

# UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



## TESIS

TENDENCIA DE LOS ECOSISTEMAS CON IMÁGENES SATELITALES DE  
SENTINEL - 2 Y SU RELACIÓN CON EL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL  
DISTRITO DE ACORA, 2015 - 2022.

PRESENTADA POR:

OLIVER AQUINO BAUTISTA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

PUNO – PERÚ

2024



Repositorio Institucional ALCIRA by [Universidad Privada San Carlos](https://www.upsc.edu.pe) is licensed under a [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



9.68%

SIMILARITY OVERALL

SCANNED ON: 22 JAN 2024, 8:31 PM

### Similarity report

Your text is highlighted according to the matched content in the results above.

● IDENTICAL  
0.61%


● CHANGED TEXT  
9.07%


## Report #19413133


OLIVERAQUINO BAUTISTA TENDENCIA DE LOS ECOSISTEMAS CON IMÁGENES SATELITALES DE SENTINEL - 2 Y SU RELACIÓN CON EL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL DISTRITO DE ACORA, 2015 - 2022. RESUMEN La presente investigación tuvo como objetivo analizar la tendencia de los ecosistemas con imágenes satelitales de Sentinel-2 y su relación con el cambio climático en el distrito de Acora, 2015 - 2022. La metodología fue aplicando con el modelo Random Fores, para la clasificación supervisada de ecosistemas como: bofedales, cuerpos de agua, herbazal denso y escasa vegetación, mediante la plataforma geomática Google Earth Engine dónde se obtuvieron las imágenes satelitales Sentinel 2, ya corregidas de valores digitales a reflectancias (TOA), tan solo aplicando el lenguaje de programación JavaScript, con el software R-Studio (v4.3.1) se desarrolló el proceso de clasificación de ecosistemas y evaluación del cambio climático. En los resultados de ecosistemas se obtuvo en el año 2015, 2.59 km<sup>2</sup> de bofedales, 16.47 km<sup>2</sup> de cuerpos de agua, 204.6 km<sup>2</sup> de herbazal denso y 1698.27 km<sup>2</sup> de escasa vegetación. En el año 2022 se identificaron 0.31 km<sup>2</sup> de bofedales, 11.08 km<sup>2</sup> de cuerpos de agua, 35.27 km<sup>2</sup> de herbazal denso y 1875.29 km<sup>2</sup> de escasa vegetación, comparados entre sí, podemos observar la evolución del área de los ecosistemas, en cuanto a los cambios del clima para el año 2015 y 2022, claramente con los resultados obtenidos podemos ver el cambio climático durante los años de


**UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS**  
**FACULTAD DE INGENIERÍAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**  
**TESIS**  
**TENDENCIA DE LOS ECOSISTEMAS CON IMÁGENES SATELITALES DE**  
**SENTINEL - 2 Y SU RELACIÓN CON EL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL**  
**DISTRITO DE ACORA, 2015 - 2022.**  
**PRESENTADA POR:**  
**OLIVER AQUINO BAUTISTA**  
**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**  
**INGENIERO AMBIENTAL**

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE :   
Dr. ANGEL AMADOR MELENDEZ HUISA

PRIMER MIEMBRO :   
Mg. KATIA ELIZABETH ANDRADE LINAREZ

SEGUNDO MIEMBRO :   
M.Sc. FREDY APARICIO CASTILLO SUAQUITA

ASESOR DE TESIS :   
M.Sc. JULIO WILFREDO CANO OJEDA

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub Área: Ingeniería Ambiental

Líneas de Investigación: Ciencias Ambientales

Puno, 15 de febrero del 2024.

## DEDICATORIA

A Dios que ha sido mi guía, fuerza y su mano de fidelidad y amor ha estado conmigo para cumplir mis metas y objetivos educativos, que con su bendición llena constantemente mi existencia, y a todo mi círculo familiar por estar siempre presentes.

A mis padres que con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido cumplir un sueño más, por inculcarme el ejemplo de valores éticos, responsabilidad y respeto.

Por último, me gustaría dedicar esta tesis a todos mis amigos, por ayudarme cuando más lo necesitaba, por tenderme la mano en los momentos más difíciles de mi vida profesional y por el incentivo que me dieron. Los llevaré siempre en mi corazón y mente.

***Oliver Aquino Bautista.***

## AGRADECIMIENTOS

- A mi **Universidad Privada San Carlos - Puno**, por brindarme una formación profesional de alto nivel para el desarrollo de mi región de Puno.
- De igual manera mis agradecimientos a toda la **Facultad de Ingeniería Ambiental**, a mis profesores quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron que pueda crecer día a día como profesional, gracias a cada uno de vosotros por vuestra mansedumbre, fuerza de voluntad, ayuda incondicional y amistad.
- A mis padres por su apoyo incondicional.
- A mi Asesor: **Mg. Julio Wilfredo Cano Ojeda**, quien con su dirección, conocimientos, enseñanza y colaboración, permitió el perfeccionamiento de este trabajo de Investigación.
- Por último, a todos los miembros del jurado por la verificación, revisión para el perfeccionamiento de mi investigación.

***Oliver Aquino Bautista.***

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTOS	2
ÍNDICE GENERAL	3
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
INDICE DE ANEXOS	8
RESUMEN	10
ABSTRACT	11
INTRODUCCIÓN	12

### CAPÍTULO I

#### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

<b>1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>14</b>
1.1.1. PROBLEMA GENERAL	15
1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	15
<b>1.2. ANTECEDENTES</b>	<b>15</b>
1.2.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES	15
1.2.2. ANTECEDENTES NACIONALES	18
1.2.3. ANTECEDENTES LOCALES	21
<b>1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN</b>	<b>22</b>
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	22
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22

### CAPÍTULO II

#### MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

<b>2.1. MARCO TEÓRICO</b>	<b>23</b>
2.1.1. ECOSISTEMAS ALTOANDINOS	23
2.1.2. CAMBIO CLIMÁTICO	23
2.1.3. TELEDETECCIÓN	24
2.1.4. EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO	24
2.1.5. FIRMAS ESPECTRALES	25
2.1.6. IMAGEN DE SATÉLITE SENTINEL 2	25
2.1.7. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA	27
<b>2.2. MARCO CONCEPTUAL</b>	<b>28</b>
<b>2.3. MARCO TEÓRICO NORMATIVO</b>	<b>29</b>
<b>2.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN</b>	<b>30</b>
2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL	30
2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	30
<b>CAPÍTULO III</b>	
<b>METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN</b>	
<b>3.1. ZONA DE ESTUDIO</b>	<b>31</b>
<b>3.2. TAMAÑO DE MUESTRA</b>	<b>32</b>
3.2.1. POBLACIÓN	32
3.2.2. MUESTRA	32
<b>3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS</b>	<b>32</b>
3.3.1. MÉTODOS	32
3.3.2. METODOLOGÍAS POR OBJETIVOS ESPECÍFICOS	33
<b>3.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES</b>	<b>36</b>
<b>3.5. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO</b>	<b>37</b>

## CAPÍTULO IV

### EXPOSICION Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS

<b>4.1. EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS PARA LA VARIABLE INDEPENDIENTE, CAMBIO CLIMÁTICO.</b>	<b>39</b>
<b>4.2. EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS PARA LA VARIABLE DEPENDIENTE, TENDENCIA DE LOS ECOSISTEMAS.</b>	<b>44</b>
<b>4.3. PROCESO DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS</b>	<b>52</b>
4.3.1. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA EL OBJETIVO ESPECÍFICO 1.	52
4.3.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA EL OBJETIVO ESPECÍFICO 2.	53
4.3.3. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA EL OBJETIVO ESPECÍFICO 3.	53
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>59</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>60</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>61</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>65</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 01.</b> Resolución espectral de la misión Sentinel 2.	27
<b>Tabla 02.</b> Operacionalidad de Variables.	37
<b>Tabla 03:</b> Interpretación del coeficiente Kappa.	38
<b>Tabla 04.</b> Grado de correlación.	38
<b>Tabla 05.</b> Estadística general del clima.	40
<b>Tabla 06.</b> Pruebas de normalidad de climas.	41
<b>Tabla 07:</b> Estadística general de ecosistemas.	46
<b>Tabla 08.</b> Pruebas de normalidad de ecosistemas.	47
<b>Tabla 09.</b> Validación mediante coeficiente de Kappa (K).	51
<b>Tabla 10.</b> Registro de punto de observación para los años 2015 y 2022.	52
<b>Tabla 11.</b> Coeficiente de Pearson entre cambio climático y tendencia de los ecosistemas.	55

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 01:</b> Espectro de radiofrecuencias (Gosteva et al., 2022).	24
<b>Figura 02:</b> Huella espectral (Aldana et al., 2021).	25
<b>Figura 03:</b> Satélite sentinel 2 (ESA, 2015).	26
<b>Figura 04:</b> Mapa de ubicación del área de estudio, distritos de Acora.	31
<b>Figura 05:</b> Climograma del distrito de Acora – 2015 al 2022.	39
<b>Figura 06:</b> Registro de precipitación anual.	42
<b>Figura 07:</b> Registro de temperatura máximas.	43
<b>Figura 08:</b> Registro de temperatura mínimas.	43
<b>Figura 09:</b> Barras apiladas de cambio de ecosistemas durante el 2015 y 2022.	45
<b>Figura 10:</b> Evolución del área bofedal entre 2015 y 2022.	48
<b>Figura 11:</b> Evolución del área de cuerpos de agua entre 2015 y 2022.	49
<b>Figura 12:</b> Evolución del área herbazal denso entre 2015 y 2022	49
<b>Figura 13:</b> Evolución del área escasa vegetación denso entre 2015 y 2022.	50
<b>Figura 14:</b> Gráfico de correlaciones en símbolos.	56
<b>Figura 15:</b> Gráfico de correlaciones en valores numéricos.	57

## INDICE DE ANEXOS

	Pág.
<b>Anexo 01:</b> Matriz de consistencia.	66
<b>Anexo 02:</b> Descarga de imágenes satelitales Sentinel-2 de Google Earth Engine.	67
<b>Anexo 03:</b> Descarga de climas de la estación meteorológica; Rincón de la cruz (Acora).	68
<b>Anexo 04:</b> Muestras de validación de campo.	70
<b>Anexo 05:</b> Script de clasificación de ecosistemas con el lenguaje de R.	90
<b>Anexo 06:</b> Resultado de clasificación de ecosistemas con el lenguaje de R.	96
<b>Anexo 07:</b> Validación del modelo de clasificación de ecosistemas para el 2015.	100
<b>Anexo 08:</b> Validación del modelo de clasificación de ecosistemas para el 2016.	100
<b>Anexo 09:</b> Validación del modelo de clasificación de ecosistemas para el 2017.	101
<b>Anexo 10:</b> Validación del modelo de clasificación de ecosistemas para el 2018.	101
<b>Anexo 11:</b> Validación del modelo de clasificación de ecosistemas para el 2019.	102
<b>Anexo 12:</b> Validación del modelo de clasificación de ecosistemas para el 2020.	102
<b>Anexo 13:</b> Validación del modelo de clasificación de ecosistemas para el 2021.	103
<b>Anexo 14:</b> Validación del modelo de clasificación de ecosistemas para el 2022.	103
<b>Anexo 15:</b> Prueba de normalidad de ecosistemas para el 2015 y 2022.	104
<b>Anexo 16:</b> Prueba de normalidad de climas para el 2015 y 2022.	104
<b>Anexo 17:</b> Área de ecosistemas en (km <sup>2</sup> ) para el periodo 2015 y 2022.	105
<b>Anexo 18:</b> Mapa de ecosistemas del año 2015.	106
<b>Anexo 19:</b> Mapa de ecosistemas del año 2016.	107
<b>Anexo 20:</b> Mapa de ecosistemas del año 2017.	108
<b>Anexo 21:</b> Mapa de ecosistemas del año 2018.	109
<b>Anexo 22:</b> Mapa de ecosistemas del año 2019.	110
<b>Anexo 23:</b> Mapa de ecosistemas del año 2020.	111

<b>Anexo 24:</b> Mapa de ecosistemas del año 2021.	112
<b>Anexo 25:</b> Mapa de ecosistemas del año 2022.	113
<b>Anexo 26:</b> Panel fotográfico.	114

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo analizar la tendencia de los ecosistemas con imágenes satelitales de Sentinel-2 y su relación con el cambio climático en el distrito de Acora, 2015 - 2022. La metodología fue aplicando con el modelo Random Fores, para la clasificación supervisada de ecosistemas como: bofedales, cuerpos de agua, herbazal denso y escasa vegetación, mediante la plataforma geomática Google Earth Engine dónde se obtuvieron las imágenes satelitales Sentinel 2, ya corregidas de valores digitales a reflectancias (TOA), tan solo aplicando el lenguaje de programación JavaScript, con el software R-Studio (v4.3.1) se desarrolló el proceso de clasificación de ecosistemas y evaluación del cambio climático. En los resultados de ecosistemas se obtuvo en el año 2015, 2.59 km<sup>2</sup> de bofedales, 16.47 km<sup>2</sup> de cuerpos de agua, 204.6 km<sup>2</sup> de herbazal denso y 1698.27 km<sup>2</sup> de escasa vegetación. En el año 2022 se identificaron 0.31 km<sup>2</sup> de bofedales, 11.08 km<sup>2</sup> de cuerpos de agua, 35.27 km<sup>2</sup> de herbazal denso y 1875.29 km<sup>2</sup> de escasa vegetación, comparados entre sí, podemos observar la evolución del área de los ecosistemas, en cuanto a los cambios del clima para el año 2015 y 2022, claramente con los resultados obtenidos podemos ver el cambio climático durante los años de estudio, en donde las precipitaciones han disminuido, las temperaturas máximas aumentan +1 °C y las temperaturas mínimas descendieron -1 °C. Concluyendo que la relación entre el cambio climático y la tendencia de los ecosistemas oscilan entre las correlación alta y mayores (>) al valor de Pearson  $r = 0.76$  alta y positiva, de acuerdo a la prueba estadística se obtuvo  $p\text{-valor} = 0.027$ ; comparado con el valor alfa  $\alpha = 0.05$ , estadísticamente son significativas indicando que, el cambio climático hace que los ecosistemas se modifiquen durante los años.

**Palabras clave:** Cambio climático, Ecosistemas, Sentinel 2, Teledetección, Tendencia.

## ABSTRACT

The objective of this research was to analyze the trend of ecosystems with Sentinel-2 satellite images and their relationship with climate change in the district of Acora, 2015 - 2022. The methodology was applied with the Random Forest model, for the supervised classification of ecosystems such as: wetlands, water bodies, dense grassland and sparse vegetation, using the Google Earth Engine geomatics platform where Sentinel 2 satellite images were obtained, already corrected from digital values to reflectance (TOA), only by applying the JavaScript programming language, with the R-Studio software (v4.3.1) the process of classification of ecosystems and evaluation of climate change was developed. In the ecosystem results, in 2015, 2.59 km<sup>2</sup> of wetlands, 16.47 km<sup>2</sup> of water bodies, 204.6 km<sup>2</sup> of dense grassland and 1698.27 km<sup>2</sup> of sparse vegetation. In the year 2022, 0.31 km<sup>2</sup> of wetlands, 11.08 km<sup>2</sup> of water bodies, 35.27 km<sup>2</sup> of dense grassland and 1875.29 km<sup>2</sup> of sparse vegetation were identified, compared with each other, we can observe the evolution of the area of the ecosystems, in terms of climate changes for the year 2015 and 2022, clearly with the results obtained we can see the climate change during the years of study, where precipitation has decreased, maximum temperatures increase +1 °C and minimum temperatures decreased -1 °C. Concluding that the relationship between climate change and the trend of ecosystems oscillate between high and higher correlation (>) to the value of Pearson  $r = 0.76$  high and positive, according to the statistical test was obtained  $p\text{-value} = 0.027$ ; compared with the alpha value  $\alpha = 0.05$ , statistically significant indicating that, climate change causes ecosystems to change over the years.

**Keywords:** Climate change, Ecosystems, Sentinel 2, Remote sensing, Trend.

## INTRODUCCIÓN

El distrito Acora con una superficie de 1937.33 km<sup>2</sup>, los problemas medioambientales incluyen: la disminución de la cubierta vegetal debido al sobrepastoreo, la extracción de leña y las malas técnicas de quema utilizadas en la agricultura, que provocan incendios a gran escala, la contaminación de las fuentes de agua, la desaparición de los humedales como consecuencia del cambio climático.

Modificación de uso del suelo y fragmentación del paisaje en el centro de Veracruz, México (1989-2015), los investigadores analizaron la modificación del uso del suelo y la fragmentación del paisaje durante los años 1989, 2003 y 2015. Se utilizaron fotos Landsat para extraer clases de cobertura mediante clasificación supervisada. Mediante medidas del paisaje, se midieron el cambio y la pérdida de vegetación y se evaluó la fragmentación. La cantidad de vegetación se redujo en un 57% entre 1989 y 2015, con una tasa de variación anual de la cobertura del -2,15%. El tamaño medio de los fragmentos, la superficie interior total, el índice de contraste y la proximidad media disminuyeron entre 1989 y 2015. Entre 1989 y 2003, el número de fragmentos, la densidad de fragmentos y la longitud total de los bordes disminuyeron, y luego aumentaron en 2015 (Hernández et al., 2022).

La investigación tiene como hipótesis; La tendencia de los ecosistemas con imágenes satelitales de sentinel - 2 se relaciona con el cambio climático en el distritos de Acora, 2015 - 2022.

Las variables constan de dos tipos, la independiente y la dependiente. La independiente es la que causa y está determinada por el cambio climático, la dependiente es el efecto y está determinada por la tendencia de los ecosistemas.

La investigación consta de cuatro capítulos:

En el Capítulo I, se aborda el planteamiento del problema de la investigación, los antecedentes que guardan relación con el tema de investigación y objetivos de la investigación.

En el Capítulo II, se muestra el marco teórico que sustenta la investigación donde se define los principales conceptos y se indica las hipótesis planteadas para ser probadas en el estudio.

En el Capítulo III, se llevó a cabo la parte metodológica, donde se aborda sobre la tendencia de los ecosistemas y su relación con el cambio climático en el distrito de Acora durante los periodos 2015 - 2022, también está conformado el tamaño de la muestra y los métodos estadísticos.

En el Capítulo IV, se exponen los resultados del estudio con el análisis estadístico, persiguiendo los objetivos iniciales , donde se presentan tablas y figuras que muestran los valores estadísticos obtenidos para demostrar lo que se ha planteado y por último se incluye las conclusiones y recomendaciones.



## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

#### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las actividades antropogénicas han tenido un impacto significativo en la mayoría de los ecosistemas del planeta, y los cambios se han acelerado en los últimos 50 años. Los cambios más rápidos se están produciendo actualmente en los países emergentes, donde la agricultura intensiva, la pesca a gran escala y el uso del agua dulce tienen un impacto especialmente negativo en los ecosistemas (Aguaded & Romero, 2015). La atenuación del clima afecta a los recursos de agua dulce, superficial y marinos de todo el Planeta. Las primeras extinciones causadas por el cambio climático han sido provocadas por éste, que ha aumentado las enfermedades, ha causado la mortandad masiva de plantas, animales y ha provocado la extinción de especies locales (Altieri & Nicholls, 2018).

Los principales problemas que plantea el cambio del ecosistema en Perú son el deterioro de los suelos, la contaminación del agua y del aire, la insuficiente explotación agrícola y forestal, la extinción de especies y la pobreza que sufre nuestra población. Por ello, es crucial difundir el valor de la protección del medio ambiente. Además, los glaciares se están derritiendo debido al cambio climático, lo que aumenta las inundaciones provocadas por el fenómeno de El Niño. También aumentan las sequías en la sierra y se

producen deslizamientos y derrumbes en la costa, en la sierra y en la selva peruana (Abad, 2020).

Debido a la escasa capacidad de recuperación de estos hábitats, el problema de los ecosistemas está empeorando en el distrito de Acora. Los problemas medioambientales incluyen: la disminución de la cubierta vegetal debido al sobrepastoreo, la extracción de leña y las malas técnicas de quema utilizadas para preparar la tierra para la agricultura, que provocan incendios a gran escala, la contaminación de las fuentes de agua, la desaparición de los humedales como consecuencia del cambio climático y la disminución de la diversidad de la fauna y la flora provocada por el aumento de las temperaturas y el déficit de precipitaciones.

### **1.1.1. PROBLEMA GENERAL**

¿Cuál es la tendencia de los ecosistemas con imágenes satelitales de sentinel - 2 y su relación con el cambio climático en el distritos de Acora, 2015 - 2022?.

### **1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS**

- ¿Cuáles son los ecosistemas del distrito de Acora y sus características generales?.
- ¿Cómo ha variado el área de los ecosistemas del distrito de Acora desde 2015 hasta el 2022?.
- ¿Cómo será la relación de los ecosistemas con el cambio climático en el distrito de Acora desde 2015 hasta el 2022?.

## **1.2. ANTECEDENTES**

### **1.2.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES**

- Reyes et al. (2022), los autores realizaron una investigación sobre los **"Repercusiones del cambio climático y la agricultura intensiva en la biodiversidad"**. Con el objetivo de recopilar en esta bibliografía investigaciones científicas sobre la

disminución de la biodiversidad causada por la agricultura intensiva y el cambio climático, así como su potencial impacto en la interacción hombre-medio ambiente. Utilizando las bases de datos Scopus, Web of Science y Scielo para buscar las frases "biodiversidad", "cambio climático" y "agricultura", en marzo de 2021 se llevó a cabo una revisión sistemática como parte del método científico. Los resultados indican que un mínimo de 99 temas en Web of Science (99 temas), Scopus (155 temas) y Scielo (36 temas) abordan la pérdida de especies como consecuencia del cambio climático, junto con el crecimiento de la agricultura intensiva y sus efectos, como resultado del consumo de soja y sus derivados por parte de los animales, no sólo en las zonas cercanas a los cultivos en cuestión, sino también indirectamente en las regiones montañosas. En resumen, la biodiversidad contribuye al bienestar humano previniendo enfermedades y suministrando alimentos, por lo que su preservación exige la adopción de políticas públicas sensatas que actúen dentro de los límites del Convenio sobre la Diversidad Biológica.

- Bidegain et al. (2015), su investigación tiene el fin de augurar las futuras atenuaciones de la temperatura, precipitación, humedad relativa y radiación solar en la región, su investigación sobre "**Escenarios climáticos presagiados para Paraguay**", se propuso llevar a cabo esta tarea. Además de los escenarios socioeconómicos SRES A2 y B2, se desarrollaron modelos climáticos a escalas globales (HADCM3, ECHAM5, CSIRO-mk3 y GFDL 2.0) para los años 2020, 2050 y 2080. El cálculo de las precipitaciones se ha alterado mucho, ubicado en las zonas orientales y la cuenca del río Paraguay son las que percibieron los mayores incrementos (+5%) y descensos (-6%) sucesivamente. Según las proyecciones, la temperatura aumentará 1°C en 2020, 2,5°C en 2050 y 4,5°C en 2080. El sudeste es la zona con menos incremento, mientras que la cuenca del río Paraguay es la que ha tenido los mayores incrementos. Para 2050 y 2080, la humedad específica crecerá en toda la región +0,2 g/kg y +0,3 g/kg, sucesivamente. Los incrementos son más notables en la cuenca del río Paraná, en el suroeste se observa

un ligero aumento de la temperatura y en el altiplano boliviano un aumento de la temperatura solar. Se utilizó el sistema PRECIS V1.6 para crear escenarios climáticos de alta resolución para los años 2081 al 2090, que mostraron aumentos de temperatura de +2°C y un aumento de las precipitaciones de +4 mm/año sobre Paraguay.

- Ruíz et al. (2022), El propósito de esta investigación, titulada **"Indicadores de sostenibilidad y adaptabilidad de la vivienda urbana panameña al cambio climático"**, es sugerir indicadores de resiliencia y sostenibilidad de la vivienda urbana panameña frente a los efectos del cambio climático a través de un examen exhaustivo de la vulnerabilidad de la nación. Fue factible tipificar las viviendas resilientes y sostenibles a base de ejercicios cualitativos, y 15 indicadores de resiliencia y 14 de sostenibilidad resultaron validados por expertos nacionales e internacionales para la formulación de una propuesta de 29 indicadores que responden a los impactos actuales y previstos a los cambios del clima ambiental. De este modo, se pudo crear un instrumento práctico y sencillo para evaluar la sostenibilidad y la resiliencia de las viviendas urbanas.

- Hernández et al. (2022), en su estudio **"En el centro de Veracruz, México, la alteración del uso de la tierra y la fragmentación del paisaje se produjeron entre 1989 y 2015"**, Los investigadores examinaron cómo cambió el uso del suelo y cómo se fragmentó el paisaje en 1989, 2003 y 2015. Mediante clasificación supervisada, se extrajeron clasificaciones de cobertura a partir de imágenes Landsat. Se cuantificaron los cambios y la pérdida de vegetación y se evaluó la fragmentación mediante medidas del paisaje. Entre 1989 y 2015, se produjo una reducción del 57% en la cantidad de vegetación, con una tasa anual de cambio en la cobertura del -2,15%. Entre 1989 y 2015, se produjo un descenso en el tamaño medio de los fragmentos, la superficie interior total, el índice de contraste y la proximidad media. La cantidad de fragmentos, la densidad de fragmentos y la longitud total de los bordes disminuyeron entre 1989 y 2003 antes de aumentar en 2015.

- Veas et al. (2018), realizaron la investigación sobre **“Conexiones entre las formas del relieve y los posibles escenarios de cambio climático en Costa Rica a través de los humedales del Parque Nacional Chirripó”**, los humedales, a veces conocidos como humedales altoandinos, que no han recibido mucha atención ni estudios. En este estudio se examinan los humedales altoandinos del Parque Nacional Chirripó (PNCh), en el sur de Centroamérica, en función de sus características geomorfológicas, climatológicas e hidrológicas. Para ello se ha basado en el Inventario Nacional de Humedales del Proyecto Humedales, en un estudio geomorfológico a escala 1:25.000 de las estructuras terrestres, especialmente las de formación glaciaria, y en la formulación de varios escenarios de cambio climático previstos para los períodos 2039-2059 y 2079-2099. Los fines de este estudio incluyen describir el estado actual de estos ecosistemas, dilucidar sus orígenes y causas, y evaluar los impactos potenciales del cambio climático sobre el ciclo hidrológico y el abastecimiento de agua de estos reservorios. Los resultados destacan la función crítica que estos humedales cumplen en el mantenimiento de la diversidad ecológica del PNCh, así como en el suministro de agua y la gestión del ciclo hidrológico en las cuencas hidrográficas que drenan en esta área resguardadas.

### 1.2.2. ANTECEDENTES NACIONALES

- Mamani et al. (2023), realizaron la investigación **“Entre 2003 y 2019, la pérdida de bosques en la Amazonía peruana se debió principalmente a cambios en el clima y la cubierta forestal.”**, el objetivo fue utilizar datos del Instituto Nacional de Estadística e Informática, el Ministerio del Ambiente y Geo Forestería y otras fuentes para analizar la relación entre el cambio climático y la cobertura forestal sobre la disminución de bosques en la selva amazónica peruana en el periodo 2003-2019. Para ello se empleó un modelo econométrico de eficacia mixta. Entre 2003 y 2019, los investigadores descubrieron que, mientras que la cubierta forestal tiene un impacto negativo en la pérdida de bosques, el

cambio climático tiene un impacto favorable en la pérdida de bosques. Como resultado de la falta de una política medioambiental en las regiones de Perú que garantice la conservación de las especies forestales y la recuperación y protección de los recursos forestales en las regiones amazónicas, un aumento de las precipitaciones de 1 mm y un aumento de la temperatura máxima de 1°C, se traducen en aumentos de la pérdida de bosques de 4,3 y 483,9 hectáreas, respectivamente. Por el contrario, un aumento de la cubierta forestal de 1 hectárea se traduce en una disminución de la pérdida forestal de 0,13 hectáreas.

- Huacac (2022), En su tesis **"La deforestación provocada por la minería aurífera en la microcuenca del río Pariamanu, o Madre de Dios, entre 2010 y 2020 se evalúa utilizando fotografías de satélite SAR."**, examinó esta cuestión. En el presente estudio se utilizan sensores de radar de apertura sintética (SAR) para evaluar el impacto de la minería aurífera en la deforestación en la microcuenca del río Pariamanu - Madre de Dios entre 2010 y 2020. La cantidad de deforestación provocada por la minería de oro se estimó utilizando técnicas de teledetección e imágenes de los sensores Alos Palsar (2010) y Sentinel-1 (2015-2020). Se utilizó un método de clasificación supervisada utilizando Random Forest, y ArcMap, SNAP ESA, ENVI y Google Earth Engine fueron las plataformas utilizadas para el procesamiento. Se utilizaron muestras de campo e imágenes de media y alta resolución (Planet Scope y WorldView) para evaluar la precisión. En enero de 2010, el bosque cubría 354 609,93 ha; en diciembre de 2010, 354 477,20 ha; en diciembre de 2015 y en 2020, 354 125,48 ha; y en 2020, 353 838,13 ha. Debido a la minería del oro, se perdieron 1,19 hectáreas de bosque en 2010, 36,94 hectáreas en 2015 y 99,73 hectáreas en total en 2020. 1.414,07 ha de bosque se perdieron como consecuencia de la minería del oro entre 2010 y 2020, a un ritmo del 0,003% (9,85 ha/año). 1.392,23 ha de bosque experimentaron cambios en el uso y la cobertura del suelo en un periodo de diez años, y 97,18 ha (6,98%) se destinaron a la



minería del oro. En la microcuenca del río Pariamanu, el desarrollo de infraestructuras y la agricultura representan el 93,2% de la utilización de los recursos.

