

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**

**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL**



**MODELO DE SIMULACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DEL PROCESO  
DE CAMBIO DE LA COBERTURA VEGETAL Y TEMPERATURA  
AMBIENTAL EN EL DISTRITO DE DANIEL ALOMÍA ROBLES –  
HUÁNUCO, 2021**

**Tesis**

**Para optar el título de:**

**INGENIERO AMBIENTAL**

**PRESENTADO POR:**

**MORA CALIXTO PATRICK GIUSSEPE**

**Tingo Maria – Perú**

**2023**



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**

Tingo María – Perú

**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**



## **ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N°41 -2023-FRNR-UNAS**

Los que suscriben, miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 25 de mayo del 2023 a horas 4:30 p.m. de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

**“MODELO DE SIMULACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DEL PROCESO DE CAMBIO DE LA COBERTURA VEGETAL Y TEMPERATURA AMBIENTAL EN EL DISTRITO DE DANIEL ALOMÍA ROBLES-HUÁNUCO,2021”**

Presentado por el Bachiller: **MORA CALIXTO, PATRICK GIUSSEPE**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **“MUY BUENO”**.

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del título correspondiente.

Tingo María, 31 de mayo de 2023

**Dr. CASIANO AGUIRRE ESCALANTE**  
**PRESIDENTE**

**Ing. M. Sc. EDILBERTO DÍAZ QUINTANA**  
**MIEMBRO**



**Ing. M. Sc MARCO ANTONIO DUEÑAS TUESTA**  
**MIEMBRO**

**Dr. LUIS EDUARDO ORÉ CIERTO**  
**ASESOR**



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**REPOSITORIO INSTITUCIONAL DIGITAL**  
(RIDUNAS)

Correo: [repositorio@unas.edu.pe](mailto:repositorio@unas.edu.pe)



“Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

**CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 140 - 2023 - CS-RIDUNAS**

El Coordinador de la Oficina de Repositorio Institucional Digital de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

**CERTIFICA QUE:**

El trabajo de investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Facultad:

Facultad de Recursos Naturales Renovables

Tipo de documento:

Tesis	X	Trabajo de investigación	
-------	---	--------------------------	--

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
MODELO DE SIMULACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DEL PROCESO DE CAMBIO DE LA COBERTURA VEGETAL Y TEMPERATURA AMBIENTAL EN EL DISTRITO DE DANIEL ALOMÍA ROBLES – HUÁNUCO, 2021	MORA CALIXTO PATRICK GIUSSEPE	<b>16%</b> <b>Dieciséis</b>

Tingo María, 07 de junio de 2023

  
**Mg. Ing. García Villegas, Christian**  
Coordinador del Repositorio Institucional  
Digital (RIDUNAS)

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL**



**MODELO DE SIMULACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DEL PROCESO  
DE CAMBIO DE LA COBERTURA VEGETAL Y TEMPERATURA  
AMBIENTAL EN EL DISTRITO DE DANIEL ALOMÍA ROBLES –  
HUÁNUCO, 2021**

<b>Autor</b>	<b>: Bach. Mora Calixto, Patrick Giussepe</b>
<b>Asesor</b>	<b>: Dr. Luis Eduardo Oré Cierito</b> <b>Ing. Juan Daniel Oré Cierito</b>
<b>Programa de investigación</b>	<b>: Gestión ambiental</b>
<b>Línea de investigación</b>	<b>: Evento geoespaciales</b>
<b>Eje temático</b>	<b>: Modelización de variables geoespaciales</b>
<b>Lugar de ejecución</b>	<b>: Distrito de Daniel Alomía Robles</b>
<b>Duración</b>	<b>: 6 meses</b>
<b>Financiamiento</b>	<b>: S/.3,623.40</b>

**Tingo María – Perú**

**2023**

## **DEDICATORIA**

A Dios, porque siempre me guía y lleva por el buen camino, por darme las fuerzas necesarias para seguir adelante y afrontar los problemas que se presentan día a día, enseñándome a afrontar y a superar las limitaciones sin perder la humildad y los buenos valores inculcados.

A la memoria de mi abuelito Zósimo Calixto Jaimes, fallecido a sus 66 años, poco antes de culminar mi tesis y quien fue la principal persona que impulso en realizar los estudios superiores como la tesis y quien me enseñó los valores y la humildad que los conservaré hasta los últimos días de vida.

A mis padres y abuela: Jenny Silvia Calixto Rodríguez y Alex Mora Pinedo, Ida Rodríguez Camavilca por sus consejos, enseñanza y apoyo que me brindaron en todo momento.

A mis hermanos: Jeanpiers Alexander Mora Calixto, Karla Nicole Mora Calixto, Marianne Juliet Mora Calixto y Geanlucas Hassiel Irigoin Calixto, por siempre darme fuerzas para salir adelante en la vida y contar con su cariño y aprecio que me dieron durante este proceso.

**El autor**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, porque con su misericordia y amor, me permites gozar de cada uno de mis logros que son gracias a la ayuda que me brinda, y cada tropiezo que tengo siempre me sirve para mejorar como ser humano. Gracias a la bendición que me brindas se pudo realizar la tesis y siempre estaré agradecido, ya una gran meta de mi vida esta cumplido.

A mis amigos: Ashly Unzueta, José Girón, Jorge Huamán, Jorge Alejandro Suarez y Gustavo Orbegoso, por el apoyo y los consejos brindados en mi día a día durante todo este proceso.

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, por la formación brindada y gracias a los docentes que participaron en todo este proceso, ya sea indirecta o directamente, gracias a sus enseñanza y aportes, que hoy culmina mi paso por la universidad.

Al Dr. Luis Eduardo Oré Cierto, por la enseñanza en la formulacion del proyecto de tesis y por el acesoramiento brindado en todo momento de la ejecucion, redactacion y sustentacion de la misma.

## ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Objetivo general.....	1
1.2. Objetivos específico.....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Cobertura vegetal.....	3
2.1.1. Cambio de cobertura vegetal .....	3
2.1.1.1. La expansión agropecuaria .....	3
2.1.1.2. Minería .....	3
2.1.1.3. Deforestación .....	4
2.1.1.4. Apertura de vía terrestre.....	4
2.2. Temperatura ambiental .....	5
2.3. Teledetección espacial .....	1
2.4. Imágenes satelitales .....	6
2.4.1. Resolución de las imágenes.....	6
2.4.2. Tipo de imágenes satelitales .....	7
2.5. Satélites Landsat .....	7
2.5.1. Landsat 5 .....	7
2.5.1.1. Instrumentos del satélite .....	7
2.5.2. Landsat 8 .....	7
2.5.2.1. Instrumentos del satélite Landsat 8.....	8
2.6. Procesamiento de Imágenes satelitales .....	8
2.6.1. Corrección radiométrica .....	8
2.6.2. Corrección geométrica.....	8
2.6.3. Corrección atmosférica.....	9
2.6.4. Corrección topográfica .....	9

2.7.	Índice de vegetación de diferencia normalizada.....	9
2.8.	Tasa de cambio de cobertura vegetal.....	10
2.9.	Antecedentes.....	10
2.9.1.	Internacionales.....	10
2.9.2.	Nacionales .....	11
III.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	14
3.1.	Lugar de ejecución.....	14
3.1.1.	Ubicación geográfica.....	14
3.1.2.	Ubicación política.....	14
3.1.3.	Descripción del lugar.....	14
3.1.3.1.	Clima.....	14
3.1.3.2.	Hidrología .....	15
3.1.3.3.	Geología.....	15
3.1.3.4.	Geomorfología .....	15
3.1.3.5.	Pendientes .....	15
3.1.3.6.	Zonas de vida .....	16
3.2.	Material y métodos .....	16
3.2.1.	Materiales y equipos.....	16
3.2.2.	Metodología.....	16
3.2.2.1.	Modelación y simulación del comportamiento espacio – tiempo y la cobertura vegetal del distrito de Daniel Alomía Robles .....	16
3.2.2.2.	Modelación y simulación del comportamiento espacio – tiempo y la temperatura ambiental del distrito de Daniel Alomía Robles. ....	24
3.2.2.3.	Modelación y simulación el comportamiento espacio – tiempo, la temperatura ambiental y la cobertura vegetal del distrito de Daniel Alomía Robles.....	25
3.2.2.4.	Análisis de estudio .....	26

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	29
4.1. Modelación y simulación del comportamiento espacio – tiempo y la cobertura vegetal del distrito de Daniel Alomía Robles .....	29
4.1.1. Determinación del modelo para los procesos de cambio de cobertura vegetal periodo del año 2000 al 2010 y del periodo 2010 al 2020 en el distrito de Daniel Alomía Robles .....	29
4.1.2. Determinación de la tasa de cambio de cobertura vegetal en el distrito de Daniel Alomía Robles .....	32
4.1.3. Validación del proceso de cambio de cobertura vegetal para el año 2030 .....	37
4.1.4. Simulación del proceso de cambio de cobertura vegetal para el año 2030 .....	38
4.2. Modelación y simulación del comportamiento espacio – tiempo y la temperatura ambiental del distrito de Daniel Alomía Robles.....	39
4.2.1. Modelo para el año 2000.....	39
4.2.2. Modelo para el año 2010.....	40
4.2.3. Modelo para el año 2020.....	41
4.3. Modelación y simulación el comportamiento espacio – tiempo, la temperatura ambiental y la cobertura vegetal del distrito de Daniel Alomía Robles. ....	43
V. CONCLUSIÓN .....	48
VI. PROPUESTAS A FUTURO .....	49
VII. REFERENCIAS .....	50
ANEXOS .....	54

## ÍNDICE DE TABLA

Tabla .....	Página
1. Ubicación geográfica del distrito Daniel Alomía Robles .....	14
2. Imágenes satelitales .....	17
3. Clasificación de cobertura de vegetal. ....	20
4. Matriz de confusión .....	21
5. Valoración del índice Kappa.....	22
6. Operacionalización de variables .....	27
7. Error del número de muestreo para cada clasificación .....	28
8. Clasificación de cobertura vegetal en el distrito de Daniel Alomía Robles del periodo 2000 .....	29
9. Clasificación de cobertura vegetal en el distrito de Daniel Alomía Robles del periodo 2010 .....	30
10. Clasificación de cobertura vegetal en el distrito de Daniel Alomía Robles del periodo 2020 .....	31
11. Áreas de Cobertura vegetal en el distrito de Daniel Alomía Robles durante los periodos 2000, 2010 y 2020.....	31
12. Tasa de cambio de cobertura vegetal del periodo 2000 al 2010 .....	36
13. Tasa de cambio de cobertura vegetal del periodo 2010 al 2020 .....	36
14. Matriz de confusión .....	37
15. Clasificación de cobertura vegetal en el distrito de Daniel Alomía Robles para el periodo 2030 .....	38
16. Correlación de Pearson para la altitud y temperatura ambiental para el año 2000.....	39
17. Correlación de Pearson para la altitud y temperatura ambiental para el año 2010.....	40
18. Correlación de Pearson para la altitud y temperatura ambiental para el año 2020.....	42
19. Prueba de normalidad .....	43
20. Coeficiente de correlación y determinación para la temperatura ambiental.....	43
21. Regresión lineal múltiples para el modelo de temperatura ambiental en función de los años y la clase de cobertura vegetal .....	44
22. Ubicación de los puntos de validación en coordenadas.....	55
23. Tasa de cambio de cobertura vegetal del periodo 2020 al 2030 .....	61
24. Datos de temperatura ambiental de las estaciones cercanas .....	62
25. Probabilidad de cambios de cobertura vegetal de acuerdo a la clasificación .....	62
26. Datos para la regresión lineal múltiple según la clasificación de cobertura vegetal ....	63

27. Correlación para la vegetación densa .....	63
28. Correlación para la vegetación dispersa .....	63
29. Correlación para la clase de sin vegetación .....	64

## ÍNDICE DE FIGURA

Figura	Página
1. Ubicación política del distrito de Daniel Alomía Robles.....	14
2. Data de ingreso para la simulación 2030. ....	24
3. Regresión lineal según la clase de cobertura vegetal para los años 2000, 2010 y 2020. ....	32
4. Ganancias y pérdidas del periodo 2000 al 2020.....	33
5. Cambio de cobertura vegetal del 2000 al 2010.....	34
6. Cambio de cobertura vegetal del 2010 al 2020.....	35
7. Regresión de la temperatura ambiental y el nivel altitudinal para el año 2000 .....	40
8. Regresión de la temperatura ambiental y el nivel altitudinal para el año 2010 .....	41
9. Regresión de la temperatura ambiental y el nivel altitudinal para el año 2020 .....	42
10. Temperatura ambiental en función de la vegetación densa para el año 2020.....	45
11. Temperatura ambiental en función de la vegetación dispersa para el año 2020 .....	46
12. Temperatura ambiental en función de la clase sin vegetación para el año 2020 .....	47
13. Cuerpo de agua.....	65
14. Vegetación dispersa-cultivo de plátano .....	65
15. Vegetación dispersa-caserío Huamancoto .....	66
16. Cambio de cobertura vegetal para 3 clasificaciones .....	66
17. Caserío San Pablo .....	67
18. Vegetación dispersa-especies forestales .....	67
19. Sin vegetación-Caserío Alto Peregrino .....	68
20. Vegetación densa-Caserío San Cristóbal .....	68
21. Ruteo de la coordenadas-clase cuerpo de agua .....	69

## RESUMEN

La cobertura vegetal y la temperatura ambiental a través de los niveles altitudinales se encuentran relacionados; y estos procesos son manejados por softwares de sistemas de información geográficas (SIG) como lo son el QGIS y el Idrisi, que a través de sus algoritmos se puede percibir los cambios a futuro.

Se utilizó las imágenes satelitales Landsat 5 y 8; luego se realizó el cálculo del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y la correspondiente reclasificación a través de plugin Semi-Automatic Classification para los diferentes periodos de evaluación, para la validación del mapa del año 2020 con el índice Kappa obteniéndose un valor de 83% con una fuerza de concordancia de casi perfecta. Luego, se utilizó el software Idrisi para la simulación al año 2030 con los ráster de los periodos 2010 y 2020, siendo la clasificación de vegetación densa que sufrió una disminución en la tasa de cambio cobertura de  $-4,47 \text{ \%/año}$ ; el cual indica una pérdida de la cobertura en el distrito de Daniel Alomía Robles.

Después, se determinó los modelos de temperatura con la altitud que fueron obtenidas por las estaciones meteorológicas cercanas y a su vez se relacionó este modelo con la cobertura vegetal y los periodos en estudio, para la generación de los modelos matemáticos. Finalmente, con los modelos temperatura ambiental con su respectiva clasificación de la cobertura vegetal, se determinó que la vegetación densa que presenta el menor rango de temperatura que va desde los  $17,51 \text{ °C}$  a los  $27,106 \text{ °C}$ .

**Palabra clave:** SIG, QGIS, Idrisi, NDVI, DEM, Semi-Automatic Classification, índice Kappa, validación

# **A Model of the Spatiotemporal Simulation for the Process of Change in the Vegetative Coverage and the Air Temperature in the Daniel Alomia Robles District of Huanuco in 2021**

## **Abstrac**

The vegetative coverage and the air temperature at different altitude levels has been found to be related, and these processes are handled by geographical information systems software (GIS; SIG in Spanish), such as QGIS and IDRISI, which, using their algorithms, can perceive future changes.

The Landsat 5 and 8 satellite images were used; [and] later the calculation of the normalized difference vegetation index (NDVI) was calculated, [along with] the corresponding reclassification using the Semi-Automatic Classification plug-in for the different periods of evaluation in order to validate the map from the year 2020 with the Kappa index, where a value of 83% was obtained, with an almost perfect concordance strength. Later, the IDRISI software was used for the simulation through the year 2030, with the rosters from the 2010 and 2020 periods, with a classification of dense vegetation which suffered a drop in the change of coverage rate of 4.47%/year, thus, indicating a loss in the coverage within the Daniel Alomia Robles district.

Afterwards, the temperature models were determined with the altitude, which were obtained from the nearest meteorological stations, and at the same time this model was compared to the vegetative coverage for the period in study, in order to generate the mathematical models. Finally, with the air temperature models and the respective classification of the vegetative coverage, the vegetative density was determined, which presented the lowest rage of temperature, from 17.51°C to 27.106 °C.

**Key words:** GIS, QGIS, IDRISI, NDVI, DEM, Semi-Automatic Classification, Kappa index, validation

## I. INTRODUCCIÓN

El cambio de cobertura vegetal es la alteración o perturbación de las propiedades biofísicas del territorio. Las alteraciones son acontecimientos concernientemente que se dan a través del ámbito y periodo, los cuales modifican las distribuciones poblacionales, comunidades y hábitat. La deforestación es un proceso de extraer la cobertura de los árboles a través de actividades económicas antrópicas, tales como el sector minero, agrícola, construcción, entre otros., así como el crecimiento poblacional a lo largo del territorio, pero de forma natural los procesos de sucesión y regresión ecológica también son causantes de la deforestación.

El distrito de Daniel Alomía Robles es de clima oscilante, por lo que presenta variados ecosistemas asociados a coberturas vegetales ricas en biodiversidad, sin embargo, la cobertura vegetal en el distrito se ve amenazado por las acciones humanas, como la agricultura y el crecimiento poblacional trayendo consecuencias posteriores y una forma de visualizar las transformaciones es considerando el progreso de las 2 herramientas informáticas para su uso, cuales están direccionadas a la investigación de los recursos naturales, ya que en el distrito presenta muchos cambios sucesionales ya sea sucesión ecológica o regresión ecológica. Entonces para predecir y comprender el cambio de los procesos de sucesión ecológica se debe modelizar para tener una percepción futura, en tanto la simulación prospectiva que facilita una activa herramienta de ayuda para una decisión inmediata. También viéndose afectado la temperatura ambiental, con un aumento dentro de los cambios de cobertura vegetal, producidas al modificar de una clasificación a otra y así afectando a los microclimas que existen dentro de las coberturas boscosas.

El distrito de Daniel Alomía Robles está experimentando cambios en su cobertura vegetal generalmente por la actividad antropogénica y de manera natural, además se viene generando un aumento en la temperatura ambiental, es por este motivo que la presente investigación se plantea la siguiente interrogante: ¿Cuál es el nivel de validación del modelo de simulación espacio – temporal del proceso de cambio de la cobertura vegetal y temperatura ambiental en el distrito de Daniel Alomía Robles, Huánuco – Perú, 2021?

El modelo de simulación espacio – temporal tendrá un nivel de validación mayor del 80% en el proceso de la cobertura vegetal y temperatura ambiental en el distrito de Daniel Alomía Robles, 2021.

### 1.1. Objetivo general

Modelar y simular el espacio – temporal del proceso de cambio de la cobertura vegetal y temperatura ambiental en el distrito de Daniel Alomía Robles – Huánuco, 2021.

## **1.2. Objetivos específico**

Modelar y simular para el año 2030 el comportamiento espacio – temporal y la cobertura vegetal del distrito de Daniel Alomía Robles.

Modelar y simular el comportamiento espacio – tiempo y la temperatura ambiental del distrito de Daniel Alomía Robles.

Modelar y simular el comportamiento espacio – tiempo, la cobertura vegetal y la temperatura ambiental del distrito de Daniel Alomía Robles.

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1. Cobertura vegetal**

Para su adecuada caracterización es importante realizar el estudio espacio-temporal para visualizar los cambios que se dan por la influencia de las actividades antrópicas, y con ello, comprender y pronosticar la dinámica de los elementos del paisaje; asimismo, al tener en claro dicho cambio asegura, en un marco normativo, a que se tomen decisiones para la organización de proyectos que generan sostenimiento de las riquezas naturales (Torres, 2019).

Cabe resaltar que se debe diferenciar el término de cobertura vegetal y uso de suelo, el primero amerita a lo natural o artificial, a un espacio que mantiene las características de un sistema, tales como los bosques, sabanas, lagunas, etc., y/o espacios creados por el hombre; el segundo hace referencia a espacio que ya han sido intervenidos por acciones del hombre, tal como menciona Torres (2019), que es resultado de establecimientos y actividades económicas sobre la cobertura del suelo para el gozo de las exigencias del hombre (cultivos, ciudades, represas, etc).

#### **2.1.1. Cambio de cobertura vegetal**

Factor de cambio como resultado de las actividades desarrolladas en un espacio, sufriendo transformaciones, dicho cambio de cobertura vegetal es el reflejo de cambios pequeños a causa de lo siguiente:

##### **2.1.1.1. La expansión agropecuaria**

Como menciona Ibáñez (2019), la actividad agropecuaria provoca el desmonte masivo e irracional, cambiando un ecosistema (con un efecto negativo en escala), cambiando la tierra designada como bosque (con efecto positivo sobre el medio ambiente) a tierras habilitadas para actividades de ganadería y agricultura.

##### **2.1.1.2. Minería**

La minería representa una actividad que aplica un sinnúmero de acciones a corto plazo, las cuales repercuten a largo plazo; este junto a las actividades de extracción de petróleo ocasionan una amenaza del 30% en zonas con extensiones de bosque primario. Para el funcionamiento maneja los bienes y servicios de la naturaleza, como el consumo del agua, que provoca la reducción de la napa freática. Durante el proceso de la minería el agua residual contiene componentes dañinos que permanecen durante muchos años (Lillo, 2006).

### **2.1.1.3. Deforestación**

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2020), para valorar las riquezas forestales conceptualiza a la deforestación como la transición de bosques a diferentes utilidades de la tierra de forma independiente (de origen humano o no). Se debe tener en cuenta lo siguiente:

Con las actividades agropecuarias, actividades extractivas y urbanas que son la reconversión de los bosques.

No se considera las áreas donde se hayan eliminado a los árboles como reflejo de la recolección o tala, y a los cuales se espera la regeneración natural mediante prácticas silvícolas.

Asimismo, se dice que este es la exclusión de la cobertura forestal, dicho cambio es causado por el ser humano o la naturaleza según el D.S. N° 018-2015-MINAGRI. Actualmente las acciones del hombre son de mayor impacto destructor, ya que anualmente se tienen millones de hectáreas talas o quemadas (Salgado, 2014).

El incremento de la población en todo el mundo y el posicionamiento de las viviendas ocasionan la transformación de utilización de suelo de la cobertura vegetal original en terrenos agropecuarios teniendo pérdidas de cobertura arbórea en la región (Carabias et al., 2016). Los bosques y selvas son víctimas del crecimiento urbano constante (Salgado, 2014).

Si nos enfocamos en la principal actividad causante de la deforestación, Salgado (2014) identifica a la agricultura con el inductor, ya que mediante la tala abren paso a que se tengan espacios para un cambio de cultivo o para el pastoreo de ganado.

En su estudio, Salgado (2014) también menciona que los leñadores, son principalmente involucrados de forma furtiva, ya que, para extraer la madera, abren paso a carreteras como acceso a los bosques.

Es así como la deforestación atenta en zonas, provocando la inhibición del crecimiento de nuevos árboles, a raíz de los incendios forestales y el pastoreo intensivo (Salgado, 2014).

### **2.1.1.4. Apertura de vía terrestre**

Como factores de presión que contribuyen a la deforestación, una de ellas es la apertura vías terrestres que pasan por la selva, para conectar a pueblos y ciudades, pero en un enfoque más puntual al problema, Ibáñez (2019) indica que para acceder a la extracción de la madera se generan caminos, ya en la zona, la necesidad de las personas por generar ingresos permite que inicie el proceso de extracción y la ocupación de las tierras. Los

principales en generar presión en que se aperturen nuevas las vías terrestres son los agricultores de la Amazonía y los grileiros.

## **2.2. Temperatura ambiental**

Blas (2013) en su análisis, explica que “el calor es un estado latente de la energía de un cuerpo, que se da por un movimiento vibratorio molecular que se acelera cuando aumenta la temperatura y se desacelera cuando ésta disminuye”. Pero también expone que, si bien es cierto que el calor se presenta en los cuerpos, este también se manifiesta en el aire, provocando una gradación, a esto le denominan caliente y frío.

## **2.3. Teledetección espacial**

Es el proceso con que obtenemos la data del exterior de la Tierra, mediante el uso de sensores ubicados en los satélites aerotransportados; como es conocido, la radiación llega a la superficie terrestre, donde actúan los sensores midiendo la radiación electromagnética que refleja el planeta, así como los objetos que se encuentran dentro (Sánchez, 2012).

Sánchez (2012), propone los siguientes pasos:

**Fuente de energía o iluminación:** Consiste en identificar el suministro que irradie o proporcione la energía electromagnética al elemento.

**Radiación y la atmosfera:** Se dan dos “viajes”, el primer viaje de la energía sale del objeto de interés genera una interacción en contacto con la atmósfera, en el segundo viaje se da al momento en que la energía parte desde el elemento al sensor.

**Interacción con el objeto:** Se basa en la interrelación de la energía irradiada en el elemento.

**Detección de energía por el sensor:** El objeto principal para la detección es el sensor, quien tiene la función de captar, grabar la radiación electromagnética para posteriormente ser procesada.

**Transmisión, recepción y procesamiento:** En este punto la lectura debe ser transferida en forma electrónica, es por ello, que se cuenta con una estación donde se recibe y procesa los datos para ser transformados en imágenes digitales.

**Interpretación y análisis:** Cuando ya se obtiene la imagen digital tan solo queda interpretar, sea de manera visual y/o digital que se tiene del objeto que emitió la radiación y que direccionó la información.

**Aplicación:** Este paso es crucial, ya que el campo de aplicación es amplio para resolver un problema. Se aplica la información extraída para un fin, sea el de conocer mediante imágenes acerca del objeto en estudio.

Es así como Gonzales et al. (2014) en su análisis nos menciona que la teledetección aprovecha la energía electromagnética para diversos estudios, obteniendo información digitalizada de la parte superficial de la tierra y atmósfera circundante. La teledetección se basa particularmente en ubicar los satélites que proporcionen dos visiones: repetitiva y sinóptica de la superficie de la Tierra, ya que abarca una visión distinta y áreas más prolongadas a las estudiadas desde la misma Tierra, ya sean por las técnicas de control y observación del efecto de las actividades humanas. Si bien es cierto que mediante que se tiene identificado la situación del entorno (crecimiento urbano, residuos peligrosos), la teledetección brinda un panorama global, que se aplican para monitorear y mapear cambios climáticos, detectar, explorar tanto de recursos no renovables y recursos naturales renovables, mapear, etc. A ello Chuvieco (1995) complementa que para la teledetección se tienen instalados sensores en estaciones orbitales, donde genera una interconexión entre la Tierra y el sensor.

Las imágenes obtenidas son distintas a las fotografías aéreas o la observación directa que podemos realizar en campo, la teledetección espacial posee ventajas en tener un panorama total (Martínez et al., 2010).

## **2.4. Imágenes satelitales**

Las imágenes de satélite exponen la realidad del planeta, sus medios y del efecto que ocasionan en la humanidad, en el ámbito de una demarcación es posible distinguir distintos modelos espaciales, las imágenes de satélite contribuyen al registro de los patrones y simbolizan un preciado instrumento con el que se logra obtener datos y/o características sobre un acontecimiento u objeto, estas imágenes son obtenidas a través del uso de sensores situados en estaciones orbitales, en capacidad de interactuar la energía electromagnética que se da entre el planeta y el sensor, siendo el origen de propagación de energía, el sol o el propio sensor (Pineda, 2011)

Una imagen satelital es lo que se consigue, al captar la radiación transmitida y/o manifestada mediante un detector puesto sobre un satélite artificial. Hay diversas clases de representaciones satelitales que presenta muchas propiedades, tales como tonalidad, resolución, altitud, etc. En si la condición buena de la imagen captada depende de la herramienta usada y la elevación (Sánchez, 2012).

### **2.4.1. Resolución de las imágenes**

Atribuye a la cantidad de píxeles que tiene un sensor de satélite el que va a definir su resolución. El percance dado es: a más número de píxeles y/o resolución, crece el archivo informático generado (Sánchez, 2012). Una imagen satelital se distingue por resoluciones espacial, espectral, radiométrica y temporal.

### **2.4.2. Tipo de imágenes satelitales**

- Imágenes pancromática: Son visualizadas por el uso del sensor digital que cuantifica el reflejo de energía en una extensa parte del espectro electromagnético (Sánchez, 2012).

- Imágenes multiespectrales: Cuantifica la reflectancia en numerosas bandas (Sánchez, 2012).

- Imágenes hiperespectrales: Cuantifica la reflectancia en numerosas bandas, con frecuencia en cientos o miles. Tienen una semejanza a las fotografías (Sánchez, 2012).

### **2.5. Satélites Landsat**

Para la obtención de los resultados se utilizan una variedad de bandas. Tenemos a Landsat 7 (sensor ETM+) y Landsat 5 (sensor TM); su aplicación importante es el reconocimiento y ordenamiento de las cubiertas del ámbito terrestre, humedad del suelo, distribución de flora, mapas hidrotermales y estudios multitemporales (Sánchez, 2012).

Considerado como el primer programa de satélites de captación remota para visualizar las riquezas naturales (Ponce, 2010).

#### **2.5.1. Landsat 5**

La información de Landsat 5 fueron adquiridas en el sistema de ruta/hilera del Sistema de Referencia Mundial-2 (WRS-2), con la sobreposición de franjas (o sobreposición lateral) (United States Geological Survey [USGS], 2014).

