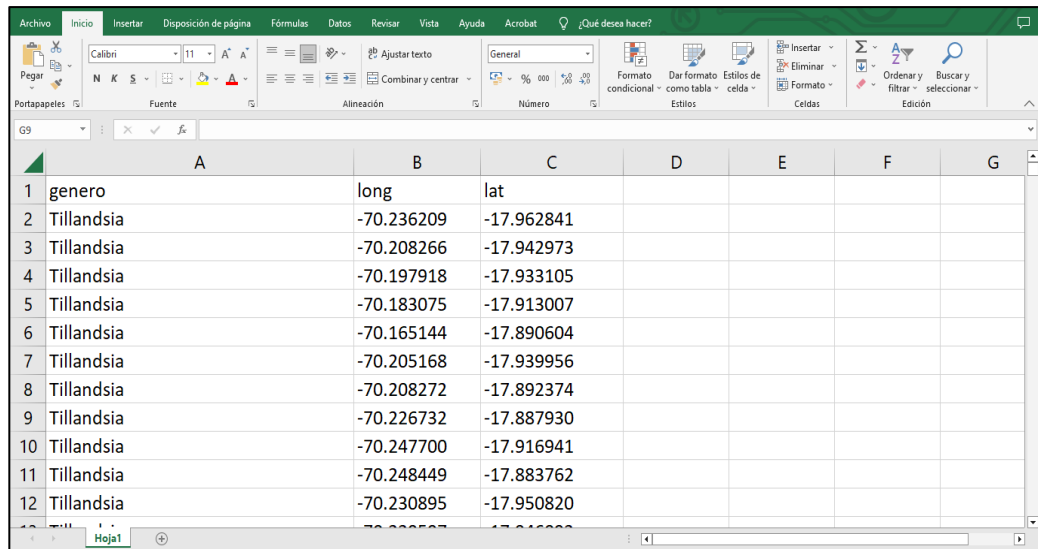
Una vez obtenidos los puntos de GPS en campo, dentro del área de estudio, se procedió a transcribir en una hoja de Excel, para obtener las coordenadas, se consignó en tres columnas, solo se deberá mantener el género y las coordenadas de longitud y latitud.

En esta etapa fue importante que no se repitieran los valores en las celdas.

El documento Excel fue guardado como "CSV delimitado por comas" y este documento fue preparado para ser usado por el programa MaxEnt, ya que incluye la data que compone la distribución de las especies que se desean estudiar, como se observa en la Figura 6.

Figura 6

Coordenadas de las especies del género Tillandsia

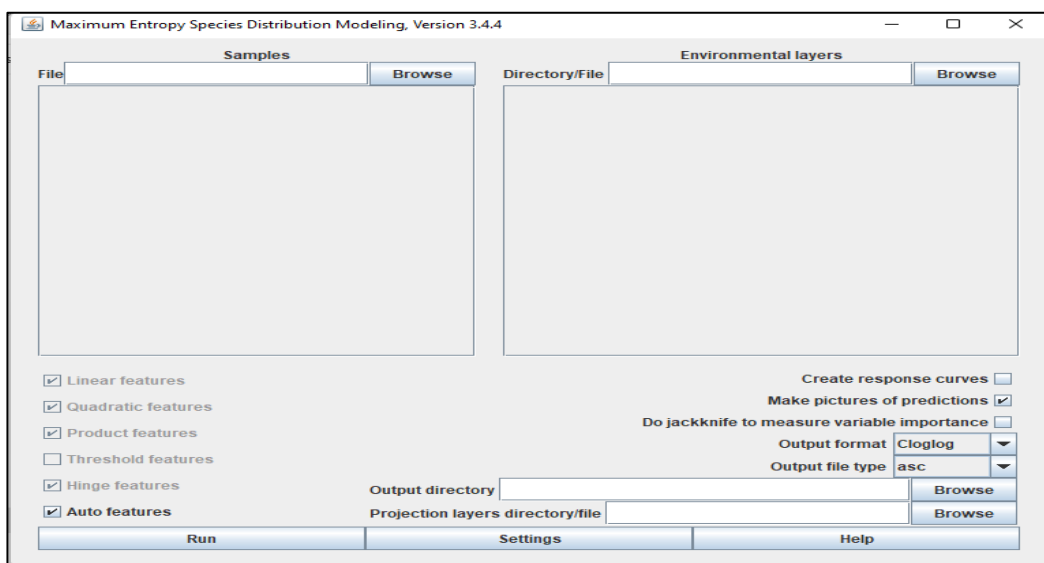


	A	B	C	D	E	F	G
1	genero	long	lat				
2	Tillandsia	-70.236209	-17.962841				
3	Tillandsia	-70.208266	-17.942973				
4	Tillandsia	-70.197918	-17.933105				
5	Tillandsia	-70.183075	-17.913007				
6	Tillandsia	-70.165144	-17.890604				
7	Tillandsia	-70.205168	-17.939956				
8	Tillandsia	-70.208272	-17.892374				
9	Tillandsia	-70.226732	-17.887930				
10	Tillandsia	-70.247700	-17.916941				
11	Tillandsia	-70.248449	-17.883762				
12	Tillandsia	-70.230895	-17.950820				

MaxEnt presenta dos secciones, en una sección se colocará la especie y en la otra sección se añadieron las 19 variables ambientales que se emplearon en el modelo.

Figura 7

Programa MaxEnt Versión 3.4.4



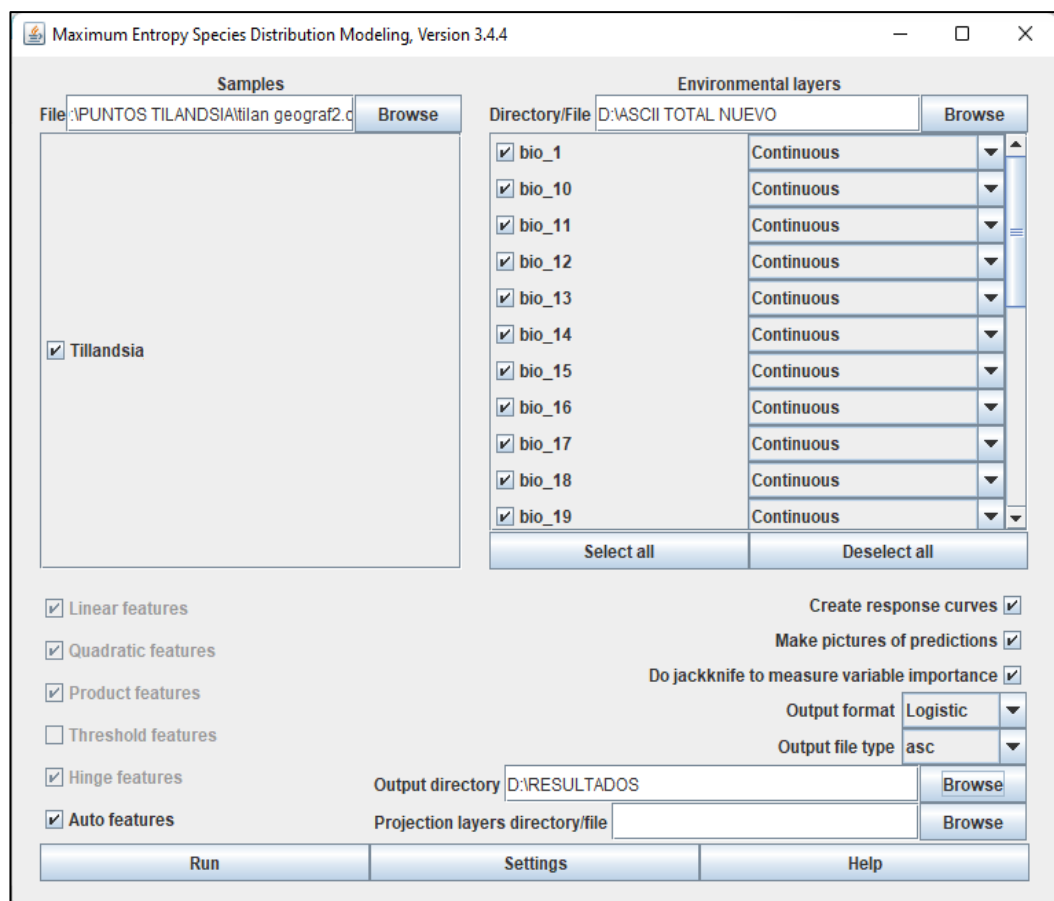
Se eligió el tipo de variable que se emplea pudiendo ser continuo o categórico, en el caso de la presente investigación se usaron datos climáticos para los cuales fueron de tipo continuo.

El formato de salida será “Logistic” que muestra los resultados en los píxeles con un rango de colores ordenados linealmente en los que se fue produciendo una transición suave, gradual y progresiva entre ellos cuyos valores van del 0 a 1 y el tipo de archivo será “asc”.

Luego se procedió a presionar “Run” para poder obtener el mapa de distribución potencial.

Figura 8

Procedimiento para obtener el mapa de distribución potencial



Se debió indicar que se deseará obtener las curvas de respuesta, para que el resultado tenga gráficos y mapas, que ilustren la distribución espacial.

Para la obtención de datos, fue necesario indicar la carpeta en que fueron colocados los resultados obtenidos.

El programa MaxEnt tras seleccionar la data y hacerlo correr, presentó una serie de documentos en distintos formatos. Destacó el mapa en formato “ASCII” y el documento en formato “.html”. El formato “.html” incluyendo una serie de cuadros y gráficos que explicaron la posibilidad de incidencia de las especies del género *Tillandsia* en función de las variables ambientales.

Fue necesario que el programa de mapas pueda leer y procesar el mapa en formato “.asc”, que éste sea convertido a formato ráster que son fotografías aéreas digitales.

En el programa ArcGIS se añadieron los puntos georreferenciados obtenidos en campo y según bibliografía obtenida del Gobierno Regional.

El mapa obtenido de MaxEnt fue procesado en ArcGIS 10.1. y se reclasificó de ráster a polígono, mediante el uso de ArcToolbox, se seleccionó la opción “Conversion Tools”, luego de “Raster to Polygon” y se guardó en una carpeta. Se obtuvo una nueva capa de la distribución espacial.

Se procederá a hacer clic derecho en la nueva capa y se seleccionó “Layer Properties”, se eligió el campo a reclasificar, se añadieron todos los valores, se hizo clic en “Add all Values” se erigió la rampa de color desde el color azul como bajo a color rojo como alto.

Se dividió en cinco categorías de priorización y, por último, se presionó en aplicar y aceptar.

d) Propuesta de mitigación de la degradación del Tillandsial como ecosistema frágil del departamento de Tacna

- Análisis de la distribución potencial de las especies del género *Tillandsia*

La distribución potencial estará interpretada como una idoneidad de hábitat, donde la especie podrá estar presente o no, pero alcanza las condiciones idóneas para su establecimiento.

El mapa de distribución potencial de las especies del género *Tillandsia* se reclasificó en cinco intervalos identificados en una escala de colores azul a rojo. Se establecieron las siguientes categorías de priorización:

Intervalos de entre el 0 y el 20 % → Índice de idoneidad de hábitat MUY BAJO

Intervalos de entre el 21 y el 40 % → Índice de idoneidad de hábitat BAJO

Intervalos de entre el 41 y el 60 % → Índice de idoneidad de hábitat MEDIO

Intervalos de entre el 61 y el 80 % → Índice de idoneidad de hábitat ALTO

Intervalos de entre el 81 y el 100 % → Índice de idoneidad de hábitat MUY ALTO

Para la propuesta de mitigación se tomaron los índices de idoneidad de hábitat medio, alto y muy alto para determinar las áreas potenciales para su posterior conservación. La metodología de la distribución potencial de las especies fue de acuerdo a Phillips et al., (2006).

3.4. MATERIALES E INSTRUMENTOS

- ✓ Earth Explorer
- ✓ ArcGIS 10.1
- ✓ Maxent 3.4.4.
- ✓ GPS
- ✓ Cámara fotográfica
- ✓ Hoja de recolección de datos de campo
- ✓ Microscopio

CAPÍTULO IV

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. DETERMINACIÓN DEL CAMBIO DE USO DE SUELO DEL TILLANDSIAL EN LOS AÑOS 2002, 2012 Y 2022

a) Botadero municipal

Figura 9

Delimitación del botadero municipal año 2002



En la Figura 9 se encuentra el área del botadero municipal que cuenta con 21,71 ha correspondiente al año 2002.

Figura 10

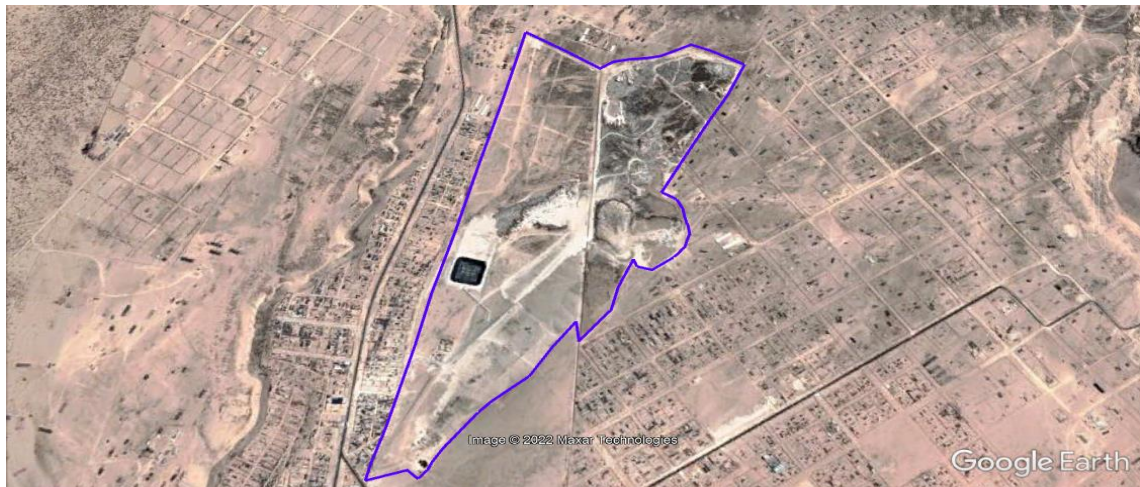
Delimitación del botadero municipal año 2012



En la Figura 10 se encuentra el área del botadero municipal que cuenta con 31,72 ha correspondiente al año 2012, por los cuales hubo un incremento de 10.01 ha desde el año 2002 en un periodo de 10 años.

Figura 11

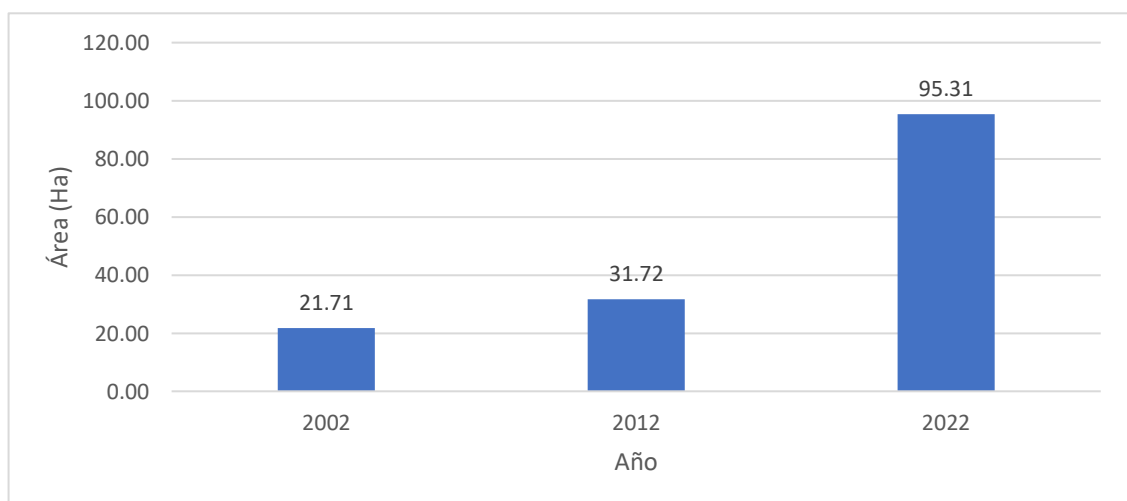
Delimitación del botadero municipal año 2022



En la Figura 11 se encuentra el área del botadero municipal que cuenta con 95,31 ha correspondiente al año 2022, hubo un incremento de 63,59 ha desde el año 2012, en un periodo de 10 años.

Figura 12

Categoría del botadero municipal correspondiente a los años 2002, 2012 y 2022



En la Figura 12 se puede observar que existió un incremento en la extensión del área correspondiente al botadero municipal, presentando en el año 2002 un área menor de 21,71 ha, a diferencia del año 2022 con un área de 95,31 ha, con un incremento de 73,6 ha en un periodo de 20 años.

b) Publicidad

Figura 13

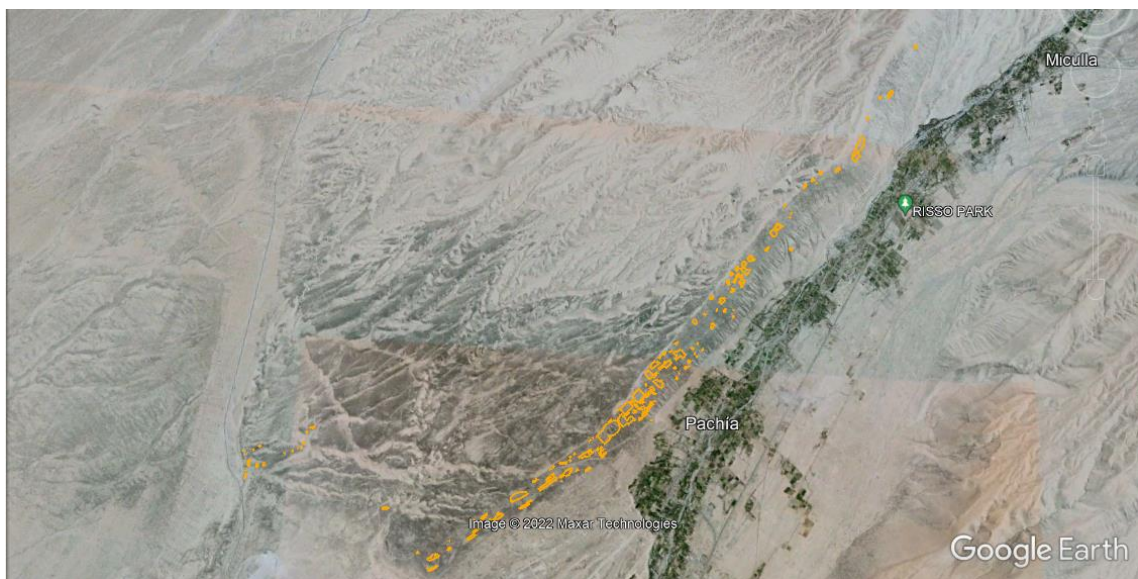
Delimitación categoría publicidad año 2002



En la Figura 13 se observa el área de la categoría publicidad que contó con 49,00 ha correspondiente al año 2002.

Figura 14

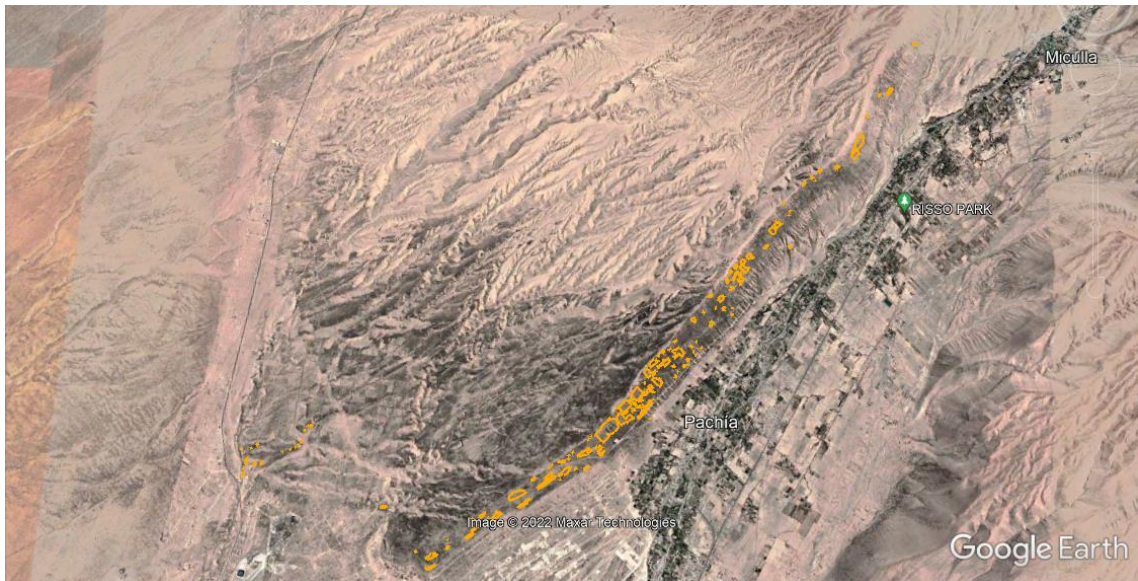
Delimitación categoría publicidad año 2012



En la Figura 14 se observa el área de la categoría publicidad que contó con 51,10 ha correspondiente al año 2012, hubo un incremento de 2,10 ha desde el año 2002 en un periodo de 10 años.

Figura 15

Delimitación categoría publicidad año 2022



En la Figura 15 se observa el área de la categoría publicidad que contó con 55,87 ha correspondiente al año 2022, hubo un incremento de 4,77 ha desde el año 2012, en un periodo de 10 años.

Figura 16

Publicidad mediante el uso de la especie del género Tillandsia



En la Figura 16 se puede observar con más cercanía la publicidad en las cuales usaron las especies del género *Tillandsia* a lo largo del cerro Intiorko.

Figura 17

Categoría publicidad correspondiente a los años 2002, 2012 y 2022



En la Figura 17 se puede observar que existió un incremento en la extensión del área correspondiente a la categoría publicidad, en el año 2002 presenta un área de 49,00 ha, en el año 2012 presenta un área de 51,10 ha y en el año 2022 consta de un área de 55,87 ha, con un incremento de 6,87 ha en un periodo de 20 años.

c) Zona rural

Figura 18

Delimitación categoría zona rural año 2002



En la Figura 18 se encuentra el área de la categoría zona rural que contó con 345,13 ha correspondiente al año 2002.

Figura 19

Delimitación categoría zona rural año 2012



En la Figura 19 se encuentra el área de la categoría zona rural que contó con 2774,13 ha correspondiente al año 2012, hubo un incremento de 2429,00 ha desde el año 2002 en un periodo de 10 años.

Figura 20

Delimitación categoría zona rural año 2022



En la Figura 20 se encuentra el área de la categoría zona rural que cuenta con 4944,99 ha correspondiente al año 2022, hubo un incremento de 2515,99 ha desde el año 2012, en un periodo de 10 años.

Figura 21

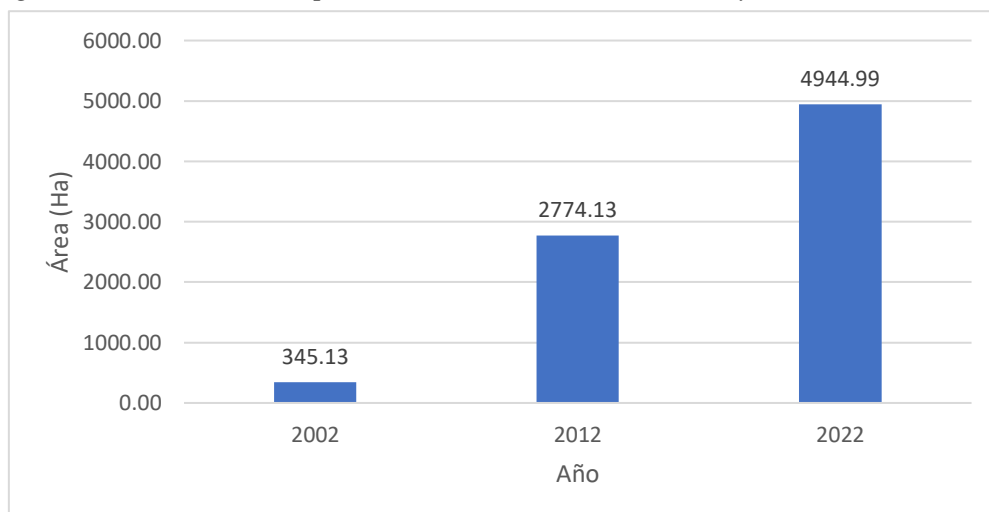
Zona rural en el ecosistema tillandsial



En la Figura 21 se puede observar la zona rural en el ecosistema tillandsial, en las cuales se realizó un lotizado para poder vivir, que mediante un lapso de 20 años ha ido incrementando el área de esta categoría.

Figura 22

Categoría zona rural correspondiente a los años 2002, 2012 y 2022



En la Figura 22 se puede observar que existió un incremento en la extensión del área correspondiente a la categoría zona rural, en el año 2002 presentó un área de 345,13 ha, en el año 2012 presentó un área de 2774,13 ha y en el año 2022 constó de un área de 4944,99 ha, con un incremento de 4599,86 ha en un periodo de 20 años.

d) Zona agrícola

Figura 23

Delimitación categoría zona agrícola año 2002



En la Figura 23 se puede observar que no existía ningún área correspondiente a la zona agrícola en el ecosistema tillandsial correspondiente al año 2002.

Figura 24

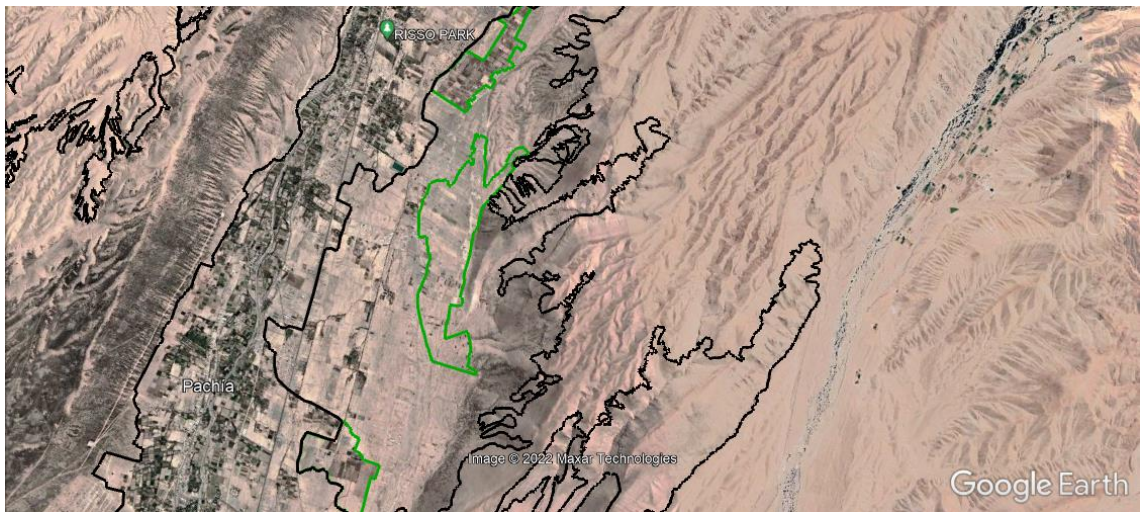
Delimitación categoría zona agrícola año 2012



En la Figura 24 se puede observar la delimitación de la zona agrícola en el ecosistema tillandsial correspondiente al año 2012, teniendo un área de 50,46 ha.

Figura 25

Delimitación categoría zona agrícola año 2022



En la Figura 25 se encuentra el área de la categoría zona agrícola que cuenta con 240,87 ha correspondiente al año 2022, hubo un incremento de 190,41 ha desde el año 2012, en un periodo de 10 años.