- Lopez (2022), realizó la **“En la zona de Ranrahirca-Yungay, afectada por el corrimiento de 1970, se realizó un estudio multitemporal de la cubierta terrestre y de los cambios de uso del suelo entre 1970 y 2020.”**, fue empleado con CORINE Land Cover (CLC) para analizar la cubierta terrestre mediante la utilización de datos de los satélites Sentinel 2A y Landsat 8 para la categorización supervisada Random Forest. Asimismo, se emplearon los software libres y de código público R, R Studio y QGIS para evaluar las imágenes a partir de ortofotografías de Google Earth. Utilizando fotografías de Google Earth recogidas en 1970 y 2000, las imágenes se interpretan teniendo en cuenta un área cartografiable mínima de 400 km<sup>2</sup> a escala 1/5, o 4x4 mm. La matriz de confusión o error para los años 2013 y 2020 mostró una conformidad casi absoluta del 81% y el 83% mediante el coeficiente Kappa de Cohen. Los resultados mostraron que los cambios multitemporales en las infraestructuras urbanas, así como los cultivos estacionales y anuales, provocaron una presión sobre los ecosistemas, una disminución de la cubierta vegetal y pérdidas de ecosistemas. La tendencia fue en general al alza, y es probable que continúen haciéndolo. Es preciso crear y ejecutar planes sostenibles de uso del suelo, y utilizar técnicas de conservación del suelo, para evitar una mayor degradación, como demuestra el estudio. En tanto que los hallazgos de los problemas de uso del suelo revelaron zonas de superficie de 2.066,51 ha (o el 60,92%), las zonas no concordantes presentaban una explotación excesiva de 655,93 ha (o el 19,34% del total), una sobreexplotación de 204,84 ha (o el 6,04% del total) y zonas de usos diferentes de 464,97 ha (o el 13,71% del total).

### 1.2.3. ANTECEDENTES LOCALES

- Quispe et al. (2020), estudiaron la **“posible propagación de los daños causados por la puya raimondii en escenarios de cambio climático futuro”**. La

disminución de la biodiversidad se debe sobre todo al aumento de la variación climática causado por el hombre. En este sentido, es necesario realizar estudios basados en los efectos anticipados del gran cambio climático para recomendar medidas de preservación de especies vulnerables como la *Puya raimondii* harm, una especie de arbusto bromeliáceas exclusiva de los Andes de Perú y Bolivia. Para este trabajo, revisamos el área de distribución presente y potencialmente futura de *P. raimondii* con el fin de determinar los sitios preferentes para la protección a largo plazo de esta escasa especie. Nuestros hallazgos revelaron que 1) las ubicaciones potencialmente adecuadas actuales se extienden por un área total de 154268,40 km<sup>2</sup>, hallándose la gran mayoría de ellas localizadas en los Andes de Bolivia y Perú; y 2) en los escenarios futuros de cambio climático para la década de 2070, se produce una pérdida de áreas potenciales, con una reducción media de superficie a -34326,53 km<sup>2</sup> y -8193,22 km<sup>2</sup> para los dos escenarios climáticos de las vías de concentración representativas (RCP) 4,5 y RCP 8,5, respectivamente.

- Loza et al. (2021), su investigación se desarrolló en el distrito altoandino de Cabana (Perú), este proyecto tuvo como objetivo determinar las modificaciones cronológicas de la vegetación y de los usos del suelo. Para ello se realizó un **“análisis multitemporal de las asociaciones de vegetación y cambios de uso del suelo en una localidad altoandina, Puno”**. Estos lugares se localizaron, junto con las categorías y características de uso del suelo, a partir de estudios monitoreados de imágenes Landsat con una resolución espectral de 30 m, adquiridas en los meses de marzo y abril de los años 2000, 2005, 2010 y 2016, el tipo de vegetación se determinó en función de las especies dominantes en la cubierta. Las áreas de seis tipos distintos de zonas de vegetación natural se redujeron en 2.000 hectáreas (16,27%) con respecto a las 12.500 hectáreas iniciales. En 2000, la asociación *Muhlenberg Tum fastigiata* tenía la mayor cobertura (43,96%), pero en 2016, *Calamagrostis vicunarum - Festucetum dolichophylla*



(47,31%) tomó la delantera. El porcentaje de la tierra del distrito que se utiliza para la agricultura aumentó de 5133 ha (27 %) a 7115 ha (37 %), mientras que los suelos degradados, las zonas de vegetación escasa y las zonas de humedales disminuyeron de 179 a 29,7 ha. La cobertura urbana aumenta a un ritmo anual del 40,7%. Sin un plan de ordenación territorial, el uso del suelo amenazaba la sostenibilidad de los recursos naturales y perjudicaba a la vegetación.

### **1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Analizar la tendencia de los ecosistemas con imágenes satelitales de Sentinel - 2 y su relación con el cambio climático en el distrito de Acora, 2015 - 2022.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar los tipos de ecosistemas del distrito de Acora y sus características generales.
- Determinar la variación de las áreas de los ecosistemas del distrito de Acora desde 2015 hasta el 2022.
- Interpretar la relación de los ecosistemas con el cambio climático en el distrito de Acora desde 2015 hasta el 2022.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **2.1. MARCO TEÓRICO**

##### **2.1.1. ECOSISTEMAS ALTOANDINOS**

Se distinguen por proporcionar una importante regulación hídrica, servicios de hábitat para muchas especies animales y funciones de preservación de la biodiversidad. Se encuentran en regiones por encima de los 3000 metros sobre el nivel del mar (INAIGEM, 2017).

Los ecosistemas de la cordillera andina comprende de pamo, el pastizal seco de puna, el pastizal lluvioso de puna, los bofedales, las zonas periglaciares y glaciares, la jalca, el matorral seco de puna, el bosque relicto montano de la vertiente occidental, el bosque relicto mesoandino y el bosque interandino estacionalmente seco (Carevic et al., 2022).

##### **2.1.2. CAMBIO CLIMÁTICO**

La versión mundial del clima de la Tierra es el cambio climático. Esta transición, provocada tanto por factores naturales como humanos, se produce en escalas de tiempo extremadamente inusuales y afecta a todos los factores climáticos, como la temperatura, las precipitaciones, la nubosidad y muchos más (Reyes et al., 2022).

El cambio climático no es simplemente un fenómeno medioambiental, sino que tiene profundas consecuencias monetarias y sociales, los países más pobres, que podrían

estar menos organizados para hacer frente al rápido cambio, serán los que sufran los peores resultados (Reyes et al., 2022).

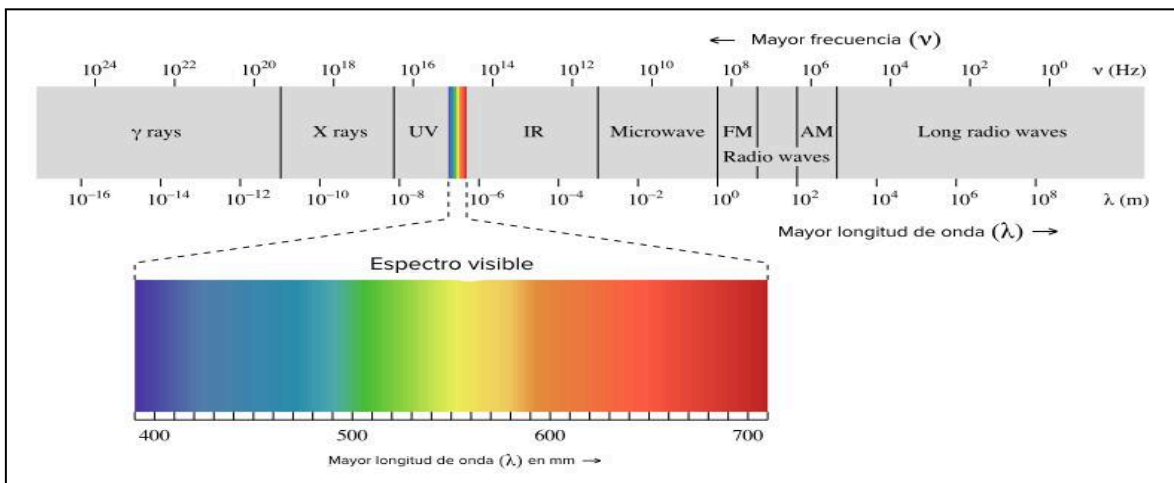
### 2.1.3. TELEDETECCIÓN

Es la ciencia que permite identificar o analizar sin contacto las propiedades de los objetos de interés (Camas et al., 2022).

La teledetección es una técnica que permite obtener datos de objetos lejanos sin necesidad de tocarlos físicamente. La presencia o creación de campos de fuerza entre el dispositivo sensor y el objeto identificado lo hace posible (Camas et al., 2022).

### 2.1.4. EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

Varios sensores a bordo de satélites de teledetección pueden detectar la luz visible, como la que captan las fotos de las cámaras, pero también pueden captar radiaciones invisibles para el ojo humano, como la luz infrarroja y las ondas de radar (Gosteva et al., 2022).



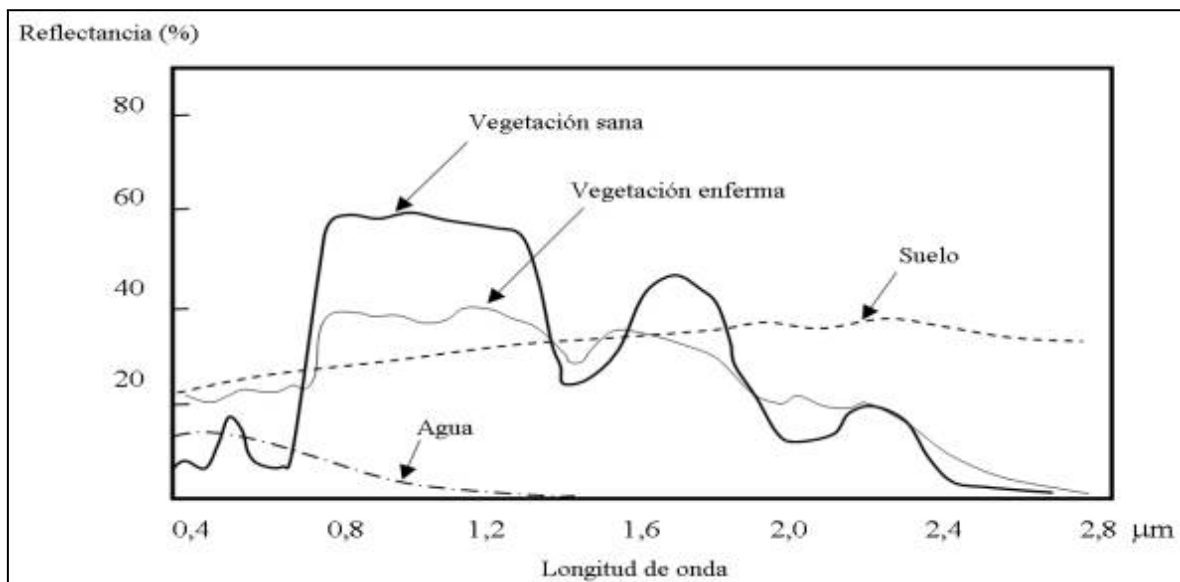
**Figura 01.** Espectro de radiofrecuencias ([Gosteva et al., 2022](#)).

La medición de la radiación electromagnética o energía emitida por un objeto o material sirve de base para todas las imágenes a distancia.

### 2.1.5. FIRMAS ESPECTRALES

Todas las sustancias y objetos irradian energía en una gama de longitudes de onda conocida como espectro o firma espectral. Por ello, incluso a enormes distancias, es posible distinguir entre los numerosos materiales presentes en la superficie terrestre (Aldana et al., 2021).

Los sensores a bordo de satélites ofrecen una ventaja significativa sobre otros sistemas de observación remota de la Tierra porque pueden medir la energía en una amplia gama de longitudes de onda.

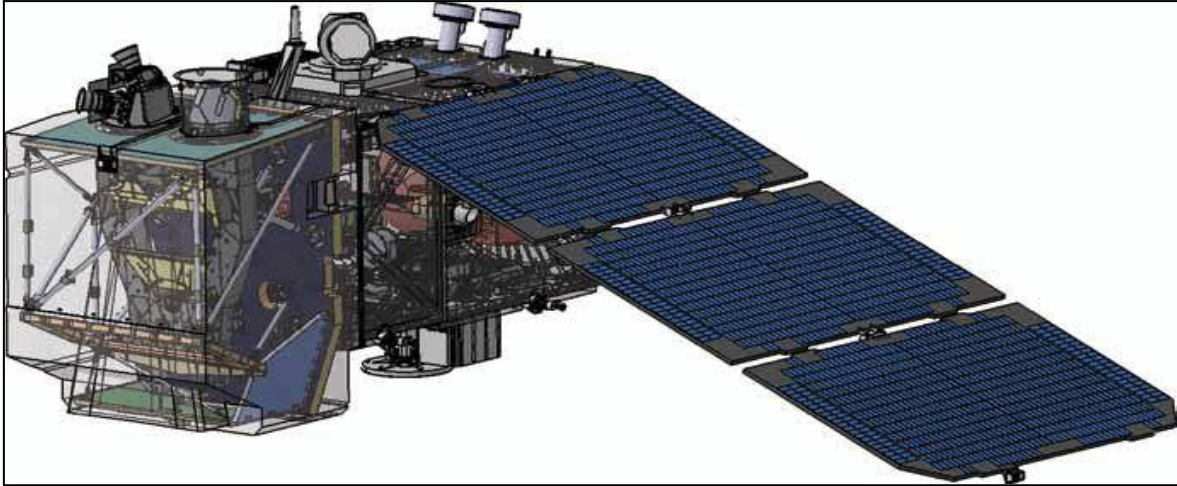


**Figura 02.** Huella espectral (Aldana et al., 2021).

### 2.1.6. IMAGEN DE SATÉLITE SENTINEL 2

Los "gemelos" Sentinel 2A y Sentinel 2B proporcionan fotos de Sentinel 2, que se pueden descargar gratuitamente y tienen una resolución visual de 10 metros. Podrás crear índices espectrales con resolución completa y filtros de color natural utilizando sus 13 bandas operativas (Ovando et al., 2021).

Dos satélites componen la flota Sentinel 2, y orbitan a 180 grados de distancia para situarlos en extremos opuestos del mundo y ofrecer fotografías con una repetición temporal más larga.



**Figura 03.** Satélite sentinel 2 (ESA, 2015).

#### 2.1.6.1. Características de bandas

13 bandas, que van del visible al infrarrojo de onda corta (SWIR), componen las fotografías de Sentinel 2. A pesar de tener capacidades cartográficas similares, Sentinel 2A y Sentinel 2B cartografía con anchuras espectrales significativamente diferentes. Usted no notará esto, así que no se preocupe. El espectro visible, el borde rojo, el infrarrojo cercano y el infrarrojo de onda corta son algunas de las distintas bandas de trabajo que podrías utilizar en tu investigación.

**Tabla 01.** Resolución espectral de la misión Sentinel 2.

Nro.	Nombre de banda	Longitud de onda (nm)	Ancho de onda (nm)	Resolución (m)
1	Aerosol costero	442.3	45	60
2	Azul	492.1	98	10
3	Verde	559	46	10
4	Rojo	665	39	10
5	Vegetación Borde rojo	703.8	20	20
6	Vegetación Borde rojo	739.1	18	20
7	Vegetación Borde rojo	779.7	28	20
8	NIR	833	45	10
8A	NIR estrecho	864	32	20
9	Vapor de agua	943.2	27	60
10	SWIR - Cirrus	1376.9	76	60
11	SWIR 1	1610.4	141	20
12	SWIR 2	2185.7	238	20

**Fuente:** (ESA, 2015).

### 2.1.7. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

La expresión "SIG" o "Sistema de Información Geográfica" se utiliza para referirse a una serie de ideas relacionadas pero no relacionadas. Uno de los usos que se utilizará a lo largo de estas notas, es para referirse al programa informático o aplicación utilizada para manejar mapas. (Colque et al., 2021).

SIG son las siglas de Sistema de Información Geográfica, un marco para la recopilación, gestión y análisis de datos. El SIG, que hunde sus raíces en la tecnología espacial,



incorpora numerosos tipos de estadísticas. Organiza las capas de datos para el análisis espacial y la visualización mediante escenarios y mapas tridimensionales.

## 2.2. MARCO CONCEPTUAL

**Ecosistema:** está formado por un grupo de seres vivos que comparten un entorno físico. Los ecosistemas pueden tener distintos tamaños y ser terrestres, acuáticos o marinos. Los biomas son las grandes clasificaciones de los ecosistemas terrestres. Los ecosistemas preservan tanto la cantidad de materia como la de calorías (Rodríguez et al., 2021).

**Temperatura:** Es un valor físico lineal relacionado con la energía térmica interior de un circuito energético y, más exactamente, con la energía cinética promedio de las partículas que lo integran, lo que refleja su desplazamiento. Dado que es independiente del volumen de sustancia del cuerpo, es una cualidad intrínseca (Jiménez et al., 2018).

**Precipitación:** En realidad es, el agua líquida o sólida que se ha formado en la atmósfera es la que cae a la superficie terrestre en forma de lluvia, aguanieve o nieve (Dai et al., 2018).

**Tendencia:** es una sucesión creciente de máximos y mínimos en una trayectoria determinada para un marco temporal determinado (Pando, 2018).

**Calentamiento global:** Se trata de un aumento de las temperaturas medias de los océanos y la atmósfera a lo largo del tiempo.

**R-Studio:** Este entorno de desarrollo integrado en el lenguaje de programación R se centra en el análisis estadístico y las instantáneas. Proporciona herramientas para gestionar espacios de trabajo, una consola, visuales y un editor de sintaxis para la ejecución sencilla de código (Espíndola et al., 2018).

**QGIS:** Es un programa de software de suministro abierto para sistemas GNU/Linux, Unix, Mac OS y Microsoft Windows. Permite manejar formatos ráster y vectoriales como shp, además de bases de datos especiales (Graser & Olaya, 2015).

**Radiación solar:** Debido a la emisión de energía solar en forma de radiación electromagnética, se trata de un fenómeno físico.

### 2.3. MARCO TEÓRICO NORMATIVO

Los recursos naturales y otros componentes ambientales cumplen funciones que permiten preservar las condiciones de los ecosistemas y el medio ambiente, de acuerdo a la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, produciendo beneficios que son aprovechados sin retribución ni compensación. En consecuencia, a fin de asegurar la conservación de los ecosistemas, la diversidad biológica y el medio ambiente, el Estado establece mecanismos para evaluar, compensar y mantener la prestación de dichos servicios ambientales.

La Ley de Conservación y Uso Sostenible de la Diversidad Biológica (Ley N° 26839). De conformidad con los artículos 66 y 68 de la Constitución Política del Perú, esta ley regula la conservación de la variedad biológica y el uso sostenible de las partes que la componen.

La conservación y el uso racional de la diversidad biológica se enmarcan en el desarrollo sostenible e implican:

- a) para sostener los procesos ecológicos cruciales que son necesarios para la supervivencia de las especies, así como para proteger la diversidad de ecosistemas, especies y genes.
- b) Fomentar la distribución justa y equitativa de las ventajas derivadas de la utilización de la variedad biológica.

Los MRSE son acuerdos voluntarios que establecen reglas para la protección, restauración y uso sostenible de los ecosistemas. La Ley N° 30215, Ley de Mecanismos de Remuneración de los Servicios Ecosistémicos, tiene como objetivo fomentar, regular y supervisar el desarrollo e implementación de los MRSE.



## **2.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL**

La tendencia de los ecosistemas con imágenes satelitales de sentinel - 2 se relaciona con el cambio climático en el distritos de Acora, 2015 - 2022.

### **2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS**

- Los ecosistemas del distrito de Acora son los bofedales y cuerpos de agua.
- La variación de las áreas de los ecosistemas tienden a disminuir en el distrito de Acora, desde 2015 hasta el 2022.
- Los ecosistemas tienen una correlación directa con el cambio climático en el distrito de Acora desde 2015 hasta el 2022.

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1. ZONA DE ESTUDIO

La investigación se llevó a cabo en el distrito de Acora, provincia de Puno, región de Puno, y también se le conoce como la capital ganadera del Perú. El distrito cuenta con una superficie de 1937.33 km<sup>2</sup>, y se encuentra a una elevación de 3956 m.s.n.m. Con una temperatura máxima de 18 °C y una mínima de - 6 °C (SENAMHI, 2023), el distrito de Acora cuenta con una población de 28.679, según el último censo peruano (INEI, 2017).

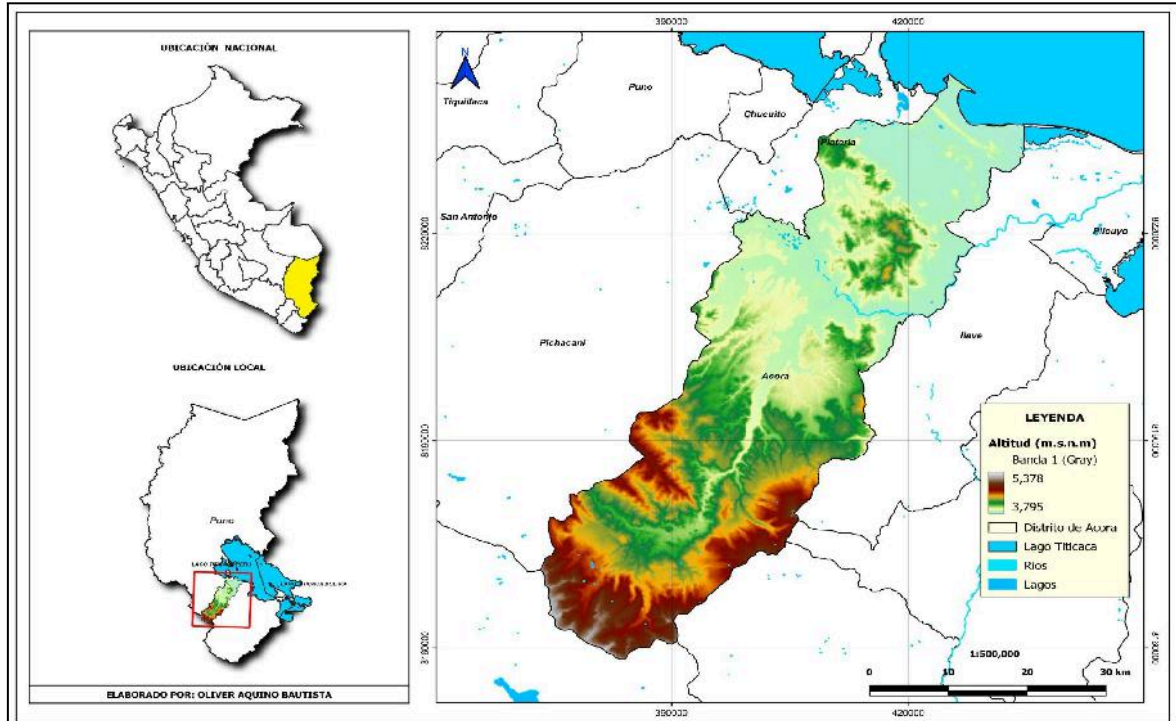


Figura 04: Mapa de ubicación del área de estudio, distritos de Acora.

## **3.2. TAMAÑO DE MUESTRA**

### **3.2.1. POBLACIÓN**

El área de estudio es el distrito de Acora, la investigación considera como población a la totalidad del área superficial del distrito de Acora con una extensión de 1937.33 km<sup>2</sup>.

### **3.2.2. MUESTRA**

El presente estudio constó de varias etapas, una de las cuales consiste en reunir los "puntos de entrenamiento" -muestras- necesarios para construir el modelo de clasificación Random Forest en el software R-Studios.

Estos puntos no se eligieron al azar, sino basándose en la identificación geográfica de las zonas cubiertas por los ecosistemas de alta montaña modelados en las fotografías aéreas. Además, para georreferenciar estos lugares, se confirmó sobre el terreno la exactitud de estos puntos.

## **3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS**

### **3.3.1. MÉTODOS**

#### **Tipo de investigación**

La investigación es de tipo descriptiva correlacional, ya que se tratará de ver la cuantificación de la tendencia de los ecosistemas por el cambio climático, así como la correlación entre cambio climático y la tendencia de los ecosistemas.

Enfoque cuantitativo porque se obtendrán datos numéricos o estadísticos.

#### **Diseño de Investigación.**

Cuando el investigador no manipula las variables, el diseño es no experimental.

#### **Materiales**

##### **❖ Equipos**

#### **Equipos**

- Navegador GPS

- Cámara fotográfica
- Computadora portátil, impresora, scanner.

### **Programas**

- R-Studio (v4.3.1)
- Qgis (v3.26.17)

### **3.3.2. METODOLOGÍAS POR OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Método inductivo: Se refiere a la capacidad de razonamiento inductivo, que parte de indicios concretos y conduce a inferencias específicas. El enfoque deductivo se describe de dos maneras: primero, como un razonamiento que va de lo general a lo específico; y segundo, como la aplicación diligente de una regla para obtener un resultado

Método deductivo: Se trata de un proceso mental en el que la información pasa de lo general a lo específico. Comienza con una o varias premisas y extrae una conclusión a partir de ellas. Tanto en la vida cotidiana como en el estudio académico, se emplea con frecuencia

Técnica de observación: Es el proceso de examinar atentamente una cosa para asimilar plenamente la naturaleza del todo, incluido su conjunto de datos, hechos y fenómenos

#### **Metodología para el objetivo específico O1:**

Determinar los tipos de ecosistemas del distrito de Acora y sus características generales. Para el objetivo actual se utilizó las imágenes de la misión Sentinel-2, con 13 bandas espectrales a una resolución de 10, 20 y 60 metros por píxel. Estas imágenes se descargaron de la plataforma geomática Google Earth Engine, las imágenes ya vienen corregidas de niveles digitales a reflectancia (TOA), tan solo fue aplicar el lenguaje de programación de Javascript en el interfaz de code editor de Google Earth Engine, esta plataforma geomática dispone de una amplia colección de imágenes satelitales de las distintas misiones. En el software R-studio se realizó el análisis y evaluación de las

imágenes Sentinel-2 para el análisis multitemporal de los ecosistemas.

### **Clasificación con Random Forest**

El método Random Forest es el procedimiento de categorización que implica en los entrenamiento de puntos de ecosistemas que se han encontrado tanto en gabinete como en campo. De este modo se determinaron los criterios de clasificación que se utilizaron para estos ecosistemas, estos procedimientos se construyeron en el software R-Studio con un lenguaje de programación muy amplio.

### **Criterios de Clasificación**

Utilizando Random Forest, la cobertura de ecosistemas en el distrito de Acora se categorizó de acuerdo con los siguientes criterios de clasificación.

Para determinar el análisis de clasificación supervisada de (bofedales, cuerpos de agua, herbazal denso y escasa vegetación), se aplicaron los índice espectral como:

#### **- El índice diferencial de agua normalizado (NDWI)**

Se emplea en el examen de masas de agua. El índice utiliza imágenes de teledetección en las regiones verde e infrarroja cercana. En la mayoría de las circunstancias, el NDWI puede mejorar eficazmente la información sobre el agua. Sobrestima las masas acuáticas y es sensible a la acreción de tierras.

$$NDWI = \frac{(GREEN - NIR)}{(GREEN + NIR)}$$

$$NDWI (Sentinel 2) = (Banda 3 - Banda 8) / (Banda 3 + Banda 8)$$

#### **- El índice diferencial normalizado de humedad (NDMI)**

Se emplea para calcular la cantidad de agua que contiene la cobertura vegetal.

$$NDMI = \frac{(NIR - SWIR 1)}{(NIR + SWIR 1)}$$

$$NDMI (Sentinel 2) = (Banda 8 - Banda 11) / (Banda 8 + Banda 11)$$

#### **- Índice de bofedal (IDB)**

Se emplea para calcular la distribución de los bofedales, mediante los índices espectrales de agua y humedad.

$$IDB = \frac{(NDMI - NDWI)}{(NDMI + NDWI)}$$

### - Índice normalizado de diferencia de vegetación (NDVI)

El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), es una medición digital de la cubierta vegetal que se calcula mediante las bandas del espectro rojo e infrarrojo próximo. El NDVI y el contenido de vegetación están estrechamente relacionados.

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)}$$

$$NDVI (Sentinel 2) = (Banda 8 - Banda 4) / (Banda 8 + Banda 4)$$

### - SAVI (Índice de vegetación ajustado al suelo)

En zonas con poca vegetación, se utiliza para modificar el NDVI a fin de tener en cuenta el impacto del brillo del suelo. Se utiliza un factor de ajuste del brillo del suelo (L) de 0,5 para tener en cuenta la mayoría de los tipos de cobertura del suelo en el SAVI producido a partir de la reflectancia de la superficie del Landsat, que se calcula como una relación de los valores R y NIR. (ESA, 2015).

$$SAVI = \left( \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED + L)} \right) * (1 + L)$$

$$SAVI (Sentinel 2) = (Banda 8 - Banda 4) / (Banda 8 + Banda 4 + 0.428) * (1.428)$$

### - El EVI (índice de vegetación mejorado)

Puede utilizarse para determinar el grado de verdurez de una vegetación y es comparable al NDVI. Incluye una variable "L" para cambiar el fondo del dosel, valores "C" para los coeficientes de arrastre atmosférico y valores "B" para la banda azul (ESA, 2015).

$$EVI = G * \left( \frac{(NIR - RED)}{(NIR + C1 * RED - C2 * B + L)} \right)$$

$$EVI (Sentinel 2) = 2.5 * ((Banda 8 - Banda 4) / (Banda 8 + 6 * Banda 4 - 7.5 * B2 + 1))$$

**Metodología para el objetivo específico O2:** Determinar la variación del área de los ecosistemas del distrito de Acora desde 2015 hasta el 2022. Para la obtención de los registros de la variación del área de los ecosistemas por cambios climáticos, se realizó

con el resultado obtenido del objetivo específico O1, las cuales ya están procesadas, luego se importaron las clases de ecosistemas clasificados en formato raster “.tiff”, al software R-studio para realizar cálculo de cambio, con la siguiente ecuación:

$$Td = \left[ \left( \frac{S_2}{S_1} \right)^{1/n} - 1 \right] * 100$$

**Donde:**

$Td$  = Tasa de variación de ecosistemas en porcentajes

$S_2$  = Área de ecosistemas en el año final

$S_1$  = Área de ecosistemas en el año inicial.

