

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
Y FORESTAL



**“ÁREAS POTENCIALES FUTURAS CON FINES DE PRODUCCIÓN
FORESTAL DE *Pinus radiata* D. DON EN LA CUENCA HUANCANÉ,
PUNO”**

Bach. Edwin Raúl Ingaluque Condori

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL

Asesora: M.Sc. Eliana Mullisaca Contreras

Co-asesor: Dr. Emer Ronald Rosales Solórzano

Juliaca, 2022

Ingaluque, E. (2022). *Áreas potenciales futuras con fines de producción forestal de Pinus radiata D. Don en la cuenca Huancané, Puno* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Juliaca, Juliaca.

AUTOR: Edwin Raúl Ingaluque Condori

TÍTULO: Áreas potenciales futuras con fines de producción forestal de *Pinus radiata* D. Don en la cuenca Huancané, Puno.

PUBLICACIÓN: Juliaca, 2022

DESCRIPCIÓN: Cantidad de páginas (124 pp)

NOTAS: Tesis Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal – Universidad Nacional de Juliaca

CÓDIGO: 01-000022-01/I53

NOTA: Incluye bibliografía

ASESORA: M.Sc. Eliana Mullisaca Contreras

CO-ASESOR: Dr. Emer Ronald Rosales Solórzano

PALABRAS CLAVE: Cambio climático, cuenca Huancané, producción forestal, *Pinus radiata*.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y FORESTAL
**“ÁREAS POTENCIALES FUTURAS CON FINES DE PRODUCCIÓN
FORESTAL DE *Pinus radiata* D. DON EN LA CUENCA HUANCANÉ,
PUNO”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL

Presentada por:

Bach. Edwin Raúl Ingaluque Condori

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

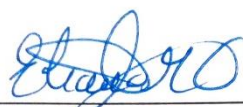
M.Sc. Hugo Apaza Aquino
PRESIDENTE DE JURADO



Dr. Alejandro Félix Taquire Arroyo
JURADO (Secretario)



M.Sc. Jael Calla Calla
JURADO (Vocal)



ASESORA DE TESIS

M.Sc. Eliana Mullisaca Contreras



CO-ASESOR DE TESIS

Dr. Emer Ronald Rosales Solórzano

DEDICATORIA

A Dios por acompañarme y ayudarme en todos los momentos de la vida.

A mi mamá Lola y mi papá Rodolfo por su incondicional apoyo pues gracias a ellos estoy en esta etapa de mi vida.

A mi hermano José por su apoyo y compañía.

AGRADECIMIENTO

- A Dios por haberme guiado y acompañado en mi vida.
- A mis padres por haberme ayudado hasta esta etapa de mi vida.
- A la M.Sc. Eliana Mullisaca Contreras por haberme dado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento para el desarrollo de la investigación.
- Al Dr. Emer Ronald Rosales Solórzano por sus conocimientos y orientación en el desarrollo del proyecto de investigación.
- Al personal de la Agencia Agraria Huancané y el Programa de Desarrollo Productivo Agrario Rural Agencia Zonal Huancané-Moho-San Antonio de Putina por su apoyo con la gestión e información forestal existente para la ejecución de la investigación en la cuenca Huancané. Asimismo, a todas las instituciones a quienes se hace mención en la presente investigación por la información proporcionada.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN.....	xii
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1. Formulación del problema.....	1
1.1.1. Problema general.....	2
1.1.2. Problemas específicos	2
1.2. Objetivos de la investigación	2
1.2.1. Objetivo general.....	2
1.2.2. Objetivos específicos.....	2
1.3. Justificación	2
CAPÍTULO II REVISIÓN DE LA LITERATURA	4
2.1. Antecedentes	4
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	4
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	5
2.2. Marco teórico	5
2.2.1. Cambio climático.....	5
2.2.2. Producción forestal.....	7
2.2.3. Modelamiento de plantaciones de producción.....	8
2.2.4. Especie <i>Pinus radiata</i> D. Don.....	11
2.3. Marco conceptual.....	13
CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS	14
3.1. Área de estudio.....	14
3.1.1. Ubicación geográfica.....	14

3.1.2. Ubicación hidrográfica.....	14
3.1.3. Ubicación política.....	14
3.2. Tipo y diseño de investigación	16
3.3. Materiales.....	16
3.4. Metodología.....	17
3.4.1. Generación de una base de datos cartográfica de variables ecológicas y de restricción requeridas por el <i>Pinus radiata</i> D. Don para la producción forestal en la cuenca Huancané.....	17
3.4.2. Identificación de áreas potenciales de producción forestal actual de <i>Pinus radiata</i> D. Don mediante el proceso analítico jerarquizado en la cuenca Huancané...29	
3.4.3. Determinación de la distribución de áreas para la producción forestal de <i>Pinus radiata</i> D. Don frente a escenarios de cambio climático mediante el algoritmo de máxima entropía en la cuenca Huancané.....	34
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	37
4.1. Base de datos cartográfica de variables ecológicas y de restricción requeridas por el <i>Pinus radiata</i> D. Don para la producción forestal en la cuenca Huancané	37
4.2. Áreas potenciales de producción forestal actual de <i>Pinus radiata</i> D. Don identificados mediante el proceso analítico jerarquizado.....	40
4.3. Distribución de las áreas para producción forestal de <i>Pinus radiata</i> D. Don frente a escenarios de cambio climático mediante el algoritmo de máxima entropía	42
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	46
5.1. Conclusiones	46
5.2. Recomendaciones	46
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	47
ANEXOS	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Reclasificación de intervalos de temperatura	19
Tabla 2	Reclasificación de intervalos de precipitación	20
Tabla 3	Reclasificación de intervalos de altitud.....	21
Tabla 4	Reclasificación de intervalos de pendiente.....	22
Tabla 5	Reclasificación de intervalos de profundidad efectiva.....	23
Tabla 6	Reclasificación de intervalos de textura	24
Tabla 7	Reclasificación de intervalos de pH	25
Tabla 8	Clasificación de las unidades de cobertura.....	26
Tabla 9	Clasificación de las tierras por su CUM.....	28
Tabla 10	Uso actual del suelo.....	29
Tabla 11	Variables bioclimáticas	36
Tabla 12	Características ecológicas de <i>Pinus radiata</i> en la cuenca Huancané	37
Tabla 13	Rangos de temperatura de la cuenca Huancané	37
Tabla 14	Rangos de precipitación de la cuenca Huancané.....	38
Tabla 15	Rangos de altitud de la cuenca Huancané	38
Tabla 16	Rango de pendientes de la cuenca Huancané.....	38
Tabla 17	Profundidad efectiva del suelo de la cuenca Huancané.....	38
Tabla 18	Textura del suelo de la cuenca Huancané.....	39
Tabla 19	Reacción del suelo de la cuenca Huancané	39
Tabla 20	Áreas potenciales de producción forestal actual en la cuenca Huancané.....	41
Tabla 21	Probabilidades frente a escenarios RCP de cambio climático.....	42

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Jerarquía AHP para plantaciones forestales	9
<i>Figura 2.</i> <i>Pinus radiata</i>	12
<i>Figura 3.</i> Mapa de ubicación de la cuenca Huancané.....	15
<i>Figura 4.</i> Representación geográfica del modelo.....	30
<i>Figura 5.</i> Modelo ejecutado de áreas potenciales de producción forestal actual de <i>Pinus radiata</i>	31
<i>Figura 6.</i> Superposición ponderada.....	33
<i>Figura 7.</i> Áreas potenciales no validadas de producción forestal actual de <i>Pinus radiata</i>	40
<i>Figura 8.</i> Mapas de probabilidad de condiciones aptas para <i>Pinus radiata</i> en escenarios RCP y situación actual.....	43

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: Fichas de registro.....	54
ANEXO 2: Formato de ficha técnica	56
ANEXO 3: Fichas técnicas.....	57
ANEXO 4: Constancia	59
ANEXO 5: Matriz de datos	60
ANEXO 6: Panel fotográfico	68
ANEXO 7: Hallazgos en las zonas potenciales de producción forestal	81
ANEXO 8: Mapa de temperatura media	82
ANEXO 9: Mapa de precipitación anual.....	83
ANEXO 10: Mapa de altitudes.....	84
ANEXO 11: Mapa de pendientes	85
ANEXO 12: Mapa de profundidad del suelo	86
ANEXO 13: Mapa de textura del suelo.....	87
ANEXO 14: Mapa de la reacción del suelo	88
ANEXO 15: Mapa de cobertura vegetal.....	89
ANEXO 16: Mapa de centros poblados	90
ANEXO 17: Mapa de red vial	91
ANEXO 18: Mapa de peligros geológicos	92
ANEXO 19: Mapa de capacidad de uso mayor de suelo	93
ANEXO 20: Mapa de uso actual del suelo.....	94
ANEXO 21: Mapa hidrográfico	95
ANEXO 22: Mapa de áreas potenciales de producción forestal zona 1.....	96
ANEXO 23: Mapa de áreas potenciales de producción forestal zona 2.....	97
ANEXO 24: Mapa de áreas potenciales de producción forestal zona 3.....	98
ANEXO 25: Mapa de áreas potenciales de producción forestal zona 4.....	99

ANEXO 26: Mapa de áreas potenciales de producción forestal zona 5.....	100
ANEXO 27: Mapa de áreas potenciales de producción forestal zona 6.....	101
ANEXO 28: Mapa de áreas potenciales de producción forestal zona 7.....	102
ANEXO 29: Mapa de áreas potenciales de producción forestal zona 8.....	103
ANEXO 30: Panel fotográfico	104
ANEXO 31: AUC y test de <i>jackknife</i>	109

LISTA DE ACRÓNIMOS

RCP	: Trayectoria de concentración representativa.
AUC	: Área bajo la curva.
IPCC	: Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático.
FAO	: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
AHP	: Proceso de jerarquía analítica.
NOAA	: Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica.
USDA	: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.
MAXENT	: Máxima entropía.
PRONAMACHS	: Proyecto Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas y Conservación de Suelos.
PEBLT	: Proyecto Especial Binacional Lago Titicaca.
UICN	: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza.
UTM	: Universal transversal de mercator.
GEOCATMIN	: Sistema de Información Geológico y Catastral Minero.
INGEMMET	: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico.
IGN	: Instituto Geográfico Nacional del Perú.
ANA	: Autoridad Nacional del Agua.
MTC	: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
MINAM	: Ministerio del Ambiente.
MINEDU	: Ministerio de Educación.
SERFOR	: Autoridad Nacional Forestal y de Fauna Silvestre.

RESUMEN

Las áreas potenciales de producción forestal son susceptibles a cambios en su distribución debido a la influencia del cambio climático, por tal razón, la investigación se desarrolló con el objetivo principal de determinar las áreas potenciales futuras con fines de producción forestal de *Pinus radiata* en la cuenca Huancané en un contexto de cambio de clima. Para ello, se generó la cartografía de variables ecológicas (temperatura, precipitación, pH, textura, profundidad efectiva, altitud, pendiente) y de restricción (cobertura vegetal, capacidad de uso mayor de suelo, centros poblados, peligros geológicos, hidrografía, uso actual del suelo, red vial) de la cuenca, posteriormente las variables fueron procesadas mediante la metodología del análisis jerarquizado para identificar las áreas potenciales actuales de producción forestal de *Pinus radiata* y luego fue examinado mediante el algoritmo de máxima entropía en tres escenarios de cambio climático para el año 2050. En los resultados se identificaron 93.37 hectáreas potenciales actuales para la producción forestal de *Pinus radiata* en los distritos de Huancané y Rosaspata, las cuales tienen una aptitud media-alta y alta para la especie; en el escenario optimista RCP 2.6 las zonas del distrito de Rosaspata disminuyen su aptitud a media-baja, mientras que las zonas del distrito de Huancané mantendrán una aptitud media – alta; en el escenario RCP 4.5 y RCP 8.5 todas las zonas reducirán su aptitud a aptitud media – baja y baja; los valores AUC de los RCP están entre 0.908 – 0.917, por ende, el modelamiento es categorizado como excelente. Se concluye que para mediados de siglo no se originarán nuevas áreas potenciales para producción de *Pinus radiata*, en cambio, las áreas actuales tendrán una reducción en su aptitud para esta especie, siendo la más afectada las zonas del distrito de Rosaspata.

Palabras clave: Cambio climático, cuenca Huancané, producción forestal, *Pinus radiata*.

ABSTRACT

Potential areas for forest production are susceptible to changes in their distribution due to the influence of climate change. For this reason, the research was developed with the main objective of determining the potential future areas for forest production of *Pinus radiata* in the Huancané watershed in a context of climate change. For this, the cartography of ecological variables was generated (temperature, precipitation, pH, texture, effective depth, altitude, slope) and constraint variables (vegetation cover, major land use capacity, population centers, geological hazards, hydrography, current land use, road network) of the basin, the variables were then processed using the hierarchical analysis methodology to identify the current potential areas of *Pinus radiata* forest production and then examined using the maximum entropy algorithm under three climate change scenarios for the year 2050. The results identified 93.37 hectares of current potential for *Pinus radiata* forest production in the districts of Huancané and Rosaspata, which have medium-high and high suitability for the species; in the optimistic scenario RCP 2.6 the zones of the Rosaspata district decrease their suitability to medium-low, while the zones of the Huancané district will maintain a medium-high suitability; in the RCP 4.5 and RCP 8.5 scenario all zones will reduce their suitability to medium-low and low suitability; the AUC values of the RCP are between 0.908 - 0.917, therefore, the modeling is categorized as excellent. It is concluded that by the middle of the century no new potential areas for *Pinus radiata* production will be created, on the other hand, the current areas will have a reduction in their suitability for this species, the most affected being the areas of the Rosaspata district.

Keywords: Climate change, forest production, Huancané basin, *Pinus radiata*.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial la áreas potenciales de producción forestal serán alteradas en su distribución debido a la variación de los patrones climáticos derivado del calentamiento global, asimismo, los bienes y servicios de las especies forestales serán afectados (Romero, 2016), tal situación adquiere gran importancia en el Perú pues es el tercer país más vulnerable al cambio climático (MINAM, 2009), en ese entender, la cuenca Huancané ubicada en la región de Puno, Perú, presenta zonas aptas para el desarrollo de *Pinus radiata* y en un contexto de cambio de clima es susceptible a modificaciones en su distribución, pues las condiciones extremas del clima se intensificarán en esta parte del altiplano, comprometiendo con ello el aporte de madera, hongos comestibles y servicios ecosistémicos de la especie (Gobierno Regional de Puno, 2016).

En relación a lo mencionado en zonas de España y Chile el *Pinus radiata* será afectado negativamente por el cambio climático (Rojas et al., 2013; González et al., 2021). Asimismo, en regiones del Perú como el caso de Piura, esta especie estaría presentando una reducción en los bosques, sin embargo, en algunas zonas de Chile y Nueva Zelanda el efecto sería positivo (Peña y Calero, 2019; Riveros, 2010; Watt et al., 2019). El efecto positivo y/o negativo sobre la distribución futura de esta especie será determinado por las condiciones climáticas que presentará un lugar en las próximas décadas, dicha situación en la zona altiplánica podría ser de climas áridos e inhóspitos (Bush et al., 2010).

En tal contexto en concordancia con el principio de prevención es necesario tener conocimiento de la distribución futura de *Pinus radiata*, lo cual aportará a los instrumentos de gestión integral ante el cambio climático de las municipalidades para la toma decisiones respecto a medidas de mitigación y adaptación en la cuenca sosteniendo de ese modo los bienes y servicios que ofrece la especie (Ministerio del Ambiente, 2018).

La presente investigación se realizó con el objetivo principal de determinar las áreas potenciales futuras con fines de producción forestal de *Pinus radiata* en la cuenca Huancané para el año 2050 considerando tres escenarios de cambio climático, lo que permitirá saber la disposición de sitios aptos para esta especie a mediados del siglo XXI dado que los sitios actuales son susceptibles a una disminución, aumento, desplazamiento, preservación o supresión de áreas.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Formulación del problema

Según el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC), el efecto invernadero aumentaría la temperatura global por consiguiente las variables climáticas serán modificadas, producto de ello, la distribución de las áreas para producción forestal serán alteradas (Romero, 2016), tal situación es un escenario posible respecto al *Pinus radiata* en países como España, Chile, Perú y Nueva Zelanda (Rojas et al., 2013; González et al., 2021; Peña y Calero, 2019; Riveros, 2010; Watt et al., 2019).

El Perú quien es el tercer país más vulnerable al cambio climático (MINAM, 2009), cuenta con 10.5 millones de hectáreas de tierras disponibles para plantaciones forestales, de las cuales 7.5 millones pertenecen a la sierra (Cardoso y de la Torre, 2016), y serán afectadas en mayor o menor medida, de acuerdo al grado de vulnerabilidad de cada zona (FAO, 2016).

En la región de Puno, la cuenca Huancané cuenta con áreas no delimitadas que poseen características favorables para la producción de *Pinus radiata* con rendimientos significativos (Gonzales y López, 1980; Gobierno Regional de Puno, 2013), y en un contexto de cambio de clima es susceptible a variaciones (disminución, aumento, desplazamiento, preservación o supresión) en su distribución pues en esta zona de los andes habrá una alteración de los patrones climáticos e intensificación de los eventos meteorológicos extremos como sequías, lluvias intensas, granizadas y heladas (Gobierno Regional de Puno, 2016).