Figura 26

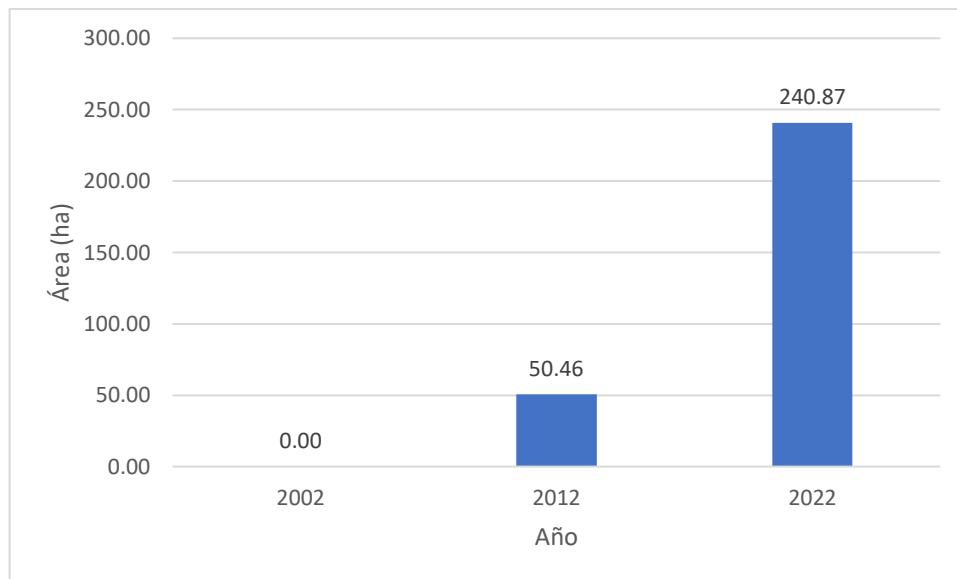
Cambio de uso de suelo para zona agrícola



En la Figura 26 se puede observar con mayor detalle la zona agrícola que se desarrolló en el ecosistema tillandsial para el uso de los pobladores.

Figura 27

Categoría zona agrícola correspondiente a los años 2002, 2012 y 2022



En la Figura 27 se puede observar que existió un incremento en la extensión del área correspondiente a la categoría zona rural, en el año 2002 no presentó ningún área de acuerdo a la categoría, en el año 2012 presentó un área de 50,46 ha y en el año 2022 consta de un área de 240,87 ha, con un incremento de 190,41 ha en un periodo de 10 años.

e) Zona agropecuaria

Figura 28

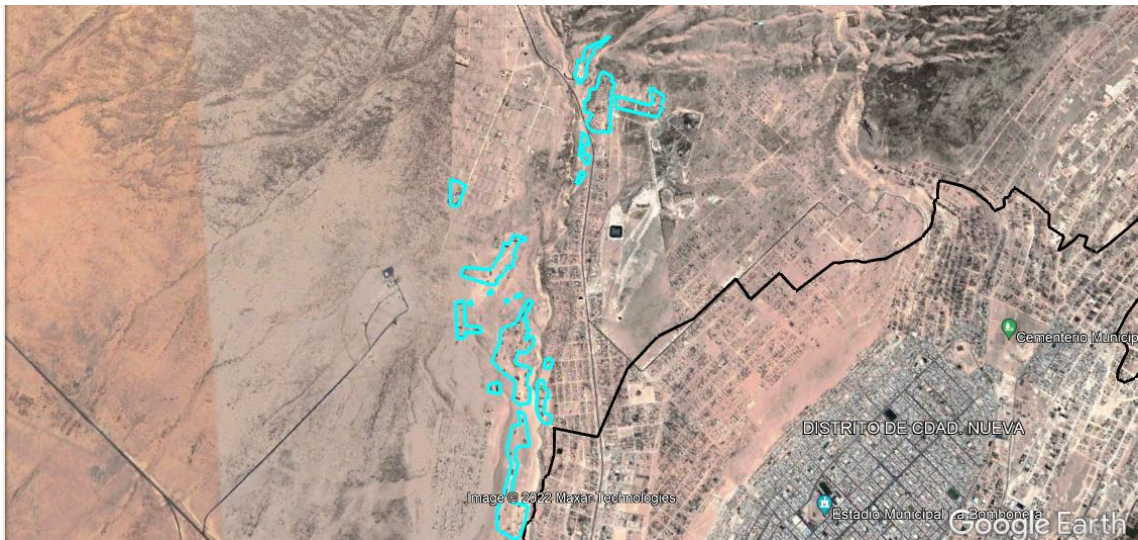
Delimitación categoría zona agropecuaria año 2012



En la Figura 28 se observa la delimitación de la zona agropecuaria correspondiente al año 2012, teniendo un área de 29,27 ha.

Figura 29

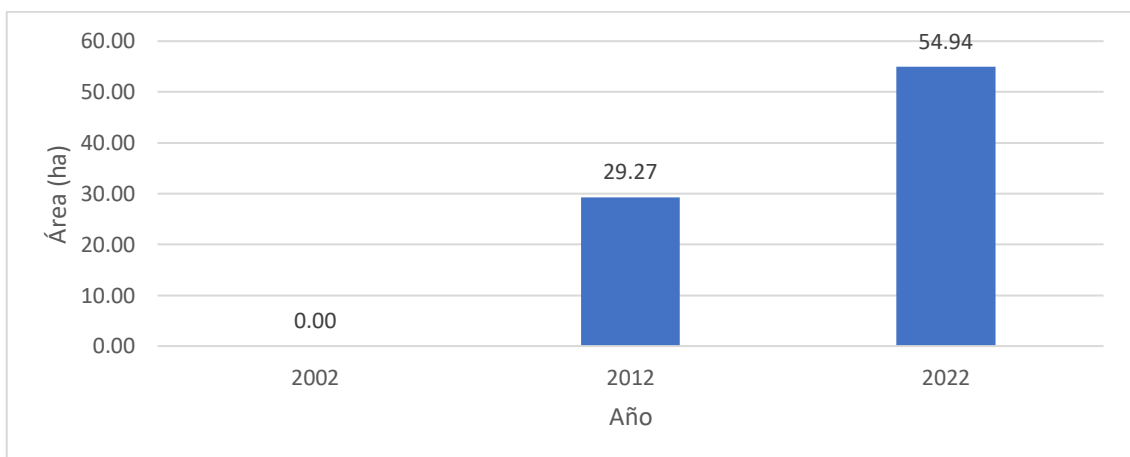
Delimitación categoría zona agropecuaria año 2022



En la Figura 29 se observa el área de la categoría zona agropecuaria que contó con 54,94 ha correspondiente al año 2022, hubo un incremento de 25,67 ha desde el año 2012, en un periodo de 10 años.

Figura 30

Categoría zona agropecuaria correspondiente a los años 2002, 2012 y 2022



En la Figura 30 se puede observar que existió un incremento en la extensión del área correspondiente a la categoría zona agropecuaria, en el año 2002 no presentó ningún área de acuerdo a la categoría, en el año 2012 presentó un área de 29,27 ha y en el año 2022 consta de un área de 54,94 ha, con un incremento de 25,67 ha en un periodo de 10 años.

f) Remoción

Figura 31

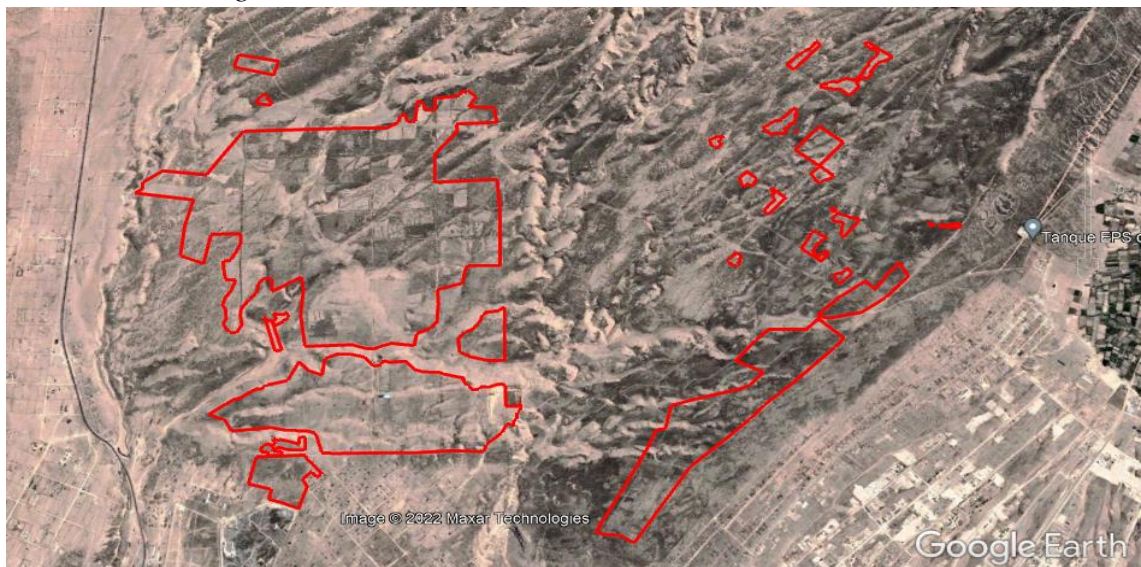
Delimitación categoría remoción año 2012



En la Figura 31 se encuentra la delimitación de la categoría remoción de las especies del género *Tillandsia* correspondiente al año 2012, cuenta con un área de 31,79 ha.

Figura 32

Delimitación categoría remoción año 2022



En la Figura 32 se encuentra el área de la categoría remoción que contó con 511,88 ha correspondiente al año 2022, hubo un incremento de 480,09 ha desde el año 2012, en un periodo de 10 años.

Figura 33

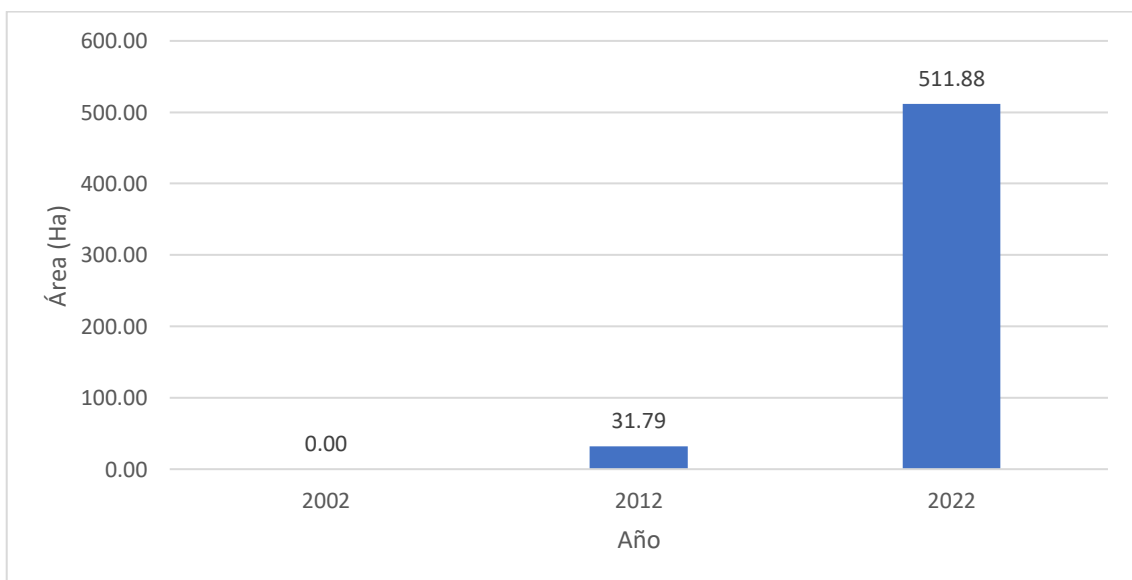
Categoría remoción de las especies del género Tillandsia



En la Figura 33 se encuentra con más detalle la remoción que existe actualmente en el ecosistema tillandsial, hubo una reducción de las especies del género *Tillandsia*, mediante acciones antrópicas para su posterior desaparición.

Figura 34

Categoría remoción correspondiente a los años 2002, 2012 y 2022

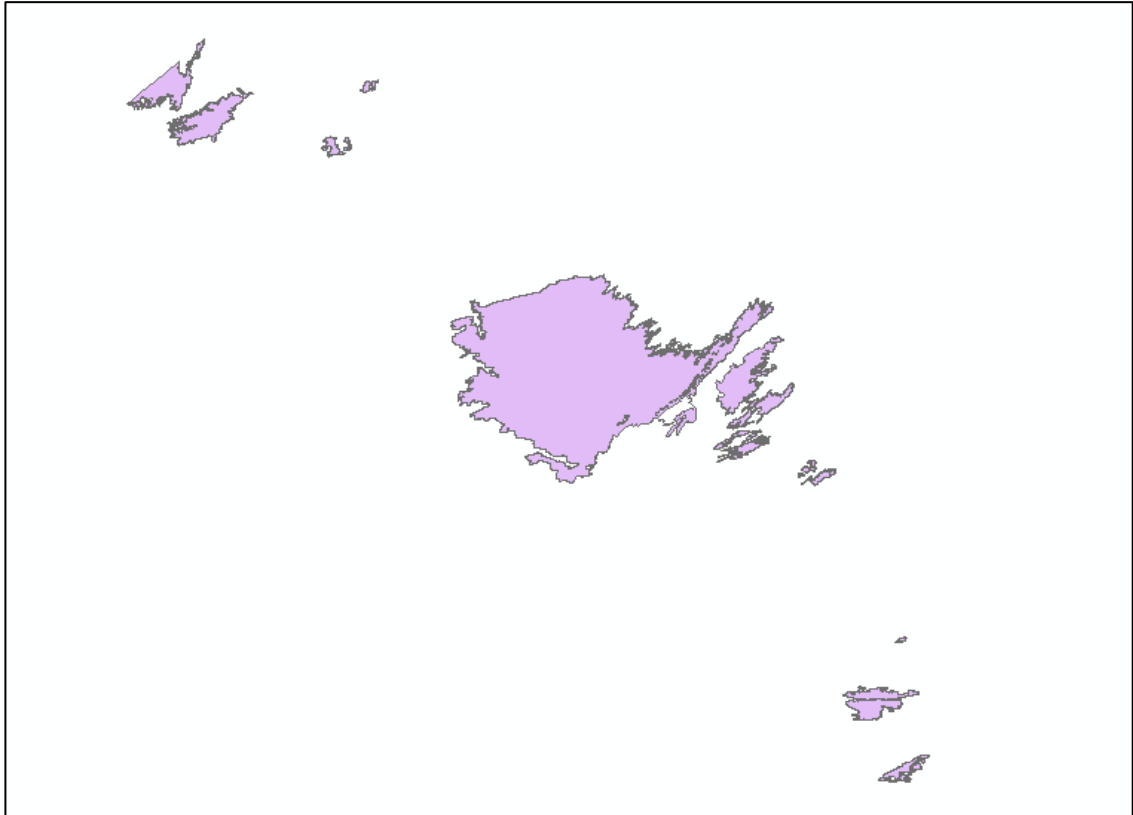


En la Figura 34 se observa que existe un incremento de área en la categoría remoción relacionado al tiempo, el año 2012 presentó 31.79 ha y el año 2022 presentó un área de 511,88 ha. Esto quiere decir que hubo un incremento de 349,61 ha en un periodo de 10 años.

g) Área total del ecosistema tillandsial

Figura 35

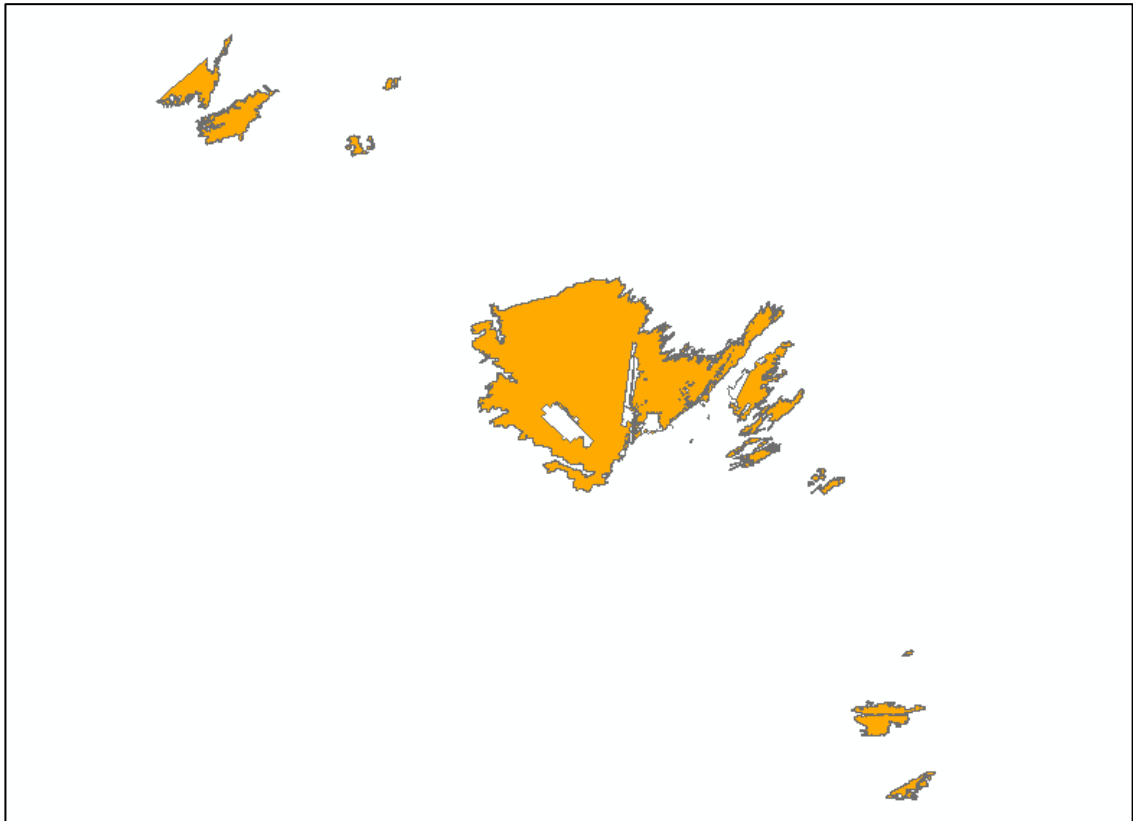
Área total del ecosistema tillandsial año 2002



En la Figura 35 se observa el área total del ecosistema tillandsial correspondiente al año 2002, con un área total de 31 787,30 ha., la población de la provincia de Tacna, según cifras estimadas al 30 de junio del 2002, ascendió a 241 971 habitantes, lo que significó un incremento con respecto al censo de 1993 de un 31,5 % (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 1993). La densidad poblacional fue de 29 hab/Km².

Figura 36

Área total del ecosistema tillandsial año 2012



En la Figura 36 se observa el área total del ecosistema tillandsial correspondiente al año 2012, con un área de 29 585,66 ha., la población en la provincia de Tacna en el año 2007 según cifras estimadas del INEI Censo 2007 (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2007) tuvo 262 731 habitantes, que, mediante el crecimiento poblacional de 1,5% (Costa, 2018) para el año 2012 tuvo una proyección de 283 035 habitantes, cuya densidad poblacional fue de 34 hab/Km².

Figura 37

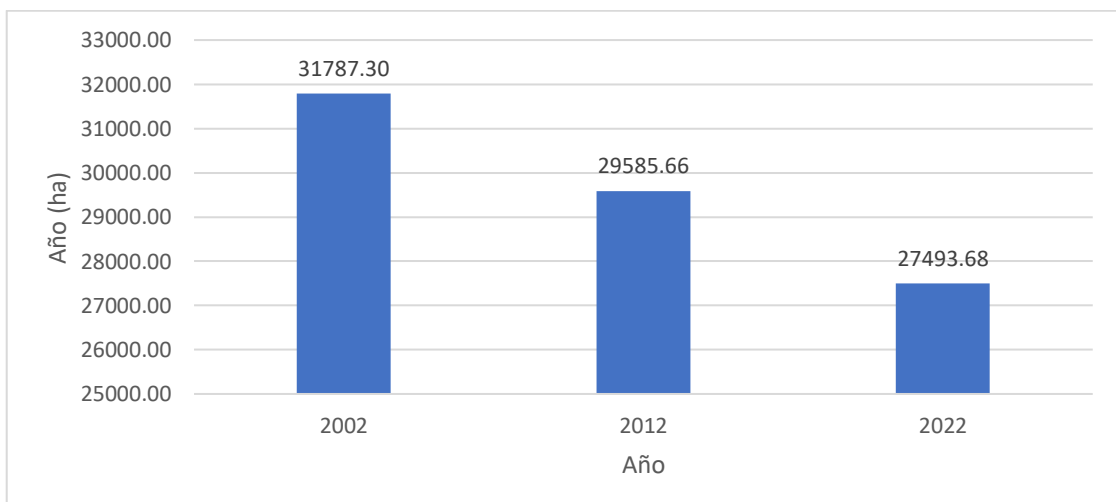
Área total del ecosistema tillandsial año 2022



En la Figura 37 se observa el área total del ecosistema tillandsial correspondiente al año 2022, con un área de 27 493,68 ha, la población en la provincia de Tacna en el año 2017 según cifras estimadas del INEI Censo 2017 (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2017) con 306 363 habitantes, que, mediante el crecimiento poblacional de 1,5% (Costa, 2018) para el año 2022 tuvo una proyección de 328 474 habitantes, cuya densidad poblacional fue de 40 hab/Km².

Figura 38

Área total del ecosistema tillandsial en los años 2002, 2012 y 2022



En el Figura 38 se puede observar el área total del tillandsial, en las cuales en el año 2002 presentó un área de 31 787,30 ha, en el año 2012 presentó un área de 29 585,66 ha y en el año 2022 presentó un área de 27 493,68 ha, por lo que hubo una pérdida de 4 293,62 ha en un periodo de 20 años.

Tabla 5

Uso de suelo del ecosistema tillandsial

Categoría	2002 (ha)	2002 (%)	2012 (ha)	2012 (%)	2022 (ha)	2022 (%)
Botadero municipal	21,71	0,07	31,72	0,10	95,31	0,29
Publicidad	49,00	0,15	51,10	0,16	55,87	0,17
Rural	345,13	1,07	2774,13	8,52	4944,99	14,81
Agrícola	0,00	0,00	50,46	0,15	240,87	0,72
Agropecuaria	0,00	0,00	29,27	0,09	54,94	0,16
Remoción	0,00	0,00	31,79	0,10	511,88	1,53
Vegetación	31787,30	98,71	29585,66	90,88	27493,68	82,32

En la Tabla 5 se puede observar siete categorías correspondientes al botadero municipal, publicidad, zona rural, zona agrícola, zona agropecuaria, remoción y área total final del tillandsial en los años 2002, 2012 y 2022.

Tabla 6

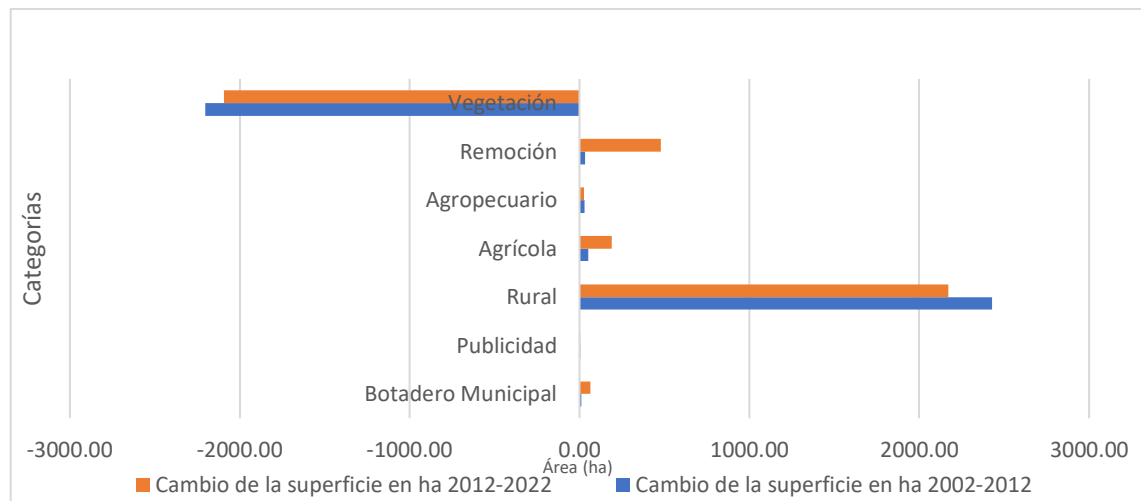
Cambio de la superficie en hectáreas para las categorías del ecosistema tillandsial

Clase	Cambio de la superficie en ha	
	2002-2012	2012-2022
Botadero municipal	10,01	63,59
Publicidad	2,09	4,77
Zona rural	2429,01	2170,86
Zona agrícola	50,46	190,42
Zona agropecuaria	29,27	25,67
Remoción	31,79	480,09
Vegetación	-2201,64	-2091,97

En la Tabla 6 se observa el cambio de la superficie en hectáreas del ecosistema tillandsial desde el año 2002 al año 2012 y desde el año 2012 hasta el año 2022, según las categorías denominadas botadero municipal, publicidad, zona rural, zona agrícola, zona agropecuaria, remoción y vegetación correspondiente a las especies del género *Tillandsia*.

Figura 39

Cambio de la superficie en hectáreas en las categorías del ecosistema tillandsial



En la Figura 39 se puede observar que las categorías con menor cambio fueron la zona agropecuaria y publicidad, la zona rural fue la que presentó una mayor extensión en su área, la categoría vegetación presentó la pérdida de las especies del género *Tillandsia* en base a las categorías anteriormente mencionadas por el cambio de uso de suelo. En cuanto a los periodos de años, el periodo 2002-2012 fue el que presentó mayor incremento en el uso de suelo reemplazando a las especies del género *Tillandsia*.

Tabla 7

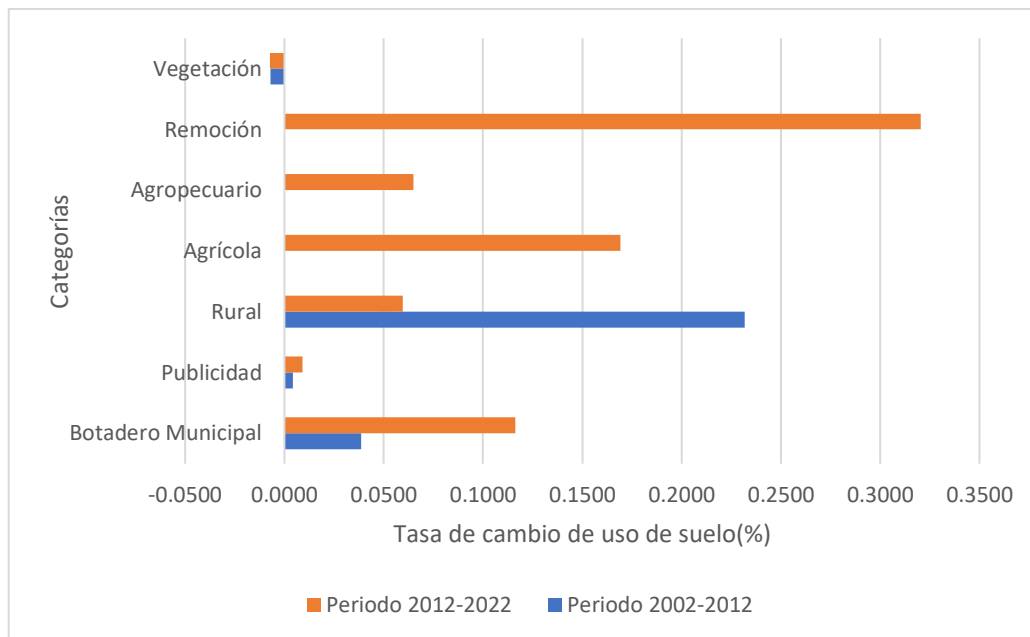
Tasa de cambio de uso de suelo

Tasa de cambio de uso de suelo	Periodo	
	2002-2012	2012-2022
Botadero municipal	0,0386455	0,116298983
Publicidad	0,0042052	0,008964247
Zona rural	0,2317269	0,059507074
Zona agrícola	0,0000000	0,169185839
Zona agropecuaria	0,0000000	0,064992608
Remoción	0,0000000	0,320346028
Vegetación	-0,0071520	-0,007306539

En la tabla 7 se observa la tasa de cambio de uso de suelo correspondiente a los años 2002-2012 y 2012-2022 los resultados se presentaron en unidades de porcentaje desde el incremento hasta la pérdida la vegetación originada por las categorías del botadero municipal, publicidad, zona rural, zona agrícola, zona agropecuaria y remoción.