##### **2.5.1.1. Instrumentos del satélite**

- Escáner multiespectral (MSS): Cuatro bandas espectrales (similares a Landsat 1 y 2): banda 4 verde visible (0,5 a 0,6  $\mu\text{m}$ ), banda 5 rojo visible (0,6 a 0,7  $\mu\text{m}$ ), banda 6 infrarrojo cercano (0,7 a 0,8  $\mu\text{m}$ ) y banda 7 infrarrojo cercano (0,8 a 1,1  $\mu\text{m}$ ), Seis detectores para cada banda espectral proporcionaron seis líneas de exploración en cada exploración activa, Intervalo de muestreo terrestre (tamaño de píxel): 57 x 79 m

- Mapeador temático (TM): Se agregó el infrarrojo de rango medio a los datos.

#### **2.5.2. Landsat 8**

Capta 740 escenas por día en el sistema de ruta / hilera del Sistema de Referencia Mundial-2 (WRS-2). El resultado de información generados desde escenas del Landsat 8 OLI / TIRS están aptos para bajar a partir de EarthExplorer, GloVis y LandLook Viewer (United States Geological Survey [USGS], 2017).

### 2.5.2.1. Instrumentos del satélite Landsat 8

Operational Land Imager (OLI): elaborado por Ball Aerospace & Technologies Corporation. Nueve bandas espectrales, incorporada una banda panorámica: Banda 1 visible (0,43 - 0,45  $\mu\text{m}$ ) 30 m, Banda 2 visible (0,450 - 0,51  $\mu\text{m}$ ) 30 m, Banda 3 Visible (0,53 - 0,59  $\mu\text{m}$ ) 30 m, Banda 4 Roja (0,64 - 0,67  $\mu\text{m}$ ) 30 m, Banda 5 Infrarrojo cercano (0,85 - 0,88  $\mu\text{m}$ ) 30 m, Banda 6 SWIR 1 (1,57 - 1,65  $\mu\text{m}$ ) 30 m, Banda 7 SWIR 2 (2,11 - 2,29  $\mu\text{m}$ ) 30 m, Banda 8 Pancromática (PAN) (0,50 - 0,68  $\mu\text{m}$ ) 15 m y Banda 9 Cirrus (1,36 - 1,38  $\mu\text{m}$ ) 30 m (USGS, 2017).

Sensor infrarrojo térmico (TIRS): elaborado por el Centro de vuelo espacial Goddard de la NASA. Dos bandas espectrales: Banda 10 TIRS 1 (10,6 - 11,19  $\mu\text{m}$ ) 100 m y Banda 11 TIRS 2 (11,5 - 12,51  $\mu\text{m}$ ) 100 m (USGS, 2017).

## 2.6. Procesamiento de Imágenes satelitales

Al procesar los datos, se suelen presentar distorsiones que generen error en la captura de la imagen, normalmente es a causa del proceso de rotación del planeta, la plataforma, el mismo sensor o la atmósfera; ante estos inconvenientes se suele actuar y dar solución desde los centros encargados quienes se encargan de la recepción o venta de imágenes; pero aun así no se puede brindar la solución a todos, por lo que persisten (Saldaña, 2019).

### 2.6.1. Corrección radiométrica

Proporciona una serie de datos por píxel, que varía según el desplazamiento a la atmósfera para así acercarse a la terminación recepcionado por un sensor a la realidad de la materia visualizada (Márquez y Rojas, 2017).

Se realizaron estudios donde proponen alternativas: realizar una rectificación radiométrica absoluta usando un patrón analítico, y una rectificación por medio de la variación del rango establecido en el histograma (corrección radiométrica relativa) (Ambrosio et al., 2002).

### 2.6.2. Corrección geométrica

Cuando se georreferencian imágenes se da el proceso de cambios por altitud durante su detección conllevando a obtener errores, por lo que se aplica una conversión de las coordenadas de los píxeles de la segunda figura (Ambrosio et al., 2002).

- Puntos de control: Se fijan las relaciones geométricas entre las imágenes (Ambrosio et al., 2002).

- Conversión de coordenadas: Se utilizan pares de puntos de control:

$$x' = a_0 + a_1x + a_2y + a_3xy \quad (1)$$

$$y' = b_0 + b_1x + b_2y + b_3xy \quad (2)$$

- Donde  $(x',y')$  y  $(x,y)$  son las coordenadas de los píxeles de la figura modificada y sin modificada, respectivamente (Ambrosio et al., 2002).

- Transformación de nivel gris: Se calcula el grado de gris de los píxeles en la nueva imagen modificada usando una convolución cúbica que promedia el valor de 16 vecinos (Ambrosio et al., 2002).

### **2.6.3. Corrección atmosférica**

Elimina la “neblina” atmosférica, cada elemento vendría hacer 0, la automatización de los datos otorga el medio para manipular los datos permutando valores en los niveles de grises (Márquez y Rojas, 2017).

### **2.6.4. Corrección topográfica**

La reflectividad en el terreno es afectada por las siguientes variables: pendiente y la orientación, para la corrección del efecto es necesario contar con un DEM (Chuvieco, 2010).

## **2.7. Índice de vegetación de diferencia normalizada**

Gómez (2005) comenta para la obtención del NDVI se ha incrementado muchos métodos en el que se examina las formas cualitativas y cuantitativas de la situación de la flora. Enfocándose en la disimilitud de reflectancia que la vegetación verde manifiesta en la banda visible (20%) y en el infrarrojo cercano (60%) se ha obtenido el Índice de Vegetación por Diferencia Normalizada (NVDI). El valor del NVDI varía según el uso del suelo, estación fenológica, situación hídrica del territorio y ambiente climático de la zona. En circunstancias naturales, la vegetación viva posee reflectancia baja en el espectro VIS y alta en el espectro NIR. Al someter una cobertura vegetal a estrés, este actúa absorbiendo baja radiación solar en el VIS incrementando su reflectancia y absorbe más en el NIR. De esta forma, la disimilitud de reflectancia de los canales correspondientes:  $p_2-p_1$  (índice diferencial) procura disminuir cuando la cobertura vegetal está perjudicada por alguna circunstancia de estrés (deficiencia de agua, enfermedades, plagas, etc.). El Índice de Vegetación por Diferencia Normalizada se define como:

$$NVDI = \frac{p_2 - p_1}{p_2 + p_1} \quad (3)$$

Los valores de NVDI varían entre (-1) y (+1). Indicando la existencia de vegetación verde en la superficie y determinar su partición espacial, tal como la transformación de su condición a lo largo del tiempo (Gómez, 2005).

- El agua posee reflectancia  $p_1 > p_2$ , por lo tanto, se tiene valores negativos de NVDI.

- Las nubes muestran valores similares para  $\rho_1$  y  $\rho_2$ , por lo que su NVDI es cercano a cero.
- El suelo descubierto y con vegetación rala poseen valores positivos, aunque no muy elevados.
- La vegetación densa, húmeda y bien desarrollada tienen los mayores valores de NVDI

## 2.8. Tasa de cambio de cobertura vegetal

Para ello se utiliza la siguiente fórmula (Peralta et al., 2015):

$$r = \left(\frac{S_2}{S_1}\right)^{\frac{1}{t_2-t_1}} - 1 \quad (4)$$

Puyravaud (2003) interpreta la ecuación como una relación matemática y biológica, que es aplicada para deducciones financieros de interés compuesto, que no subvalora la tasa anual de deforestación cuando las transiciones son muy grandes y rápidos, adicional a ello, esta tasa de deforestación da valores más altos que la tasa sugerida por FAO cuando la deforestación sea más alta, puesto que en esta se considera la pérdida de los recursos forestales y su implicación en la parte biológica de estos ecosistemas:

$$r = \frac{1}{t_2-t_1} \times \ln \frac{S_2}{S_1} \quad (5)$$

Donde “r” es la tasa de cambio;  $S_1$  superficie al inicio del periodo;  $S_2$  superficie al final del periodo;  $t_1$  año de inicio del periodo, y  $t_2$  año final del periodo. Si se quiere en porcentaje, el resultado debe ser multiplicado por 100.

## 2.9. Antecedentes

### 2.9.1. Internacionales

Viera y Garrett (2005), nos muestra un análisis para el entendimiento de la concordancia entre observadores sobre la estadística Kappa, estableciendo que el valor del índice Kappa como 1 muestra una concordancia perfecta, el valor de Kappa 0 muestra una concordancia equivalente al azar. Asimismo, indica que para considerar un acuerdo moderado los valores se deben encontrar entre 0,41 – 0,60, para un acuerdo sustancial 0,61 – 0,80 y para una concordancia casi perfecta 0,81 – 0,99; dichos datos se interpretan acompañados del valor P es la prueba para saber si la kappa estimada no se debe al azar, además, los valores P y los intervalos de confianza son sensibles al tamaño de la muestra, ya que, al ser grande, cualquier kappa por encima de 0 es estadísticamente significativo.

Galeana et al. (2009), en la cuenca del Río Magdalena - México aplicó un análisis dimensional espacial entre los tipos de cobertura vegetal y uso de suelo y las variables

ambientales, teniendo que la distribución vegetal están influenciadas por el comportamiento de los factores ambientales (relieve, temperatura y precipitación, humedad), recomienda que dicha investigación permite visualizar elementos limitantes que permitan tomar acciones para una adecuada planeación del territorio, identificar las áreas susceptibles ante los procesos del cambio de cobertura vegetal y uso de suelo.

Osuna et al. (2015), realizó un estudio en la cuenca del río Tecolutla para el período 1994 – 2010 evaluó el cambio de cobertura vegetal y uso de suelo mediante las imágenes satelitales Landsat, diferenciándose nueve usos y coberturas de suelo tales como selva, bosque, suelo agrícola, agua, vegetación perturbada, asentamientos urbanos, pastizales, cultivos de cítricos y matorrales, teniendo como mayor porcentaje (675) el uso urbano. Asimismo, en el análisis el índice Kappa se encuentra entre 0,89 y 0,91 con exactitudes mayores al 92%. Durante los 16 años evaluados se aprecia una reducción (-1,1%) de superficies de coberturas naturales (bosques y selvas).

Mas et al. (2003), en la recopilación de información a base de revisiones, indica que para que los mapas o imágenes clasificadas y procesadas sean validadas, previo a ello se debe generar una evaluación de la confiabilidad temática, entre los métodos que brinda es primero considerar la evaluación del objeto mediante un trabajo de campo que apoye a la cartografía, entre otra opción más económica indica el reagrupamiento de las categorías confundidas en una sola, para absorber las confusiones. Posterior a ello debe ser reforzado con la aplicación estadística de una matriz de confusión.

Olivo (2017), en su investigación categorizó el área Karst de Sierra de las Nieves – Madrid, aplicando métodos: índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI) y análisis de comportamiento radiométrico de la reflectancia con la clasificación digital con el uso Landsat-8 para el año hidrológico 2015 al 2016, dichos periodos abarcan cambios de estaciones, demostrando que en primavera, con el afloramiento de las plantas, el NDVI arroja valores más altos pudiendo clasificar la cobertura vegetal del área estudiada Karst como formación arbolada densa y cultivos leñosos, en temporadas de otoño se reduce en un 40% y en temporada de verano con una clasificación de cobertura densa de quercíneas de la vegetación densa de coníferas y matorrales y pastizales.

### **2.9.2. Nacionales**

Ibáñez (2019) en su investigación realizó el pronóstico de la variación de cobertura y uso de la tierra (CCUT) en la Cuenca del río Tocache, la metodología aplicada consistió en el uso de mapas CUT de tres años correspondientes al 2006, 2011 y 2016 para apreciar la distribución mediante las imágenes Sentinel 2A y Landsat 8 y 5. Como

procesamiento de datos se identificaron las variables y/o características de la zona como la altitud, pendiente, áreas de conservación y la distancia que existe hacia las vías, ríos, centros poblados y áreas deforestadas, los cuales sirvieron para calcular la matriz de transición y pesos mediante el software Dinámica EGO. Ibañes (2019), eligió las transiciones de los posibles escenarios proyectados por el CUT al 2026, teniendo que 3 975,5 ha de bosque pertenecen al escenario tendencial que indican la pérdida de bosque debido al aumento de la actividad agrícola, 1 042,5 ha correspondiente a un escenario de conservación de tipo recuperación de bosque y 2 519,9 ha correspondiente a un escenario de conservación de tipo vegetación secundaria. Se evidenció ligeras variaciones en otros tipos de coberturas, por lo que el autor recalca la importancia de una implementación de políticas de conservación y recuperación de áreas naturales estableciendo el equilibrio entre la conservación del medio. Asimismo, Barba (2018) aplicó el software TerrSet módulo Land Change Modeler (LCM) a través del método cadenas de Markov validada por la índice kappa en un 96,20% para la predicción hacia el 2030 sobre el cambio de cobertura en zonas deforestadas mediante la recopilación de información de los años 1999, 2011 y 2016 de las imágenes obtenidas por dos sensores: Landsat 5 TM (1999 y 2011) y Landsat 8 OLI (2016). Como resultado obtuvo a medida que pasaron los años se visualiza un incremento de áreas deforestadas, tal es el caso que durante el año 2016 obtuvo 17 039,29 ha, para el año 2011 se tuvo 10 530,72 ha y para 1999 un cálculo de 1 832,30 ha. Para el año 2030 como predicción del modelo se obtuvo 25 091,37 ha de áreas deforestadas, obteniendo en 14 años (2016-2030) deforestación aproximada de 12 980,33 ha.

Rojas (2017) realizó el estudio para el análisis y la simulación de la cobertura de la amazonia del Perú para el 2030 mediante el uso del software ArcMap 10,5 de ArcGIS, QGIS 2,8,3 (Versión libre) e Idrisi Selva 17,0 con su extensión Land Change Modeler, prediciendo con 3 simulaciones la pérdida de bosques húmedos, identificando que la distancia a sendas, zonas deforestadas y comunidades o pueblos son los principales contribuyentes a la deforestación, ya que estos generan accesos hacia las zonas boscosas. Además, en sus resultados obtuvo una diferencia en valoración de disminución de los bosques húmedos en cada simulación, debido a que las etapas seleccionadas en cada tendencia manifiestan distintos años de inicio, que en el caso de la simulación del escenario tendencial C, al tener una medida anual más elevada con 1.387,9 km<sup>2</sup> tiene una cercanía a la cantidad reportada en los últimos cinco años, y según sus tres simulaciones que realizó en su estudio, se observa una cubierta vegetal de bosques húmedos, colinas bajas y lomadas y los bosques húmedos de terrazas baja y media generaran mayor impacto de pérdida de bosques para el año 2030.

Burga (2016) presenta su investigación en que la metodología tomada es del Ministerio del Ambiente mediante el manejo del Sistema de Análisis Landsat de Carnegie-Lite para determinar uno de los objetivos que es la cuantificación de la deforestación; para estimar la biomasa, se basó en el modelo raster Amazon Basin Aboveground Live Biomass Distribution Map: 1990-2000, y para el último objetivo enfocado en la estimación de emisiones de CO<sub>2</sub> se consideró los reportes de Nivel 1 del IPCC; esto permitió analizar el incremento de ocho provincias de la Región Loreto durante el periodo 2000-2014. En dichos resultados Urquiza y Burga (2016) obtuvo un valor alto de reforestación en la provincia Alto Amazonas con 78 878,83 ha; y valor bajo perteneciente a la provincia Putumayo con 7 879,41 ha. Como cálculo de la disminución de biomasa por deforestación tanto para Saatchi y Baccini, señalan una disminución del carbono por deforestación de 25 615 278,26 tC y 26 438 416,41 tC respectivamente, ambos coinciden que la provincia Alto Amazonas presenta los valores más altos con 5 930 095,05 tC (23,15%) y 6 394 192,05 tC (24,19%) respectivamente. En cuanto a la estimación del CO<sub>2</sub> por Saatchi y Baccini se obtuvo un ascenso de emisiones por deforestación en 93 879 994,83 tC y 96 896 796,13tC ambos pertenecientes a la provincia Alto Amazonas con los valores más altos en comparación a las demás provincias de la Región con 21 733 798,37 tC (23,15%) y 3 434 713,85 tC (24,19%).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Lugar de ejecución

##### 3.1.1. Ubicación geográfica

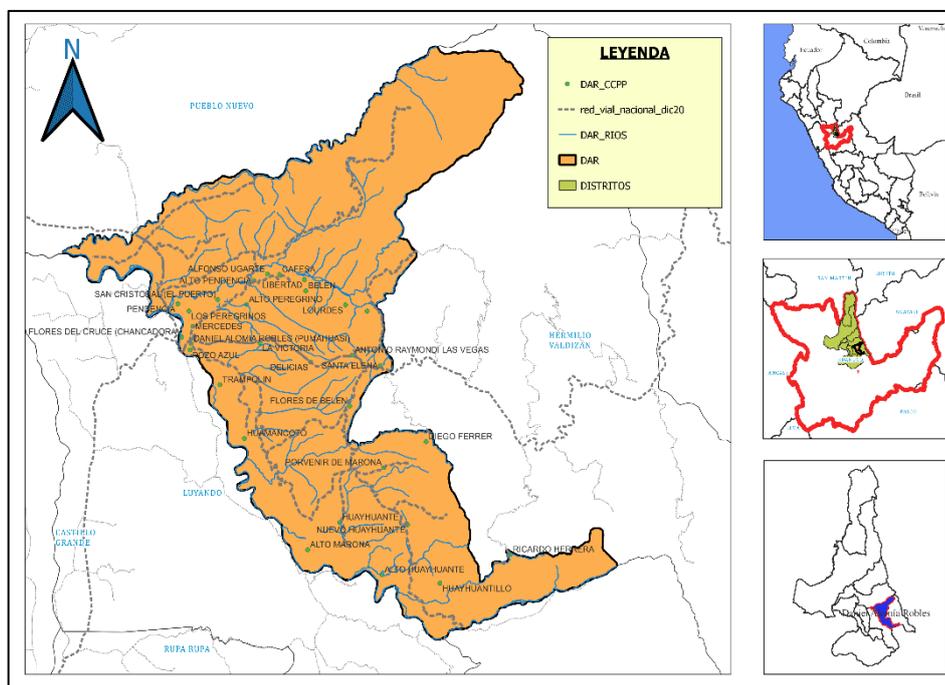
Geográficamente el distrito de Daniel Alomía Robles se ubica en las siguientes coordenadas UTM: 395 082 Este y 8 984 186 Norte con una altitud de 660 m s.n.m.

**Tabla 1.** Ubicación geográfica del distrito Daniel Alomía Robles

Coordenada	Este (m)	Norte (m)	Altitud (m s.n.m.)
UTM	395 082	8 984 186	660

##### 3.1.2. Ubicación política

El estudio se desarrolló en el distrito de Daniel Alomía Robles, políticamente localizado en la provincia de Leoncio Prado, departamento Huánuco. También, se encuentra limitando por el Norte y Este con el distrito de Hermilio Valdizan, por el Sur con los distritos de Luyando, Mariano Dámaso Beraún y Chaglla, por el Oeste con el distrito de Luyando y por el Noroeste con el distrito de Pueblo Nuevo.



**Figura 1.** Ubicación política del distrito de Daniel Alomía Robles.

##### 3.1.3. Descripción del lugar

###### 3.1.3.1. Clima

El distrito de Daniel Alomía Robles es de clima cálido a lo largo del año, que va en un rango de temperatura de 19,6°C a 32,3 °C, con máximas precipitaciones

presentes en el mes de enero con un valor de 537,2 mm. Los meses más lluviosos se manifiestan en diciembre a marzo y los más secos de mayo a setiembre según la estación de La Divisoria (Municipalidad Distrital Daniel Alomía Robles [MDDAR], 2020).

### **3.1.3.2. Hidrología**

El distrito de Daniel Alomía Robles está rodeado hidrográficamente por tres cuencas: río Tulumayo (Norte), Alto Huallaga (Sur y Oeste) y cuencas Aguaytia y Pachitea (Este). La cuenca del río Tulumayo presenta una longitud aproximada de 74.5 km (MDDAR, 2020).

### **3.1.3.3. Geología**

La geología del distrito de Daniel Alomía Robles se enfoca a través de la cuenca del Tulumayo (MDDAR, 2020):

- Depósito fluvial (Q- fl): Realiza el transporte y depósito de materiales de diferente granulometría (MDDAR, 2020).

- Depósito aluvial (QH al): Formados por los cambios del cauce del río Tulumayo; con distribución en forma de terrazas, dispuesto a inundaciones y erosión fluvial (MDDAR, 2020).

### **3.1.3.4. Geomorfología**

La geomorfología del distrito de Daniel Alomía Robles:

- Lecho fluvial (LeFlu): Presenta un régimen constante y geométrica irregular (meandrico), por la pendiente de la zona (inferior a 15°), por el ancho promedio de 150 m y la profundidad de 2m. Esta unidad está constituida por material de origen fluvial (gravas y arenas) y abarca el 13% de la zona de estudio (MDDAR, 2020).

- Barrera fluvial (BR F11): Presenta un material grueso de la barra con una granulometría extendida (gravas y arenas) (MDDAR, 2020).

- Llanura o planicie inundable (LIP LIn); Esta se forma por los procesos de erosión, transporte y depósito de los sedimentos fluviales. Cabe indicar que, la llanura de inundación abarca el 6% de la cuenca (MDDAR, 2020).

- Terraza aluvial. (TeAl): Superficie plana constituida por procesos de sedimentación. Está formada por gravas y areniscas cuarzosas sobre la cual se asienta la localidad en mención (MDDAR, 2020).

### **3.1.3.5. Pendientes**

El distrito de Daniel Alomía Robles manifiesta variación en la pendiente:

- De 0° a 3°: Pendiente muy baja, casi plana (MDDAR, 2020).
- De 3 a 5°: Pendientes moderadamente inclinada (MDDAR, 2020).
- De 5 a 10°: Terreno moderadamente empinado (MDDAR, 2020).
- De 10° a 15°: Pendientes empinada (MDDAR, 2020).
- Mayores a 15°: Pendientes muy empinadas (MDDAR, 2020).

#### **3.1.3.6. Zonas de vida**

Las zonas de vida del distrito de Daniel Alomia Robles se encuentra en bosque muy húmedo – Premontano Tropical (bmh-PT) y bosque muy húmedo – Montano Bajo Tropical (MDDAR, 2020).

### **3.2. Material y métodos**

#### **3.2.1. Materiales y equipos**

Materiales: Imágenes satelitales Landsat 5 sensor TM del Path\_Row: 07\_66 de los años 2000 y 2010 con una resolución de 30m e imágenes satelital Landsat 8 sensor OLI/TIRS del Path\_Row: 07\_66 del año 2020 con una resolución de 30m del servidor de la USGS, Software QGIS 3.22.7 para procesamiento de las imágenes satelitales, Idrisi TAIGA para la simulación a futuro, Google Earth, software Microsoft Word y software de Microsoft Excel, cuaderno de campo y materiales de escritorio (lapiceros, lápices, etc.).

Equipos: Laptop LENOVO Ryzen (AMD) 5, GPS MAP GARMIN 62S y cámara digital Sony.

#### **3.2.2. Metodología**

##### **3.2.2.1. Modelación y simulación para el año 203 el comportamiento espacio – tiempo y la cobertura vegetal del distrito de Daniel Alomía Robles**

###### **1) Adquisición de imágenes satelitales**

Se realizó mediante dos formas:

La obtención de las imágenes satelitales, LandSat 5 con sensor TM y LandSat 8 con sensor OLI/TIRS se realizó por la Web Earth Explorer de la institución United States Geological Survey (USGS). Se referenció la aproximación de la zona de estudio, donde el programa de web buscó las diferentes imágenes satelitales que se encontró dentro de la zona que fue delimitada.

Dentro del programa se tuvo los siguientes criterios de selección de fechas determinadas, porcentajes de nubosidad en este criterio se seleccionó la imagen de menor porcentaje y que su distribución temporal sea equidistante.

El distrito de Daniel Alomía Robles se encuentra dentro de la colección los valores de Path 07 y Row 66.

**Tabla 2.** Imágenes satelitales

N°	Path/Row	Año	Formato	Resolución	Satélite
1	007/066	2000	Geo Tiff	30m	LandSat 5 TM
2	007/066	2010	Geo Tiff	30m	LandSat 5 TM
3	007/066	2020	Geo Tiff	30m	LandSat 8 OLI

## 2) Corrección geométrica

La corrección geométrica se realizó a través de la reproyección de las imágenes para llevar a un sistema de coordenadas reales del terreno (UTM zona 18 S), identificando puntos repartidos dentro del sistema de la imagen (píxeles) y el sistema de referencia espacial, generando un cambio de la zona 18 N a la zona 18 S. Luego se asignó los nuevos valores espectrales, mediante el método del “vecino más cercano” para minimizar el cambio de la resolución espectral de los píxeles y evitar los vacíos en la información y así corregir la distorsión geométrica o desplazamiento que se produce al momento de la adquisición de la imagen satelital.

## 3) Corrección radiométrica

### A. Corrección de números digitales a radiancia

Para convertir los números digitales a valores de radiancia se utilizó la siguiente ecuación:

$$L\lambda = ML * Qcal + AL \quad (8)$$

Donde:

$L\lambda$ = Es el valor de radiancia espectral medida en valores de (Watts /m<sup>2</sup> \* srad \* μm))

$ML$ = Es el factor multiplicativo de escalado específico obtenido del metadato (RADIANCE\_MULT\_BAND\_x, donde x es el número de la banda)

$AL$ = Es el factor aditivo de escalado específico obtenido del metadato (RADIANCE\_ADD\_BAND\_x, donde x es el número de la banda)

$Qcal$ = Producto estándar cuantificado y calibrado por valores de píxel (DN). Este valor se refiere a cada una de las bandas de la imagen.

El procedimiento de la conversión de números digitales a radiancia de todas las bandas de las imágenes satelitales se realizó mediante la Calculadora Ráster del software QGIS 3.22.7.

### B. Conversión de radiancia a reflectividad en el techo de la atmosfera TOA

Para la conversión de radiancia a reflectividad en el techo de la atmosfera TOA se utilizó la siguiente ecuación:

$$L\lambda = \frac{M\rho * Q_{cal} + A\rho}{\text{sen}(\theta_{SE})} \quad (9)$$

Donde:

$L\lambda$  = Reflectancia TOA del sensor, con corrección del ángulo solar

$Q_{cal}$  = Valores de los pixeles de productos estándar cuantifican y calibrados (ND)

$M\rho$  = Factor de cambio de escala multiplicativo (REFLECTANCE\_MULT\_BAND\_X, donde x es el número de la banda).

$A\rho$  = Banda específica aditivo reescala el factor de los metadatos (REFLECTANCE\_ADD\_BAND\_x, donde x es el número de la banda).

$\theta_{SE}$  = Es el ángulo de elevación solar. El ángulo de elevación solar del centro de la escena es provisto en el metadato de la imagen (SUN\_ELEVATION).

Obtenidos los valores de radiancia de todas las bandas de las imágenes, se convirtió a valores de reflectancia mediante la Calculadora Ráster del software QGIS3.22.7.

#### 4) Corrección atmosférica

Para determinación de la reflectancia de superficie se utilizó la siguiente Ecuación (10):

$$\rho = \frac{\pi * (L\lambda - L\rho) * d^2}{ESUN\lambda * \text{sen}\theta_{SE}} \quad (10)$$

Donde

$L\lambda$  = Radiancia espectral de entrada en el sensor;

$L\rho$  = Es el efecto bruma;

$d$  = Distancia del SOL – Tierra (unidades astronómicas);

$ESUN\lambda$  = Irradiancia espectral solar exoatmosférica;

$\theta_{SE}$  = Ángulo de elevación del sol local.

Para el cálculo tenemos:

$$L_P = ML * ND_{min} + AL - 0.01 * \frac{ESUN_{\lambda} * \sin(\theta_{SE})}{\pi * d^2} \quad (11)$$

Donde:

$L_P$  = El efecto bruma;

$L_{min}$  = “radiancia que corresponde a un valor digital;

$L_{DO1\%}$  = radiancia del objeto oscuro, con un valor asumido de reflectancia de 0.01;

$ND_{min}$  = Valor digital mínima;

ML = Factor multiplicativo denominado también ganancia;

AL = Constante aditiva denominada sesgo;

$ESUN_{\lambda}$  = Irradiancia espectral solar exoatmosférica;

$\theta_{SE}$  = Ángulo de elevación del sol local;

d= Distancia del Sol – Tierra (unidades astronómicas).

### 5) Corrección topográfica

Después de realizar la corrección atmosférica a todas las imágenes Landsat 5 y 8 en el periodo de 2000 al 2010 y al periodo 2010 al 2020 se realizó la corrección topográfica por el método de Minnaert para eliminar anomalías causadas por el terreno a cada una de ellas partiendo del modelo de elevación digital de la zona de estudio, azimut solar y elevación solar, mediante el software Qgis.

Dentro del software QGIS 3.22.7 se instaló el complemento SAGA, luego de ello nos dirigimos a caja de herramientas de proceso para buscar Topographic Correction.

En Topographic Correction sé usó el Modelo Digital de Elevación (DEM) y las Bandas de la zona de estudio, donde se tomó datos de ángulo azimutal (SUN\_AZIMUTH) y ángulo de elevación solar (SUN\_ELEVATION) dentro de la Metadata (formato texto) y un valor de la constante de Minneart de 0,5, después se guardó y ejecutó la corrección topográfica.

### 6) Determinación del índice de vegetación normalizado (NDVI)

Para el cálculo del Índice de Vegetación Normalizado (NDVI) se utilizó la siguiente Ecuación (13):

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR^-} - \rho_R}{\rho_{NIR^+} + \rho_R} \quad (13)$$

Donde:

$\rho_{NIRC}$  = Reflectancia en la banda del infrarrojo cercano.

$\rho_R$  = Reflectancia en la banda del rojo.