Dicha situación afecta en lo económico y social al estado peruano debido a que los retornos de la inversión en proyectos forestales de la cuenca se reducen, asimismo las comunidades campesinas que dependen de los bienes y servicios de esta especie se verían afectadas. En el aspecto ambiental la disposición futura de áreas productivas para esta especie es una incertidumbre y con la ausencia de dicha información es complicada la orientación de iniciativas de mitigación y/o adaptación.

1.1.1. Problema general

¿Cuáles son las áreas potenciales futuras con fines de producción forestal de *Pinus radiata* D. Don en la cuenca Huancané, Puno?

1.1.2. Problemas específicos

- ¿Existe una base de datos cartográfica para determinar áreas potenciales de producción forestal actual de *Pinus radiata* D. Don?
- ¿Cuáles serán las áreas potenciales de producción forestal actual para la especie *Pinus radiata* D. Don?
- ¿Cuáles serán las áreas futuras con aptitud para producción forestal de *Pinus radiata* D. Don en escenarios de cambio climático?

1.2. Objetivos de la investigación

1.2.1. Objetivo general

Determinar las áreas potenciales futuras con fines de producción forestal de *Pinus radiata* D. Don en la cuenca Huancané, Puno.

1.2.2. Objetivos específicos

- Generar una base de datos cartográfica de variables ecológicas y de restricción requeridas por el *Pinus radiata* D. Don para la producción forestal en la cuenca Huancané.
- Identificar las áreas potenciales de producción forestal actual de *Pinus radiata* D. Don mediante el proceso analítico jerarquizado en la cuenca Huancané.
- Determinar la distribución de las áreas para producción forestal de *Pinus radiata* D. Don frente a escenarios de cambio climático mediante el algoritmo de máxima entropía en la cuenca Huancané.

1.3. Justificación

El cambio climático es uno de los principales problemas que enfrenta la humanidad, pues su supervivencia depende de los bienes y servicios que ofrece el planeta, entre ellos los proporcionados por el sector forestal, por lo que es necesario tener conocimiento de los riesgos a los que se enfrentan las especies forestales. En tal sentido a través de la presente investigación se determinó las áreas potenciales futuras para producción forestal de *Pinus radiata* frente a escenarios de cambio climático en la cuenca

Huancané, pues a nivel mundial se originarán desplazamientos de especies a nuevas zonas (Romero, 2016), esta es una especie recomendada para fines de producción en macizo, con alta demanda y establecida en la cuenca (Gobierno Regional de Puno, 2013).

La utilidad metodológica de la investigación se basa en la ejecución del modelo algorítmico de máxima entropía y el proceso analítico jerarquizado, los cuales pueden ser utilizados para la zonificación de otras especies forestales, producto de ello se tendría una zonificación forestal por especies para la región de Puno.

En el aspecto social los resultados de la investigación orientarán a las instituciones, programas, proyectos, comunidades, y demás organizaciones para que realicen plantaciones de *Pinus radiata* basados en instrumentos de zonificación forestal. Además, la información será de utilidad para los instrumentos de gestión frente al cambio climático de los distritos de la cuenca Huancané, puesto que, es necesaria la identificación de los impactos sobre el sector forestal asociados a peligros derivados del cambio de clima (Ministerio del Ambiente, 2021; Ministerio del Ambiente, 2022).

Económicamente se beneficia a la población involucrada en actividades forestales, pues la investigación aporta a la probabilidad de éxito de las plantaciones forestales de *Pinus radiata*, por ende, también la productividad.

Por último, la investigación contribuirá a la correcta zonificación de esta especie, gestión del territorio y la adaptación al cambio climático.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes internacionales

González et al. (2021), proyectaron la variabilidad productiva futura frente al cambio climático de la especie *Pinus radiata* en zonas del noroeste de España. Se utilizó un modelo de aprendizaje automático basado en las predicciones climáticas con escenarios de cambio climático RCP 4.5 y RCP 6.0. Los resultados indican que la reducción de área, de productividad y rentabilidad de las plantaciones en esta región de España podría ser significativos con el cambio climático, pues las condiciones climáticas de la zona cambiarían, por lo que es necesario más investigación para despejar las incertidumbres.

Watt et al. (2019), determinaron múltiples efectos del cambio climático sobre las plantaciones de forestales de nueva Zelanda. Los resultados muestran que habrá un aumento de productividad para el *Pinus radiata*, las ganancias se promedian en 19 por ciento para el año 2040 y el 37 por ciento para el año 2090, asimismo, es probable que otras especies amplíen su área de distribución y compitan con las plantaciones de esta especie.

Rojas et al. (2013), determinaron la vulnerabilidad frente al cambio climático de *Pinus radiata* en Chile para el periodo de los años 2070 – 2100. Como resultado determinaron que todas las plantaciones se verán afectadas por el cambio climático, específicamente, las plantaciones que se encuentran en la región del Maule y el norte de la región del Bio Bio son las que tienen una mayor vulnerabilidad, siendo afectadas en su rendimiento por las temperaturas máximas extremas, por otra parte, las plantaciones que se encuentran al sur del Bio Bio, las regiones de la Araucanía y de los Ríos se muestran menos vulnerables. Concluyen que habrá un reordenamiento general de las actividades productivas forestales con un desplazamiento general hacia el sur y ligeramente hacia el este.

Riveros (2010), evaluó los efectos del cambio climático en la distribución productiva de *Pinus radiata* en Chile. Se utilizó la metodología de modelos 3-PG y PRECIS en la zona de estudio que abarca la región administrativa del Maule hasta la región de Los Ríos. Los resultados indican que la parte norte del área de estudio (zonas cercanas al centro del país) experimentarían una disminución de su potencial forestal, mientras que las zonas más al sur y hacia el este (montañas) presentarían un aumento. Concluyen que existirá un deterioro del potencial forestal en algunas regiones y una expansión en otras.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Peña y Calero (2019), determinaron el efecto de los factores climáticos en una diversidad de especies en la microcuenca los Molinos, Ayabaca, Piura, entre ellos el *Pinus radiata* mediante la metodología de Pipoly. Los resultados indican que la especie *Pinus radiata* viene desapareciendo en un 9.1 por ciento en el estrato de bosque Seco Montano Bajo. Concluye que la variación de los factores climáticos en esta región es muy evidente y existe una influencia del cambio climático en la productividad, distribución y variabilidad de las especies.

Rau (2012), determinó áreas con potencial forestal para diferentes especies como *Pinus radiata* en la provincia de Tarma, Junín. Se utilizó la metodología de observación del paisaje – suelo, se zonificaron las áreas según las características ecológicas de las especies forestales utilizando la técnica Proceso de Análisis Jerarquizado. Como resultado se obtuvo un área de 12 512 hectáreas con aptitud buena para la especie *Pinus radiata*, considerando un rango altitudinal de 2000 m s.n.m. – 3800 m s.n.m., pendiente de 0 - 75 por ciento, textura franco arenoso a franco arcillo limoso, profundidad efectiva 40 - 60 cm y un pH fuertemente ácido a ligeramente ácido.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Cambio climático

Según el panel intergubernamental sobre cambio climático (IPCC, por sus siglas en inglés), es «todo cambio producido en el clima a lo largo del tiempo, ya sea debido a la variabilidad natural o como resultado de la actividad humana» (IPCC. 2014). Asimismo, la ley marco sobre el cambio climático del Perú, se refiere al cambio de clima atribuido a la actividad humana que produce una variación en la composición

de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempos comparables (Ministerio del Ambiente, 2018).

a. Causas y consecuencias

Según la FAO (2003) las causas son el aumento los gases de efecto invernadero, la producción agropecuaria y el mal uso del suelo , la mala gestión de los residuos sólidos y líquidos, entre otros , los cuales producen como consecuencia un aumento de la temperatura y esto a su vez altera el clima, el rebrote de enfermedades, los sistemas naturales se ven afectados, muchos sistemas humanos como la agricultura, plantaciones, energía, entre otros, se verán afectados y aumentaran su vulnerabilidad frente al cambio climático.

b. Cambio climático en el Perú

A nivel mundial el Perú es el tercer país más vulnerable a los riesgos climáticos, sin embargo, es responsable de apenas el 0.4 por ciento de los gases de efecto invernadero. Los impactos son observados principalmente en los patrones de lluvia, elevación del nivel del mar, reducción de los glaciares, presencia de olas de calor, y aumento de la temperatura, se incluye todas las consecuencias que ello conlleve. Hasta el momento se ha producido más inundaciones por el fenómeno del niño, también hay más sequías en la sierra, así como huaicos, deslizamientos en la cosa sierra y selva (FAO, 2016; MINAM, 2009).

c. Cambio climático en la región Puno

En el departamento de Puno en los últimos 30 años se registraron lluvias más intensas y frecuentes en periodos lluviosos cada vez más cortos, las temperaturas extremas del aire presentan tendencias positivas para la temperatura máxima y negativas para la mínima. Según el Programa Nacional de Cambio Climático de Bolivia y SENAMHI, las mayores precipitaciones en época lluviosa e incremento de temperatura, tendrá como consecuencia una mayor aridez en el territorio altiplánico (Gobierno Regional de Puno, 2016).

d. Mitigación y adaptación al cambio climático

Adaptación es «la habilidad de un sistema para ajustarse a las manifestaciones del cambio climático (incluida la variabilidad del clima y sus extremos), aminorar los daños y aprovechar las oportunidades o enfrentar las consecuencias que esto traerá a

nuestro país». La mitigación «significa actuar para reducir emisiones, especialmente los gases de efecto invernadero, producto de diversas fuentes, mediante otras acciones puntuales. Por ejemplo, mejorando las tecnologías, así como las normas y las leyes para que la población participe en las medidas de mitigación» (MINAM, 2009).

e. Cambio climático en el sector forestal

El modelamiento climático a través de los escenarios ha permitido determinar los efectos del cambio climático en diferentes regiones del planeta y los efectos sobre las poblaciones, es así que según Romero (2016) entre las consecuencias sobre el sector forestal destacan: «estrés hídrico, mayor incidencia de plagas y enfermedades, disminución en la polinización, baja productividad. Además, de acuerdo a diferentes modelos utilizados en trabajos recientes, se vislumbra que el cambio climático propiciará desplazamientos de especies forestales hacia nuevas zonas de distribución; por lo que será necesario implementar estrategias de reordenación forestal que compensen los desfases de adaptación de las poblaciones, para mantener la productividad y la salud de los bosques.»

2.2.2. Producción forestal

La producción forestal es el manejo del recurso forestal para la obtención de productos forestales sean estos del bosque, asociaciones vegetales y/o plantaciones (Ministerio de Agricultura y Riego, 2015).

a. Áreas para producción forestal

Las áreas para producción forestal condiciones climáticas, de suelo e hídricas que el territorio presenta para producir una especie forestal. Las tierras donde se pueden realizar plantaciones forestales con fines de producción forestal maderable y no maderable son los siguientes: tierras aptas para cultivo en limpio (símbolo A), tierras aptas para cultivos permanentes (símbolo C), tierras aptas para pastos (símbolo P), tierras de aptitud forestal (Ministerio de Agricultura, 2009).

b. Plantaciones de producción en la región Puno

Según la ley forestal y de fauna silvestre N.º 29763 las plantaciones de producción son las que permiten actividades de extracción y se orientan, al suministro de madera y productos forestales no maderables como resinas, látex, frutos, semillas, entre otros, incluyendo fauna silvestre y servicios ambientales. En la región de Puno las

plantaciones establecidas de producción en macizo para la producción de madera es el Pino (*Pinus radiata*), Ciprés (*Cupressus macrocarpa* Hartw) y Eucalipto (*Eucalyptus globulus* Labill), estas especies según el ámbito de influencia del proyecto “Instalación y recuperación de la cobertura forestal en el anillo circunlacustre de la Región Puno” están alrededor del Lago Titicaca, (Gobierno Regional de Puno, 2013), y debido a esa ubicación se tiene un gran beneficio sobre el crecimiento de *Pinus radiata* para la producción maderable y no maderable (Gonzales y López, 1980).

Estas especies establecidas son utilizadas de acuerdo al fin u objetivo de la plantación. La cantidad de plantaciones según el registro nacional de plantaciones forestales con fines de producción en el departamento de Puno para los años 2016, 2017, 2018, 2019 y 2020 fue de 5.67, 0.88, 8.81, 5.87 y 0.22 hectáreas respectivamente (SERFOR, 2021).

2.2.3. Modelamiento de plantaciones de producción

a. Sistema de información geográfica

Un sistema de información geográfica (GIS) es un entorno para recopilar, gestionar y analizar datos geográficos de diferente índole, además, analiza la ubicación espacial y organiza capas de información geográfica en visualizaciones usando mapas y escenas 3D (ESRI, 2021).

b. Modelado cartográfico

El modelado cartográfico es un método por medio del cual se representan los datos del mundo real mediante capas de información y este es manipulado para alcanzar un objetivo mediante operaciones matemáticas aplicadas sobre las capas de información (Gómez y Barredo, 2005).

c. Proceso analítico jerarquizado

La técnica del proceso analítico jerarquizado o analytical hierarchy process (AHP por sus siglas en inglés) es un método de selección de alternativas (estrategias, inversiones, etc.) en función de una serie de criterios y variables, las cuales suelen estar en conflicto (Aznar, 2012).

El modelamiento de plantaciones forestales con esta técnica permite obtener áreas con aptitud para el desarrollo de una especie forestal como el *Pinus radiata* y se realiza considerando el marco metodológico del AHP definido por Saaty (1980)

donde se integra una base de datos correspondiente al área de estudio como son los criterios o factores ecológicos y los factores de restricción (Hernández et al. 2019).

Los factores ecológicos son las condiciones ambientales que determinan la existencia de la especie, por otro lado, los factores de restricción para las plantaciones son la capacidad de uso mayor del suelo, uso actual del suelo, entre otros, los cuales contribuyen a un buen ordenamiento forestal, consecuencia de ello, se tiene una especie destinada al lugar y finalidad correcta, sean estos de producción, protección o recuperación (Ministerio de Agricultura y Riego, 2015).

En plantaciones forestales el proceso simplificado de AHP según Aznar (2012) sigue la siguiente estructura de jerarquía (Figura 1): (a) Se parte del interés que puede tener un decisor la más interesante entre un conjunto de alternativas (alta, media, baja, no apto), (b) Se define qué criterios se van a utilizar para determinar la selección los cuales pueden ser clima, suelo o topografía, esto es, cuáles son las características que puedan hacer más deseable una alternativa sobre otra , (c) Conocidas las alternativas y definidos los criterios, debe primero procederse a ordenar y ponderar el diferente interés de cada uno de los criterios en la selección de alternativas. El procedimiento seguido son las comparaciones por pares cuantificadas mediante una escala fundamental, propuesta por el mismo autor.

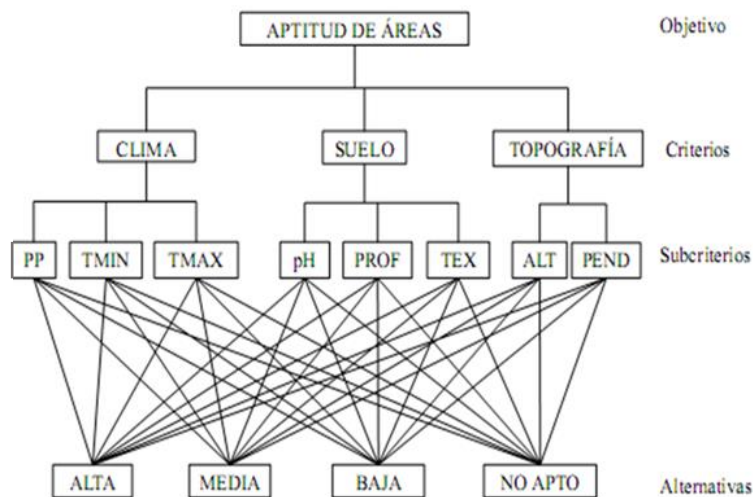


Figura 1. Jerarquía AHP para plantaciones forestales.

FUENTE: Olivas et al. (2007).

En el modelo de plantaciones forestales también se le agregan las restricciones, que son los que limitan la posibilidad de considerar una zona específica, excluyéndola del análisis para alternativas (Salazar, 2019).

d. Método máxima entropía y escenarios de cambio climático

- Escenarios de cambio climático

Los escenarios de cambio climático son representaciones del clima futuro, basados en posibles escenarios de emisión de gases de efecto invernadero (GEI) asociados a actividades humanas. Sirven como línea base para la gestión integral de riesgos por efectos del cambio climático y para la planificación a nivel mundial y regional (SENAMHI, 2020). Asimismo, el IPCC señala que para temas de investigación se establecen posibles escenarios o RCP (Representative Concentration Pathways): el escenario optimista RCP 2.6, el escenario intermedio RCP 4.5 y el escenario pesimista RCP 8.5. Las RCP varían según la magnitud del forzamiento radiativo que aportan al sistema climático natural para el año 2100 en relación con el periodo preindustrial (1850-1900), esto es: (1) 2.6 W/m^2 , concentración de CO_2 de 430 a 480 ppm en el caso del escenario RCP 2.6 (escenario optimista); (2) 4.5 W/m^2 , concentración de CO_2 de 580 a 720 ppm en el caso del escenario RCP 4.5 (escenario intermedio); (3) 8.5 W/m^2 , concentración de CO_2 mayor a 1000 ppm en el caso del escenario RCP 8.5 (Álvarez et al., 2017; Jodar et al., 2018).