$n$  = Número de años del periodo de análisis

**Metodología para el objetivo específico O3:** Determinar la variación del cambio climático del distrito de Acora desde 2015 hasta el 2022. Los datos necesarios se recopilaron a partir de los datos hidrometeorológicos de SENAMHI, específicamente de la estación meteorológica convencional (Rincón de la cruz). Las lecturas de temperaturas se promediaron, y los valores de precipitación se acumularon, para examinar las tendencias mensuales y anuales. Los datos climáticos se dividieron en dos categorías: resultados anuales y resultados mensuales.

### 3.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

Causa o variable independiente (VI): Cambio climático

Efecto o variable dependiente (VD): Tendencia de los ecosistemas.



**Tabla 02.** Operacionalidad de Variables.

Variabes	Indicadores	Escala de Medición	Tipos de variables
(VI) Cambio climático	<b>Temperaturas</b>		Independiente
	Máximas	°C	
	Mínimas	°C	
	Anual	°C	
	<b>Precipitación</b>		
	Mensual	mm	
(VD) Tendencia de los ecosistemas	Anual	mm	Dependiente
	• Bofedales.	km <sup>2</sup>	
	• Cuerpos de agua.		
	• Herbazal denso.		
	• Escasa vegetación.		

### 3.5. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO

#### **Coefficiente Kappa (K)**

Un enfoque de validación de la precisión basado en la observación de las filas y columnas producidas con los datos observados es el examen del ajuste de los procesos de teledetección con el coeficiente Kappa.

Según la puntuación K, se presentan seis categorías para la interpretación de los resultados del coeficiente Kappa.



**Tabla 03:** Interpretación del coeficiente Kappa.

Coeficiente Kappa	Magnitud de afinidad
<0.00	Pobre
0.00 a 0.20	Leve
0.21 a 0.40	Justa
0.41 a 0.60	Moderada
0.61 a 0.80	Considerable
0.81 a 1.00	Casi perfecto

**Fuente:** Adaptado de Rwanga & Ndambuki (2017).

#### Coeficiente de correlación (r)

Según Asuero et al. (2006), se refiere a la fuerza de la asociación lineal que establece la fuerza de la relación entre dos variables. Cuando se realizan pruebas paramétricas, el coeficiente de correlación se calcula mediante el método de Pearson; en caso contrario (Artusi et al., 2002), se utiliza el método de Spearman. Para interpretar la fuerza de la relación, los rangos del coeficiente de correlación se fijan entre -1 y +1, se utiliza la tabla 04.

**Tabla 04.** Grado de correlación.

r	Interpretación
0.90 - 1.00	Correlación muy alta
0.70 - 0.89	Correlación alta
0.50 - 0.69	Correlación moderada
0.30 - 0.49	Correlación baja
0.00 - 0.29	Poca correlación

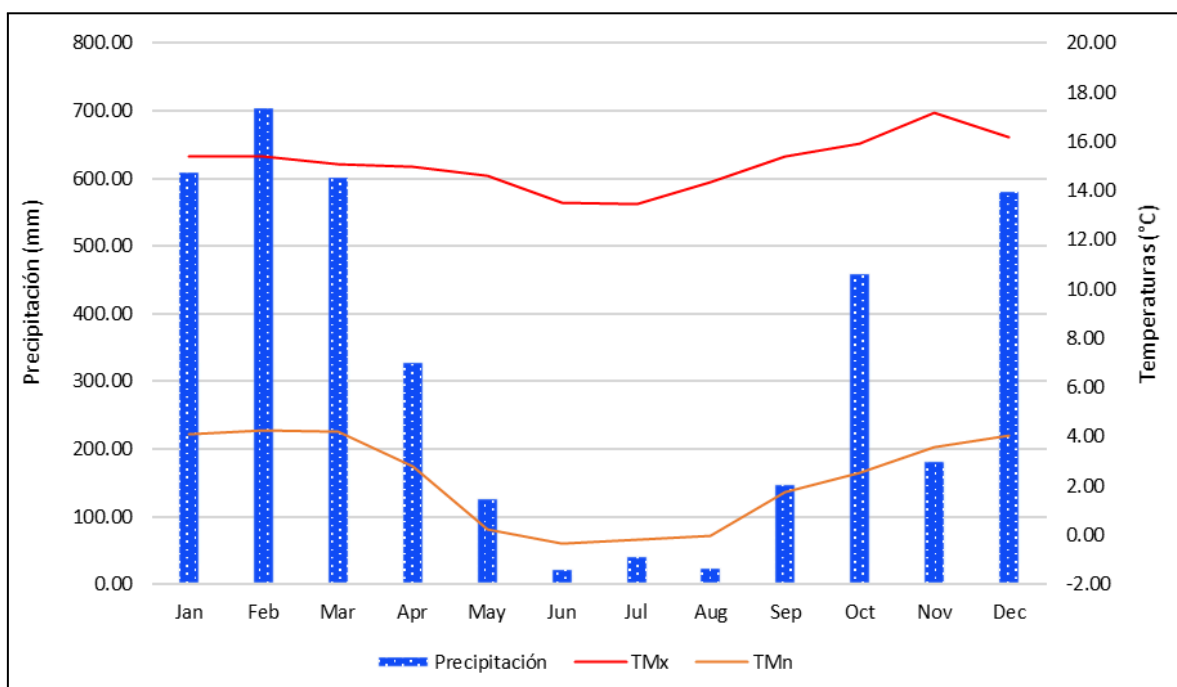
**Fuente:** Adaptado de Asuero et al. (2006).

## CAPÍTULO IV

### EXPOSICION Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS

#### 4.1. EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS PARA LA VARIABLE INDEPENDIENTE, CAMBIO CLIMÁTICO.

Para el periodo de 2015 y 2022, se obtuvo el registro del clima de la estación meteorológica convencional (Rincón de la cruz) Senamhi, para el distrito de Acora, procesado a una escala mensual/anual como se puede visualizar en el (Anexo 03), para los parámetros de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima.



**Figura 05:** Climograma del distrito de Acora – 2015 al 2022.

En la figura 05, indica que para el año 2015 las precipitaciones fueron 439.07 mm, las temperaturas máximas de 14.8 °C y las temperaturas mínimas de 2.1 °C, mientras tanto para el año 2022 las precipitaciones fueron de 360.3 mm, las temperaturas máximas de 15.6 °C y las temperaturas mínimas de 1.6 °C, claramente con los resultados obtenidos podemos ver el cambio climático durante los años de estudio, en donde las precipitaciones han disminuido, las temperaturas máximas aumentan +1 °C y las temperaturas mínimas descendieron -1 °C. Además con respecto al estudio realizado por **(Bidegain et al., 2015)** en sus resultados menciona que el cálculo de las precipitaciones se ha alterado mucho, ubicado en las zonas orientales y la cuenca del río Paraguay son las que percibieron los mayores incrementos (+5%) y descensos (-6%) sucesivamente. Según las proyecciones, la temperatura aumentará 1°C en 2020, 2,5°C en 2050 y 4,5°C en 2080. También con respecto al estudio realizado por **(Mamani et al., 2023)** en sus resultados menciona que hubo un aumento de las precipitaciones de 1 mm y un aumento de la temperatura máxima de 1°C en la selva amazónica peruana en el periodo 2003-2019.

**Tabla 05:** Estadística general del clima.

Clima	Media	Mediana	Máximo	Mínimo	Desviación estándar	Curtosis
Precipitación (mm)	480.2	472.3	655.39	360.38	90.16	1.26
Temperatura Máxima (°C)	15.1	15.1	15.65	14.66	0.33	-0.74
Temperatura Mínima (°C)	2.24	2.27	2.52	1.60	0.30	2.60
Nivel de confianza(95.0%)						

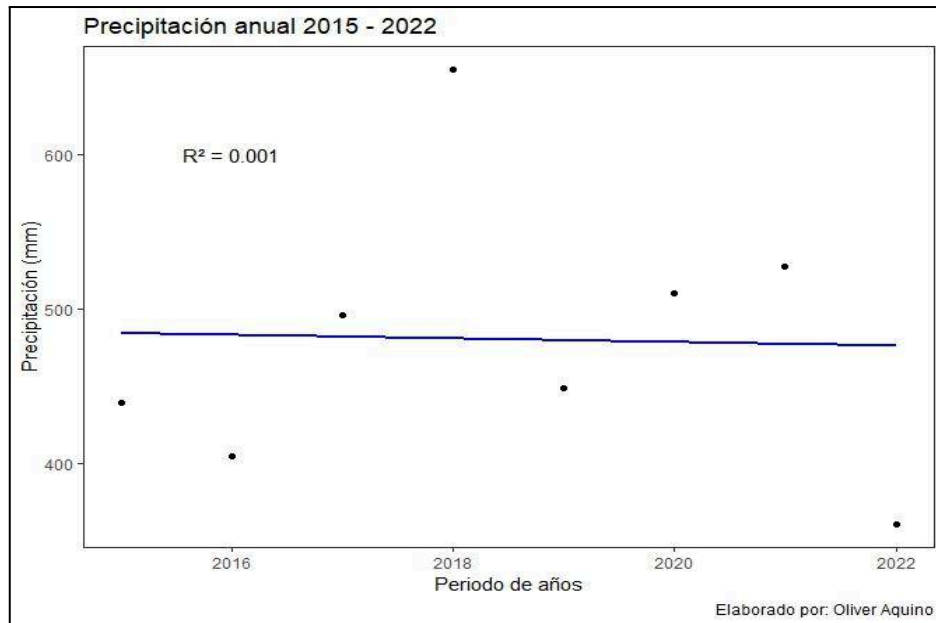
En la tabla 05, se muestra la estadística general del clima, durante los años 2015 y 2022 los parámetros de precipitación presentaron un promedio de 480.2 mm, un máximo de

655.39 mm y un mínimo de 360.38 mm, en cuanto a la temperatura máxima se tuvo un promedio de 15.1 °C, y la temperatura mínima tuvo un promedio de 2.24 °C. Por otra parte (Quispe et al., 2020) en sus resultados sobre los escenarios futuros del cambio climático para la década de 2070 en los Andes de Perú y Bolivia, se producirán cambios del clima aumento de las temperaturas y ausencia de las precipitaciones jamás registrados durante su historia transcurrida.

**Tabla 06.** Pruebas de normalidad de climas.

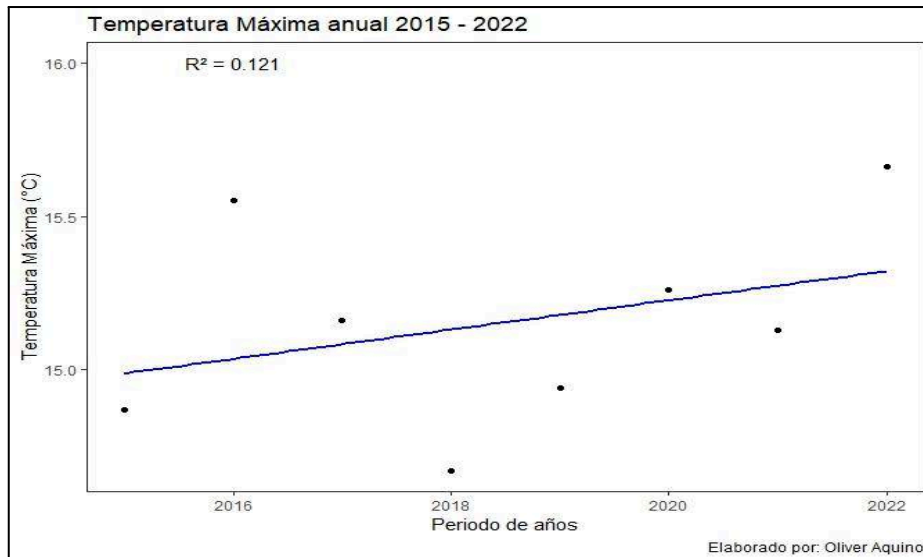
<b>Pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk (Nivel de significancia al 95%)</b>		
<b>Variable</b>	<b>Statistic (w)</b>	<b>p-value</b>
<b>Precipitación</b>	0.95	0.726
<b>Temperatura Máxima</b>	0.967	0.879
<b>Temperatura Mínima</b>	0.854	0.105

En la tabla 06 se muestran, la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, donde los datos de los climas si tienen una distribución normal durante el periodo 2015 - 2022. Para los parámetros de precipitación el p-valor es 0.726, temperatura máxima el p-valor es 0.879 y temperatura mínima el p-valor es 0.105, (con un nivel de significancia al 95%). Por ello se concluye que, los valores de los climas se distribuyen de forma normal, por lo que podemos indicar que si cumple con el supuesto de normalidad, también indicando que los valores de los climas son paramétricos.



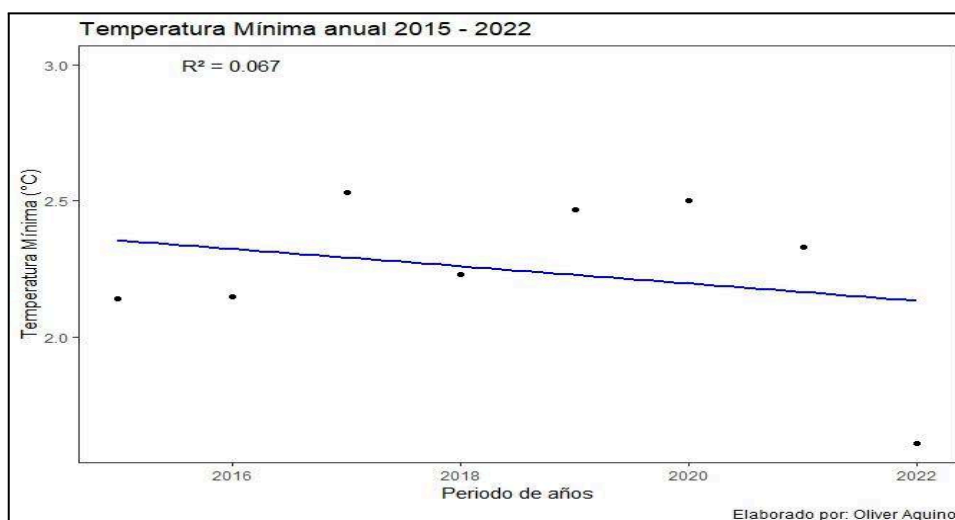
**Figura 06:** Registro de precipitación anual.

En la figura 06, se presenta la correlación entre las precipitaciones con respecto al tiempo 2015 y 2022, donde la ecuación nos muestra una tendencia negativa (-), con un coeficiente de correlación cuadrática  $R^2 = 0.001$ , lo que indica de la variable independiente (años) el 0,01% de la variabilidad con respecto a la variable dependiente precipitaciones (mm), con la presente regresión lineal mostramos una tendencia decreciente de las precipitaciones (mm) y no es tan significativa.



**Figura 07:** Registro de temperatura máximas.

En la figura 07, se presenta la correlación entre las temperaturas máximas (°C) con respecto al tiempo 2015 y 2022, donde la ecuación nos muestra una tendencia positiva (+), con un coeficiente de correlación cuadrática  $R^2 = 0.121$ , lo que indica de la variable independiente (años) el 1.21% de la variabilidad con respecto a la variable dependiente temperaturas máximas (°C), con la presente regresión lineal mostramos una tendencia creciente de las temperaturas máximas (°C) y no es tan significativa.



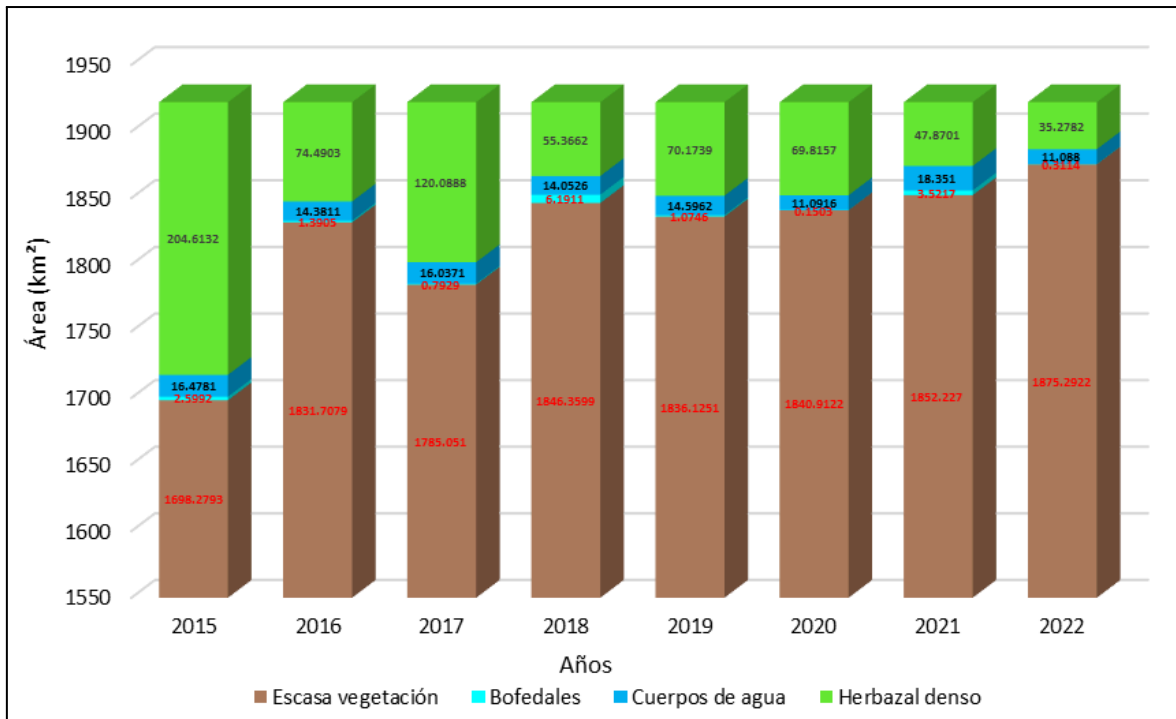
**Figura 08:** Registro de temperatura mínimas.

En la figura 08, se presenta la correlación entre las temperaturas mínimas ( $^{\circ}\text{C}$ ) con respecto al tiempo 2015 y 2022, donde la ecuación nos muestra una tendencia negativa (-), con un coeficiente de correlación cuadrática  $R^2 = 0.067$ , lo que indica de la variable independiente (años) el 0.67% de la variabilidad con respecto a la variable dependiente temperaturas mínimas ( $^{\circ}\text{C}$ ), con la presente regresión lineal mostramos una tendencia decreciente de las temperaturas mínimas ( $^{\circ}\text{C}$ ) y no es tan significativa.

#### **4.2. EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS PARA LA VARIABLE DEPENDIENTE, TENDENCIA DE LOS ECOSISTEMAS.**

Se determinó la tendencia de los ecosistemas en el distrito de Acora durante los periodos 2015 y 2022. de acuerdo con las imágenes satelitales Sentinel 2, obtenidas de la plataforma geomática Google earth engine ya corregidas de valores digitales a reflectancias (TOA), tan solo aplicando el lenguaje de programación JavaScript como se muestra en el (Anexo 02), la adquisición de descarga se tomaron con una cobertura de nubosidad menor al 10%, y la clasificación supervisada mediante el método Random Forest en el software R-Studio como se detalla en los (Anexos 05 y 06) .





**Figura 09:** Barras apiladas de cambio de ecosistemas durante el 2015 y 2022.

La figura 09, muestra el comportamiento de la cobertura de los ecosistemas, en el año 2015 se identificaron 2.59 km<sup>2</sup> de bofedales, 16.47 km<sup>2</sup> de cuerpos de agua, 204.6 km<sup>2</sup> de herbazal denso y 1698.27 km<sup>2</sup> de escasa vegetación. En el año 2022 se identificaron 0.31 km<sup>2</sup> de bofedales, 11.08 km<sup>2</sup> de cuerpos de agua, 35.27 km<sup>2</sup> de herbazal denso y 1875.29 km<sup>2</sup> de escasa vegetación. Comparados entre sí, donde se observa la evolución del área del ecosistema de escasa vegetación, registradas en la serie de tiempo. En cambio los bofedales como el ecosistema con los registros más bajos durante el periodo de estudio en el distrito de Acora, seguido de los herbazales densos, y los cuerpos de agua en tercer lugar como se muestra en el (Anexo 17). Además con respecto al estudio realizado por: **(Huacac, 2022)** en sus resultados menciona que en el 2010, se perdieron 1,19 ha de bosque como consecuencia de la extracción de oro, en el 2015, se habían perdido 36,94 ha, y en 2020 un total de 99,73 ha. Entre 2010 y 2020, la minería del oro causó la pérdida de 1.414,07 ha de bosque, a una tasa de pérdida del 0,003% (9,85 ha/año) en la microcuenca del río Pariamanu Madre de Dios. También con respecto al

estudio realizado por: **(Loza et al., 2021)** en sus resultados menciona que el porcentaje de la tierra del distrito que se utiliza para la agricultura aumentó de 5133 ha (27 %) a 7115 ha (37 %), mientras que los suelos degradados, las zonas de vegetación escasa y las zonas de humedales disminuyeron de 179 a 29,7 ha. La cobertura urbana aumenta a un ritmo anual del 40,7%, en el distrito altoandino de Cabana.

**Tabla 07:** Estadística general de ecosistemas.

Ecosistemas	Media	Mediana	Máximo	Mínimo	Desviación estándar	Curtosis
Bofedales	2.00	1.23	6.19	0.15	2.04	1.71
Cuerpos de agua	14.5	14.4	18.351	11.088	2.52	-0.57
Herbazal denso	84.7	69.9	204.6	35.2782	54.5	3.50
Escasa vegetación	1820.7	1838.5	1875.2	1698.27	55.6	3.59
Nivel de confianza(95.0%)						

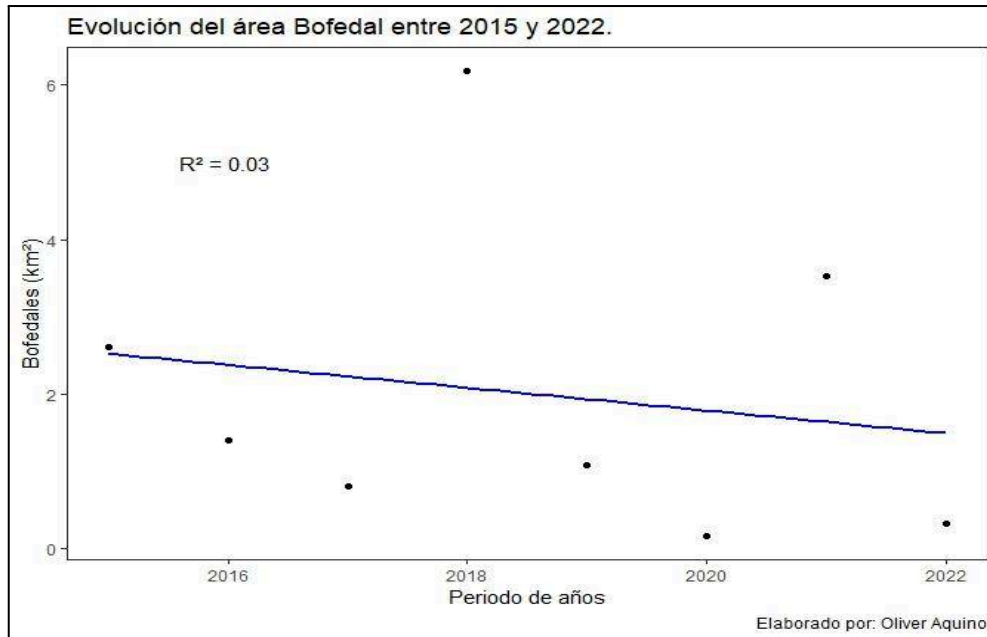
En la tabla 07, se muestra la estadística general de ecosistemas, durante los años 2015 y 2022 los ecosistemas de bofedales presentaron un promedio de 2.00 km<sup>2</sup>, un máximo de 6.19 km<sup>2</sup> y un mínimo de 0.15 km<sup>2</sup>, para el ecosistema cuerpos de agua presentaron un promedio de 14.5 km<sup>2</sup>, un máximo de 6.19 km<sup>2</sup> y un mínimo de 11.08 km<sup>2</sup>, para el ecosistema herbazal denso presenta un promedio de 84.7 km<sup>2</sup>, un máximo de 204.6 km<sup>2</sup> y un mínimo de 35.27 km<sup>2</sup>, para el ecosistema escasa vegetación presenta un promedio de 1820.7 km<sup>2</sup>, un máximo de 1875.2 km<sup>2</sup> y un mínimo de 1698.2 km<sup>2</sup>. Por otra parte **(Lopez, 2022)** en sus resultados sobre cambio de cobertura y uso del suelo en Ranrahirca - Yungay durante 1970 al 2022, reportó los hallazgos de los problemas de uso del suelo con zonas de superficie de 2.066,51 ha (o el 60,92%), las zonas no concordantes presentaban una explotación excesiva de 655,93 ha (o el 19,34% del total),

una sobreexplotación de 204,84 ha (o el 6,04% del total) y zonas de usos diferentes de 464,97 ha (o el 13,71% del total).

**Tabla 08.** Pruebas de normalidad de ecosistemas.

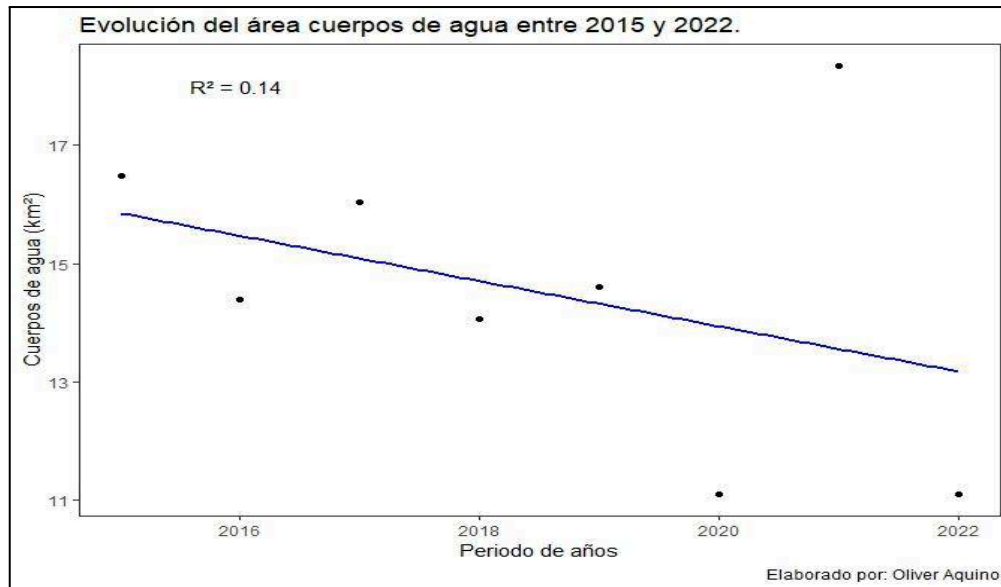
<b>Pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk (Nivel de significancia al 95%)</b>		
<b>Variable</b>	<b>Statistic (w)</b>	<b>p-value</b>
Bofedales	0.857	0.114
Cuerpos de agua	0.935	0.566
Herbazal denso	0.794	0.025
Escasa vegetación	0.794	0.025

En la tabla 08 se muestran, la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, donde los datos de los ecosistemas si tienen una distribución normal durante el periodo 2015 - 2022. Para los ecosistemas de bofedales el p-valor es 0.114, si cumple con el supuesto de normalidad, para los ecosistemas cuerpos de agua el p-valor es 0.566, si cumple con el supuesto de normalidad, para los ecosistemas herbazal denso el p-valor es 0.025, no cumple con el supuesto de normalidad, para los ecosistemas escasa vegetación el p-valor es 0.025 no cumple con el supuesto de normalidad. Por ello se concluye que, los valores de los ecosistemas se distribuyen de forma normal, por lo que podemos indicar que cumple con el supuesto de normalidad, también indicando que los valores de los ecosistemas son paramétricos.



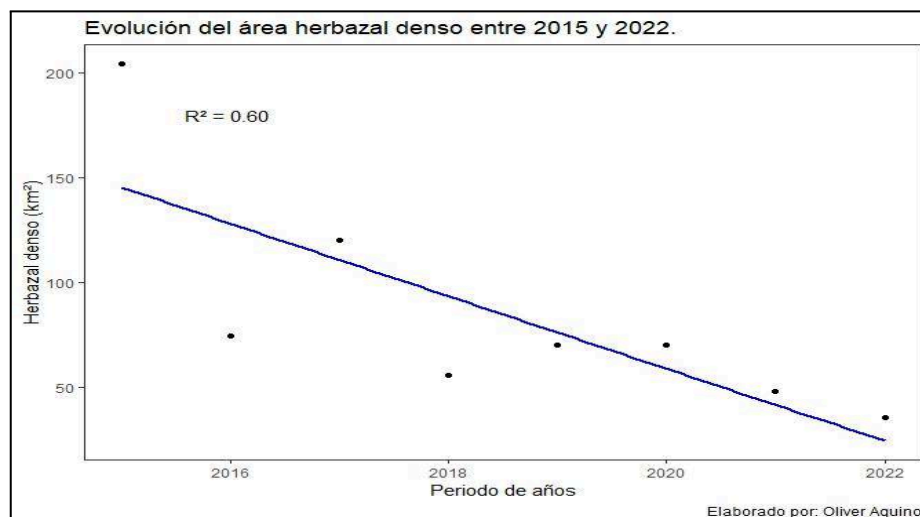
**Figura 10:** Evolución del área bofedal entre 2015 y 2022.