Se utilizó el software R para realizar el cálculo de la banda NDVI, se ingresaron los datos de ambas bandas respetando la Ecuación (14) establecida.

$$\text{NDVI (L5)} = \frac{B4 - B3}{B4 + B3} \quad (14)$$

$$\text{NDVI (L8)} = \frac{B5 - B4}{B5 + B4} \quad (15)$$

Para la imagen landsat 5 se utilizó la banda 4 correspondiente al infrarrojo y la banda 3 correspondiente al rojo, mientras que para la imagen landsat 8 se utilizó la banda 5 que corresponde al infrarrojo y la banda 4 que corresponde al rojo.

### 7) Clasificación digital

Para la clasificación digital de cobertura vegetal se basó en 4 clases propuesto por Olivo (2017) para el índice de vegetación normalizada para la modificación según la supervisión de campo realizado, ya que; estas clasificaciones estuvieron enfocado en la zonificación de los valores de NDVI. Además, la clasificación estuvo sujeto a las propiedades fisionómicas de los bosques que mantiene el MINAM para la cobertura vegetal.

**Tabla 3.** Clasificación de cobertura de vegetal.

N°	Rango de NDVI	Descripción
1	>0,6	Vegetación Densa
2	0,4-0,6	Vegetación Dispersa
3	0-0,4	Sin vegetación o vegetación muerta
4	<0	Cuerpo de agua, cubiertas artificiales

Fuente: Olivo (2017)

Definida las 4 subclases se realizó la clasificación a través de plugin Semi-Automatic Classification que forma parte de QGIS para que posteriormente plugin de clasificación encuentre similitudes entre los pixeles y sean agrupados en la misma clase.

### 8) Cambio de cobertura vegetal

La estimación de la tasa anual de cambio se calculó a partir de la superficie de cada categoría, aplicando la siguiente Ecuación (16):

$$r = \left( \left( \frac{S_2}{S_1} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right) * 100 \quad (16)$$

Donde:

r=tasa de cambio anual

S<sub>1</sub>=superficie en la fecha 1

$S_2$ =superficie en la fecha 2

n = número de años entre las dos fechas

### 9) Validación el proceso de cambio de cobertura vegetal para el año 2030, a partir del mapa del año 2020

Previamente a este proceso se requirió de puntos de validación, donde, en la presente investigación se realizó a través de la recolección óptica de puntos de las diferentes zonas del distrito de Daniel Alomía Robles, con un total de 220 (Anexo 2) a través de la verificación “in situ”, donde se usó el GPS (Garmin Map 62s), posteriormente se realizó la validación a través de una matriz de confusión (cuya exactitud será medida mediante el índice de Kappa).

Para la matriz de confusión se trabajó con el modelo propuesto por el Protocolo de validación de mapas de deforestación del con las respectivas clases de validación de clasificación digital (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2014).

**Tabla 4.** Matriz de confusión

Clase	Vegetación densa	Vegetación dispersa	Sin vegetación	Cuerpo de agua	Total	Exactitud Usuario	Error Comisión
Vegetación densa	<b>A1</b>	A2	A3	A4	W	EU1	EC1
Vegetación dispersa	B1	<b>B2</b>	B3	B4	X	EU2	EC2
Sin vegetación	C1	C2	<b>C3</b>	C4	Y	EU3	EC3
Cuerpo de agua	D1	D2	D3	<b>D4</b>	Z	EU4	EC4
Total	R	S	T	U	<b>M</b>		
Exactitud Productor	EP1	EP2	EP3	EP4			
Error Omisión	EO1	EO2	EO3	EO4			

Fuente: MINAM (2014)

Siendo:

W,X,Y,Z: Suma de las columnas respectivas

R,S,T,U: Suma de las filas respectivas

M: Cantidad total de las clases

Exactitud de Usuario: ( $EU1=A1/W$ ,  $EU2=B2/X$ ,  $EU3=B3/Y$ ,  $EU4=D4/Z$ )

Error de comisión:  $EC1=1-EU1$  y para cada error respectivamente

Exactitud Productor: ( $EP1=A1/R$ ,  $EP2=B2/S$ ,  $EP3=B3/T$ ,  $EP4=D4/U$ )

Error de omisión:  $EC1=1-EP1$  y para cada error respectivamente

Para la métrica de precisión se usó el índice Kappa para determinar el porcentaje de coincidencia obtenidas mediante la Ecuación (17).

$$K = \frac{Po - Pe}{1 - Pe} \quad (17)$$

Siendo:

Po: Relación del número de aciertos y el número total de las clases

$$Po = (A1 + B2 + C3 + D4) / M$$

Pe: Calculo generado desde la matriz de confusión

$$Pe = (R * W + S * X + T * Y + U * Z) / M$$

Para su interpretación de los valores del índice Kappa se usó la Tabla 5.

**Tabla 5.** Valoración del índice Kappa

<b>Coefficiente de Kappa (k)</b>	<b>Fuerza de concordancia</b>
0.00	Pobre
0.01-0.2	Leve
0.21-0.4	Aceptable
0.41-0.6	Moderada
0.61-0.8	Considerable
0.8-1.00	Casi Perfecta

Fuente: Landis y Koch (1977)

## **10) Simulación el proceso de cambio de vegetal para el año 2030**

### **A. Conversión de formato ráster a ASCII**

Una vez clasificado las imágenes satelitales en los periodos de evaluación se realizó el cambio de formato ráster a formato ASCII, mediante el QGIS 3.22.7. La ventana de comando se tuvo el módulo “Ráster”, dentro de ella se tuvo la opción de “Convertir”, dentro de ella está “Traducir”, donde se abrió una ventana para ingresar las capas ráster del 2010 y del 2020 y se seleccionó el formato ASCII, después se realizó el

ruteo para la salida del archivo y luego se ejecutó la ventana. Por último, se revisó los archivos de salida (“.prj” y “.txt”) apresurándose el formato “.txt” para eliminar los decimales de las coordenadas proyectadas.

### **B. Importación de los datos a IDRISI TAIGA**

Se importó la información cambiada en el formato ASCII (“.prj” y “.txt”) dentro del software IDRISI, por lo que nos dirigió al módulo “File”, Import, Software-Specific formats, ESRI Formats y ARCRASTER; donde se abrió una ventana para carga la data de los periodos 2010 y 2020, para cambiarse en formato ráster (“.rst”).

### **C. Simulación para el año 2030**

Para este proceso se utilizó el modelo de simulación de las Cadenas de Markov, para construir un mapa de escenario al 2030 dentro del software IDRISI TAIGA.

#### **- Reclasificación dentro del módulo Land Change Modeler: ES**

Dentro de módulo Land Change Modeler: ES se creó un proyecto nuevo en la ventana “Change Analysis”, agregando los dos formatos ráster ya generados para los periodos de evaluación, luego se describió las clasificaciones de acuerdo a la Tabla 3 y así se generó dos datos ráster con la clasificación correcta.

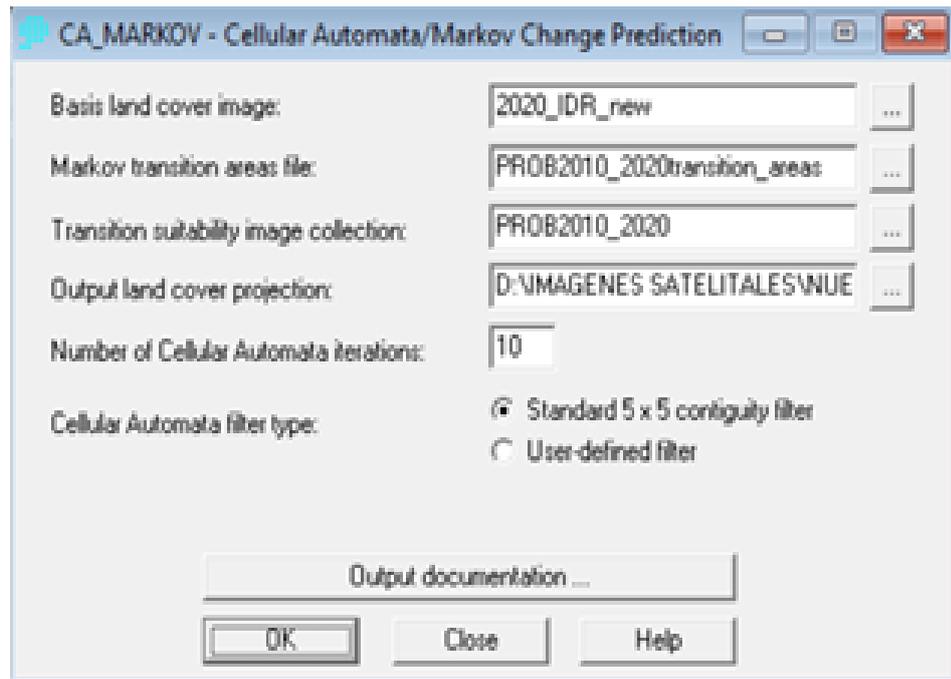
#### **- Modelo de simulación al año 2030**

Para la construcción del mapa al 2030, se realizó el modelo con las cadenas de Markov, este modelado incluyó las variables que influyen en la probabilidad de cambio.

El proceso simuló la predicción del estado en un sistema y tiempo determinado a partir de dos estados precedentes ( $t_0$  y  $t_1$ ), en este caso las nuevas condiciones de uso y de probabilidad de cambio en el distrito de Daniel Alomía Robles hacia el año 2030

Para el análisis prospectivo dentro de IDRISI TAIGA se aplicó el módulo “GIS Analysis”, Change/ Serie times y por último MARKOV; donde se ingresó los dos ráster reclasificados y así se generó la probabilidad de cambio de los periodos evaluados, que fueron de 10 años y ver la tendencia al 2030.

Por último, dentro del módulo “GIS Analysis” se abrió la ventana “CA-MARKOV”, donde se ingresó el último periodo reclasificado (2020) y la probabilidad de cambios generados anteriormente, considerando 10 iteraciones para la evaluación hacia el 2030 y así se ruteo la salida final de la simulación.



**Figura 2.** Data de ingreso para la simulación 2030.

### **3.2.2.2. Modelación y simulación del comportamiento espacio – tiempo y la temperatura ambiental del distrito de Daniel Alomía Robles.**

Para la interpolación de la temperatura ambiental se obtuvo los datos de las estaciones meteorológicas próximas al distrito de Daniel Alomía Robles, los cuales fueron las siguientes estaciones: Tingo María, Tulumayo, La Divisoria, Aguaytia, Aucayacu, Pozuzo y Chaglla. Se descargó la información de la base de datos de SENAMHI, el cual contó con información de dichas estaciones. Para los años 2000 y 2010 se tuvo en consideración en los datos históricos de la de 4 estaciones (Tingo María, Tulumayo, Maronal, Huánuco).

Se usó el método de interpolación IDW (Distancia inversa de ponderación) para la estimación de la temperatura ambiental en el distrito de Daniel Alomía Robles. Este método está incorporado en el software QGIS.

En el software QGIS 3.22.7 se cargó los datos obtenidos como coordenadas X, Y y Z de las estaciones en UTM y los datos de temperatura que fue guardado en formato CSV (Delimitado por comas), luego se exportó los datos en formato shapefile (point) y se volvió a cargar. En Caja de Herramientas se buscó el comando de Interpolación (IDW), donde se colocó el shapefile y la variable de estudio (Temperatura) generando un Raster de interpolación. Después se recortó con área de trabajo (Distrito de Daniel Alomía Robles)

Luego se descarga el gradiente altitudinal (DEM) de Geo GPS Perú y se recortó al nivel del área de trabajo para poder mejorar el modelo de isoterma en función del gradiente altitudinal:

- Con los datos de altitud de las estaciones y la temperatura realizamos la regresión lineal, el cual se tomó el valor de la “Pendiente” de la recta obtenida.
- Se usará la siguiente Ecuación (18) propuesta por Fries *et al.* (2012):

$$T_{(X,Y)} = T_{Det} + (\Gamma(Z_{(X,Y)}^{DEM} - Z_{Det})) \dots\dots\dots (18)$$

Donde:

$T_{(X,Y)}$ : Temperatura corregida con el gradiente altitudinal

$T_{Det}$ : Temperatura determinada de la interpolación de las estaciones

(Isoterma)

$\Gamma$ : GVTT de la zona (Pendiente)

$Z_{(X,Y)}^{DEM}$ : Raster de modelo de elevación (DEM)

$Z_{Det}$ : Valor Altitudinal referencial (1200 m s.n.m valor medio del Área de estudio)

### 3.2.2.3. Modelación y simulación el comportamiento espacio – tiempo, la temperatura ambiental y la cobertura vegetal del distrito de Daniel Alomía Robles.

La modelación y simulación de comportamiento del espacio – tiempo, la temperatura y la cobertura vegetal, se tomó los datos obtenidos en los periodos 2000, 2010, 2020 de los modelos de temperatura y cobertura vegetal, adicionalmente se tomó datos de los años 2017 y 2022. Con los datos obtenidos se realizó la prueba de normalidad de acuerdo a la clase de la cobertura vegetal (vegetación densa, vegetación dispersa y sin vegetación), por lo que no se consideró la clase de cuerpo de agua/cubiertas artificiales.

Para la generación de los modelos se usó la regresión lineal múltiple, tomando los coeficientes de cada parámetro que se evaluó para el modelo de simulación dentro de cada clasificación de cobertura vegetal.

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i_1} + \dots + \beta_k x_{i_k} + e_i \dots\dots\dots (19)$$

Donde:

$Y_i$ : Temperatura ambiental

$\beta_k$ : Coeficientes (año y clase de cobertura vegetal)

$x_{ik}$ : Variables dependientes (año y clase de cobertura vegetal)

$e_i$ : Error

Después de haber determinado los modelos se tuvo en cuenta los valores promedios, generando así los modelos finales de temperatura ambiental; se tuvo el siguiente modelo propuesto en la Ecuación 20:

$$Ty_{(año,C_{cv})} = Ty_R + (\beta_1(AñoE - \bar{A})) + (\beta_2(C_{cvR} - \overline{C_{cv}})) \dots (20)$$

Donde:

$Ty_{(año,C_{cv})}$ : Temperatura para clasificación de cobertura vegetal

$Ty_R$ : Isoterma altitudinal de cada periodo (formato ráster)

$\beta_1$  y  $\beta_2$ : Coeficiente de las regresiones

$AñoE$ : Año de evaluación

$\bar{A}$ : Promedio de los periodos de evaluación

$C_{cvR}$ : Clasificación de cobertura vegetal (formato ráster)

$\overline{C_{cv}}$ : Promedio de la clasificación de cobertura vegetal

En el QGIS se separó cada clasificación de cobertura vegetal en formato ráster, luego se aplicó la Ecuación 20 con el comando Raster Calculator dentro de software y generándose así el modelo ráster de la temperatura ambiental.

Con el nuevo Ráster de Temperatura, ya estando corregida al nivel de los periodos y cobertura vegetal se generó las Isotermas en el software QGIS 3.22.7, en la extensión Ráster. Esto se realiza para el año 2020.

#### 3.2.2.4. Análisis de estudio

##### 1. Nivel de investigación

El nivel de investigación es predictivo ya que se utilizó imágenes satelitales del pasado para predecir como será el futuro en el proceso de cambio de cobertura vegetal.

##### 2. Tipo de investigación

El tipo de investigación es aplicativo, cuantitativa.

##### 3. Variables de investigación

Variable “X” o exógena: Espacio – temporal

Variable “Y” o endógena: Cobertura vegetal y Temperatura

Ambiental

Variable interviniente: Distrito Daniel Alomía Robles.

#### 4. Operacionalización de variables

La operacionalización de las variables x e y son (Tabla 6):

**Tabla 6.** Operacionalización de variables

Variable	Descripción de la operacionalización	Dimensión	Indicador	Unidad de medida	Escala
X: Espacio - Temporal	La variable de espacio estuvo sujeto a la información de los puntos de evaluación en el distrito y a las estaciones meteorológicas mientras la variable tiempo estuvo sujeto a los periodos de evaluación de las imágenes y la información obtenida de las estaciones	Espacio	X (Este)	m	Razón
			Y (Norte)	m	Razón
		Tiempo	Z (Altitud)	m	Razón
			2000, 2010, 2020	año	Razón
Y: Cobertura vegetal y Temperatura	La variable cobertura vegetal estuvo dada por 4 clasificaciones que son la Vegetación densa, Vegetación dispersa, Sin vegetación y Cuerpo de agua/Cubiertas artificiales. La temperatura ambiental estuvo sujeto a la información de 7 estaciones meteorológica aledañas al distrito	Cobertura vegetal	Área de vegetación densa	ha	Razón
			Área de vegetación dispersa	ha	Razón
			Área de la cobertura sin vegetación	ha	Razón
			Área de cuerpo de agua/cubiertas artificiales	ha	Razón
		Temperatura ambiental	Temperatura	°C	Intervalo

#### 5. Diseño de investigación

No experimental-longitudinal-tendencia.

#### 6. Población y muestra

Población: Área (1ha=1pixel) del distrito de Daniel Alomía Robles.

Muestra: Se usó el muestreo probabilístico al azar:

$$n = \frac{Z^2 * N * p * q}{(N-1) * E^2 + Z^2 * p * q} \quad (19)$$

Para la determinación de la muestra se realizará mediante mapa, separándola en grillas para determinar los datos del software que serán incluidas en la Ecuación (19).

A los valores ( $p=0,824$ ,  $q=0,176$ ,  $N=15\ 093$  ha,  $Z=1,96$  y  $E=0,05$ ) dando como resultado un total de muestras aproximada de 220 ha, como se tiene 4 clases, entonces en el total serian 55 muestras por clase.

**Tabla 7.** Error del número de muestreo para cada clasificación

<b>Clasificación de cobertura vegetal</b>	<b>Área 2020 (ha)</b>	<b>Número de pixel</b>	<b>Número de muestra (pixel)</b>	<b>Error (%)</b>
Vegetación densa	1 850,89	1 850,89	55	4,81%
Vegetación dispersa	11 982,99	11 982,99	55	5,03%
Sin vegetación	973,91	973,91	55	4,56%
Cuerpo de agua/Cubierta artificiales	286,19	286,19	55	3,03%
<b>TOTAL</b>	<b>15 093,98</b>	<b>15 093,98</b>	<b>220</b>	

## **7. Técnica e instrumento de recolección de datos**

Técnica: Observación

Instrumento: Ficha de Observación (Anexo 1)

## **8. Análisis de datos**

Prueba de normalidad

Prueba relacional

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Modelación y simulación para el año 2030 del comportamiento espacio – tiempo y la cobertura vegetal del distrito de Daniel Alomía Robles

#### 4.1.1. Determinación del modelo para los procesos de cambio de cobertura vegetal periodo del año 2000 al 2010 y del periodo 2010 al 2020 en el distrito de Daniel Alomía Robles

##### 4.1.1.1. Periodo 2000

Durante el periodo 2000 correspondiente al año base del estudio, se observa una cobertura vegetal con cambios bien marcados (Tabla 8 y Anexo 5), obteniendo la mayor conformación compuesta por un 63,44% de vegetación dispersa lo que hace referencia a 9 576,31 ha del territorio total del distrito de Daniel Alomía Robles. Asimismo, se obtuvo los siguientes valores 30,10% de vegetación densa equivalente a 4 542,67 ha, 4,66% sin vegetación equivalente a 703,09 ha y 1,80% de cuerpo de agua/cubierta artificial equivalente a 271,91 ha.

El NDVI es utilizado ampliamente en los estudios relacionados con la variabilidad espectral y los cambios de crecimiento de la vegetación, también es útil para la determinación de la producción vegetación verde y para detectar, conocer y manejar las posibles alteraciones en los cambios de cobertura vegetal y así poder evitar los impactos que conlleva estos cambios (Gandhi et al., 2015). Por lo que Ceceña et al. (2021) menciona que los bajos valores de NDVI indican una menor o nula de abundancia cobertura vegetal, lo que significa que la son zonas rocosas o suelos desnudos. Sin embargo, al realizar el proceso de reclasificación de la cobertura vegetal se comprimen los valores negativos en cuerpos de agua y los valores referidos a la cobertura vegetal son mayores al 0,1, lo cual en caso de este estudio concuerda con lo mencionado y se asemeja al manejo de los datos para la elaboración de los mapas de cobertura vegetal y el cálculo de sus áreas.

**Tabla 8.** Clasificación de cobertura vegetal en el distrito de Daniel Alomía Robles del periodo 2000

ID	Clase	Área (ha)	%
	Vegetación densa	4 542,67	30,10
	Vegetación dispersa	9 576,31	63,44
	Sin vegetación	703,09	4,66
	Cuerpo de agua / Cubierta artificiales	271,91	1,80
	Total	15 093,918	100,00

#### 4.1.1.2. Periodo 2010

En el periodo 2010, se observa una cobertura vegetal con ligeros cambios (Tabla 9 y Anexo 5), obteniendo la mayor conformación compuesta por un 66,68% de vegetación dispersa lo que hace referencia a 10 065,28 ha del territorio total del distrito de Daniel Alomía Robles. Asimismo, se obtuvo en forma secuencial un 25,58% de vegetación densa equivalente a 3 860,71 ha, 5,96% sin vegetación equivalente a 899,26 ha y 1,78% de cuerpo de agua/cubierta artificial equivalente a 268,73 ha.

Ibañes (2014) mediante su estudio realizado comenta que, al pasar los años en una zona, se verá un decrecimiento en los bosques primarios y principales, siendo causado por las actividades antropogénicas y de menor proporción lo que son producidos por las causas naturales, en donde se vio un cambio notable en la vegetación densa entre el año 2000 al 2010 en el distrito de Daniel Alomía Robles.

**Tabla 9.** Clasificación de cobertura vegetal en el distrito de Daniel Alomía Robles del periodo 2010

ID	Clase	Área (ha)	%
	Vegetación densa	3 860,71	25,58
	Vegetación dispersa	10 065,28	66,68
	Sin vegetación	899,26	5,96
	Cuerpo de agua / Cubierta artificiales	268,73	1,78
	Total	15 093,98	100,00

#### 4.1.1.3. Periodo 2020

Al transcurso de los años se observa una variación en el cambio de la cobertura vegetal, tal es el caso del periodo 2020 (Tabla 10 y Anexo 5) donde se obtiene que la mayor conformación de cobertura vegetal está compuesta en un 79,36% de vegetación dispersa lo que hace referencia a 11 982,99 ha del territorio total del distrito de Daniel Alomía Robles. Asimismo, se obtuvo en forma secuencial 12,26% de vegetación densa equivalente a 1 850,89 ha, 6,45% sin vegetación equivalente a 973,91 ha y 1,90% de cuerpo de agua/cubierta artificial equivalente a 286,19 ha.

Según MINAM (2020) el estudio realizado en el año 2019 para la cobertura y deforestación de los bosques húmedos amazónicos, en donde se contempla que la región de Huánuco sufrió una pérdida de 16 560 ha de cobertura vegetal, a partir del 2014 hasta el 2019 se observó que la pérdida fue disminuyendo de manera considerable. Además, dentro del estudio en los años 2018 y 2019 se menciona que el distrito de Daniel Alomía Robles

perdió un total de 473 ha y 151 ha respectivamente. Entonces, la clasificación “Sin vegetación”, presenta un ligero aumento del año 2010 al 2020; por lo cual se entiende como la pérdida de cobertura vegetal y esto concuerda con el estudio realizado en los bosques amazónicos.

**Tabla 10.** Clasificación de cobertura vegetal en el distrito de Daniel Alomía Robles del periodo 2020

ID	Clase	Área (ha)	%
	Vegetación densa	1 850,89	12,26
	Vegetación dispersa	11 982,99	79,39
	Sin vegetación	973,91	6,45
	Cuerpo de agua / Cubierta artificiales	286,19	1,90
	Total	15 093,98	100,00

#### 4.1.1.4. Regresión lineal de los cambios de cobertura vegetal entre los periodos 2000, 2010 y 2020 según su clasificación

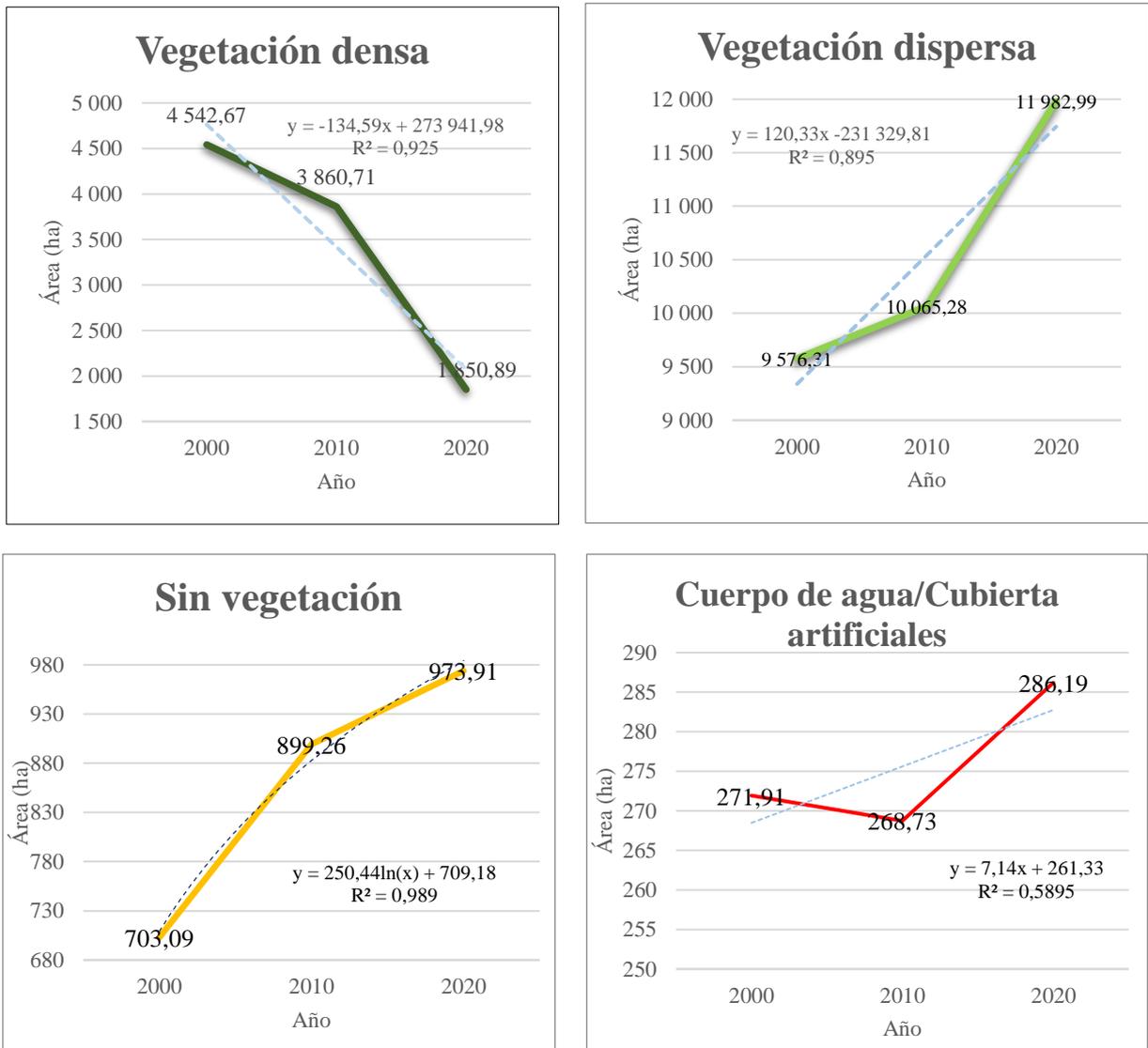
En la Tabla 11 se muestra el cambio de cobertura vegetal en el distrito Daniel Alomía Robles durante los periodos de los años 2000, 2010 y 2020, por lo que se observa la variación de la cobertura vegetal según su clase, suscitándose variaciones al transcurrir los periodos de años, ya sean incrementos positivos o negativos. Presentándose una disminución considerable en la clasificación de vegetación densa de unas 4 542,67 ha hasta 1 850,89 ha, mientras en las demás clasificaciones se observa incrementos o cambios positivos en la cobertura vegetal.

**Tabla 11.** Áreas de Cobertura vegetal en el distrito de Daniel Alomía Robles durante los periodos 2000, 2010 y 2020

N°	Clase	Año		
		2000	2010	2020
1	Vegetación densa	4 542,67	3 860,71	1 850,89
2	Vegetación dispersa	9 576,31	10 065,28	11 982,99
3	Sin vegetación	703,09	899,26	973,91
4	Cuerpo de agua/Cubierta artificiales	271,91	268,73	286,19

En el análisis relacional de regresión de las clasificaciones de cobertura vegetal, se tienen los siguientes valores de los coeficientes de determinación

$R^2=0,925$ ,  $R^2=0,895$ ,  $R^2=0,989$  y  $R^2=0,5895$  respectivamente al orden de clasificación de la Tabla 3, siendo las 3 primeras clasificaciones, las cuales indican, que tienen una relación fuerte a perfecta entre las áreas de cobertura vegetal, mientras, la clasificación de cuerpo de agua/ coberturas artificiales presenta un coeficiente de rango entre moderada y fuerte.