En la actualidad según NOAA (2022), la concentración global de CO_2 es de 418.28 ppm (marzo 2022), por ende, el planeta está a punto de ingresar al escenario RCP 2.6 (430 ppm de CO_2). Es necesario tener en cuenta que según el IPCC (2021) «el calentamiento global de 1.5°C - 2°C se superará durante el siglo actual a menos que se produzcan reducciones profundas en el CO_2 ». La temperatura mayor a 1.5°C constituye un peligro (la temperatura actual es aproximadamente 1.1°C), pues a partir de ese valor el planeta corre el riesgo que llegar a un punto de no retorno.

- Método máxima entropía

MAXENT es un algoritmo complejo, extenso y abierto bajo licencia del MIT (Massachusetts Institute of Technology) que es ejecutado mediante el software MAXENT con licencia MIT el cual implementa el principio de máxima entropía que busca encontrar la distribución con la mayor uniformidad posible de especies forestales actuales y en el futuro, dadas las limitaciones impuestas por la información disponible sobre la distribución observada de las especies y las condiciones ambientales como son las variables que representan los diferentes escenarios de cambio climático en el área de estudio (Martínez, 2010).

El modelamiento con el algoritmo de máxima entropía utiliza los posibles escenarios de cambio climático que se pueden presentar en el futuro como RCP 2.6, RCP 4.5 y RCP 8.5, en base a dichos escenarios se identifica la distribución futura de una especie forestal como el *Pinus radiata*.

Las ventajas de algoritmo MAXENT son las siguientes:

- Requiere solo datos de presencia, en conjunto con variables ambientales. Esto aplicado a la presente investigación está referida a datos de los puntos actuales de producción forestal, junto a las 19 variables bioclimáticas que ofrece WorldClim y los modelos de escenarios climáticos.
- Puede usar tanto datos continuos como categóricos y puede incorporar interacciones entre distintas variables.
- Utiliza eficientes algoritmos que han sido desarrollados para garantizar convergencia en una óptima (entropía máxima) distribución probabilística, estos algoritmos están alojados en la plataforma GitHub.
- La distribución probabilística de MAXENT tiene una definición matemática concisa. El cual al final es una expresión del tipo:

$$P(x) = \frac{\exp(C1 * F1(x) + C2 * F2(x) + C3 * F3(x) \dots)}{Z} \quad (1)$$

Donde = C1, C2...Cn, son constantes; F1, F2...Fn, son las variables climáticas y Z es una constante que asegura que la suma de todos los valores de P para todas las celdas sea igual a 1 (Phillips et al.,2004; Elith et al., 2006; Morales, 2012; Merow et al., 2013).

2.2.4. Especie *Pinus radiata* D. Don

a. Taxonomía de *Pinus radiata* D. Don

La taxonomía perteneciente a la especie *Pinus radiata*, según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza UICN (2021), es la siguiente:

Reino : Plantae
Filo : Tracheophyta
Clase : Pinopsida
Orden : Pinales

Familia : Pinaceae
Género : Pinus L.
Especie : *Pinus radiata* D. Don.

b. Descripción botánica de *Pinus radiata* D. Don

El *Pinus radiata* es una planta arbórea plasmada en la figura 2, con tallo único ramificado, forma una copa amplia y ramificada, las hojas son persistentes, aciculares reunidas en fascículos de tres a cinco hojas que nacen de un corto eje de tallo llamado braquiblasto cubierto por escamas membranosas triangulares. Presenta inflorescencias masculinas y femeninas, conos verticilados, en la base de cada hoja carpelar posee dos óvulos, estróbilos masculinos amentiformes constituidos de numerosas hojas polínicas cada una de las cuales lleva dos sacos polínicos (citado en Santana, 2019).

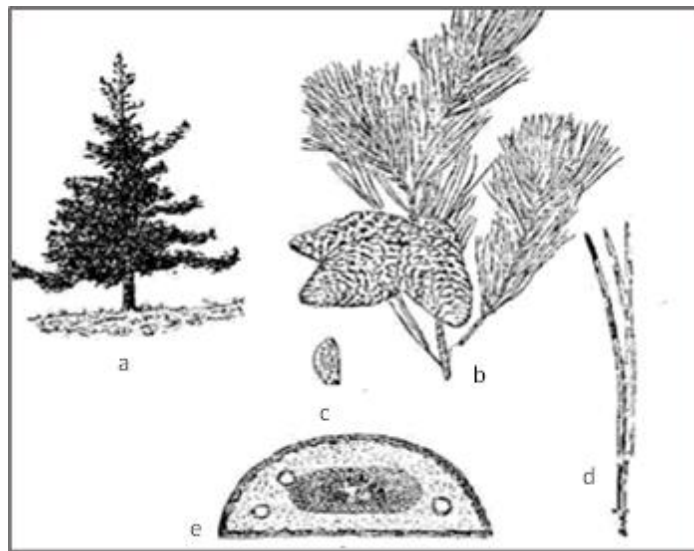


Figura 2. *Pinus radiata*; (a) árbol aislado; (b) ramilla con conos; (c) semilla; (d) fascículo; (e) corte transversal de una acícula.

FUENTE: Martínez (1948).

c. Aprovechamiento de *Pinus radiata* D. Don

El aprovechamiento de especies forestales es la utilización de los bienes y servicios de los ecosistemas forestales y otros ecosistemas de vegetación silvestre de forma sostenible de un modo de que se mantenga la posibilidad de satisfacer las necesidades y aspiraciones de las generaciones presentes y futuras (Ministerio de Agricultura y Riego, 2015). En ese sentido, son múltiples las aplicaciones del *Pinus radiata* como materia prima para envases, puertas, ventanas, vigas, pilotes, muelles, carrozado de

vehículo, construcción de vagones, postes, hongos como la *Suillus luteus* o *Boletus luteus* cuya producción en fresco puede alcanzar hasta los 1500 kg/año/ha y el destino es supermercados nacionales y exportación (Inoñan, 2014; Chura y Muchica, 2021).

En la cuenca Huancané según la Agencia Agraria Huancané se tiene una cantidad de 15.5 hectáreas de *Pinus radiata* entre plantaciones registradas y no registradas (Chura y Muchica, 2021). Además, el Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR) realiza la promoción de plantaciones forestales modelo como es el caso de 300 plantones de *Pinus radiata* en el centro poblado Lajje, provincia de Yunguyo, Puno, en el año 2017, con el objetivo de que sean replicados por la población para su aprovechamiento futuro (SERFOR, 2017).

2.3. Marco conceptual

- **Plantaciones de producción:** Son plantaciones que se orientan predominantemente al suministro de madera, fibra y otros productos forestales no maderables, incluyendo fauna silvestre y servicios ambientales (Ministerio de Agricultura y Riego, 2015).
- **Plantaciones de protección:** Están dirigidas a la protección de suelos frente a la erosión y al mantenimiento de las fuentes y cursos de agua (Ministerio de Agricultura y Riego, 2015).
- **Plantaciones de recuperación:** Están orientadas a restaurar el ecosistema natural empleando especies nativas del lugar (Ministerio de Agricultura y Riego, 2015).
- **Raster:** Es una imagen que consta de una matriz de celdas organizadas en filar y columnas en la que cada celda contiene un valor que representa información (ESRI, 2020).
- **Sistema climático:** Es un sistema muy complejo constituido por componentes naturales entre los cuales existe cuantiosos flujos de energía y materia (Vide, 2009).
- **ASCII:** Es archivo de texto con la extensión .asc que representa datos raster, consta de información como coordenadas, tamaño de celas, etc (ESRI, 2020).
- **Referencia espacial:** Describe donde se ubican las entidades en el mundo mediante las coordenadas geográficas o proyectadas (ESRI, 2020).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Área de estudio

La zona de estudio comprende el territorio de la cuenca Huancané (Figura 3), la ubicación geográfica, hidrográfica y política determinada por la Autoridad Local del Agua – Huancané (2010), es la siguiente:

3.1.1. Ubicación geográfica

La cuenca se ubica entre las siguientes coordenadas UTM (WGS84):

- Este : 376030, 468557
- Norte : 8301965, 8397410
- Altitud : 3806 m s.n.m. - 5100 m s.n.m.

3.1.2. Ubicación hidrográfica

Hidrográficamente se encuentra ubicado en:

- Región hidrográfica : Titicaca
- Sistema hídrico : TDPS (Sistema Titicaca – Desaguadero – Poopo - Salar de Coipasa)

3.1.3. Ubicación política

Políticamente se encuentra ubicada en:

- Región : Puno
- Provincia : Huancané, Moho, San Antonio de Putina y Azángaro.
- Distrito : Huancané, Moho, Huayrapata, Rosaspata, Vilquechico, Cojata, Inchupalla, Huatasani, Pedro Vilca Apaza, Quilcapuncu, Putina, Muñani, Ananea y Potoni.

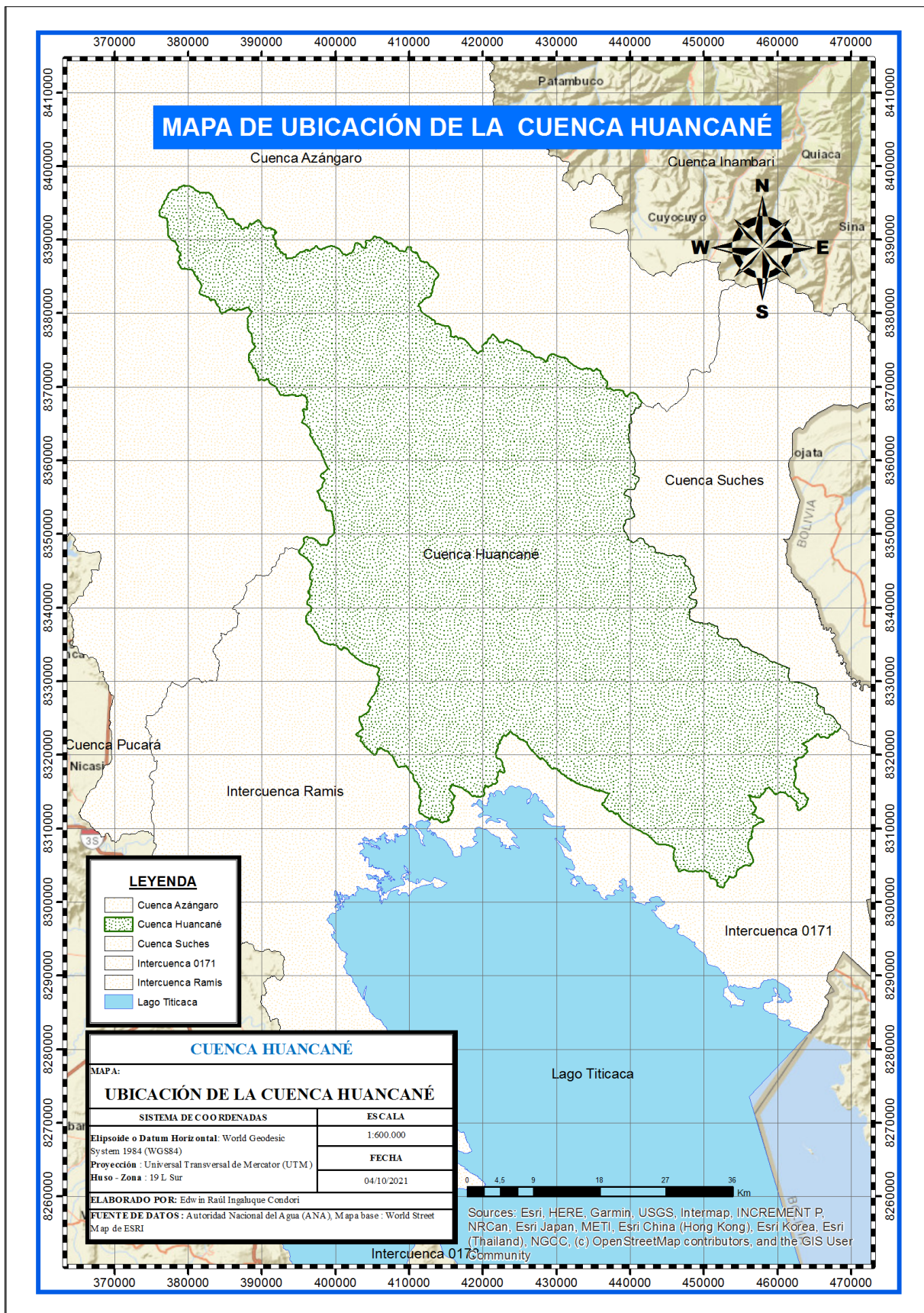


Figura 3. Mapa de ubicación de la cuenca Huancané.

FUENTE: Adaptado de Autoridad Nacional del Agua (2021).

3.2. Tipo y diseño de investigación

El tipo de investigación es aplicada y de alcance descriptivo, debido a que la información corresponde a la descripción de variables ambientales. Representa un diseño no experimental de tipo mixto, es decir, transeccional y longitudinal.

3.3. Materiales

- Información cartográfica de clima, suelo, topografía y restricciones (cobertura vegetal, capacidad de uso mayor de suelo, centros poblados, peligros geológicos, hidrografía, uso actual del suelo, mapa vial) de la cuenca Huancané que corresponden a la zonificación ecológica y económica del departamento de Puno, WorldClim – Global Climate Data, Geoservidor del Ministerio del Ambiente del Perú, Sistema de Información Geológico y Catastral Minero (GEOCATMIN) - Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET), Instituto Geográfico Nacional del Perú (IGN), Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), Autoridad Nacional del Agua (ANA), Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC), Dirección general de evaluación, valoración y financiamiento del patrimonio natural del MINAM, cartografía base del MINEDU.
- Software ArcGIS Desktop *Student Trial* versión gratuita para estudiantes de ESRI Inc.
- Software Google Earth 7.3. de la empresa Google LLC, Versión gratuita.
- Software Global Mapper 21, versión de prueba gratuita.
- Algoritmo del modelo de distribución de máxima entropía (MAXENT Versión 3.4.1) de código abierto bajo licencia del MIT (Massachusetts Institute of Technology).
- Libreta de campo.
- Pico (Marca Tramontina).
- Lampa con mango de madera (Marca Werken).
- Flexómetro (Marca Stanley).
- Guantes de cuero estándar (Marca Steel Pro).
- GPS Marca Garmin (modelo GPS MAP 64S).
- Cámara fotográfica (Marca SONY 25MP).
- Laptop (Marca Toshiba, modelo Satellite L50B).

3.4. Metodología

- **Sumario del proceso:** Se realizó generando una base de datos cartográfica que fue analizada mediante el proceso analítico jerarquizado, producto de ello se obtuvieron áreas de producción forestal actual de *Pinus radiata*, cuyas coordenadas (denominado como puntos de modelamiento en la leyenda de los mapas en los anexos 22 al 29) y los puntos de presencia proporcionados por instituciones del sector forestal (anexo 1) junto a 19 variables climáticas fueron los insumos para el modelamiento con el algoritmo de máxima entropía en escenarios de cambio climático. El procedimiento descrito se detalla a continuación:

3.4.1. Generación de una base de datos cartográfica de variables ecológicas y de restricción requeridas por el *Pinus radiata* D. Don para la producción forestal en la cuenca Huancané

a. Características ecológicas de *Pinus radiata*

Las características ecológicas de clima, suelo y topografía para la especie fueron determinadas mediante técnicas de análisis documental y entrevista, debido a que no están estandarizadas en una sola fuente de información.

- El análisis documental se inició realizando visitas a las instituciones del sector forestal de la cuenca Huancané, el objetivo fue identificar toda la información referente a clima: precipitación, temperatura mínima, temperatura máxima; suelo: pH, profundidad, textura; y topografía: altitud, pendiente de los sitios con plantaciones forestales de *Pinus radiata*. Las instituciones ejecutoras que contaron con información fueron: (1) la oficina del área de Infraestructura Forestal, Riego y Fauna silvestre de la Agencia Agraria Huancané, (2) el Programa de Desarrollo Productivo Agrario Rural (AGRORURAL) oficina zonal Huancané – Moho – San Antonio de Putina. En dichas instituciones se consideraron todos los documentos (informes, proyectos, publicaciones, entre otros.) existentes (censo), por ende, no se realizó muestreo. A continuación, se procedió al análisis del contenido describiendo los documentos en base a la ISBD (Descripción Bibliográfica Internacional Normalizada) que menciona como campos generales para cualquier documento los siguientes: número de registro, autor, lugar de trabajo de los autores, título, lengua de la publicación, año de publicación y páginas. A los campos mencionados se le agregó un resumen. El instrumento de investigación o producto

final son las fichas de registro (anexo 1) que orienta e informa sobre el contenido de cada documento seleccionado (Arias, 2020; Nava,2017; IFLA, 2011).