En la figura 10, se presenta la correlación entre los bofedales (km<sup>2</sup>) con respecto al tiempo 2015 y 2022, donde la ecuación nos muestra una tendencia negativa (-), con un coeficiente de correlación cuadrática  $R^2 = 0.03$ , lo que indica de la variable independiente (años) el 0,3% de la variabilidad con respecto a la variable dependiente bofedales (km<sup>2</sup>), con la presente regresión lineal mostramos una tendencia decreciente de los bofedales (km<sup>2</sup>) y no es tan significativa. Por otra parte (**Veas et al., 2018**) en sus resultados muestran sobre los humedales del Parque Nacional en Costa Rica, reportando sobre la función crítica que estos humedales cumplen en el mantenimiento de la diversidad ecológica del PNC, así como en el suministro de agua y la gestión del ciclo hidrológico en las cuencas hidrográficas que drenan en esta área resguardadas.



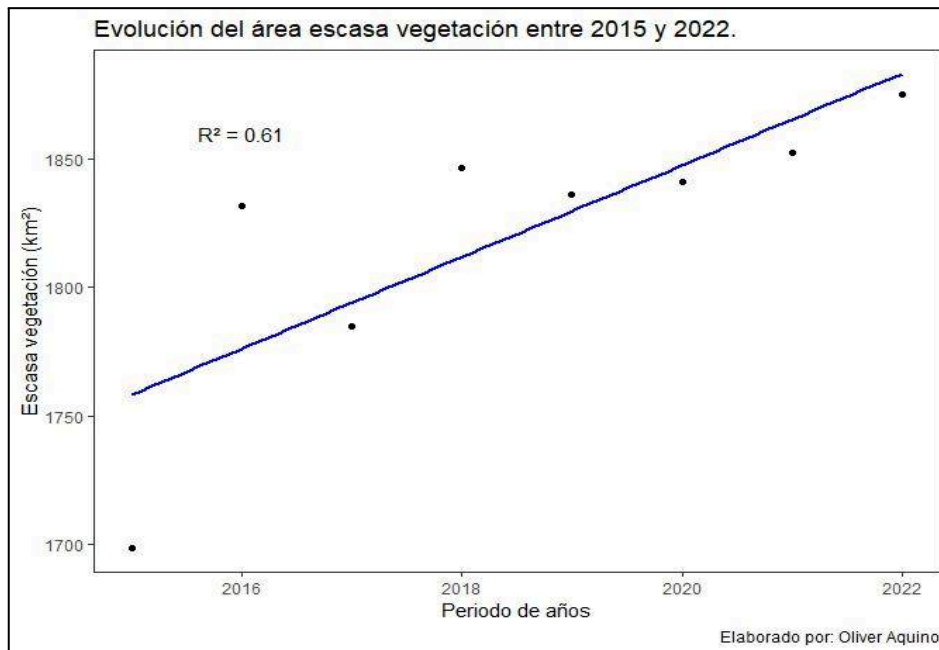
**Figura 11:** Evolución del área de cuerpos de agua entre 2015 y 2022.

En la figura 11, se presenta la correlación entre los cuerpos de agua (km<sup>2</sup>) con respecto al tiempo 2015 y 2022, donde la ecuación nos muestra una tendencia negativa (-), con un coeficiente de correlación cuadrática  $R^2 = 0.14$ , lo que indica de la variable independiente (años) el 1,4% de la variabilidad con respecto a la variable dependiente cuerpos de agua (km<sup>2</sup>), con la presente regresión lineal mostramos una tendencia decreciente de los cuerpos de agua (km<sup>2</sup>) y no es tan significativa.



**Figura 12:** Evolución del área herbazal denso entre 2015 y 2022

En la figura 12, se presenta la correlación entre los herbazal denso (km<sup>2</sup>) con respecto al tiempo 2015 y 2022, donde la ecuación nos muestra una tendencia negativa (-), con un coeficiente de correlación cuadrática  $R^2 = 0.60$ , lo que indica de la variable independiente (años) el 6.0% de la variabilidad con respecto a la variable dependiente herbazal denso (km<sup>2</sup>), con la presente regresión lineal mostramos una tendencia decreciente de los herbazal denso (km<sup>2</sup>) y es significativa.



**Figura 13:** Evolución del área escasa vegetación denso entre 2015 y 2022.

En la figura 13, se presenta la correlación entre la escasa vegetación (km<sup>2</sup>) con respecto al tiempo 2015 y 2022, donde la ecuación nos muestra una tendencia positiva (+), con un coeficiente de correlación cuadrática  $R^2 = 0.61$ , lo que indica de la variable independiente (años) el 6.1% de la variabilidad con respecto a la variable dependiente escasa vegetación (km<sup>2</sup>), con la presente regresión lineal mostramos una tendencia creciente de la escasa vegetación (km<sup>2</sup>) y es significativa.

### Validación de clasificación supervisada para los años 2015 y 2022.

La validación de la clasificación de área de los ecosistemas, fue desarrollada mediante el cálculo del coeficiente de Kappa (K) y el desarrollo de la matriz de confusión aplicados sobre los resultados e información recolectada en campo para el año 2022. Ambos métodos presentan resultados de la validación como se muestra en los (Anexos 07 al 14).

**Tabla 09.** Validación mediante coeficiente de Kappa (K).

Periodos	Coeficiente Kappa	Accuracy
2015	0.82	0.88
2016	0.79	0.89
2017	0.83	0.91
2018	0.84	0.92
2019	0.82	0.90
2020	0.85	0.92
2021	0.87	0.93
2022	0.80	0.93

En la tabla 09, se muestra el valor del coeficiente de Kappa calculado para cada periodo de estudio, donde la clasificación supervisada de ecosistemas mediante el modelo Random Forest es validado de acuerdo a los valores de coeficiente de kappa se describe que el modelo de clasificación para los periodos 2015 y 2022 es considerable o casi perfecto como se muestran en los (Anexos 07 al 14 ); basados en la observación de 400 puntos seleccionados aleatoriamente dentro del distrito de Acora para los años 2015 y 2022, la precisión general obtenida, señala un buen ajuste de la clasificación basados en la comparación de datos procesados y reales. Por otra parte (**Lopez, 2022**) en su resultado sobre cambio de cobertura durante el 2013 al 2022, reportó el coeficiente



Kappa de Cohen, la matriz de confusión o error para los años 2013 y 2020 reveló una conformidad prácticamente absoluta del 81% y el 83%.

**Tabla 10:** Registro de punto de observación para los años 2015 y 2022.

PUNTOS	Bofedales	Cuerpos de agua	Herbazal denso	Escasa vegetación	Suma
<b>Puntos superados (PA)</b>	27	69	148	156	<b>400</b>

### 4.3. PROCESO DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS

#### Regla de decisiones:

P-valor =  $< \alpha$ , se rechaza la  $H_0$  (Se acepta la  $H_A$ ).

P-valor =  $> \alpha$ , se acepta la  $H_0$  (Se rechaza la  $H_A$ ).

Indicando que la hipótesis nula está indicada con ( $H_0$ ) y la hipótesis alterna está indicada con ( $H_A$ ), donde también se indica que el nivel de significancia es  $\alpha = 0.05$ , con un nivel de confianza al 95%.

#### 4.3.1. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA EL OBJETIVO ESPECÍFICO 1.

##### Formulación de la hipótesis estadística

$H_A$  = Los ecosistemas del distrito de Acora son los bofedales y cuerpos de agua.

$H_0$  = Los ecosistemas del distrito de Acora no son los bofedales y cuerpos de agua.

##### Resultado de la prueba de hipótesis

En el estudio de esta investigación se determinaron ecosistemas como bofedales, cuerpos de agua, herbazal denso y escasa vegetación en toda la superficie del distrito de Acora. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta:

**Hipótesis Alterna** = Los ecosistemas del distrito de Acora son los bofedales y cuerpos de agua.

#### 4.3.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA EL OBJETIVO ESPECÍFICO 2.

##### Formulación de la hipótesis estadística

**HA** = La variación de las áreas de los ecosistemas tienden a disminuir en el distrito de Acora, desde 2015 hasta el 2022.

**HN** = La variación de las áreas de los ecosistemas tienden a incrementarse en el distrito de Acora, desde 2015 hasta el 2022.

##### Resultado de la prueba de hipótesis

De acuerdo a los resultados obtenidos en la presente investigación podemos demostrar que los ecosistemas como bofedales, cuerpos de agua y herbazal denso fueron los ecosistemas que decrecieron durante los años de estudio, en cuanto al ecosistema escasa vegetación podemos indicar que se incrementaron durante los años de estudio.

Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta:

**Hipótesis Alterna** = La variación de las áreas de los ecosistemas tienden a disminuir en el distrito de Acora, desde 2015 hasta el 2022.

#### 4.3.3. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA EL OBJETIVO ESPECÍFICO 3.

##### Formulación de la hipótesis estadística

**HA** = Los ecosistemas tienen una correlación directa con el cambio climático en el distrito de Acora desde 2015 hasta el 2022.

**HN** = Los ecosistemas no tienen una correlación directa con el cambio climático en el distrito de Acora desde 2015 hasta el 2022.

##### Resultado de la prueba de hipótesis

En la tabla 14 y en las figuras 16 y 17, se aprecia la prueba estadística de correlación del cambio climático y tendencia de los ecosistemas; indicando que de acuerdo a la prueba

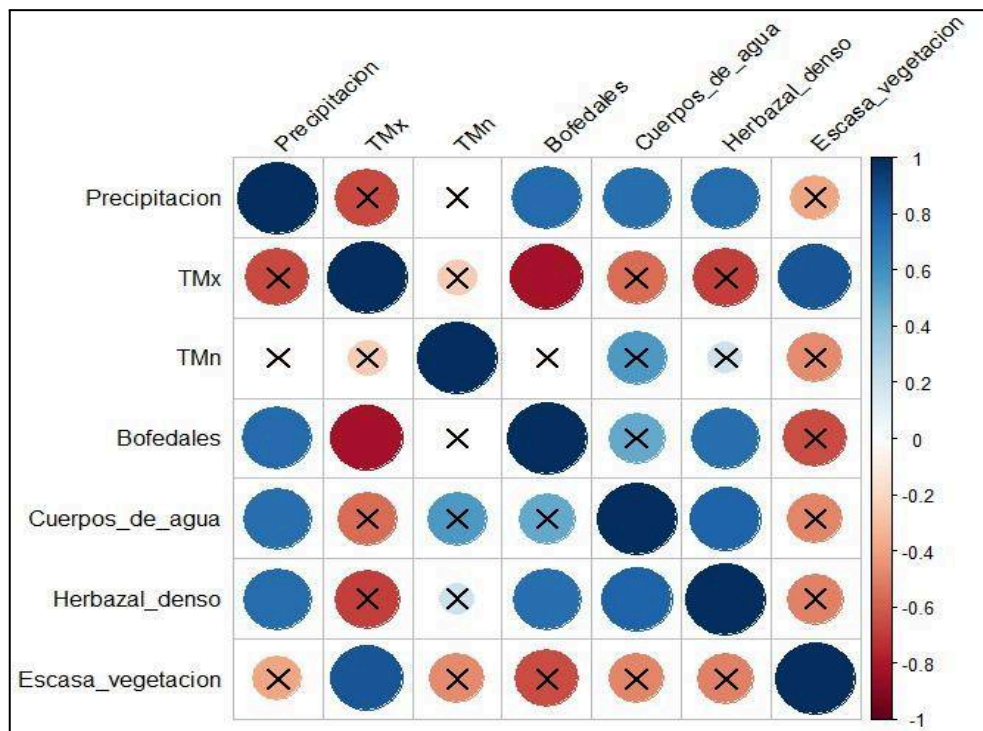
estadística se han obtenido valores significativos, indicando que el cambio climático si tiene relación con los ecosistemas. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta:

**Hipótesis Alternativa** = Los ecosistemas tienen una correlación directa con el cambio climático en el distrito de Acora desde 2015 hasta el 2022.

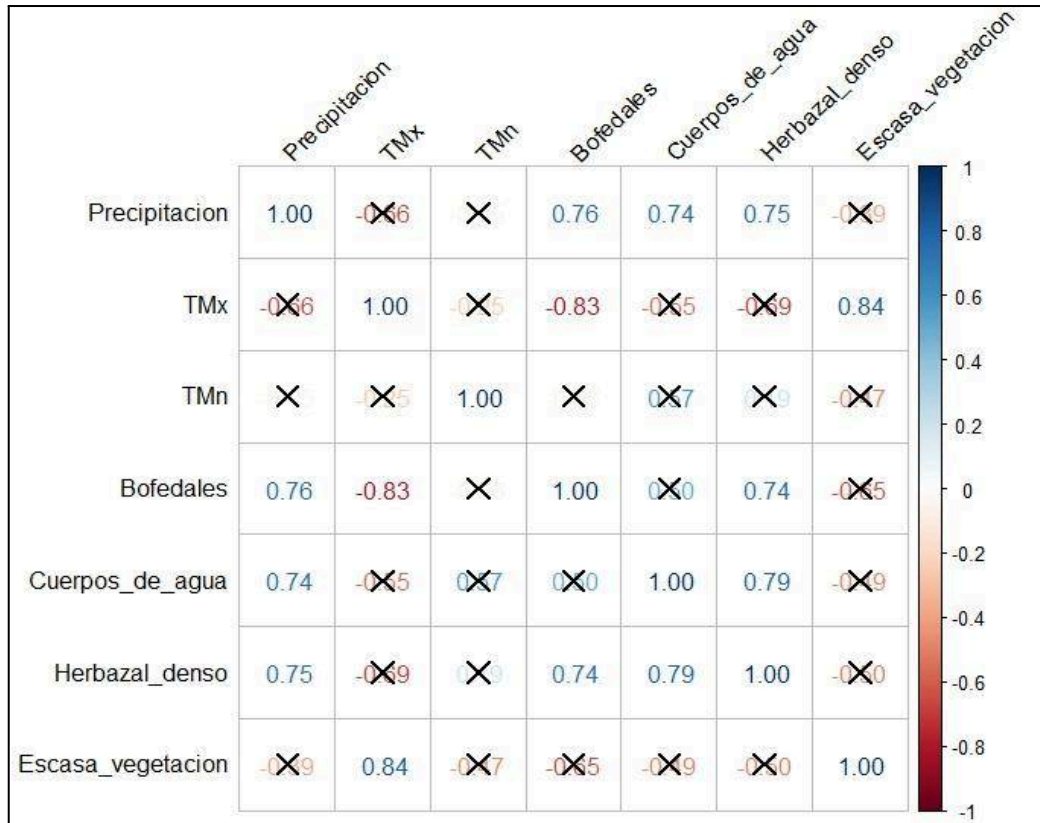
**Tabla 11.** Coeficiente de Pearson entre cambio climático y tendencia de los ecosistemas.

		<b>Correlaciones</b>						
		<b>Precipitación</b>	<b>TMx</b>	<b>TMn</b>	<b>Bofedales</b>	<b>Cuerpos de agua</b>	<b>Herbazal denso</b>	<b>Escasa vegetación</b>
<b>Precipitación</b>	<b>Method Pearson</b>	1	-0.66	-0.05	0.76	0.74	0.75	-0.39
	<b>p-value</b>	0.0002	0.073	0.9	0.027	0.038	0.03	0.34
<b>TMx</b>	<b>Method Pearson</b>	-0.66	1	-0.25	-0.83	-0.55	-0.69	0.84
	<b>p-value</b>	0.073	0.0002	0.54	0.011	0.16	0.05	0.009
<b>TMn</b>	<b>Method Pearson</b>	-0.05	-0.25	1	-0.05	0.57	0.19	-0.47
	<b>p-value</b>	0.9	0.54	0.0002	0.89	0.14	0.65	0.24
<b>Bofedales</b>	<b>Method Pearson</b>	0.76	-0.83	-0.05	1	0.5	0.74	-0.65
	<b>p-value</b>	0.027	0.011	0.86	0.0002	0.21	0.03	0.08
<b>Cuerpos de agua</b>	<b>Method Pearson</b>	0.74	-0.55	0.57	0.5	1	0.79	-0.49
	<b>p-value</b>	0.038	0.16	0.14	0.21	0.0002	0.02	0.22
<b>Herbazal denso</b>	<b>Method Pearson</b>	0.75	-0.69	0.19	0.74	0.79	1	-0.5
	<b>p-value</b>							

	<b>p-valor</b>	0.03	0.05	0.65	0.03	0.02	0.0002	0.2
<b>Escasa vegetación</b>	<b>Method</b>	-0.39	0.84	-0.47	-0.65	-0.49	0.5	1
	<b>Pearson</b>							
	<b>p-valor</b>	0.34	0.009	0.24	0.08	0.22	0.2	0.0002



**Figura 14.** Gráfico de correlaciones en símbolos.



**Figura 15.** Gráfico de correlaciones en valores numéricos.

Para el análisis de correlación entre ecosistemas y el clima anual, se seleccionaron los resultados más altos de relación entre estas dos variables, como se muestra en la tabla 11 y en las figuras 14 y 15. Los resultados obtenidos de correlación por el método estadístico de Pearson, se determinaron que los bofedales con respecto a las precipitaciones, tiene una correlación de  $r = 0.76$  alta y positiva, de acuerdo a la prueba estadística se obtuvo  $p\text{-valor} = 0.027$ , con respecto a las temperaturas máximas, tiene una correlación de  $r = -0.83$  alta y negativa, de acuerdo a la prueba estadística se obtuvo  $p\text{-valor} = 0.011$ . Por otro lado los cuerpos de agua con respecto a las precipitaciones, tiene una correlación de  $r = 0.74$  alta y positiva, de acuerdo a la prueba estadística se obtuvo  $p\text{-valor} = 0.038$ , con respecto a las temperaturas máximas, tiene una correlación de  $r = -0.55$  alta y negativa, de acuerdo a la prueba estadística se obtuvo  $p\text{-valor} = 0.16$ . Seguida por el herbazal denso con respecto a las precipitaciones, tiene una correlación de  $r = 0.75$  alta y positiva, de acuerdo a la prueba estadística se obtuvo  $p\text{-valor} = 0.03$ ,

con respecto a las temperaturas máximas, tiene una correlación de  $r = -0.69$  alta y negativa, de acuerdo a la prueba estadística se obtuvo  $p\text{-valor} = 0.05$ . Finalmente escasa vegetación con respecto a las precipitaciones, tiene una correlación de  $r = -0.39$  media y negativa, de acuerdo a la prueba estadística se obtuvo  $p\text{-valor} = 0.34$ , con respecto a las temperaturas máximas, tiene una correlación de  $r = 0.84$  alta y positiva, de acuerdo a la prueba estadística se obtuvo  $p\text{-valor} = 0.009$ , comparado con el valor alfa  $\alpha = 0.05$ .



## CONCLUSIONES

**PRIMERA:** Al analizar la tendencia de los ecosistemas con imágenes satelitales de Sentinel - 2 y su relación con el cambio climático en el distritos de Acora, 2015 - 2022. Se concluye que la relación entre el cambio climático y la tendencia de los ecosistemas tienen una correlación alta; estadísticamente significativa indicando que, el cambio climático hace que los ecosistemas se modifiquen durante los años de estudio.

**SEGUNDA:** Al determinar los tipos de ecosistemas del distrito de Acora y sus características generales. Se concluye que los cuatro ecosistemas identificados en el distrito de Acora son: los bofedales, cuerpos de agua, herbazal denso y escasa vegetación.

**TERCERA:** Al determinar la variación de las áreas de los ecosistemas del distrito de Acora desde 2015 hasta el 2022. Se concluye que el ecosistema de escasa vegetación tuvo un comportamiento de forma exponencial, en cambio los bofedales como el ecosistema con los registros más bajos durante el periodo de estudio en el distrito de Acora, seguido de los herbazales densos, y los cuerpos de agua en tercer lugar.

**CUARTA:** Al interpretar la relación de los ecosistemas con el cambio climático en el distrito de Acora desde 2015 hasta el 2022. Se concluye que los cambios de los ecosistemas se asocian principalmente a la variación de las precipitaciones y temperaturas máximas

## RECOMENDACIONES

**PRIMERA:** Se recomienda realizar mayores investigaciones respecto a los cambios en la cobertura de ecosistemas encontrados en alta montaña en la zona sur del Perú, donde se han encontrado pocas investigaciones realizadas en este ámbito.

**SEGUNDA:** Al distrito de Acora, fortalecer las capacidades de gestión pública de los responsables involucrados para establecer y ejecutar programas para la sostenibilidad de los ecosistemas e implementar programas de educación ambiental.

**TERCERA:** A los pobladores del distrito de Acora, tomar más conciencia ambiental, para evitar la errada costumbre del uso indiscriminado del suelo, las mismas generando sequías y escasez del recurso hídrico haciendo más vulnerable a los ecosistemas.

**CUARTA:** Al Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM), de acuerdo a los resultados obtenidos en esta investigación, tome las medidas correctivas para aminorar los cambios de los ecosistemas y así no poder concebir cambio del clima como se suscita en el presente.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abad-Auquilla, K. (2020). El cambio de uso del suelo y la utilidad del paisaje periurbano de la cuenca del río Guayllabamba en Ecuador. *Revista de Ciencias Ambientales*, 54(2), 68-91. <https://doi.org/10.15359/rca.54-2.4>
- Aguaded Gómez, J. I., & Romero Rodríguez, L. M. (2015). Mediamorfosis y desinformación en la infoesfera: Alfabetización mediática, digital e informacional ante los cambios de hábitos de consumo informativo. *Education in the knowledge society : EKS*. <https://redined.educacion.gob.es/xmlui/handle/11162/111656>
- Aldana, C., Saavedra, Y., Gonzales, J., Gálvez, D., Palacios, C., Aldana, W., Moncada, W., Aldana, C., Saavedra, Y., Gonzales, J., Gálvez, D., Palacios, C., Aldana, W., & Moncada, W. (2021). Producción agrícola espacial-temporal del Citrus x limon y Mangifera indica, mediante firmas espectrales e imágenes de satélite. *Scientia Agropecuaria*, 12(4), 557-570. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.060>
- Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2018). Agroecología y cambio climático: ¿adaptación o transformación? *Revista de Ciencias Ambientales*, 52(2), 235-243.
- Bidegain, M., Coronel, G., Ríos, N., & de los Santos, B. (2012). Escenarios climáticos futuros para Paraguay. *Meteorologica*, 37(2), 47-55.
- Camas-Guardamino, D. J., Mamani-Sinche, M. S., Camas-Guardamino, D. J., & Mamani-Sinche, M. S. (2022). Evaluación de la vegetación y saturación del suelo en el Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla mediante teledetección en Perú, 2006-2021. *Revista de Ciencias Ambientales*, 56(1), 54-74. <https://doi.org/10.15359/rca.56/1.3>
- Carevic, F. S., Barrientos, E., Carevic, F. S., & Barrientos, E. (2022). Efectos de la introducción de fauna alóctona (danis familiares) en ecosistemas áridos: Estudio de caso en cactáceas endémicas. *Idesia (Arica)*, 40(2), 129-132. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292022000200129>

- Colque, A., Valdivia, R., Navarrete, M., Aracena, S., Colque, A., Valdivia, R., Navarrete, M., & Aracena, S. (2021). Un sistema de información geográfico para el transporte público basado en el estándar GTFS realtime. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 29(1), 51-62. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052021000100051>
- Dai, A., Zhao, T., & Chen, J. (2018). Climate Change and Drought: A Precipitation and Evaporation Perspective. *Current Climate Change Reports*, 4(3), 301-312. <https://doi.org/10.1007/s40641-018-0101-6>
- Espíndola, M. del C., González, E. S., & Rodríguez, D. H. (2018). Primeras aproximaciones a la base de datos del Programa de Investigación sobre la Sociedad Argentina Contemporánea (PISAC) tratada con R Studio. *Revista Tekohá*, 1(6), Article 6.
- Gosteva, T. P., Gómez, C. R., & Aguirre, P. A. R. (2022). Aplicación del espectro electromagnético al crecimiento de la especie *Phaseolus vulgaris* (Frijol). *UGCiencia*, 28(1), Article 1. <https://doi.org/10.18634/ugcj.28v.1i.1281>
- Graser, A., & Olaya, V. (2015). Processing: A Python Framework for the Seamless Integration of Geoprocessing Tools in QGIS. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 4(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/ijgi4042219>
- Hernández-Pérez, E., García-Franco, J. G., Vázquez, G., Cantellano de Rosas, E., Hernández-Pérez, E., García-Franco, J. G., Vázquez, G., & Cantellano de Rosas, E. (2022). Cambio de uso de suelo y fragmentación del paisaje en el centro de Veracruz, México (1989—2015). *Madera y bosques*, 28(1). <https://doi.org/10.21829/myb.2022.2812294>
- Huacac Aucapuri, J. L. (2022). Evaluación de la deforestación por minería de oro mediante imágenes de satélites SAR en la microcuenca del río Pariamanu—Madre de Dios, Periodos 2010-2020. *Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios - UNAMAD*.

<http://repositorio.unamad.edu.pe/handle/20.500.14070/845>

Jiménez-Delgadillo, R., Valdés-Rodríguez, S. E., Olalde-Portugal, V., Abraham-Juárez, R., & García-Hernández, J. L. (2018).