Figura 40

Tasa de cambio de uso de suelo



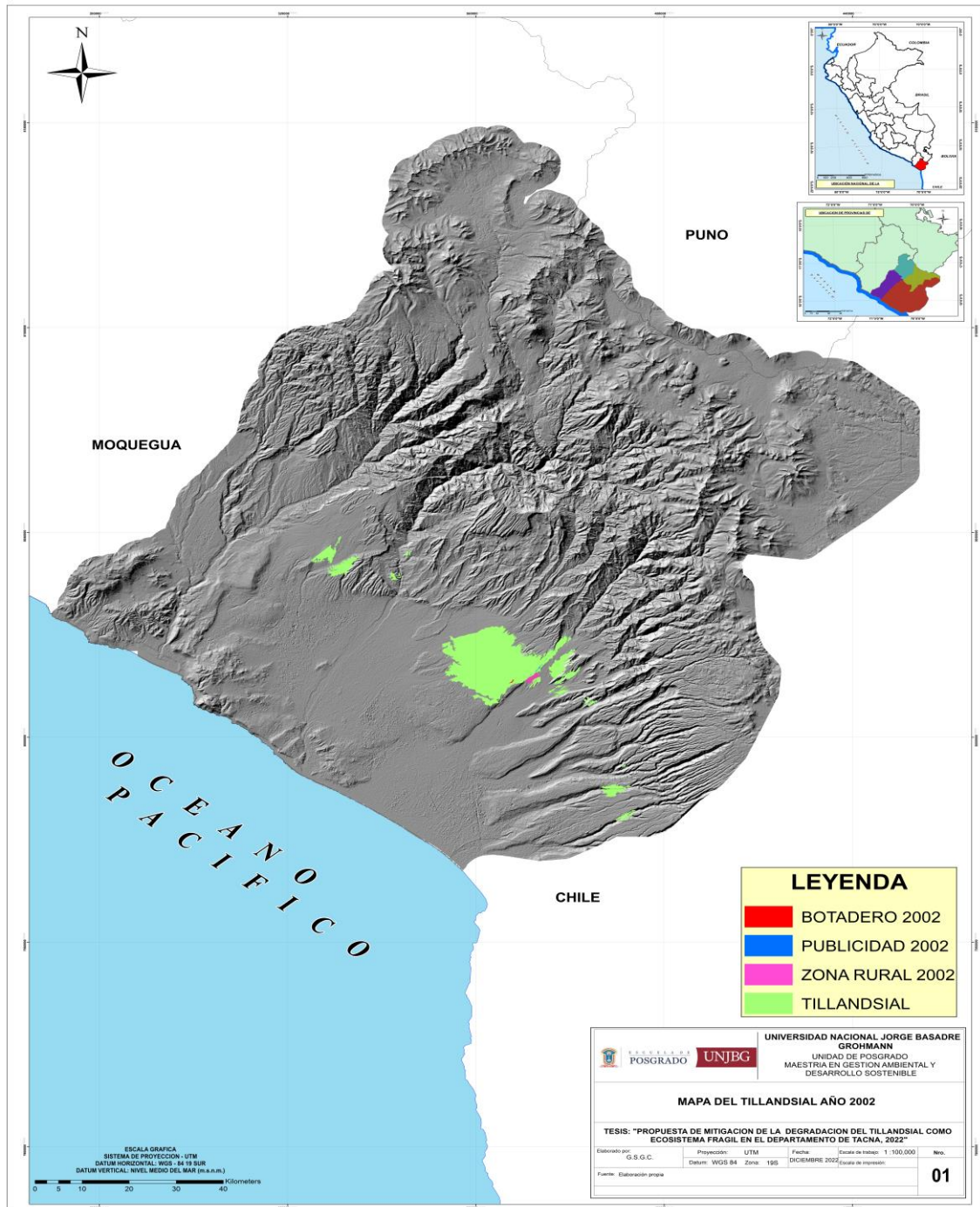
En la Figura 40 se encuentra la tasa de cambio de uso de suelo, en el periodo 2002-2012 la categoría de zona rural presenta la mayor tasa de cambio de 0,23 %, luego hubo un incremento de 0,038 % en el botadero municipal, en cuanto a la publicidad se encontró con un incremento de 0,004 %, por ende, en la vegetación hubo una pérdida de 0,007 %.

En el periodo 2012-2022 con un incremento de 0,32 % en cuanto a la remoción, zona agrícola con un incremento de 0,17 % y zona agropecuaria con un incremento de 0,07 %, el botadero municipal presenta un incremento de 0,12 %, la publicidad presenta un incremento de 0,009 %, por ende, en cuanto a la vegetación hubo una pérdida de 0,007 % del área del tillandsial.

Realizando una comparación entre los dos periodos de tiempo, el periodo con mayor cambio fue en el intervalo del año 2012 al 2022, pero en la categoría de zona rural fue donde el periodo 2002 al año 2012 presenta un mayor incremento en el cambio de uso de suelo, en cuanto a la vegetación, paulatinamente con el transcurrir de los años se estuvo disminuyendo en un 0,007 % para los dos casos correspondientes a una pérdida de 2201,64 ha en el periodo 2002-2012 y 2091,97 ha en el periodo 2012-2022.

Figura 41

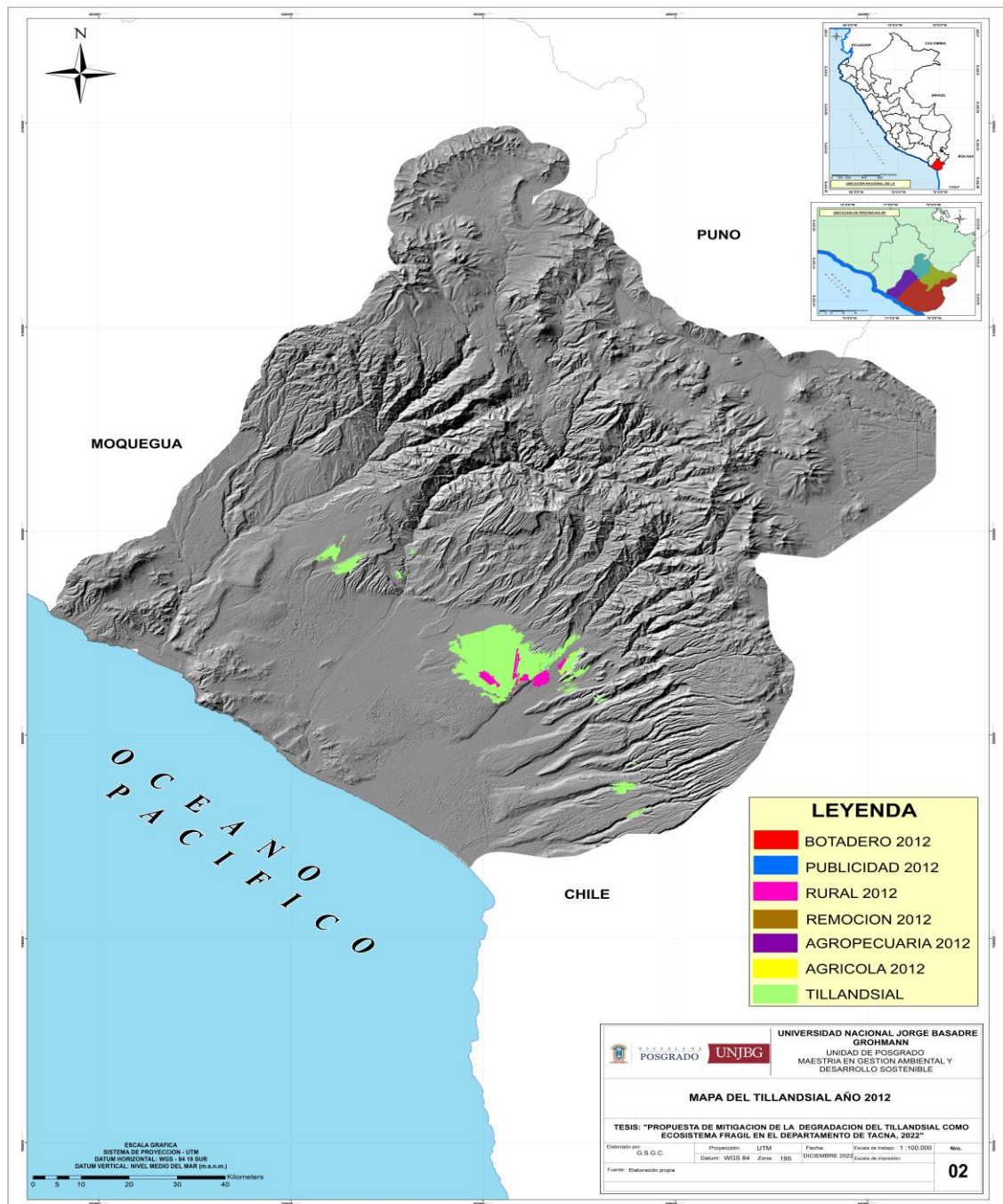
Mapa del ecosistema tillandsial año 2002



En la Figura 41 se puede observar que el ecosistema tillandsial está constituido por el botadero municipal, publicidad y zona rural, en las cuales el área que tiene mayor impacto fue la zona rural diferidos al año 2002.

Figura 42

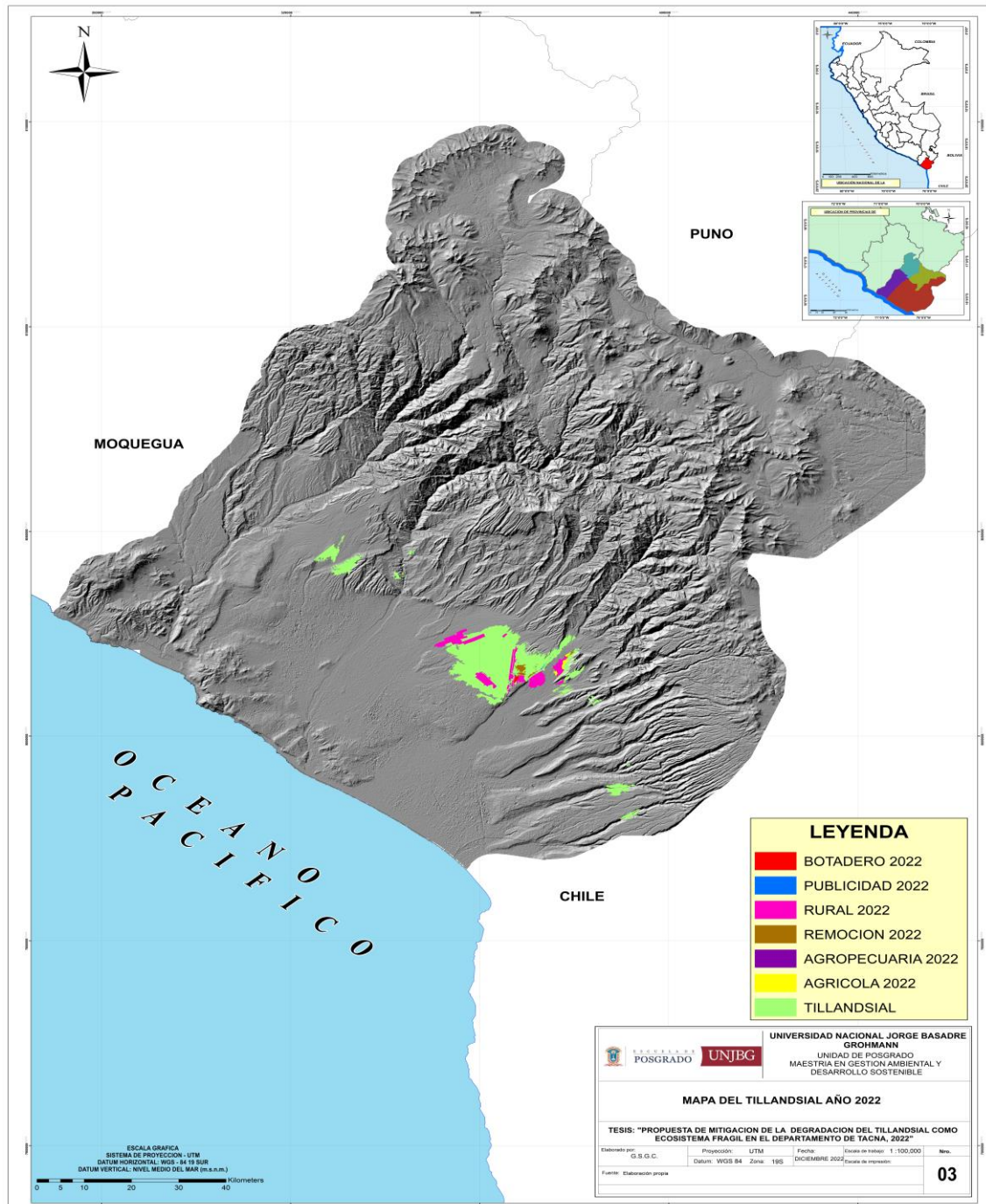
Mapa del ecosistema tillandsial año 2012



En la Figura 42 se puede observar que el ecosistema tillandsial está constituido por el botadero municipal, publicidad, zona rural que para el año 2012 se presentaron las categorías de remoción, zona agropecuaria y zona agrícola, que presentó un impacto en la reducción del área las especies del género *Tillandsia*.

Figura 43

Mapa del ecosistema tillandsial año 2022



En la Figura 43 se observa que, el ecosistema tillandsial está constituido por el botadero municipal, publicidad, zona rural, remoción, zona agropecuaria y zona agrícola, cuya área que presentó mayor impacto es la zona rural seguido de la remoción cuyas especies del género *Tillandsia* fueron reducidas y eliminadas.

4.2. IDENTIFICACIÓN DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DEL TILLANDSIAL

Tabla 8

Listado de los servicios ecosistémicos identificados en el ecosistema tillandsial

Unidad espacial que brinda los servicios ecosistémicos	Funciones del ecosistema	Servicios ecosistémicos existentes	Categoría de los servicios ecosistémicos	
Tillandsial	Materiales	Recursos genéticos	Servicio de Provisión	
	Regulación del ambiente físico	Regulación de la calidad del aire	Servicio de Regulación	
	Regulación de flujos	Control de la erosión		
	Regulación del ambiente biótico	Polinización		
	Simbólico	Belleza paisajística		
	Intelectual y experimental		Valores estéticos	Servicios Culturales
			Recreación y ecoturismo	
			Sentido de identidad y pertenencia a un lugar	
Regulación del ambiente biótico	Mantenimiento de la biodiversidad	Servicios de soporte, hábitat o base		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9

Clasificación de los servicios ecosistémicos identificados por tipos o categorías

Ecosistema	Tipo o categoría del servicio ecosistémico	Servicio del ecosistema
Tillandsial	Recursos genéticos	Servicio de Provisión
	Regulación de la calidad del aire	Servicio de Regulación
	Control de la erosión	
	Polinización	
	Belleza paisajística	Servicios Culturales
	Valores estéticos	
	Recreación y ecoturismo	
Sentido de identidad y pertenencia a un lugar		

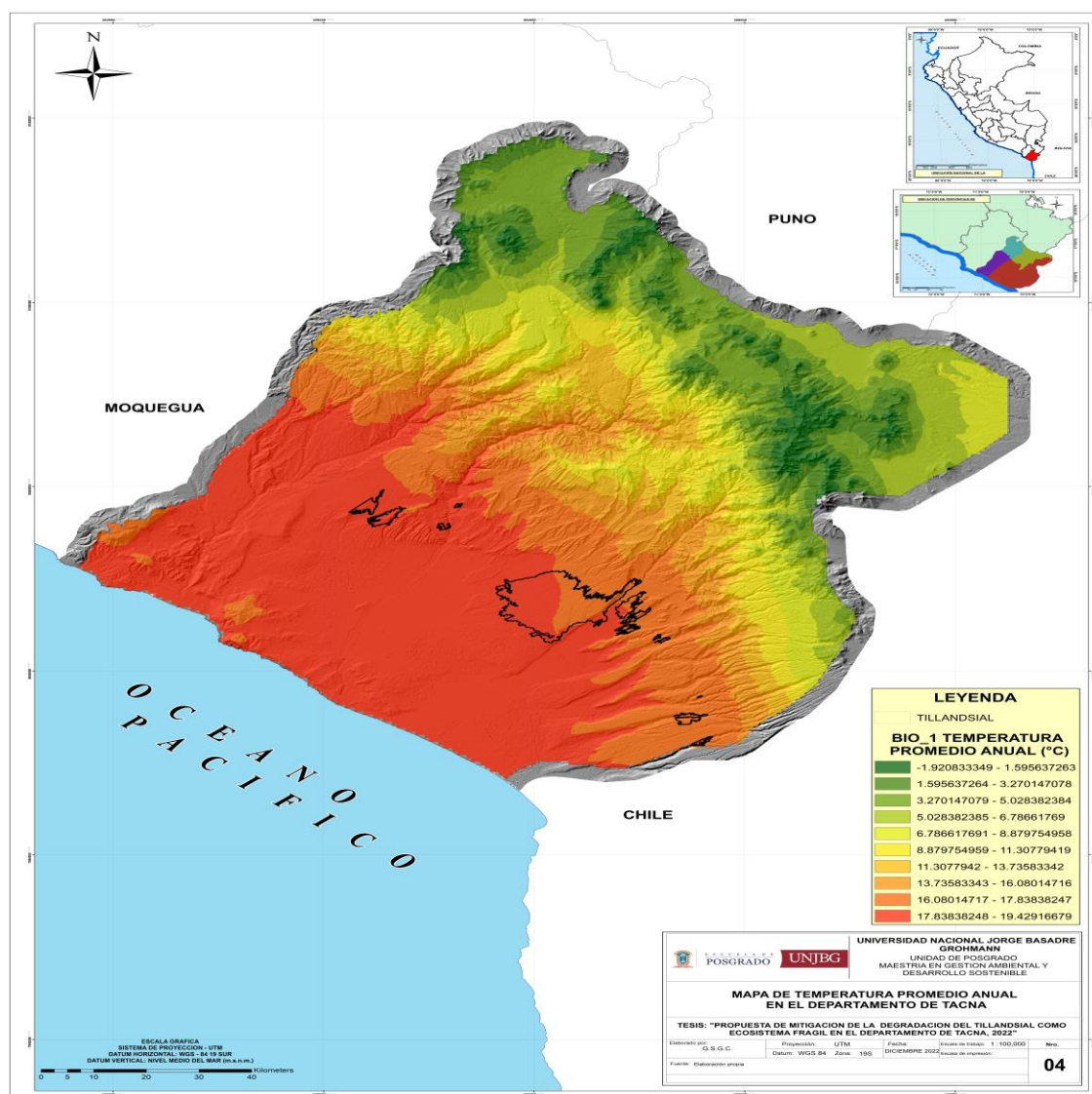
Fuente: *Elaboración propia*

4.3. DETERMINACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE LAS ESPECIES DEL GÉNERO *TILLANDSIA*

4.3.1 Análisis de las variables bioclimáticas importantes para la determinación de la distribución potencial

Figura 44

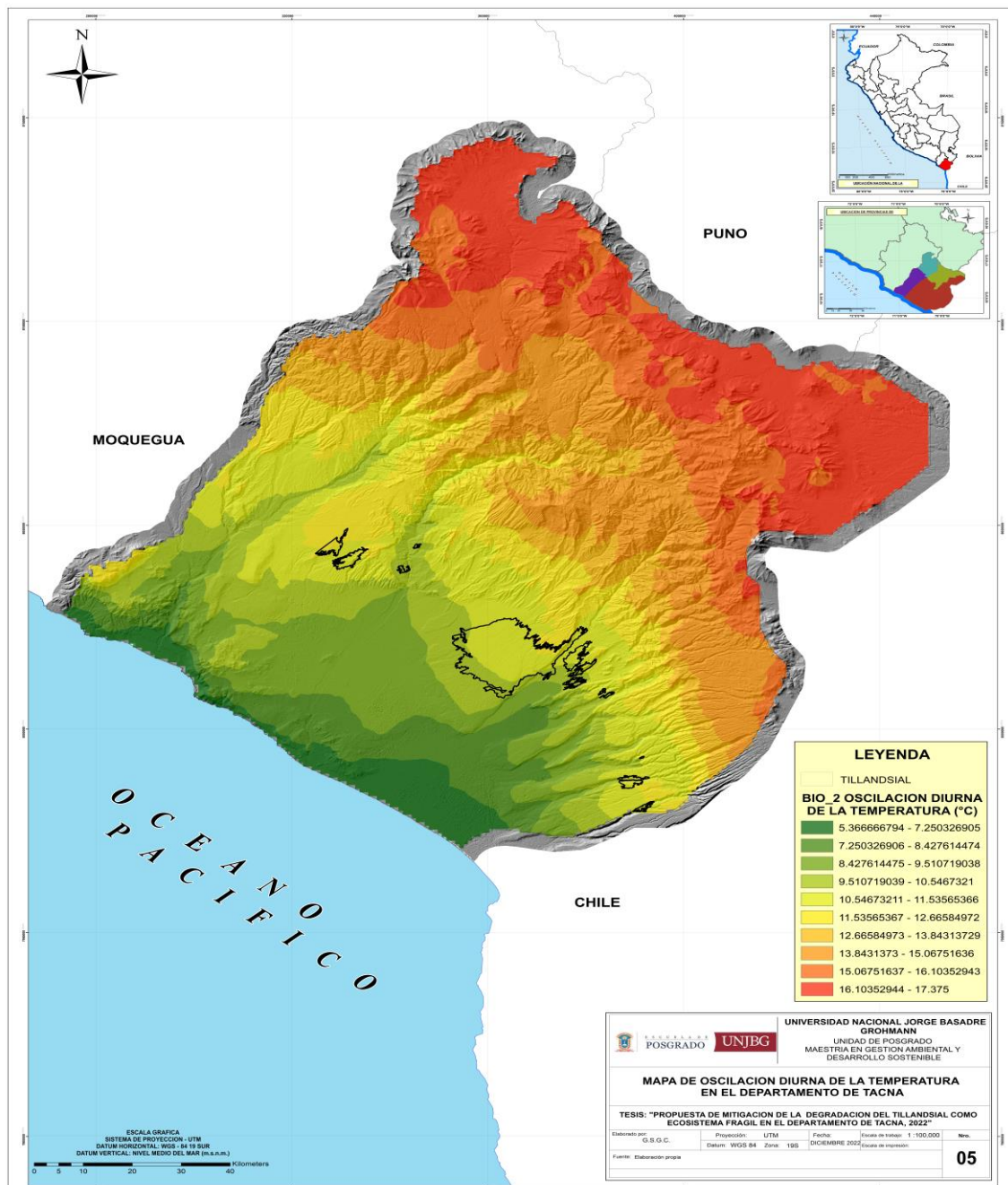
Temperatura de promedio anual



En la Figura 44 se observa la variable bioclimática Bio 1 “Temperatura de promedio anual” en el departamento de Tacna, cuyo ecosistema tillandsial se encuentra entre los 16,08 °C hasta los 19,43 °C.

Figura 45

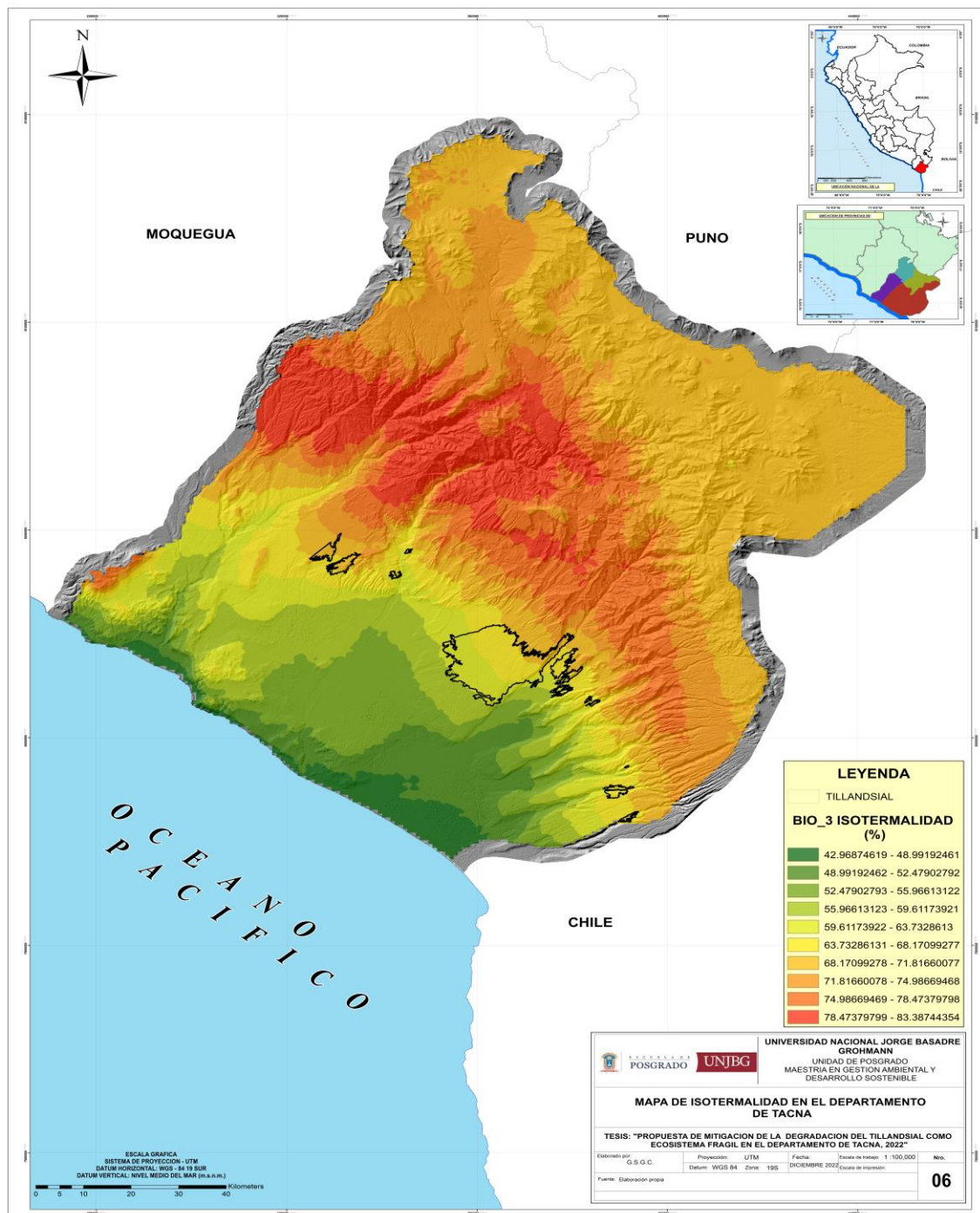
Oscilación diurna de la temperatura



En la Figura 45 se observa la variable bioclimática Bio 2 “Oscilación diurna de la temperatura” en el departamento de Tacna, cuyo ecosistema tillandsial se encuentra entre los 9,51 °C hasta los 11,54 °C, teniendo mayor área en el intervalo de 9,51 °C hasta los 10,54 °C.