- La entrevista se realizó teniendo como referencia el proceso determinado por Bernal (2010) el cual consta de la etapa de preparación, realización y finalización. En la etapa de preparación se determinó el objetivo el cual fue la selección de valores específicos de requerimientos ecológicos del *Pinus radiata* por parte de los entrevistados teniendo como información las fichas de registro resultantes en la etapa de análisis documentario. El instrumento de registro para la recolección de la información en la entrevista lo constituye la ficha técnica del anexo 2, y por tratarse de una entrevista no estructurada no se realizó un guion de entrevista (Hurtado, 2006). Los entrevistados fueron seleccionados mediante un muestreo no probabilístico o dirigido por conveniencia las cuales están inmersas en la actividad forestal y son los siguientes: (1) la especialista del Área de Infraestructura Forestal, Riego y Fauna silvestre de la Agencia Agraria Huancané, (2) jefe de la agencia zonal AGRORURAL Huancané – Moho – San Antonio de Putina. La etapa de realización de la entrevista tuvo lugar en las instalaciones de la Agencia Agraria Huancané y la agencia zonal AGRORURAL Huancané – Moho – San Antonio de Putina en el mes de octubre del año 2021 respetando los protocolos adoptados por las entidades debido al SARS-CoV-2. Para la finalización se agradeció la participación a los entrevistados. Los datos de clima, suelo y topografía aptos para la especie fueron plasmados en las fichas técnicas del anexo 3 y estos no requieren algún tipo específico de análisis, debido a que sirven de como testimonio de afirmaciones de documentos obtenidos en el análisis documentario. Para el resultado final se hizo un resumen de todas las características ecológicas de *Pinus radiata*, el cual es expuesto en el ítem de resultados.

A continuación, se describe la metodología para la generación de la base de datos cartográfica de variables ecológicas y de restricción utilizando los valores de requerimientos ecológicos de clima, suelo y topografía determinados en la ficha técnica de la entrevista.

b. Temperatura

El origen de la información climática para la temperatura y precipitación fue la base de datos global de la organización WorldClim – Global Climate Data, el cual

contiene datos compilados por la Red Mundial de Climatología Histórica (GHCN), la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la Organización Meteorológica Mundial (OMM) , el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), R-HYdronet y la bases de datos climáticos de diversos países entre ellos el Perú. Los datos contenidos son proporcionados para su uso en investigación y permiten un análisis más completo de las variables climáticas de precipitación y temperatura (WorldClim, 2021). Los archivos de temperatura mínima y máxima de los 12 meses adquiridos de WorldClim tienen una resolución espacial de 30 segundos de arco ($0.93 \times 0.93 = 0.86 \text{ km}^2$), está en formato ESRI grid (*raster*) y la información es a nivel mundial, por ende, se realizó una extracción por máscara utilizando el área de la cuenca Huancané (mediante la herramienta *extract by mask* de ArcGIS). A continuación, se realizaron operaciones con los mapas (álgebra de mapas) para obtener la temperatura media mensual, luego se sumaron la temperatura media de los 12 meses, el resultado se dividió entre 12 para así obtener la temperatura media anual, luego el mapa ráster obtenido se proyectó de acuerdo a la referencia espaciales en los cuales se está trabajando (WGS1984 UTM Zona 19S). Por último, se realizó una reclasificación de los valores de temperatura de acuerdo a los intervalos de la tabla 1, asignándole al valor de 8°C como apto para la especie *Pinus radiata*, y de esa manera obtener un mapa en formato ráster con información de la temperatura media de cada zona de la cuenca Huancané (WorldClim, 2021; Rodríguez et al., 2004; ESRI, 2020).

Tabla 1

Reclasificación de intervalos de temperatura

Temperatura media	
Intervalo (°C)	Ponderación
1 – 3	-
3 – 5	-
5 – 7	-
8	1

En la tabla 1 la ponderación 1 indica aptitud para la especie y los guiones indican valores no aptos.

c. Precipitación

Los datos de mapa ráster de precipitación obtenidos de WorldClim tienen una resolución espacial de 30 segundos de arco ($0.93 \times 0.93 = 0.86 \text{ km}^2$), son 12 mapas *raster* (un archivo *raster* por cada mes del año), y son datos que abarcan todo el territorio del mundo, por ende, se realizó una extracción por máscara (mediante la herramienta *extract by mask* de ArcGIS) utilizando el área de la cuenca Huancané para obtener la información del área de interés. A continuación, se realizó la suma de las precipitaciones de todos los meses para obtener la precipitación anual total mediante la calculadora *raster* (*raster calculator* de ArcGIS), el ráster obtenido se proyectó de acuerdo a la referencia espacial WGS 1984 UTM Zona 19S. Por último, se realizó una reclasificación de los valores de precipitación de acuerdo a los intervalos de la tabla 2, asignándole al rango de 650 mm – 850 mm de precipitación como apto para la especie *Pinus radiata* y obtener un mapa en formato ráster con información de la precipitación anual total de cada zona de la cuenca Huancané (WorldClim, 2021; Rodríguez et al., 2004; ESRI, 2020).

Tabla 2

Reclasificación de intervalos de precipitación

Precipitación anual	
Intervalo (mm)	Ponderación
644 - 650	-
650 - 700	1
700 - 750	1
750 - 800	1
800 – 850	1

En la tabla 2 la ponderación 1 indica aptitud para la especie y los guiones indican valores no aptos.

d. Altitud

Los archivos topográficos ASTER GDEM 30m (Aster Global Digital Elevation Model) fueron obtenidos del Geoservidor del Ministerio del Ambiente del Perú, tienen una resolución espacial de 30 metros y están en formato GeoTIFF (MINAM – Geoservidor, 2021). Se unieron los diferentes ráster de las zonas que abarca la cuenca Huancané mediante la herramienta *Mosaic to new raster* de ArcGIS, luego se realizó una proyección de acuerdo a la referencia espacial WGS 1984 UTM Zona

19S, a continuación, se realizó una extracción por máscara entre la imagen *raster* y la cuenca Huancané mediante la herramienta *extract by mask* de ArcGIS.

Por último, se realizó una reclasificación de los valores de precipitación de acuerdo a los intervalos de la tabla 3, asignándole al rango de 3661 m s.n.m. – 4083 m s.n.m. como apto para la especie *Pinus radiata*, y de esa manera obtener un mapa con información de la altitud de cada zona de la cuenca Huancané (Chaco, 2017; ESRI, 2020).

Tabla 3

Reclasificación de intervalos de altitud

Altitud	
Intervalo (m s.n.m.)	Ponderación
3661 - 4083	1
4083 - 4500	-
4500 - 5086	-

En la tabla 3 la ponderación 1 indica aptitud para la especie y los guiones indican valores no aptos.

e. Pendiente

La distribución de pendientes se realizó con los datos ASTER GDEM 30m (Aster Global Digital Elevation Model) del Geoservidor del Ministerio del Ambiente del Perú (MINAM – Geoservidor, 2021). Para ello se realizó la extracción por máscara con el territorio de la cuenca Huancané mediante la herramienta *extract by mask* de ArcGIS.

Para hallar la pendiente en porcentaje se utilizó la herramienta *Slope* de ArcGIS. Por último, se realizó una reclasificación de los valores de pendiente de acuerdo a los intervalos de la tabla 4, asignándole al rango de 8 por ciento – 75 por ciento como apto para la especie *Pinus radiata* y así obtener un mapa con información de la pendiente en porcentaje de cada zona de la cuenca Huancané (Chaco, 2017; ESRI, 2020).

Tabla 4

Reclasificación de intervalos de pendiente

Pendiente		
Intervalo (porcentaje)	Descripción	Ponderación
0 - 4	Llano o ligeramente inclinado	-
4 – 8	Moderadamente inclinado	-
8 - 15	Fuertemente inclinada	1
15 - 25	Moderadamente empinada	1
25 – 50	Empinada	1
50– 75	Fuertemente empinada	1
>75	Extremadamente empinada	-

La tabla 4 muestra una descripción e intervalo definidos por el reglamento de clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor. La ponderación 1 indica aptitud para la especie y los guiones indican valores no aptos.

FUENTE: Ministerio de Agricultura (2009).

f. Profundidad efectiva del suelo

Se utilizó el estudio de suelos perteneciente a la zonificación ecológica económica del departamento de Puno, aprobada el año 2015 con ordenanza regional N° 014-2015-GRP-CRP.

El formato ESRI *shapefile* del estudio de suelos del Gobierno regional de Puno contiene la información de profundidad de los suelos del departamento de Puno y fue recortado mediante la herramienta *clip* de ArcGIS teniendo como máscara el territorio de la cuenca Huancané. Por último, se realizó una reclasificación de los valores de la profundidad del suelo de acuerdo a la calificación de la tabla 5, asignándole al rango de 50cm – 100cm como apto para la especie *Pinus radiata*, y de esa manera obtener un mapa con información de la profundidad efectiva del suelo de cada zona de la cuenca Huancané (Gobierno Regional de Puno, 2015; ESRI, 2020).

Tabla 5

Reclasificación de intervalos de profundidad efectiva

Profundidad efectiva del suelo		
Profundidad (cm)	Descripción	Ponderación
Menos de 25	Muy superficial	-
25 – 50	Superficial	-
50 – 100	Moderadamente profundo	1
100 – 150	Profundo	1
Más de 150	Muy profundo	1

La tabla 5 muestra rangos de profundidad y descripción definidos por el reglamento de clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor. La ponderación 1 indica aptitud para la especie y los guiones indican valores no aptos.

FUENTE: Ministerio de Agricultura (2009).

g. Textura del suelo

Se utilizó el estudio de suelos y capacidad de uso mayor perteneciente a la zonificación ecológica económica del departamento de Puno, aprobada el año 2015 con ordenanza regional N.º 014-2015-GRP-CRP. La tabla de atributos del formato ESRI *shapefile* del estudio de suelos y su memoria descriptiva contienen las consociaciones con los suelos descritos en base a la taxonomía de suelos de USDA, asimismo se mencionan las características físico – químicas.

El formato ESRI *shapefile* del estudio de suelos abarca todo el territorio del departamento de Puno, por ende, fue recortado mediante la herramienta *clip* de ArcGIS teniendo como mascara la cuenca Huancané.

Se ingresaron los valores de textura de los suelos de la memoria descriptiva del estudio de suelos al *shapefile* recortado. Por último, se realizó una reclasificación de los valores de la textura del suelo de acuerdo al nombre convencional de la tabla 6, asignándole a la clase textural franco arenoso como apto para la especie *Pinus radiata*, el resultado que se espera es un mapa con información de la textura del suelo de cada zona de la cuenca Huancané (Gobierno Regional de Puno, 2015; ESRI, 2020).

Tabla 6

Reclasificación de intervalos de textura

Textura		
Nombre convencional	Clase textural	Ponderación
Moderadamente Gruesa	Franco arenoso	1
Media	Franco, franco limoso, limoso	-
Moderadamente fino	Franco arcilloso, franco arcillo limoso, Franco arcillo arenoso.	-
Misceláneo		-
Cuerpos de agua		-
Área urbana		-

La tabla 6 muestra el nombre convencional y la clase textural están divididas de acuerdo al reglamento de clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor. La ponderación 1 indica aptitud para la especie y los guiones indican valores no aptos.

FUENTE: Ministerio de Agricultura (2009).

h. Reacción del suelo

Se utilizó el estudio de suelos y capacidad de uso mayor perteneciente a la zonificación ecológica económica del departamento de Puno, aprobada el año 2015 con ordenanza regional N.º 014-2015-GRP-CRP. La tabla de atributos del formato ESRI *shapefile* del estudio de suelos y su memoria descriptiva contienen las consociaciones con los suelos descritos en base a la taxonomía de suelos de USDA, asimismo se mencionan las características físico – químicas.

El formato ESRI *shapefile* del estudio de suelos abarca todo el territorio del departamento de Puno, por ende, fue recortado mediante la herramienta *clip* de ArcGIS teniendo como máscara la cuenca Huancané.

Se ingresaron los valores de pH de la memoria descriptiva del estudio de suelos al archivo *shapefile* recortado. Por último, se realizó una reclasificación de los valores de reacción del suelo de acuerdo a la columna de descripción del pH de la tabla 7, asignándole al rango de pH de 5.1. – 7.3 como apto para la especie *Pinus radiata*, de esta manera se espera obtener un mapa con información de la reacción del suelo de cada zona de la cuenca Huancané (Gobierno Regional de Puno, 2015; ESRI, 2020).

Tabla 7

Reclasificación de intervalos de pH

Potencial de hidrogeniones		
Intervalo	Descripción	Ponderación
3.6-4.4	Extremadamente ácido	-
4.5-5.0	Muy fuertemente ácido	-
5.1-5.5	Fuertemente ácido	1
5.6-6.0	Moderadamente ácido	1
6.1-6.5	Ligeramente ácido	1
6.6-7.3	Neutro	1
7.4-7.8	Ligeramente alcalino	-
7.9-8.4	Moderadamente alcalino	-

la tabla 7 muestra intervalos y descripción determinada por el reglamento de clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor. La ponderación 1 indica aptitud para la especie y los guiones indican valores no aptos. Los intervalos que se muestran son los existentes en la cuenca Huancané.

FUENTE: Ministerio de Agricultura (2009).

i. Cobertura vegetal

La cobertura vegetal fue generada del mapa nacional de cobertura vegetal de la Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural del Ministerio del Ambiente cuyos datos obtenidos datan de imágenes satelitales del 2011 y 2012 (MINAM-DGEVFPN, 2015).

La capa ESRI *shapefile* fue recortada tomando como máscara el territorio de la cuenca Huancané.

Por último, se realizó una reclasificación de los valores de acuerdo a la columna cobertura la tabla 8, asignándole según Rau (2012) a la cobertura bosque, matorral y herbazal como zonas de aptitud buena o alta (ponderación 1), y la cobertura de área altoandina con escasa o sin vegetación como zona de aptitud baja (ponderación 0), por último las zonas restringidas donde no es posible o está prohibida la forestación con fines de producción. El resultado esperado es un mapa con información de cobertura vegetal de cada zona de la cuenca Huancané (MINAM-DGEVFPN, 2015; ESRI, 2020).

Tabla 8

Clasificación de las unidades de cobertura

Cobertura vegetal	
Cobertura	Ponderación
Bosque	1
Matorral y herbazal (pajonal andino, paramo)	1
Área altoandina con escasa o sin vegetación	0
Agricultura costera y andina	-
Área urbana	-
Bofedal	-
Cuerpos de agua	-

En la tabla 8 La ponderación 1 indica aptitud para la especie, el 0 indica aptitud baja y los guiones indican valores no aptos.

FUENTE: adaptado de Rau (2012).

j. Centros poblados

Los centros poblados fueron obtenidos del sistema georreferenciado de centros poblados del Instituto Nacional de Estadística e Informática – INEI, cuya información también contiene aportes del Instituto Geográfico Nacional - IGN. La información disponible a la fecha son los censos nacionales 2017 XII de población VII de vivienda y III de comunidades indígenas (INEI, 2017).

La capa ESRI *shapefile* de centros poblados fue cortado usando la herramienta *clip* de ArcGIS y como capa el territorio de la cuenca Huancané, posteriormente se generó el mapa.

k. Red vial

La red vial fue generada con los datos espaciales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones. La información considerada es del D.S. N.º 011-2016-MTC que aprueba la actualización del clasificador de rutas del SINAC y las resoluciones ministeriales posteriores, sin embargo, estas pueden variar debido a que están en constante actualización por parte de la Dirección General de Programas y Proyectos de Transportes (DGPPT). Los archivos de la red vial nacional, departamental y vecinal en formato ESRI *shapefile* se cortaron usando como mascara de recorte el

territorio de la cuenca Huancané, mediante la herramienta *clip* de ArcGIS. Se incluyó como restricción las áreas concernientes al derecho de vía y la faja de propiedad restringida de las carreteras, los cuales son las zonas laterales de las vías en donde no está permitida la plantación con fines de producción, la exclusión de dichas áreas se realizó mediante la herramienta *buffer* (zona de influencia) (MTC, 2008; MTC, 2019; ESRI, 2020).

l. Peligros geológicos

Los peligros geológicos fueron obtenidos del GEOCATMIN, el cual es un sistema de información geológico y catastral minero. Fue desarrollado por el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico del Perú – INGEMMET en el año 2012, el INGEMMET forma parte del Sistema Nacional de Gestión de Riesgos de Desastres-SINAGERD. Debido a la dinámica del planeta se producen en forma constante nuevos eventos, procesos o fenómenos por ende se tiene que actualizar constantemente los peligros y dicha función está a cargo de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del INGEMMET. La misma información también se puede encontrar en el atlas de peligros del INDECI. (INGEMMET, 2007). La información de peligros geológicos en formato ESRI *shapefile* se cortó usando como máscara de recorte el territorio de la cuenca Huancané, mediante la herramienta *clip* de ArcGIS. El resultado es un mapa con la información de los peligros geológicos identificados de la cuenca Huancané (INGEMMET, 2021; ESRI, 2020).

m. Capacidad de uso mayor de suelo

Se utilizó el estudio capacidad de uso mayor de suelo del departamento de Puno, aprobada el año 2015 con ordenanza regional N.º 014-2015-GRP-CRP. El formato ESRI *shapefile* del estudio fue recortado mediante la herramienta *clip* de ArcGIS teniendo como máscara de recorte el territorio de la cuenca Huancané (Gobierno Regional de Puno, 2015; ESRI, 2020). Por último, las tierras con símbolo A, C, P, Y F son aptas para la producción forestal conforme al reglamento de clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor, y las categorías restantes como restringidas (Tabla 9) (Ministerio de Agricultura, 2009). El resultado es un mapa con información de las zonas disponibles para realizar plantaciones de producción en la cuenca Huancané.