[Http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0185-33092018000200256&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0185-33092018000200256&lng=es&nrm=iso&tlng=es). *Revista mexicana de fitopatología*, 36(2), 256-275. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1711-3>

Lopez Chilca, M. E. (2022). Análisis multitemporal del cambio en la cobertura y uso de tierras en el área de influencia del alud de 1970; Ranrahirca – Yungay, período 1970-2020. *Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo*. <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/5069>

Loza-Del Carpio, A., Taype-Huamán, I., Loza-Del Carpio, A., & Taype-Huamán, I. (2021). Análisis multitemporal de asociaciones vegetales y cambios de uso del suelo en una localidad altoandina, Puno-Perú. *Uniciencia*, 35(2), 27-45. <https://doi.org/10.15359/ru.35-2.3>

Mamani, J. C. Q., Álvarez, M. F. I., Izzaraga, Portilla, R. M., Huaman, R. N. T., Larico, M. I. A., Pilco, E. M. S., Mamani, J. C. Q., Álvarez, M. F. I., Izzaraga, Portilla, R. M., Huaman, R. N. T., Larico, M. I. A., & Pilco, E. M. S. (2023). Efecto del cambio climático y la cobertura forestal en la pérdida de bosques en la selva amazónica de Perú, 2003-2019. *Alfa Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinaria*, 7(19), 88-102. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v7i19.200>

Ovando, G., Casa, A. de la, Díaz, G., Díaz, P., Bressanini, L., Miranda, C., Ovando, G., Casa, A. de la, Díaz, G., Díaz, P., Bressanini, L., & Miranda, C. (2021). Desempeño de diferentes índices de vegetación de Sentinel-2A para estimar el rendimiento de soja en agricultura de precisión. *Agriscientia*, 38(2), 1-12. <https://doi.org/10.31047/1668.298x.v38.n2.25148>

Pando, V. F. (2018). Tendencias didácticas de la educación virtual: Un enfoque

- interpretativo. *Propósitos y Representaciones*, 6(1), 463-505.  
<https://doi.org/10.20511/pyr2018.v6n1.167>
- Quispe Rojas, W. R., Elias Nuñez, E., Quispe Rojas, W. R., & Elias Nuñez, E. (2020). Distribución potencial de puya raimondii harms en futuros escenarios del cambio climático. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 22(2), 170-181.  
<https://doi.org/10.18271/ria.2020.605>
- Reyes-Palomino, S. E., Cano Ccoa, D. M., Reyes-Palomino, S. E., & Cano Ccoa, D. M. (2022). Efectos de la agricultura intensiva y el cambio climático sobre la biodiversidad. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 24(1), 53-64.  
<https://doi.org/10.18271/ria.2022.328>
- Rodríguez-Echeverry, J., Leiton, M., Rodríguez-Echeverry, J., & Leiton, M. (2021). Pérdida y fragmentación de ecosistemas boscosos nativos y su influencia en la diversidad de hábitats en el hotspot Andes tropicales. *Revista mexicana de biodiversidad*, 92. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2021.92.3449>
- Ruíz González, M. A., Mack-Vergara, Y. L., Ruíz González, M. A., & Mack-Vergara, Y. L. (2022). Indicadores de resiliencia y sostenibilidad para la vivienda urbana panameña frente al cambio climático. *Revista hábitat sustentable*, 12(2), 8-25.  
<https://doi.org/10.22320/07190700.2022.12.02.01>
- Veas-Ayala, N., Quesada-Román, A., Hidalgo, H. G., Alfaro, E. J., Veas-Ayala, N., Quesada-Román, A., Hidalgo, H. G., & Alfaro, E. J. (2018). Humedales del Parque Nacional Chirripó, Costa Rica: Características, relaciones geomorfológicas y escenarios de cambio climático. *Revista de Biología Tropical*, 66(4), 1436-1448.  
<https://doi.org/10.15517/rbt.v66i4.31477>

## ANEXOS

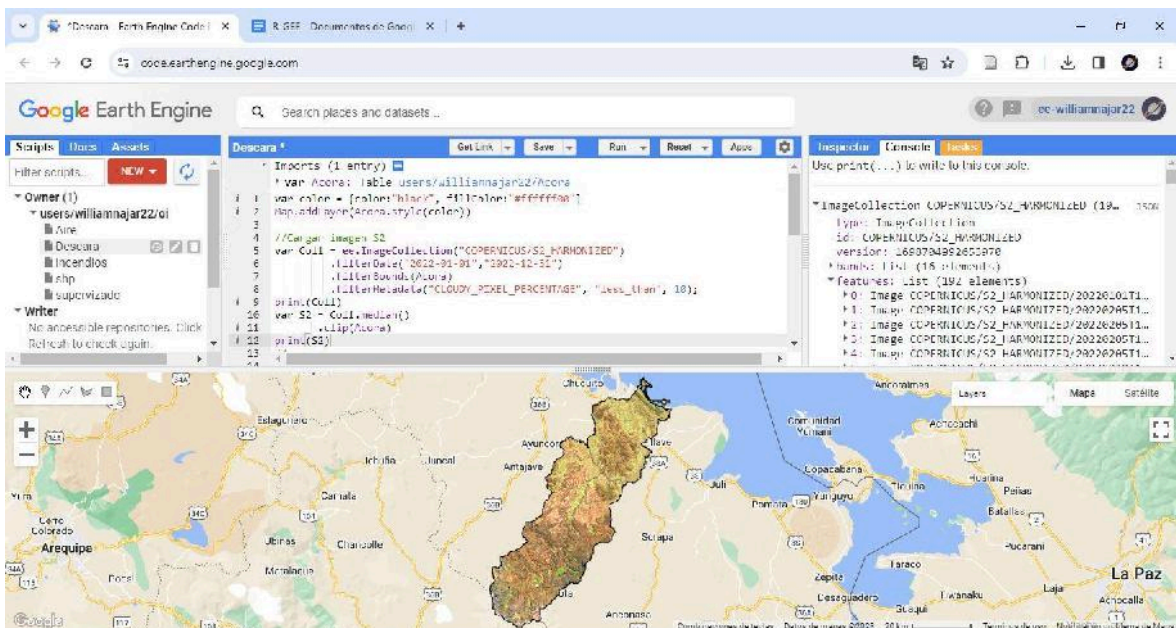
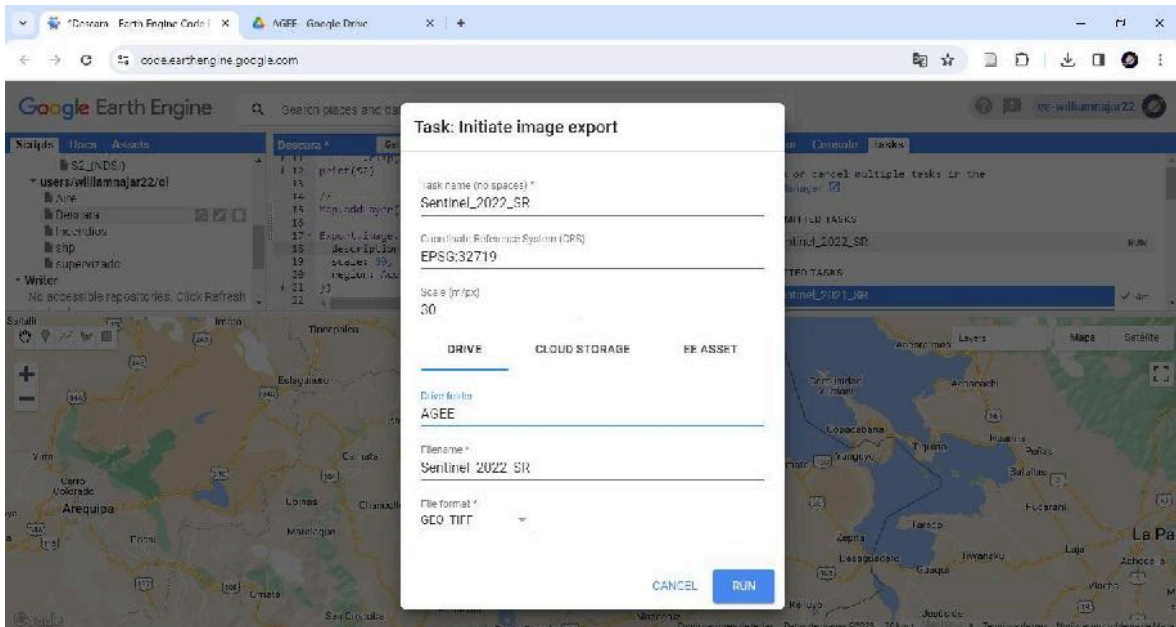


**Anexo 01:** Matriz de consistencia.

“TENDENCIA DE LOS ECOSISTEMAS CON IMÁGENES SATELITALES DE SENTINEL - 2 Y SU RELACIÓN CON EL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL DISTRITO DE ACORA, 2015 - 2022”.

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	INSTRUMENTOS	TÉCNICA DE PROCESAMIENTO DE DATOS
<p><b>GENERAL</b></p> <p>¿Cuál es la tendencia de los ecosistemas con imágenes satelitales de sentinel - 2 y su relación con el cambio climático en los distritos de Acora, 2015 - 2022?.</p> <p><b>ESPECÍFICOS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>¿Cuáles son los ecosistemas del distrito de Acora y sus características generales?.</li> <li>¿Cómo ha variado el área de los ecosistemas del distrito de Acora desde 2015 hasta el 2022?.</li> <li>¿Cómo será la relación de los ecosistemas con el cambio climático en el distrito de Acora desde 2015 hasta el 2022?.</li> </ul>	<p><b>GENERAL</b></p> <p>Analizar la tendencia de los ecosistemas con imágenes satelitales de sentinel - 2 y su relación con el cambio climático en los distritos de Acora, 2015 - 2022.</p> <p><b>ESPECÍFICOS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Determinar los tipos de ecosistemas del distrito de Acora y sus características generales.</li> <li>Determinar la variación del área de los ecosistemas del distrito de Acora desde 2015 hasta el 2022.</li> <li>Interpretar la relación de los ecosistemas con el cambio climático en el distrito de Acora desde 2015 hasta el 2022.</li> </ul>	<p><b>GENERAL</b></p> <p>La tendencia de los ecosistemas con imágenes satelitales de sentinel - 2 está relacionado con el cambio climático en los distritos de Acora, 2015 - 2022</p> <p><b>ESPECÍFICAS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Los ecosistemas del distrito de Acora son los bofedales y cuerpos de agua.</li> <li>La variación de las áreas de los ecosistemas tienden a disminuir en el distrito de Acora, desde 2015 hasta el 2022.</li> <li>Los ecosistemas tienen una correlación directa con el cambio climático en el distrito de Acora desde 2015 hasta el 2022.</li> </ul>	<p><b>Independiente:</b></p> <p>Cambio climático</p> <p><b>Dependiente:</b></p> <p>Tendencia de los ecosistemas.</p>	<p><b>Temperaturas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Máximas (°C)</li> <li>Mínimas (°C)</li> <li>Mensual (°C)</li> <li>Anual (°C)</li> </ul> <p><b>Precipitación</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Mensual (mm)</li> <li>Anual (mm)</li> </ul> <p><b>Área de Ecosistemas.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Bofedales.</li> <li>Cuerpos de agua.</li> <li>Herbazal denso</li> <li>Escasa Vegetación</li> </ul>	<p><b>1) Programas computacionales</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Qgis (v3.26.17)</li> <li>R-Studio (v4.3.1)</li> </ul> <p><b>2) Estadísticos: a)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Coefficiente Kappa</li> </ul> <p><b>b)</b> Matriz de confusión</p> <p><b>c)</b> Tendencias</p> <p><b>d)</b> Normalidad</p> <p><b>e)</b> Correlación</p> <p><b>f)</b> Regresión lineal</p>	<p>Imágenes Satelitales (Sentinel - 2)</p> <p><b>Tipo de Investigación</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Descriptivo, correlacional.</li> </ul> <p><b>Diseño de Investigación</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>No Experimental</li> </ul> <p><b>Método</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Deductivo</li> <li>Inductivo.</li> </ul> <p><b>Zona de estudio</b></p> <p>Distritos de Acora</p>

## Anexo 02: Descarga de imágenes satelitales Sentinel-2 de Google Earth Engine.



**Anexo 03: Descarga de climas de la estación meteorológica; Rincón de la cruz (Acora).**

Suma de Precipitación (mm)	Escala anual/mensual												Total general
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	
2015	58.27	54.26	86.95	71.1	2.26	0.16	2.27	2.72	34.98	37.81	20.57	67.72	439.07
2016	60.85	140.13	35.82	50.73	1.6	0.43	31.07	7.55	1.51	44.84	1.67	28.35	404.55
2017	110	51.71	76.62	56.31	20.85	0.28	0.58	0.21	30.26	58.98	15.45	74.89	496.14
2018	79.93	82.45	104.06	21.92	26.62	10.13	4.36	8.49	0.93	177.72	36.94	101.84	655.39
2019	48.47	64.97	46.87	44.87	71.95	3.74	3.56	0.12	18.39	29.07	49.33	67.13	448.47
2020	59.6	197.29	107.14	12.47	0.17	0.14	0.1	0.49	3.56	16.29	5.32	107.88	510.45
2021	114.55	41.57	61.07	26.95	3.03	8.32	0.14	4.31	28.07	94.59	48.74	96.55	527.89
2022	79.28	73.79	84.3	45.22	2.31	0.4	0.23	0.53	30.3	2.04	4.14	37.84	360.38
<b>Total general</b>	<b>610.95</b>	<b>706.17</b>	<b>602.83</b>	<b>329.57</b>	<b>128.79</b>	<b>23.6</b>	<b>42.31</b>	<b>24.42</b>	<b>148</b>	<b>461.34</b>	<b>182.16</b>	<b>582.2</b>	<b>3842.34</b>

Promedio de Tem (max)	Escala anual/mensual												Total general
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	
2015	14.24	15.07	14.48	13.48	14.30	13.86	12.95	13.59	15.55	16.22	17.81	16.97	14.87
2016	17.15	16.57	17.08	15.72	15.36	13.78	13.37	13.99	14.97	15.70	16.88	16.11	15.55
2017	15.18	15.91	15.10	14.74	14.36	14.18	13.74	14.77	14.69	15.77	16.98	16.56	15.16
2018	15.44	14.99	14.93	14.59	14.35	12.67	12.81	13.02	15.52	14.55	16.73	16.48	14.67
2019	15.66	14.81	15.72	15.52	14.81	13.22	12.86	14.40	15.18	15.17	16.26	15.65	14.94
2020	15.94	15.29	14.92	15.29	14.33	13.76	13.77	15.57	14.92	15.64	18.16	15.66	15.26
2021	14.95	15.53	14.11	15.14	14.55	13.80	13.64	14.81	15.60	17.03	16.55	15.89	15.13
2022	15.25	15.13	14.60	15.70	15.33	13.38	14.40	14.80	16.84	17.67	18.10	16.68	15.66
<b>Total general</b>	<b>15.48</b>	<b>15.42</b>	<b>15.12</b>	<b>15.02</b>	<b>14.68</b>	<b>13.58</b>	<b>13.44</b>	<b>14.37</b>	<b>15.41</b>	<b>15.97</b>	<b>17.18</b>	<b>16.25</b>	<b>15.16</b>

Promedio de Tem (min)	Escala anual/mensual												Total general
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	
2015	3.29	4.37	4.22	3.28	-0.11	0.64	-1.45	0.00	0.64	2.24	4.07	4.71	2.14
2016	4.37	4.97	4.73	2.95	-0.42	-0.86	-0.55	0.07	1.96	1.98	2.30	4.38	2.15
2017	4.64	4.80	4.03	3.16	1.46	0.05	0.17	-0.40	2.34	2.22	3.81	4.24	2.53
2018	3.79	3.66	3.92	2.91	0.25	-0.33	0.30	0.02	1.40	3.40	4.20	3.31	2.23
2019	4.67	3.79	4.47	3.83	0.08	0.48	-0.70	0.33	2.17	2.65	3.96	4.09	2.47
2020	4.75	4.46	4.68	2.36	0.30	-0.17	-0.75	0.20	2.35	3.35	3.68	4.89	2.50
2021	3.27	3.90	4.02	1.83	0.99	-0.81	0.11	-0.08	3.38	3.51	4.58	3.39	2.33
2022	4.19	4.03	4.17	2.27	-0.70	-1.69	0.62	-0.19	-0.23	0.97	2.69	3.26	1.61
<b>Total general</b>	<b>4.12</b>	<b>4.25</b>	<b>4.28</b>	<b>2.82</b>	<b>0.23</b>	<b>-0.34</b>	<b>-0.28</b>	<b>-0.01</b>	<b>1.75</b>	<b>2.54</b>	<b>3.66</b>	<b>4.03</b>	<b>2.24</b>

Climas	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ags	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
<b>Precipitación (mm)</b>	610.9	706.1	602.8	329.5	128.7	23.6	42.3	24.4	148	461.3	182.1	582.2	<b>3842.3</b>
<b>Temperatura (máx °C)</b>	15.4	15.4	15.1	15.0	14.6	13.5	13.4	14.3	15	15.9	17.1	16.2	<b>15.1</b>
<b>Temperatura (mín °C)</b>	4.1	4.2	4.2	2.8	0.2	-0.3	-0.2	-0.1	1.7	2.5	3.6	4.0	<b>2.2</b>



**Anexo 04:** Muestras de validación de campo.

N°	Id	Clases	Ecosistemas	Coordenadas UTM	
				Este (x)	Norte (y)
1	1	Bf	Bofedales	386357.95	8173646.75
2	1	Bf	Bofedales	386547.6	8173543.31
3	1	Bf	Bofedales	385875.23	8173732.95
4	1	Bf	Bofedales	384358.09	8172888.19
5	1	Bf	Bofedales	386185.55	8173991.56
6	1	Bf	Bofedales	387599.25	8177318.91
7	1	Bf	Bofedales	388150.93	8177163.75
8	1	Bf	Bofedales	393460.91	8178560.2
9	1	Bf	Bofedales	386530.36	8175956.94
10	1	Bf	Bofedales	390805.92	8165112.87
11	1	Bf	Bofedales	388857.78	8163975.01
12	1	Bf	Bofedales	389995.63	8163768.13
13	1	Bf	Bofedales	388926.74	8164457.74
14	1	Bf	Bofedales	386840.68	8160871.78
15	1	Bf	Bofedales	382461.67	8159009.84
16	1	Bf	Bofedales	382582.35	8160406.3
17	1	Bf	Bofedales	381789.31	8159854.61
18	1	Bf	Bofedales	382047.91	8160027.01
19	1	Bf	Bofedales	375582.84	8168888.46
20	1	Bf	Bofedales	375979.37	8164854.26
21	1	Bf	Bofedales	375703.52	8164509.46

22	1	Bf	Bofedales	377255.14	8169543.59
23	1	Bf	Bofedales	375134.6	8169750.47
24	1	Bf	Bofedales	375531.12	8171646.89
25	1	Bf	Bofedales	377875.79	8173043.35
26	1	Bf	Bofedales	374962.2	8171284.85
27	1	Bf	Bofedales	374910.48	8171129.69
28	1	Bf	Bofedales	400908.66	8181284.15
29	1	Bf	Bofedales	401150.02	8181266.91
30	1	Bf	Bofedales	397529.59	8175801.77
31	1	Bf	Bofedales	397633.03	8175732.81
32	1	Bf	Bofedales	397684.75	8175577.65
33	1	Bf	Bofedales	398736.4	8177318.91
34	1	Bf	Bofedales	398977.76	8177094.79
35	1	Bf	Bofedales	399167.4	8176905.15
36	1	Bf	Bofedales	399443.25	8176698.26
37	1	Bf	Bofedales	399719.09	8176491.38
38	1	Bf	Bofedales	404925.62	8178836.05
39	1	Bf	Bofedales	405770.39	8178698.12
40	1	Bf	Bofedales	405891.07	8179922.18
41	1	Bf	Bofedales	405666.95	8179715.3
42	1	Bf	Bofedales	405408.35	8180232.5
43	1	Bf	Bofedales	405166.99	8179853.22
44	1	Bf	Bofedales	405391.11	8179404.97

45	1	Bf	Bofedales	402753.36	8177801.64
46	1	Bf	Bofedales	402960.24	8177577.51
47	1	Bf	Bofedales	430527.29	8233797.73
48	1	Bf	Bofedales	430268.68	8233315
49	1	Bf	Bofedales	424027.74	8235538.99
50	1	Bf	Bofedales	424096.7	8235538.99
51	1	Bf	Bofedales	414062.92	8236038.95
52	1	Bf	Bofedales	414062.92	8236142.39
53	2	Ca	Cuerpos de agua	379918.51	8172201.44
54	2	Ca	Cuerpos de agua	379990.03	8172010.73
55	2	Ca	Cuerpos de agua	379966.19	8171820.02
56	2	Ca	Cuerpos de agua	382612.34	8171176.36
57	2	Ca	Cuerpos de agua	378249.77	8173512.6
58	2	Ca	Cuerpos de agua	393435.32	8173774.83
59	2	Ca	Cuerpos de agua	403328.58	8181141.13
60	2	Ca	Cuerpos de agua	415499.89	8208410.77
61	2	Ca	Cuerpos de agua	413544.04	8209173.34
62	2	Ca	Cuerpos de agua	416594.31	8208664.96
63	2	Ca	Cuerpos de agua	417851.13	8208707.33
64	2	Ca	Cuerpos de agua	418634.88	8208128.34



65	2	Ca	Cuerpos de agua	410733.85	8211651.68
66	2	Ca	Cuerpos de agua	411150.43	8210987.97
67	2	Ca	Cuerpos de agua	412103.64	8211058.57
68	2	Ca	Cuerpos de agua	406497.37	8219686.87
69	2	Ca	Cuerpos de agua	407627.09	8218634.81
70	2	Ca	Cuerpos de agua	407944.83	8217335.62
71	2	Ca	Cuerpos de agua	407076.35	8219559.78
72	2	Ca	Cuerpos de agua	407033.99	8207867.09
73	2	Ca	Cuerpos de agua	408326.11	8209243.95
74	2	Ca	Cuerpos de agua	409957.16	8209773.51
75	2	Ca	Cuerpos de agua	407408.21	8208269.56
76	2	Ca	Cuerpos de agua	406744.49	8206829.16
77	2	Ca	Cuerpos de agua	406998.68	8207273.99
78	2	Ca	Cuerpos de agua	406116.08	8205593.52
79	2	Ca	Cuerpos de agua	405805.41	8204569.7
80	2	Ca	Cuerpos de agua	405967.81	8204760.34
81	2	Ca	Cuerpos de agua	404541.53	8201971.33
82	2	Ca	Cuerpos de agua	405226.42	8202719.77

83	2	Ca	Cuerpos de agua	405297.03	8203108.11
84	2	Ca	Cuerpos de agua	403997.84	8200573.29
85	2	Ca	Cuerpos de agua	403743.66	8200227.31
86	2	Ca	Cuerpos de agua	403665.99	8199966.06
87	2	Ca	Cuerpos de agua	403327.07	8199485.92
88	2	Ca	Cuerpos de agua	402903.42	8199154.07
89	2	Ca	Cuerpos de agua	402345.62	8198921.06
90	2	Ca	Cuerpos de agua	402232.64	8198137.31
91	2	Ca	Cuerpos de agua	401173.52	8194585.73
92	2	Ca	Cuerpos de agua	401307.68	8196124.98
93	2	Ca	Cuerpos de agua	401568.93	8196365.05
94	2	Ca	Cuerpos de agua	401533.63	8196647.48
95	2	Ca	Cuerpos de agua	401724.27	8197099.37
96	2	Ca	Cuerpos de agua	402084.37	8197402.99
97	2	Ca	Cuerpos de agua	400043.8	8190356.31
98	2	Ca	Cuerpos de agua	400114.4	8191599.01
99	2	Ca	Cuerpos de agua	400206.19	8192389.82
100	2	Ca	Cuerpos de agua	400432.14	8192898.2
101	2	Ca	Cuerpos de agua	400651.03	8193300.67
102	2	Ca	Cuerpos de agua	397960.86	8186204.56
103	2	Ca	Cuerpos de agua	398899.95	8187976.82

104	2	Ca	Cuerpos de agua	398553.97	8187228.38
105	2	Ca	Cuerpos de agua	399217.68	8188520.5
106	2	Ca	Cuerpos de agua	399634.27	8189085.37
107	2	Ca	Cuerpos de agua	397946.74	8186042.16
108	2	Ca	Cuerpos de agua	398441	8185554.97
109	2	Ca	Cuerpos de agua	398384.51	8184474.67
110	2	Ca	Cuerpos de agua	398568.09	8183952.17
111	2	Ca	Cuerpos de agua	397240.66	8185470.24
112	2	Ca	Cuerpos de agua	397847.89	8185773.85
113	2	Ca	Cuerpos de agua	396223.9	8185307.84
114	2	Ca	Cuerpos de agua	395708.47	8184827.71
115	2	Ca	Cuerpos de agua	398850.52	8183189.6
116	2	Ca	Cuerpos de agua	398928.19	8182822.44
117	2	Ca	Cuerpos de agua	394020.94	8181290.25
118	2	Ca	Cuerpos de agua	394246.88	8181629.16
119	2	Ca	Cuerpos de agua	394769.38	8182165.79
120	2	Ca	Cuerpos de agua	394769.38	8182737.71
121	2	Ca	Cuerpos de agua	394614.04	8183662.67
122	2	Ca	Cuerpos de agua	394847.05	8184043.96
123	2	Ca	Cuerpos de agua	393258.37	8177978.73

124	2	Ca	Cuerpos de agua	393766.75	8178487.11
125	2	Ca	Cuerpos de agua	393802.05	8179284.98
126	2	Ca	Cuerpos de agua	394049.18	8179955.76
127	2	Ca	Cuerpos de agua	394091.54	8180810.11
128	2	Ca	Cuerpos de agua	389523.21	8176008.77
129	2	Ca	Cuerpos de agua	388803	8175380.36
130	2	Ca	Cuerpos de agua	389148.98	8176008.77
131	2	Ca	Cuerpos de agua	388520.57	8177117.31
132	2	Ca	Cuerpos de agua	388993.65	8176863.13
133	2	Ca	Cuerpos de agua	389918.61	8176510.09
134	2	Ca	Cuerpos de agua	390370.5	8176340.63
135	2	Ca	Cuerpos de agua	390667.06	8176446.54
136	2	Ca	Cuerpos de agua	391373.14	8176644.24
137	2	Ca	Cuerpos de agua	391817.97	8176813.7
138	2	Ca	Cuerpos de agua	392008.61	8176961.98
139	2	Ca	Cuerpos de agua	392375.77	8177166.74
140	2	Ca	Cuerpos de agua	392975.94	8177745.73
141	2	Ca	Cuerpos de agua	389297.26	8174808.43

142	2	Ca	Cuerpos de agua	386592.97	8176361.81
143	2	Ca	Cuerpos de agua	387913.34	8176707.79
144	2	Ca	Cuerpos de agua	385872.77	8177209.1
145	2	Ca	Cuerpos de agua	386141.08	8177300.89
146	2	Ca	Cuerpos de agua	385371.46	8177449.17
147	2	Ca	Cuerpos de agua	379892.28	8182716.53
148	2	Ca	Cuerpos de agua	380379.47	8181551.5
149	2	Ca	Cuerpos de agua	380937.27	8180640.65
150	2	Ca	Cuerpos de agua	380167.65	8182151.66
151	2	Ca	Cuerpos de agua	382151.73	8180238.19
152	2	Ca	Cuerpos de agua	381403.29	8180598.29
153	2	Ca	Cuerpos de agua	382815.45	8179461.5
154	2	Ca	Cuerpos de agua	383881.63	8178741.3
155	2	Ca	Cuerpos de agua	408746.4	8215727.32
156	2	Ca	Cuerpos de agua	408519.3	8214901.49
157	2	Ca	Cuerpos de agua	408127.03	8216800.9
158	2	Ca	Cuerpos de agua	408106.39	8216078.3
159	2	Ca	Cuerpos de agua	410159.19	8213183.17

160	2	Ca	Cuerpos de agua	410762.8	8212717.52
161	2	Ca	Cuerpos de agua	409460.71	8213795.41
162	2	Ca	Cuerpos de agua	409141.66	8214036.86
163	2	Ca	Cuerpos de agua	427942.72	8235798.99
164	2	Ca	Cuerpos de agua	425730.4	8242730.92
165	2	Ca	Cuerpos de agua	426154.43	8242380.64
166	2	Ca	Cuerpos de agua	427389.64	8241292.92
167	2	Ca	Cuerpos de agua	426560.02	8238214.11
168	2	Ca	Cuerpos de agua	426873.43	8237384.49
169	2	Ca	Cuerpos de agua	426375.66	8239080.6
170	3	Hd	Herbazal denso	380630.44	8170687.53
171	3	Hd	Herbazal denso	391163.53	8170524.48
172	3	Hd	Herbazal denso	392598.38	8169546.17
173	3	Hd	Herbazal denso	380565.22	8171828.89
174	3	Hd	Herbazal denso	379847.8	8175285.57
175	3	Hd	Herbazal denso	380760.88	8175285.57
176	3	Hd	Herbazal denso	375738.92	8176622.58
177	3	Hd	Herbazal denso	376749.83	8176394.31
178	3	Hd	Herbazal denso	378054.24	8175709.5
179	3	Hd	Herbazal denso	375706.3	8175611.67
180	3	Hd	Herbazal denso	375282.37	8170361.43

181	3	Hd	Herbazal denso	375575.86	8170165.77
182	3	Hd	Herbazal denso	377402.03	8168437.43
183	3	Hd	Herbazal denso	378282.51	8166839.53
184	3	Hd	Herbazal denso	378641.22	8167198.24
185	3	Hd	Herbazal denso	378836.88	8164785.09
186	3	Hd	Herbazal denso	387837.29	8162763.26
187	3	Hd	Herbazal denso	386337.23	8164165.49
188	3	Hd	Herbazal denso	386663.33	8165372.07
189	3	Hd	Herbazal denso	388554.72	8174437.7
190	3	Hd	Herbazal denso	389826.52	8174078.99
191	3	Hd	Herbazal denso	380467.39	8177796.55
192	3	Hd	Herbazal denso	379717.36	8177666.11
193	3	Hd	Herbazal denso	378543.39	8179720.55
194	3	Hd	Herbazal denso	379097.76	8178742.25
195	3	Hd	Herbazal denso	380369.56	8177926.99
196	3	Hd	Herbazal denso	397946.45	8178416.14
197	3	Hd	Herbazal denso	397489.91	8177405.23
198	3	Hd	Herbazal denso	396609.43	8176916.08
199	3	Hd	Herbazal denso	396935.54	8176459.53
200	3	Hd	Herbazal denso	399772.62	8179264.01
201	3	Hd	Herbazal denso	402087.94	8177633.5
202	3	Hd	Herbazal denso	403424.96	8176068.21
203	3	Hd	Herbazal denso	404794.59	8177731.33



204	3	Hd	Herbazal denso	407077.3	8188297.03
205	3	Hd	Herbazal denso	403001.03	8186503.47
206	3	Hd	Herbazal denso	395728.96	8185590.38
207	3	Hd	Herbazal denso	400522.66	8184742.52
208	3	Hd	Herbazal denso	401109.64	8184840.35
209	3	Hd	Herbazal denso	405251.13	8185329.5
210	3	Hd	Herbazal denso	405251.13	8185329.5
211	3	Hd	Herbazal denso	385163.26	8184709.91
212	3	Hd	Herbazal denso	388130.79	8184872.96
213	3	Hd	Herbazal denso	390120.01	8195340.83
214	3	Hd	Herbazal denso	391620.08	8195438.66
215	3	Hd	Herbazal denso	395696.35	8191753.71
216	3	Hd	Herbazal denso	396055.06	8199971.48
217	3	Hd	Herbazal denso	396642.04	8198993.17
218	3	Hd	Herbazal denso	393641.91	8196840.9
219	3	Hd	Herbazal denso	393804.96	8197036.56
220	3	Hd	Herbazal denso	394783.26	8197786.59
221	3	Hd	Herbazal denso	393739.74	8199580.15
222	3	Hd	Herbazal denso	394163.67	8199906.26
223	3	Hd	Herbazal denso	395728.96	8202808.56
224	3	Hd	Herbazal denso	394946.31	8202123.75
225	3	Hd	Herbazal denso	395728.96	8200949.78
226	3	Hd	Herbazal denso	395989.84	8200167.14

227	3	Hd	Herbazal denso	402903.2	8201732.43
228	3	Hd	Herbazal denso	402120.55	8200395.41
229	3	Hd	Herbazal denso	400750.93	8196319.14
230	3	Hd	Herbazal denso	401272.69	8197688.76
231	3	Hd	Herbazal denso	413240.63	8199123.61
232	3	Hd	Herbazal denso	412914.53	8197297.44
233	3	Hd	Herbazal denso	412001.44	8196482.19
234	3	Hd	Herbazal denso	412360.15	8195503.88
235	3	Hd	Herbazal denso	403457.57	8190873.23
236	3	Hd	Herbazal denso	407599.07	8191427.61
237	3	Hd	Herbazal denso	409881.78	8190318.86
238	3	Hd	Herbazal denso	407240.35	8193253.78
239	3	Hd	Herbazal denso	408870.86	8194982.12
240	3	Hd	Herbazal denso	395631.13	8210798.06
241	3	Hd	Herbazal denso	396218.11	8212069.86
242	3	Hd	Herbazal denso	398174.72	8210765.45
243	3	Hd	Herbazal denso	398663.88	8211482.87
244	3	Hd	Herbazal denso	399120.42	8215298.26
245	3	Hd	Herbazal denso	401957.5	8216733.11
246	3	Hd	Herbazal denso	406001.17	8216407.01
247	3	Hd	Herbazal denso	417284.29	8215983.08
248	3	Hd	Herbazal denso	415262.46	8214254.74
249	3	Hd	Herbazal denso	406294.66	8207341.38