**Figura 3.** Regresión lineal según la clase de cobertura vegetal para los años 2000, 2010 y 2020.

#### 4.1.2. Determinación de la tasa de cambio de cobertura vegetal en el distrito de Daniel Alomía Robles

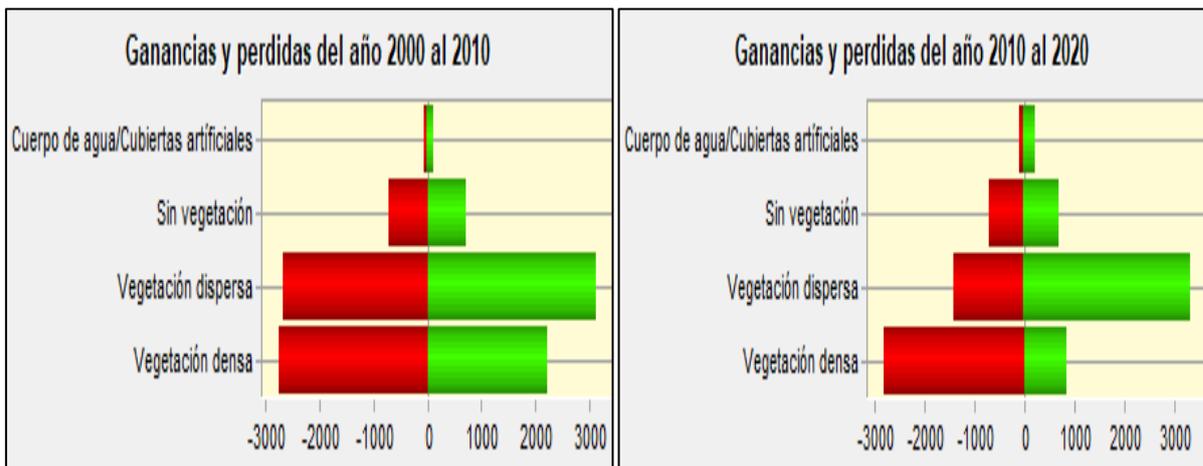
##### 4.1.2.1. Cambios de cobertura vegetal según su clasificación

En los cambios de cobertura vegetal según su clasificación del periodo 2000 al 2010, se tuvo cambios en las áreas de la clase de vegetación densa, mientras en la clasificación de cuerpos de aguas se obtuvo insignificantes cambios en sus áreas como se muestra en la Figura 5 y Figura 6. Además, en la Figura 4, se observó que en la clasificación

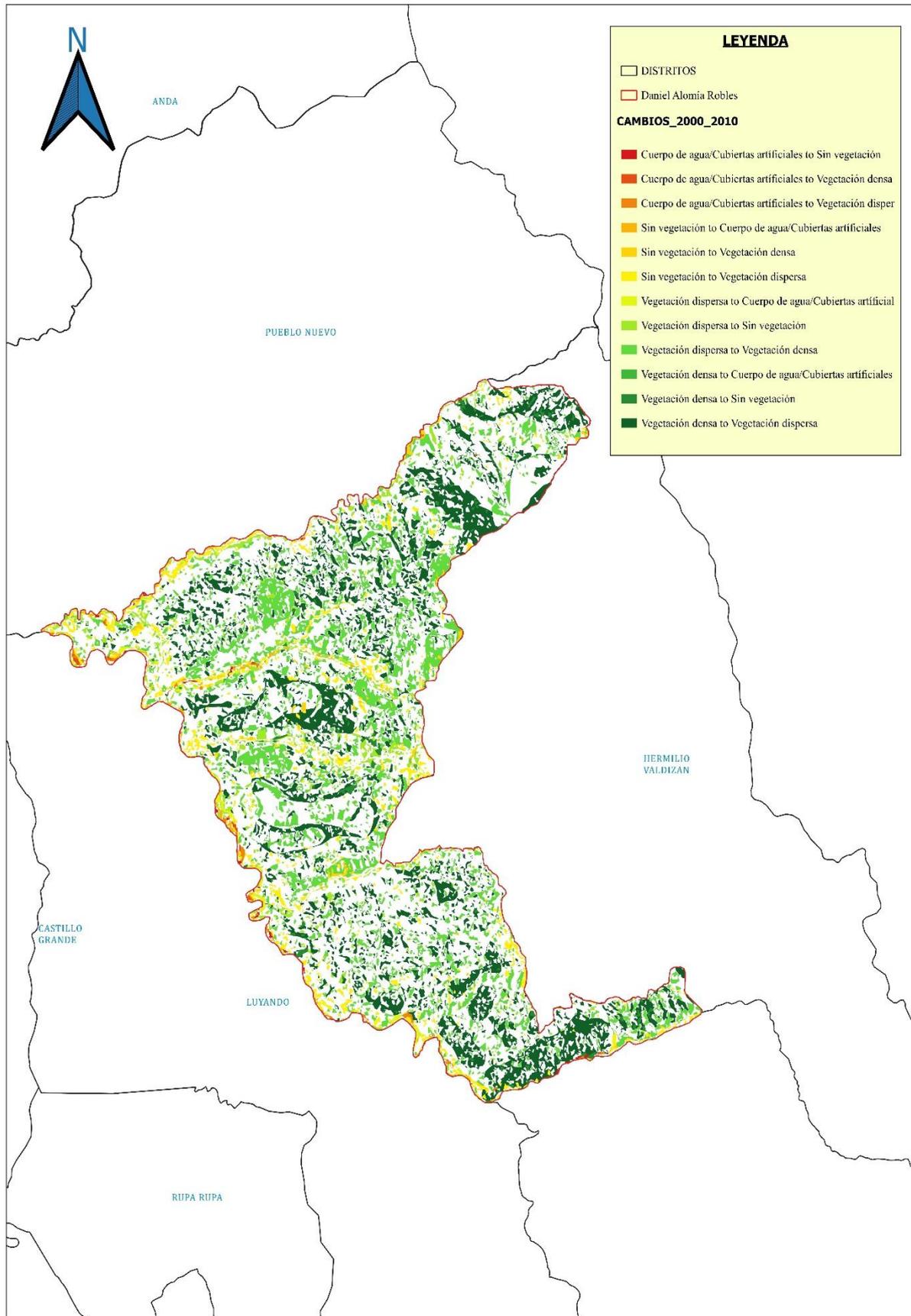
de vegetación densa tuvo mayor pérdidas áreas, mientras que la vegetación densa tuvo mayores ganancias en sus áreas.

Según Burga (2016) menciona que es común confundir los cambios de cobertura vegetal con la intervención de las coberturas boscosas por la deforestación, por lo que el primer caso es generado o puede estar generado por el deterioro de la calidad del suelo, agua y biodiversidad, pero no necesariamente se ve afectada la cobertura vegetal, mientras que la deforestación es un cambio continuo para la pérdida de los bosques; pero cabe precisar que, los cambios en la cobertura se pueden dar de manera natural. En tal sentido para la detección de cambios en la cobertura vegetal, se utiliza el análisis de ganancias y pérdidas; el cual puede ser a través de una matriz de transición o mediante gráficos piramidal (Osuna et al., 2015).

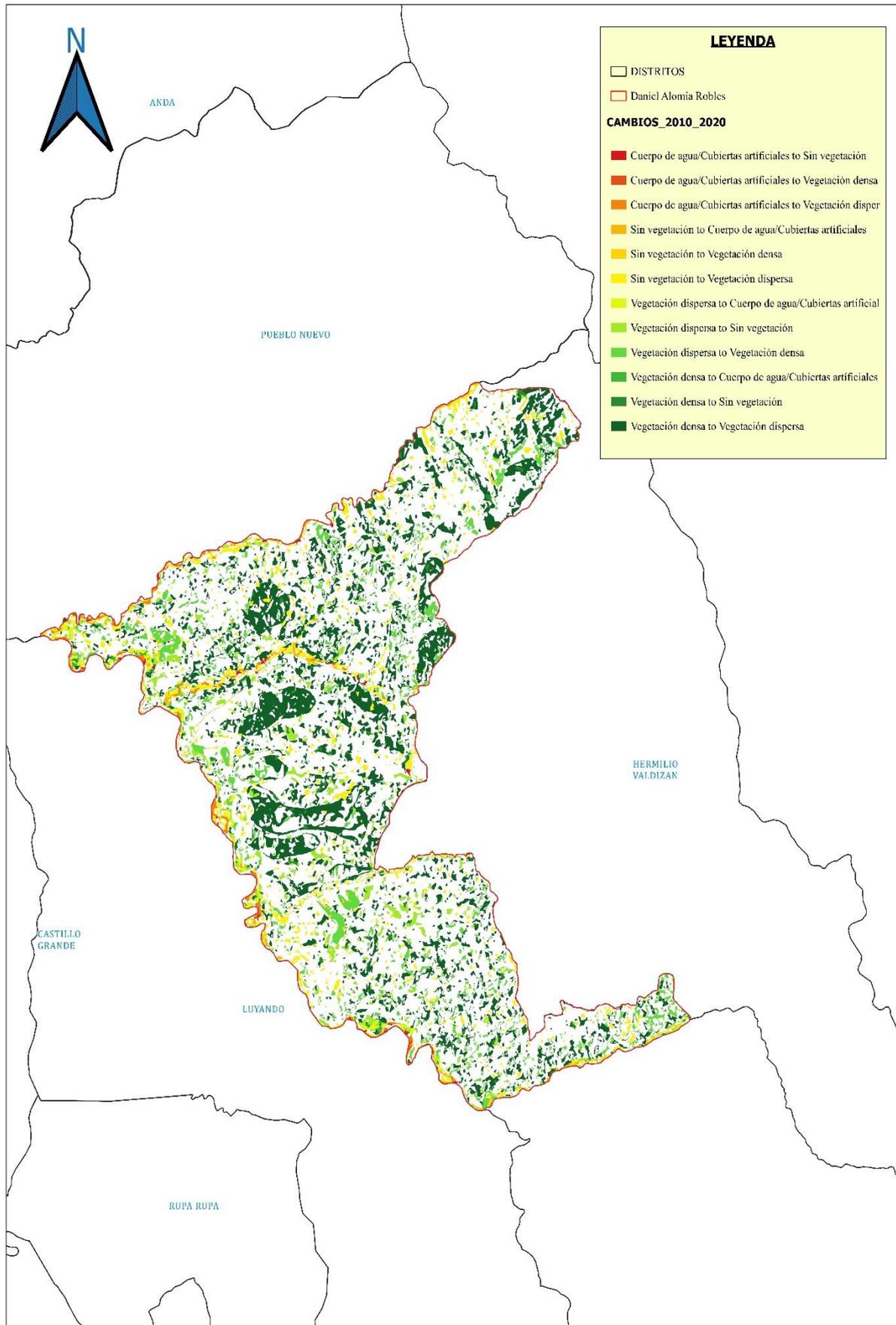
Palacios et al. (2019) analizó 4 clasificaciones para la cobertura vegetal, dentro de esas clasificaciones pudo determinar que se perdieron y ganaron superficies o hectáreas en el transcurso del espacio y tiempo, además, cada una de las 4 clases cambiaron a las otras tres clasificaciones y esto se debe a que cada uno de las clasificaciones son susceptibles a cambiar a otra clasificación. Esto concuerda con el estudio realizado en el distrito de Daniel Alomía Robles y los cambios de clasificación a clasificación se observa en la Figura 5 y Figura 6.



**Figura 4.** Ganancias y pérdidas del periodo 2000 al 2020



**Figura 5.** Cambio de cobertura vegetal del 2000 al 2010



**Figura 6.** Cambio de cobertura vegetal del 2010 al 2020

#### 4.1.2.2. Tasa de cambio del periodo 2000 al 2020

En la Tabla 12 y 13, se observó que los datos en el periodo 2000 al 2010 y el periodo 2010 al 2020, en los cuales se tiene que la clasificación de vegetación densa presenta una tasa anual de  $-1,61\%$  y  $-7,09\%$  respectivamente; generándose las tendencias negativas o de pérdidas de cobertura vegetal. Con referencia a las demás clasificaciones de cobertura vegetal, tienden a incrementar su valor en la tasa anual como es caso de la vegetación dispersa, por lo que, se ha venido generando pérdidas en lo que son los bosques primarios del distrito de Daniel Alomía Robles, ya que si, los valores tienen una tendencia positiva; hay mayor incremento de sus áreas de su clasificación respectiva, a excepción del periodo 2000 al 2010, donde la clase de Cuerpo de agua tuvo una tendencia negativa, esto se debe a que los cuerpos de aguas están en un constante movimiento y esto se debe a la dinámica fluvial (sedimentación y erosión) siendo que mediante este proceso se produce en los cambios en la topografía y relieve de los ríos (Martín et al., 2012).

**Tabla 12.** Tasa de cambio de cobertura vegetal del periodo 2000 al 2010

Clase	Área en los periodos (ha)		Tasa anual (%/año)	Observación
	2000	2010		
Vegetación densa	4 542,67	3 860,71	- 1,61	Disminuyo
Vegetación dispersa	9 576,31	10 065,28	0,50	Incremento
Sin vegetación	703,09	899,26	2,49	Incremento
Cuerpo de agua/Cubiertas artificiales	271,91	268,73	- 0,12	Disminuyo

**Tabla 13.** Tasa de cambio de cobertura vegetal del periodo 2010 al 2020

Clase	Área en los periodos (ha)		Tasa anual (%/año)	Observación
	2010	2020		
Vegetación densa	3 860,71	1 850,89	-7,09	Disminuyo
Vegetación dispersa	10 065,28	11 982,99	1,76	Incremento
Sin vegetación	899,26	973,91	0,80	Incremento
Cuerpo de agua/Cubiertas artificiales	268,73	286,19	0,63	Incremento

#### 4.1.3. Validación del proceso de cambio de cobertura vegetal para el año 2030

Para la validación del mapa de cobertura del año 2020, en la Tabla 14 se ve los datos obtenidos mediante la supervisión clasificada de forma comprimida en la matriz de confusión donde los valores exactitud del usuario y exactitud del productor se encuentra por encima del 0,8 o que equivale al 80%.

**Tabla 14.** Matriz de confusión

Clase	Vegetación densa	Vegetación dispersa	Sin vegetación	Cuerpo de agua	Total	Exactitud Usuario	Error Comisión
Vegetación densa	<b>53</b>	5	3	0	61	0,87	0,13
Vegetación dispersa	2	<b>48</b>	4	2	56	0,86	0,14
Sin vegetación	0	0	<b>48</b>	10	58	0,83	0,17
Cuerpo de agua	0	2	0	<b>43</b>	45	0,96	0,04
Total	55	55	55	55	<b>220</b>		
Exactitud Productor	0,96	0,87	0,87	0,78			
Error Omisión	0,04	0,13	0,13	0,22			

El índice de Kappa resulto tener un valor de 0,83 donde su fuerza de concordancia equivalente es a Casi perfecta, como expresa Mas et al. (2003), los índice de confiabilidad diversos no toman en cuenta los elementos que están fuera de la diagonal de la matriz de confusión, por lo que, el índice de Kappa utiliza sumas marginales de la matriz confusión y da cuenta de la contribución del azar y generando así la fiabilidad para exportar los mapas, siempre y cuando sea un muestreo simple; por lo que, el valor se acerca al valor 1, se tiene la mejor validación y se estima que están correctamente clasificados, esto va de acuerdo a lo expresado por Nájera et al. (2021), que el valor del coeficiente Kappa es usado como referencia para evaluar la exactitud del mapa, por lo cual, a mayor nivel de concordancia de los datos significa que presenta un menor número de errores, dado que hay mayor nivel de exactitud con referencia al mapa.

Según Rojas (2017) validó su estudio realizado en la amazonia del Perú, a través del Idrisi Selva 17.0 en su ventana de Land Modeler Change, el cual se enfoca en el método del índice Kappa. Donde su estudio consistió en tres periodos de evaluación, siendo el 2015; el último año de evaluación y, además, es el periodo que más se aproxima a la realidad del terreno de la fecha actual y así obtuvo un valor del 97% de confiabilidad; esto quiere decir que su modelo se encontró en el rango de casi perfecta, por lo que con este valor se puede estimar los cambios a futuro, ya que es superior al 0,81 (Viera & Garrett, 2005). Siendo este rango similar al estudio realizado en el distrito de Daniel Alomía Robles y a la vez siendo viable para la simulación de cobertura vegetal para el año 2030.

#### 4.1.4. Simulación del proceso de cambio de cobertura vegetal para el año 2030

El cambio de cobertura vegetal en el Distrito Daniel Alomía Robles es influenciado por los componentes (vías, centros poblados y superficies de agua). Como resultado de la simulación para el año 2030, mediante el procesamiento de mapas del año 2020 se tiene que una distancia de la cobertura vegetal hacia las vías de 100 a 4 220,19 m (Anexo 5), una distancia de 100 a 7 200,69 m hacia los centros poblados (Anexo 5) y una distancia de 100 a 2 844,29 m hacia la superficie de agua (Anexo 5).

**Tabla 15.** Clasificación de cobertura vegetal en el distrito de Daniel Alomía Robles para el periodo 2030

ID	Clase	Área (ha)	%
	Vegetación densa	1 171,84	7,76
	Vegetación dispersa	12 472,34	82,63
	Sin vegetación	1 1149,17	7,61
	Cuerpo de agua / Cubierta artificiales	300,63	1,99
	Total	15 093,98	100,00

Con la simulación realizada para el año 2030 (Tabla 15 y Anexo 5) donde se obtiene que la mayor conformación de cobertura vegetal está compuesta en un 7,76% de vegetación densa lo que hace referencia a 1 171,84 ha del territorio total del distrito de Daniel Alomía Robles. Asimismo, se obtuvo en forma secuencial 82,63% de vegetación dispersa equivalente a 12 472,34 ha, 7,61% sin vegetación equivalente a 1 1149,17 ha y 1,9% de cuerpo de agua/cubierta artificial equivalente a 300,63 ha. De acuerdo a Ibañes (2014) comenta que el modelamiento para predecir los escenarios a futuro de los cambios de cobertura es muy importante, ya que permiten desarrollar tecnologías y herramientas para la conservación del medio ambiente y de los bosques. Además, dentro de su estudio menciona, que estas pérdidas

de cobertura vegetal son producidas por la intensificación de actividades antrópicas; dado que al pasar los años hay un aumento masivo de poblaciones, habilitación de nuevas vías, etc., con respecto al modelo generado para Daniel Alomía Robles, vemos que la vegetación densa es la más afectada.

Según Balzter (2000) la cobertura vegetal es un proceso estocástico que está sujeto a la probabilidad de cambios de las clases y están en función del transcurso del tiempo y a su vez depende de los cambios anteriores para su respectiva proyección al futuro; siendo el más usado, el método de las cadenas de Markov; ya que representa un conjunto de elementos que hacen transiciones de una clase a otro con el transcurrir el tiempo, evaluando el estado actual, por lo que este estudio realizado en el distrito de Daniel Alomía Robles estuvo sujeto este método para la simulación al 2030. Además, las transiciones en los cambios de cobertura vegetal no solo destacan de manera natural, sino lo que más resalta es la actividad antropogénica (Nájera et al., 2021).

#### **4.2. Modelación y simulación del comportamiento espacio – tiempo y la temperatura ambiental del distrito de Daniel Alomía Robles.**

##### **4.2.1. Modelo para el año 2000**

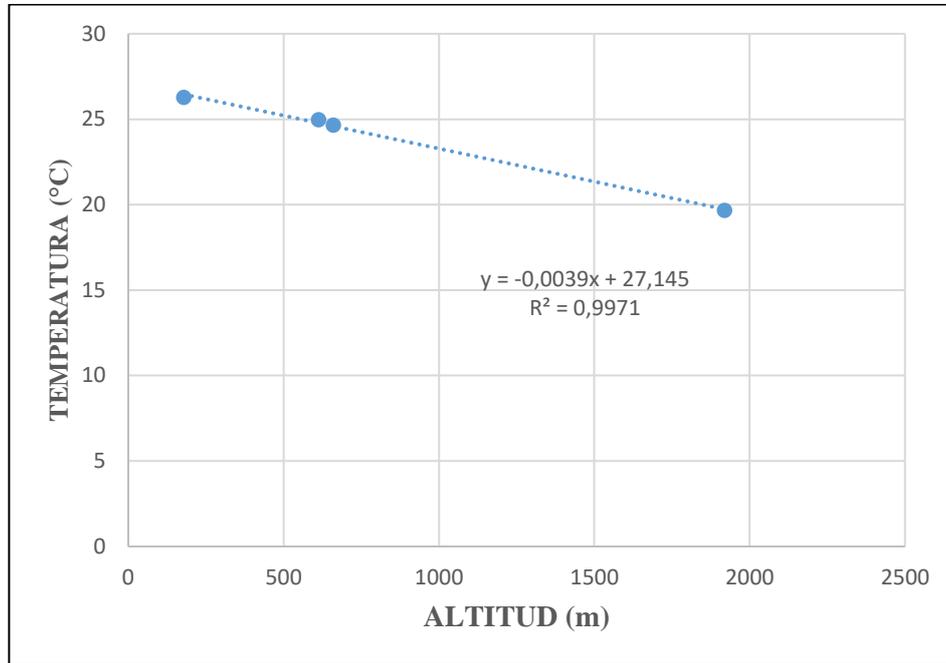
La combinación de los datos mostrado en la Figura 7 se calculó el valor de Gradiente vertical de temperatura troposférico (GVTT) el cual fue de  $-0,0039$  mediante la regresión lineal mostrada en la Tabla 16 con un coeficiente de determinación de Pearson de  $0,9997$  y la ecuación lineal de  $T = -0,0039 * Z + 27,145$ , entonces se observa que mientras, el nivel altitudinal va incrementándose, la temperatura va descendiendo y esto se refleja en el mapa del modelo espacial de la temperatura ambiental (Anexo 5).

**Tabla 16.** Correlación de Pearson para la altitud y temperatura ambiental para el año 2000

Estaciones	Altitud (m)	Temperatura (°C)	Desv(x)	Desv(y)	Cov	r	R <sup>2</sup>
Tingo María	660.0	24.65					
Maronal	178	26.28					
Huánuco	1919	19.67	749.86	2.90	4534.04	-0.999	0.997
Tulumayo	612	24.97					
SUMA	3369	95.56					
PROMEDIO	842.25	23.89					

De acuerdo con el modelo el distrito de Daniel Alomía Robles para el año 2000, presentó temperatura ambiental desde los  $17,91$  °C hasta los  $24,11$  °C en los diferentes

niveles altitudinales (Anexo 5). En el estudio realizado con las 4 estaciones disponibles y cercanas al distrito de Daniel Alomía Robles se tiene una variación de 0,39 °C por cada 100 m de piso altitudinal.



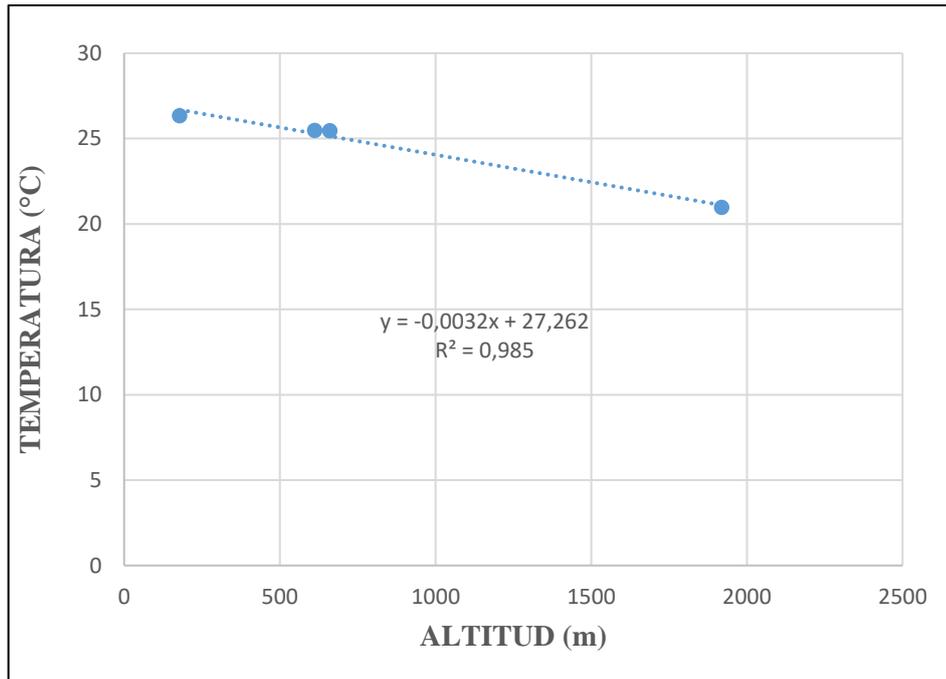
**Figura 7.** Regresión de la temperatura ambiental y el nivel altitudinal para el año 2000

#### 4.2.2. Modelo para el año 2010

La combinación de los datos mostrado en la Figura 8 se calculó el valor de Gradiente vertical de temperatura troposférico (GVTT) el cual fue de  $-0,0032$  mediante la regresión lineal mostrada en la Tabla 17 con un coeficiente de determinación de Pearson de 0,985 y la ecuación lineal de  $T = -0,0032 * Z + 27,262$ , entonces se observa que mientras, el nivel altitudinal va incrementándose, la temperatura va descendiendo y esto se refleja en el mapa del modelo espacial de la temperatura ambiental (Anexo 5).

**Tabla 17.** Correlación de Pearson para la altitud y temperatura ambiental para el año 2010

Estaciones	Altitud (m)	Temperatura (°C)	Desv(x)	Desv(y)	Covarianza	r	R <sup>2</sup>
Tingo María	660.0	25.45					
Maronal	178	26.33					
Huánuco	1919	20.97	749.86	2.42	5090.83	-0.992	0.985
Tulumayo	612	25.47					
SUMA	3369	98.24					
PROMEDIO	842.25	24.56					



**Figura 8.** Regresión de la temperatura ambiental y el nivel altitudinal para el año 2010

De acuerdo con el modelo el distrito de Daniel Alomía Robles para el año 2010, presentó temperatura ambiental desde los 19,49 °C hasta los 24,75 °C en los diferentes niveles altitudinales (Anexo 5). En el estudio realizado con las 7 estaciones disponibles y cercanas al distrito de Daniel Alomía Robles se tiene una variación de 0,32 °C por cada 100 m de piso altitudinal.

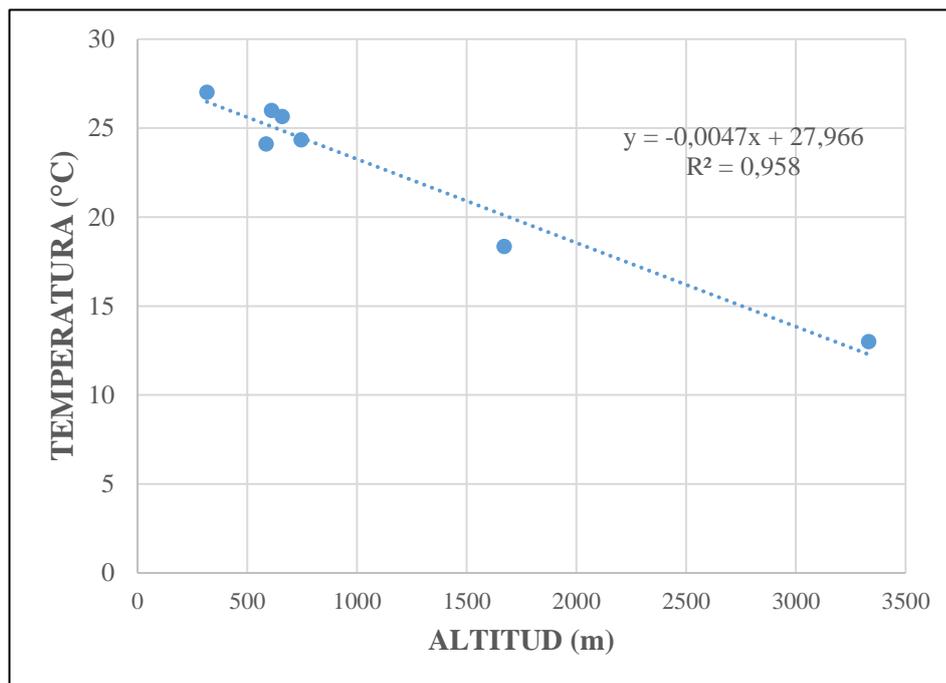
#### 4.2.3. Modelo para el año 2020

En la Tabla 18 se observa la correlación de Pearson entre la altitud de la estaciones y temperatura ambiental promedio, donde, la temperatura menor se encontró en los datos es en la estación de Chaglla, ya que presenta un mayor nivel altitudinal y una mayor temperatura en la estación de Aguaytia, el cual presenta una altitud menor. La combinación de los datos mostrado en la Figura 9 se calculó el valor de Gradiente vertical de temperatura troposférico (GVTT) el cual fue de  $-0,0047$  mediante la regresión lineal mostrada en la Tabla 18 con un coeficiente de determinación de Pearson de 0,958 y la ecuación lineal de  $T = -0,0047 * Z + 27,966$ , entonces se observa que mientras, el nivel altitudinal va incrementándose, la temperatura va descendiendo y esto se refleja en el mapa del modelo espacial de la temperatura ambiental (Anexo 5). Según el estudio realizado por Eslava (1992) el cual determino la relación del nivel altitudinal de con respecto a la temperatura media vemos que presenta un modelo de regresión lineal similar a la zona estudio como el modelo lineal de la Figura 10.