Figura 46

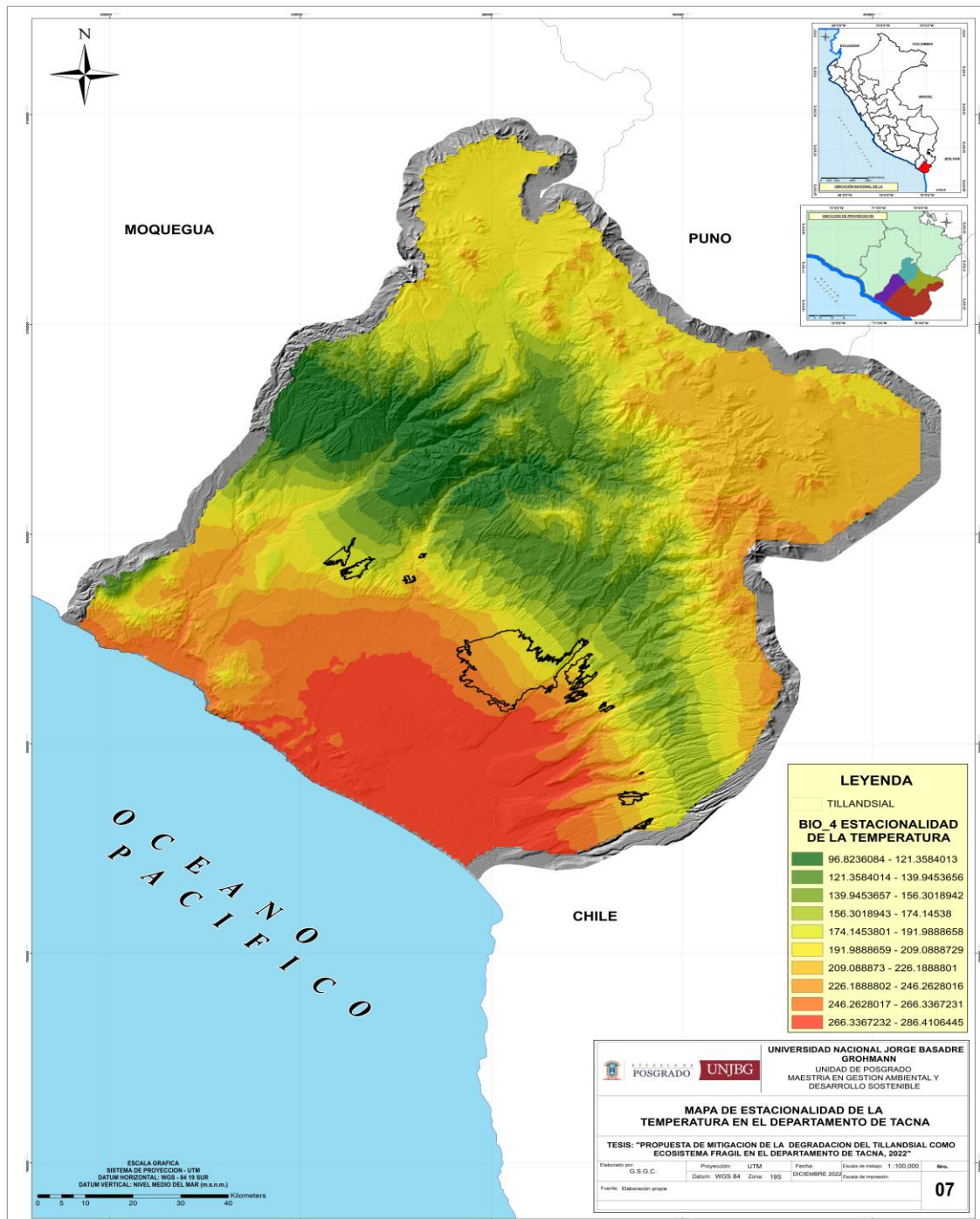
Isotermalidad



En la Figura 46 se observa la variable bioclimática Bio 3 "Isothermalidad" en el departamento de Tacna, cuyo ecosistema tillandsial se encuentra entre 55.96 % hasta un porcentaje de 71,81 %, teniendo mayor área en el intervalo de 59,61 % hasta los 63,73 %.

Figura 47

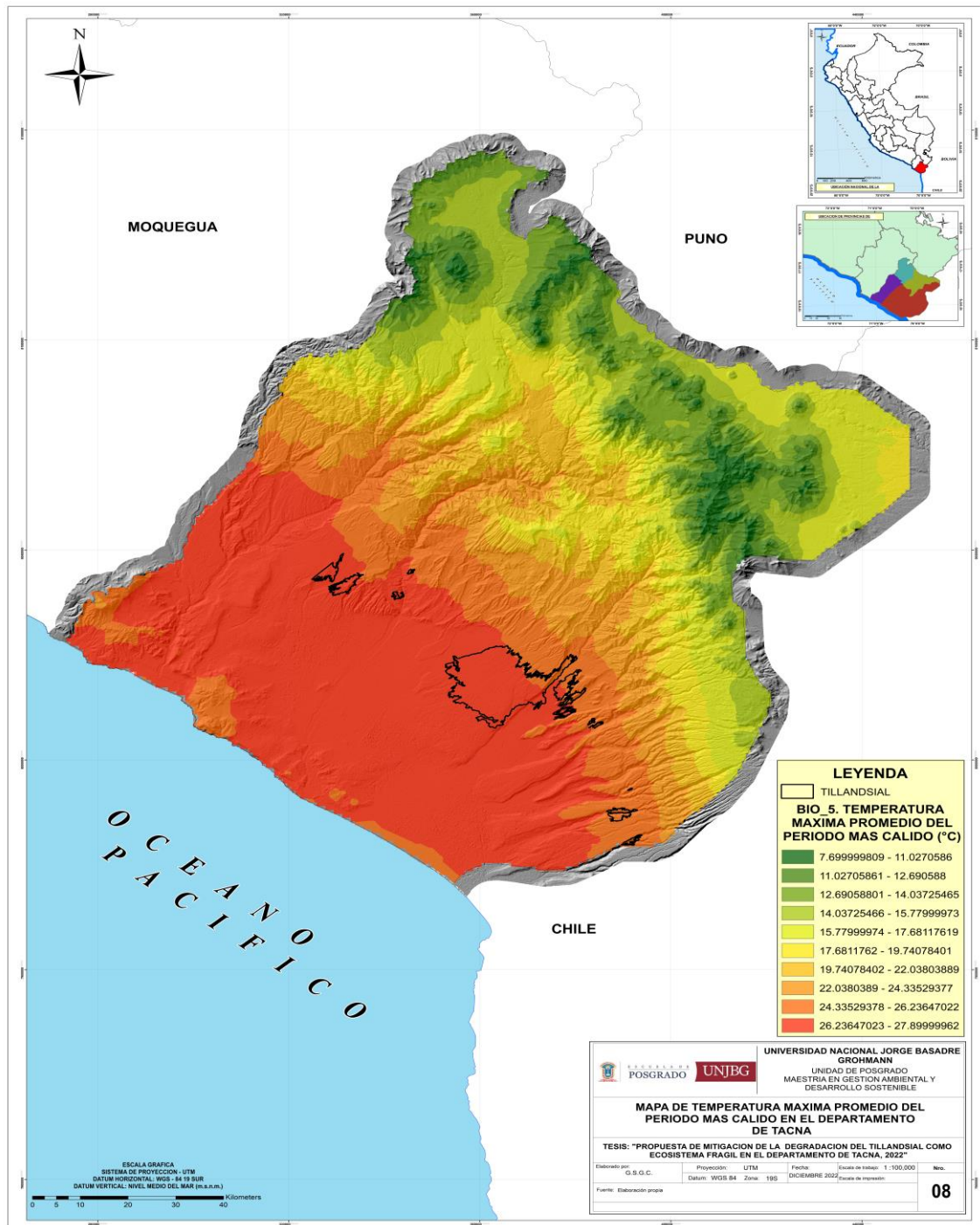
Estacionalidad de la temperatura



En la Figura 47 se observa la variable bioclimática Bio 4 “Estacionalidad de la temperatura” en el departamento de Tacna, cuyo ecosistema tillandsial se encuentra entre los 174,14 hasta los 266,36, teniendo mayor área en el intervalo entre los 191,99 hasta los 209,09, por lo que se encuentra en valores altos, significa que existe alta variabilidad climática en el área.

Figura 48

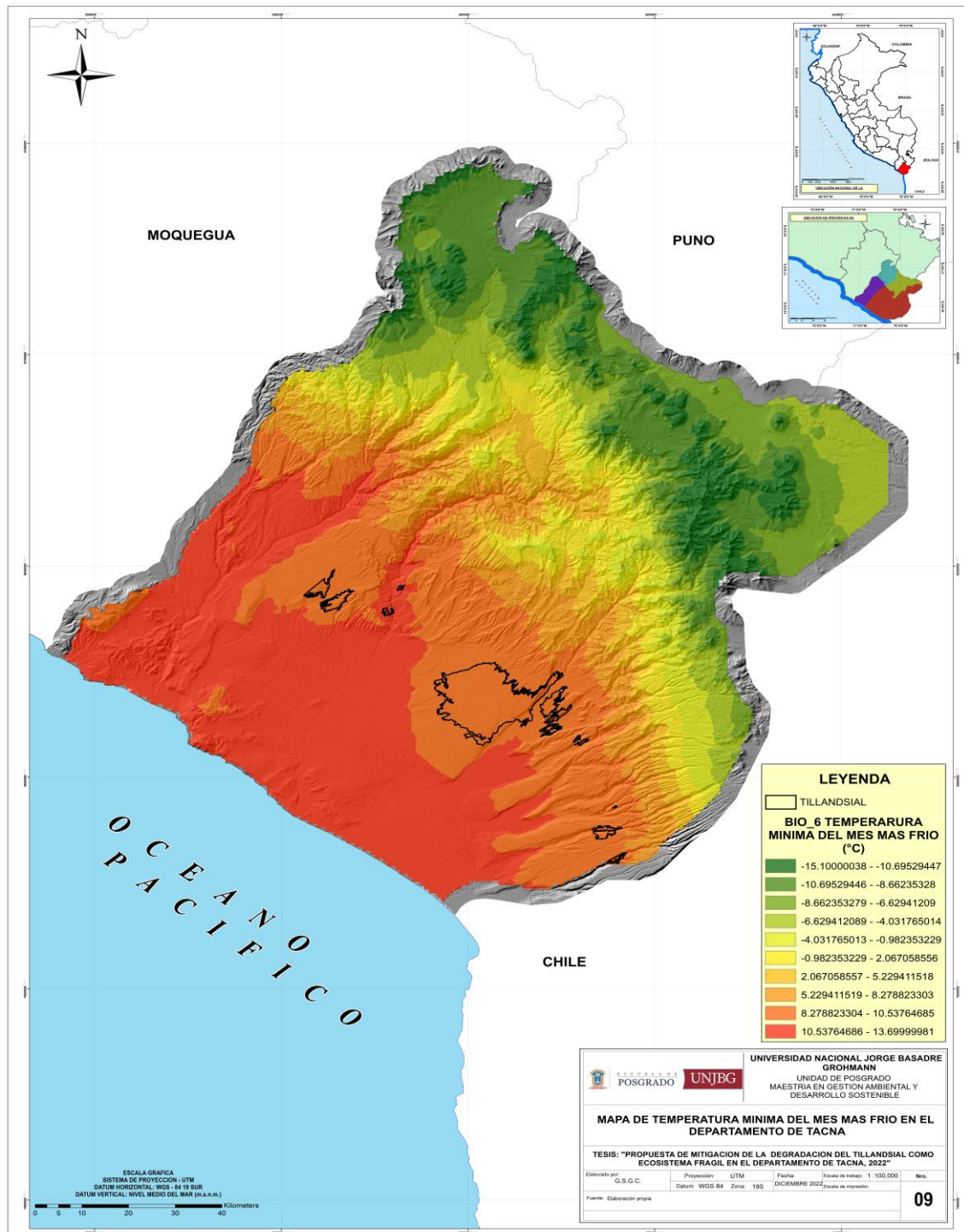
Temperatura máxima en el periodo más cálido



En la Figura 48 se observa la variable bioclimática Bio 5 “Temperatura máxima en el periodo más cálido” en el departamento de Tacna, cuyo ecosistema tillandsial se encuentre entre los 24,33 °C hasta los 27,89 °C, teniendo mayor área en el intervalo de 26,24 °C a los 27,89 °C.

Figura 49

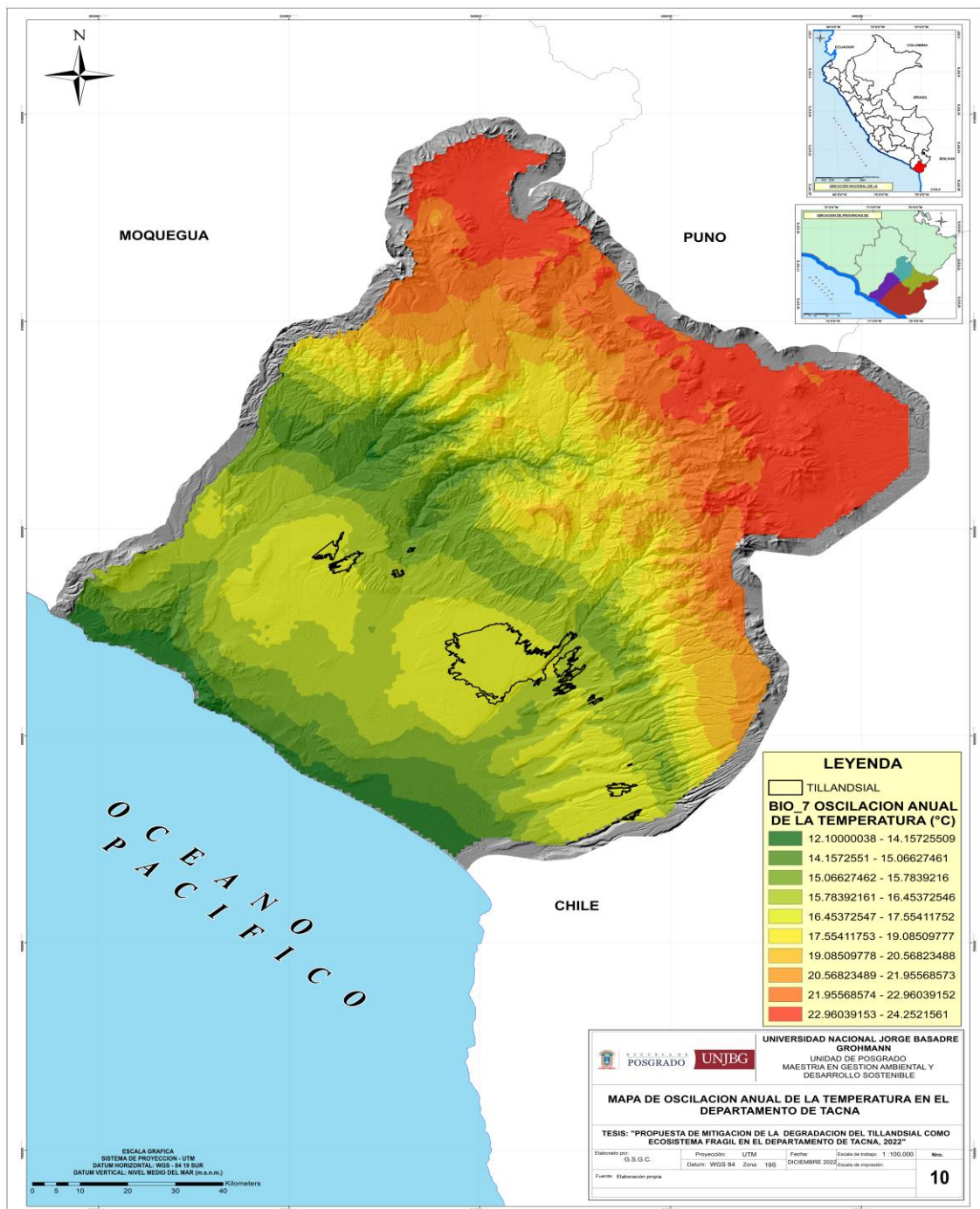
Temperatura mínima en el mes más frío



En el mapa 49 se observa la variable bioclimática Bio 6 “Temperatura mínima en el mes más frío” en el departamento de Tacna, cuyo ecosistema tillandsial se encuentra entre los 8,27 °C hasta los 13,70 °C, teniendo mayor área en el intervalo de 8,27 °C a 10,53 °C.

Figura 50

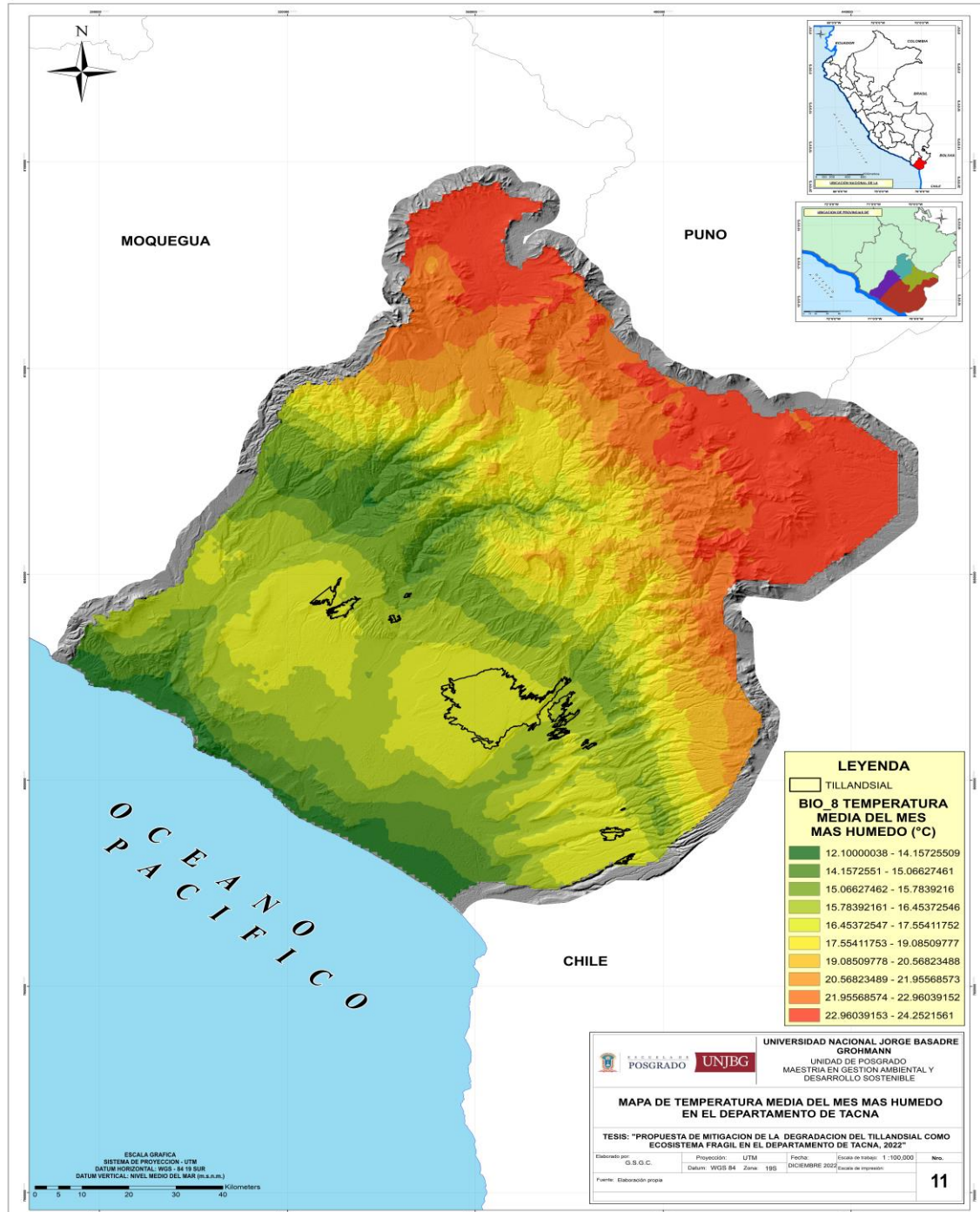
Oscilación anual de la temperatura



En la Figura 50 se observa la variable bioclimática Bio 7 “Oscilación anual de la temperatura” en el departamento de Tacna, cuyo ecosistema tillandsial se encuentra entre los 15,78°C hasta los 17,55 °C, teniendo en cuenta que el intervalo de 16,45 °C hasta los 17,55 °C presenta mayor área.

Figura 51

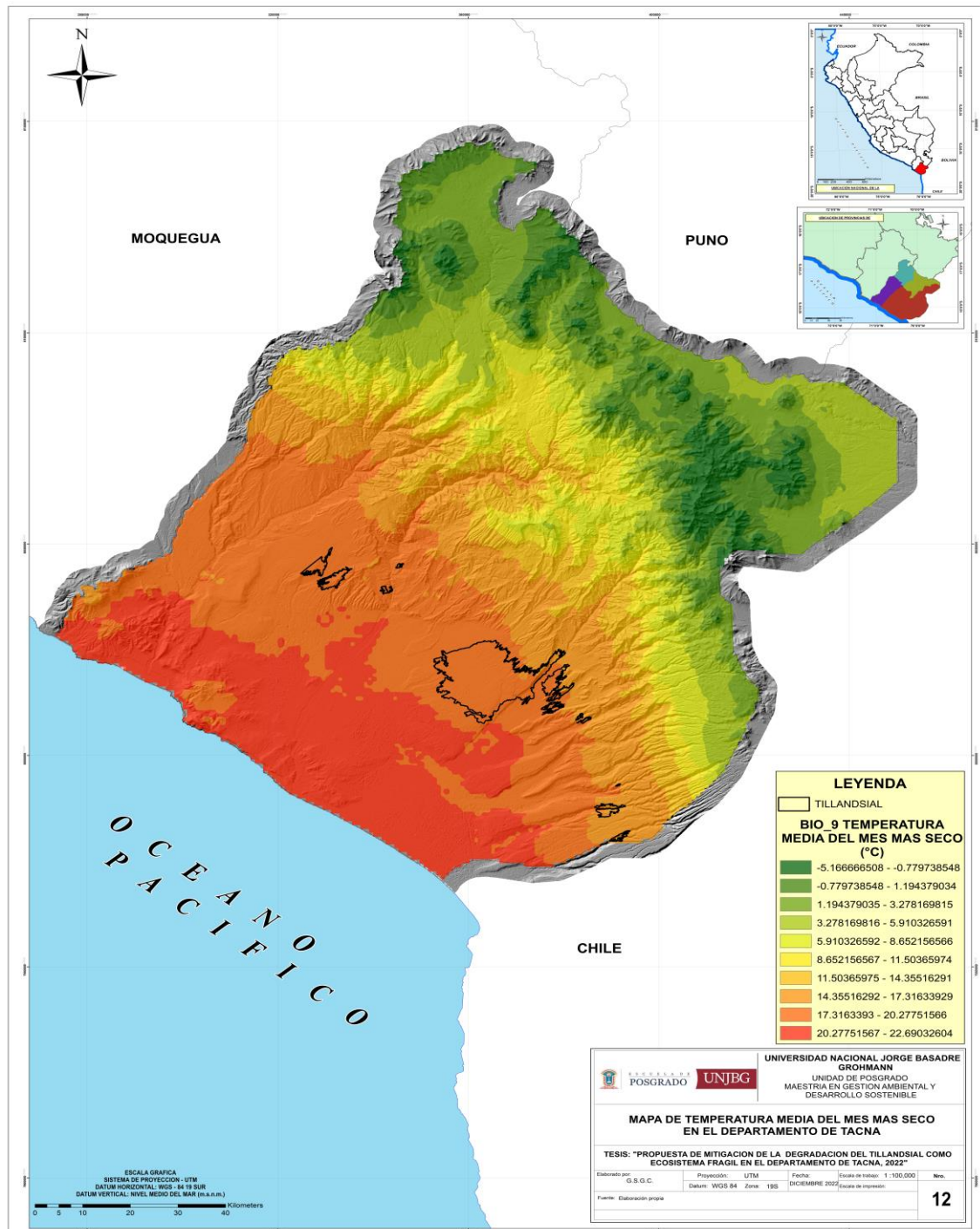
Temperatura media del mes más húmedo



En la Figura 51 se observa la variable bioclimática Bio 8 “Temperatura media del mes más húmedo” en el departamento de Tacna, cuyo ecosistema tillandsial se encuentra entre los 15,78 °C hasta los 17,55 °C, teniendo el área mayor en el intervalo de 16,45 °C hasta los 17,55 °C.

Figura 52

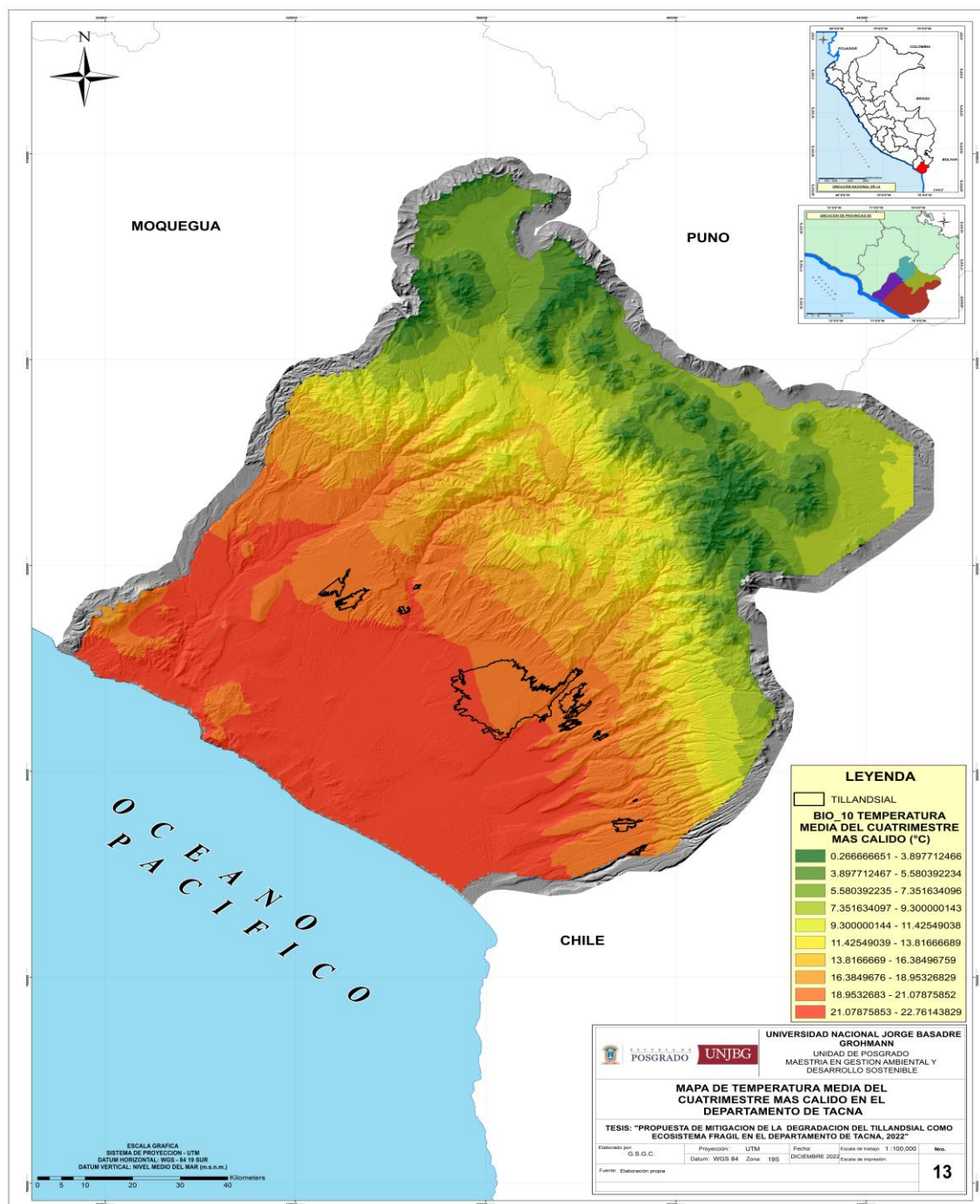
Temperatura media del mes más seco



En la Figura 52 se observa la variable bioclimática Bio 9 “Temperatura media del mes más seco” en el departamento de Tacna, cuyo ecosistema tillandsial se encuentra entre los 14,35 °C hasta los 20,27 °C, teniendo el área mayor en el intervalo 17,32 °C a los 20,28 °C.