250	3	Hd	Herbazal denso	403620.62	8205254.33
251	3	Hd	Herbazal denso	404468.49	8204634.73
252	3	Hd	Herbazal denso	405153.3	8204406.46
253	3	Hd	Herbazal denso	405153.3	8204797.78
254	3	Hd	Herbazal denso	405512.01	8206460.9
255	3	Hd	Herbazal denso	417023.41	8209884.97
256	3	Hd	Herbazal denso	419893.11	8211874.19
257	3	Hd	Herbazal denso	422306.26	8214809.11
258	3	Hd	Herbazal denso	423610.67	8223059.49
259	3	Hd	Herbazal denso	420708.36	8220189.79
260	3	Hd	Herbazal denso	419045.24	8218722.33
261	3	Hd	Herbazal denso	422110.6	8218102.74
262	3	Hd	Herbazal denso	413729.78	8217222.26
263	3	Hd	Herbazal denso	413697.17	8222505.11
264	3	Hd	Herbazal denso	414838.53	8223939.96
265	3	Hd	Herbazal denso	409588.29	8222635.56
266	3	Hd	Herbazal denso	410044.83	8222015.96
267	3	Hd	Herbazal denso	413371.07	8216993.99
268	3	Hd	Herbazal denso	413729.78	8217157.04
269	3	Hd	Herbazal denso	413664.56	8231309.86
270	3	Hd	Herbazal denso	415686.39	8230298.95
271	3	Hd	Herbazal denso	411316.63	8228440.17
272	3	Hd	Herbazal denso	413044.97	8228374.95

273	3	Hd	Herbazal denso	420414.87	8225016.1
274	3	Hd	Herbazal denso	420936.63	8225896.57
275	3	Hd	Herbazal denso	418914.8	8229842.41
276	3	Hd	Herbazal denso	425306.4	8236984.04
277	3	Hd	Herbazal denso	426349.92	8235679.63
278	3	Hd	Herbazal denso	428600.03	8233723.02
279	3	Hd	Herbazal denso	428208.7	8225407.42
280	3	Hd	Herbazal denso	429513.11	8226190.07
281	4	Ev	Escasa vegetación	382066	8174367.26
282	4	Ev	Escasa vegetación	389246.28	8171936.14
283	4	Ev	Escasa vegetación	377034.15	8178211.82
284	4	Ev	Escasa vegetación	375281.48	8167639.28
285	4	Ev	Escasa vegetación	376073.01	8163172.8
286	4	Ev	Escasa vegetación	379239.12	8161985.51
287	4	Ev	Escasa vegetación	384610.2	8165264.69
288	4	Ev	Escasa vegetación	400666.9	8173914.96
289	4	Ev	Escasa vegetación	398122.7	8173066.89
290	4	Ev	Escasa vegetación	386080.18	8180812.55
291	4	Ev	Escasa vegetación	384553.66	8183187.14
292	4	Ev	Escasa vegetación	400836.51	8178890.27

293	4	Ev	Escasa vegetación	390772.8	8183130.6
294	4	Ev	Escasa vegetación	399309.99	8201788.03
295	4	Ev	Escasa vegetación	400610.36	8198395.77
296	4	Ev	Escasa vegetación	401175.73	8200261.52
297	4	Ev	Escasa vegetación	404511.46	8201166.12
298	4	Ev	Escasa vegetación	406999.12	8201392.27
299	4	Ev	Escasa vegetación	401684.57	8191667.79
300	4	Ev	Escasa vegetación	402532.64	8192628.93
301	4	Ev	Escasa vegetación	403041.48	8189406.28
302	4	Ev	Escasa vegetación	406490.28	8189632.43
303	4	Ev	Escasa vegetación	412879.03	8188727.83
304	4	Ev	Escasa vegetación	414292.48	8190706.65
305	4	Ev	Escasa vegetación	403550.32	8195229.66
306	4	Ev	Escasa vegetación	406942.58	8194946.97
307	4	Ev	Escasa vegetación	389868.2	8183695.98
308	4	Ev	Escasa vegetación	392751.62	8188840.91
309	4	Ev	Escasa vegetación	389472.44	8193476.99
310	4	Ev	Escasa vegetación	389642.05	8192572.39

311	4	Ev	Escasa vegetación	387606.69	8192346.24
312	4	Ev	Escasa vegetación	389811.66	8192628.93
313	4	Ev	Escasa vegetación	395635.04	8196925.79
314	4	Ev	Escasa vegetación	400723.43	8198226.16
315	4	Ev	Escasa vegetación	422377.36	8220162.78
316	4	Ev	Escasa vegetación	417628.2	8220388.93
317	4	Ev	Escasa vegetación	418137.04	8220445.47
318	4	Ev	Escasa vegetación	417175.9	8213547.87
319	4	Ev	Escasa vegetación	400158.06	8219145.1
320	4	Ev	Escasa vegetación	400949.58	8218579.72
321	4	Ev	Escasa vegetación	401967.26	8214678.62
322	4	Ev	Escasa vegetación	400101.52	8206763.35
323	4	Ev	Escasa vegetación	401119.2	8208289.87
324	4	Ev	Escasa vegetación	405416.06	8210607.91
325	4	Ev	Escasa vegetación	405246.45	8212360.58
326	4	Ev	Escasa vegetación	407960.26	8204275.69
327	4	Ev	Escasa vegetación	414575.16	8202975.32
328	4	Ev	Escasa vegetación	411974.43	8222480.82

329	4	Ev	Escasa vegetación	415027.47	8233901.43
330	4	Ev	Escasa vegetación	411239.44	8230113.41
331	4	Ev	Escasa vegetación	414801.32	8228643.43
332	4	Ev	Escasa vegetación	418250.11	8228699.97
333	4	Ev	Escasa vegetación	424865.02	8227682.29
334	4	Ev	Escasa vegetación	426900.38	8227173.45
335	4	Ev	Escasa vegetación	426561.15	8225025.02
336	4	Ev	Escasa vegetación	421133.54	8234919.11
337	4	Ev	Escasa vegetación	422603.51	8234127.58
338	4	Ev	Escasa vegetación	398408.92	8175049.72
339	4	Ev	Escasa vegetación	399462.87	8172860.76
340	4	Ev	Escasa vegetación	399584.48	8173955.24
341	4	Ev	Escasa vegetación	402665.23	8173914.71
342	4	Ev	Escasa vegetación	401327.53	8178373.69
343	4	Ev	Escasa vegetación	400476.27	8178941.2
344	4	Ev	Escasa vegetación	405016.33	8180197.82
345	4	Ev	Escasa vegetación	404408.29	8181049.09
346	4	Ev	Escasa vegetación	405462.23	8180724.8
347	4	Ev	Escasa vegetación	404246.14	8175455.08



348	4	Ev	Escasa vegetación	398449.46	8176711.71
349	4	Ev	Escasa vegetación	398935.9	8175495.62
350	4	Ev	Escasa vegetación	399665.55	8173225.59
351	4	Ev	Escasa vegetación	399787.16	8179751.93
352	4	Ev	Escasa vegetación	399462.87	8179954.61
353	4	Ev	Escasa vegetación	400962.71	8178576.37
354	4	Ev	Escasa vegetación	404165.07	8178697.98
355	4	Ev	Escasa vegetación	403719.17	8179306.03
356	4	Ev	Escasa vegetación	402057.19	8176387.42
357	4	Ev	Escasa vegetación	401489.68	8176711.71
358	4	Ev	Escasa vegetación	403475.96	8176792.78
359	4	Ev	Escasa vegetación	405259.55	8179143.88
360	4	Ev	Escasa vegetación	396179.43	8172536.47
361	4	Ev	Escasa vegetación	395895.68	8173549.88
362	4	Ev	Escasa vegetación	396260.5	8185994.51
363	4	Ev	Escasa vegetación	395611.92	8186845.77
364	4	Ev	Escasa vegetación	398976.43	8184089.3
365	4	Ev	Escasa vegetación	399625.01	8186805.23
366	4	Ev	Escasa vegetación	402138.26	8182589.46

367	4	Ev	Escasa vegetación	401570.75	8182751.61
368	4	Ev	Escasa vegetación	405867.59	8180562.65
369	4	Ev	Escasa vegetación	405502.77	8184413.59
370	4	Ev	Escasa vegetación	402624.69	8182589.46
371	4	Ev	Escasa vegetación	397963.03	8175292.94
372	4	Ev	Escasa vegetación	396909.08	8171482.53
373	4	Ev	Escasa vegetación	399462.87	8173630.95
374	4	Ev	Escasa vegetación	398490	8174482.21
375	4	Ev	Escasa vegetación	398408.92	8173914.71
376	4	Ev	Escasa vegetación	400719.49	8175292.94
377	4	Ev	Escasa vegetación	401773.43	8174522.75
378	4	Ev	Escasa vegetación	401692.36	8176265.81
379	4	Ev	Escasa vegetación	400476.27	8177725.11
380	4	Ev	Escasa vegetación	400070.91	8176103.66
381	4	Ev	Escasa vegetación	400070.91	8175617.23
382	4	Ev	Escasa vegetación	395530.85	8173833.63
383	4	Ev	Escasa vegetación	395206.56	8171928.43
384	4	Ev	Escasa vegetación	387747.89	8171198.78

385	4	Ev	Escasa vegetación	387342.53	8171725.75
386	4	Ev	Escasa vegetación	389490.95	8176914.39
387	4	Ev	Escasa vegetación	390707.04	8178211.55
388	4	Ev	Escasa vegetación	389774.7	8178535.84
389	4	Ev	Escasa vegetación	401165.39	8176914.39
390	4	Ev	Escasa vegetación	399341.26	8173022.91
391	4	Ev	Escasa vegetación	396625.33	8172617.55
392	4	Ev	Escasa vegetación	395774.07	8172536.47
393	4	Ev	Escasa vegetación	397030.69	8173549.88
394	4	Ev	Escasa vegetación	396138.89	8174441.68
395	4	Ev	Escasa vegetación	395125.49	8175333.47
396	4	Ev	Escasa vegetación	392774.39	8175576.69
397	4	Ev	Escasa vegetación	392571.71	8178089.94
398	4	Ev	Escasa vegetación	401854.51	8181332.84
399	4	Ev	Escasa vegetación	399706.08	8182386.78
400	4	Ev	Escasa vegetación	399300.72	8182994.82

## Anexo 05: Script de clasificación de ecosistemas con el lenguaje de R.

```
#Limpiar área de trabajo-----
rm(list = ls())
#Cargar
librerías-----
require(pacman)
pacman::p_load(sp, raster, rgdal, rgeos, randomForest, sf, landsat8, caret,
reshape2)
#Carar imagen satelital con las bandas combinadas-----
img <- stack("D:/Oliver/Imaenes_UTM/Sentinel_2015_SR.tif")
res(img)
dim(img)
names(img)
#Cambiar los nombres de las Bandas-----
nombres <- c("Aerosoles", "Blue", "Green", "Red", "NIR", "SWIR1", "SWIR2")
names(img) <- nombres
names(img)
##Carar Muestras de Entrenamiento-----
Entrenamiento <- readOGR("D:/Oliver/Imaenes_UTM/Entrenamiento_2015.shp")
names(Entrenamiento)
geometry(Entrenamiento)
#Rasterización muestras de entrenamiento-----
entren.raster <- rasterize(Entrenamiento, img, field= 'Clases')
plot(entren.raster)
grid(equilogs = TRUE)
axis(1)
axis(2)
#Ver las muestras rasterizadas-----
tab <- table(values(entren.raster))
print(tab)
#de entrenamiento como una variable categórica:-----
entren.df <- na.omit(values(stack(entren.raster, img)))
entren.df[, "layer"] <- as.factor(as.character(entren.df[, "layer"]))
#Para evaluar la calidad de la clasificación es necesario establecer
#los siguientes criterios:
#indicadores de Exactitud (Accuracy),
#exhaustividad (kappa) y la precisión de la clasificación (PSS).
nEvalRounds <- 8
pTrain <- 0.5

n <- nrow(entren.df)
nClasses <- length(unique(entren.df[, "layer"]))

confMats <- array(NA, dim = c(nClasses, nClasses, nEvalRounds))

evalMatrix<-matrix(NA, nrow=nEvalRounds, ncol=3,
                  dimnames=list(paste("R_", 1:nEvalRounds, sep=""),
                                c("Accuracy", "Kappa", "PSS")))

pb <- txtProgressBar(1, nEvalRounds, style = 3)
```

```
#Para la calibración y evaluación de los resultados del algoritmo
#Random Forest se utiliza la propuesta de Gonçalves:
Evaluate = function(actual=NULL, predicted=NULL, cm=NULL){

  if(is.null(cm)) {
    naVals = union(which(is.na(actual)), which(is.na(predicted)))
    if(length(naVals) > 0) {
      actual = actual[-naVals]
      predicted = predicted[-naVals]
    }
    f = factor(union(unique(actual), unique(predicted)))
    actual = factor(actual, levels = levels(f))
    predicted = factor(predicted, levels = levels(f))
    cm = as.matrix(table(Actual=actual, Predicted=predicted))
  }
  n = sum(cm) # número de instancias
  nc = nrow(cm) # número de clases
  diag = diag(cm) # número de instancias correctamente clasificadas por clase
  rowsums = apply(cm, 1, sum) # número de instancias por clases
  colsums = apply(cm, 2, sum) # número de predicciones por clases
  p = rowsums / n # distribución de instancias sobre las clases
  q = colsums / n # distribución de instancias sobre las clases predecidas

  # Exactitud
  accuracy = sum(diag) / n

  # per class prf
  recall = diag / rowsums
  precision = diag / colsums
  f1 = 2 * precision * recall / (precision + recall)

  # macro prf
  macroPrecision = mean(precision)
  macroRecall = mean(recall)
  macroF1 = mean(f1)

  # 1-vs-all matrix
  oneVsAll = lapply(1 : nc,
                    function(i){
                      v = c(cm[i,i],
                            rowsums[i] - cm[i,i],
                            colsums[i] - cm[i,i],
                            n-rowsums[i] - colsums[i] + cm[i,i]);
                      return(matrix(v, nrow = 2, byrow = T))})

  s = matrix(0, nrow=2, ncol=2)

  for(i in 1:nc){
    s = s + oneVsAll[[i]]
  }
}
```

```

# promedio exactitud
avgAccuracy = sum(diag(s))/sum(s)

# micro prf
microPrf = (diag(s) / apply(s,1, sum))[1];

# majority class
mcIndex = which(rowsums==max(rowsums))[1] # majority-class index
mcAccuracy = as.numeric(p[mcIndex])

mcRecall = 0*p
mcRecall[mcIndex] = 1

mc Precisión = 0*p
mcPrecision[mcIndex] = p[mcIndex]

mcF1 = 0*p
mcF1[mc Index] = 2 * mcPrecision[mcIndex] / (mcPrecision[mcIndex] + 1)

# random/exactitud esperada
exp Accuracy = sum(p*q)

# kappa
kappa = (accuracy - expAccuracy) / (1 - expAccuracy)

# puntaje de Peirce
a = sum(colsums * rowsums) / n^2
b = sum(rowsums^2) / n^2
pss <- (accuracy - a) / (1 - b)

# random guess
rgAccuracy = 1 / nc
rg Precisión = p
rg Recall = 0*p + 1 / nc
rgF 1 = 2 * p / (nc * p + 1)

# random weighted guess
rwg Accuracy = sum(p^2)
rwg Precisión = p
rwg Recall = p
rwgF1 = p

classNames = names(diag)
if(is.null(classNames)) classNames = paste("C",(1:nc),sep="")

metrics = rbind(
  Accuracy = accuracy,
  Precision = precision,
  Recall = recall,

```

```

F1 = f1,
MacroAvgPrecision = macroPrecision,
MacroAvgRecall = macroRecall,
MacroAvgF1 = macroF1,
AvgAccuracy = avgAccuracy,
MicroAvgPrecision = microPrf,
MicroAvgRecall = microPrf,
MicroAvgF1 = microPrf,
MajorityClassAccuracy = mcAccuracy,
MajorityClassPrecision = mcPrecision,
MajorityClassRecall = mcRecall,
MajorityClassF1 = mcF1,
Kappa = kappa,
PSS = pss,
RandomGuessAccuracy = rgAccuracy,
RandomGuessPrecision = rgPrecision,
RandomGuessRecall = rgRecall,
RandomGuessF1 = rgF1,
RandomWeightedGuessAccuracy = rwgAccuracy,
RandomWeightedGuessPrecision = rwgPrecision,
RandomWeightedGuessRecall = rwgRecall,
RandomWeightedGuessF1 = rwgF1)

colnames(metrics) = classNames

return(list(ConfusionMatrix = cm, Metrics = metrics))
}
#-----
#Para obtener la clasificación supervisada se decide
#aplicar el algoritmo Random Forest con 100 árboles:
for(i in 1:nEvalRounds){

# Crear índice aleatorio para la selección de filas en cada ronda
sampIdx <- sample(1:n, size = round(n*pTrain))

# Calibrar el clasificador random forest
rf <- randomForest(y = as.factor(entren.df[sampIdx, "layer"]),
                  x = entren.df[sampIdx, -1],
                  ntree = 100)

# Predecir las clases con el st de prueba
testSetPred <- predict(rf, newdata = entren.df[-sampIdx,], type =
"response")

testSetObs <- entren.df[-sampIdx, "layer"]

# Evaluar
evalData <- Evaluate(testSetObs, testSetPred)

```



```

evalMatrix[i,] <- c(evalData$Metrics["Accuracy",1],
                  evalData$Metrics["Kappa",1],
                  evalData$Metrics["PSS",1])

#Matriz de confusión por ronda evaluadas
conf Mats[, ,i] <- evalData$ConfusionMatrix

# clasificar toda la imagen
rstPredClassTMP <- predict(img, model = rf,
                          factors = levels(entren.df[, "layer"]))

if(i==1){
  # raster predicho
  rstPredClass <- rstPredClassTMP

  # obtener la precision para cada clase
  Precision <- evalData$Metrics["Precision",,drop=FALSE]
  Recall <- evalData$Metrics["Recall",,drop=FALSE]

}else{
  # Apilar los rásteres predichos
  rstPredClass <- stack(rstPredClass, rstPredClassTMP)

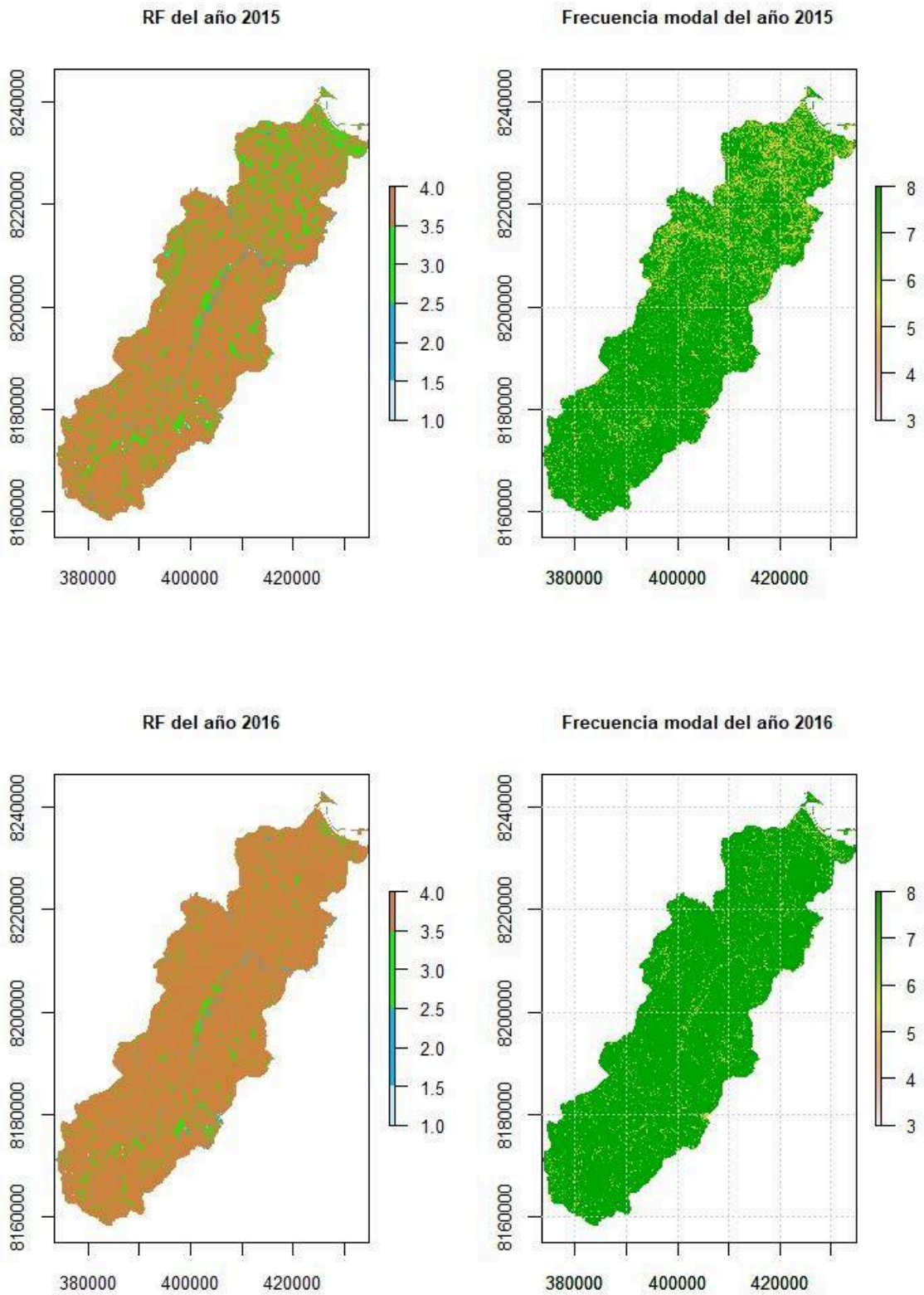
  #Obtenga precisión y recuperación para cada clase
  Precision <- rbind(Precision,evalData$Metrics["Precision",,drop=FALSE])
  Recall <- rbind(Recall,evalData$Metrics["Recall",,drop=FALSE])
}
setTxtProgressBar(pb,i)
}
#-----
#La tabla indica los valores que se obtuvieron para
#los indicadores de evaluación para cada una de las iteraciones realizadas:
knitr::kable(evalMatrix, digits = 3)
#Calculamos el promedio de las 20 rondas para cada una de las medidas y la
#desviación estandar para conocer que tanta separabilidad hay en las rondas
#de calibración
round(apply(evalMatrix,2,FUN = function(x,...) c(mean(x,...), sd(x,...))), 3)
#Matriz de confusión con lamejor ronda
evalMatrix[which.max(evalMatrix[, "Kappa"]), , drop=FALSE]
#Se visualiza cuál fue la escogida en la salida anterior. A continuación
#se muestra la matriz de confusión de la iteración seleccionada:
cm <- as.data.frame(confMats[, ,which.max(evalMatrix[, "Kappa"])])
colnames(cm) <- rownames(cm) <-
paste("c",levels(as.factor(entren.df[, "layer"])),sep="_")

knitr::kable(cm)
#A continuación se realizan las demás operaciones
#para obtener el raster de clasificación:
#Nota (cambiar la variable medFreq = entren.raster,
#con el nombre del entrenamiento rasterizado)
rstModalClass <- modal(rstPredClass)

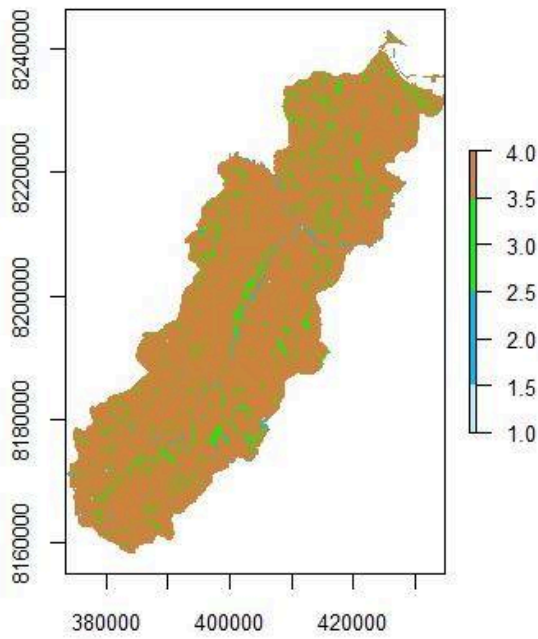
```

```
rstModalClassFreq <- modal(rstPredClass, freq=TRUE)
medFreq <- zonal(rstModalClassFreq, entren.raster, fun=median)
colnames(medFreq) <- c("ClassCode", "MedianModalFrequency")
medFreq[order(medFreq[,2],decreasing = TRUE),] #Visualizar tabla
#El aporte de las bandas empleadas en la clasificación es la siguiente:
varImpPlot(rf, pch = 20, col = "blue", main = "Aporte de las bandas
satelitales para el año 2015")
#Vizualizar la clasificacion superbisada
par(mfrow=c(1,2), cex.main=0.8, cex.axis=0.8)
cols <- c( "#BFEFFF", "#00BFFF", "green", "peru")
plot(rstModalClass,col=cols,main = "RF del año 2022", legend=TRUE)
plot(rstModalClassFreq, main = "Frecuencia modal del año 2022")
grid()
axis(1)
#Guardar Modelo
getwd()
setwd("D:/Oliver/Resultados/")
writeRaster(rstModalClass, filename = "Coverforest_2022.tif")
```

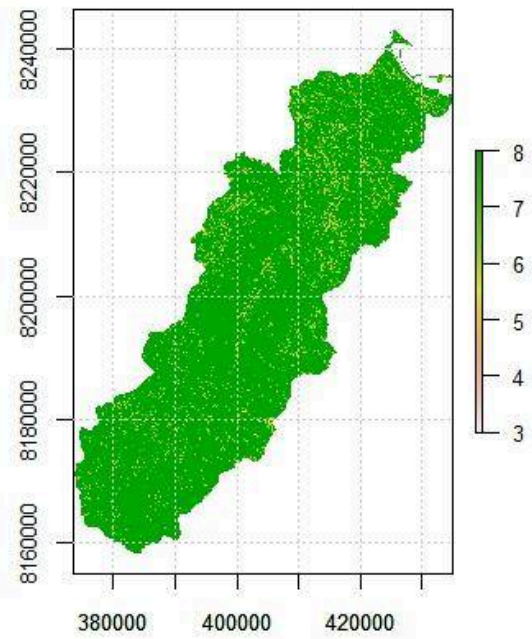
Anexo 06: Resultado de clasificación de ecosistemas con el lenguaje de R.