**Tabla 18.** Correlación de Pearson para la altitud y temperatura ambiental para el año 2020

Estaciones	Altitud (m)	Temperatura (°C)	Desv(x)	Desv(y)	Cov	r	R <sup>2</sup>
Tingo María	660	25.65					
Chaglla	3332	13.00					
Tulumayo	612	25.99					
Aucayacu	586	24.11	1059.70	5.10	23593.61	-0.98	0.958
La Divisoria	1672	18.36					
Aguaytía	316	27.01					
Pozuzo	746	24.34					
SUMA	7924	158.46					
PROMEDIO	1132	22.64					

De acuerdo con el modelo el distrito de Daniel Alomía Robles para el año 2020, presentó temperatura ambiental desde los 18,71 °C hasta los 28,35 °C en los diferentes niveles altitudinales (Anexo 5). Bach et al. (2003) comenta que existe un gradiente inverso entre la temperatura y la altitud, además menciona que por cada aumento de 100 m en los pisos altitudinales la temperatura disminuye en 0,61 °C. En el estudio realizado con las 7 estaciones disponibles y cercanas al distrito de Daniel Alomía Robles se tiene una variación de 0,47 °C por cada 100 m de piso altitudinal.

**Figura 9.** Regresión de la temperatura ambiental y el nivel altitudinal para el año 2020

### 4.3. Modelación y simulación el comportamiento espacio – tiempo, la temperatura ambiental y la cobertura vegetal del distrito de Daniel Alomía Robles.

Con los datos de la Tabla 26 se realizó la prueba de normalidad con las variables de estudios, donde se separó por la clasificación de la cobertura vegetal; presentando así, todas las variables una tendencia de distribución normal (Tabla 19).

**Tabla 19.** Prueba de normalidad

Variables	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
Año	0,905	5	0,436
Vegetación densa	0,950	5	0,737
Vegetación dispersa	0,929	5	0,589
Sin Vegetación	0,963	5	0,828
Temperatura	0,981	5	0,940

De la regresión lineal múltiple para cada clasificación de cobertura vegetal se obtuvo los siguientes datos (Tabla 20) de los coeficientes de correlación de Pearson y determinación. Encontrándose los entre rango de correlación excelente y un grado de determinación de relación fuerte y perfecta, por lo que los modelos de temperatura ambiental se ajustan con la regresión lineal múltiple, siendo la clase de sin vegetación que se ajusta más al modelo con un coeficiente de determinación de 0,956.

**Tabla 20.** Coeficiente de correlación y determinación para la temperatura ambiental

Año	Clasificación de cobertura vegetal	r	R <sup>2</sup>
2000, 2010, 2017, 2020 y 2022	Vegetación densa	0,951	0,904
	Vegetación dispersa	0,939	0,881
	Sin vegetación	0,978	0,956

**Tabla 21.** Regresión lineal múltiples para el modelo de temperatura ambiental en función de los años y la clase de cobertura vegetal

Modelo	Vegetación densa		Vegetación dispersa		Sin vegetación	
	B	Desv. Error	B	Desv. Error	B	Desv. Error
(Constante)	76,795	309,626	- 34,636	295,526	27,527	149,908
AÑO	- 0,025	0,152	0,022	0,153	- 0,007	0,076
ÁREA DE COBERTURA VEGETAL	- 0,001	0,001	0,001	0,001	0,010	0,004

De la Tabla 21 se obtuvo los coeficientes de la regresión múltiple, los cuales fueron usados para la generación de los modelos de temperatura ambiental en función de los años y la clasificación de cobertura vegetal, los cuales fueron:

Ecuación 21: Modelo para la temperatura ambiental en función de la vegetación densa.

$$Ty_{(año,C_{cv})} = Ty_R + (-0,025(AñoE - 2\ 013,8)) + (-0,001(C_{cvR} - 2\ 865,524)) \dots (21)$$

Ecuación 22: Modelo para la temperatura ambiental en función de la vegetación dispersa.

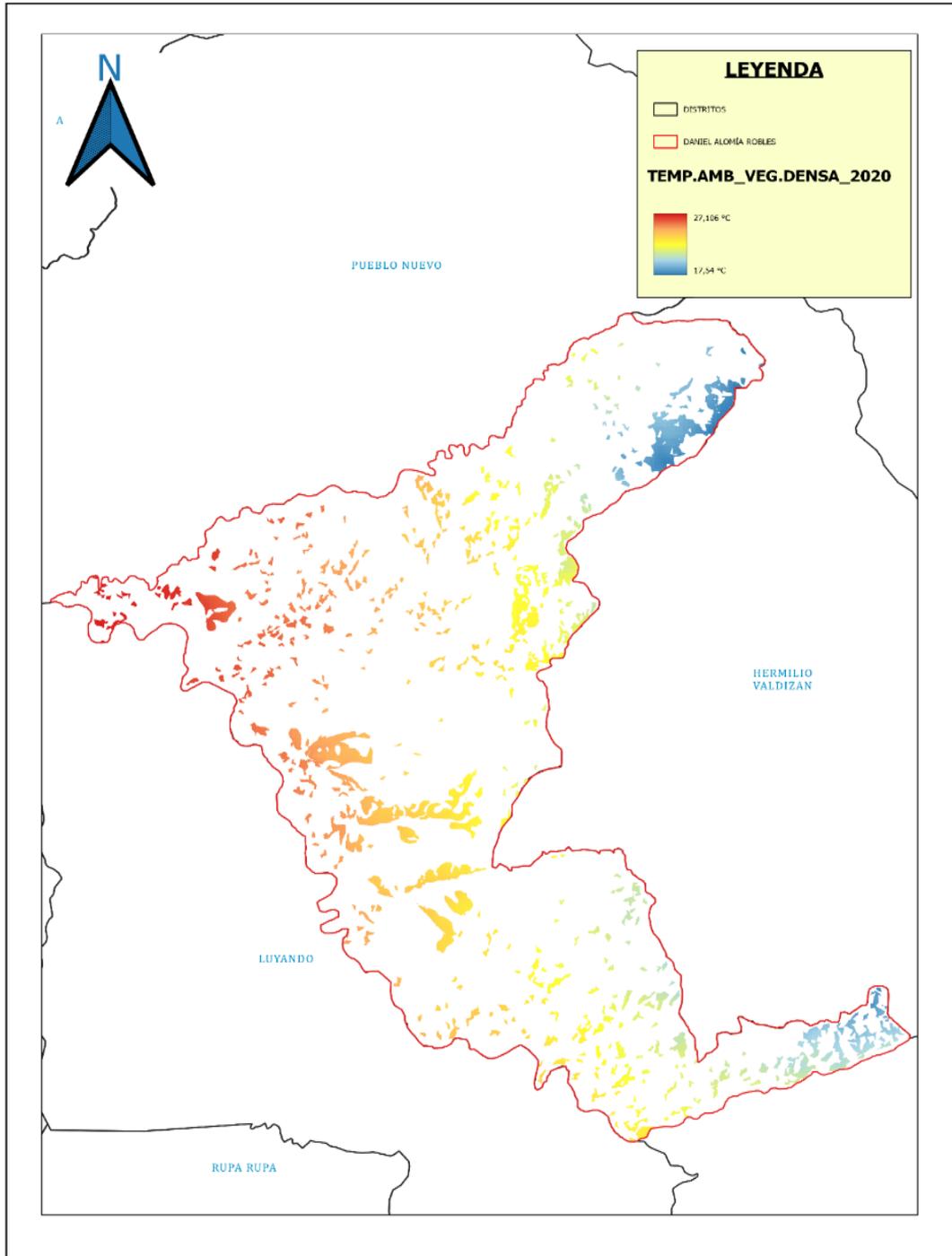
$$Ty_{(año,C_{cv})} = Ty_R + (0,022(AñoE - 2\ 013,8)) + (0,001(C_{cvR} - 11\ 013,124)) \dots (22)$$

Ecuación 23: Modelo para la temperatura ambiental en función de la sin vegetación.

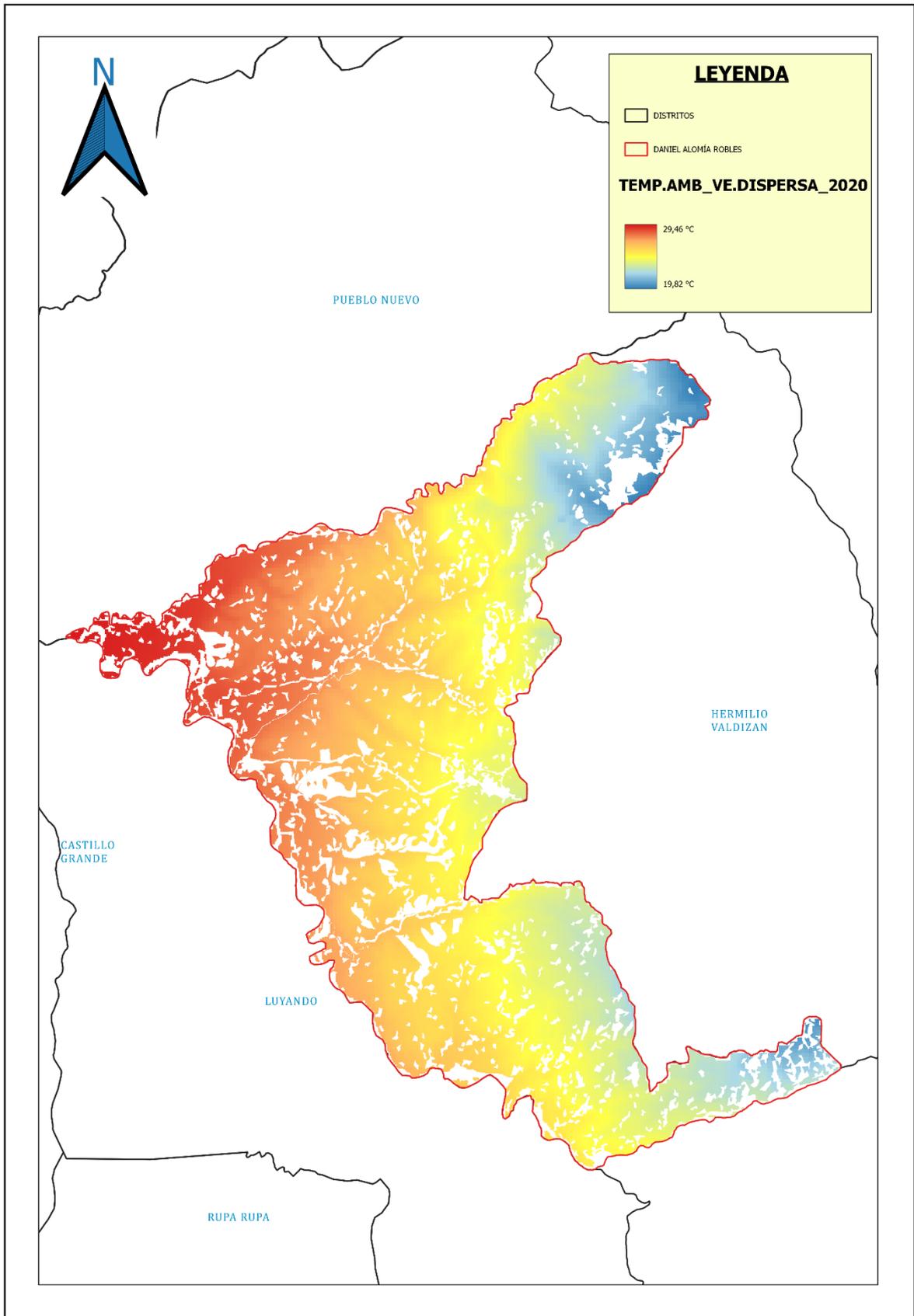
$$Ty_{(año,C_{cv})} = Ty_R + (-0,007(AñoE - \bar{A})) + (0,01(C_{cvR} - 938,426)) \dots (23)$$

En la Figura 10, Figura 11 y Figura 12 se observan la temperatura ambiental en función de la cobertura vegetal del año 2020, donde se tuvo una mayor temperatura en la clasificación de vegetación dispersa con un valor de 29,46 °C y presento la menor temperatura en la clasificación de vegetación densa con un valor de 17,51 °C (Anexo 5). Según Alshaikh (2015) encontró en su estudio que la disminución de la cubierta vegetal produce que la temperatura se incremente y está predispuesto a que, las coberturas vegetales generan

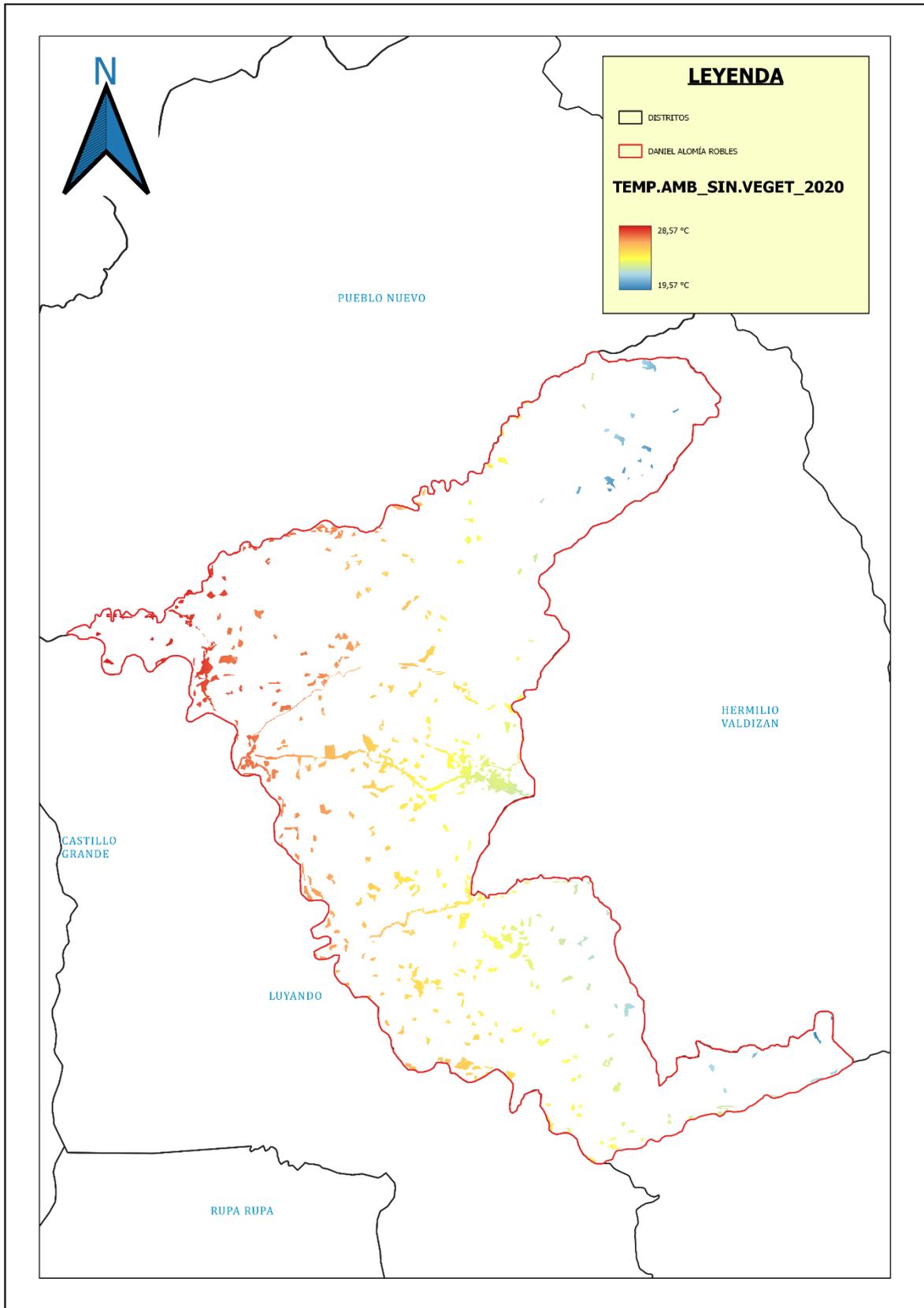
microclimas, encontrándose influenciadas tanto en la temperatura con las coberturas vegetales densas (Galeana et al., 2009). De acuerdo con lo mencionado, se aprecia que la clasificación de vegetación densa presenta un rango menor de temperatura, a diferencias de las dos clasificaciones restantes; ya que presentan valores mayores. Además, Bach et al. (2003) menciona que la temperatura tiene una disminución de  $0,51\text{ }^{\circ}\text{C}$  dentro de una vegetación superior a los 2 metros de altura.



**Figura 10.** Temperatura ambiental en función de la vegetación densa para el año 2020



**Figura 11.** Temperatura ambiental en función de la vegetación dispersa para el año 2020



**Figura 12.** Temperatura ambiental en función de la clase sin vegetación para el año 2020

## V. CONCLUSIÓN

1. La cobertura vegetal del distrito de Daniel Alomía Robles mediante los periodos de evaluación 2000, 2010 y 2020 sufrieron cambios al transcurrir el tiempo, en tal sentido, la clase de vegetación densa obtuvo la mayor pérdida de hectáreas desde el año 2000 al 2020, ya que presentó una tendencia negativa en el análisis de regresión a diferencia de las otras 3 clasificaciones. La tasa de cambio de cobertura vegetal en los periodos del 2000 al 2010 y del 2010 al 2020, presentó un valor de tasa anual negativa en la clasificación de vegetación densa, teniendo a su vez una validación de la clasificación del año 2020 de un valor de 0,83, el cual indica una fuerza de concordancia de casi perfecta. Por lo tanto, simulación de la cobertura vegetal para el distrito de Daniel Alomía Robles del año 2030 tuvo una tasa anual de cambio de  $-4,47\%$ /año en la cobertura vegetal densa, mientras las clasificaciones restantes tuvieron incrementos en su valor anual.
2. El modelo de la temperatura ambiental presentó un gradiente vertical de temperatura troposférico negativo en los tres años de evaluación, indicando una relación inversa entre la temperatura y altitud del distrito de Daniel Alomía Robles. En tal sentido, el distrito de Daniel Alomía Robles presentó temperaturas desde los  $18,71\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta los  $28,35\text{ }^{\circ}\text{C}$  para el año 2020, con el gradiente de  $-0,47\text{ }^{\circ}\text{C}$  por cada 100 m de incremento de piso altitudinal.
3. La temperatura ambiental en relación de la cobertura vegetal y el tiempo, se pudo determinar los modelos de temperatura con sus respectivas ecuaciones y valores para las siguientes clasificaciones: la vegetación densa, vegetación dispersa y sin vegetación., donde el rango de la temperatura ambiental resultó ser la menor para clasificación de vegetación densa equivalente a  $17,54\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $27,106\text{ }^{\circ}\text{C}$ , por lo que se acopla con los microclimas que tienen las áreas de densas cubiertas vegetales.

## **VI. PROPUESTAS A FUTURO**

1. Evaluar el distrito de Daniel Alomía Robles con imágenes de mejor resolución espacial y donde no se vea interferido con la cobertura nubosa como las imágenes de radares de apertura sintética (SAR).
2. Analizar la relación de los factores bioclimáticos y los cambios de cobertura vegetal, para ver si los cambios son producidos directamente por estos factores.
3. Analizar la relación de tendencia entre el relieve y cobertura vegetal a través del tiempo.
4. Estudiar los factores socioeconómicos y ambientales que conlleva la pérdida de cobertura vegetal en el distrito de Daniel Alomía Robles.

## VII. REFERENCIAS

- Aaviksoo, K. (1995). Simulating vegetation dynamics and land use landscape using a Markov model. *Revista Elsevier*, 31(3), 129-142.
- Ambrosio, G., Gonzales, J, y Arevalo, V. (2002). Corrección radiométrica y geométrica de imágenes para la detección de cambios en una serie temporal. *MAP*, 1(1), 1-10.
- Alshaikh, A. (2015) Interrelación entre la densidad de la cubierta vegetal y la temperatura de la superficie terrestre utilizando datos satelitales, estudio de caso de Wadi Bisha, KSA del sur. *Avances en la Percepción Remota*, 4 (3), 248-262. 10.4236/ars.2015.43020 .
- Bach, K. Schawe, M. Beck, S. Gerold, G. Gradstein, S. R. y Moraes, M. (2003). Vegetación, suelos y clima en los diferentes pisos altitudinales de un bosque montano de Yungas, Bolivia: Primeros resultados. *Ecología en Bolivia*, 38(1), 3-14.
- Baltezer, H. (2000). Markov chain models for vegetation dynamics. *Elsevier*, 126(3), 139-154.
- Barba, D. (2018). *Análisis prospectivo del proceso de deforestación en el sector la pampa–Guacamayo, Tambopata–Madre de Dios, periodo 1999 al 2030*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios]
- Burga, M. (2016). *Incremento de la deforestación y sus consecuencias en la pérdida de biomasa en los bosques de la región Loreto, 2000-2014*. [Tesis de posgrado, Universidad Nacional de la Amazonia Peruana]. Repositorio Institucional. <http://repositorio.ucp.edu.pe/handle/UCP/107>
- Chuvieco, E. (1995). Fundamentos de la Teledetección Especial. (2. a ed.). Rialp S.A.
- Chuvieco, E. (2010). Teledetección ambiental. (2. a ed.). Planeta.
- Ceceña, M. Ortega, A. Eaton, R. Solís, A. B. y Delgadillo, J. (2021). Evaluación de cambios en la cobertura vegetal en Isla Guadalupe mediante índices de vegetación. *Madera y Bosques*, 27(1), 120-142.
- Eslava, J. Perfil Altitudinal de la temperatura media del aire en Colombia. *Revista Geofísica Colombiana*, 1(4), 37-52.
- FAEDIS. (2015). Cadenas de Markov. Universidad Militar de Nueva Granada.
- Finer, M, y Mamani, N. (2018). Reducción de bosques primarios de la Amazonía Peruana. *Conservación amazónica*, 93(1). <https://maaproject.org/2018/bosques-primarios-peru/>
- Finer, M, y Mamani, N. (2020). Deforestación 2020 en la Amazonía Peruana. *Conservación amazónica*, 124(1). <https://maaproject.org/2020/amazonia-peruana/>

- Fries A., R. Rollenbeck, T. Nauss, T. Peters y J. Bendix (2012). Near surface air humidity in a megadiverse Andean Mountain ecosystem of southern Ecuador and its regionalization. *Agricultural and Forest Meteorology*, 152(1), 17-30.
- Galena, J. M. Corona, N. y Ordoñez, J. A. B. (2009). Análisis dimensional de la cobertura vegetal-uso de suelo en la cuenca del río Magdalena. *Scielo*, 34(105), 137-158.
- Gandhi, M. Parthiban, S. Thummalu, N. y Christy, A. (2015). Ndvi: Vegetation Change Detection Using Remote Sensing and GIS – A Case Study of Vellore Distric. *Elservier*, 57 (145), 1199-1210. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.07.415>
- Gómez, M. K. (2005). Índice de vegetación en áreas del bosque seco del noroeste del Perú a partir de imágenes satelitales. [Tesis de pregrado, Universidad de Piura]. [https://pirhua.udpe.edu.pe/bitstream/handle/11042/1182/ING\\_422.pdf](https://pirhua.udpe.edu.pe/bitstream/handle/11042/1182/ING_422.pdf)
- Gonzales, F., Ruiz, J, y Acosta, F. (2014). Tutorial de Teledetección Espacial. Universidad de las Palmas de Gran Canaria. [https://www.grss-ieee.org/wp-content/uploads/2014/07/ES\\_TUTORIAL\\_COMPLETO.pdf](https://www.grss-ieee.org/wp-content/uploads/2014/07/ES_TUTORIAL_COMPLETO.pdf)
- Ibáñez, A. J. (2019). Predicción de los cambios de cobertura y uso de la tierra al año 2026 en la cuenca del río Tocache, San Martín. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1413>
- Khan Academy. (febrero, 2021). Boletín Khan Academy (2). <https://es.khanacademy.org/science/biology/ecology/community-structure-and-diversity/a/ecological-succession>
- Márquez, H, y Rojas, A. (2017). Implementación de un algoritmo para el procesamiento de imágenes satelitales que discrimine zonas urbanas de zonas rurales. [Tesis de pregrado. Universidad de Ciencias y Humanidades].
- Martín, J. P., Rodríguez, E., Ferrer, C., Núñez, F., Maruny, D. (2012). Estudio de la dinámica morfológica del río Fluvia. Alcances y métodos frente a la escasez de datos. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 3(3), 115-133.
- Martínez, J., Martín, P., Díaz, J, y Muñoz, F. (2010). Guía Didáctica de Teledetección y Medio Ambiente. RNTA.
- Mas, J. F., Díaz-Gallegos, J. R. y Pérez, A. (2003). Evaluación de la confiabilidad temática de mapas o de imágenes clasificadas: una revisión. *Instituto de geografía UNAM*. 5, 53-72.

- Ministerio del Ambiente. (2020). *Apuntes del bosque 3: Monitoreo de la pérdida de Bosques Húmedos Amazónicos en el año 2019*. Ministerio de ambiente. <https://repositoriodigital.minam.gob.pe/handle/123456789/642>
- Municipalidad Distrital Daniel Alomía Robles. (2020). Evaluación de riesgos por inundación fluvial margen derecha del río Tulumayo en el sector Pumahuasi – Huamancoto, en el distrito de Daniel Alomía Robles, provincia Leoncio Prado – Huánuco. MDDAR. [https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/storage/biblioteca//9644\\_informe-de-evaluacion-de-riesgos-por-inundacion-fluvial-margen-derecha-del-rio-tulumayo-en-el-sector-pumahuasi-huamancoto-distrito-de-daniel-alomia-ro.pdf](https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/storage/biblioteca//9644_informe-de-evaluacion-de-riesgos-por-inundacion-fluvial-margen-derecha-del-rio-tulumayo-en-el-sector-pumahuasi-huamancoto-distrito-de-daniel-alomia-ro.pdf)
- Nájera, A., Carrillo, F. M., Morales, J. C. y Nájera, O. (2021). Cambio de cobertura y uso de suelo en la llanura costera asociados a procesos antropogénicos: caso San Blas, Nayarit. *Madera y Bosques*. 27 (1), 1-22. <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2712104>
- Olivo, A. (2017). *Clasificación de la vegetación del Karst de Sierra de las Nieves, utilizando imágenes Landsat*. [Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Madrid]. Biblioteca institucional UPM. [https://oa.upm.es/48286/1/TFM\\_Angelica\\_Antonia\\_Olivo\\_Candelario.pdf](https://oa.upm.es/48286/1/TFM_Angelica_Antonia_Olivo_Candelario.pdf)
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2020). Evaluación de los recursos forestales mundiales 2020 - Informe principal. FAO. <https://www.fao.org/3/ca9825es/ca9825es.pdf>.
- Osuna, A. K. Díaz, J. J. De Anda, J. Villegas, E. Gallardo, J. y Dávila, G. (2015). Evaluación de cambio de cobertura vegetal y uso de suelo en la cuenca del río Tecolutla, Veracruz, México; periodo 1994-2010. *Revista Ambiente & Agua*, 10 (2), 350-362.
- Palacios, J. J. Zárate-Gómez, R. Minaya, R. J. Martín, M. y Benavides, J.B. (2019). Predicción de la pérdida de la cobertura vegetal por aumento de áreas urbanas en Iquitos, Perú. *Ciencia Amazónica*, 7(1), 37-50.
- Peralta, C., Torrico, J.C., Vos, V.A., Galindo, M.G. y Contreras, C. (2015). Tasas de cambios de coberturas de suelo y deforestación (1986-2011) en el municipio de Riberalta, Amazonía boliviana. *Revista Science*, 50(2), 91-114.
- Pineda, O. (2011). *Análisis de cambio de uso de suelo mediante percepción remota en el municipio de valle de Santiago*. [Tesis de posgrado publicada, Centro de Investigación en Geografía y Geomática]. Repositorio Institucional. <https://centrogeo.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1012/41>

- Puyravaud, J. P. (2003). Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation. *Elsevier*, 177(3), 593-596. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(02\)00335-3](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00335-3)
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2010). Manual para la cobertura de REDD+. FAO. [https://www.cifor.org/publications/pdf\\_files/media/MCCMP1001s.pdf](https://www.cifor.org/publications/pdf_files/media/MCCMP1001s.pdf)
- Rojas, E. (2017). *Análisis y simulación para el año 2030 de los bosques húmedos amazónicos de Perú para el cambio climático*. [Tesis de posgrado publicada, Universidad de Barcelona]. Repositorio Institucional. <http://diposit.ub.edu/dspace/handle/2445/118801>
- Saldaña, V. (2019). *Análisis de los cambios de cobertura y uso del suelo con imágenes satelitales del distrito de Chancay Años 2001 y 2018*. [Tesis de pregrado no publicada. Universidad Nacional de Cajamarca].
- Sánchez, P. (2012). La teledetección enfocada a la obtención de mapas digitales. [Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/779/1/ti839.pdf>
- United States Geological Survey. (mayo, 2014). USGS. [https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-5?qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con=0#qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con](https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-5?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con)
- United States Geological Survey. (diciembre, 2017). USGS [https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-8?qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con=0#qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con](https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-8?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con)
- Viera, A. J. y Garrett, J. M. 2005. Understanding interobserver agreement: the kappa statistic. *Family medicine*, 37(5), 360-363.
- Walker, L. R. (2005). Margalef y la sucesión ecológica. *Revista Ecosistemas*, 14(1), 66-78.