Tabla 9

Clasificación de las tierras por su CUM

Capacidad de uso mayor	
Clasificación	Aptitud
A	1
A – P	1
P	1
Área urbana	-
Lagunas	-
Ríos	-
X	-

La tabla 9 muestra la clasificación de CUM del reglamento de clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor del estudio de suelos para la cuenca Huancané y las otras clasificaciones como área urbana, lagunas y ríos existentes en la cuenca. La ponderación 1 indica aptitud para la especie, y los guiones indican valores no aptos.

FUENTE: Gobierno Regional de Puno (2015).

n. Uso actual del suelo

Se utilizó el estudio de uso actual del suelo de la zonificación ecológica económica del departamento de Puno, aprobada el año 2015 con ordenanza regional N.º 014-2015-GRP-CRP.

El formato ESRI *shapefile* del estudio de uso actual de suelos fue recortado mediante la herramienta *clip* teniendo como máscara de recorte el territorio de la cuenca Huancané. Por último, se realizó una reclasificación de las unidades de uso actual de acuerdo a la tabla 10, asignándole a las áreas sin o con poca vegetación, bosques, matorral y herbazal como aptas para la producción forestal, las categorías restantes fueron categorizadas como restringidas. Se obtuvo un mapa con información de las zonas disponibles para realizar plantaciones de producción en la cuenca Huancané (Rau, 2012; Gobierno Regional de Puno, 2015).

Tabla 10

Uso actual del suelo

Uso actual del suelo	
Uso actual	Ponderación
Áreas sin o con poca vegetación	1
Bosques	1
Matorral y herbazal	1
Aguas continentales	-
Áreas urbanizadas	-
Cultivos transitorios	-

En la tabla 10 la ponderación 1 indica aptitud para la especie y los guiones indican valores no aptos.

FUENTE: Gobierno Regional de Puno (2015).

o. Hidrografía

La red hidrográfica está conformada por los diferentes cuerpos de agua loticos y lenticos, el origen de la información es el sistema nacional de información de recursos hídricos de la Autoridad Nacional del Agua – ANA y las resoluciones de ALA – Huancané sobre licencias de uso de agua de cuerpos de agua como manantiales en la cuenca (Autoridad Nacional del Agua - SNIRH, 2021). El formato ESRI *shapefile* de los cuerpos de agua loticos y lenticos, fueron recortados mediante la herramienta *clip* de ArcGIS teniendo como mascara de recorte a la cuenca Huancané, asimismo se consideró la faja marginal de los cuerpos de agua como área de restricción, debido a que la investigación está orientada a producción forestal y no a la protección. Se obtuvo un mapa con información de los cuerpos de agua presentes en la cuenca Huancané (ESRI, 2020; Autoridad Nacional del Agua, 2010).

3.4.2. Identificación de áreas potenciales de producción forestal actual de *Pinus radiata* D. Don mediante el proceso analítico jerarquizado en la cuenca Huancané

Para identificar las áreas se utilizaron los mapas de variables ecológicas y de restricción obtenidos en la etapa anterior y se modelaron mediante el proceso analítico jerarquizado. Posteriormente los resultados fueron validados, lo mencionado se detalla a continuación:

a. Proceso de modelado mediante el proceso analítico jerarquizado

El proceso de modelado se realizó a través del proceso analítico jerarquizado (AHP por sus siglas en inglés), un procedimiento matemático para la medición y toma de decisiones multicriterio, utilizando como regla de decisión a la denominada combinación lineal ponderada (WLC) en el software ArcGIS. De forma complementaria se utilizó el Software Google Earth 7.3, herramientas de ArcGIS y Microsoft Office, para realizar ajustes de formato, conversiones, entre otros, que son requeridos para la ejecución del modelo (Malczewski, 2004; Gómez y Barredo, 2005; Malczewski, 2011; Saaty, 1980 ; Olivas et al.,2007).

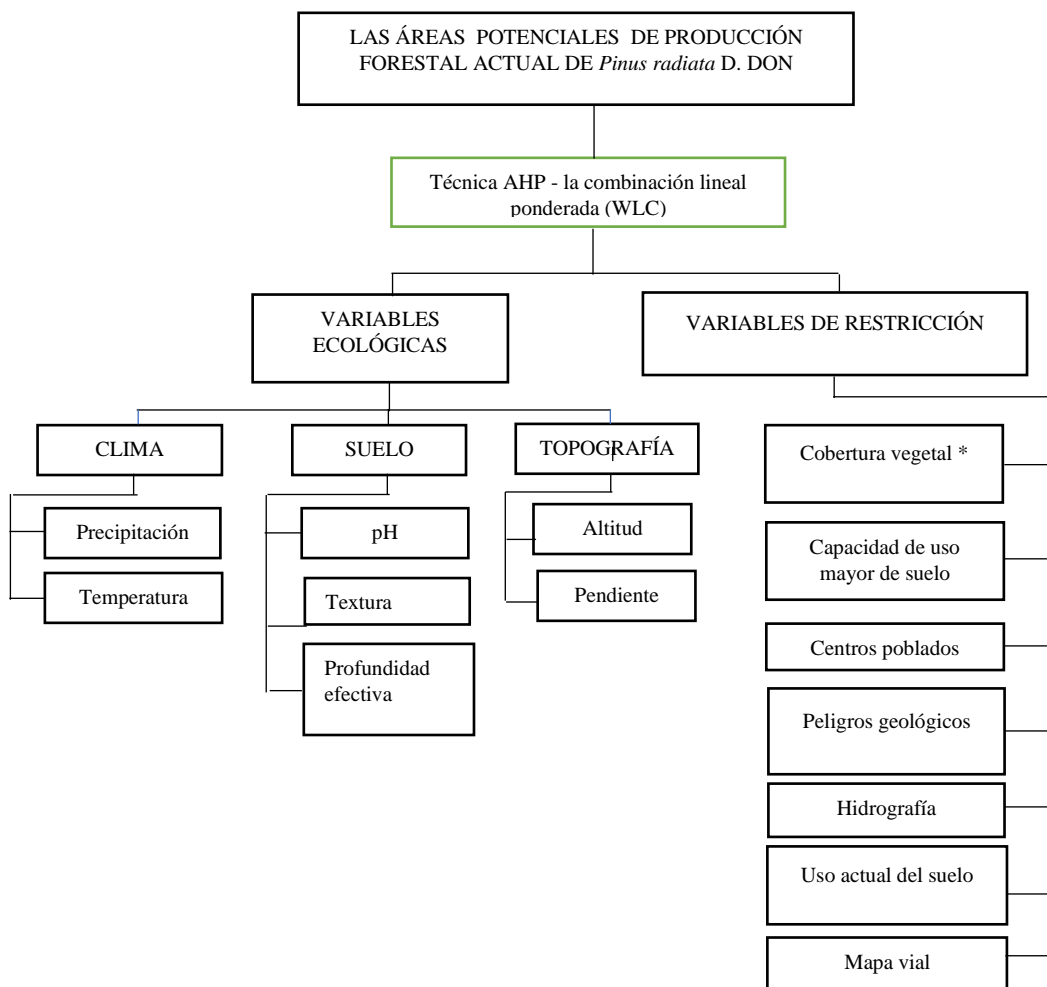


Figura 4. Representación geográfica del modelo.

FUENTE: Adaptado de Salazar (2019).

*La cobertura vegetal es una restricción que influye en el desarrollo del *Pinus radiata* (Rau, 2012).

Para iniciar el proceso se creó la jerarquía AHP en la herramienta *model builder* de ArcGIS (figura 5) en base a la jerarquía de referencia de la figura 4, se determinó como objetivo la determinación de "áreas potenciales de producción forestal actual de *Pinus radiata*", los criterios están conformados por clima, suelo topografía y variables de restricción, por último los subcriterios son precipitación, temperatura, pH, textura, profundidad efectiva, altitud, pendiente, cobertura vegetal, capacidad de uso mayor de suelo, centros poblados, peligros geológicos, hidrografía, uso actual del suelo, y la red vial (adaptado de Salazar, 2019, Aznar 2012; ESRI 2020).

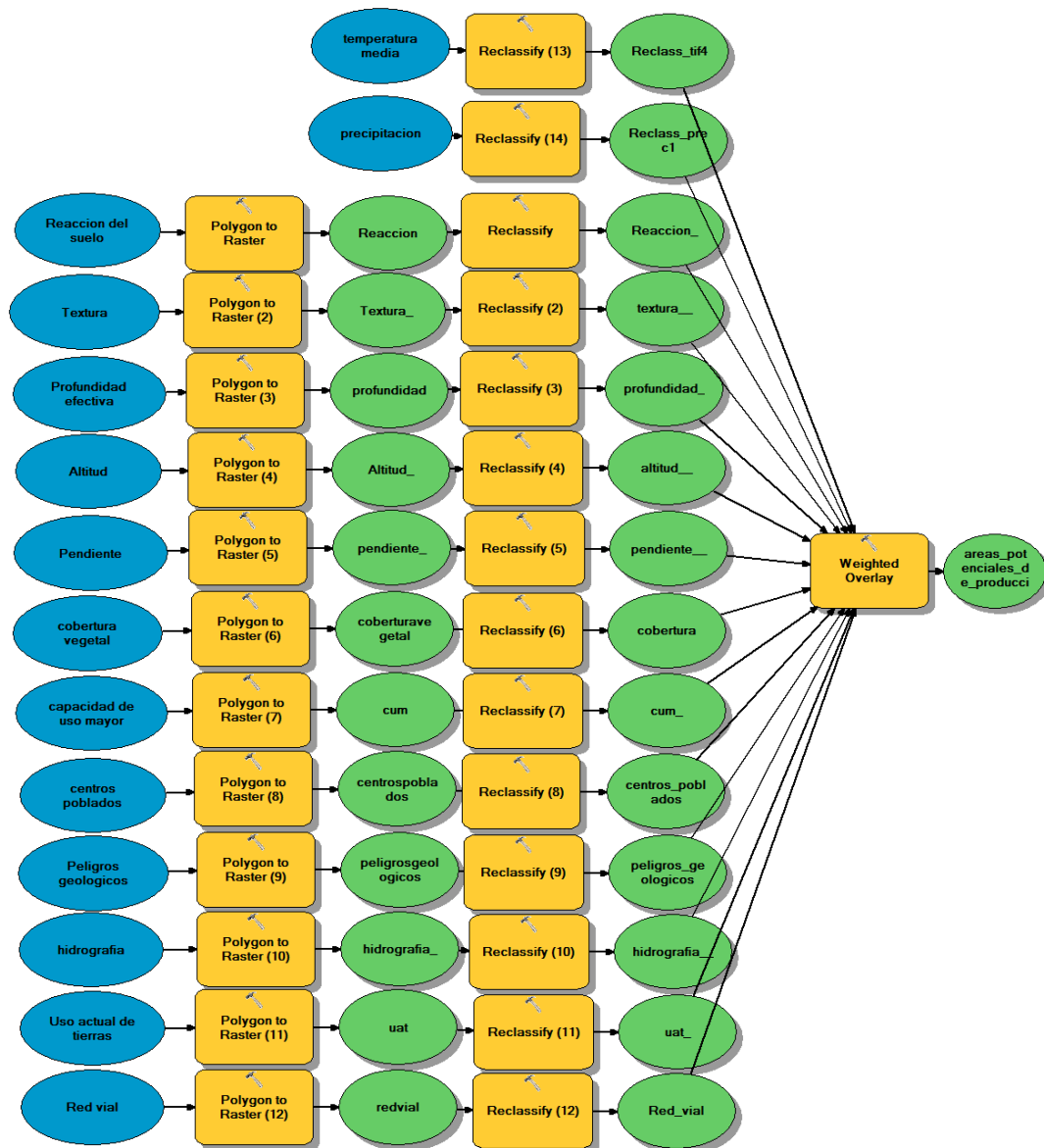


Figura 5. Modelo ejecutado de áreas potenciales de producción forestal actual de *Pinus radiata*.

A continuación, se procedió a ejecutar la jerarquía creada (Figura 5) mediante la herramienta superposición ponderada (*Weighted Overlay*) de la caja de herramientas de *Spatial Analyst* del *software* ArcGIS el proceso realizado y determinado por ESRI (2020) se realizó de la siguiente manera:

1. Las capas de las variables ecológicas y de restricción fueron transformados a formato ráster enteros (formato de cuadrícula) mediante la herramienta denominada *polygon to raster* de la caja de herramientas de *ArcGIS*. Posteriormente se realizó la homogenización del tamaño de celda de todos los archivos *ráster*.
2. A cada clase de valor de cada archivo *ráster* (archivos de los subcriterios) se le asigno los valores de aptitud ya determinados en la etapa de " Generación de una base de datos cartográfica de variables ecológicas y de restricción requeridas por el *Pinus radiata* para la producción forestal en la cuenca Huancané", es decir, por ejemplo, en el archivo de precipitación se le asigno el valor de apto para el rango de precipitación requerido por la especie, y los valores restantes no apto.
3. A continuación, a los archivos ráster de los subcriterios precipitación, temperatura, reacción del suelo (pH), textura, profundidad efectiva, altitud, pendiente y cobertura vegetal se les asigno un porcentaje de influencia sobre el desarrollo del *pinus radiata* en campo. Los subcriterios capacidad de uso mayor de suelo, centros poblados, peligros geológicos, hidrografía, uso actual del suelo y red vial no tienen la ponderación en porcentaje debido a que son restricciones. Los porcentajes según Rau (2012) son los siguientes: precipitación 13 por ciento, temperatura 8 por ciento, reacción del suelo (pH) 4 por ciento, textura 6 por ciento, profundidad efectiva 2 por ciento, altitud 31 por ciento, pendiente 21 por ciento y cobertura vegetal 16 por ciento.
4. Se ejecuto la superposición ponderada, en donde los valores de cada celda de un mapa ráster se multiplican por el porcentaje o ponderación del ráster (Figura 6). Los valores resultantes se suman para producir el ráster final de salida el cual es el mapa de "áreas potenciales de producción forestal actual de *Pinus radiata*" luego, se realizó el proceso de filtrado de los píxeles aislados del mapa.

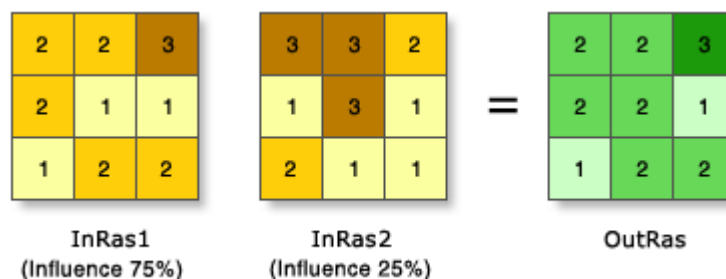


Figura 6. Superposición ponderada: generación del *raster* final de salida (*OutRas* o áreas potenciales de producción forestal) mediante multiplicación del valor de celda con el porcentaje de influencia de cada mapa (InRas 1 e InRas2 que son los mapas de los subcriterios) y su posterior suma. Ejemplo: $(2 * 0.75) = 1.5$ y $(3 * 0.25) = 0.75$. La suma de 1.5 y 0.75 es 2.25. el valor resultante se redondea a 2, debido a que el ráster es entero. FUENTE: ESRI (2020).

5. Por último, se realizó la conversión del archivo ráster final a polígono mediante la herramienta *raster to polygon*. El mapa final resultante de áreas potenciales engloba un total de 8 polígonos que representa 8 zonas los cuales son descritos en el ítem de resultados.

b. Validación en campo de las áreas potenciales de producción forestal actual

La validación en campo de las áreas potenciales de producción forestal actual de *Pinus radiata* se realizó mediante la técnica de observación en campo con el apoyo de la Agencia Agraria Huancané (anexo 4) (Rau, 2012). El mapa resultante del modelamiento AHP está constituido por todas las áreas potenciales de producción los cuales constituyen la población. Asimismo, existen entidades denominados polígonos, por ende, cada polígono constituye una unidad de muestreo y debido a la poca cantidad de polígonos resultantes (8 zonas) no se realizó un muestreo, en cambio, se optó por desarrollar un censo para validar la totalidad de polígonos y tener un resultado preciso (François et al., 2003; Caballero, 2018).