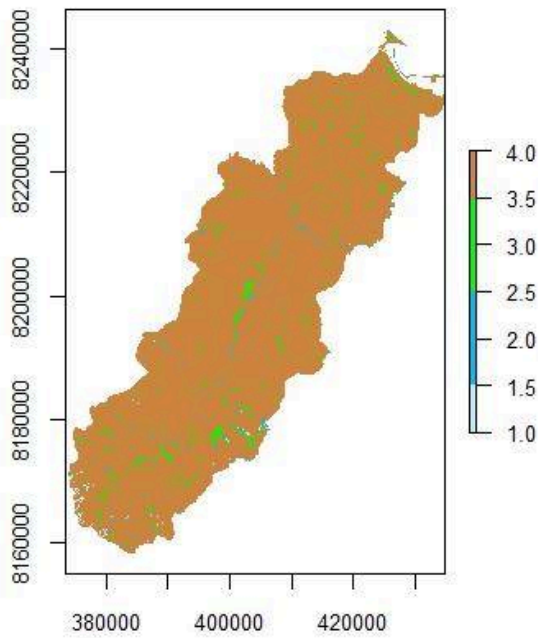
RF del año 2017



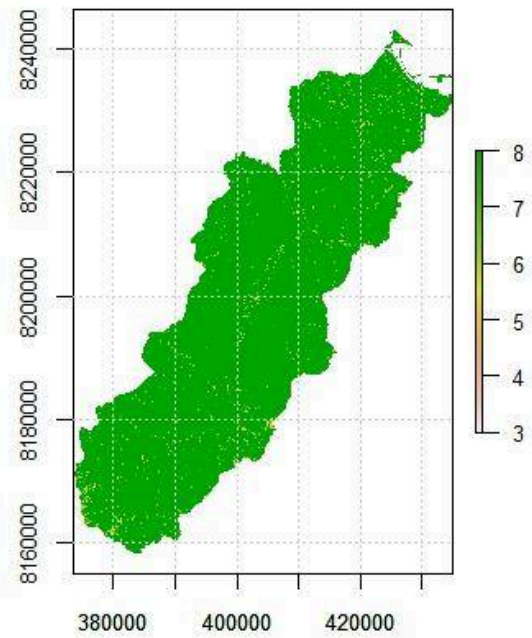
Frecuencia modal del año 2017



RF del año 2018

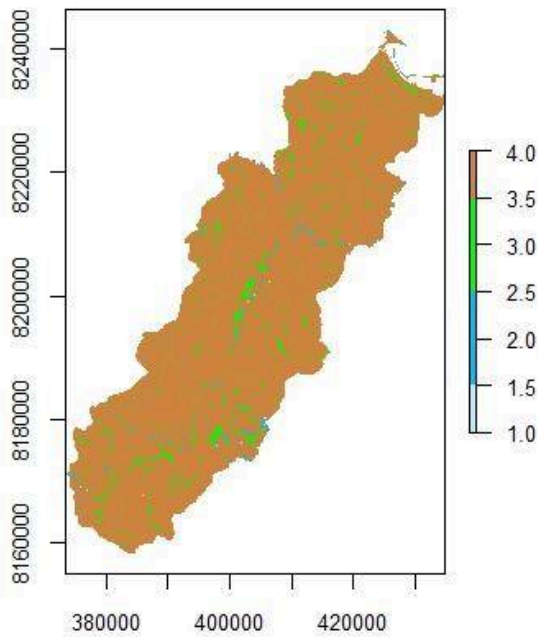


Frecuencia modal del año 2018

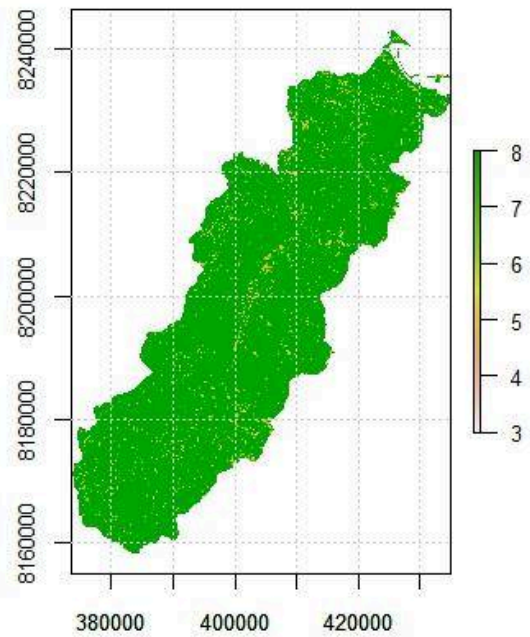




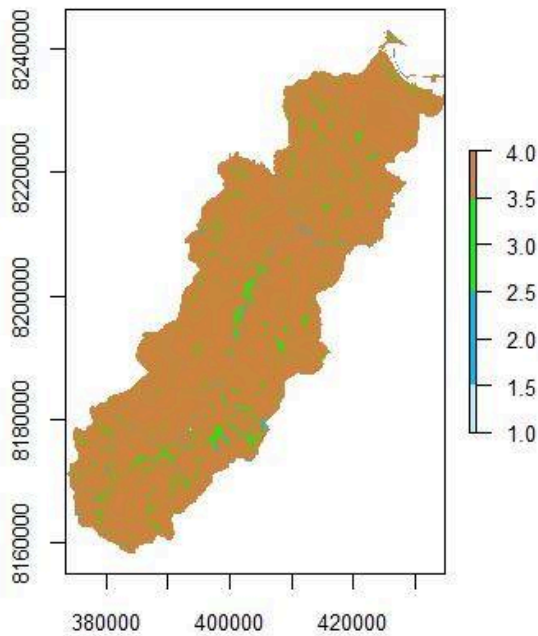
RF del año 2019



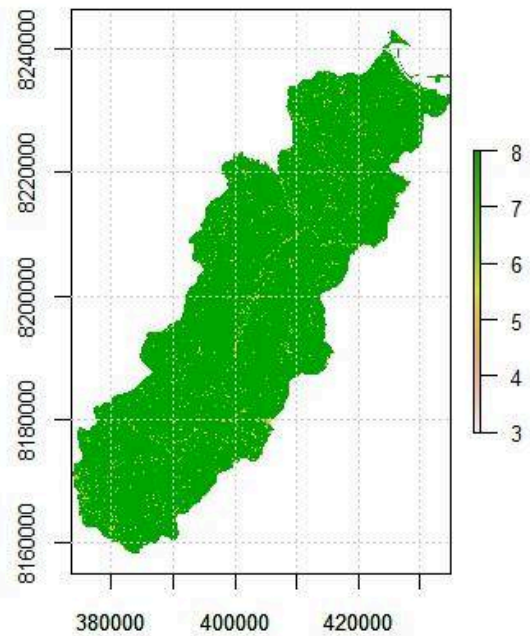
Frecuencia modal del año 2019



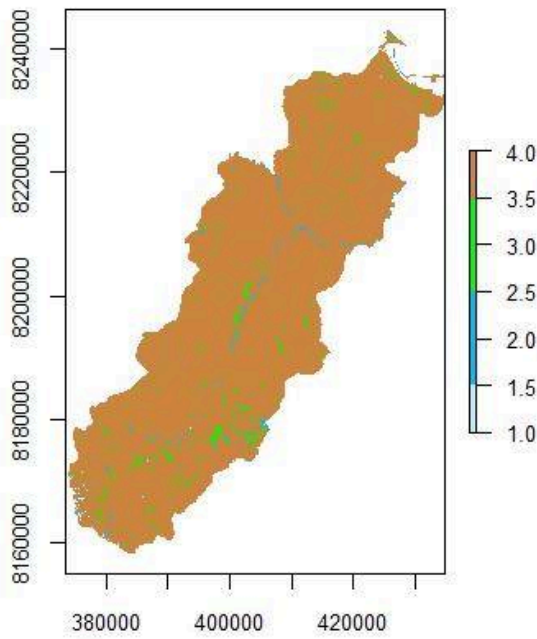
RF del año 2020



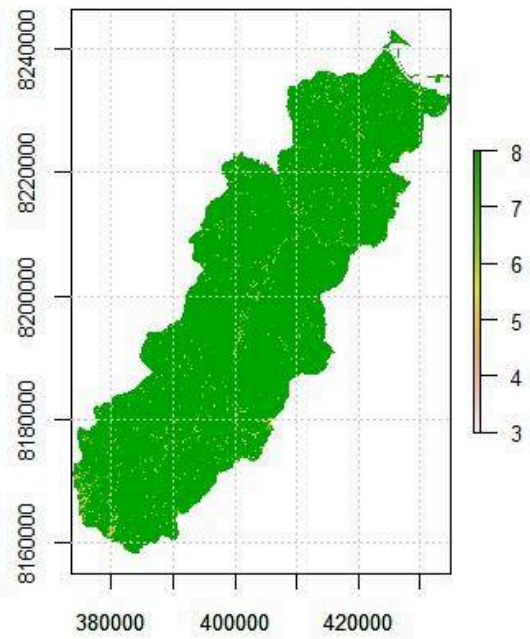
Frecuencia modal del año 2020



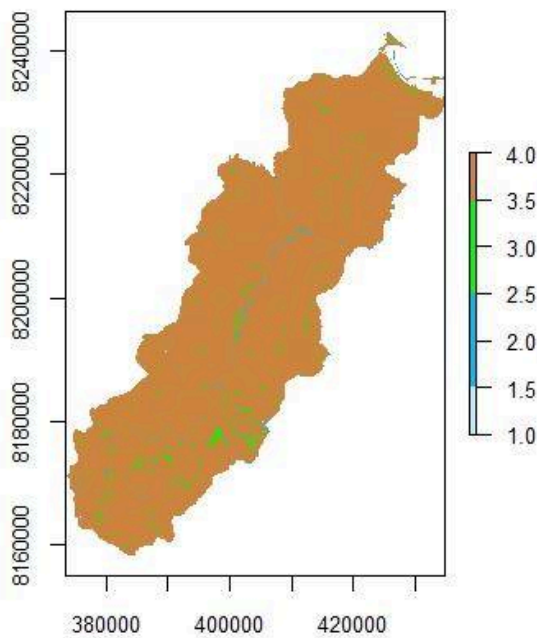
RF del año 2021



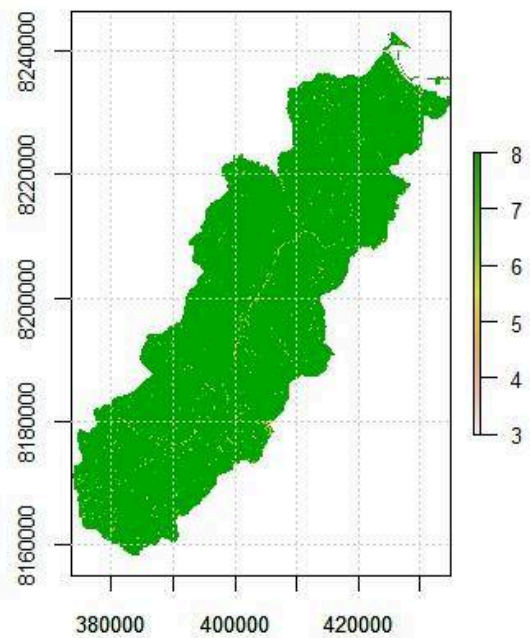
Frecuencia modal del año 2021



RF del año 2022



Frecuencia modal del año 2022





### Anexo 07: Validación del modelo de clasificación de ecosistemas para el 2015.

```

| | Accuracy| Kappa| PSS|
|:---|-----:|-----:|-----:|
|R_1 | 0.846| 0.761| 0.753|
|R_2 | 0.853| 0.761| 0.720|
|R_3 | 0.874| 0.796| 0.771|
|R_4 | 0.849| 0.766| 0.751|
|R_5 | 0.888| 0.825| 0.817|
|R_6 | 0.860| 0.778| 0.749|
|R_7 | 0.863| 0.784| 0.754|
|R_8 | 0.793| 0.672| 0.644|
> #Calculamos el promedio de las 20 rondas para cada una de las medidas y la
> #desviación estandar para conocer que tanta separabilidad hay en las rondas
> #de calibración
> round(apply(evalMatrix,2,FUN = function(x,...) c(mean(x,...), sd(x,...))), 3)
Accuracy Kappa PSS
[1,] 0.853 0.768 0.745
[2,] 0.028 0.044 0.049
> #Matriz de confusión con la mejor ronda
> evalMatrix[which.max(evalMatrix[,"Kappa"]), , drop=FALSE]
Accuracy Kappa PSS
R_5 0.8877193 0.824915 0.816808
> #se visualiza cuál fue la escogida en la salida anterior. A continuación
> #se muestra la matriz de confusión de la iteración seleccionada:
> cm <- as.data.frame(confMats[,which.max(evalMatrix[,"Kappa"])])
> colnames(cm) <- rownames(cm) <- paste("c",levels(as.factor(entren.df[,"layer"])),sep="_")
> knitr::kable(cm)

| | c_1| c_2| c_3| c_4|
|:---|---:|---:|---:|---:|
|c_1 | 14| 6| 1| 4|
|c_2 | 1| 49| 0| 6|
|c_3 | 0| 0| 53| 4|
|c_4 | 5| 4| 1| 137|
>

```

### Anexo 08: Validación del modelo de clasificación de ecosistemas para el 2016.

```

| | Accuracy| Kappa| PSS|
|:---|-----:|-----:|-----:|
|R_1 | 0.896| 0.752| 0.718|
|R_2 | 0.888| 0.746| 0.713|
|R_3 | 0.874| 0.714| 0.660|
|R_4 | 0.900| 0.797| 0.763|
|R_5 | 0.866| 0.723| 0.690|
|R_6 | 0.877| 0.719| 0.639|
|R_7 | 0.881| 0.751| 0.702|
|R_8 | 0.885| 0.752| 0.699|
> #Calculamos el promedio de las 20 rondas para cada una de las medidas y la
> #desviación estandar para conocer que tanta separabilidad hay en las rondas
> #de calibración
> round(apply(evalMatrix,2,FUN = function(x,...) c(mean(x,...), sd(x,...))), 3)
Accuracy Kappa PSS
[1,] 0.883 0.744 0.698
[2,] 0.011 0.027 0.038
> #Matriz de confusión con la mejor ronda
> evalMatrix[which.max(evalMatrix[,"Kappa"]), , drop=FALSE]
Accuracy Kappa PSS
R_4 0.8996283 0.7970095 0.7633847
> #se visualiza cuál fue la escogida en la salida anterior. A continuación
> #se muestra la matriz de confusión de la iteración seleccionada:
> cm <- as.data.frame(confMats[,which.max(evalMatrix[,"Kappa"])])
> colnames(cm) <- rownames(cm) <- paste("c",levels(as.factor(entren.df[,"layer"])),sep="_")
> knitr::kable(cm)

| | c_1| c_2| c_3| c_4|
|:---|---:|---:|---:|---:|
|c_1 | 6| 3| 1| 1|
|c_2 | 2| 28| 0| 10|
|c_3 | 0| 0| 35| 5|
|c_4 | 1| 4| 0| 173|
>

```



### Anexo 09: Validación del modelo de clasificación de ecosistemas para el 2017.

```

| | Accuracy| Kappa| PSS|
|:---|-----:|-----:|-----:|
R_1 | 0.903| 0.813| 0.786|
R_2 | 0.878| 0.768| 0.735|
R_3 | 0.891| 0.786| 0.773|
R_4 | 0.912| 0.833| 0.810|
R_5 | 0.919| 0.839| 0.809|
R_6 | 0.897| 0.806| 0.795|
R_7 | 0.884| 0.776| 0.742|
R_8 | 0.891| 0.779| 0.747|
> #Calculamos el promedio de las 20 rondas para cada una de las medidas y la
> #desviación estandar para conocer que tanta separabilidad hay en las rondas
> #de calibración
> round(apply(evalMatrix,2,FUN = function(x,...) c(mean(x,...), sd(x,...))), 3)
Accuracy Kappa PSS
[1,] 0.897 0.800 0.774
[2,] 0.014 0.027 0.030
> #Matriz de confusión con la mejor ronda
> evalMatrix[which.max(evalMatrix[, "Kappa"]), , drop=FALSE]
Accuracy Kappa PSS
R_5 0.91875 0.8385908 0.8086579
> #Se visualiza cuál fue la escogida en la salida anterior. A continuación
> #se muestra la matriz de confusión de la iteración seleccionada:
> cm <- as.data.frame(confMats[,which.max(evalMatrix[, "Kappa"])])
> colnames(cm) <- rownames(cm) <- paste("c",levels(as.factor(entren.df[, "layer"])),sep="_")
> knitr::kable(cm)

| | c_1| c_2| c_3| c_4|
|:---|---:|---:|---:|---:|
c_1 | 4| 10| 0| 0|
c_2 | 2| 51| 0| 9|
c_3 | 0| 0| 32| 3|
c_4 | 0| 1| 1| 207|

```

### Anexo 10: Validación del modelo de clasificación de ecosistemas para el 2018.

```

| | Accuracy| Kappa| PSS|
|:---|-----:|-----:|-----:|
R_1 | 0.921| 0.842| 0.821|
R_2 | 0.885| 0.789| 0.793|
R_3 | 0.888| 0.782| 0.758|
R_4 | 0.912| 0.826| 0.795|
R_5 | 0.924| 0.849| 0.842|
R_6 | 0.909| 0.810| 0.789|
R_7 | 0.891| 0.778| 0.763|
R_8 | 0.885| 0.782| 0.773|
> #Calculamos el promedio de las 20 rondas para cada una de las medidas y la
> #desviación estandar para conocer que tanta separabilidad hay en las rondas
> #de calibración
> round(apply(evalMatrix,2,FUN = function(x,...) c(mean(x,...), sd(x,...))), 3)
Accuracy Kappa PSS
[1,] 0.902 0.807 0.792
[2,] 0.017 0.029 0.028
> #Matriz de confusión con la mejor ronda
> evalMatrix[which.max(evalMatrix[, "Kappa"]), , drop=FALSE]
Accuracy Kappa PSS
R_5 0.9244713 0.8487728 0.8421702
> #Se visualiza cuál fue la escogida en la salida anterior. A continuación
> #se muestra la matriz de confusión de la iteración seleccionada:
> cm <- as.data.frame(confMats[,which.max(evalMatrix[, "Kappa"])])
> colnames(cm) <- rownames(cm) <- paste("c",levels(as.factor(entren.df[, "layer"])),sep="_")
> knitr::kable(cm)

| | c_1| c_2| c_3| c_4|
|:---|---:|---:|---:|---:|
c_1 | 7| 2| 0| 5|
c_2 | 0| 56| 0| 6|
c_3 | 0| 0| 32| 1|
c_4 | 2| 9| 0| 211|

```

### Anexo 11: Validación del modelo de clasificación de ecosistemas para el 2019.

```

| | Accuracy| Kappa| PSS|
|:---|:---:|:---:|:---:|
R_1 | 0.908| 0.822| 0.805|
R_2 | 0.851| 0.699| 0.660|
R_3 | 0.886| 0.778| 0.750|
R_4 | 0.876| 0.774| 0.745|
R_5 | 0.873| 0.753| 0.737|
R_6 | 0.902| 0.818| 0.807|
R_7 | 0.895| 0.804| 0.817|
R_8 | 0.870| 0.753| 0.718|
> #Calculamos el promedio de las 20 rondas para cada una de las medidas y la
> #desviación estandar para conocer que tanta separabilidad hay en las rondas
> #de calibración
> round(apply(evalMatrix,2,FUN = function(x,...) c(mean(x,...), sd(x,...))), 3)
Accuracy Kappa PSS
[1,] 0.883 0.775 0.755
[2,] 0.019 0.041 0.053
> #Matriz de confusión con la mejor ronda
> evalMatrix[which.max(evalMatrix[,"Kappa"]), , drop=FALSE]
Accuracy Kappa PSS
R_1 0.9079365 0.8222936 0.8053269
> #Se visualiza cuál fue la escogida en la salida anterior. A continuación
> #se muestra la matriz de confusión de la iteración seleccionada:
> cm <- as.data.frame(confMats[, ,which.max(evalMatrix[,"Kappa"])])
> colnames(cm) <- rownames(cm) <- paste("c",levels(as.factor(entren.df[, "layer"])) ,sep="_")
> knitr::kable(cm)

| | c_1| c_2| c_3| c_4|
|:---|:---:|:---:|:---:|:---:|
c_1 | 8| 6| 0| 1|
c_2 | 0| 48| 0| 12|
c_3 | 0| 2| 34| 0|
c_4 | 0| 8| 0| 196|

```

### Anexo 12: Validación del modelo de clasificación de ecosistemas para el 2020.

```

| | Accuracy| Kappa| PSS|
|:---|:---:|:---:|:---:|
R_1 | 0.902| 0.789| 0.737|
R_2 | 0.895| 0.761| 0.771|
R_3 | 0.928| 0.852| 0.842|
R_4 | 0.902| 0.805| 0.775|
R_5 | 0.915| 0.819| 0.779|
R_6 | 0.898| 0.783| 0.742|
R_7 | 0.908| 0.800| 0.774|
R_8 | 0.885| 0.764| 0.717|
> #Calculamos el promedio de las 20 rondas para cada una de las medidas y la
> #desviación estandar para conocer que tanta separabilidad hay en las rondas
> #de calibración
> round(apply(evalMatrix,2,FUN = function(x,...) c(mean(x,...), sd(x,...))), 3)
Accuracy Kappa PSS
[1,] 0.904 0.797 0.767
[2,] 0.013 0.030 0.038
> #Matriz de confusión con la mejor ronda
> evalMatrix[which.max(evalMatrix[,"Kappa"]), , drop=FALSE]
Accuracy Kappa PSS
R_3 0.9278689 0.8516045 0.8424196
> #Se visualiza cuál fue la escogida en la salida anterior. A continuación
> #se muestra la matriz de confusión de la iteración seleccionada:
> cm <- as.data.frame(confMats[, ,which.max(evalMatrix[,"Kappa"])])
> colnames(cm) <- rownames(cm) <- paste("c",levels(as.factor(entren.df[, "layer"])) ,sep="_")
> knitr::kable(cm)

| | c_1| c_2| c_3| c_4|
|:---|:---:|:---:|:---:|:---:|
c_1 | 0| 3| 4| 2|
c_2 | 0| 46| 0| 5|
c_3 | 0| 0| 36| 1|
c_4 | 0| 7| 0| 201|

```



### Anexo 13: Validación del modelo de clasificación de ecosistemas para el 2021.

```

| | Accuracy| Kappa| PSS|
|:---|-----:|-----:|-----:|
|R_1 | 0.895| 0.810| 0.793|
|R_2 | 0.898| 0.797| 0.762|
|R_3 | 0.874| 0.778| 0.750|
|R_4 | 0.855| 0.737| 0.705|
|R_5 | 0.886| 0.791| 0.787|
|R_6 | 0.902| 0.822| 0.808|
|R_7 | 0.932| 0.872| 0.856|
|R_8 | 0.871| 0.749| 0.735|
> #Calculamos el promedio de las 20 rondas para cada una de las medidas y la
> #desviación estandar para conocer que tanta separabilidad hay en las rondas
> #de calibración
> round(apply(evalMatrix,2,FUN = function(x,...) c(mean(x,...), sd(x,...))), 3)
Accuracy Kappa PSS
[1,] 0.889 0.794 0.774
[2,] 0.023 0.043 0.047
> #Matriz de confusión con la mejor ronda
> evalMatrix[which.max(evalMatrix[,"Kappa"]), , drop=FALSE]
Accuracy Kappa PSS
R_7 0.9323077 0.8722621 0.8557507
> #Se visualiza cuál fue la escogida en la salida anterior. A continuación
> #se muestra la matriz de confusión de la iteración seleccionada:
> cm <- as.data.frame(confMats[,which.max(evalMatrix[,"Kappa"])])
> colnames(cm) <- rownames(cm) <- paste("c",levels(as.factor(entren.df[, "layer"])) , sep="_")
> knitr::kable(cm)

| | c_1| c_2| c_3| c_4|
|:---|---:|---:|---:|---:|
|c_1 | 4| 9| 0| 3|
|c_2 | 0| 69| 0| 4|
|c_3 | 0| 0| 30| 1|
|c_4 | 0| 4| 1| 200|
>

```

### Anexo 14: Validación del modelo de clasificación de ecosistemas para el 2022.

```

| | Accuracy| Kappa| PSS|
|:---|-----:|-----:|-----:|
|R_1 | 0.928| 0.793| 0.751|
|R_2 | 0.922| 0.783| 0.765|
|R_3 | 0.928| 0.788| 0.724|
|R_4 | 0.933| 0.808| 0.754|
|R_5 | 0.922| 0.787| 0.741|
|R_6 | 0.916| 0.772| 0.747|
|R_7 | 0.928| 0.803| 0.769|
|R_8 | 0.901| 0.714| 0.662|
> #Calculamos el promedio de las 20 rondas para cada una de las medidas y la
> #desviación estandar para conocer que tanta separabilidad hay en las rondas
> #de calibración
> round(apply(evalMatrix,2,FUN = function(x,...) c(mean(x,...), sd(x,...))), 3)
Accuracy Kappa PSS
[1,] 0.922 0.781 0.739
[2,] 0.010 0.029 0.034
> #Matriz de confusión con la mejor ronda
> evalMatrix[which.max(evalMatrix[,"Kappa"]), , drop=FALSE]
Accuracy Kappa PSS
R_4 0.9333333 0.8084906 0.7542442
> #se visualiza cuál fue la escogida en la salida anterior. A continuación
> #se muestra la matriz de confusión de la iteración seleccionada:
> cm <- as.data.frame(confMats[,which.max(evalMatrix[,"Kappa"])])
> colnames(cm) <- rownames(cm) <- paste("c",levels(as.factor(entren.df[, "layer"])) , sep="_")
> knitr::kable(cm)

| | c_1| c_2| c_3| c_4|
|:---|---:|---:|---:|---:|
|c_1 | 0| 5| 0| 2|
|c_2 | 0| 36| 0| 11|
|c_3 | 0| 0| 21| 2|
|c_4 | 0| 3| 0| 265|
>

```

### Anexo 15: Prueba de normalidad de ecosistemas para el 2015 y 2022.

```

> bofedales <- shapiro.test(datos$Bofedales)
> print(bofedales)

      shapiro-wilk normality test

data:  datos$Bofedales
W = 0.85782, p-value = 0.1142

> #-----
> CuerposAgua <- shapiro.test(datos$Agua)
> print(CuerposAgua)

      shapiro-wilk normality test

data:  datos$Agua
W = 0.93536, p-value = 0.5661

> #-----
> herbazal <- shapiro.test(datos$Herbazal)
> print(herbazal)

      shapiro-wilk normality test

data:  datos$Herbazal
W = 0.7949, p-value = 0.02524

> #-----
> Escasavegetacion <- shapiro.test(datos$Escasavegetacion)
> print(Escasavegetacion)

      shapiro-wilk normality test

data:  datos$Escasavegetacion
W = 0.79463, p-value = 0.02507

> |

```

### Anexo 16: Prueba de normalidad de climas para el 2015 y 2022.

```

> Precipitacion <- shapiro.test(datos$Precipitacion)
> print(Precipitacion)

      shapiro-wilk normality test

data:  datos$Precipitacion
W = 0.95147, p-value = 0.726

> #-----
> TMx <- shapiro.test(datos$TMx)
> print(TMx)

      shapiro-wilk normality test

data:  datos$TMx
W = 0.96776, p-value = 0.8799

> #-----
> TMn <- shapiro.test(datos$TMn)
> print(TMn)

      shapiro-wilk normality test

data:  datos$TMn
W = 0.85425, p-value = 0.1052

> |

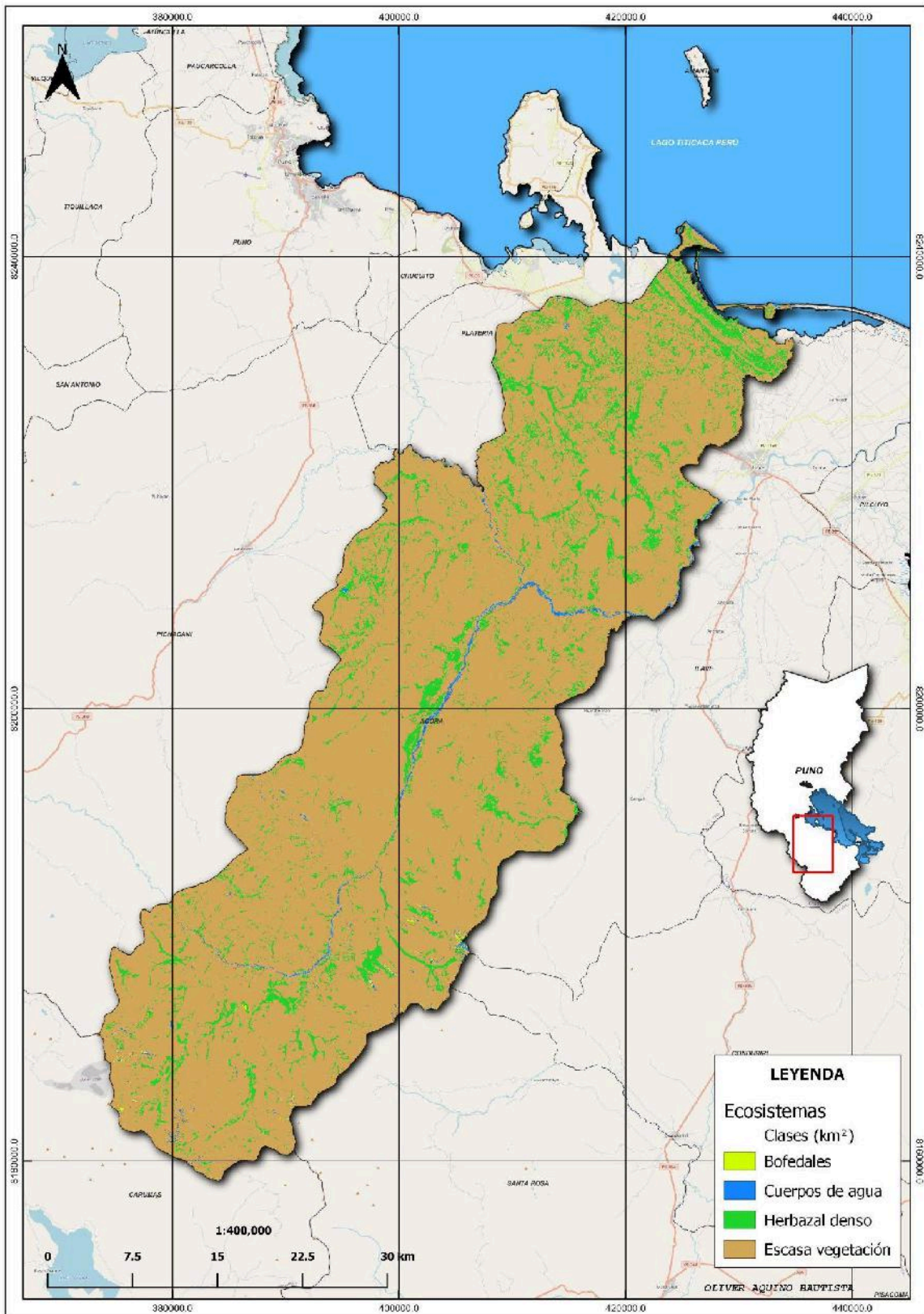
```

**Anexo 17:** Área de ecosistemas en (km<sup>2</sup>) para el periodo 2015 y 2022.

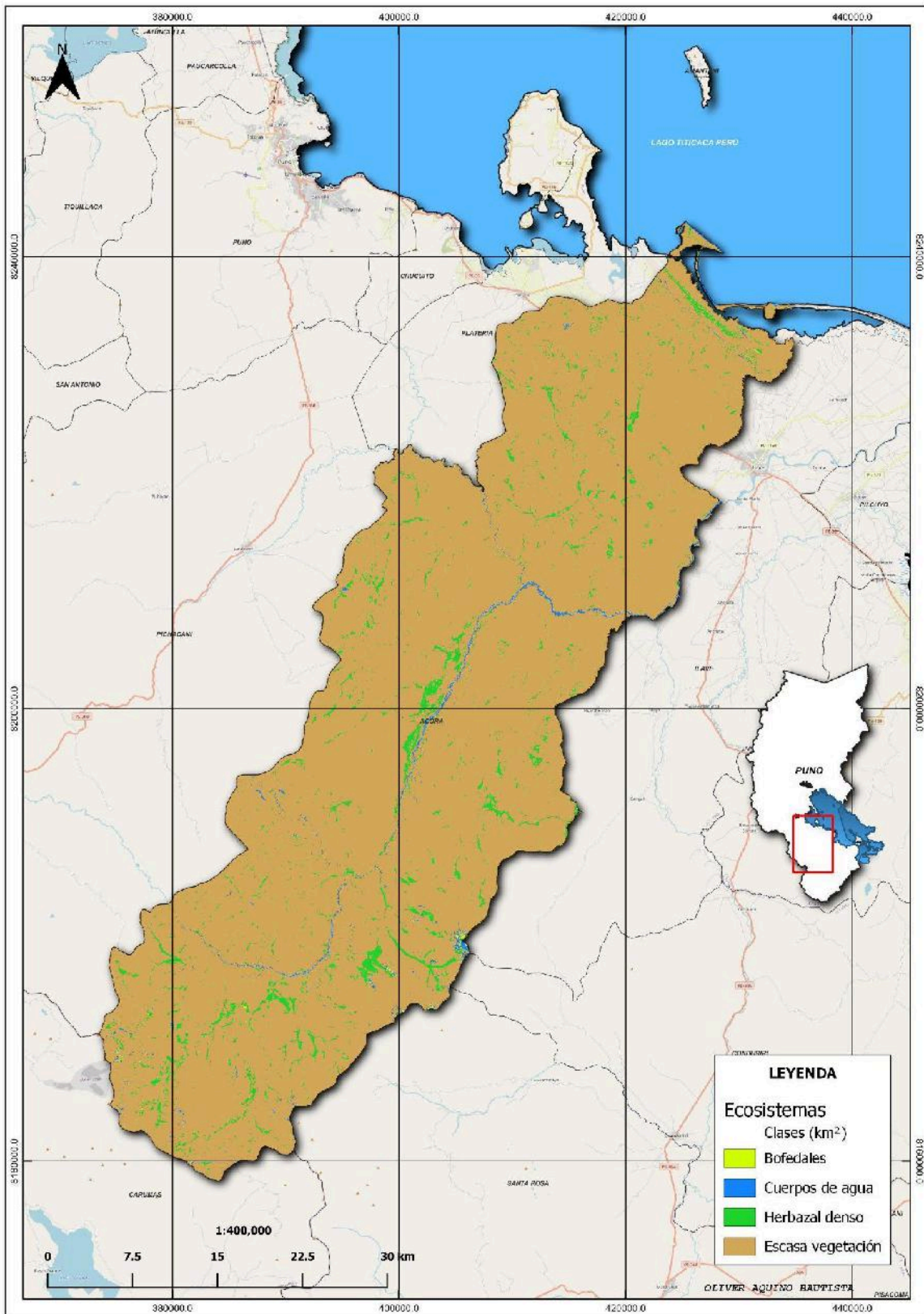
Ecosistemas	Periodo de años								Total
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
Bofedales	2.5992	1.3905	0.7929	6.1911	1.0746	0.1503	3.5217	0.3114	<b>16.0317</b>
Cuerpos de agua	16.4781	14.3811	16.0371	14.0526	14.5962	11.0916	18.351	11.088	<b>116.0757</b>
Herbazal denso	204.6132	74.4903	120.0888	55.3662	70.1739	69.8157	47.8701	35.2782	<b>677.6964</b>
Escasa vegetación	1698.2793	1831.7079	1785.051	1846.3599	1836.1251	1840.9122	1852.227	1875.2922	<b>14565.9546</b>
<b>Total</b>	<b>1921.9698</b>	<b>1921.9698</b>	<b>1921.9698</b>	<b>1921.9698</b>	<b>1921.9698</b>	<b>1921.9698</b>	<b>1921.9698</b>	<b>1921.9698</b>	<b>15375.7584</b>



Anexo 18: Mapa de ecosistemas del año 2015.