## ANEXOS

### Anexo 1. Técnicas e instrumentos de recolección de información de campo



# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES

RENOVABLES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



### Ficha de Recolección de Datos

Nombre o Evaluador: Patrick Giuseppe Mora Calixto

Punto de monitoreo:

#### 1. Evaluación Física

1.1. Quebrada: Si  No

\_\_\_\_\_

#### 1.2. Suelo

- Pendiente: \_\_\_\_\_

#### 2. Evaluación Biológica

2.1. Tipo de vegetación: \_\_\_\_\_

Vegetación densa  Vegetación dispersa  Sin vegetación

Cuerpo de agua/Cubierta artificial

#### 2.2. Vegetación Agrícola

Cultivo: \_\_\_\_\_

#### 3. OBSERVACIONES:

---

---

---

**Anexo 2.** Cuadros de obtención de datos**Tabla 22.** Ubicación de los puntos de validación en coordenadas

Nº	Este (m)	Norte (m)	CLASE	Valor en gabinete	Valor en campo
1	393 129,1	8 987 689,7	Vegetación densa	1	1
2	394 045,5	8 987 622,6	Vegetación densa	1	1
3	391 944,4	8 987 041,5	Vegetación densa	1	1
4	394 570,8	8 987 209,1	Vegetación densa	1	1
5	396 159,7	8 987 366,2	Vegetación densa	1	1
6	401 550,2	8 987 168,7	Vegetación densa	1	1
7	401 409,1	8 989 087,8	Vegetación densa	1	1
8	399 715,7	8990 019,1	Vegetación densa	1	1
9	395 270,7	8 984 205,4	Vegetación densa	1	1
10	405 183,8	8 991 959,4	Vegetación densa	1	1
11	405 078,0	8 991 218,6	Vegetación densa	1	1
12	406 425,0	8 992 435,0	Vegetación densa	1	1
13	406 515,6	8 993 114,2	Vegetación densa	1	1
14	405 632,7	8 993 103,0	Vegetación densa	1	1
15	402 771,6	8 993 281,8	Vegetación densa	1	1
16	400 437,2	8 990 201,8	Vegetación densa	1	1
17	399 299,5	8 990 519,3	Vegetación densa	1	1
18	397 562,0	8 983 525,4	Vegetación densa	1	1
19	396 168,5	8 984 072,2	Vegetación densa	1	1
20	396 697,7	8 983 419,6	Vegetación densa	1	1
21	397 244,5	8 981 602,8	Vegetación densa	1	1
22	397 637,0	8 981 096,4	Vegetación densa	1	1
23	397 897,2	8 981 726,2	Vegetación densa	1	2
24	397 897,2	8 982 396,5	Vegetación densa	1	1
25	398 108,8	8 981 902,6	Vegetación densa	1	1
26	399 451,6	8 981 914,3	Vegetación densa	1	2
27	400 349,0	8 982 678,8	Vegetación densa	1	1
28	400 313,7	8 981 973,2	Vegetación densa	1	1
29	398 479,2	8 982 149,6	Vegetación densa	1	1
30	398 249,9	8 980 068,2	Vegetación densa	1	1
31	398 289,3	8 979 476,7	Vegetación densa	1	1
32	397 881,6	8 979 338,4	Vegetación densa	1	1
33	399 678,7	8 980 332,8	Vegetación densa	1	1
34	399 872,7	8 980 632,6	Vegetación densa	1	1
35	400 225,5	8 979 574,3	Vegetación densa	1	1
36	399 484,7	8 979 256,8	Vegetación densa	1	1
37	405 551,0	8 976 011,2	Vegetación densa	1	1
38	408 401,5	8 975 206,9	Vegetación densa	1	1

N°	Este (m)	Norte (m)	CLASE	Valor en gabinete	Valor en campo
39	408 782,5	8 976 265,2	Vegetación densa	1	1
40	402 305,5	8 976 095,9	Vegetación densa	1	1
41	402 446,6	8 977 619,9	Vegetación densa	1	1
42	410 562,3	8 976 222,9	Vegetación densa	1	1
43	410 271,2	8 976 831,4	Vegetación densa	1	1
44	409 798,0	8 975 718,4	Vegetación densa	1	1
45	409 583,3	8 976 566,9	Vegetación densa	1	1
46	409 265,8	8 975 852,5	Vegetación densa	1	1
47	408 207,5	8 975 561,4	Vegetación densa	1	1
48	407 493,1	8 975 323,3	Vegetación densa	1	1
49	406 487,7	8 975 111,7	Vegetación densa	1	1
50	406 328,9	8 974 825,9	Vegetación densa	1	1
51	404 217,5	8 975 095,8	Vegetación densa	1	1
52	404 235,6	8 977 335,5	Vegetación densa	1	1
53	404 433,2	8 980 016,6	Vegetación densa	1	1
54	400 016,4	8 976 291,2	Vegetación densa	1	1
55	396 960,0	8 986 752,4	Vegetación densa	1	1
56	398 164,2	8 985 555,5	Vegetación dispersa	2	2
57	397 170,7	8 989 101,1	Vegetación dispersa	2	2
58	397 223,6	8 985 079,5	Vegetación dispersa	2	2
59	396 288,7	8 985 150,0	Vegetación dispersa	2	2
60	395 988,9	8 988 113,4	Vegetación dispersa	2	2
61	392 690,4	8 987 160,9	Vegetación dispersa	2	2
62	394 842,3	8 988 889,5	Vegetación dispersa	2	2
63	400 345,7	8 985 079,5	Vegetación dispersa	2	2
64	400 310,4	8 985 591,0	Vegetación dispersa	2	2
65	400 234,9	8 987 993,3	Vegetación dispersa	2	1
66	399 322,6	8 989 842,0	Vegetación dispersa	2	2
67	398 211,4	8 989 894,9	Vegetación dispersa	2	2
68	398 722,9	8 978 535,4	Vegetación dispersa	2	2
69	395 759,6	8 984 656,1	Vegetación dispersa	2	2
70	403 714,7	8 990 318,2	Vegetación dispersa	2	2
71	404 476,7	8 990 798,0	Vegetación dispersa	2	2
72	402 614,0	8 989 901,9	Vegetación dispersa	2	2
73	401 421,6	8 990 953,2	Vegetación dispersa	2	2
74	400 095,2	8 990 967,3	Vegetación dispersa	2	2
75	400 257,5	8 990 529,9	Vegetación dispersa	2	2
76	404 448,5	8 994 149,4	Vegetación dispersa	2	1
77	406 301,7	8 994 404,6	Vegetación dispersa	2	2
78	402 421,2	8 992 781,8	Vegetación dispersa	2	2
79	403 232,6	8 979 905,4	Vegetación dispersa	2	2

N°	Este (m)	Norte (m)	CLASE	Valor en gabinete	Valor en campo
80	402 103,7	8 980 399,3	Vegetación dispersa	2	2
81	406 654,5	8 976 024,8	Vegetación dispersa	2	2
82	407 536,5	8 976 377,6	Vegetación dispersa	2	2
83	408 171,5	8 976 412,9	Vegetación dispersa	2	2
84	401 151,2	8 977 894,5	Vegetación dispersa	2	2
85	399 140,3	8 977 294,8	Vegetación dispersa	2	2
86	400 004,7	8 983 843,3	Vegetación dispersa	2	2
87	399 175,6	8 985 483,7	Vegetación dispersa	2	2
88	398 496,5	8 984 831,0	Vegetación dispersa	2	1
89	401 098,3	8 982 370,4	Vegetación dispersa	2	4
90	397 517,6	8 980 597,7	Vegetación dispersa	2	2
91	401 627,4	8 985 404,3	Vegetación dispersa	2	2
92	401 084,9	8 986 964,2	Vegetación dispersa	2	2
93	401 305,4	8 987 956,4	Vegetación dispersa	2	2
94	400 798,3	8 986 854,0	Vegetación dispersa	2	2
95	400 754,2	8 987 890,2	Vegetación dispersa	2	2
96	402 394,6	8 978 503,1	Vegetación dispersa	2	2
97	402 860,3	8 978 870,0	Vegetación dispersa	2	2
98	403 481,1	8 980 309,3	Vegetación dispersa	2	2
99	403 481,1	8 980 746,8	Vegetación dispersa	2	1
100	399 586,5	8 977 600,0	Vegetación dispersa	2	1
101	400 616,6	8 976 442,9	Vegetación dispersa	2	4
102	401 463,3	8 976 273,5	Vegetación dispersa	2	2
103	398 939,1	8 979 376,2	Vegetación dispersa	2	2
104	398 740,7	8 980 919,6	Vegetación dispersa	2	2
105	396 865,7	8 981 670,2	Vegetación dispersa	2	2
106	396 844,5	8 982 650,9	Vegetación dispersa	2	2
107	396 209,5	8 982 008,8	Vegetación dispersa	2	2
108	397 768,8	8 978 474,0	Vegetación dispersa	2	2
109	405 994,7	8 975 396,0	Vegetación dispersa	2	2
110	401 474,7	8 979 805,7	Vegetación dispersa	2	2
111	393 299,2	8 988 041,6	Sin vegetación	3	3
112	393 464,6	8 987 944,6	Sin vegetación	3	3
113	393 629,9	8 987 997,5	Sin vegetación	3	3
114	393 594,6	8 987 759,4	Sin vegetación	3	3
115	393 828,4	8 987 627,1	Sin vegetación	3	3
116	393 944,1	8 986 751,7	Sin vegetación	3	3
117	393 926,5	8 986 668,0	Sin vegetación	3	3
118	393 891,2	8 986 169,7	Sin vegetación	3	3
119	394 698,2	8 986 857,6	Sin vegetación	3	3
120	393 816,2	8 985 631,7	Sin vegetación	3	3

N°	Este (m)	Norte (m)	CLASE	Valor en gabinete	Valor en campo
121	391 443,8	8 988 039,4	Sin vegetación	3	3
122	391 368,8	8 986 817,9	Sin vegetación	3	3
123	392 511,0	8 988 039,4	Sin vegetación	3	1
124	396 193,1	8 985 589,8	Sin vegetación	3	1
125	394 484,3	8 988 588,4	Sin vegetación	3	3
126	394 627,6	8 987 618,2	Sin vegetación	3	3
127	400 827,7	8 983 914,1	Sin vegetación	3	3
128	400 430,8	8 984 299,9	Sin vegetación	3	3
129	397 322,0	8 984 410,2	Sin vegetación	3	3
130	398 314,2	8 984 586,6	Sin vegetación	3	1
131	401 996,3	8 983 561,3	Sin vegetación	3	2
132	401 621,5	8 983 550,3	Sin vegetación	3	2
133	401 412,0	8 984 145,6	Sin vegetación	3	3
134	401 930,1	8 985 082,7	Sin vegetación	3	3
135	397 156,6	8 982 855,7	Sin vegetación	3	2
136	398 567,7	8 983 418,0	Sin vegetación	3	3
137	399 130,0	8 981 003,7	Sin vegetación	3	3
138	398 314,2	8 980 860,3	Sin vegetación	3	3
139	398 214,9	8 981 587,9	Sin vegetación	3	3
140	400 739,5	8 979 879,2	Sin vegetación	3	3
141	400 607,2	8 980 375,3	Sin vegetación	3	3
142	399 615,0	8 978 203,5	Sin vegetación	3	3
143	401 709,7	8 979 272,8	Sin vegetación	3	3
144	402 051,4	8 979 019,3	Sin vegetación	3	3
145	404 584,3	8 976 822,1	Sin vegetación	3	3
146	405 091,5	8 977 637,9	Sin vegetación	3	3
147	403 371,7	8 979 313,6	Sin vegetación	3	3
148	400 042,3	8 977 571,7	Sin vegetación	3	3
149	399 865,9	8 976 755,9	Sin vegetación	3	3
150	404 738,7	8 975 499,2	Sin vegetación	3	3
151	402 136,9	8 979 820,7	Sin vegetación	3	3
152	398 631,2	8 983 987,9	Sin vegetación	3	3
153	403 548,0	8 978 343,4	Sin vegetación	3	3
154	403 922,9	8 979 357,7	Sin vegetación	3	3
155	403 989,0	8 978 299,4	Sin vegetación	3	2
156	402 776,3	8 976 711,8	Sin vegetación	3	3
157	402 159,0	8 977 042,6	Sin vegetación	3	3
158	401 100,6	8 976 822,1	Sin vegetación	3	3
159	400 814,0	8 976 711,8	Sin vegetación	3	3
160	400 703,8	8 977 990,7	Sin vegetación	3	3
161	405 597,3	8 994 623,8	Sin vegetación	3	3

N°	Este (m)	Norte (m)	CLASE	Valor en gabinete	Valor en campo
162	404 633,9	8 991 589,7	Sin vegetación	3	3
163	403 807,0	8 991292,0	Sin vegetación	3	3
164	402 803,8	8 991 027,4	Sin vegetación	3	3
165	400 852,5	8 990 024,2	Sin vegetación	3	3
166	391 238,8	8 987 750,9	Cuerpo de agua/Cubierta artificiales	4	4
167	391 695,6	8 986 644,9	Cuerpo de agua/Cubierta artificiales	4	4
168	392 471,7	8 986 706,6	Cuerpo de agua/Cubierta artificiales	4	4
169	393 618,2	8 987 068,2	Cuerpo de agua/Cubierta artificiales	4	3
170	393 997,5	8 986 883,0	Cuerpo de agua/Cubierta artificiales	4	4
171	393 653,5	8 986 486,2	Cuerpo de agua/Cubierta artificiales	4	3
172	393 732,9	8 985 374,9	Cuerpo de agua/Cubierta artificiales	4	4
173	394 588,4	8 985 348,4	Cuerpo de agua/Cubierta artificiales	4	4
174	396 123,0	8 986 318,6	Cuerpo de agua/Cubierta artificiales	4	4
175	396 466,9	8 990 278,5	Cuerpo de agua/Cubierta artificiales	4	4
176	394 923,5	8 989 890,5	Cuerpo de agua/Cubierta artificiales	4	4
177	393 530,1	8 988 558,7	Cuerpo de agua/Cubierta artificiales	4	3
178	395 115,0	8 986 015,0	Cuerpo de agua/Cubierta artificiales	4	3
179	395 417,4	8 986 115,7	Cuerpo de agua/Cubierta artificiales	4	4
180	399 081,0	8 988 020,7	Cuerpo de agua/Cubierta artificiales	4	4
181	398 904,6	8 986 786,0	Cuerpo de agua/Cubierta artificiales	4	4
182	398 481,3	8 986 962,4	Cuerpo de agua/Cubierta artificiales	4	4
183	397 696,4	8 986 997,7	Cuerpo de agua/Cubierta artificiales	4	3
184	399 821,9	8 986 539,1	Cuerpo de agua/Cubierta artificiales	4	4

<b>N°</b>	<b>Este (m)</b>	<b>Norte (m)</b>	<b>CLASE</b>	<b>Valor en gabinete</b>	<b>Valor en campo</b>
185	397 299,5	8 979 906,8	Cuerpo de agua/Cubierta artificiales	4	4
186	396 541,0	8 980 938,7	Cuerpo de agua/Cubierta artificiales	4	4
187	395 994,2	8 982 120,5	Cuerpo de agua/Cubierta artificiales	4	4
188	395 853,1	8 983 196,5	Cuerpo de agua/Cubierta artificiales	4	4
189	397 043,7	8 979 545,2	Cuerpo de agua/Cubierta artificiales	4	4
190	397 123,1	8 979 016,1	Cuerpo de agua/Cubierta artificiales	4	4
191	397 440,6	8 978 522,2	Cuerpo de agua/Cubierta artificiales	4	4
192	397 934,5	8 977 957,7	Cuerpo de agua/Cubierta artificiales	4	4
193	397 502,3	8 979 756,9	Cuerpo de agua/Cubierta artificiales	4	4
194	397 996,2	8 979 104,3	Cuerpo de agua/Cubierta artificiales	4	4
195	398 560,7	8 979 536,4	Cuerpo de agua/Cubierta artificiales	4	4
196	398 604,8	8 977 111,1	Cuerpo de agua/Cubierta artificiales	4	4
197	398 985,0	8 976 415,0	Cuerpo de agua/Cubierta artificiales	4	4
198	399 266,2	8 976 088,0	Cuerpo de agua/Cubierta artificiales	4	3
199	399 848,3	8 976 017,5	Cuerpo de agua/Cubierta artificiales	4	4
200	400 553,9	8 975 929,3	Cuerpo de agua/Cubierta artificiales	4	4
201	401 359,1	8 975 964,5	Cuerpo de agua/Cubierta artificiales	4	4
202	402 091,1	8 975 911,6	Cuerpo de agua/Cubierta artificiales	4	4
203	402 814,3	8 975 091,4	Cuerpo de agua/Cubierta artificiales	4	4
204	400 971,0	8 980 533,0	Cuerpo de agua/Cubierta artificiales	4	4
205	403 100,1	8 974 694,5	Cuerpo de agua/Cubierta artificiales	4	4

N°	Este (m)	Norte (m)	CLASE	Valor en gabinete	Valor en campo
206	403 347,0	8 974 421,1	Cuerpo de agua/Cubierta artificiales	4	4
207	403 655,7	8 974 244,7	Cuerpo de agua/Cubierta artificiales	4	3
208	403 840,9	8 973 883,1	Cuerpo de agua/Cubierta artificiales	4	3
209	404 502,3	8 973 909,6	Cuerpo de agua/Cubierta artificiales	4	4
210	406 486,7	8 974 332,9	Cuerpo de agua/Cubierta artificiales	4	4
211	407 105,0	8 974 862,1	Cuerpo de agua/Cubierta artificiales	4	3
212	407 413,6	8 974 923,8	Cuerpo de agua/Cubierta artificiales	4	4
213	410 822,4	8 976 202,7	Cuerpo de agua/Cubierta artificiales	4	4
214	410 434,3	8 975 841,1	Cuerpo de agua/Cubierta artificiales	4	2
215	409 640,6	8 975 497,1	Cuerpo de agua/Cubierta artificiales	4	4
216	408 608,7	8 975 285,4	Cuerpo de agua/Cubierta artificiales	4	4
217	404 534,1	8 976 140,9	Cuerpo de agua/Cubierta artificiales	4	4
218	407 806,1	8 974 985,6	Cuerpo de agua/Cubierta artificiales	4	4
219	407 232,9	8 974 844,5	Cuerpo de agua/Cubierta artificiales	4	2
220	400 393,81	8 986 379,9	Cuerpo de agua/Cubierta artificiales	4	3

**Tabla 23.** Tasa de cambio de cobertura vegetal del periodo 2020 al 2030

Clase	Área en los periodos (ha)		Tasa anual (%/año)	Observación
	2020	2030		
Vegetación densa	1 850,89	1 171,84	- 4,47	Disminuyo
Vegetación dispersa	11 982,99	12 472,34	0,40	Incremento
Sin vegetación	973,91	1 1149,17	1,67	Incremento
Cuerpo de agua/Cubiertas artificiales	286,19	300,63	0,49	Incremento

**Tabla 24.** Datos de temperatura ambiental de las estaciones cercanas

Estación		Tingo María	Chaglla	Tulumayo	Aucayacu	La Divisoria	Aguaytia	Pozuzo
Coordenada	Este	390121	400542	389089	377777	410585	444363	440152
	Norte	8970701	8911028	8988734	9012717	8982834	9000438	8884939
	Altitud	660.00	3332.00	612.00	586.00	1672.00	316.00	746.00
Temperatura Ambiental Mensual (°C)	Enero	24.9	13.11	26.26	23.41	18.71	26.91	24.64
	Febrero	25.5	13.28	25.73	22.81	18.47	26.71	24.34
	Marzo	25.8	13.18	27.28	23.40	19.10	27.21	24.91
	Abril	26.1	S/D	S/D	23.05	18.61	S/D	S/D
	Mayo	26.0	S/D	S/D	23.13	18.47	S/D	S/D
	Junio	25.7	S/D	S/D	22.3	18.52	S/D	S/D
	Julio	25.4	12.25	S/D	24.02	17.90	26.22	23.46
	Agosto	25.7	12.93	25.66	25.55	S/D	26.83	23.87
	Setiembre	25.7	13.30	25.52	24.56	17.08	27.38	24.20
	Octubre	25.9	12.95	26.23	25.54	S/D	27.58	24.58
	Noviembre	26.5	13.18	26.57	26.42	S/D	28.00	25.00
	Diciembre	24.9	12.79	24.70	25.14	S/D	26.29	24.02
<b>Temperatura Promedio (°C)</b>		<b>25.65</b>	<b>13.00</b>	<b>25.99</b>	<b>24.11</b>	<b>18.36</b>	<b>27.01</b>	<b>24.34</b>

Fuente: SENAMHI, Estación Meteorológica TM

**Tabla 25.** Probabilidad de cambios de cobertura vegetal de acuerdo a la clasificación

Probabilidad de cambio para el año 2030				
Clase	Vegetación densa	Vegetación dispersa	Sin vegetación	Cuerpo de agua/ Cubiertas artificiales
Vegetación densa	0,264	0,691	0,0385	0,007
Vegetación dispersa	0,078	0,859	0,052	0,012
Sin vegetación	0,043	0,608	0,276	0,073
Cuerpo de agua/ Cubiertas artificiales	0,035	0,425	0,179	0,361

**Tabla 26.** Datos para la regresión lineal múltiple según la clasificación de cobertura vegetal

Año	Cobertura vegetal			Temperatura ambiental altitudinal
	V_densa	V_dispersa	S_vegetación	
2000	4542,67	9576,31	703,09	21,01
2010	3860,71	10065,28	899,26	22,12
2017	2717,54	11126,09	952,48	22,95
2020	1850,89	11982,99	973,91	23,53
2022	1355,81	12314,95	1163,39	25,5

**Tabla 27.** Correlación para la vegetación densa

Correlaciones		Año	V_Densa	Temperatura
Año	Correlación de Pearson	1	- 0,963	0,905
	Sig. (bilateral)		0,008	0,034
	N	5	5	5
V_Densa	Correlación de Pearson	- 0,963	1	- 0,950*
	Sig. (bilateral)	0,008		,013
	N	5	5	5
Temperatura	Correlación de Pearson	0,905	- 0,950*	1
	Sig. (bilateral)	0,034	0,013	
	N	5	5	5

**Tabla 28.** Correlación para la vegetación dispersa

Correlaciones		Año	V_Dispersa	Temperatura
Año	Correlación de Pearson	1	0,954	0,905
	Sig. (bilateral)		0,012	0,034
	N	5	5	5
V_Dispersa	Correlación de Pearson	0,954	1	0,938
	Sig. (bilateral)	0,012		0,018
	N	5	5	5
Temperatura	Correlación de Pearson	0,905	0,938	1
	Sig. (bilateral)	0,034	0,018	
	N	5	5	5

**Tabla 29.** Correlación para la clase de sin vegetación

Correlaciones		Año	Sin_Vegetación	Temperatura
Año	Correlación de Pearson	1	0,931	0,905
	Sig. (bilateral)		0,021	0,034
	N	5	5	5
Sin_Vegetación	Correlación de Pearson	0,931	1	0,978
	Sig. (bilateral)	0,021		0,004
	N	5	5	5
Temperatura	Correlación de Pearson	0,905	0,978	1
	Sig. (bilateral)	0,034	0,004	
	N	5	5	5

**Anexo 3. Panel Fotográfico****Figura 13. Cuerpo de agua****Figura 14. Vegetación dispersa-cultivo de plátano**



**Figura 15.** Vegetación dispersa-caserío Huamancoto



**Figura 16.** Cambio de cobertura vegetal para 3 clasificaciones



**Figura 17.** Caserío San Pablo



**Figura 18.** Vegetación dispersa-especies forestales



**Figura 19.** Sin vegetación-Caserío Alto Peregrino



**Figura 20.** Vegetación densa-Caserío San Cristóbal



**Figura 21.** Ruteo de la coordenadas- clase cuerpo de agua

## Anexo 4. Documentos



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL**  
**Departamento Académico de Ciencias Ambientales**



Av. Universitaria Km2 telf. (062)562341 561009 anexo 219-237 Fax (062)561156

“Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

Tingo María, 03 de abril del 2023

**CARTA N° 001-2023-UNAS-FRNR-DACA/PGMC**

Sr. Ilmer Aro Ventura

*Gerente del Instituto Vial Provincial de Leoncio Prado*

Presente. –



**Asunto : Solicito información y data de la provincia de Leoncio Prado**

De mi especial consideración:

Es grato dirigirme a usted para saludarle cordialmente, asimismo me encuentro realizando la ejecución de la tesis titulado **“MODELO DE SIMULACIÓN ESPACIO – TEMPORAL DEL PROCESO DE CAMBIO DE LA COBERTURA VEGETAL Y TEMPERATURA AMBIENTAL EN EL DISTRIO DE DANIEL ALOMIA ROBLES – HUÁNUCO 2021”**, que está siendo ejecutado por mi persona, en el distrito de Daniel Alomía Robles, provincia de Leoncio Prado, Región Huánuco.

Por lo que, revisando información con respecto al distrito de Daniel Alomía Robles, pude apreciar un cambio con respecto al dimensionamiento de dicho distrito, además, cabe recalcar que la data libre no hay actualización con respecto a la provincia de Leoncio Prado.

En tal sentido, solicito la información y data de la actualización de la provincia de Leoncio Prado, para poder realizar las correcciones correspondientes.

Si otro en particular, me suscribo de usted.

Atentamente,

Bach. Patrick Giuseppe Mora Calixto  
*Tesista*



DATOS CLIMATOLÓGICOS DE LA ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA PRINCIPAL (CP.) TINGO MARÍA

UBICACIÓN GEOGRÁFICA - Dep. : HUÁNUCO Prov. : LEONCIO PRADO Dist. : RUPA RUPA  
 COORDENADAS GEOGRÁFICAS: Lat. : 9° 18' 36.6" S. Long. : 76° 0' 1.8" W. Alt. : 660 M.S.N.M

REGISTRO MENSUAL DE LA TEMPERATURA DEL AIRE (°C), AÑOS: 2000-2010-2020

MESES	TEMPERATURA DEL AIRE (°C)								
	2000			2010			2020		
	T.MÁXIMA	T.MÍNIMA	PROM/MES	T.MÁXIMA	T.MÍNIMA	PROM/MES	T.MÁXIMA	T.MÍNIMA	PROM/MES
ENERO	28.60	19.60	24.10	29.40	21.20	25.30	28.70	21.00	24.85
FEBRERO	28.20	19.50	23.85	29.70	21.20	25.45	29.20	21.80	25.50
MARZO	27.80	20.20	24.00	30.80	21.40	26.10	30.20	21.40	25.80
ABRIL	28.90	20.50	24.70	30.40	21.30	25.85	30.60	21.60	26.10
MAYO	29.70	20.40	25.05	30.20	21.10	25.65	31.00	21.00	26.00
JUNIO	29.10	19.70	24.40	30.20	20.40	25.30	30.70	20.60	25.65
JULIO	28.40	19.00	23.70	29.80	19.70	24.75	30.30	20.40	25.35
AGOSTO	30.10	19.30	24.70	31.20	19.60	25.40	31.30	20.10	25.70
SEPTIEMBRE	30.00	20.20	25.10	31.70	20.00	25.85	31.10	20.20	25.65
OCTUBRE	30.50	20.00	25.25	30.80	20.30	25.55	31.40	20.40	25.90
NOVIEMBRE	30.60	21.10	25.85	30.20	20.60	25.40	31.90	21.10	26.50
DICIEMBRE	29.20	19.80	24.50	29.20	20.50	24.85	28.70	21.00	24.85
PROMEDIO/AÑO	29.26	19.94	24.60	30.30	20.61	25.45	30.43	20.88	25.65

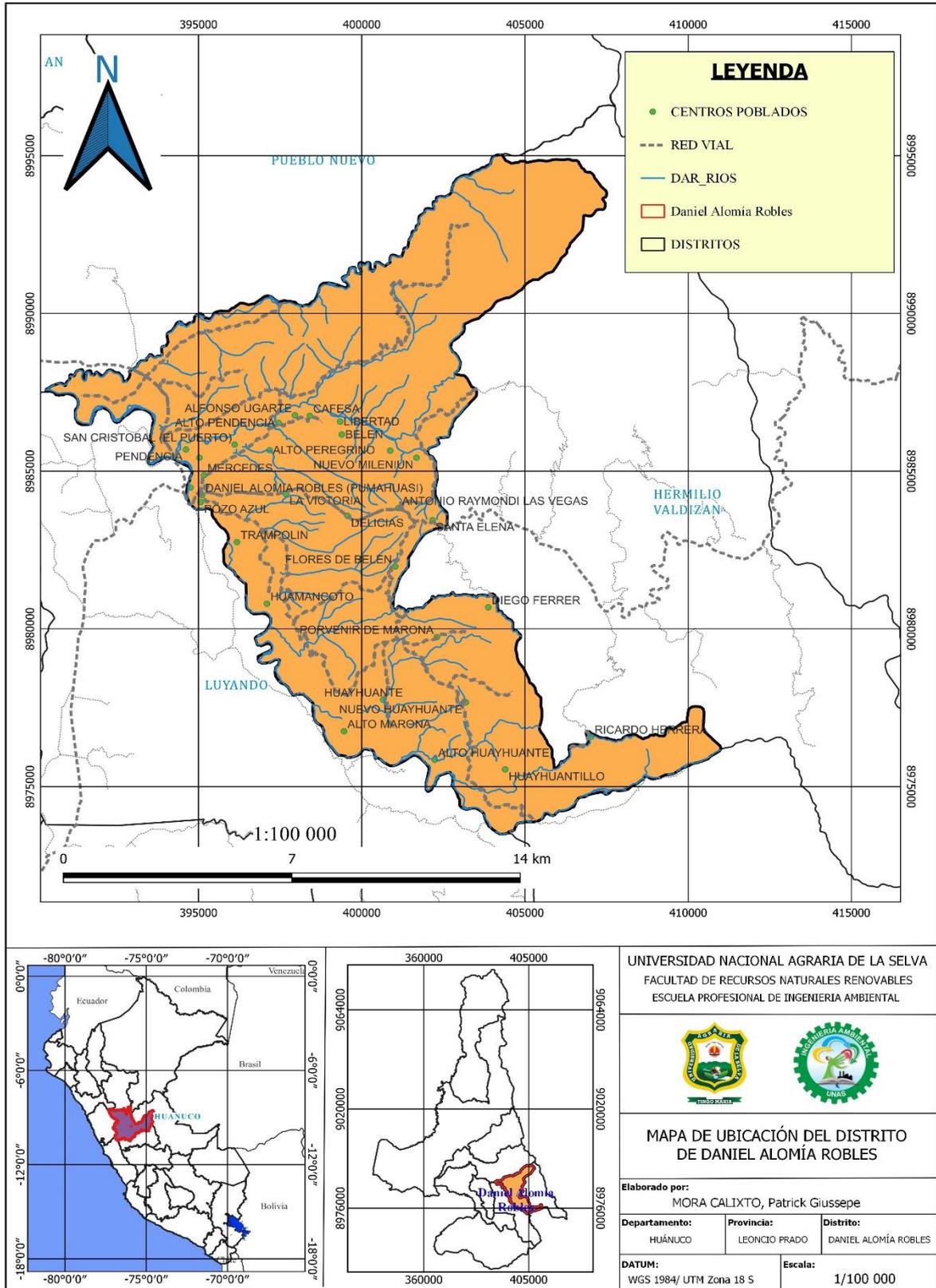
UNAS - TINGO MARÍA

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
 GABINETE DE METEOROLOGÍA Y CLIMATOLOGÍA