La información a validar corresponde a variables susceptibles a modificación los cuales son: cobertura vegetal, centros poblados, peligros geológicos, uso actual del suelo, y red vial. Las variables restantes que están dentro de la categoría de suelo, clima y topografía no son susceptibles a cambios en el corto plazo, inclusive algunas variables como la pendiente, textura, entre otros, son considerados en la bibliografía como permanentes y sus posibles cambios están sujetos a periodos de tiempo muy extensos o intervención antrópica a gran escala. Las herramientas utilizadas son libreta de campo, pico, lampa, flexómetro, GPS, cámara fotográfica

Los resultados de la validación se registraron en la libreta de campo para luego ser plasmadas en una matriz de datos de campo (anexo 5) complementado con un panel fotográfico (anexo 6). Se identificaron afloramientos líticos, plantaciones forestales, viviendas, erosión, cárcavas, y agricultura, los cuales permitieron modificar los polígonos (anexo 7). La modificación se realiza por los siguientes motivos:

- La información de algunas variables puede variar en un corto periodo de tiempo, por ejemplo, puede presentarse la apertura de caminos, cambio de uso actual de suelo, aparición de peligros geológicos, cambio de cobertura de suelo, entre otros.
- El mapa de formato ráster resultante de áreas potenciales de producción forestal tiene una resolución de 30 segundos, es decir, el pixel ocupa $0.93 \times 0.93 = 0.86$ km² de terreno, por ende, necesita ser delimitado si se quiere tener más especificidad del área.

3.4.3. Determinación de la distribución de áreas para la producción forestal de *Pinus radiata* D. Don frente a escenarios de cambio climático mediante el algoritmo de máxima entropía en la cuenca Huancané

a. Proceso de modelado con el algoritmo de máxima entropía (MAXENT)

Para el proceso de modelado se utilizaron dos grupos de datos: las áreas actuales de producción forestal de *Pinus radiata* y datos de variables ambientales obtenidos de WorldClim. El procesamiento previo de dicha información se menciona a continuación:

(1) Las áreas potenciales actuales de producción forestal de *Pinus radiata* que se utilizaron para el modelamiento tienen coordenadas geográficas las cuales fueron registradas mediante el uso de *Google earth* y *excel* en un archivo con extensión .csv (Comma Separated Values o valores separados por comas) con el siguiente formato de cada columna: especie, longitud, latitud. Los puntos están en la leyenda de los mapas de los anexos 22 al 29 con la denominación: puntos de modelamiento. También se registran las coordenadas de las plantaciones proporcionados por AGRORURAL y la Agencia Agraria Huancané. El archivo resultante con extensión .csv es un insumo que requiere el algoritmo MAXENT.

(2) Los datos de variables ambientales están conformados por 19 variables climáticas actuales y 19 variables climáticas futuras para cada escenario futuro del 2050 (tabla 11) este conjunto de variables representa las tendencias anuales, estacionalidad y

valores extremos de la temperatura y precipitación. Las variables climáticas futuras están divididas en escenarios climáticos denominados RCP 2.6, RCP 4.5 y RCP 8.5, con las 19 variables cada una y usan el Sistema Climático Comunitario (CCSM4). Los archivos ráster de las 19 variables climáticas actuales y futuras fueron convertidos a formato ASCII mediante ArcGIS (Guzmán et al., 2020; MINAM – Geoservidor, 2021). Según el Panel Intergubernamental del Cambio Climático - IPCC (2014) dichos escenarios se describen de forma general a continuación: (1) RCP 2.6 es un escenario donde se asume una reducción sustancial de los GEI (gases de efecto invernadero), (2) RCP 4.5 es un escenario de estabilización donde se asume que las emisiones son constantes, (3) RCP 8.5 representa un escenario sin esfuerzos adicionales para limitar las emisiones y las emisiones aumentan a lo largo del tiempo. A continuación, el proceso de modelado recomendado por Martínez (2012) y el manual de MAXENT creado por Phillips y Dudik (2021), fue realizado de la siguiente manera:

1. Para el modelado se utilizó el modelo algorítmico de máxima entropía – MAXENT, el cual se encuentra alojados en la plataforma GitHub (Phillips y Dudik, 2021; Github - MRMAXENT, 2021). Se introdujeron los datos requeridos de áreas de producción forestal de *Pinus radiata* y los datos de variables climáticas actuales y futuras que fueron procesados anteriormente. Luego se configuró el algoritmo MAXENT fijando como formato de salida la función logística por ser sencilla de conceptualizar y los valores de probabilidad de presencia de la especie que se estima es entre 0 y 1, de acuerdo a las variables ambientales ingresadas. Para evaluar la contribución de cada variable ambiental dentro del modelo se seleccionó el método de remuestreo de *jackknife*. (Phillips y Dudik, 2021).
2. Por último, se ejecutó el modelo y los resultados se expresan mediante la probabilidad de relativa de distribución (se obtienen probabilidad de 0 a 1) de la especie en cada celda o área del territorio de la cuenca Huancané ante escenarios de cambio climático (RCP 2.6, RCP 4.5 y RCP 8.5). Un alto valor de probabilidad de una celda representa condiciones favorables futuras para el normal desarrollo de la especie *Pinus radiata* y una baja probabilidad cercana a cero indica condiciones malas para su desarrollo (Geada y Miranda, 2016).

Tabla 11

Variables bioclimáticas

Código	Variable bioclimática
BIO1	Temperatura promedio anual
BIO2	Rango medio diario
BIO3	Isotermalidad
BIO4	Estacionalidad en temperatura
BIO5	Temperatura máxima del periodo más caliente
BIO6	Temperatura mínima del periodo más frío
BIO7	Rango anual de temperatura
BIO8	Temperatura media en el trimestre más lluvioso
BIO9	Temperatura promedio en el trimestre más seco
BIO10	Temperatura promedio en el trimestre más caluroso
BIO11	Temperatura promedio en el trimestre más frío
BIO12	Precipitación anual
BIO13	Precipitación en el periodo más lluvioso
BIO14	Precipitación en el periodo más seco
BIO15	Estacionalidad de la precipitación
BIO16	Precipitación en el trimestre más lluvioso
BIO17	Precipitación en el trimestre más seco
BIO18	Precipitación en el trimestre más caluroso
BIO19	Precipitación del cuarto más frío

FUENTE: WorldClim (2021).

b. Análisis estadístico

El análisis del rendimiento del modelo MAXENT se realizó mediante el área debajo de la curva (AUC) o estadístico $-c$, los valores que puede tomar AUC van desde 1, cuando hay ajuste perfecto del modelo, hasta 0, en donde el modelamiento no es válido. La categorización del modelo es la siguiente: excelente ($AUC > 0.9$), buena ($0.8 < AUC < 0.9$), aceptable ($0.7 < AUC < 0.8$), mala ($0.6 < AUC < 0.7$) y no válida ($0.5 < AUC < 0.6$) (Pérez et al., 2019; Phillips, 2010). También se utilizó la prueba *Jackknife* para determinar las variables bioclimáticas que tienen mayor importancia en el modelado de la especie *Pinus radiata* (Phillips, 2010).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Base de datos cartográfica de variables ecológicas y de restricción requeridas por el *Pinus radiata* D. Don para la producción forestal en la cuenca Huancané

4.1.1. Características ecológicas de *P. radiata*

En la tabla 12 se muestran las características ecológicas de la especie.

Tabla 12

Características ecológicas de Pinus radiata en la cuenca Huancané

Características ecológicas de <i>Pinus radiata</i>		
	Indicadores	Valores
Clima	Precipitación (mm)	650 – 1600
	Temperatura (° C)	8
Suelo	PH	5.1 – 7.3
	Textura (F.M.G.)	Franco arenoso, arenoso
	Profundidad efectiva (cm)	50 - 100
Topografía	Altitud (m s.n.m.)	2600 – 4083
	Pendiente	8 por ciento - 75 por ciento

La tabla 12 muestra valores de altitud, pendiente, temperatura en base a bibliografía, análisis documental y entrevista.

FUENTE: PEBLT (2019), Rau (2012), Louppe et al. (2008), Reynel y León (1996), PRONAMACHS (1998), Pretell et al. (1985), Villarpando et al. (2011).

4.1.2. Variables ecológicas y de restricción

Tabla 13

Rangos de temperatura de la cuenca Huancané

Temperatura (°C)	Área (km²)	Porcentaje
1-3	543.99	17.9
3-5	670.56	22
5-7	1075.16	35.3
8	757.42	24.9

Tabla 14

Rangos de precipitación de la cuenca Huancané

Precipitación (mm)	Área (km²)	Porcentaje
700-800	1593.3	52.2
650-700	1323.23	43.3
644-650	32.48	1.1
800-850	104.24	3.4

Tabla 15

Rangos de altitud de la cuenca Huancané

Rango de altitud (m s.n.m.)	Área (km²)	Porcentaje
3661 - 4083	1523.5	42.17
4083 - 5086	2088.6	57.82

Tabla 16

Rango de pendientes de la cuenca Huancané

Rango de pendiente (porcentaje)	Descripción	Área (km²)	Porcentaje
0 - 8	Llano a ligeramente inclinado, moderadamente inclinado	1046.6	28.8
75 - 576	Extremadamente empinada		
8 - 75	Fuertemente inclinada, moderadamente empinada, empinada y fuertemente empinada	2549.7	70.2

Tabla 17

Profundidad efectiva del suelo de la cuenca Huancané

Profundidad	Área (km²)	Porcentaje
Muy superficiales	1128.8	32
Superficiales	1506.1	41.4
Moderadamente profundos	934.1	25.6
Cuerpos de agua, área urbana, y misceláneo	62.2	1.7

Tabla 18

Textura del suelo de la cuenca Huancané

Textura	Área (km²)	Porcentaje
Moderadamente gruesa	1822.1	50.18
Media	1700.1	46.82
Moderadamente fina - fina	46.7	1.28
Cuerpos de agua, área urbana, y misceláneo	62.2	1.72

Tabla 19

Reacción del suelo de la cuenca Huancané

Reacción del suelo	Área (km²)	Porcentaje
Extremadamente ácido	1688.04	46.4
Muy fuertemente ácido	875.01	24
Fuertemente ácido , moderadamente ácido, ligeramente ácido	720.33	19
Neutra	48.49	1.33
Ligeramente alcalina	236.33	6.5
Moderadamente alcalina	0.75	2
Cuerpos de agua, área urbana, y misceláneo	62.2	1.7

Se generó la base datos conformada por los mapas de variables ecológicas y de restricción los cuales están plasmados en los anexos 8 al 21. En las tablas 13, 14, 15, 16, 17, 18 y 19 se aprecia la existencia de áreas que cumplen con los rangos o valores ecológicos requeridos por *Pinus radiata* para su desarrollo como son: precipitación de 650 mm - 1600 mm con un área de 3020 km², temperatura de 8°C con un área de 757.42 km², pH de 5.1-7.3 con un área de 768.82 km², textura franco arenoso y arenoso con un área de 1822.1 km², profundidad efectiva de 50cm - 100 cm con un área de 934.1 km², altitud de 3661 m s.n.m. – 4083 m s.n.m. con un área de 1523.5 km² y pendiente de 8 por ciento – 75 por ciento con un área de 2549.7 km², asimismo, los mapas de restricción permiten el establecimiento de esta especie.

Al respecto, el cumplimiento de los valores ecológicos de la cuenca para el crecimiento de esta especie ratifica la afirmación de Gonzales y López (1980) quienes mencionan que, efectivamente las condiciones climáticas de zonas cercanas al lago Titicaca tienen un efecto benéfico sobre esta especie, y en relación a la cartografía, las investigaciones de Rau (2012) y Salazar (2019) muestran que es prioritario que el área de estudio cuente con información cartográfica que cumpla los

requerimientos de *Pinus* sp., sin embargo, el uso de variables de restricción dependerá de factores como el propósito de la plantación o medidas de carácter legal para el establecimiento de plantaciones en el lugar.

4.2. Áreas potenciales de producción forestal actual de *Pinus radiata* D. Don identificados mediante el proceso analítico jerarquizado

El mapa de la figura 7 muestra las áreas identificadas no validadas y la tabla 20 la extensión - ubicación política de las áreas potenciales de producción forestal actual validadas.

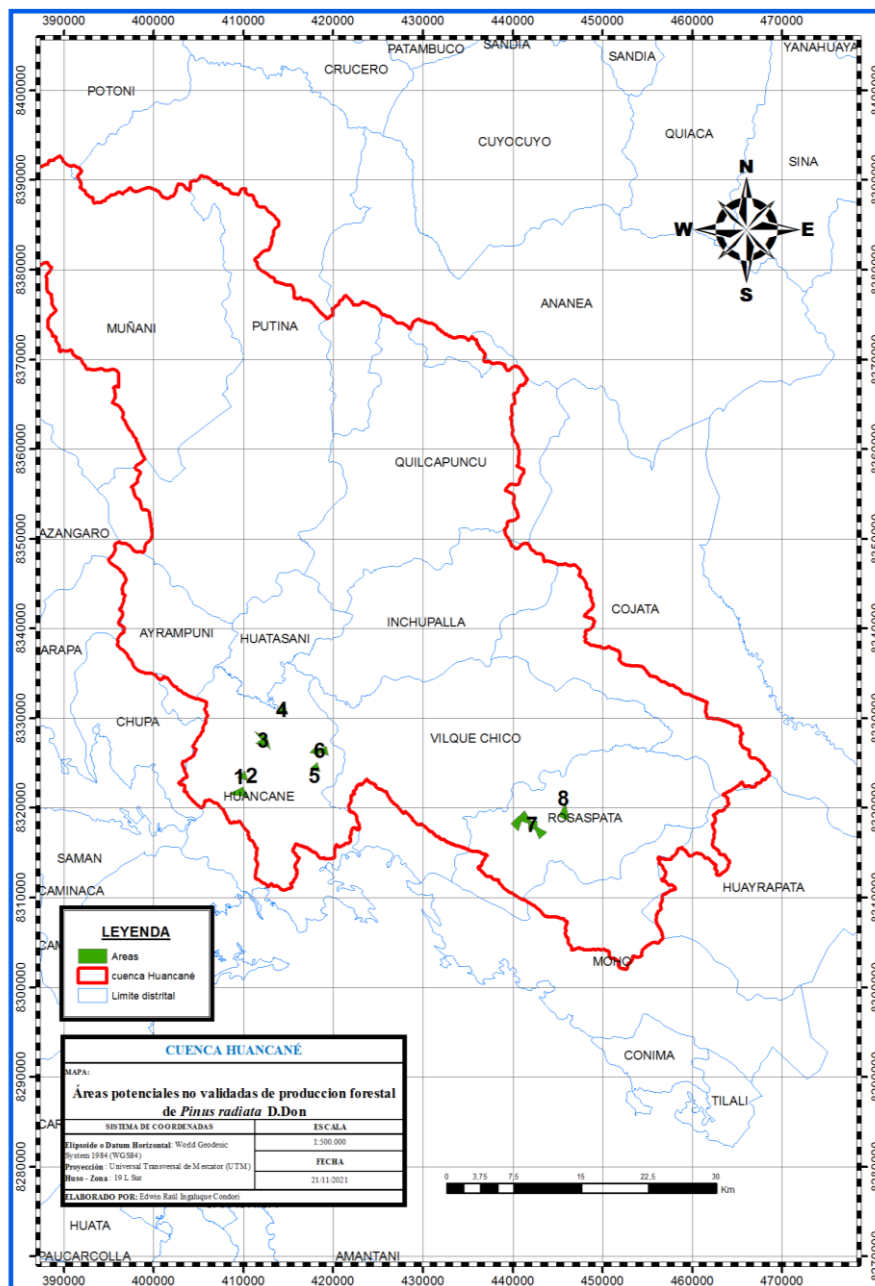


Figura 7. Áreas potenciales no validadas de producción forestal actual de *Pinus radiata*

Tabla 20

Áreas potenciales de producción forestal actual en la cuenca Huancané

Provincia	Distrito	Zona	Centro Poblado	Hectáreas		Porcentaje		
Huancané	Huancané	zona 1	Lacaya Huancho Bajo Calahuyo	área 1	0.79	58.46	0.8	62.6
				área 2	2.79		3	
		zona 2	Juchilaya	área 1	0.47		0.5	
				área 2	2.88		3.1	
				área 3	1.72		1.8	
		zona 3	Taurahuta	área 1	11.2		12	
		zona 4	Chijichaya	área 1	7		7.5	
				área 2	14.4		15.4	
		zona 5	Chicasco	área 1	4.74		5.1	
		zona 6	Cuyuraya, Carasani	área 1	2.48		2.7	
				área 2	1.18		1.3	
				área 3	1.33		1.4	
				área 4	7.48		8	
		Rosaspata	zona 7	Esquerica , Cruz Cucho	área 1		2.1	
	área 2				3.42	3.7		
	área 3				2.35	2.5		
	área 4				3.83	4.1		
	área 5				4.65	5		
	área 6				4.77	5.1		
	área 7				2.83	3		
área 8	5.59				6			
zona 8	Huayllane, Quiriquiña		área 1	2.71	2.9			
			área 2	1.56	1.7			
		área 3	1.1	1.2				
Total					93.37	100	100	

Los resultados de la tabla 20 muestran la existencia de 93.37 hectáreas para plantaciones con fines de producción de la especie distribuidos en los distritos de Huancané con 58.46 ha y Rosaspata con 34.91 ha. Los mapas finales de cada zona se encuentran en los anexos 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29 y las fotos referenciales con vista frontal de las zonas en el anexo 30.