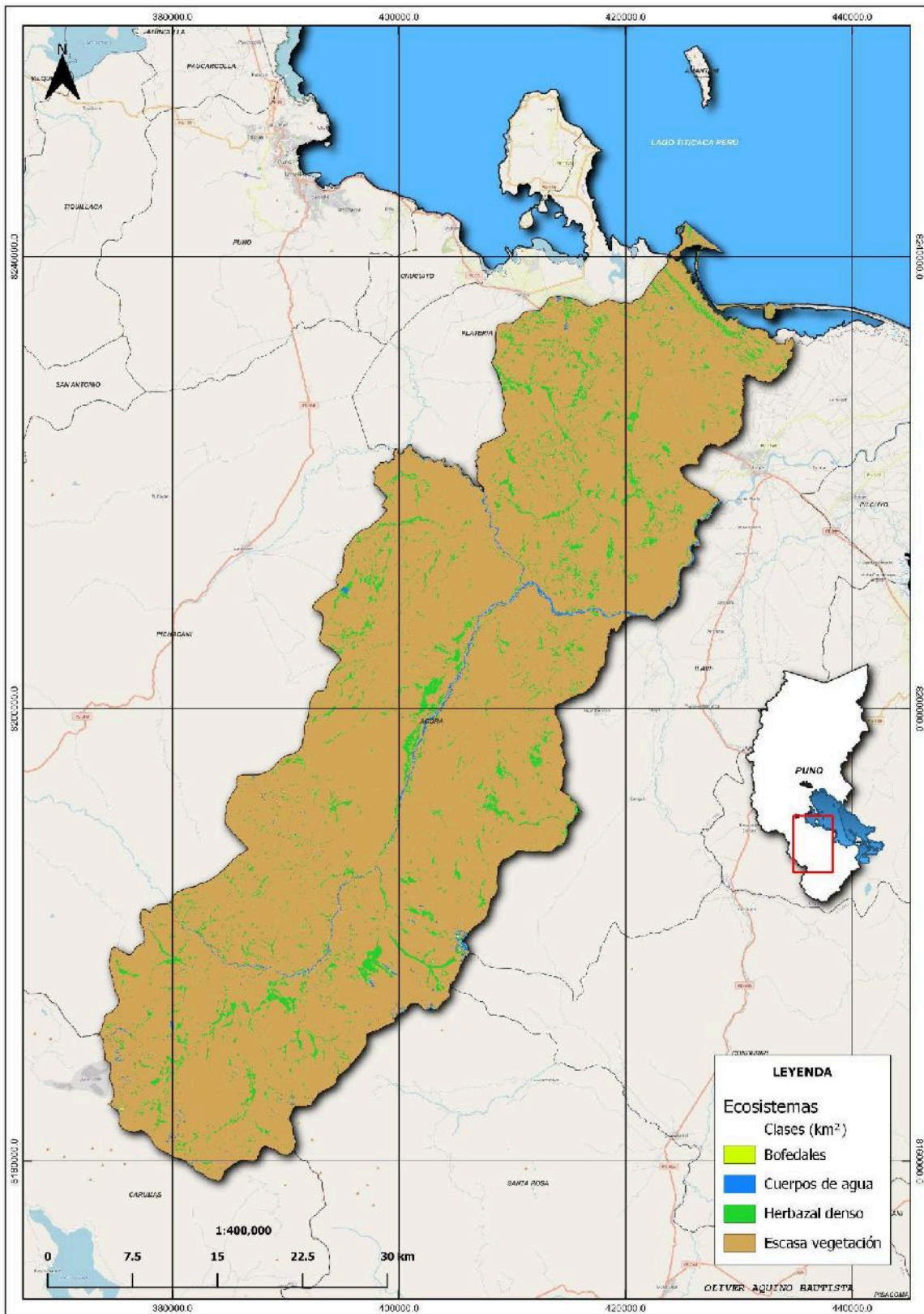


Anexo 19: Mapa de ecosistemas del año 2016.

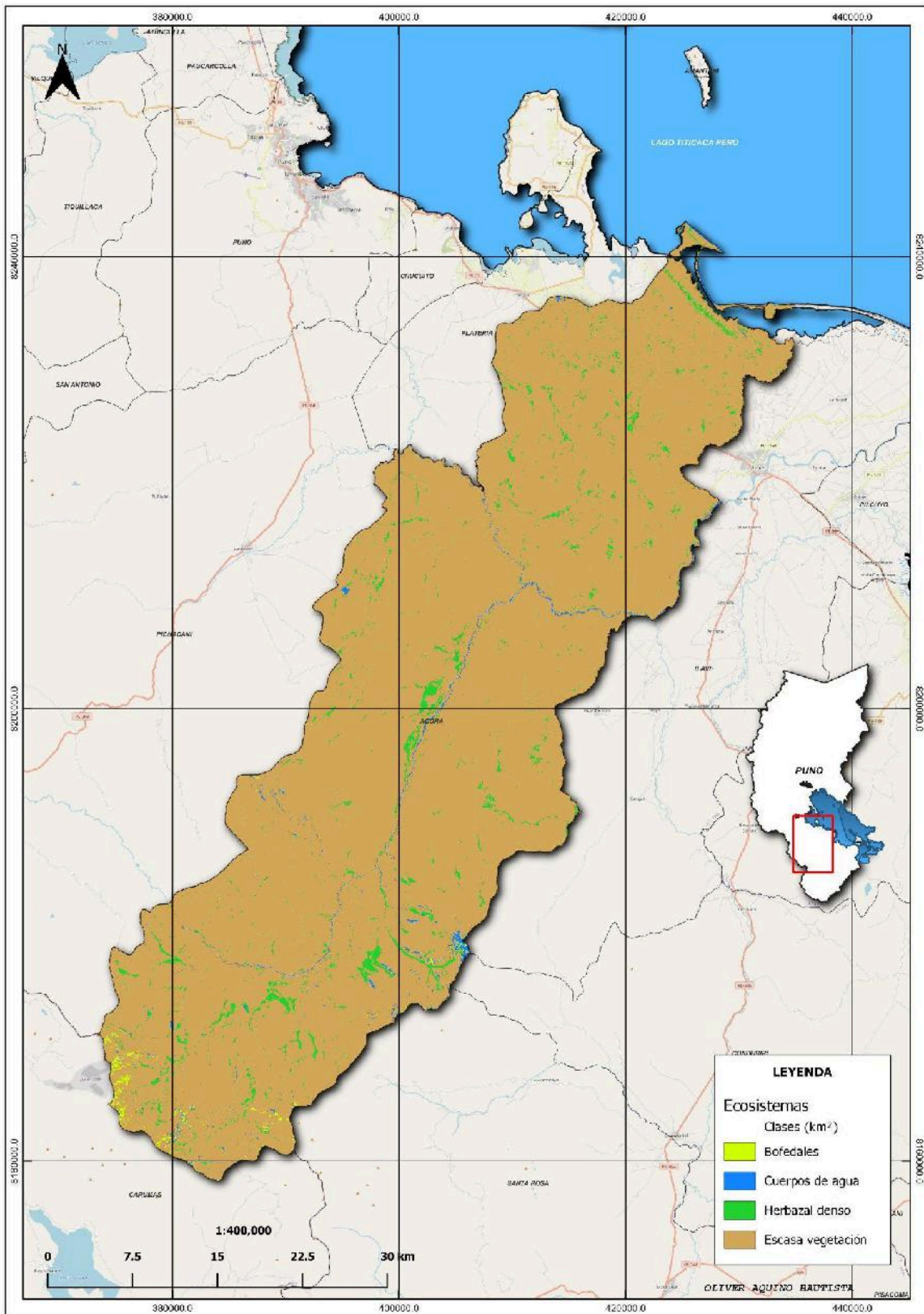




Anexo 20: Mapa de ecosistemas del año 2017.

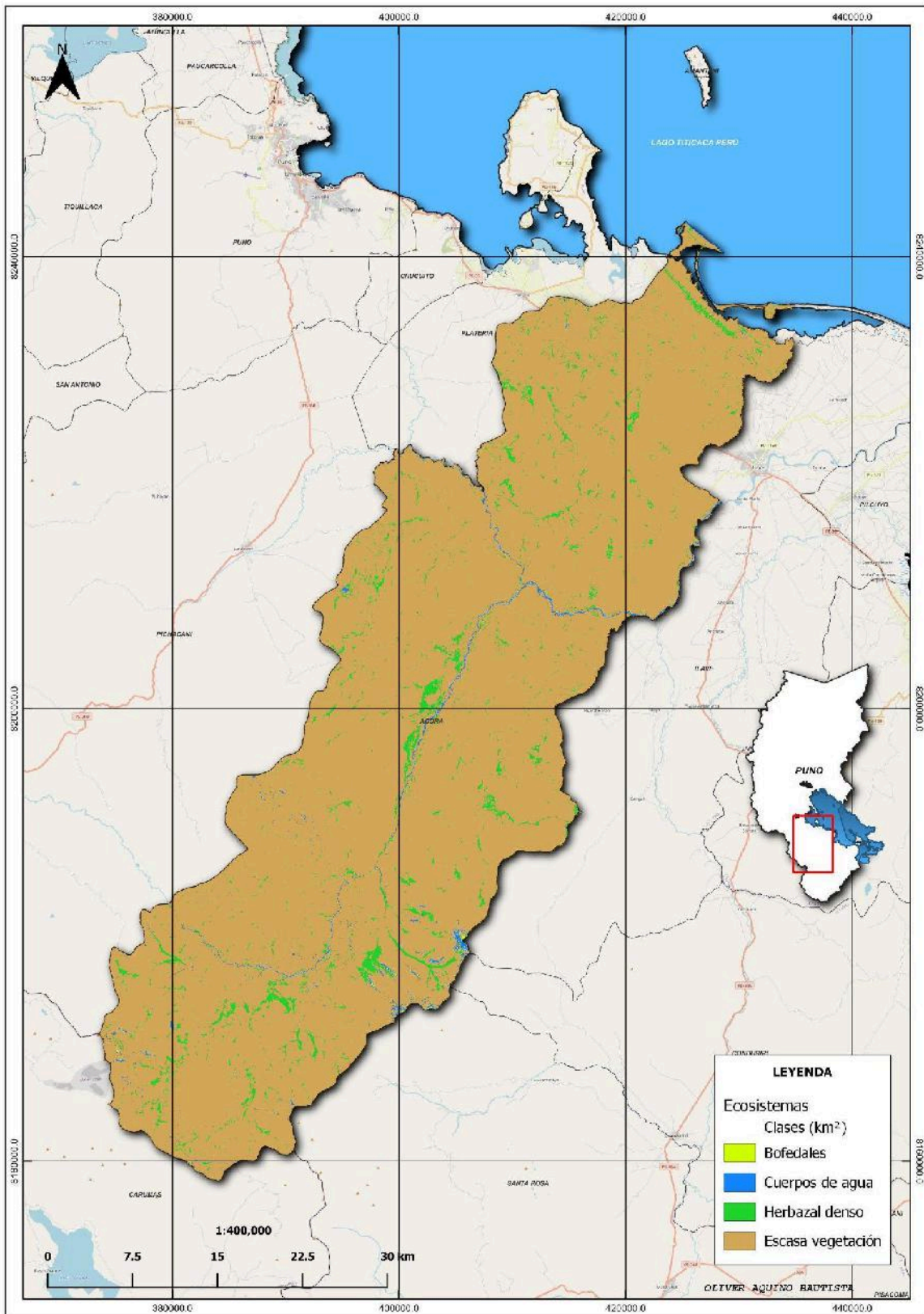


Anexo 21: Mapa de ecosistemas del año 2018.

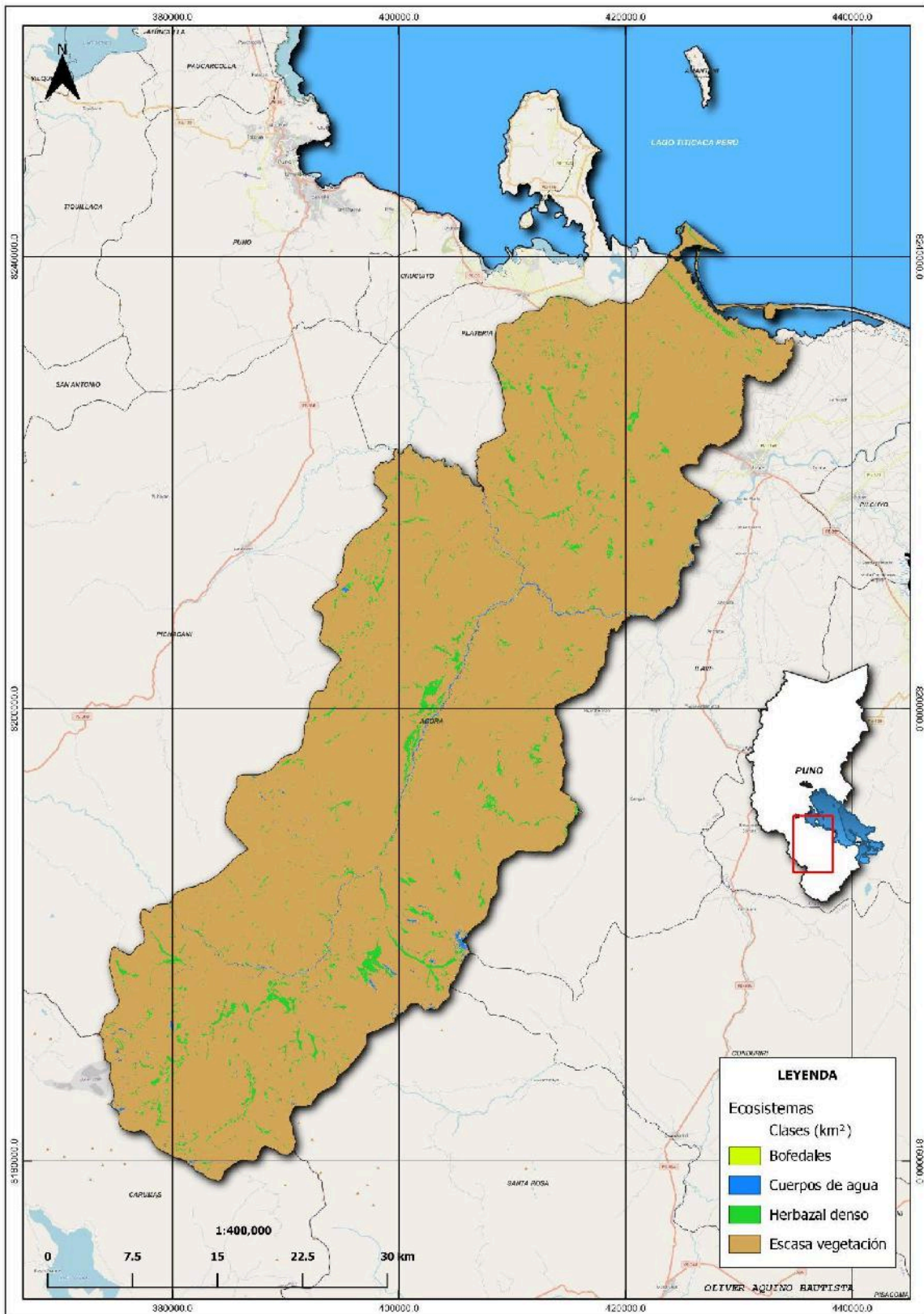




Anexo 22: Mapa de ecosistemas del año 2019.

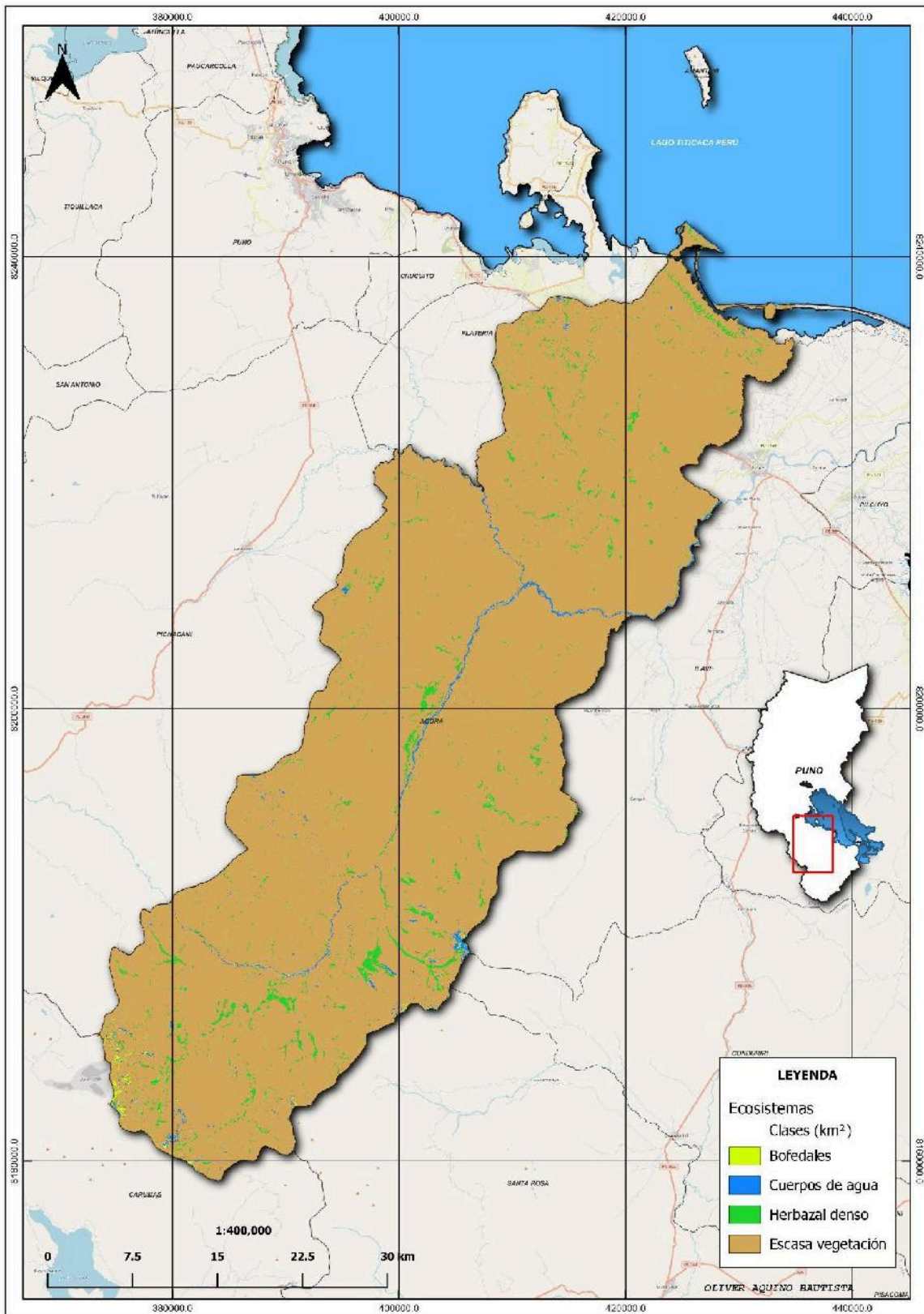


Anexo 23: Mapa de ecosistemas del año 2020.

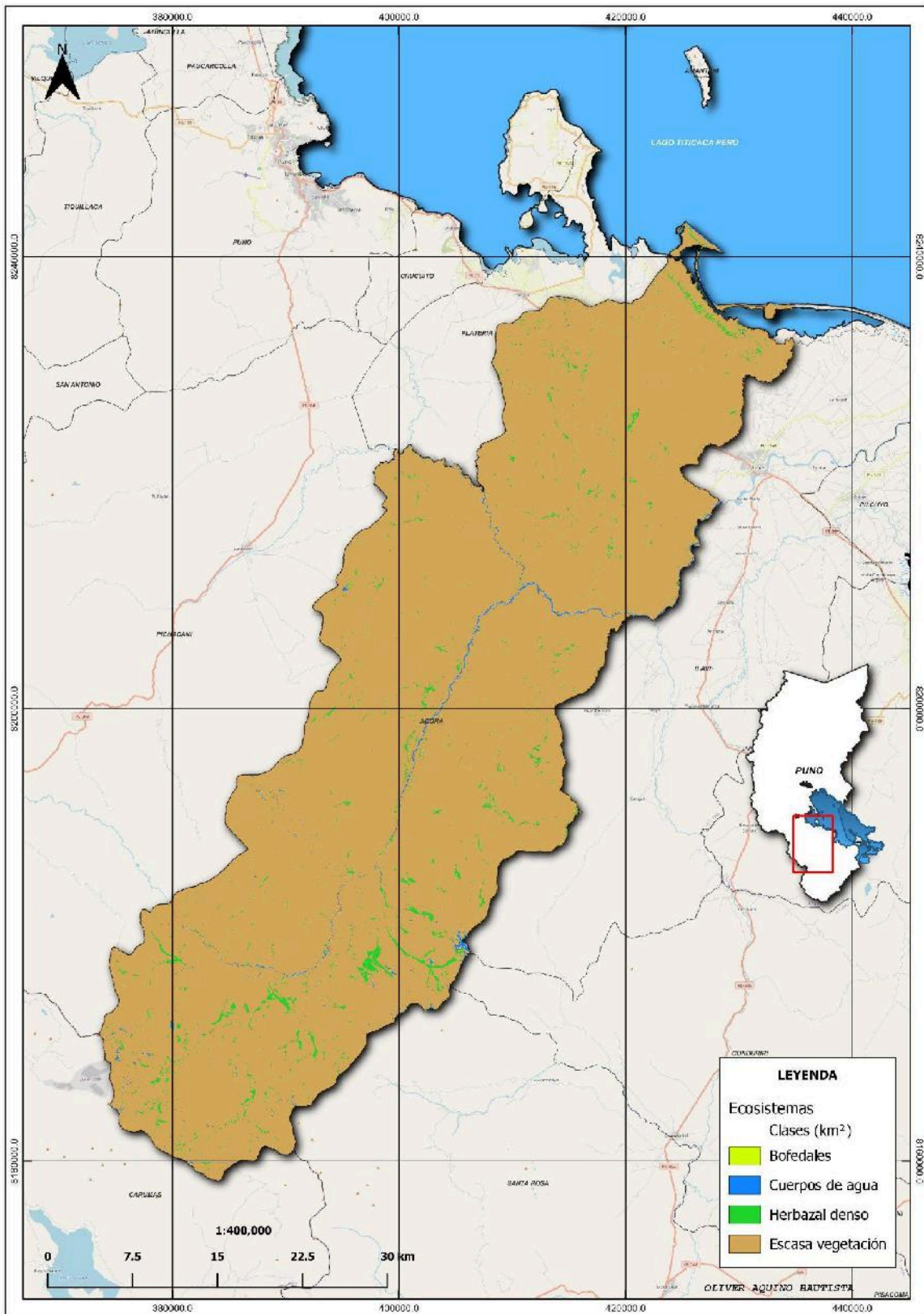




Anexo 24: Mapa de ecosistemas del año 2021.



Anexo 25: Mapa de ecosistemas del año 2022.





**Anexo 26:** Panel fotográfico.



**Figura 01:** Ubicación del ecosistema bofedal.



**Figura 02:** Ubicación del ecosistema bofedal.





**Figura 03:** Ubicación del ecosistema bofedal.

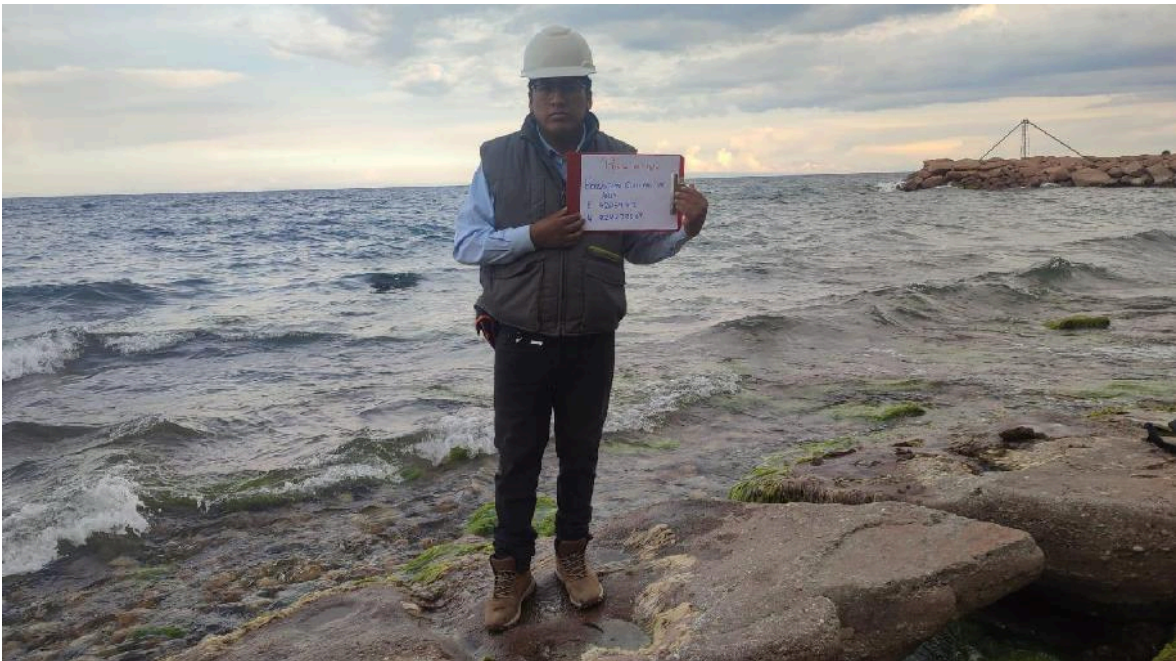


**Figura 04:** Ubicación del ecosistema de cuerpos de agua.





**Figura 05:** Ubicación del ecosistema de cuerpos de agua.



**Figura 06:** Ubicación del ecosistema de cuerpos de agua.





**Figura 07:** Ubicación del ecosistema herbazal denso.



**Figura 08:** Ubicación del ecosistema herbazal denso.





**Figura 09:** Ubicación del ecosistema herbazal denso.



**Figura 10:** Ubicación del ecosistema escasa vegetación.





**Figura 11:** Ubicación del ecosistema escasa vegetación.



**Figura 12:** Ubicación del ecosistema escasa vegetación.





**Figura 13:** Ubicación del ecosistema escasa vegetación.



**Figura 14:** Ubicación del ecosistema escasa vegetación.





**Figura 15:** Ubicación del ecosistema escasa vegetación.



**Figura 16:** Ubicación del ecosistema escasa vegetación.