Figura 53

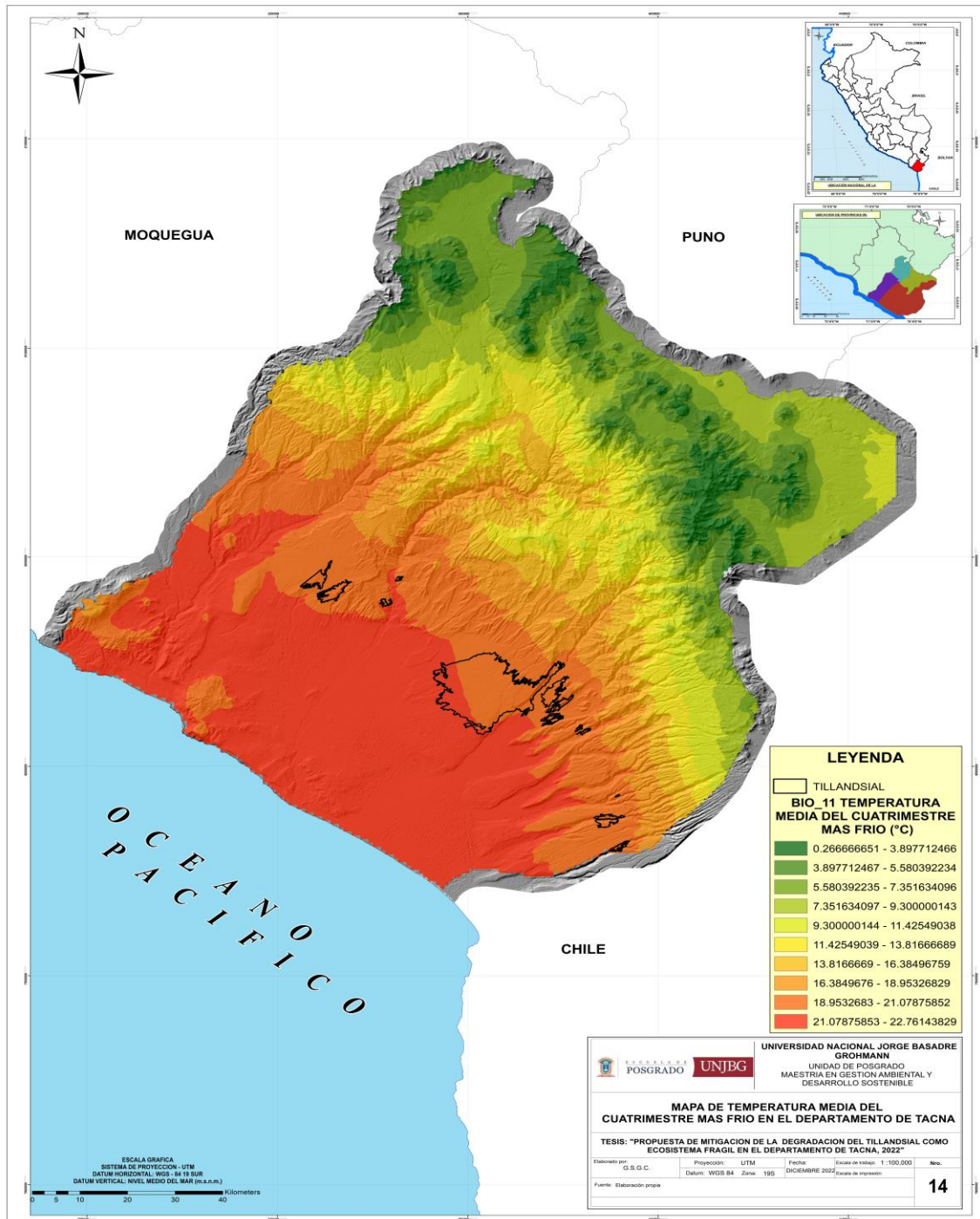
Temperatura media del cuatrimestre más cálido



En la Figura 53 se observa la variable bioclimática Bio 10 “Temperatura media del cuatrimestre más cálido” en el departamento de Tacna, cuyo ecosistema tillandsial se encuentra entre los 16,38 °C hasta los 21,07 °C, teniendo mayor área en el intervalo de 18,95 °C hasta los 21,08 °C.

Figura 54

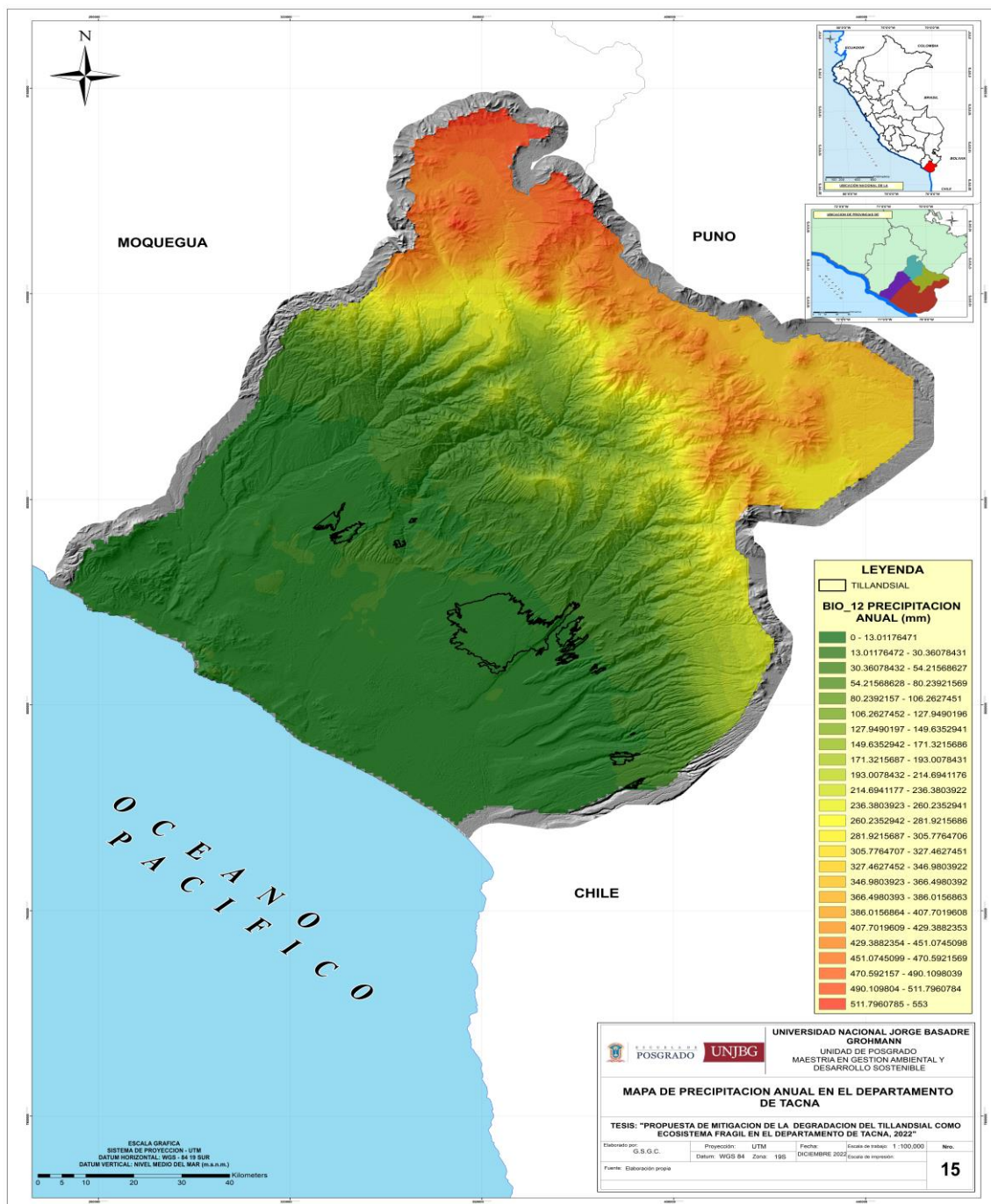
Temperatura media del cuatrimestre más frío



En la Figura 54 se observa la variable bioclimática Bio 11 “Temperatura medio del cuatrimestre más frío” en el departamento de Tacna, cuyo ecosistema tillandsial se encuentra entre los 16,38 °C hasta los 21,08 °C, teniendo mayor área en el intervalo de 18,95 °C hasta los 21,08 °C.

Figura 55

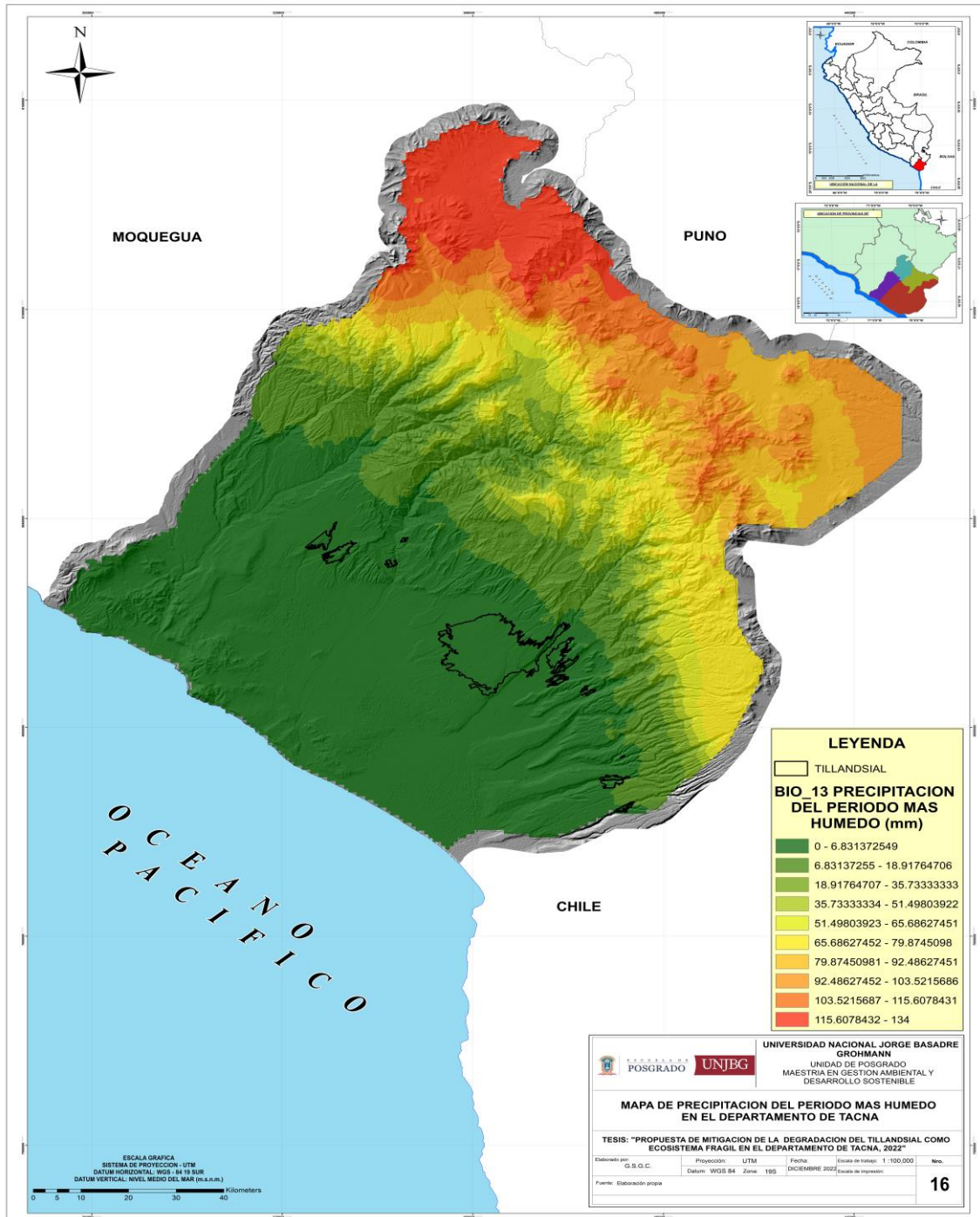
Precipitación anual



En la Figura 55 se observa la variable bioclimática Bio 12 “Precipitación anual” en el departamento de Tacna, cuyo ecosistema tillandsial se encuentra entre los 0 hasta los 13 mm.

Figura 56

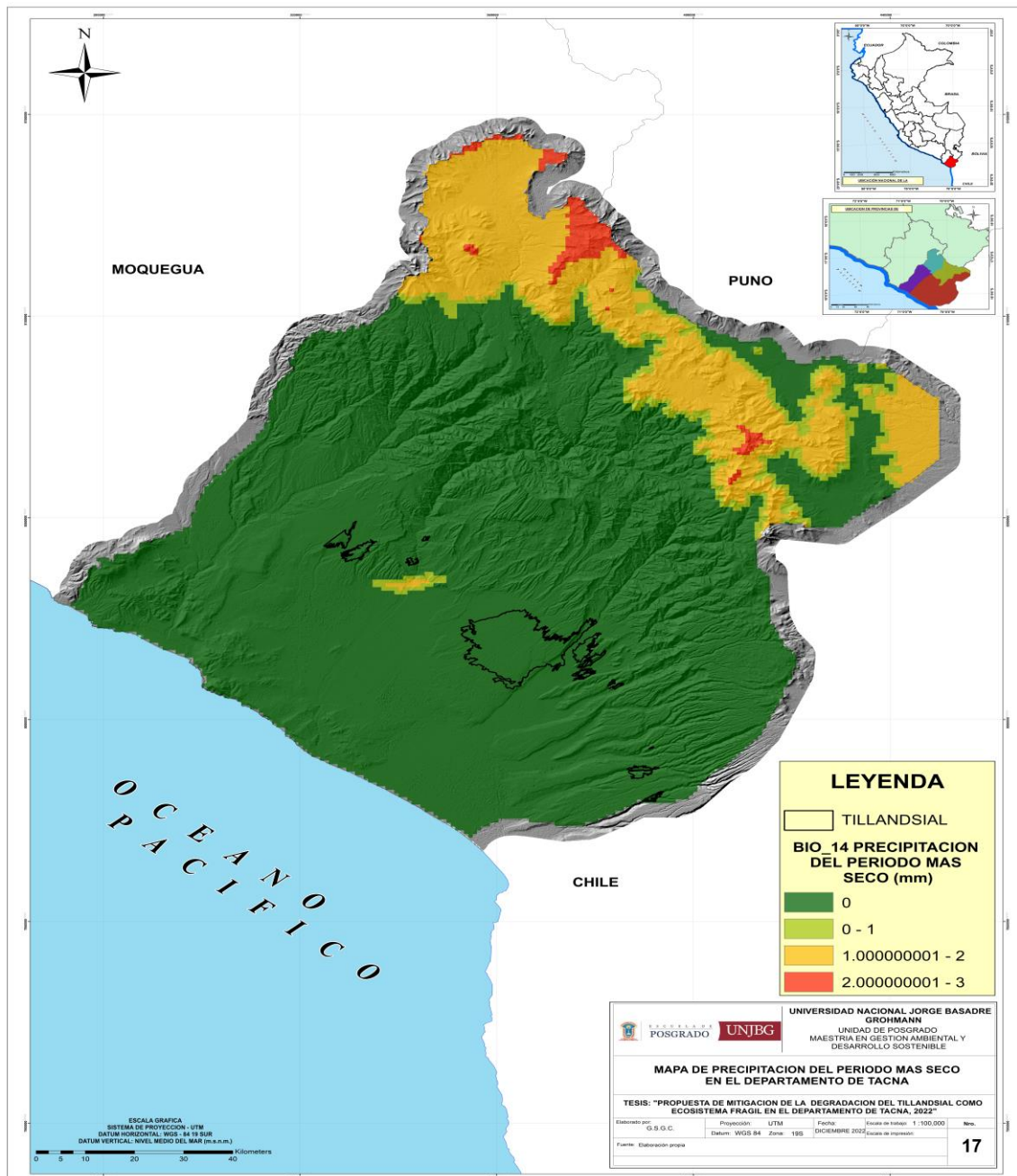
Precipitación del periodo más húmedo



En la Figura 56 se observa la variable bioclimática Bio 13 “Precipitación del periodo más húmedo” en el departamento de Tacna, cuyo ecosistema tillandsial se encuentra entre los 0 mm hasta los 18 mm.

Figura 57

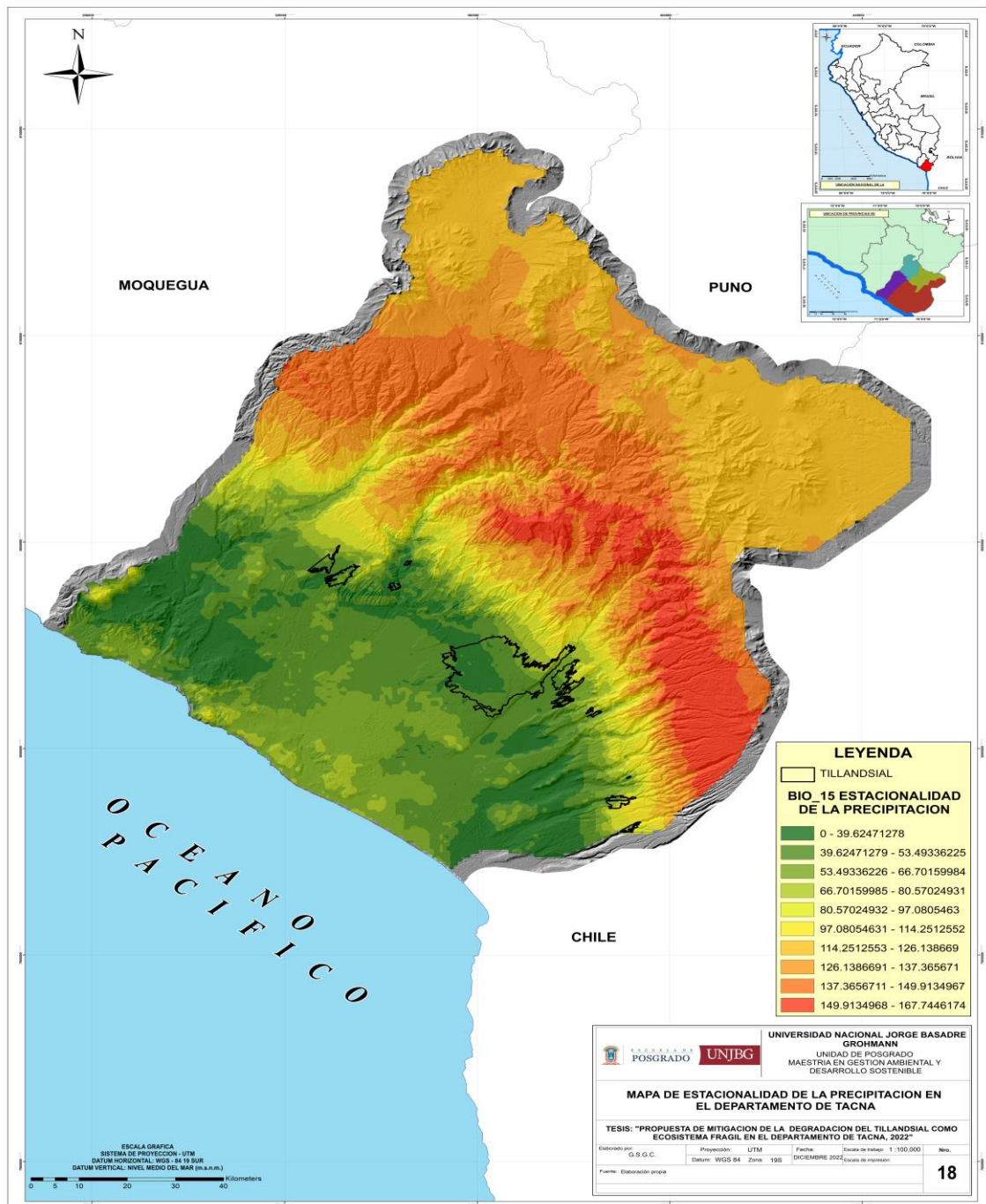
Precipitación del periodo más seco



En la Figura 57 se observa la variable bioclimática Bio 14 “Precipitación del periodo más seco” en el departamento de Tacna, cuyo ecosistema tillandsial se encuentra en 0 mm.

Figura 58

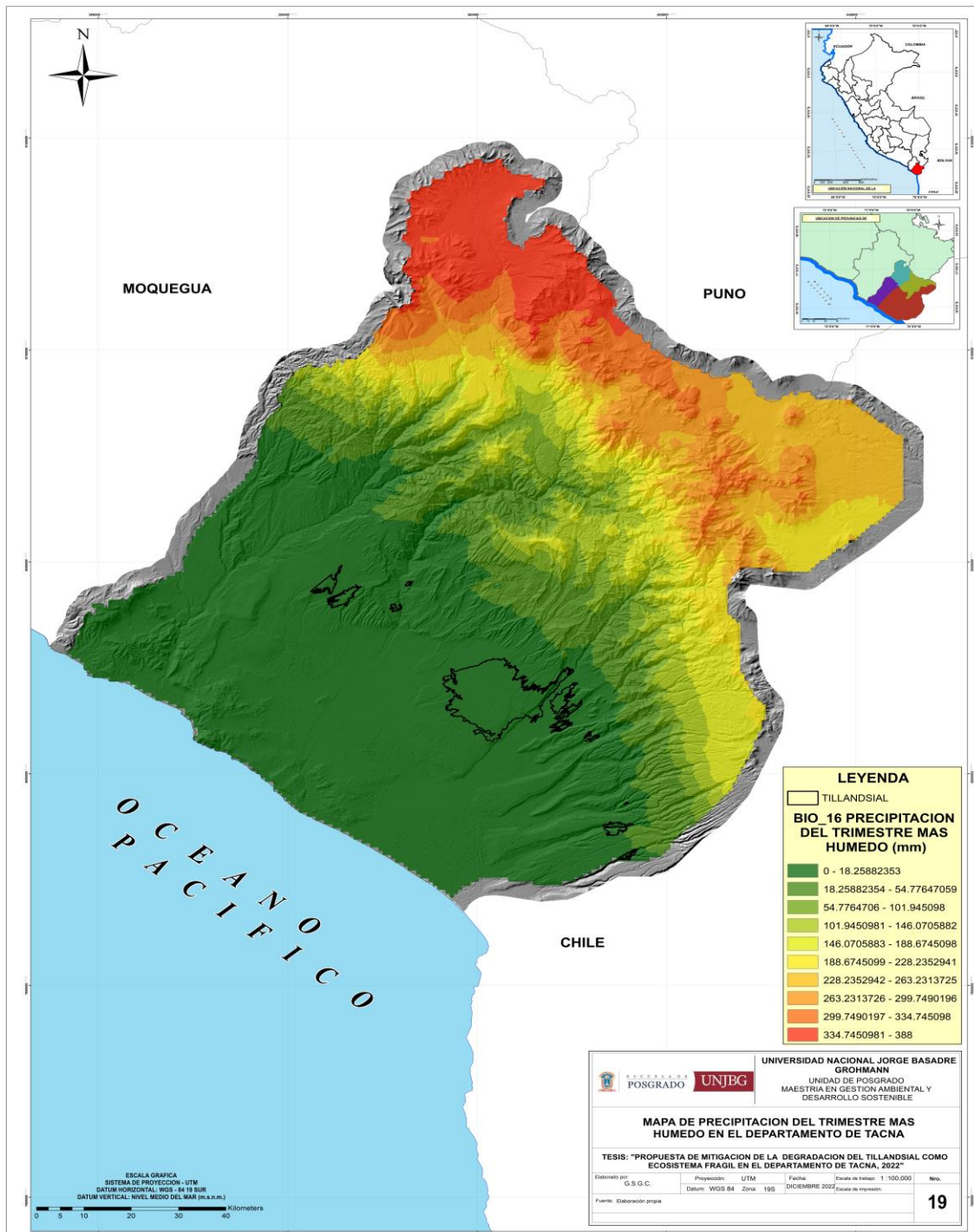
Estacionalidad de la precipitación



En la Figura 58 se observa la variable bioclimática Bio 15 “Estacionalidad de la precipitación” en el departamento de Tacna, cuyo ecosistema tillandsial se encuentra entre 0 % hasta los 66,71 %, teniendo mayor área desde 39,62 % hasta los 53,49 %.

Figura 59

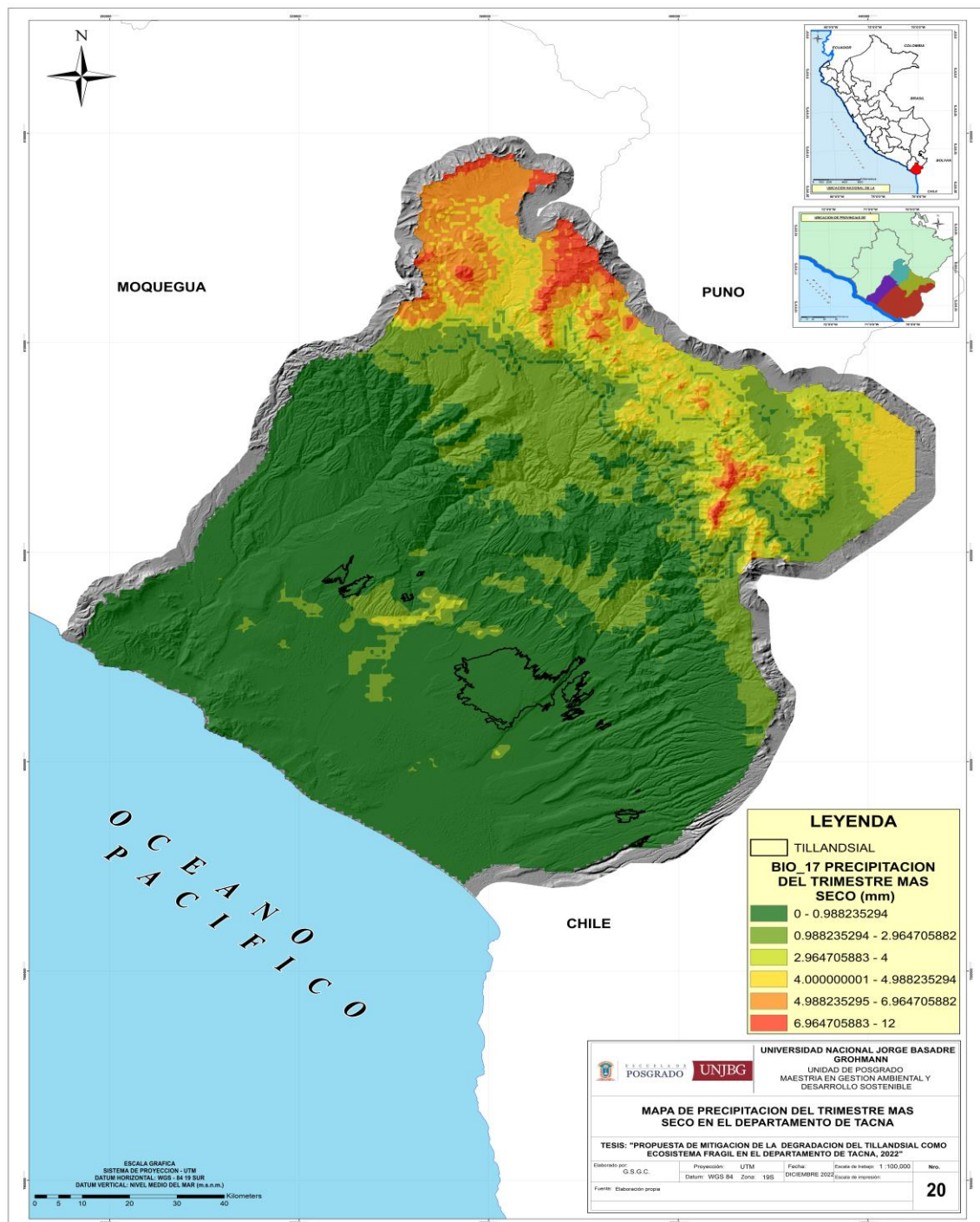
Precipitación del trimestre más húmedo



En la Figura 59 se observa la variable climática Bio 16 “Precipitación del trimestre más húmedo” en el departamento de Tacna, cuyo ecosistema tillandsial se encuentra entre los 0 mm hasta los 18,26 mm.