En relación a los resultados, la identificación de 93.37 hectáreas para producción, complementa y ratifica lo mencionado por Gonzales y López (1980) quienes afirman que las funciones matemáticas de producción de estos lugares muestran altos rendimientos. En ese entender, los resultados obtenidos indican que las zonas delimitadas en la cuenca Huancané son aptas para la producción de *Pinus radiata* y el aprovechamiento sería económicamente rentable.

4.3. Distribución de las áreas para producción forestal de *Pinus radiata* D. Don frente a escenarios de cambio climático mediante el algoritmo de máxima entropía

En la figura 8 se observan los mapas de distribución de las 8 zonas frente a escenarios de cambio climático RCP y en la tabla 21 se observan los valores específicos de probabilidad de condiciones se sitio de las 8 zonas frente a los escenarios de cambio climático.

Tabla 21

Probabilidades frente a escenarios RCP de cambio climático

Distrito	Centro Poblado	Zona	Actual	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 8.5	Desviación estándar (σ)
Huancané	Lacaya Huancho bajo, Calahuyo	1	0.87	0.67	0.45	0.48	0.19
	Juchilaya	2	0.87	0.65	0.47	0.43	0.20
	Taurahuta	3	0.69	0.76	0.45	0.33	0.20
	Chijichaya	4	0.60	0.65	0.47	0.29	0.16
	Chicasco	5	0.60	0.68	0.48	0.31	0.16
	Cuyuraya, Carasani	6	0.62	0.68	0.49	0.30	0.17
Rosaspata	Esquerica, Cruz Cucho	7	0.77	0.43	0.35	0.24	0.23
	Quiriquiña, Huayllane	8	0.77	0.43	0.35	0.24	0.23
aptitud				Alta			
				Media - alta			
				Media - baja			
				baja			

En la tabla 21 se muestran los escenarios RCP 2.6, RCP 4.5 y RCP 8.5. Los colores anaranjado representa una probabilidad o aptitud alta para la especie, el amarillo media – alta, el verde media – baja, y el azul baja, los colores de cada tabla están basadas en la clasificación que tiene como mínimo el décimo percentil de presencia tal como se muestra a continuación: $0 < 0.05$ sin presencia, $0.05 \leq 0.3$ baja, $0.3 \leq 0.5$ media - baja, $0.5 \leq 0.7$ media-alta y $0.7 \leq 1$ alta (Ríos et al., 2018).

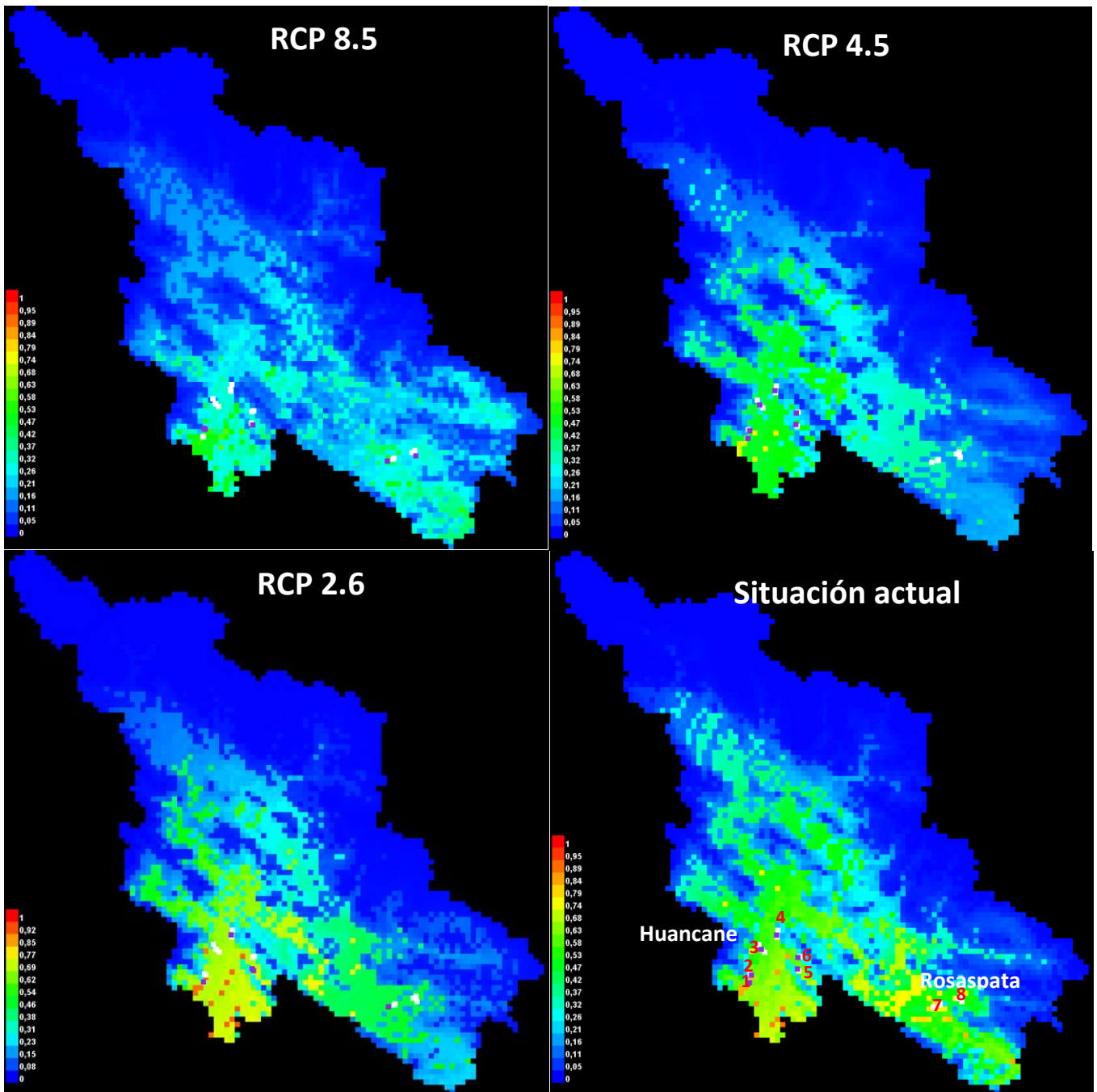


Figura 8. Mapas de probabilidad de condiciones aptas para *Pinus radiata* en escenarios RCP y situación actual (Los números en color rojo son las 8 zonas). En los mapas, los colores cálidos cercanos al rojo representan una alta probabilidad de condiciones actuales del sitio para el normal desarrollo de esta especie y los colores fríos cercanos al azul indican una baja probabilidad de condiciones del sitio para su desarrollo.

La distribución visual de la especie frente a escenarios de cambio climático se aprecia en la figura 8, en la cual se observa que para el año 2050 no se originaran nuevas zonas aptas para producción de *Pinus radiata*, sin embargo, habrá una disminución de aptitud de las zonas actuales. De forma específica la tabla 21 muestra que las zonas presentan

en la actualidad una aptitud media - alta y alta, pero, dicha distribución y aptitud se verá reducida por el cambio climático, es así que en el escenario optimista RCP 2.6 las zonas del distrito de Huancané mantendrían la aptitud actual media – alta y las zonas del distrito de Rosaspata serían afectadas adquiriendo una aptitud media - baja. En el escenario RCP 4.5 y el escenario RCP 8.5 los dos distritos serían afectados adquiriendo una aptitud media - baja y baja. De acuerdo a la desviación estándar en la tabla 21 la zona más afectada frente a los escenarios de cambio climático sería la zona 7 y 8 del distrito de Rosaspata ($\sigma = 0.23$). Los resultados del test de *jackknife* de los tres escenarios RCP muestran que las variables de importancia para la distribución futura del *Pinus radiata* son las relacionadas con el régimen térmico (Anexo 31).

La disminución de aptitud de las zonas para *Pinus radiata* para el 2050, se confirma como un posible efecto de lo mencionado por Bush et al. (2010), quien menciona que es probable que varias zonas del altiplano serían reemplazados por climas áridos e inhóspitos acompañado de un posible enfriamiento regional, es decir, disminuirán las condiciones climáticas para el crecimiento de *Pinus radiata*. En relación a la influencia del régimen térmico sobre esta especie, en otras regiones también se resalta este aspecto como Rojas et al. (2013) quien enfatiza que la variación de temperatura influirá en la especie en Chile.

De forma paralela en relación a la aptitud, a nivel internacional González et al. (2021), afirma que el *Pinus radiata* será afectado por el cambio climático (escenario RCP 4.5 y RCP 6.0) en las zonas del noroeste de España, asimismo, Rojas et al. (2013), afirma que esta especie en las zonas de Bio Bio y el Maule en Chile, también sufrirán las consecuencias negativas del cambio de clima debido a las temperaturas máximas extremas, además a nivel nacional Peña y Calero (2019), mencionan que el *Pinus radiata* estaría desapareciendo en los bosques de la región Piura, Perú. Por otro lado, Riveros (2010), concluye que el *P. radiata* tendrá una disminución de la aptitud forestal pero también un aumento del potencial en otras zonas de Chile, y Watt et al. (2019), menciona que habrá aumentos en productividad de la especie en Nueva Zelanda, lo cual indica que, en muchas zonas el cambio climático tendrá un efecto positivo y/o negativo sobre la distribución de la especie.

Los resultados respecto a la validación de los modelos obtenidos (Anexo 31), indican que son aptos, pues los valores AUC de los modelos de los tres escenarios RCP estuvieron entre 0.908 – 0.917 para el entrenamiento y de 0.833 – 0.882 para la

validación (Anexo 31), por ende, los modelos son buenos y útiles para la predicción. En referencia a ello de acuerdo a Pérez et al. (2019) los valores mayores a 0.8 son categorizados como buenos – excelentes y según Elith et al. (2006) un modelo con AUC mayor a 0.75 es útil para predecir la distribución.

Es necesario mencionar que actualmente la concentración de CO₂ es de 418.28 ppm (marzo 2022), por lo que en las próximas décadas el planeta ingresará al escenario RCP 2.6 (430 ppm de CO₂) y las zonas serán afectadas. Es importante tener en cuenta que la investigación con los escenarios RCP no considera variables como la posibilidad de adaptación inducida a través de mejoras silviculturales, la adaptación natural de la especie, la posible transición energética, entre otros sucesos, pero, tener conocimiento sobre las áreas ayuda a orientar los programas de adaptación y mitigación del cambio climático.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se confirmó la existencia de información necesaria para generar una base de datos cartográficos de variables ecológicas y de restricción requeridas por el *Pinus radiata* para la producción forestal, mostrándose el cumplimiento de los valores requeridos por la especie para su desarrollo.

Las áreas potenciales de producción forestal actual para *Pinus radiata* en la cuenca Huancané están distribuidos en los distritos de Rosaspata y Huancané.

No se originarán nuevas áreas potenciales de producción forestal de *Pinus radiata* y las actuales serán reducidas por efecto del cambio climático en el año 2050, donde las zonas más afectadas serán las pertenecientes al distrito de Rosaspata.

5.2. Recomendaciones

Crear, digitalizar y actualizar los datos referentes a variables ecológicas y de restricción que requiere el *Pinus radiata* u otras especies forestales del departamento de Puno, asimismo crear un servidor dedicado a la información forestal regional.

Determinar áreas potenciales para *Pinus radiata* con otros fines, así como monitoreo de las plantaciones y de los componentes físicos como suelo, temperatura, entre otros. De manera similar para otras especies del departamento de Puno con fines de producción, protección, restauración o sistemas agroforestales utilizando la metodología AHP u otras como el método fuzzy, dicha información constituiría una zonificación forestal regional por especies y será la base para una correcta gestión forestal y del territorio.

Realizar más estudios considerando escenarios de cambio climáticos que serán determinados por el IPCC y generar proyectos para la adaptación y mitigación en base a dicha información.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- AGRORURAL (2021). Antecedentes: AGRORURAL. Perú. Recuperado de <https://www.agrorural.gob.pe/la-institucion/antecedentes/>
- Álvarez, A., Salazar, S., Ruiz, J., y Medina, G. (2017). Escenarios de cómo el cambio climático modificará las zonas productoras de aguacate ‘Hass’ en Michoacán. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(19), 4035-4048.
- Arias, J. (2020). *Técnicas e instrumentos de investigación científica*. Perú.
- Aznar, J. (2012). *Nuevos métodos de valoración: modelos multicriterio*. Valencia: Universitat Politècnica.
- Autoridad Local del Agua – Huancané (2010). *Estudio hidrológico de las cuencas Huancané y Suches*. Perú.
- Autoridad Nacional del Agua (2021). *Infraestructura de datos espaciales*. Perú. Recuperado de <https://www.geoidep.gob.pe/autoridad-nacional-del-agua-ana>
- Autoridad Nacional del Agua - SNIRH (2021). *Sistema nacional de información de recursos hídricos*. Perú. Recuperado de <https://snirh.ana.gob.pe/snirh/>
- Autoridad Nacional del Agua (2010). D.S. N.º 001-2010-AG que aprueba el reglamento de la ley de recursos hídricos N.º 29338. Lima: Ministerio de Agricultura.
- Bernal, C. (2010). *Metodología de la investigación*. Bogotá, Colombia.
- Bush, M., Hanselman, J., y Gosling, W. (2010). Nonlinear climate change and andean feedbacks: an imminent turning point?. *Global Change Biology*, 16(12), 3223-3232.
- Caballero, P. (2018). *Evaluación de plantaciones forestales y determinación de áreas potenciales para su establecimiento con técnicas geomáticas en el sur de Oaxaca (Tesis de Posgrado)*. Universidad Autónoma de Nuevo León, México.
- Cardoso, S., y de la Torre, J. (2016). *Evaluación del crecimiento, productividad maderable y rendimiento en la introducción de especies de los géneros Pinus y Eucalyptus en la región Cusco - Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA)*. Cusco, Perú.
- Chaco, J. (2017). *clasificación de áreas potenciales para la plantación forestal en el anexo de Yavina Central de la comunidad campesina de Urinsaya Yavina distrito de Santo*

- Tomás provincia de Chumbivilcas – Cusco (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco, Perú.
- Chura, N. y Muchica, J. (2021). Factibilidad del uso de la madera *Pinus radiata* como material estructural para la construcción de tijerales en la región Puno (Tesis de pregrado). Universidad Peruana Unión, Juliaca, Perú.
- Elith, J., Graham, C., Anderson, R., Dudik, M., Ferrier, S., Guisan, A., Hijmas, R., Huettmann, F., Leathwick, J. y Lehman, A. (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29(2), 129-151.
- ESRI (2020). Documentación. Recuperado de <https://desktop.arcgis.com/es/documentation/>
- ESRI (2021). Que es un SIG. Recuperado de <https://www.esri.es/es-es/descubre-los-gis/que-es-sig/que-es-sig>
- FAO (2003). El cambio climático principales causantes, consecuencias y compromisos de los países involucrados. Canadá. Recuperado de <http://www.fao.org/3/XII/0523-B2.htm>
- FAO (2016). Los bosques y el cambio climático en el Perú. Roma, Italia.
- François, J., Reyes, J., y Pérez, A. (2003). Evaluación de la confiabilidad temática de mapas o de imágenes clasificadas: una revisión. *Investigaciones geográficas*, (51), 53-72.
- Geadá, G., y Miranda, C. (2016). Predicción de hábitats potenciales y futuros de pinares de *Pinus tropicalis* Morelet en el occidente de Cuba bajo diferentes escenarios de cambio climático. *Revista forestal Baracoa*, 35, 1-8.
- GitHub – MRMAXENT (2021). Maxent: maximum entropy modelling of species geographic distributions. Recuperado de <https://github.com/mrmaxent/Maxent>
- Gobierno Regional de Puno (2013). Instalación y recuperación de la cobertura forestal en el anillo circunlacustre del altiplano de la región Puno. Puno, Perú.
- Gobierno Regional de Puno (2015). Ordenanza regional N.º 014-2015-GRP-CRP que aprueba la zonificación ecológica económica del departamento de Puno a nivel de mesozonificación. Puno: Gobierno regional de Puno.
- Gobierno Regional de Puno (2016). Estrategia regional de cambio climático. Puno, Perú.