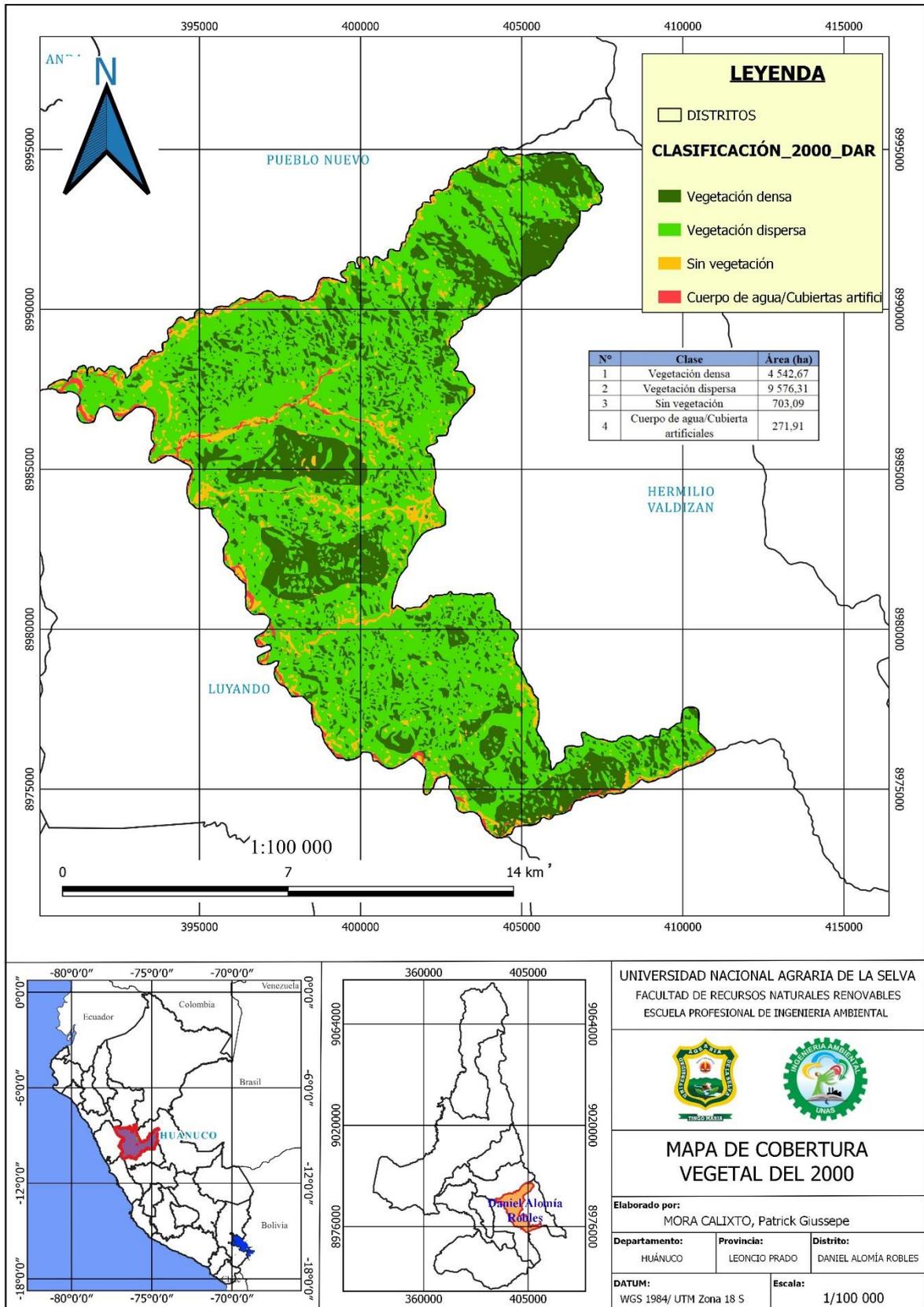
Ing. Msc. Lucio Márquez de Lara Suárez  
 J.F.E

**Anexo 5. Mapas temáticos del distrito de Daniel Alomía Robles**

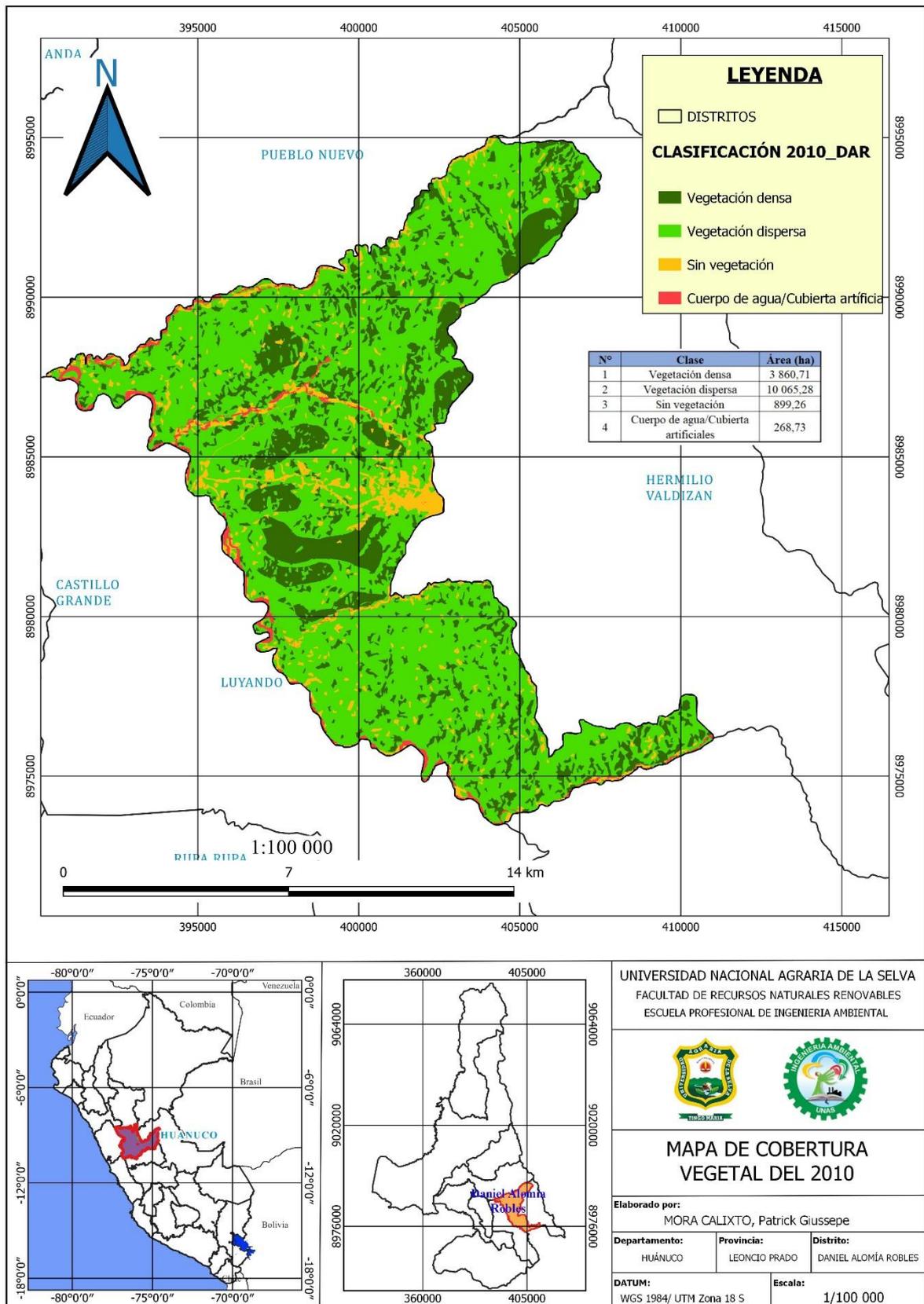
- Mapa de ubicación del distrito de Daniel Alomía Robles



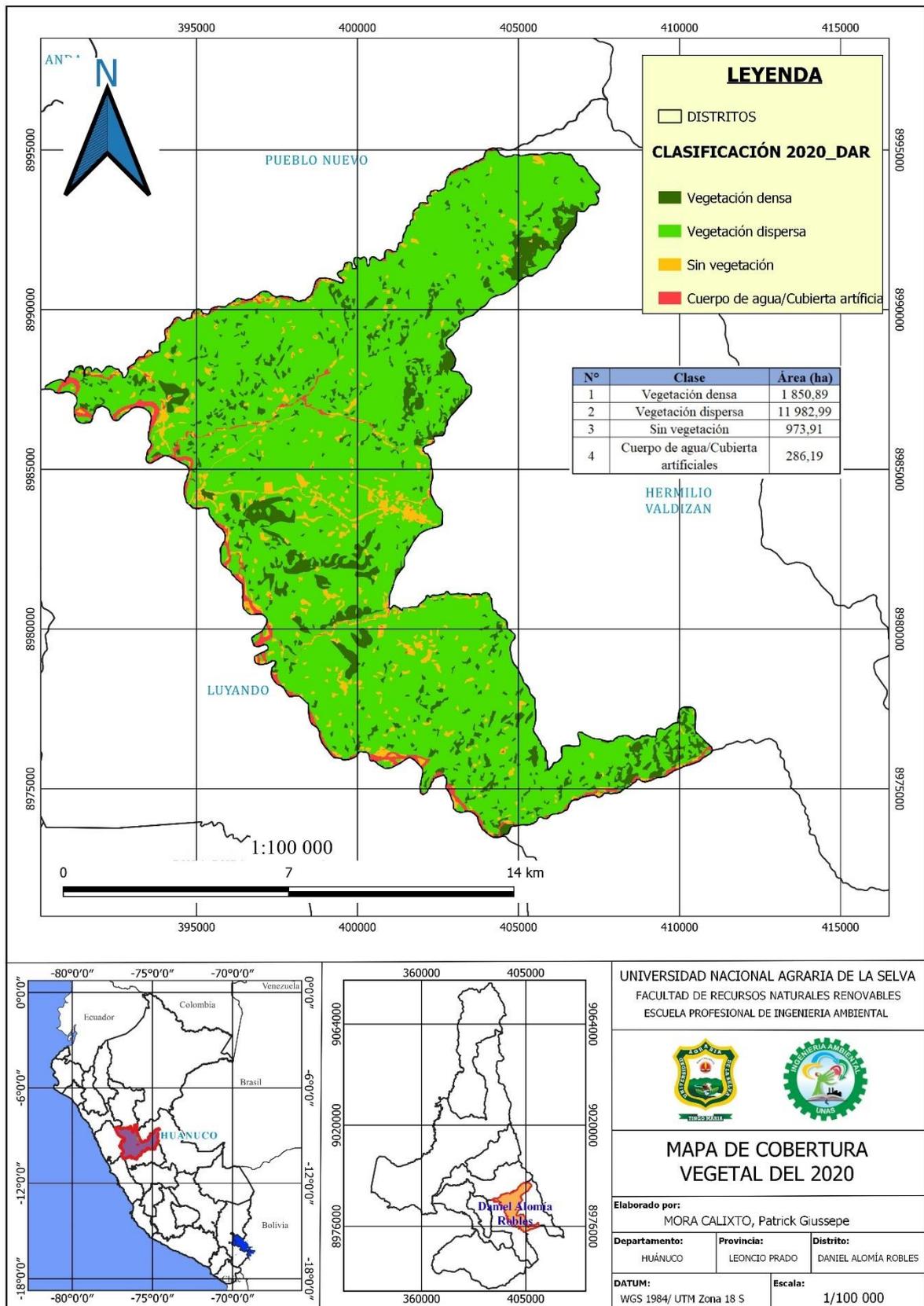
- Mapa de cobertura vegetal del año 2000



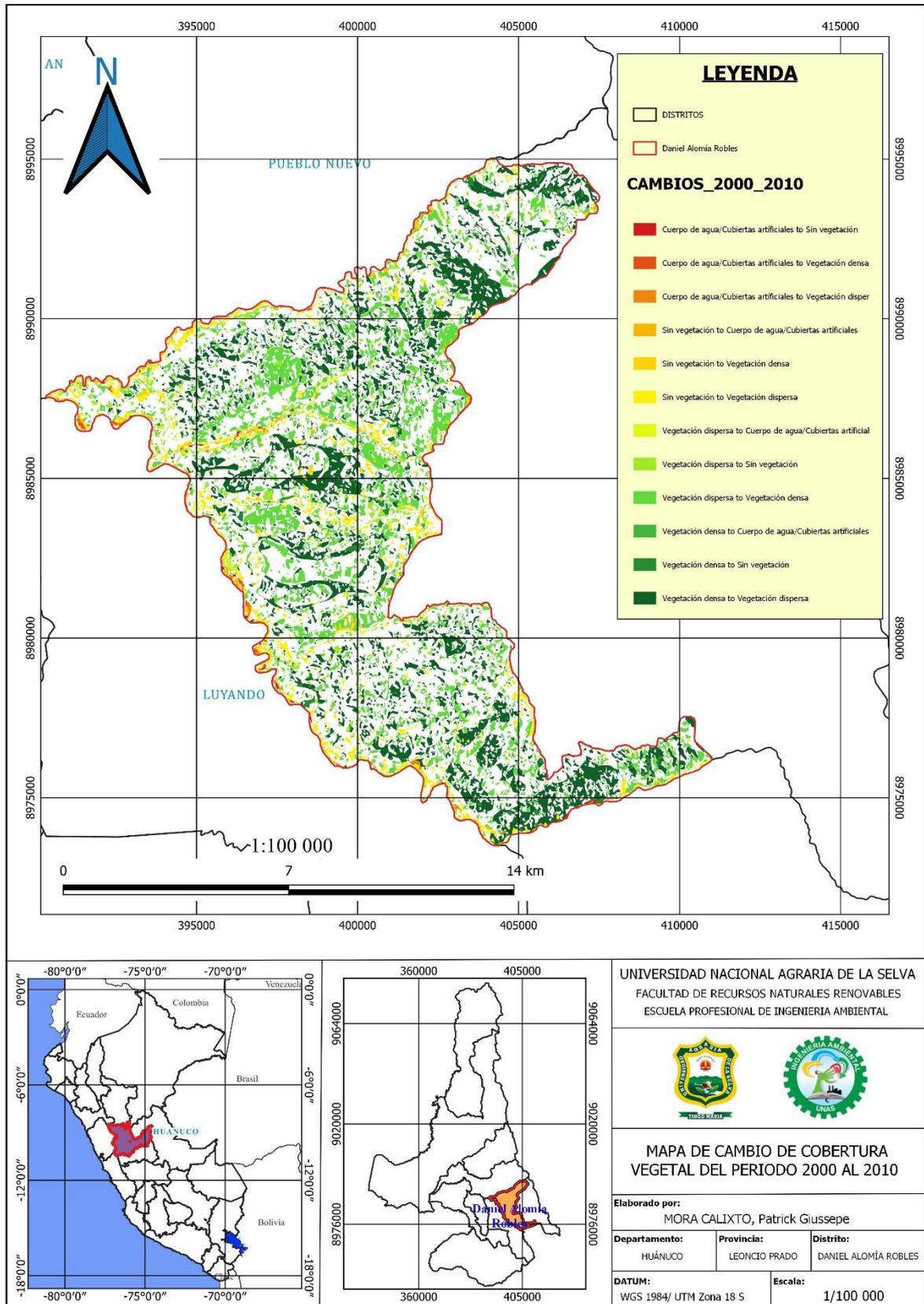
- Mapa de cobertura vegetal del año 2010



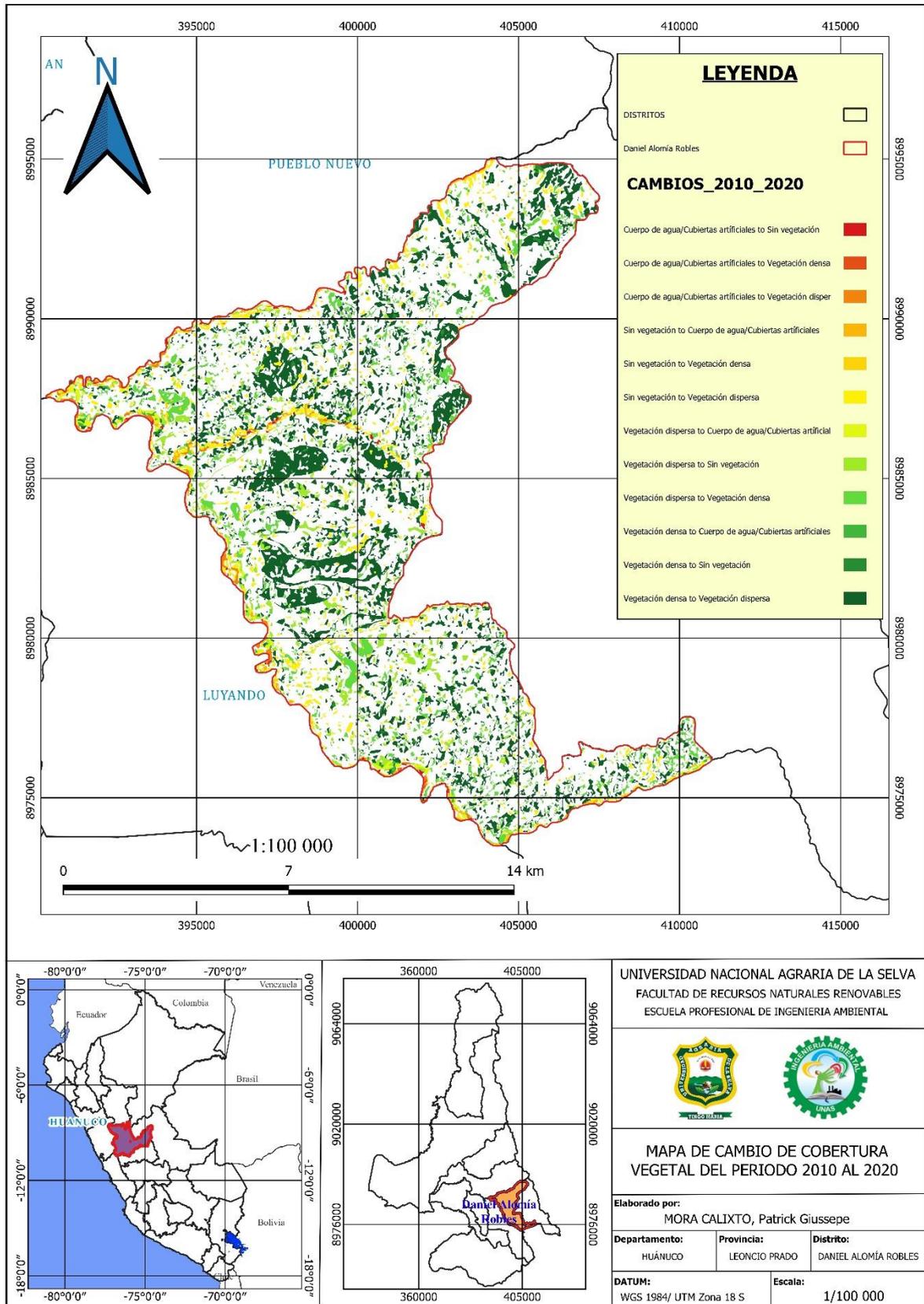
- Mapa de cobertura vegetal del año 2020



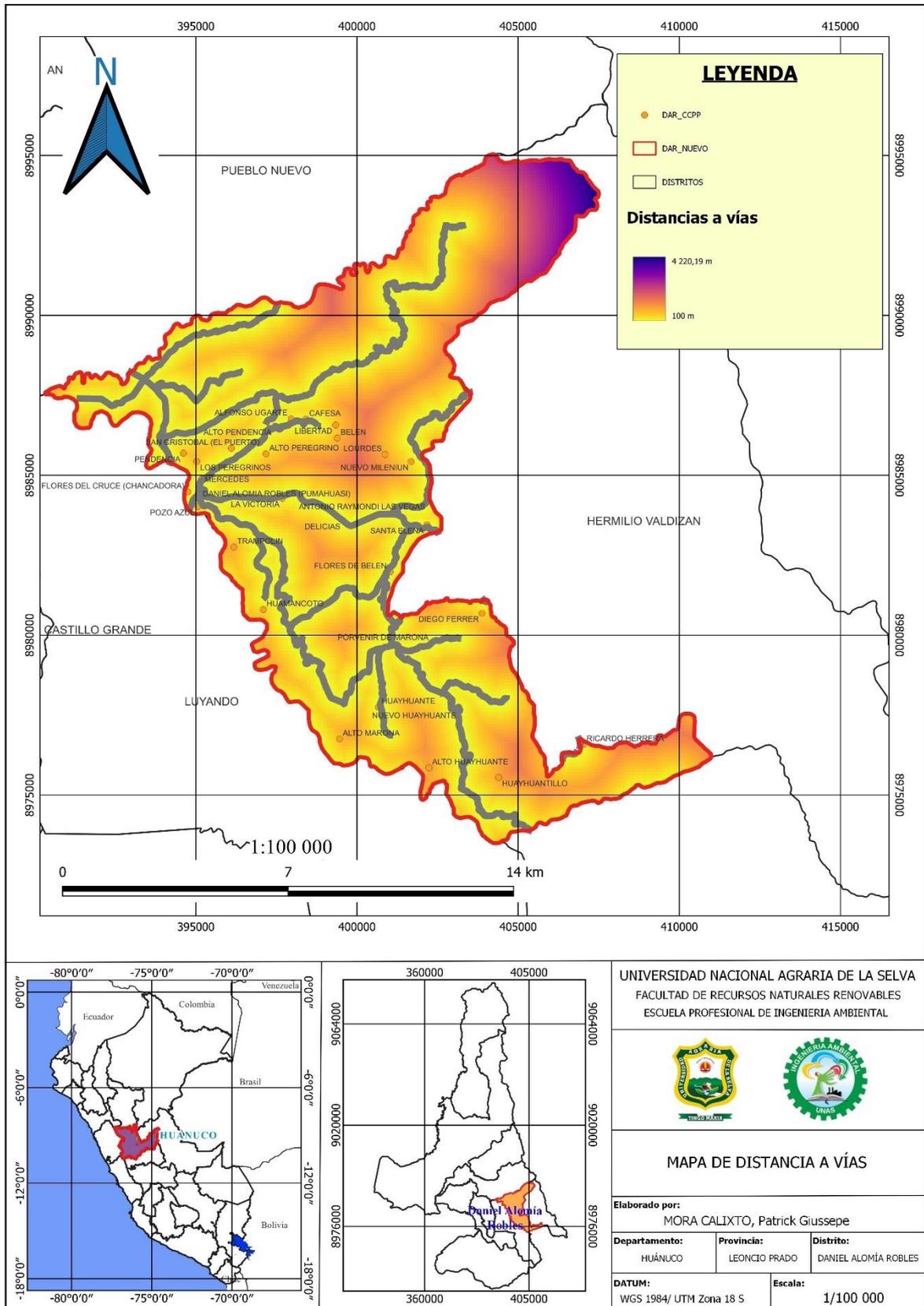
- Mapa de cambios de cobertura del 2000 al 2010



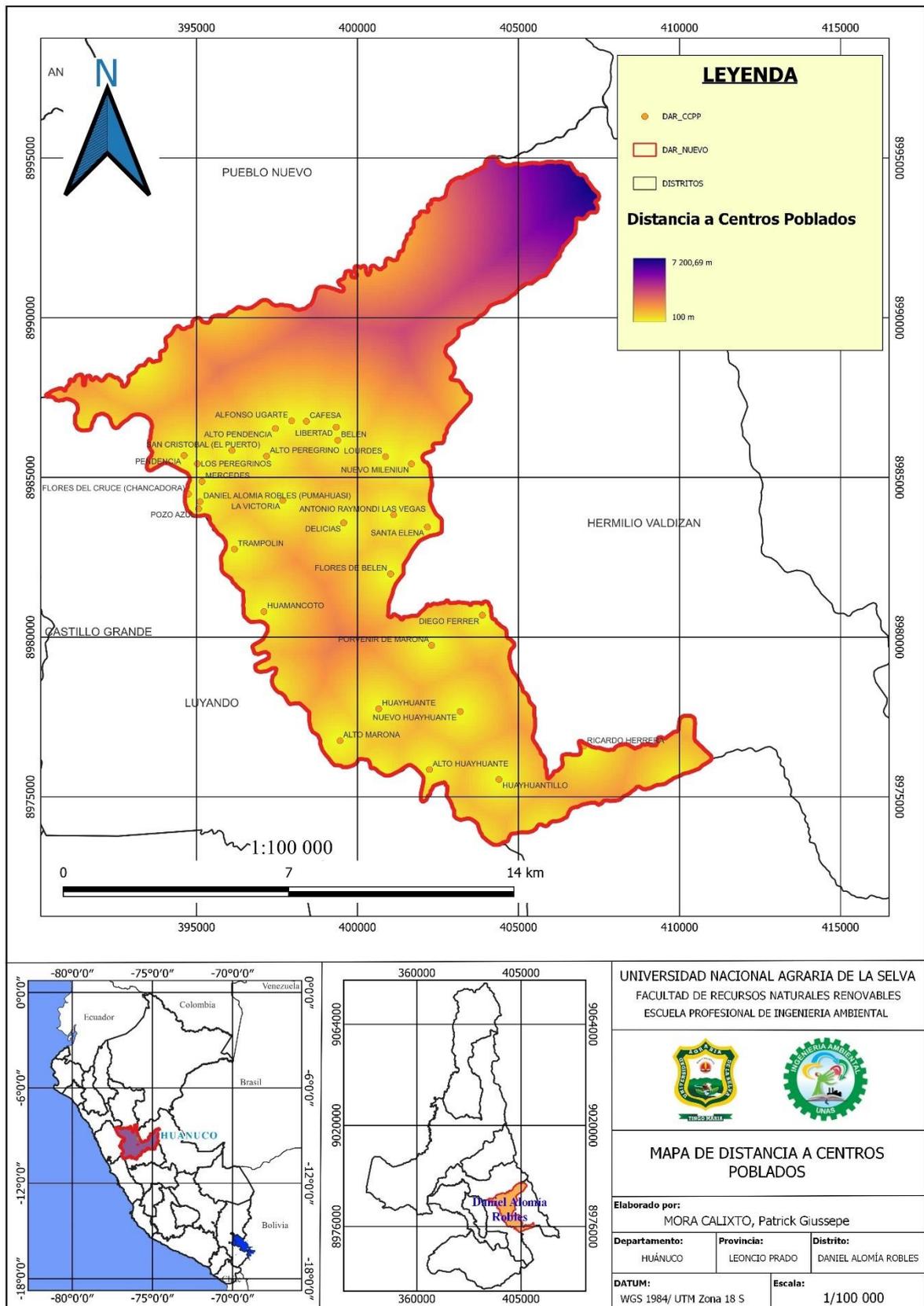
- Mapa de cambios de cobertura del 2010 al 2020