Figura 60

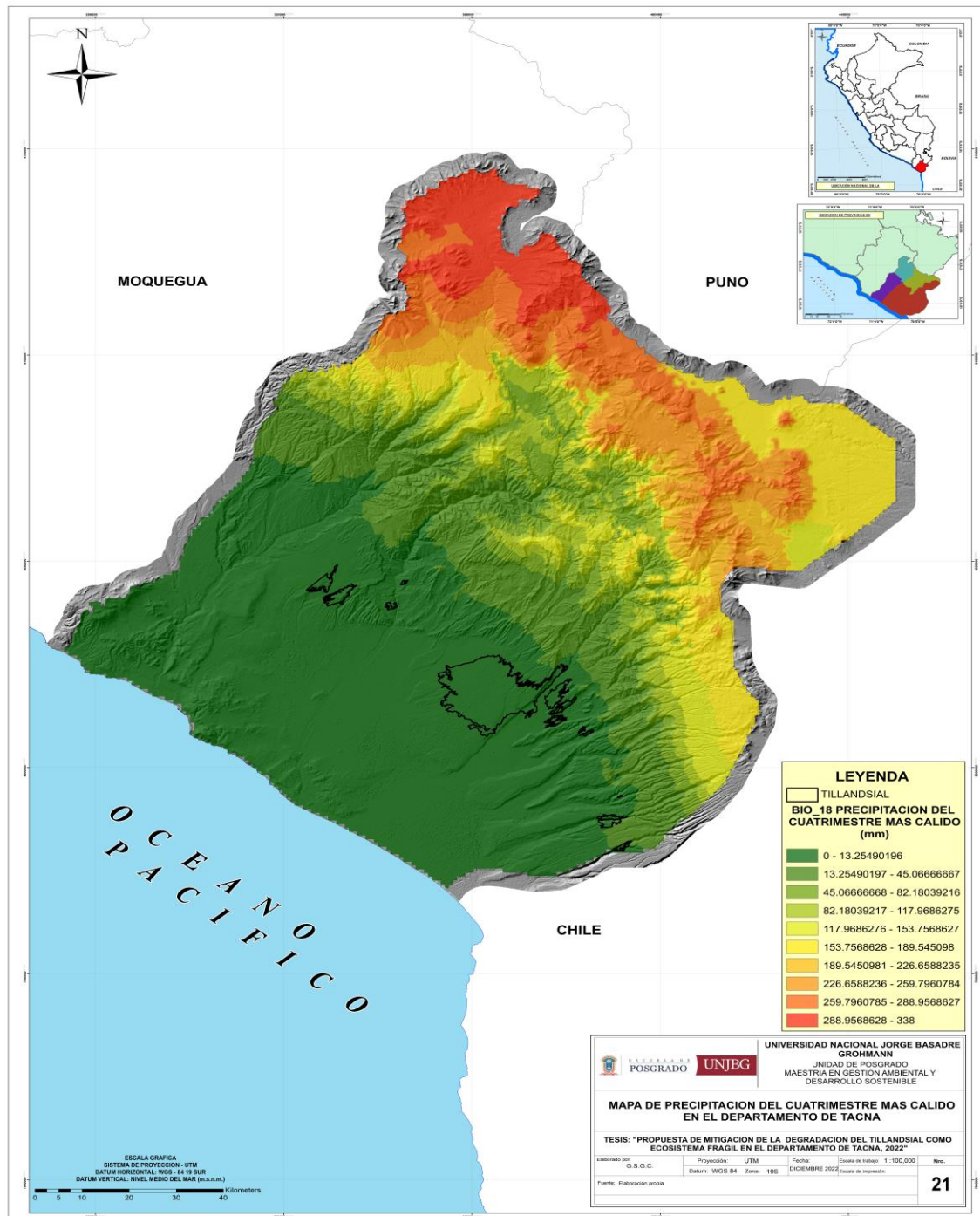
Precipitación del trimestre más seco



En la Figura 60 se observa la variable bioclimática Bio 17 “Precipitación del trimestre más seco” en el departamento de Tacna, cuyo ecosistema tillandsial se encuentra entre los 0 mm hasta los 0,9 mm.

Figura 61

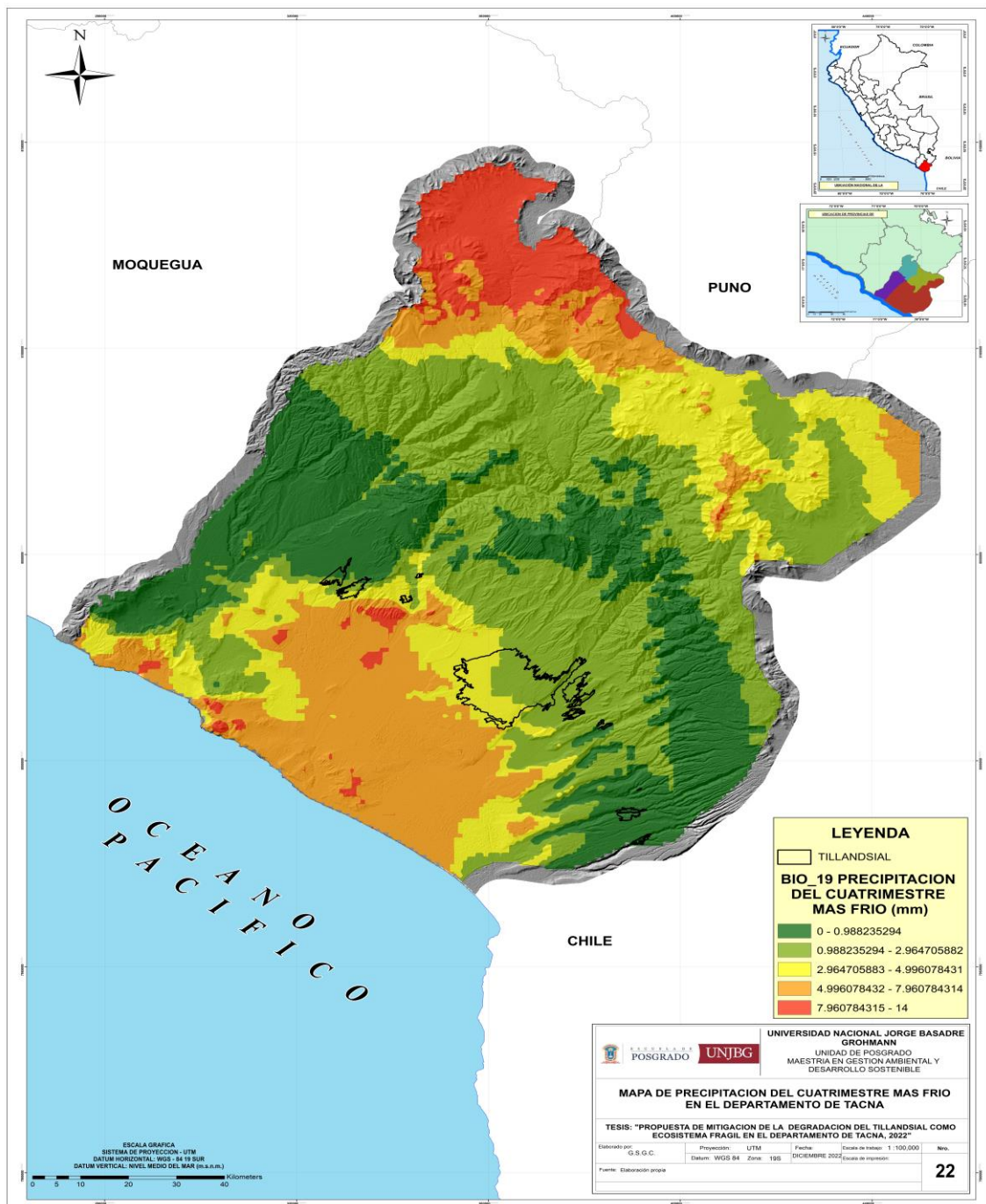
Precipitación del cuatrimestre más cálido



En la Figura 61 se observa la variable bioclimática Bio 18 “Precipitación del cuatrimestre más cálido” en el departamento de Tacna, cuyo ecosistema tillandsial se encuentra entre los 0 mm hasta los 13,25 mm.

Figura 62

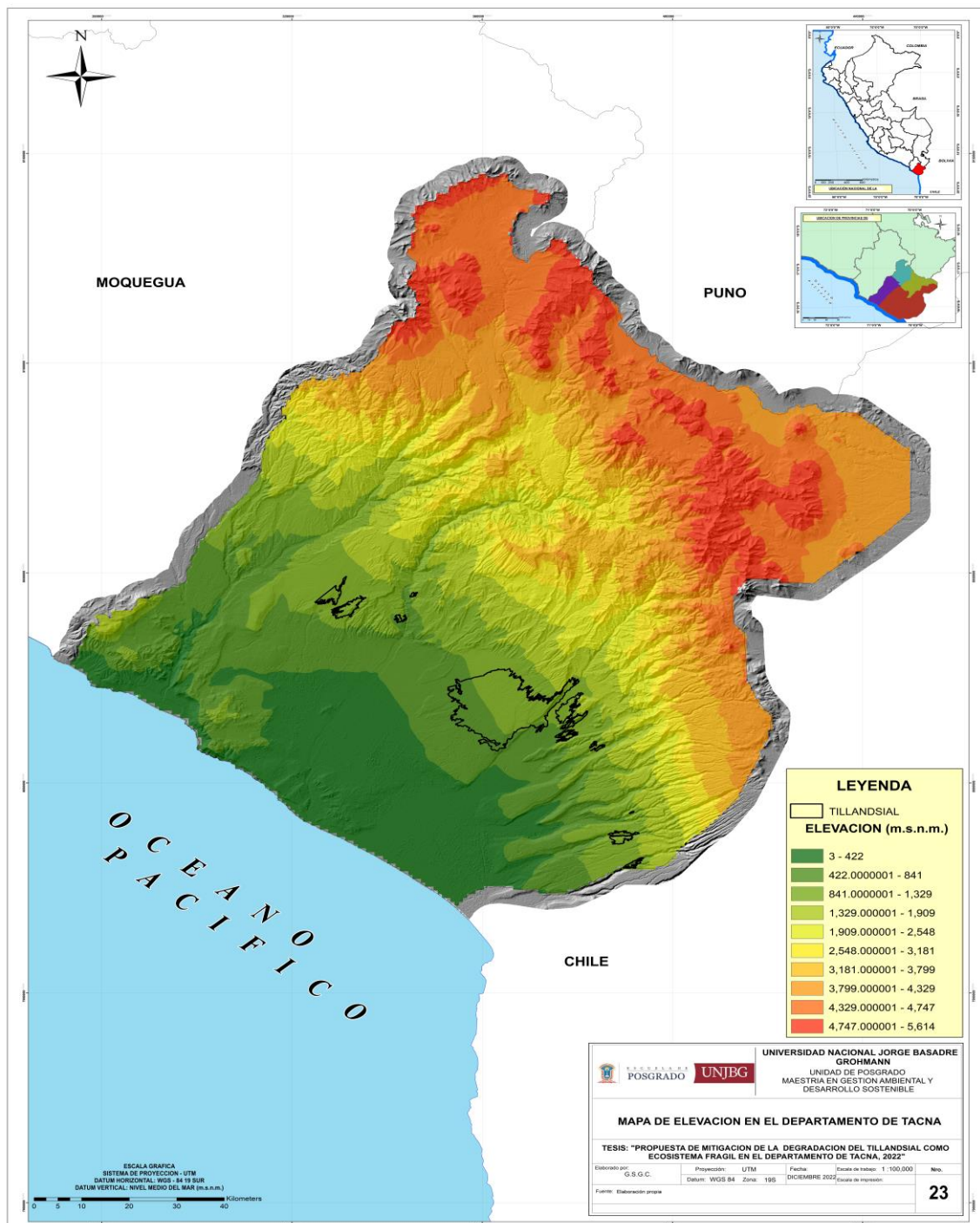
Precipitación del cuatrimestre más frío



En la Figura 62 se observa la variable bioclimática Bio 19 “Precipitación del cuatrimestre más frío” en el departamento de Tacna, cuyo ecosistema tillandsial se encuentra entre los 0 mm hasta los 4,99 mm, teniendo el área mayor en el intervalo de 0,99 mm hasta los 2,97 mm.

Figura 63

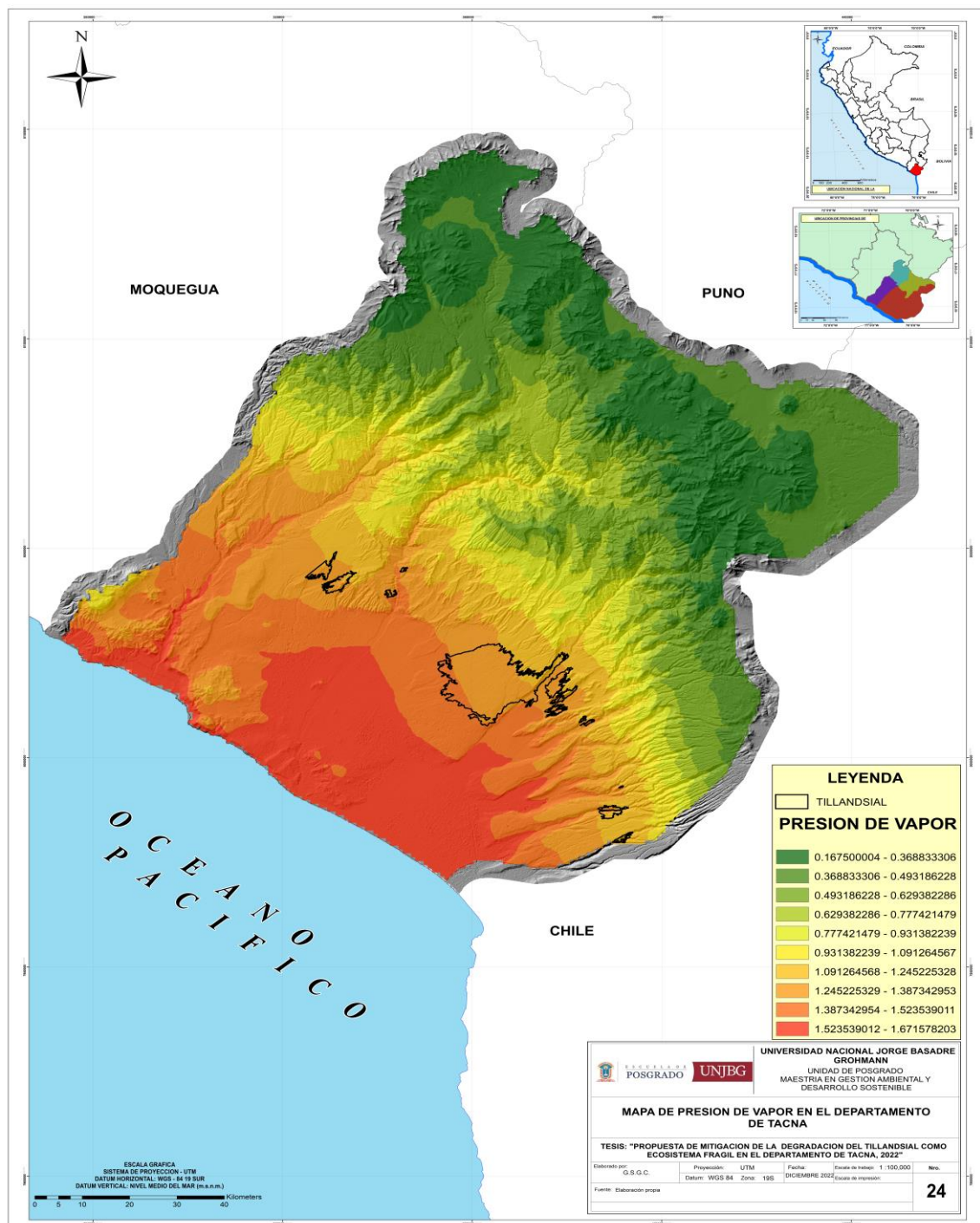
Elevación



En la Figura 63 se observa la variable climática “Elevación” en el departamento de Tacna, cuyo ecosistema tillandsial se encuentra entre los 422 m.s.n.m. hasta los 1 329 m.s.n.m., teniendo el área mayor en el intervalo de 841 m.s.n.m. hasta los 1 329 m.s.n.m.

Figura 64

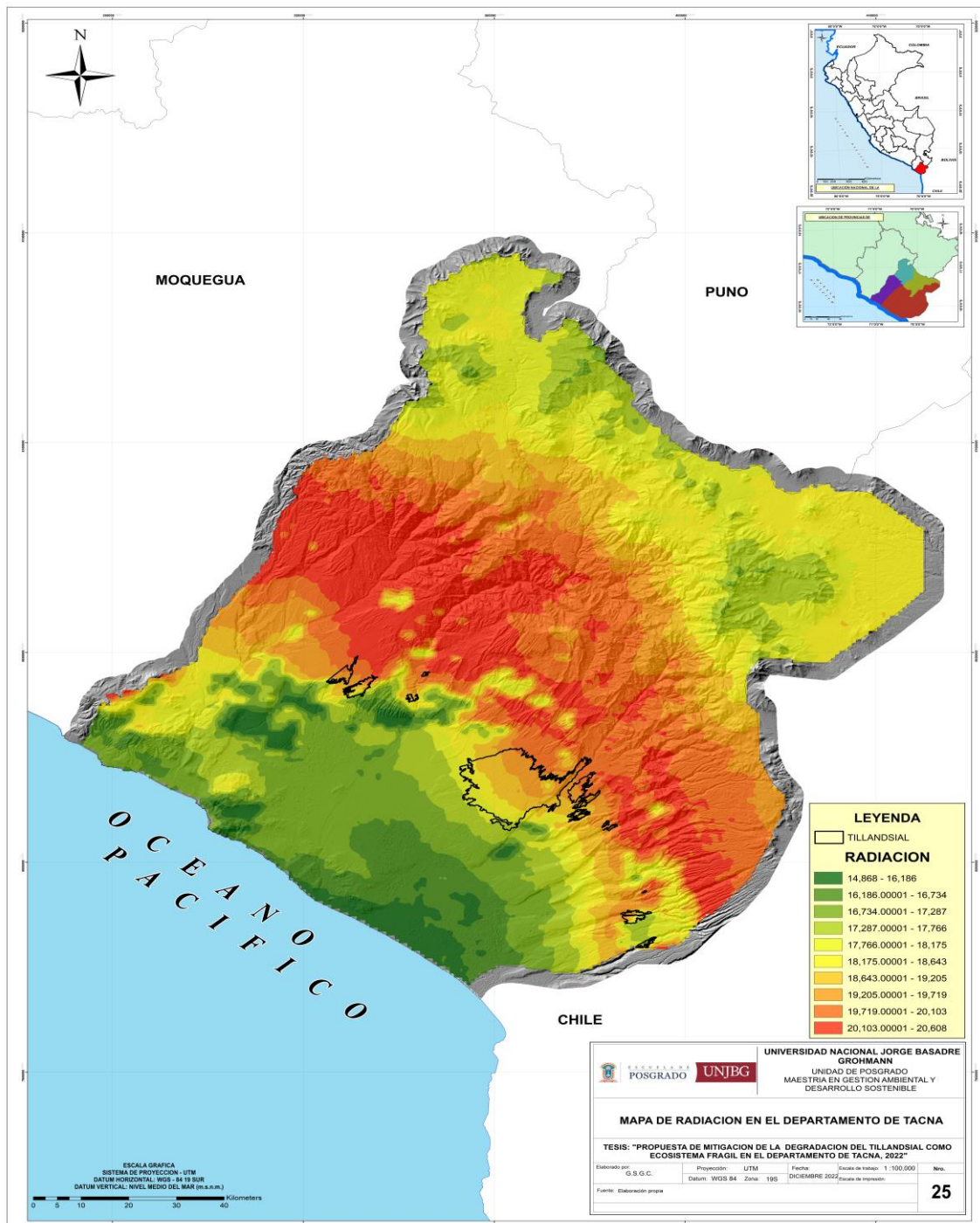
Presión de vapor



En la Figura 64 se observa la variable bioclimática “Presión de vapor” en el departamento de Tacna, cuyo ecosistema tillandsial se encuentra entre los 1,09 Pa hasta los 1,52 Pa, teniendo el área mayor en el intervalo de 1,25 Pa hasta los 1,39 Pa.

Figura 65

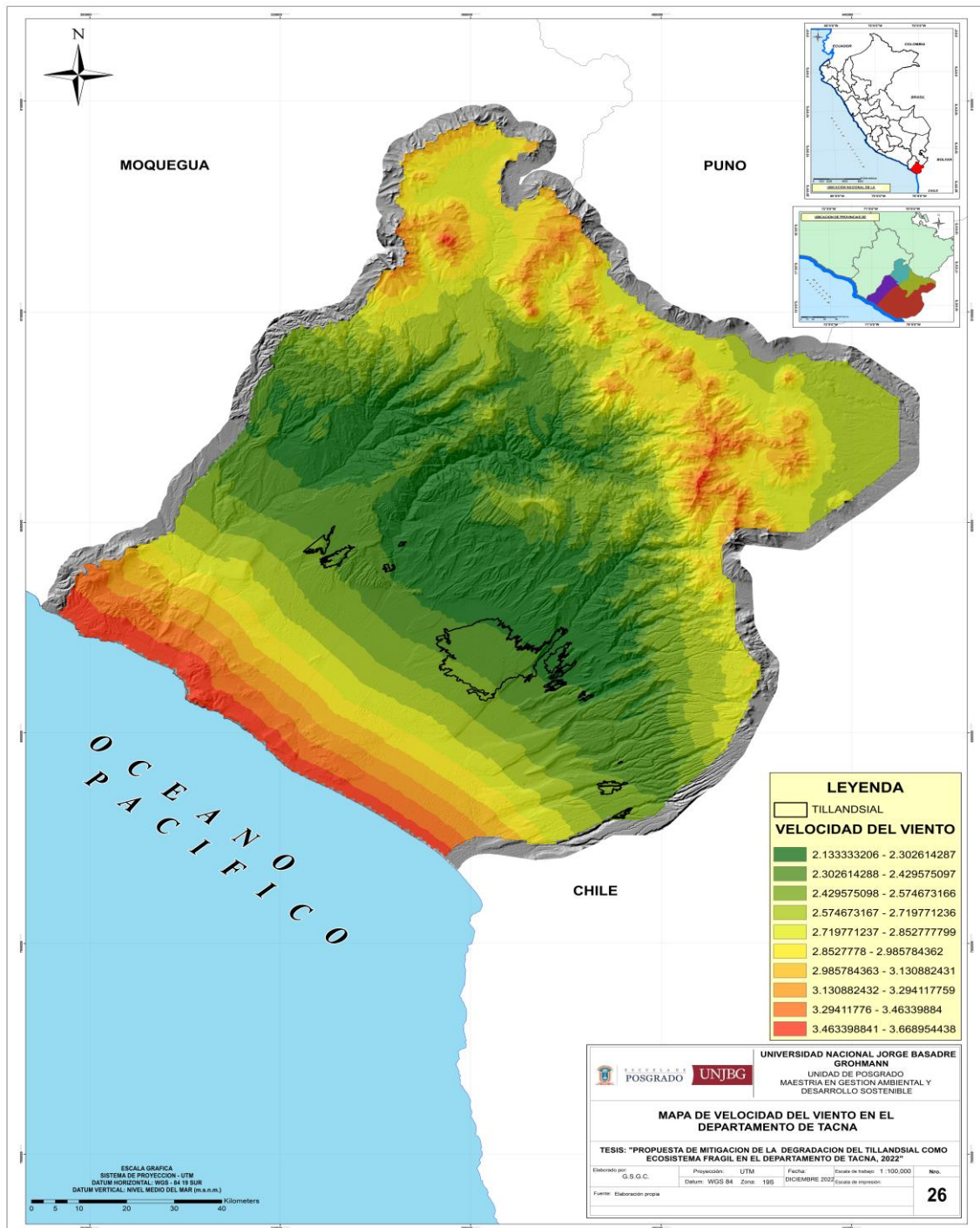
Radiación



En la Figura 65 se observa la variable bioclimática “Radiación” en el departamento de Tacna, cuyo ecosistema tillandsial se encuentra entre los 17,2 hasta los 19,7, se encuentra en el índice del nivel de radiación ultravioleta alto.

Figura 66

Velocidad del viento



En la Figura 66 se observa la variable bioclimática “Velocidad del viento” en el departamento de Tacna, cuyo ecosistema tillandsial se encuentra entre los 2,13 m/s hasta los 2,57 m/s, teniendo el área mayor en el intervalo de 2,30 m/s hasta los 2,43 m/s.

4.3.2. Modelamiento para la distribución potencial de las especies del género *Tillandsia*.

a) Puntos de ocurrencia y distribución

Se recopiló un total de 371 registros concernientes a las siete salidas de campo, tipificados en la hoja de recolección de datos, comprendido entre los meses de agosto, setiembre y octubre del año 2022 (Anexo 1).

b) Contribución de variables bioclimáticas

En la Tabla 9 presenta las variables bioclimáticas que tuvieron mayor importancia ambiental en el crecimiento de las especies del género *Tillandsia*; de las 22 variables evaluadas, seis son las variables más importantes: Bio_15 Estacionalidad de la precipitación, con una contribución del 18,1 %, Bio_1 Temperatura promedio anual, con una contribución del 14 %, vientos, con una contribución de 10,4 %, Bio_9 Temperatura media del mes más seco, con una contribución de 9,9 %, Bio_19 Precipitación del cuatrimestre más frío, con una contribución del 9,6 % y Bio_7 Oscilación anual de la temperatura, con una contribución del 9,3 %, que aportó al modelo final con más de un 70 %.

Dos variables de precipitación, tres variables de temperatura y vientos fueron identificadas en el modelo de distribución espacial para las especies del género *Tillandsia*, los cuales son características de las especies modeladas.

Tabla 10

Importancia de las variables bioclimáticas para la distribución potencial de las especies del género Tillandsia

Variable	Porcentaje de contribución
bio_15	18,1
bio_1	14
vientos	10,4
bio_9	9,9
bio_19	9,6
bio_7	9,3
bio_17	8,2
bio_8	5,3
bio_18	3,6
bio_5	3,5
pres_vapor	1,8
bio_13	1,4
bio_11	1,3
bio_4	1,2
radiacion	1
bio_16	0,6
bio_2	0,4
bio_12	0,2
bio_10	0,1
bio_3	0,1
bio_14	0
bio_6	0
elevacion	0

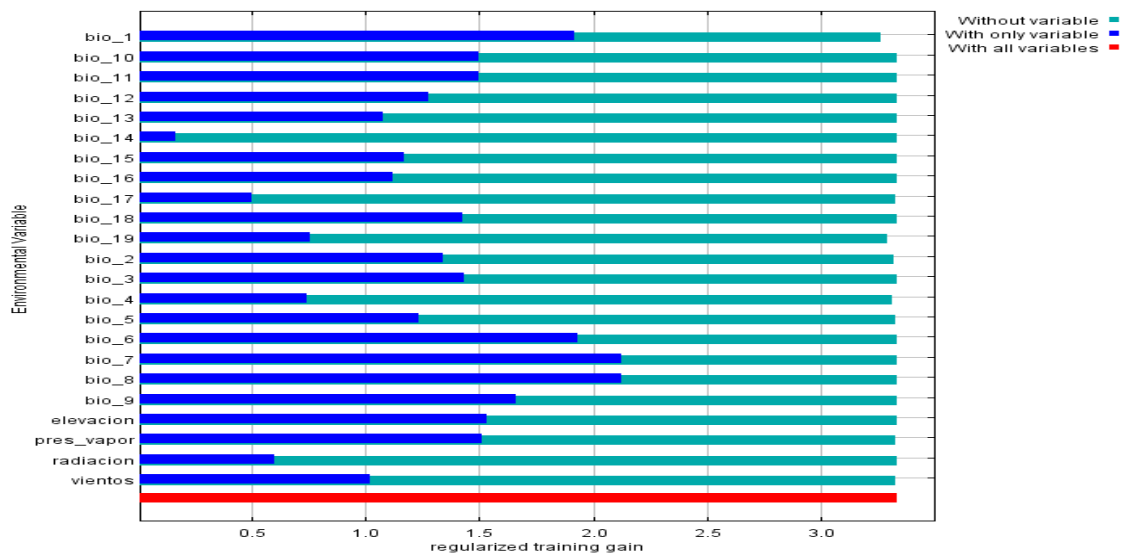
Nota: Información obtenida por la base de datos WorldClim

En el análisis de la contribución de variables, Figura 67, la variable ambiental con mayor ganancia cuando se utiliza de forma aislada es bio_7 (Oscilación anual de la temperatura), que por lo tanto parece tener la información más útil por sí misma. La variable ambiental que disminuye más la ganancia cuando se omite es bio_1 (Temperatura promedio anual), que por tanto parece tener la mayor información que no está presente en las otras variables.

- Línea Azul: Modelo trabaja únicamente con la variable.
- Línea Celeste: Cuando se trabaja con todas las variables menos con esa variable.
- Línea Roja: Cuando se trabaja con todas las variables.

Figura 67

Análisis de contribución de variables



a) Validación del modelo de distribución de especies del género *Tillandsia*

Una de las herramientas más utilizadas para validar los modelos de distribución de especies es la curva ROC que describe la tasa de identificación correcta de presencias (eje y) contra las falsas alarmas (eje x) (Correia, 2019) es decir se mide la probabilidad de que seleccionando al azar una presencia y una ausencia, el modelo clasifique con un valor de idoneidad mayor a la presencia que a la ausencia (Blas, 2015). A su vez, la curva ROC da origen al estadístico llamado AUC (*Area Under the Curve*), que es el área bajo la curva roja. Esta, mide la probabilidad de que un punto de presencia seleccionado al azar tenga un valor de idoneidad más alto que el de un punto aleatorio seleccionado al azar (Blas, 2015). Un clasificador aleatorio tiene una AUC de 0.5, un muy buen clasificador tiene un área muy cercana a 1. MaxEnt evalúa los aciertos y fracasos que ha conseguido en el modelo aportando un valor de AUC que indicará cuán preciso es nuestro modelo (mostrará valores entre 0 y 1). De acuerdo a (Araújo & Guisan, 2006) recomiendan la siguiente interpretación del AUC para los modelos generados:

- Excelente $0,90 > AUC < 1,00$
- Buena $0,80 > AUC < 0,90$
- Aceptable $0,70 > AUC < 0,80$
- Mala $0,60 > AUC < 0,70$
- No válida $0,50 > AUC < 0,60$

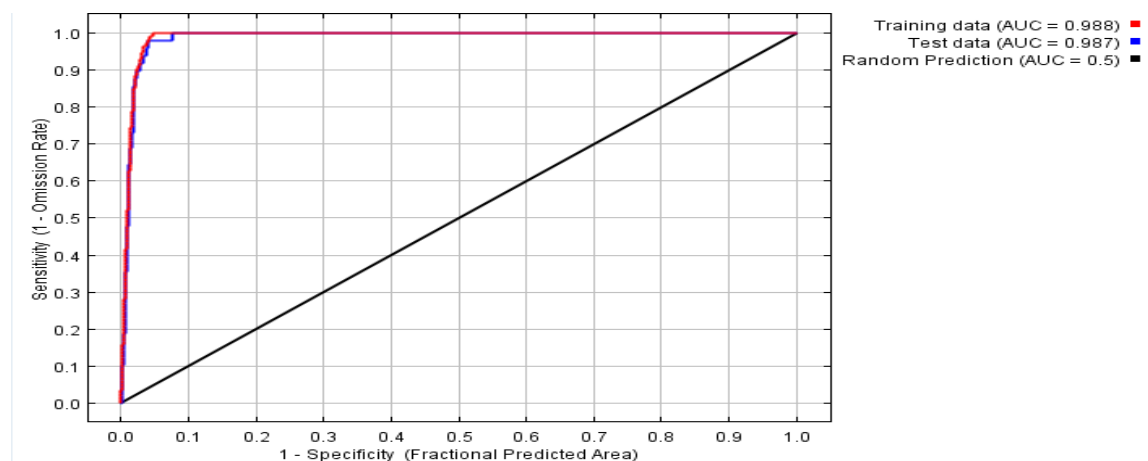
Los resultados de la aplicación de la técnica ROC (Curva característica del funcionamiento del receptor) indicaron que el modelo es excelente, ya que el valor del cálculo del área bajo la curva (AUC) para los datos de entrenamiento (línea roja) y para los datos de prueba (línea azul) fueron de 0,988 y 0,987 respectivamente (Figura 68).

Según Hernández et al. (2018) mientras ambas curvas (azul y roja) se sitúen lo más juntas posible, menor es el ajuste del modelo, lo que indicaría que no habría ningún error de omisión. Claramente el valor será menor que 1 porque siempre habrá puntos aleatorios sobre áreas idóneas. Por esta razón, las líneas no se ven completamente superpuestas. Sumado a esto, las líneas azul y roja serán idénticas si se usan los mismos datos de entrenamiento y prueba (Muñoz-Reja, 2018).

La línea roja muestra el ajuste del modelo a los datos de entrenamiento y hace referencia a la capacidad que tiene para predecir (que tan cercano se encuentra a la realidad). La línea negra representa lo que se esperaría si el modelo no fuese mejor que el azar. En este caso, la línea azul se encuentra por encima de la línea negra y cercana a la roja, indicando una muy buena capacidad predictiva del modelo.

Figura 68

Curva característica del funcionamiento del receptor (ROC)

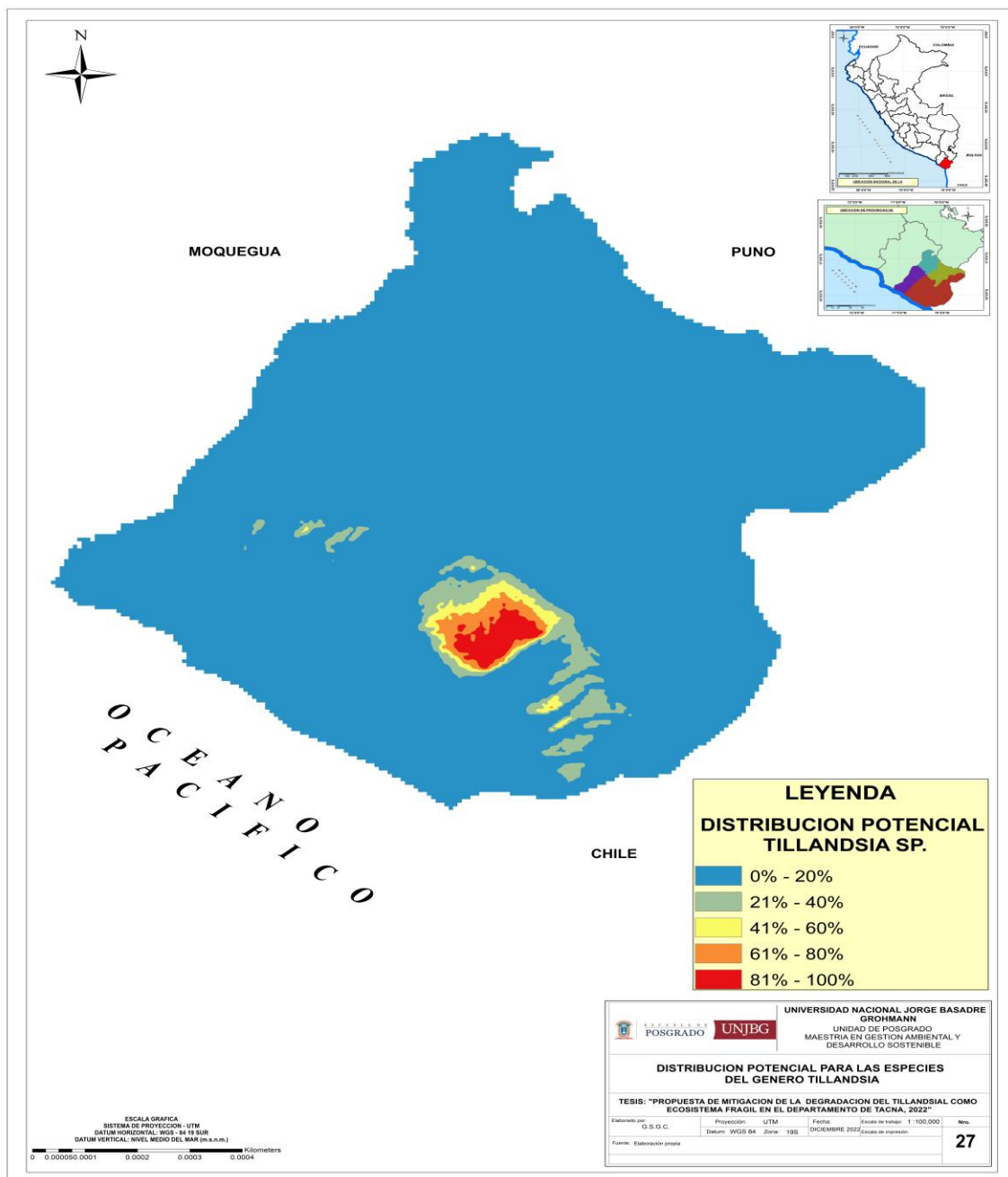


b) Mapa de distribución potencial de las especies del género *Tillandsia*

La distribución potencial estuvo interpretada como una idoneidad de hábitat, donde la especie podría estar presente o no, pero alcanza las condiciones idóneas para su establecimiento.

Figura 69

Distribución potencial de las especies del género Tillandsia



La representación del modelo MaxEnt clasificado en ArcGIS para la probabilidad de distribución de las especies del género *Tillandsia*, se presenta en la Figura 69. Los colores amarillo, anaranjado y rojo muestran las zonas con mejores condiciones de predicción.

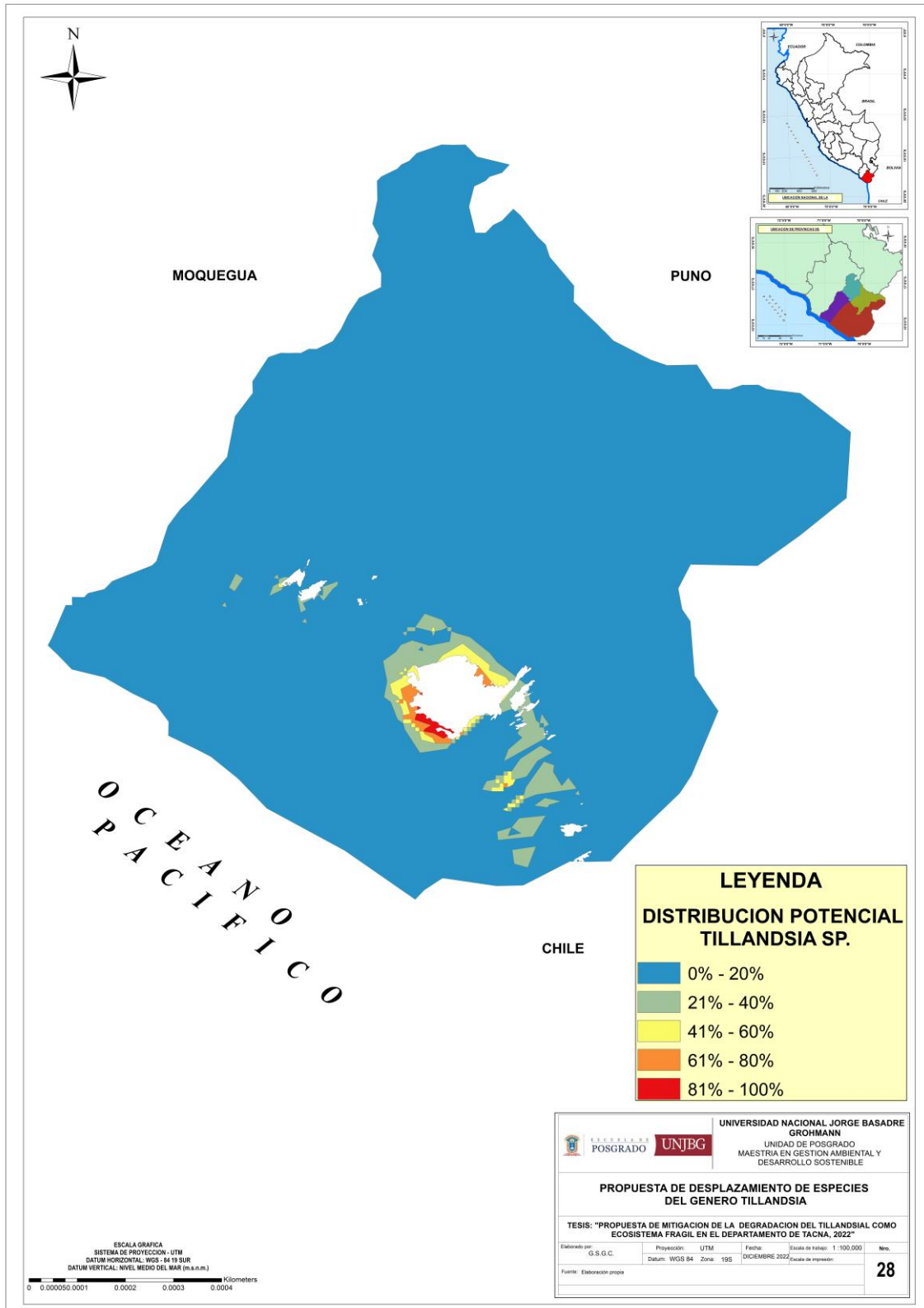
Las áreas que se obtuvieron en la Figura 69 de distribución potencial para las especies del género *Tillandsia* fueron las siguientes:

En el intervalo de 0 % a 20 % cuenta con un área de 1 294 038 ha, el intervalo de 21 % a 40 % posee un área de 37 270 ha, el intervalo de 41 % a 60 % tienen un área de 10 882 ha, el intervalo de 61 % a 80 % posee 10 232 ha y por último el intervalo de 81 % a 100 % cuenta con un área de 11 181 ha.

El área con alta probabilidad de presencia (>81 %) para las especies del género *Tillandsia*, cuyas variables climáticas más importantes fueron la temperatura media va desde los 16 °C hasta los 19 °C, la variabilidad de la precipitación se encontró en un intervalo de 39 % a 53 % y la variable climática velocidad del viento se encontró en un intervalo de 2,13 m/s a 2,57 m/s.

Figura 70

Propuesta de desplazamiento para las especies del género Tillandsia



En la Figura 70 se puede observar la propuesta de desplazamiento para las especies del género *Tillandsia* y ampliación, que, sustrayendo el área del ecosistema tillandsial se obtienen nuevas áreas de idoneidad mediante cinco categorías de priorización de forma ascendente, de 0 % a 20 % cuenta con un área de 1 290 335 ha, el intervalo de 21 % a 40 % posee un área de 34 147 ha, el intervalo de 41 % a 60 % tienen un área de 7 790 ha, el intervalo de 61 % a 80 % posee 3 342 ha y por último el intervalo de 81 % a 100 % cuenta con un área de 1 441 ha. El porcentaje significa la distribución potencial para las especies del género *Tillandsia*, desde 0 % donde habría muy poca presencia de estas especies hasta el 100 % idóneo para el desplazamiento de las especies, en esta investigación se recomienda seleccionar las áreas mayores al 40 % de idoneidad.

Intervalos de entre el 0 y el 20 % → Índice de idoneidad de hábitat MUY BAJO

Intervalos de entre el 21 y el 40 % → Índice de idoneidad de hábitat BAJO

Intervalos de entre el 41 y el 60 % → Índice de idoneidad de hábitat MEDIO

Intervalos de entre el 61 y el 80 % → Índice de idoneidad de hábitat ALTO

Intervalos de entre el 81 y el 100 % → Índice de idoneidad de hábitat MUY
ALTO

Para la propuesta de mitigación se tomaron los índices de idoneidad de hábitat medio, alto y muy alto para determinar las áreas potenciales para su posterior conservación. La metodología de la distribución potencial de las especies es de acuerdo a Phillips et al., (2006).

En el presente mapa, las áreas de color amarillo (41 % - 60 %), anaranjado (61 % - 80 %) y rojo (81 % - 100 %), son las áreas de priorización para el desplazamiento de especies, teniendo un total de 11 862 ha.

4.3.3 Propuesta de mitigación para el rescate y reubicación del género *Tillandsia* (tillandsial) como ecosistema frágil en el departamento de Tacna.

- Se llevaron a través de la translocación por actividad humana, a las áreas donde el modelo predijo que existe características similares para desarrollar el nicho ecológico de las especies del género *Tillandsia*.
 - En términos biológicos, el modelo mostró condiciones de distribución preferenciales para las especies del género *Tillandsia*.
 - Esta información fue útil para aplicar la estrategia de conservación, en las zonas donde existe la mayor probabilidad de desarrollo de nicho ecológico de las especies.
- a) Recolección de las especies del género *Tillandsia*.
- Esta actividad consistió en recolectar las plantas epífitas, se realizará desde la base de la planta.
 - Se procedió con la extracción de la planta, cuidando no perder en el procedimiento de ningún órgano importante.
 - Se realizó el desprendimiento manual de la planta tratando de causar el menor impacto posible sobre su sistema radical.
 - Durante la recolección se dio preferencia a ejemplares que no estén afectados por enfermedades o plagas.
 - Para esto se realizó un reconocimiento de las lesiones ocasionadas por los hongos y bacterias por su apariencia al tacto, dando preferencia a individuos juveniles y adultos saludables.
 - Se tomaron datos acerca de la ecología de las especies rescatadas y considerar en su posterior reubicación.

b) Traslado:

Las especies del género *Tillandsia* se trasladaron a las zonas que poseen alto valor de idoneidad del hábitat en el intervalo de 81 % al 100 %.

Para el traslado se tomó en cuenta lo siguiente:

- Se realizó el traslado de las especies del género *Tillandsia* en las áreas prioritarias encontradas mediante el programa MaxEnt.
- El hábitat a reubicar tuvo las mismas condiciones para el ciclo de vida de las especies del género *Tillandsia*.
- Las especies extraídas fueron transportadas de forma manual y en vehículos hasta el lugar de desplazamiento.

c) Monitoreo y mantenimiento:

Consistió en actividades de control fitosanitario y registro en la evaluación de las plantas verificando con una observación directa el estado de las especies trasladadas al nuevo lugar de desplazamiento. Estos datos se registraron en un formato de campo durante el tiempo de adaptación de estas especies en el nuevo hábitat (Anexo 2).

Durante las primeras semanas posteriores al traslado, las especies del género *Tillandsia* se encontraron en un estado de alto estrés por lo que se necesitó mayor atención. Las actividades de monitoreo y mantenimiento deben realizarse mínimo durante tres años, preferiblemente con periodicidad quincenal durante los primeros seis meses y mensual a partir del sexto mes hasta alcanzar el primer año. El segundo año se puede revisar de manera trimestral y el tercer año semestral, sin embargo, será la autoridad ambiental local (SERFOR).

Tabla 11*Criterios usados en el rescate de epífitas*

Diversidad/Rareza	Fitosanitario	Reproductivo	Senescencia
Prima el hecho de rescatar un mayor número de especies que un mayor número de individuos, con el propósito de tener una mejor representatividad en términos de diversidad. O por el contrario, debido a la rareza o sensibilidad de la especie, se puede dar prioridad en recolectar un mayor número de individuos, con énfasis en la zona, cobertura, hábitat o ecosistema.	Se debe verificar que los individuos seleccionados no estén siendo atacados por alguna plaga o tengan presencia de hongos, bacterias u otros organismos que pueden causar su mortalidad.	Se rescatarán individuos de la familia Bromeliaceae, que aún no hayan desarrollado su escapo floral, esto teniendo en cuenta que, al llegar a la etapa reproductiva, se encuentran próximas a finalizar su ciclo de vida.	Para evitar altos índices de mortalidad de los individuos rescatados, se escogen aquellos que no estén en un estado avanzado de desarrollo, debido a que los individuos senescentes pierden la capacidad de adaptarse.

Nota: Protocolo para el rescate, traslado y monitoreo de epífitas vasculares (Giraldo et al., 2018).

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

En el año 2002, el área del tillandsial tenía un área total de 31 787,30 ha, con una densidad poblacional de 29 hab/Km², en base al Censo de 1993 (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 1993) además de contar con las categorías de botadero municipal, publicidad, zona rural.

En el año 2012, el área del tillandsial contaba con un área total 29 585,66 ha y una densidad poblacional de 34 hab/Km², en base al Censo del año 2007 (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2007), añadiendo las categorías de zona agrícola, zona agropecuaria y remoción de las especies del género *Tillandsia*.

En el año 2022, el área del ecosistema tillandsial tenía un área total de 27 493,68 ha y una densidad poblacional de 40 hab/Km², en base al Censo 2017 (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2017), considerando las categorías de botadero municipal, publicidad, zona rural, zona agrícola, zona agropecuaria y remoción de las especies del género *Tillandsia*.

La categoría que tuvo pérdida en cuanto al área fue la vegetación comprendida por las especies del género *Tillandsia*, con -0,0071520 %, equivalente a una pérdida de 2 201,64 ha en el periodo 2002-2012 y -0,007306539 % en el periodo 2012-2022, con una disminución de 2 091,97 ha.

La categoría que tuvo un incremento en el cambio de suelo fue la zona rural, con un 0,023 %, equivalente a 2 429,01 ha en el periodo 2002-2012 y 0,059 % en el periodo 2012-2022, con un incremento de 2 170,86 ha, obteniendo un área final de 4 599,87 ha.

El cambio en el uso del suelo, como la intensificación de la agricultura y la urbanización, la sobreexplotación, la contaminación y el cambio climático, fueron todos ellos causantes de daños a los ecosistemas naturales. Una vez destruidos, su restauración suele resultar muy costosa (Aguilar, 2019). Los tillandsiales son ecosistemas que se encuentran afectados en nuestra costa principalmente por contaminación con basura, su uso para deportes de aventura y la construcción de carreteras. Problemas similares han sido

también reportados por algunas localidades de Chile, donde se indica del grave peligro que corren estos ecosistemas, debidos, por ejemplo, al uso excesivo para deportes de aventura (Pinto et al., 2006).

Los servicios ecosistémicos identificados fueron los servicios de provisión, de regulación, culturales y de soporte, en la investigación de Aguilar (2019), mediante el diagnóstico de los servicios en el desierto de la región Tacna, se identificó que el tillandsial cumple un rol ecológico importante al prevenir la erosión, pérdida de suelo y captura de CO₂, es un ecosistema capaz de crear islas de vegetación, transformando la humedad de la neblina costera y los nutrientes del aire, en biomasa vegetal, en uno de los desiertos más áridos del mundo, genera un microclima particular al evitar la evapotranspiración de las microcuencas.

El ecosistema tillandsial se identificó en la categoría de servicio de provisión, mediante el servicio ecosistémico recursos genéticos, el mantenimiento de la diversidad genética de las especies, razas y variedades de vegetación, los recursos genéticos adquieren un valor potencial mediante investigaciones científicas para uso potencial sostenible como en las investigaciones (Sosa et al.,2012).

En los servicios de regulación presentó la regulación de la calidad del aire mediante la captura de carbono, que según Toledo (2020) el tillandsial ubicado en las Lomas Arrojadero presentó una cantidad total de biomasa viva y necromasa fue de 25,15 tn C, que representa a una captura estimada de 92,30 toneladas de CO₂. Las especies estudiadas fueron *Tillandsia werdermannii* y *Tillandsia landbecki*.

Según Aponte (2020), en la investigación “Almacenamiento de carbono y agua en *Tillandsia latifolia* Meyen en un sector del Tillandsial de Piedra Campana (Lima/Perú)”, cuyos resultados fueron de 94,10 toneladas, equivalente a 3,63 tn C/ha encontrándose mayor carbono almacenado en el suelo 76,50 tn C que en la biomasa 17,60 tn C. La cantidad de agua almacenada fue de 164 000 L, valor es muy importante como reserva de agua para la región desértica. Por lo que se lograron identificar el servicio ecosistémico de almacenamiento de agua y carbono, comparado con Chino (2019), quien encontró que la especie con mayor contenido de carbono orgánico fue la *Tillandsia werdermannii* con

43,13 % y con una captura de 2,55 tn C/ha. a diferencia de *Tillandsia landbeckii* que almacenó 0,01 tn C/ha. ocurrido en las pampas de cerro Intiorko en la provincia de Tacna.

Según Albarracín (2019) con la investigación “Evaluación de las fuentes de agua y su relación con la fenología de *Tillandsia purpurea* en el año 2018” obtuvieron como resultados que la cantidad promedio de agua de neblina captada fue de 5,106 L/0,25m², la cantidad promedio diario fue de 0,170 L/ 0,25m²/día, la menor cantidad de neblina se registró en el mes de febrero con 0,212 L/0,25m²/mes y el mes con mayor captación fue en agosto con 11,852 L/0,25m²/mes, lo cual permitió llegar a la conclusión que la floración ocurre durante la época con mayor captación de neblina y precipitación, por lo que muestra que la especie de género *Tillandsia* tiene la capacidad de captar neblina para su desarrollo.

De acuerdo al servicio ecosistémico del control de la erosión por parte del componente geótica y biótica del suelo, así como de la vegetación, el tillandsial ofreció protección física al suelo frente al impacto de la lluvia, la escorrentía y la reducción de la velocidad del agua (Hudson, 1982).

Referente al servicio ecosistémico de polinización, las especies del género *Tillandsia* presentaron un sistema de polinización hacia los visitantes diurnos, como las abejas, ya que absorben el polen y néctar de estas especies, el volumen y la concentración de azúcares en el néctar se encontraron entre las más bajas, pero a pesar de esto, es posible mantener el servicio de polinización (Baños et al., 2022).

Referente a los servicios culturales, presentó los servicios de belleza paisajística y valores estéticos mediante la apreciación de especies, paisajes que generan satisfacción y placidez por su estética, recreación y ecoturismo, son lugares determinados para actividades lúdicas en la naturaleza y proporcionan bienestar, servicio ecosistémico sentido de identidad y pertenencia a un lugar, es el sentimiento de lugar de las poblaciones humanas asociados con los ecosistemas y la biodiversidad en un lugar determinado.

Concerniente a la categoría de servicios de soporte, hábitat o base, presentó el servicio del mantenimiento de la biodiversidad, el ecosistema fue capaz de crear islas de vegetación, transformando la humedad de la neblina costera y los nutrientes del aire en

biomasa vegetal, genera un microclima particular al evitar la evapotranspiración de las microcuencas.