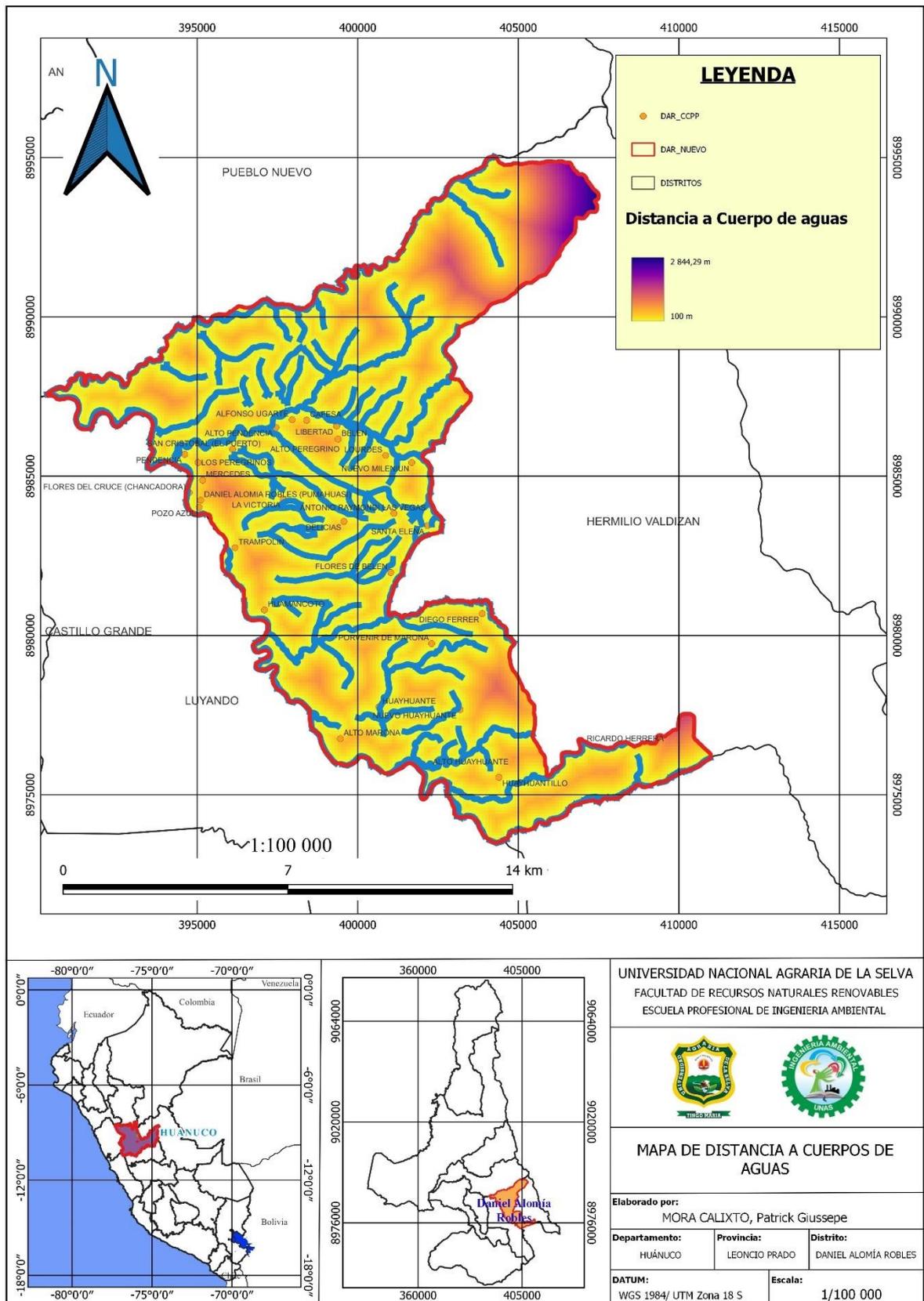
- Mapa de distancia de vías



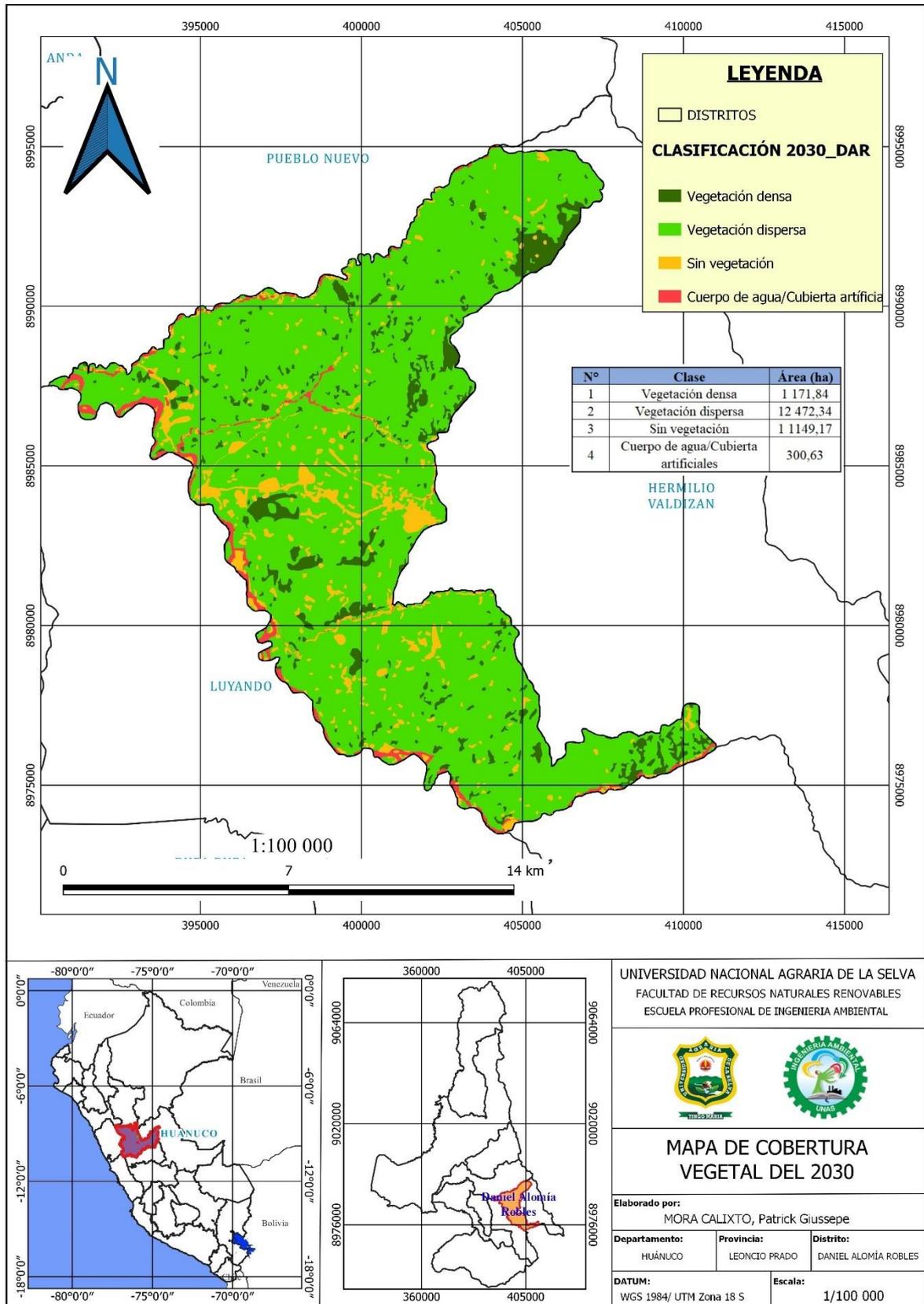
- Mapa de distancia a centros poblados



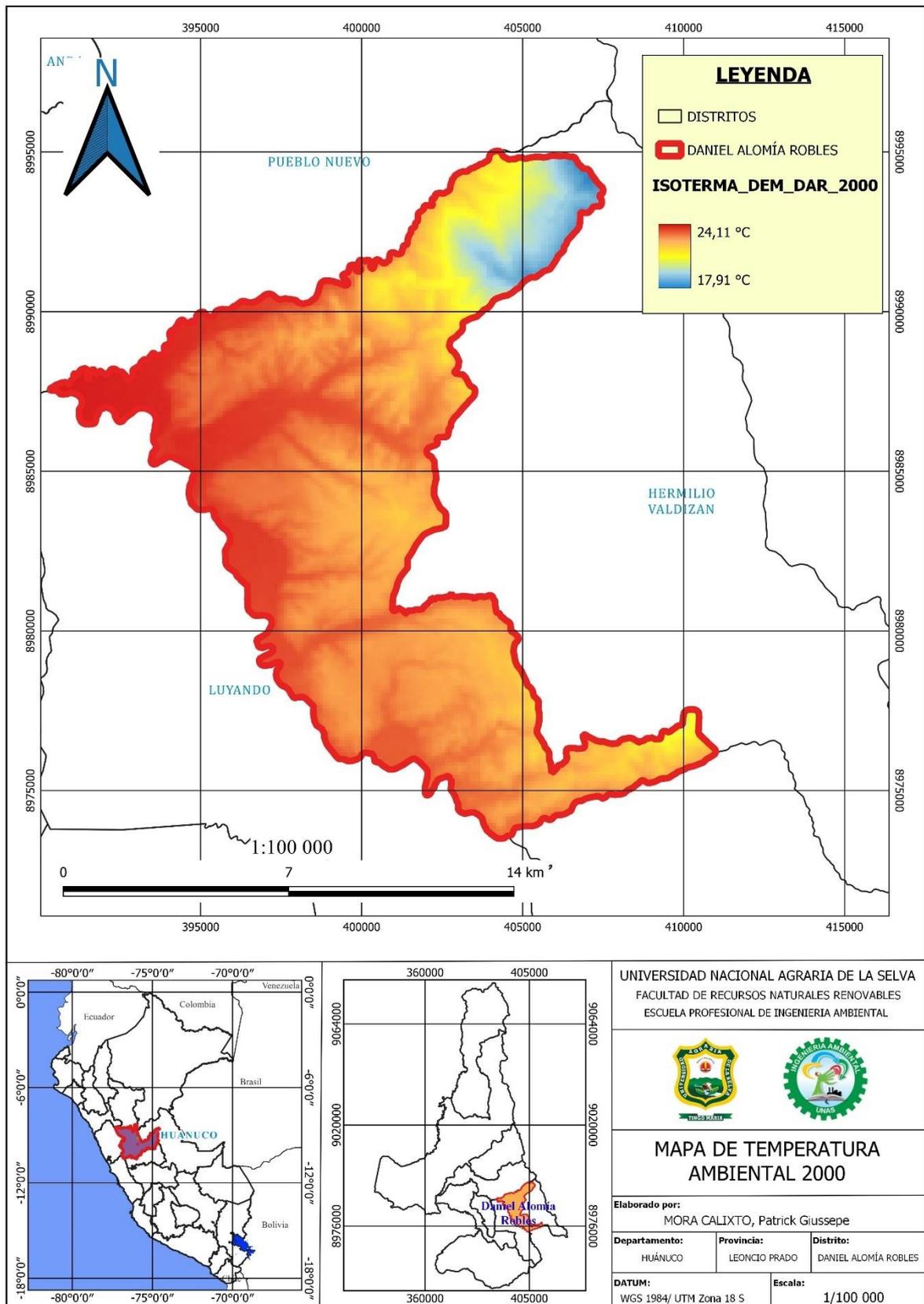
- Mapa de distancia a cuerpos de aguas



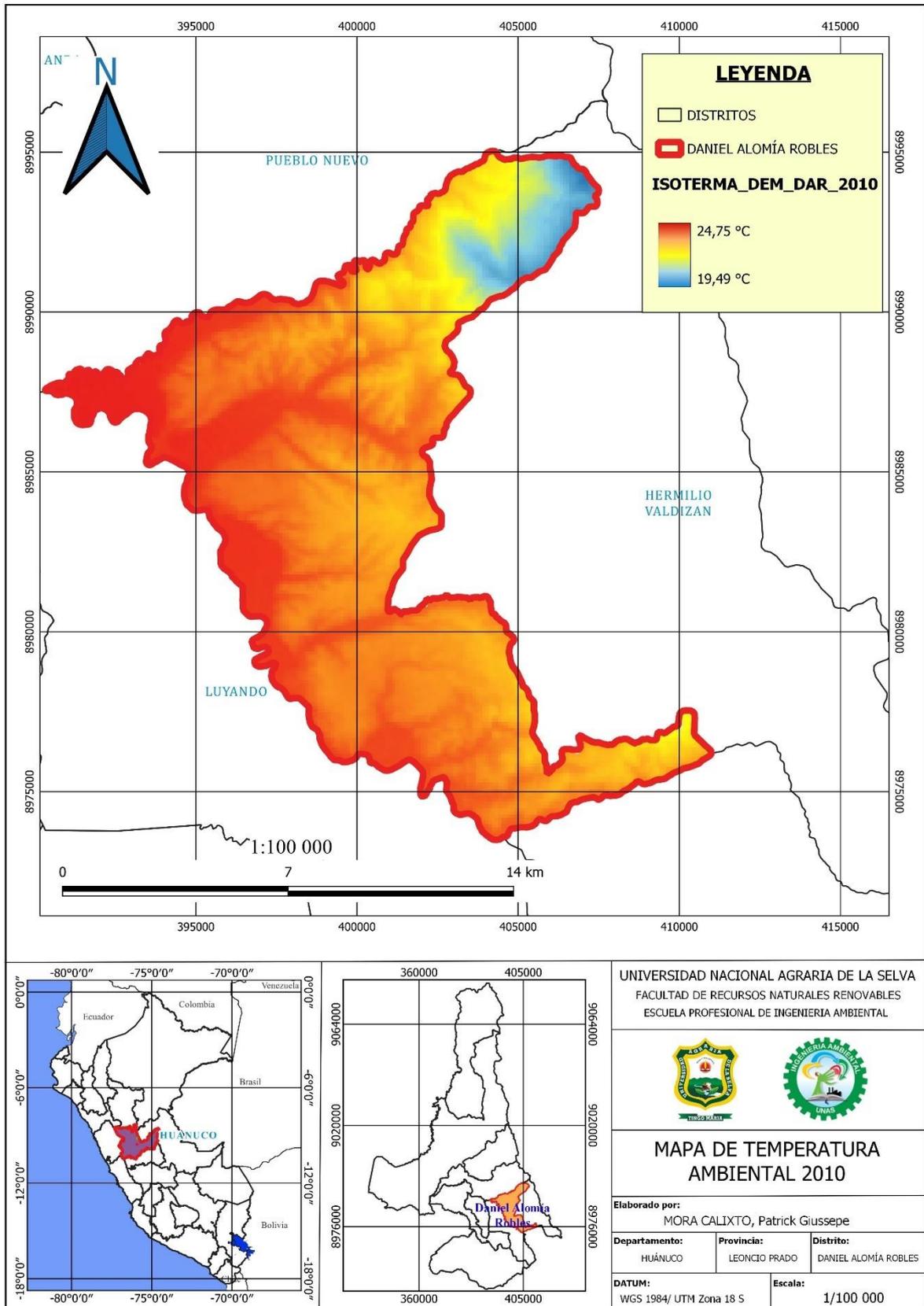
- Mapa de cobertura vegetal para el año 2030



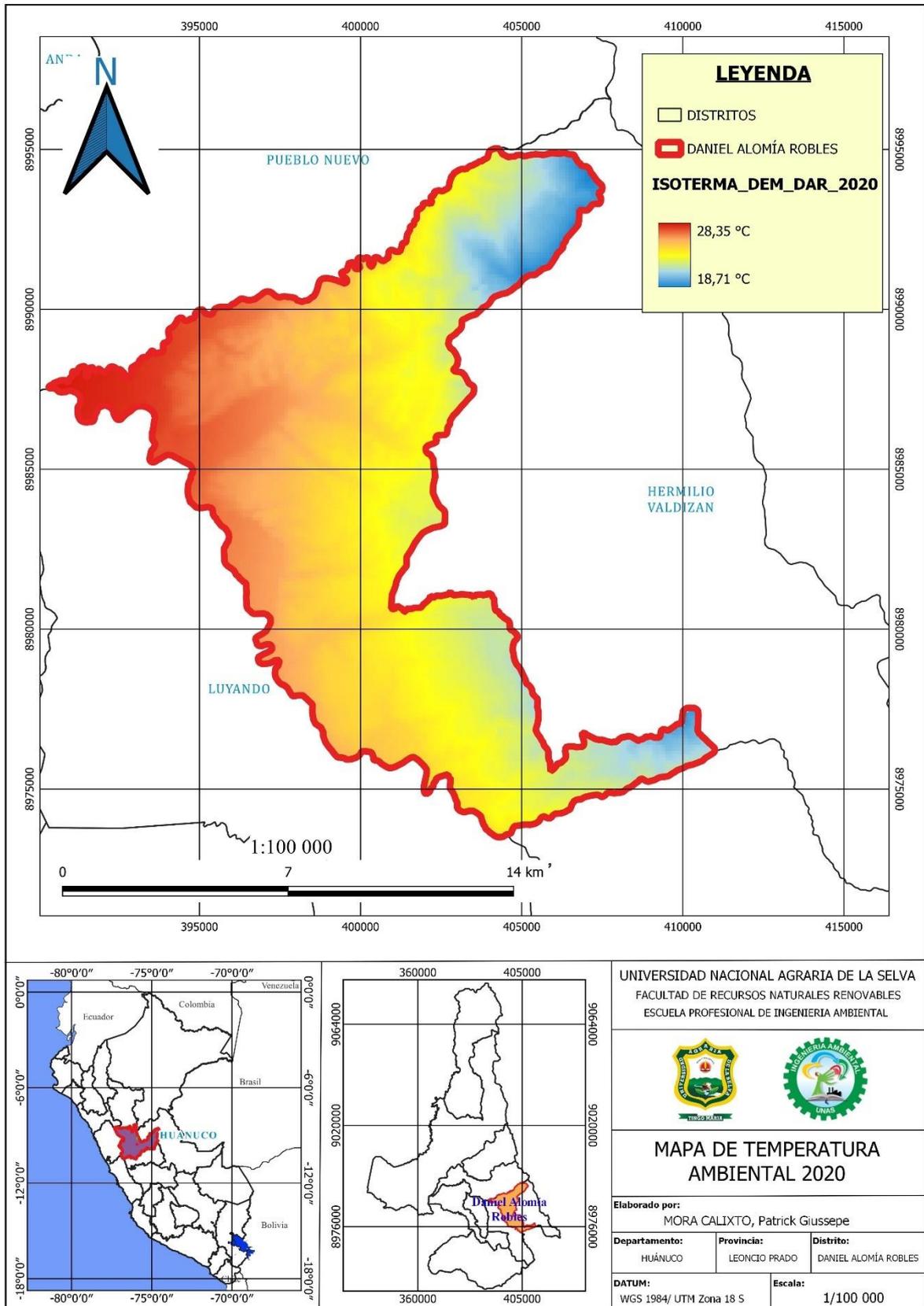
- Mapa de temperatura ambiental del año 2000



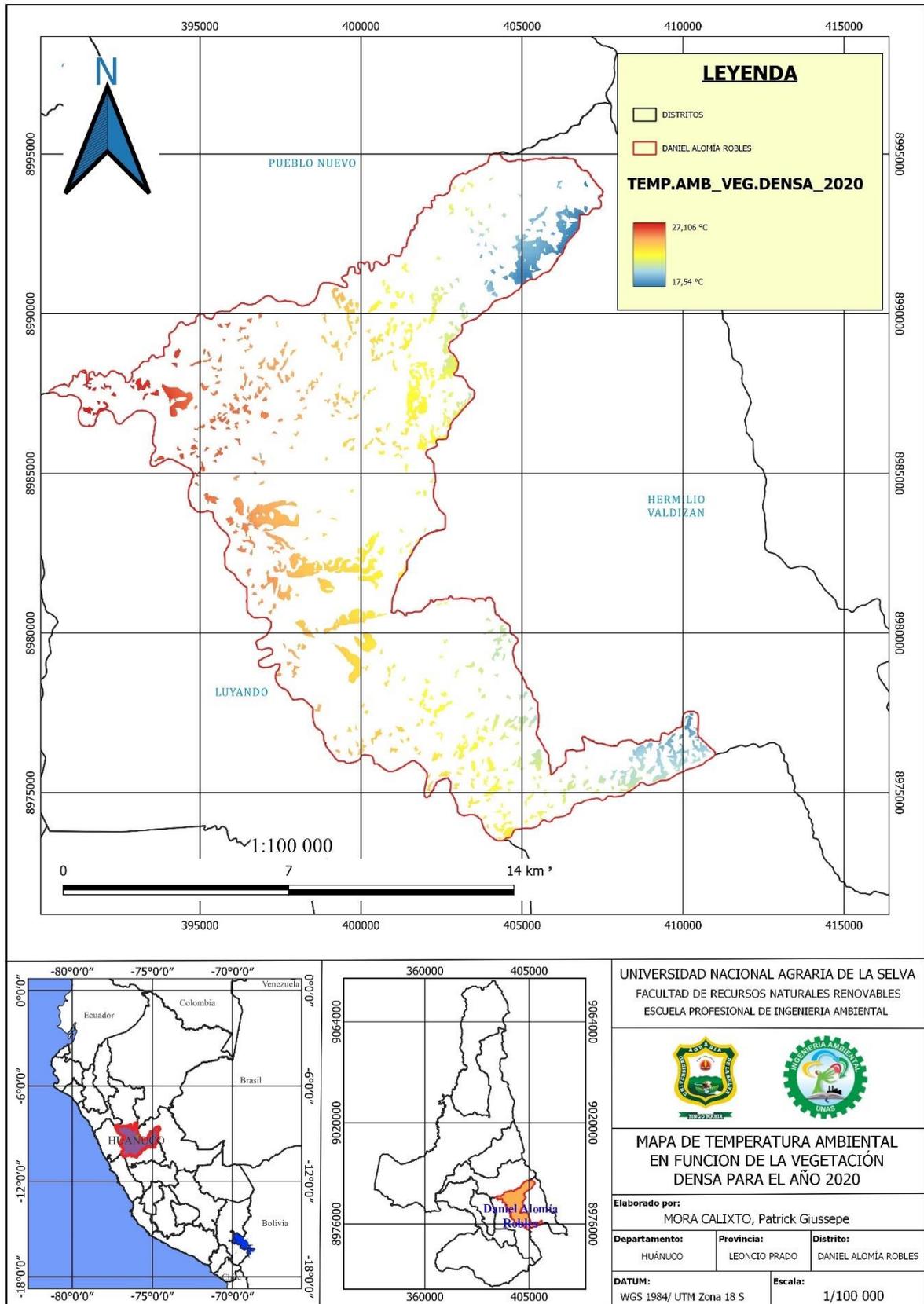
- Mapa de temperatura ambiental del año 2010



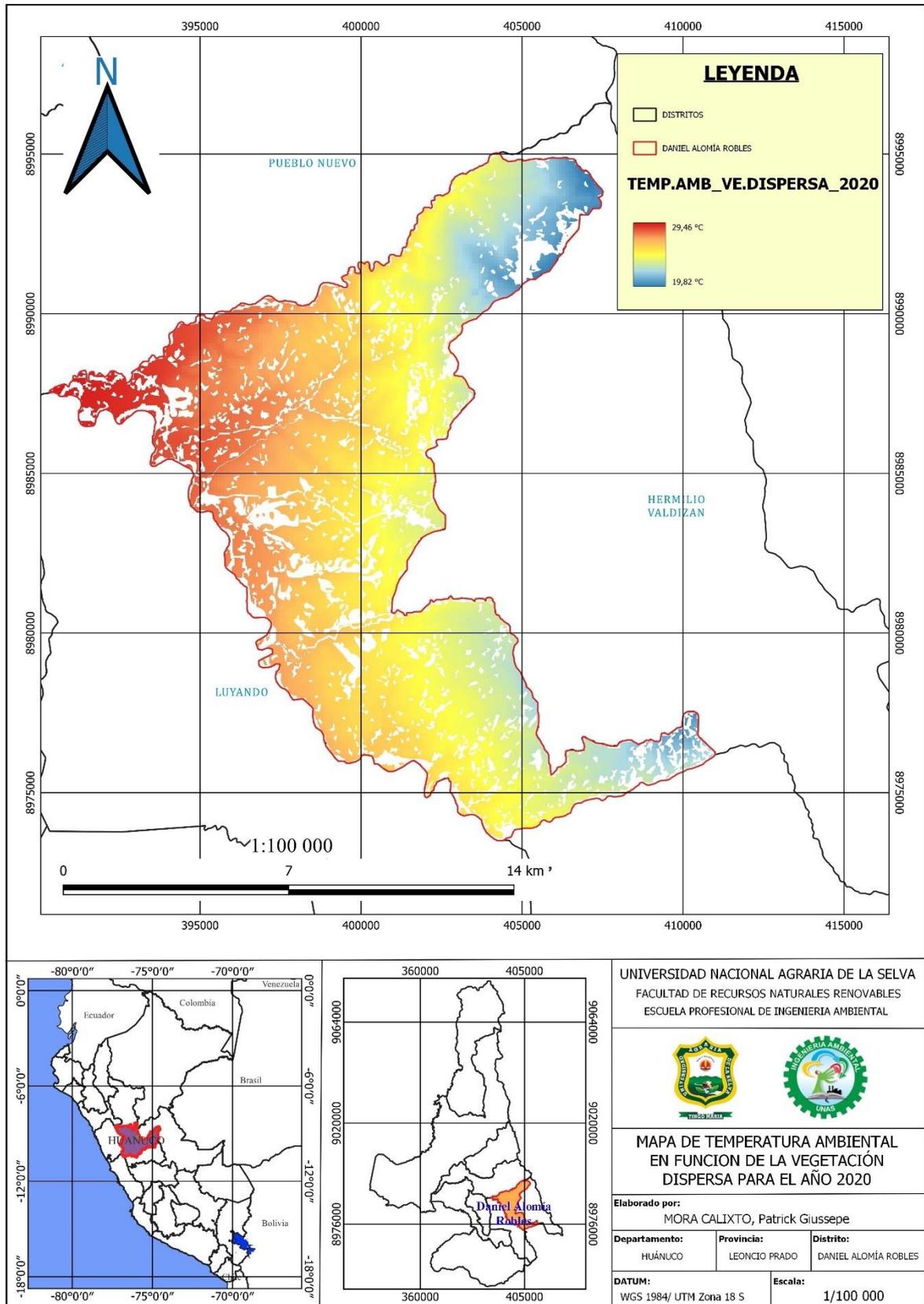
- Mapa de temperatura ambiental del año 2020



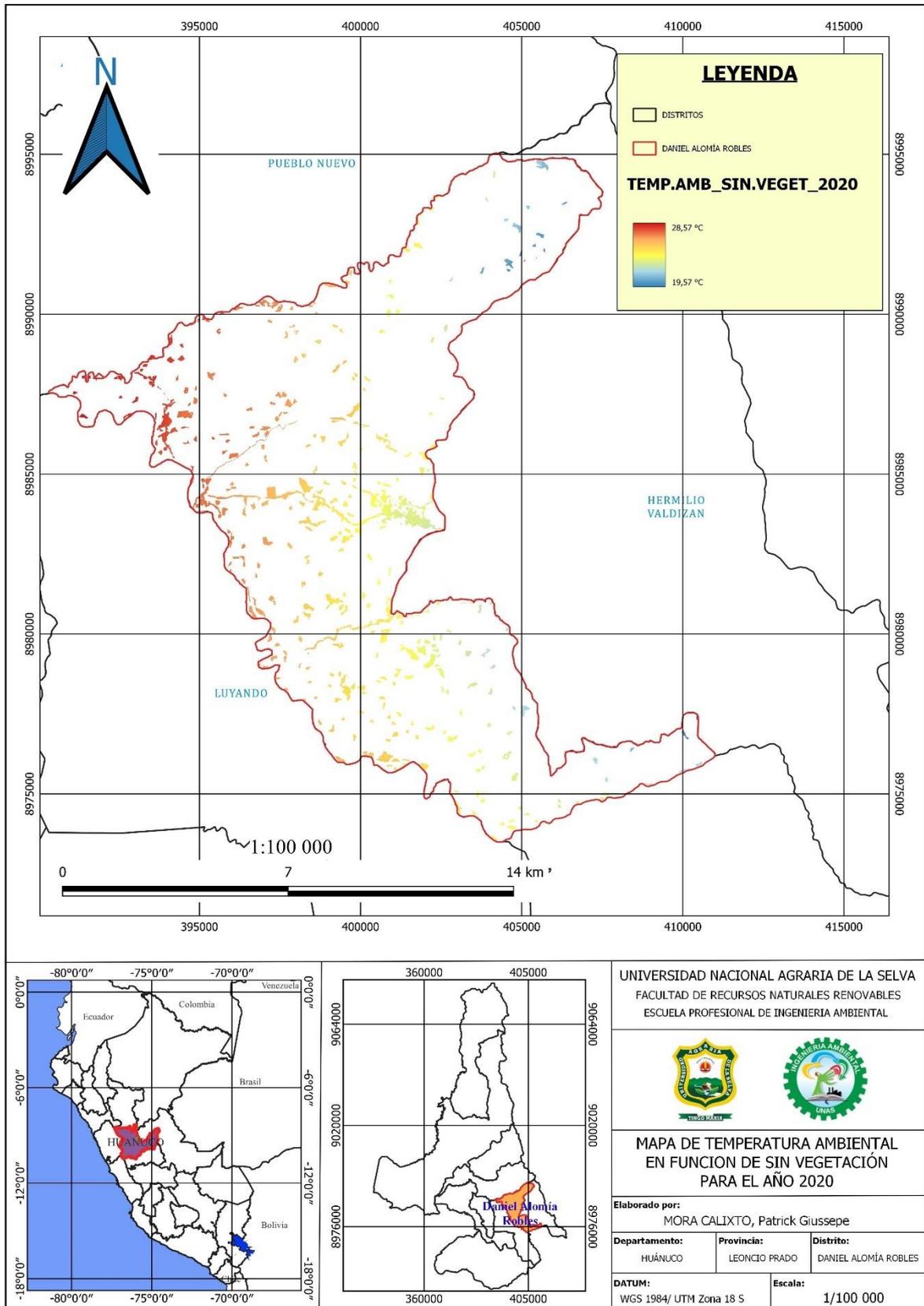
- Mapa de temperatura ambiental en función de la vegetación densa del 2020



- Mapa de temperatura ambiental en función de la vegetación dispersa del 2020



- Mapa de temperatura ambiental en función de la clase sin vegetación del 2020



- Mapa de temperatura ambiental en función de la cobertura vegetal del 2020