Para la abundancia como para los modelos de máxima entropía de la distribución espacial de las especies del género *Tillandsia* están relacionados directamente con las variables bioclimáticas de estacionalidad de la precipitación, temperatura de promedio anual y vientos.

Se observó que en el caso de las especies del género *Tillandsia* la variable que obtuvo mayor contribución fue la estacionalidad de la precipitación (Bio15), siendo esta una característica fundamental señalada por Costales (2005), además de ser una variable que diferencia muy bien ambientes desérticos de ambientes húmedos.

La segunda variable que contribuyó al mantenimiento del tillandsial fue la precipitación anual fue de 13 mm, que, a diferencia de la ciudad de Arequipa, provincia de Caylloma, los valores de precipitación en los tillandsiales de Pampa del Toro fueron de un total anual de 35,8 mm Albarracín (2019). Durante los meses de enero a mayo no se presentaron precipitaciones, y a partir de junio hasta diciembre se mantuvieron.

Las tillandsias de desierto, resisten muy bien la falta del recurso hídrico del suelo, sobreviviendo a expensas de su follaje cuya estructura favorece la captación a través de su superficie, de la escasa humedad atmosférica (Aguilar, 2022).

En la ciudad de Tacna, durante los meses de marzo, abril y noviembre, no se presentaron precipitaciones, a partir del mes de mayo, junio, julio, agosto, setiembre y octubre, se mantuvo la precipitación, el mes con mayor precipitación fue en setiembre, durante el año 2022 (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, 2022). Este patrón se repite a lo largo de la costa peruana, ya que durante los meses del verano y parte del otoño no se suelen registrar precipitaciones, y hacia finales de otoño se inicia la época húmeda, que dura hasta diciembre, presentando similitudes con los climas mediterráneos, esto es, precipitaciones en la temporada invernal (Galán de Mera et al., 2016).

La causa principal de que las precipitaciones sean tan escasas en estas zonas, se debe principalmente a los vientos alisios húmedos, al pasar sobre las aguas frías de la Corriente Peruana, se enfrían y producen un colchón de neblinas hasta los 800 a 1 000 msnm, con

temperaturas bajas de cerca de 13 °C, y por encima de dicho colchón la temperatura aumenta de 13 a 24 °C, y el aire cálido absorbe la humedad, impidiendo la formación constante de nubes de lluvia (Gutierrez, 2004).

Dentro de las condiciones ambientales a las epífitas, la disponibilidad del agua, ya sea de precipitación pluvial, neblina y rocío, es el factor más importante en su distribución. Este hecho concierne que las epífitas puedan responder rápidamente a cambios de patrones de precipitación generados por el cambio climático (Benzing, 1998).

Otra variable que influye en el crecimiento de las especies del género *Tillandsia* es la Temperatura de promedio anual (Bio1), cuyo intervalo consta desde los 16 °C hasta los 19°C, que, en la ciudad de Lima sector Piedra Campana las especies de género *Tillandsia* se desarrollan a una temperatura media de 18,9 °C, que lo caracteriza como cálido (J. Arévalo et al., 2020), mientras que a temperaturas mayores de 26 °C, la asimilación de CO₂ se inhibe, la epífita *T. usneoides*, la cual tuvo una temperatura óptima de asimilación entre los 15 y 20 °C, pero en temperaturas fuera de este rango hubo una reducción en la asimilación de carbono (Medina, 1987). Estos datos muestran que la temperatura óptima en epífitas es baja.

Otra variable que influyó en el crecimiento de las especies del género *Tillandsia* son los vientos que se encuentran entre los 2,13 m/s hasta los 2,57 m/s, teniendo el área mayor en el intervalo de 2,30 m/s hasta los 2,43 m/s.

Las tillandsias tienen una cobertura protectora de pequeñas escamas blancas en sus hojas, con las cuales atrapan la humedad y los nutrientes transportados por el viento, por esta razón, estas pequeñas plantas pueden soportar las estaciones secas (Whaley et al., 2010).

El género *Tillandsia* realiza una fotosíntesis con fijación nocturna de dióxido de carbono. Por lo tanto, el suelo tampoco estaría influyendo en la densidad y cobertura vegetal de *T. werdermannii* sino factores como el viento, temperatura, humedad y factores antrópicos entre otros (Flores, 2019).

Para determinar el modelo que tenga las mejores condiciones para el desarrollo y supervivencia del género *Tillandsia* con el programa MaxEnt, se usó 21 variables bioclimáticas que utilizó el programa, para comprender que el modelo es el adecuado, el

resultado se representó de manera gráfica, donde se evaluó los valores AUC (Área bajo la curva) el modelo final presentó un valor de 0,988, según (Phillips et al., 2006) cuando los valores del AUC se acercan a 1, tienen mejor predicción, considerando al modelo excelente.

Con respecto a la mitigación, según el modelo determinado por MaxEnt se especificó cinco categorías del ecosistema tillandsial, se encontró áreas de idoneidad mediante cinco categorías de priorización de forma ascendente, estas categorías son: De 0 % a 20 % cuenta con un área de 1 290 335 ha, el intervalo de 21 % a 40 % posee un área de 34 147 ha, el intervalo de 41 % a 60 % tienen un área de 7 790 ha, el intervalo de 61 % a 80 % posee 3 342 ha y por último el intervalo de 81 % a 100 % cuenta con un área de 1 441 ha, las mejores áreas para el desarrollo del género *Tillandsia*, son las que representan en primera instancia del 81 % al 100 %, en segunda instancia del 61 % al 80 % y en tercera instancia del 41 % al 60 %.

Para la mitigación de las especies del género *Tillandsia*, se consideró el área de la categoría del 81 % al 100 % para su rescate y traslado de las especies del género *Tillandsia* el cual consistió en la colección de las plantas epífitas, mediante el desprendimiento manual de la planta, se realizó un reconocimiento de las plantas dando preferencia a individuos juveniles y adultos saludables, se trasladaron mediante vehículos a las áreas de priorización, se consideran los intervalos mayores al 41 %.

Correspondiente a la propuesta de mitigación del desplazamiento de especies de acuerdo al programa de distribución espacial MaxEnt, presentó tres áreas de priorización para la ampliación del ecosistema que según Hernandez (2018) en la investigación “Rescate y reubicación de epífitas como mitigación del impacto ambiental, región de Cusco” se comprobó que el rescate in situ de bromelias fue beneficioso en la mitigación de los impactos del desbosque, obteniéndose como resultado la reubicación de 457 individuos de bromelias, las especies fueron trasladadas en el tramo AX – Kinterorni (60 %) y en el tramo Sagari BX – Sagari AX (40 %), donde se registraron las condiciones adecuadas de temperatura, humedad y disponibilidad de nutrientes, en la época seca, se registró una sobrevivencia del 82 % de individuos en la reubicación, por lo que hubo un 18 % en mortandad.

En la investigación “Evaluación del traslado de epífitas vasculares, como estrategia de conservación en el municipio de Aguazul, departamento del Casanare, Colombia”, el sitio donde realizó la resiembra contó con un área de 0,43 ha, fueron rescatados 1 190 individuos, seleccionó para la siembra y monitoreo el 10 %, es decir, 119 individuos, la familia Bromeliaceae presentó el mayor desarrollo foliar en los tres monitoreos con un 36,33%, presentó un 5,56 % de mortalidad. Según los resultados obtenidos fue posible trasladar las especies epífitas a nuevos hábitats naturales, es así como el traslado de estas especies se convierte en una alternativa de revegetación con fines de conservación (Valencia, 2013).

En su investigación “Plan de manejo ambiental ante la reubicación de epífitas por la ejecución de obras viales, estudio de caso: Vereda El Páramo”, Municipio de Pamplonita, Colombia, cuya metodología fue identificar los actores sociales implicados en la reubicación, mediante la formulación del plan de manejo basados en la gobernanza ambiental, con el fin de establecer resultados de conservación, se aprobó la idoneidad en proyectos que vinculen al rescate y reubicación de la flora epífita, resaltó la importancia de involucrar el conocimiento de diferentes comunidades con las investigaciones formales, ya que al dar participación a la sociedad civil relacionado a la conservación de la biodiversidad se estaría logrando una gobernanza participativa, la investigación mostró el interés de los actores implicados para la conservación de su entorno natural (Hernández, 2021).

CONCLUSIONES

1. Se determinó el cambio de uso de suelo que, durante el periodo 2002-2012, la categoría que presentó mayor incremento fue la categoría zona rural con una tasa de cambio de 0,23 % y un área de 2 429,01 ha y en el periodo 2012-2022 fue la remoción de especies del género *Tillandsia* con una tasa de cambio de 0,32 % y un aumento de 480,09 ha.
2. Los servicios ecosistémicos existentes en el ecosistema tillandsial presentó cuatro categorías como el servicio de regulación, de provisión, cultural y de soporte.
3. El área obtenida para la mitigación del ecosistema tillandsial con mayor relevancia para el traslado y reubicación de especies del género *Tillandsia* fue de 12 573 ha en base al modelamiento MaxEnt, teniendo tres áreas de priorización, mediante la técnica de translocación humana.
4. En el año 2002 el tillandsial presentó un área de 31 787,30 ha, el año 2012 con 29 585,66 ha y en el año 2022 con 27 493,68 ha, que, mediante D.S N° 043-2006-AG *Tillandsia werdermannii* se encontró clasificada como especie En Peligro de extinción, por lo que no se ha cumplido con la protección de dicha especie, existiendo una reducción de 4 293,11 ha.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar investigaciones acerca de los cambios de uso de suelo y conciencia ambiental, en el cuidado de las especies del género *Tillandsia*, como dar a conocer el ecosistema tillandsial como área prioritaria para la conservación.
2. Se sugiere realizar estudios de valoración económica de los servicios ecosistémicos con el fin de que se considere de mayor relevancia la conservación de especies del género *Tillandsia*.
3. Se recomienda hacer modelamientos con los programas MaxEnt, ArcGIS y QGIS, para poder comparar los mapas de distribución potencial de las especies del género *Tillandsia* y trabajar con más capas de variables bioclimáticas.
4. Se recomienda de ser pertinente elevar la presente investigación al Gobierno Regional de Tacna para que tome conocimiento y realice las acciones que corresponda para viabilizar proyectos en la conservación y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar Cruz, L. J. (2019). Servicios ecosistémicos en el desierto de la Región Tacna, 2016. *Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann*.
<http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/3741>
- Albarracín Garate, A. K. (2019). Evaluación de las fuentes de agua y su relación con la fenología de *Tillandsia purpurea*, durante los meses de febrero del 2018 a diciembre del 2018, en Pampa del Toro, Majes, Caylloma. *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa*.
<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/9910>
- Aponte, H., y Flores, J. (2013). Densidad y distribución espacial de *Tillandsia latifolia* en el Tillandsial de Piedra Campana (Lima, Perú). *Ecología Aplicada*, 12(1), 35-43.
- Araujo, M. B., y Guisan, A. (2006). Five (or so) challenges for species distribution modelling. *Journal of Biogeography*, 33(10), 1677-1688. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2006.01584.x>
- Arévalo, J. A. (2019). Introducción a la Metodología de la Investigación. *Universo Abierto*.
<https://universoabierto.org/2019/07/17/introduccion-a-la-metodologia-de-la-investigacion/>
- Arévalo, J., y Aponte, H. (2020). Almacenamiento de carbono y agua en *Tillandsia latifolia* Meyen en un sector del Tillandsial de Piedra Campana (Lima / Perú). *Ecología Aplicada*, 19(1), 9-15. <https://doi.org/10.21704/rea.v19i1.1441>
- Ayarde, H., y Bulacio, E. (2016). *Tillandsia mollis* var. *Reptans* (Bromeliaceae), una novedad del noroeste de Argentina. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 51(2), 367-372.
- Ayasta, J., y Juárez, A. (2020). El género *Tillandsia* (Bromeliaceae) en el departamento de Lambayeque, Perú. *Revista Peruana de Biología*, 27(2), 189-204.
<https://doi.org/10.15381/rpb.v27i2.15718>

- Baños, B., Krömer, T., García-Franco, J. G., Mac Swiney González, M. C., & López -Acosta, J. C. (2022). *Visitantes florales y polinizadores efectivos de la bromelia epífita Tillandsia limbata*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.22740.68485>
- Bardales, G. (2019). *Análisis de cambio de uso del suelo mediante percepción remota en la vía vecinal UC-561, entre los años 1985 al 2018, en el distrito de Campo Verde, Ucayali, Perú*.
- Benzing, D. (1998). Vulnerabilities of Tropical Forests to Climate Change: The Significance of Resident Epiphytes. *Climatic Change*, 39, 519-540. <https://doi.org/10.1023/A:1005312307709>
- Blas M., B. (2015). *IX Taller GBIF de Modelización de Nichos Ecológicos (sesión 2) Aprendiendo a modelizar*. <https://docplayer.es/116296614-Ix-taller-gbif-de-modelizacion-de-nichos-ecologicos-sesion-2-aprendiendo-a-modelizar-blas-m-benito.html>
- Bousquets, J. L., y Aguirre, L. M. (2000). El concepto de especie y sus implicaciones para el desarrollo de inventarios y estimaciones en biodiversidad. *Proyecto Iberoamericano de Biogeografía y Entomología Sistemática: PRIBES 2000: trabajos del 1er taller iberoamericano de entomología sistemática, 2000, ISBN 84-922495-1-X, págs. 87-96, 87-96*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2221313>
- Büneker, H. M., y Witeck-Neto, L. (2016). Levantamento de Bromeliaceae na região do curso médio do rio Toropi, Rio Grande do Sul, Brasil. *Balduinia*, 52, Art. 52. <https://doi.org/10.5902/2358198022371>
- Cabrera Mandamiento, D. L. (2016). Almacenamiento de dióxido de carbono (CO₂) en biomasa aérea y necromasa presente en tillandsiales de la Quebrada Inocente—Zona Reservada Lomas de Ancón. *Universidad César Vallejo*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/819>

- Camacho-Valdez, V., y Ruiz-Luna, A. (2012). Marco conceptual y clasificación de los servicios ecosistémicos. *Revista Bio Ciencias*, 1(4), Art. 4. <https://doi.org/10.15741/revbio.01.04.02>
- Castañeda Miranda, A. G., Chaparro, M. A. E., Chaparro, M. A. E., & Böhnelt, H. N. (2016). Magnetic properties of *Tillandsia recurvata* L. and its use for biomonitoring a Mexican metropolitan area. *Ecological Indicators*, 60, 125-136. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.06.025>
- Chávez, E., Andrade, J., & Reyes, C. (2017). *Epífitas para neófitos: Las bromeliáceas y sus fascinantes tricomas*. Lima.
- Chino Chino, E. A. (2019). Evaluación del servicio ambiental de captura y almacenamiento de carbono en la comunidad de tillandsial (Bromeliaceae) en Las Pampas de Cerro Intiorko en el Provincia de Tacna, 2016. *Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann*. <http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/3719>
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. (2015). *La Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/el-proceso-internacional-de-lucha-contra-el-cambio-climatico/naciones-unidas/CMNUCC.aspx>
- Consuelo, E. L., Pilar, C. M. M. del, M^a, C. V. R., & Teresa, C. V. (2013). *Ecología I: Introducción. organismos y poblaciones*. Editorial UNED.
- Contreras, S., Landahur, M., García, K., Latorre, C., Reyers, M., Rethemeyer, J., & Jaeschke, A. (2022). Leaf wax composition and distribution of *Tillandsia landbeckii* reflects moisture gradient across the hyperarid Atacama Desert. *Plant Systematics and Evolution*, 308(1), 8. <https://doi.org/10.1007/s00606-021-01800-0>
- Correia Aguilar, M. (2019). *Criterios confiables para la construcción del modelo de máxima entropía (MaxEnt) orientados a la pesquería con red de cerco en el pacífico oriental*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.36673.81769>

Costa Aponte, F. (2018). *Tacna, Resultados definitivos*.

Costales, D. (2005). *Guía para el establecimiento de plantaciones forestales en la zona andina*.

Elith, J., & Leathwick, J. R. (2009). Species Distribution Models: Ecological Explanation and Prediction Across Space and Time. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 40(1), 677-697. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.110308.120159>

Galán de Mera, A., Linares, E., Trujillo, C., & Villasante, F. (2016). *Termoclima y humedad en el sur del Perú. Bioclimatología y bioindicadores en el departamento de Arequipa | Zonas Áridas*.

<https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:i5ejvp2ZuRMJ:https://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/rza/article/view/152&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=pe>

Giraldo, J. A. S., Rojas, J. C. B., García, I. A. M., & Rodríguez, G. A. R. (2018). Protocolo para el rescate, traslado y monitoreo de epífitas vasculares en Colombia: Métodos y experiencias. *Flora de Aguazul: muestra de diversidad, 2018, ISBN 978-958-660-330-0, págs. 99-115*, 99-115. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7621121>

Gómez Rojas, J. C. (2015). *Glosario Meteorológico | Observatorio meteorológico*. <http://observatoriometeorologico.filos.unam.mx/glosario-meteorologico/>

Gutierrez, J. E. (2004). *Historia Natural del Parque Nacional Bosque Fray Jorge*. 292.

Hernández Argandoña, A. D. (2018). Rescate y reubicación de epífitas como mitigación del impacto ambiental generado del desbosque de una locación de perforación del campamento Sagari – lote 57 en el Distrito de Megantoni, Provincia de la Convención, Región del Cusco. *Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión*. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/269>

Hernández Peña, Y. T., & Rojas Flórez, C. B. (2021). *Plan de manejo ambiental ante la reubicación de epífitas por la ejecución de obras viales. Estudio de caso: Vereda “El*

Páramo”, Municipio de Pamplonita, Colombia.
<http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/26351>

Hernández Ramos, J., Reynoso Santos, R., Hernández Ramos, A., García Cuevas, X., Hernández-Máximo, E., Cob Uicab, J. V., & Sumano López, D. (2018). Distribución histórica, actual y futura de *Cedrela odorata* en México. *Acta botánica mexicana*, 124, 0-0.
<https://doi.org/10.21829/abm124.2018.1305>

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la Investigación* (6th edición).

Hinojosa Talavera, M. A. (2019). Composición, distribución y estado de conservación de los tillandsiales de la provincia de chincha del departamento de Ica enero 2017 – enero 2018. *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa*.
<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/20.500.12773/12743>

Hudson, N. (1982). *Conservación del suelo—Editorial Reverté S.A.*
https://www.reverte.com/libro/conservacion-del-suelo_146666/

Instituto Nacional de Estadística e Informática. (1993). *Censos Nacionales 1993: IX de Población y IV de Vivienda—Base de Datos REDATAM*.
<http://censos.inei.gob.pe/censos1993/redatam/>

Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2007). *Censos Nacionales 2007: XI de Población y VI de Vivienda—Cuadros Estadísticos*. <http://censos.inei.gob.pe/cpv2007/tabulados/>

Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2017). *Censos Nacionales 2017 – XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas*.
<https://censo2017.inei.gob.pe/>

Lazo Ramos, R. S. (2016). Valoración biológica, física y geográfica de la hierba siempre viva para su conservación en la región Tacna. *Revista Veritas Et Scientia - UPT*, 5(2), 55-65.
<https://doi.org/10.47796/ves.v5i2.207>

- Medina, E. (1987). Ecophysiological aspects of CAM plants in the tropics. *Revista de Biología Tropical*, 35, 55-70.
- Merow, C., Smith, M. J., & Silander Jr, J. A. (2013). A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: What it does, and why inputs and settings matter. *Ecography*, 36(10), 1058-1069. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2013.07872.x>
- MINAGRI. (2006). *Decreto Supremo N° 043-2006-AG - Aprueban Categorización de Especies Amenazadas de Flora Silvestre*. <https://www.gob.pe/institucion/osinfor/normas-legales/792195-043-2006-ag-aprueban-categorizacion-de-especies-amenazadas-de-flora-silvestre>
- MINAM. (2015). *Estrategia Nacional ante el Cambio Climático 2015*. <https://www.gob.pe/institucion/minam/informes-publicaciones/306226-estrategia-nacional-ante-el-cambio-climatico-2015>
- Ministerio del Ambiente. (2018). *Glosario de términos*. Lima, Perú.
- Muñoz-Reja Mora, L. M. (2018). *Elaboración de un modelo predictivo de distribución potencial del cultivo chenopodium quinoa willd. Basado en necesidades edafoclimáticas con objeto de determinar las zonas de correcta adaptación en Extremadura* [MasterThesis]. <https://dehesa.unex.es:8443/handle/10662/7606>
- Odum, E. (1954). Fundamentals of ecology. Philadelphia: W. B. Saunders Company, 1953. 383 P. *Science Education*, 38(4), 314-314. <https://doi.org/10.1002/sci.3730380426>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (1996). *Forest resources assessment 1990—Survey tropical forest cover studies of change processes*. <https://www.fao.org/3/w0015e/w0015e00.htm>
- Pauca-Tanco, G. A., Villasante Benavides, J. F., Villegas Paredes, L., Luque Fernández, C. R., & Quispe Turpo, J. del P. (2020). Distribution and characterization of the communities of

Tillandsia (Bromeliaceae) in southern Peru and their relationship with altitude, slope and orientation. *Ecosistemas*, 29(3), 1-8. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2035>

Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190(3), 231-259. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>

Pinto, R., Barría, I., & Marquet, P. A. (2006). Geographical distribution of *Tillandsia lomas* in the Atacama Desert, northern Chile. *Journal of Arid Environments*, 65(4), 543-552. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2005.08.015>

R.M. 148-2019-MINAM. (2019). *Lineamientos para la formulación de proyectos de inversión en las tipologías de ecosistemas, especies y apoyo al uso sostenible de la biodiversidad*. <https://www.gob.pe/institucion/minam/informes-publicaciones/1444085-lineamientos-para-la-formulacion-de-proyectos-de-inversion-en-las-tipologias-de-ecosistemas-especies-y-apoyo-al-uso-sostenible-de-la-biodiversidad>

Sarmiento, F. (2001). *Diccionario de ecología de paisajes, conservación y desarrollo sustentable en América Latina*.

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2022). *SENAMHI - Tacna*. <https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=tacna&p=pronostico-meteorologico>

Snyder, J. M., & Richards, J. H. (2005). Floral Phenology and Compatibility of Sawgrass, *Ciadium jamaicense* (Cyperaceae). *American Journal of Botany*, 92(4), 736-743.

Sosa-Luría, D., Chávez-Servia, J. L., Mondragón-Chaparro, D., Estrada-Gómez, J. A., & Ramírez-Vallejo, P. (2012). Viabilidad y germinación de semillas de seis especies de *Tillandsia* (Bromeliaceae) de Oaxaca, México. *Revista fitotecnia mexicana*, 35(spe5), 37-42.

Subdirección de Meteorología. (2019). *Glosario Meteorológico*. Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales.

- Tena Barrera, A. A. (2018). Acción antrópica y los cambios en el paisaje del distrito de San Juan de Lurigancho entre los años 1948 – 20. *Universidad Nacional Mayor de San Marcos*.
<https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/9627>
- Toledo Guzmán, A. T. (2020). Captura de Carbono en la especie *Tillandsia werdermannii* y *Tillandsia purpurea* (siempre viva) en las Lomas Arrojadero situada entre los distritos de Inclán y Locumba, Tacna. *Universidad Privada de Tacna*.
<http://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/1710>
- Torres Cantú, G. B., & Torres Cantú, G. B. (2018). *Diversidad y distribución geográfica del género Tillandsia L. en el Centro del estado de Veracruz, México*.
<http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/handle/10521/2943>
- Valencia Marín, A. (2013). *Evaluación del traslado de epifitas vasculares, como estrategia de conservación en el municipio de Aguazul, departamento del Casanare*.
<https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/handle/20.500.12746/755>
- Whaley, O., Whaley, Orellana-García, A., Pérez, Tenorio, W., Quinteros, Mendoza, & Pecho, O. (2010). *Plantas y vegetación de Ica, Perú—Un recurso para su restauración y conservación*.

Anexo 3. Panel fotográfico

Figura 71

Vista panorámica de la especie Tillandsia landbeckii Phil, distrito de Calana



Figura 72

Flor de la especie Tillandsia landbeckii Phil, distrito de Calana



Figura 73

Vista panorámica de la especie Tillandsia landbeckii Phil, Centro Poblado Higuera, distrito Pachía



Figura 74

Especie Tillandsia landbeckii Phil



Figura 75

Vista panorámica de la especie Tillandsia landbeckii Phil, distrito de Pachía



Figura 76

Vista panorámica de la especie Tillandsia purpurea, distrito de Calana



Figura 77

Especie Tillandsia purpurea, distrito de Calana



Figura 78

Flor de la especie Tillandsia purpurea, distrito Calana



Figura 79

Vista panorámica de la especie Tillandsia purpurea, distrito de Pachía



Figura 80

Flor de la especie Tillandsia purpurea, distrito de Pachía



Figura 81

Vista panorámica de la especie Tillandsia werdermannii, distrito Alto de la Alianza



Figura 82

Especie Tillandsia werdermannii distrito Alto de la Alianza



Figura 83

Vista panorámica de la especie Tillandsia werdermannii, distrito de Calana



Figura 84

Especie Tillandsia werdermannii, distrito de Calana



Figura 85

Contaminación por residuos sólidos en el ecosistema tillandsial



Figura 86

Botadero municipal



Figura 87

Zona agropecuaria



Figura 88

Zona rural



Figura 89

Ecosistema tillandsial

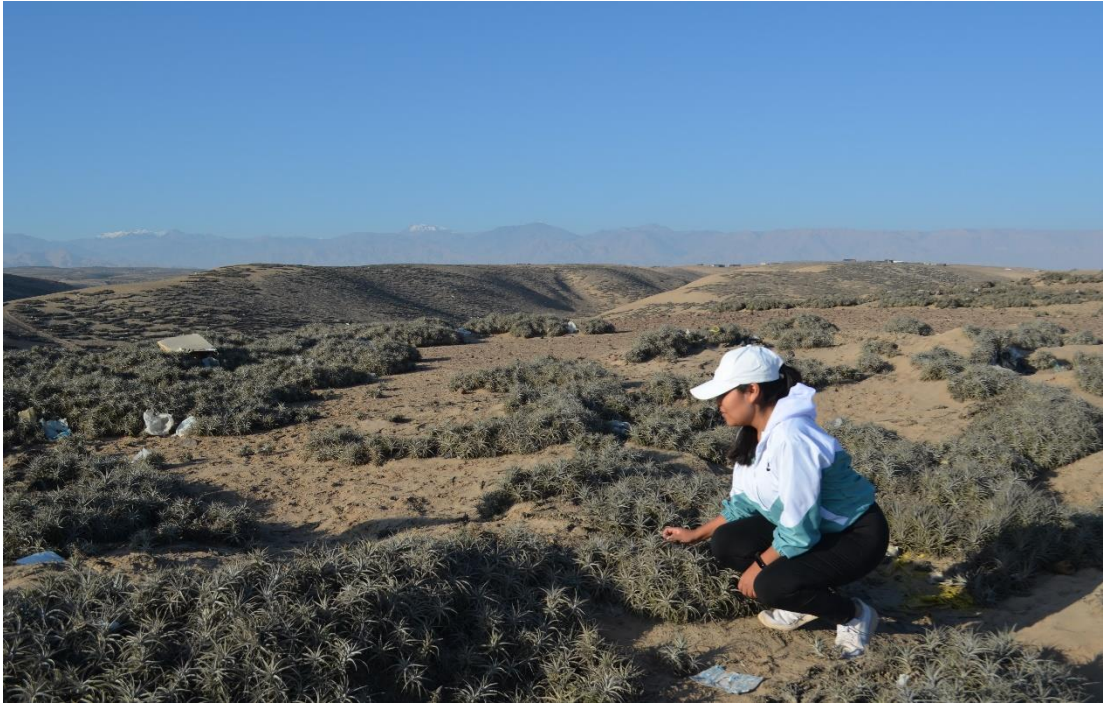


Figura 90

Vista panorámica señalando el botadero municipal