- Gobierno Regional de Puno (2019). Ordenanza regional N.º 011-2019-GR PUNO-CRP que declara de interés público regional la priorización del proceso de zonificación forestal del departamento de Puno. Puno: Gobierno Regional de Puno.
- Gómez, M., y Barredo, J. (2005). Sistemas de Información Geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio. Madrid, España: Editorial Ra-Ma.
- Gonzales, M. y López, R. (1980). Crecimiento del *Pinus radiata* en Puno-Perú. Revista Forestal del Perú, 10 (1-2), 1-6.
- Guzmán, M., Jove, C., y Apaza, J. (2020). Modelamiento de nichos ecológicos de flora amenazada para escenarios de cambio climático en el departamento de Tacna-Perú. Colombia forestal, 23(1), 51-67.
- Hernández, P., Valdez, J., Aldrete, A., y Martínez, T. (2019). Evaluación multicriterio y multiobjetivo para optimizar la selección de áreas para establecer plantaciones forestales. Revista Madera y Bosques, 25(2), 1-17.
- Hurtado, J. (2006). El proyecto de investigación: metodología de la investigación holística. Colombia: Quirón ediciones.
- IFLA (2011). Descripción Bibliográfica Internacional Normalizada - ISBD.
- INEI (2017). Perfil sociodemográfico. informe nacional de censos nacionales 2017: XII de población, VII de vivienda y III de comunidades indígenas. Perú.
- INGEMMET (2007). Reglamento de organización y funciones del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. Perú.
- INGEMMET (2021). Sistema de información geológico y catastral minero – GEOCATMIN. Recuperado de <https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/>
- Inoñan, O. (2014). Valoración de los bienes económicos y servicios ambientales de los ecosistemas de *Pinus p.*, establecidos en el distrito de Cutervo (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.
- IPCC (2014). Resumen para responsables de políticas. contribución del grupo de trabajo ii al quinto informe de evaluación del panel intergubernamental de expertos sobre el cambio climático. Ginebra, Suiza.
- IPCC (2021). Climate change 2021 the physical science basis summary for policymakers. Ginebra, Suiza.

- Jodar, A., Ruiz, M., y Melgarejo, J. (2018). Evaluación del impacto del cambio climático sobre una cuenca hidrológica en régimen natural (SE, España) usando un modelo SWAT. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, 35(3), 240-253.
- Louppe, D., Oteng-Amoako, A. y Brink, M. (2008). *Plant Resources of Tropical Africa PROTA*. Países Bajos.
- Malczewski, J. (2004). GIS-based land-use suitability analysis: A critical overview. *Progress in Planning*, 62, 3-65. doi: 10.1016/j.progress.2003.09.002
- Malczewski, J. (2011). Local weighted linear combination. *Transactions in GIS*, 15(4), 439-455. doi: 10.1111/j.1467-9671.2011.01275.x
- Martínez, E. (2010). *Apuntes sobre modelación de nichos ecológicos*. México.
- Martínez, E. (2012). *Introducción al Modelado de Nichos Ecológicos y Distribuciones de Especies*. Recuperado de http://www.recibio.net/wpcontent/uploads/2012/11/ENM_EMM.pdf
- Martínez, M. (1948). *Los pinos mexicanos*. México: Ediciones Botas.
- Merow, C., Smith, M. y Silander, J. (2013). A practical guide to MaxEnt for modeling species distributions: what it does, and why inputs and setting matter. *Ecography*, (36), 1058-1069.
- MINAM (2009). *Cambio climático y desarrollo sostenible en el Perú*. Perú.
- Ministerio del Ambiente (2018). *Ley marco sobre cambio climático y su reglamento*. Perú: Ministerio del Ambiente.
- Ministerio del Ambiente (2021). *Resolución ministerial N.º 196-2021-MINAM que aprueba los “lineamientos metodológicos para la formulación y actualización de los planes locales de cambio climático y sus anexos”*. Perú: Ministerio del Ambiente.
- Ministerio del Ambiente (2022). *Lineamientos del reglamento de la ley marco sobre cambio climático*. Perú.
- Ministerio de Agricultura (2009). *Decreto supremo N.º 017-2009-AG que aprueba el reglamento de clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor*. Perú: Ministerio de Agricultura.
- Ministerio de Agricultura y Riego (2015). *Ley Forestal y de Fauna silvestre N.º 29763 y sus reglamentos*. Perú: Ministerio de Agricultura y Riego del Perú.

- MINAM – Geoservidor (2021). Información disponible ASTER GDEM. Recuperado de http://geoservidorperu.minam.gob.pe/geoservidor/download_raster.aspx
- MINAM-DGEVFPN (2015). Mapa nacional de cobertura vegetal: memoria descriptiva. Lima, Perú.
- Morales, N. (2012). Modelos de distribución de especies: *Software* MAXENT y sus aplicaciones en conservación. *Revista de Conservación Ambiental*, 2(1),1-5.
- MTC (2008). D.S. N.º 034-2008-MTC que aprueba el reglamento nacional de gestión de infraestructura vial. Perú: Ministerio de transportes y comunicaciones del Perú.
- MTC (2019). Datos espaciales de transporte terrestre. Perú.
- Nava, L. (2017). Análisis documental de las revistas independientes en la colección hemerográfica de la biblioteca “Dr. Luis Mario Schnaider” de la Universidad Autónoma del Estado de México (Tesis de pregrado). Universidad Autónoma del Estado de México, México.
- NOAA (2022). Global monitoring laboratory, earth system research laboratories. Recuperado de <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/global.html>
- Olivas, U., Lazalde, J., Aldrete, A., Guillén, M., y Castillo, G. (2007). Áreas con aptitud para establecer plantaciones de maguey cenizo: Definición mediante análisis multicriterio y SIG. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 30(4), 411-419.
- PEBLT (2019). Gestión forestal y de microcuencas en el sector peruano del sistema TDPS. Puno, Perú.
- Peña, R., y Calero, M. (2019). Factores climáticos y diversidad de especies vegetales en la microcuenca Los Molinos, Ayabaca, Piura. *Manglar*, 15(2), 115-125.
- Pérez, R., Romero, M., González, A., Rosales, S., Moreno, F., y Arriola, V. (2019). Modelado de la distribución actual y bajo cambio climático de pinos piñoneros endémicos de México. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 10(56), 218-237.
- Phillips, S., Dudik, M., Schapire, R. (2004). A maximum entropy approach to species distribution modeling. Canadá.
- Phillips, S. (2010). A brief tutorial on Maxent. New York, Estados Unidos.
- Phillips, S, y Dudik, M. (2021). Una breve guía didáctica sobre MaxEnt. Estados Unidos.

- Pretell, J., Jon, R., Ocaña, D., y Barahona, E. (1985). Apuntes sobre algunas especies forestales nativas de la sierra peruana. Lima, Perú.
- PRONAMACHS (1998). Manual de plantaciones forestales para la sierra peruana Ministerio de Agricultura. Lima, Perú.
- Rau, P. (2012). Zonificación de áreas con aptitud forestal asistido por sistemas de información geográfica en la provincia de Tarma, Junín (tesis de pregrado). Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú.
- Reynel, C. y León, J. (1996). Árboles y arbustos andinos para agroforestería y conservación de suelos. Perú.
- Ríos, J., Reyes, C., Rosales, R., y Alfredo, P. (2018). Actualización preliminar de inventarios para áreas productoras de maguey cenizo en diferentes municipios de Durango. Revista Científica Semestral Investigación, Desarrollo e Innovación, 1(2), 323-332.
- Riveros, P. (2010). Efecto del cambio climático en el crecimiento y productividad de *Pinus radiata* en Chile. análisis utilizando modelos 3-PG y PRECIS (Tesis de pregrado). Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Rodríguez, R., Benito, A., y Portela, A. (2004). Meteorología y climatología. España: FECYT.
- Rojas, Y., Bahamóndez, V., Stiven, M., Caroline, M., Müller-Using, S., y Pugin, A. (2013). Estudio de vulnerabilidad al cambio climático de bosques en Chile (*Pinus radiata* y tipo forestal Roble-Raulí-Coihue). Chile.
- Romero, M. (2016). Escenarios de cambio climático en el sector forestal. Revista mexicana de ciencias forestales, 7(37), 4-6.
- Saaty, T. (1980). El proceso analítico jerárquico. New York: McGraw-Hill.
- Salazar, A. (2019). Identificación de Zonas Óptimas para Plantaciones Forestales Comerciales en Ambiente SIG y Evaluación Multicriterio, Caso de Estudio. Estado de México.
- Santana, C. (2019). Control químico de malezas en una plantación comercial de pino (*Pinus radiata* D. Don) en el cantón Mejía, provincia de Pichincha, año 2019 (Tesis de pregrado). Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Los Ríos, Ecuador.

- SENAMHI (2020). Infografía sobre los escenarios climáticos. Perú. Recuperado de https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1382380/Escenarios%20Clim%C3%A1ticos_Con%20correcciones%20STCE.pdf.pdf
- SERFOR (2017). SERFOR promueve plantaciones forestales en zona fronteriza de puno. Perú. Recuperado de <https://www.serfor.gob.pe/portal/noticias/serfor-promueve-plantaciones-forestales-en-zona-fronteriza-de-puno>
- SERFOR (2021). Sistema nacional de información forestal y de fauna silvestre. Perú. Recuperado de <http://sniffs.serfor.gob.pe/estadistica/es/tableros/registros-nacionales/plantaciones>
- UICN (2021). *Pinus radiata* D. Don. Recuperado de <https://www.iucnredlist.org/species/42408/2977955>
- Vide, J. (2009). Conceptos previos y conceptos nuevos en el estudio del cambio climático reciente. *Investigaciones Geográficas*. 51-63.
- Villarpando, D., Villarpando, P., y Villalobos, J. (2011). Fichas botánicas de especies agroforestales nativas aptas para tierras altoandinas. Proyecto de adaptación al impacto del retroceso acelerado de los glaciares en los andes tropicales. Bolivia.
- WorldClim (2021). Global climate and weather data. Recuperado de <https://www.worldclim.org/data/index.html>

ANEXOS

ANEXO 1: Fichas de registro

Número de registro	-
Autor	Ing. María Elena Murillo Coacalla
Lugar de trabajo del autor	Unidad de Infraestructura de Riego, Forestal y de Fauna Silvestre - Agencia Agraria Huancané - Dirección regional Agraria Puno
Título	Informe de actividades del mes de noviembre correspondiente del año 2018
Idioma	Español
Año	2018
Páginas	44
Resumen/indización	En referencia a plantaciones de <i>Pinus radiata</i> D.Don se menciona la instalación en campo definitivo en las coordenadas: Latitud : -15.202274°; Longitud : -69.737964°, Centro poblado de Muñapata – Quinta Callacallani, altitud de 3985 m.s.n.m.

Número de registro	-
Autor	Ing. María Elena Murillo Coacalla
Lugar de trabajo del autor	Unidad de Infraestructura de Riego, Forestal y de Fauna Silvestre - Agencia Agraria Huancané - Dirección regional Agraria Puno
Título	Informe de actividades correspondiente del mes de noviembre del año 2016
Idioma	Español
Año	2016
Páginas	51
Resumen/indización	En referencia a plantaciones de <i>Pinus radiata</i> D.Don se menciona la instalación en campo definitivo en las coordenadas: Latitud : -15.078115°; Longitud : -69.793987°, Centro poblado de Sustia Munaypa, altitud de 3880 m.s.n.m., temperatura media de 8° C.

Número de registro	-
Autor	Ing. María Elena Murillo Coacalla
Lugar de trabajo del autor	Unidad de Infraestructura de Riego, Forestal y de Fauna Silvestre - Agencia Agraria Huancané - Dirección regional Agraria Puno
Título	Informe de actividades correspondiente al mes de diciembre del año 2015
Idioma	Español
Año	2015
Páginas	52
Resumen/indización	En referencia a plantaciones de <i>Pinus radiata</i> D.Don se menciona la instalación en campo definitivo en las coordenadas: Latitud : -15.193533°; Longitud : -69.782920°, Centro poblado de Tumanta Jinchuyo, altitud de 3845 m.s.n.m., temperatura media de 8° C, en ladera de montaña.

Número de registro	-
Autor	área de recursos naturales
Lugar de trabajo del autor	Programa de Desarrollo Productivo Agrario Rural Agencia Zonal Huancané – Moho – San Antonio de Putina
Título	Informe del programa presupuestal 0130
Idioma	Español
Año	2018
Páginas	-
Resumen/indización	En referencia a plantaciones de <i>Pinus radiata</i> D.Don se menciona la existencia de plantaciones en las coordenadas: Latitud : -15.157222; Longitud : -69.888056°, Centro poblado de Huancho llachojani , altitud de 4083 m.s.n.m., área de 10 hectáreas, en ladera de montaña.

ANEXO 2: formato de ficha técnica

1. Datos Generales

Nombres y Apellidos:	DNI:
Cargos /Institución/Periodo:	

2. Ficha

Especie

imagen

<p>CARACTERÍSTICAS:</p> <ul style="list-style-type: none">• Procedencia :• Pureza :• Germinación :• Trat. Pre germinativo:• Sustrato para el almácigo:• Almácigo/siembra:• Sustrato para el repique:• Repique:• Labores culturales• Tamaño de bolsa:• Micorrización:	<p>REQUERIMIENTOS:</p> <p>TOPOGRAFÍA</p> <ul style="list-style-type: none">• Rango de altitud :• Pendiente : <p>CLIMA</p> <ul style="list-style-type: none">• Rangos de temperatura:• Precipitación : <p>SUELO</p> <ul style="list-style-type: none">• Profundidad efectiva:• Textura del suelo :• Acidez del suelo :• Otros :
---	---

ANEXO 3: Fichas técnicas



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego



Ficha técnica

1. Datos Generales

Nombres y Apellidos: Mvz. Mg. Marcelo Madariaga Mamani	DNI : 01991939
Cargo / Institución: Jefe de la Agencia zonal Huancané – Moho - San Antonio de Putina - AGRORURAL	

2. Ficha Técnica

<i>Pinus radiata</i> D. Don	
Código de imagen :	
<p>CARACTERISTICAS:</p> <ul style="list-style-type: none">• Procedencia : -• Pureza : -• Germinación: -• N.º de semillas/kilo : -• N.º de plantas/kilo : -• Trat. Pre germinativo: -• Sustrato para el almácigo: -• Almácigo/siembra: -• Profundidad de siembra: -• Sustrato para el repique: -• Repique: -• Tamaño de bolsa: -• Micorrización : -	<p>REQUERIMIENTOS ECOLOGICOS:</p> <p>TOPOGRAFIA</p> <ul style="list-style-type: none">• Rango de altitud : 4083 m. s.n.m.• Pendiente : Correspondientes a laderas montaña. <p>CLIMA</p> <ul style="list-style-type: none">• Rangos de temperatura : -• Precipitación : - <p>SUELO</p> <ul style="list-style-type: none">• Profundidad efectiva : -• Textura del suelo : -• Acidez del suelo : -• Otros : -

MINISTERIO DE DESARROLLO AGRARIO Y RIEGO
AGRO RURAL
HUANCANE-MOHO-S.A. PUTINA

M. Sc. MVZ. Marcelo Madariaga Mamani
COORDINADOR DE LA OFICINA ZONAL



Ficha técnica

1. Datos Generales

Nombres y Apellidos: Ing. María Elena Murillo Coacalla	DNI: 01287899
Cargo / Institución: Especialista de la Unidad de Infraestructura de Riego, Forestal y de Fauna Silvestre - Agencia Agraria Huancané - Dirección regional Agraria Puno	

2. Ficha Técnica

La presente ficha está basada en el modelo utilizado por la empresa Arborizaciones EIRL.

<i>Pinus radiata</i> D. Don	
Código de imagen:	
<p>CARACTERISTICAS:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Procedencia : - • Pureza : - • Germinación: - • N.º de semillas/kilo : - • N.º de plantas/kilo : - • Trat. Pre germinativo: - • Sustrato para el almacigo: - • Almacigo/siembra: - • Profundidad de siembra: - • Sustrato para el repique: - • Repique: - • Tamaño de bolsa: - • Micorrización : - 	<p>REQUERIMIENTOS ECOLOGICOS:</p> <p>TOPOGRAFIA</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rango de altitud (m. s.n.m.) : 2600 – 3985 • Pendiente : Correspondientes a laderas de colina y montaña. <p>CLIMA</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rangos de temperatura Media : 8 °C • Precipitación : - <p>SUELO</p> <ul style="list-style-type: none"> • Profundidad efectiva : - • Textura del suelo : - • Acidez del suelo : - • Otros : -


 Ing. María E. Murillo Coacalla
 CIP 75247

ANEXO 4: Constancia

“Año del fortalecimiento de la soberanía nacional”

CONSTANCIA DE APOYO A PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Por medio de la presente dejo constancia que la Agencia Agraria Huancané como órgano desconcentrado de la Dirección Regional Agraria Puno, en mención a la función de fomentar y ejecutar actividades de investigación, contribuyó al proyecto de investigación titulado “DETERMINACIÓN DE ÁREAS POTENCIALES FUTURAS PARA PRODUCCIÓN FORESTAL DE *Pinus radiata* D. DON EN LA CUENCA HUANCANÉ, PUNO” del Bach. Edwin Raúl Ingaluque Condori, en las siguientes actividades:

- Proporcionar información y apoyo en la gestión requerida para la etapa de validación mediante la técnica de observación en los distritos de Huancané y Rosaspata, los cuales forman parte del ámbito de acción de la Agencia Agraria Huancané.

Se otorga la presente constancia a petición del interesado para los fines que crea conveniente.

Huancané, 10 de enero del 2022.

GOBIERNO REGIONAL PUNO
DIRECCIÓN REGIONAL AGRARIA
AGENCIA AGRARIA HUANCANÉ

Mtz. Edilberto G. Ajahuana Equis
DIRECTOR

ANEXO 5: Matriz de datos

MATRIZ DE DATOS DE CAMPO	
Código del punto de muestreo: Zona 1	
Fecha y hora : 23 / 11 / 2021 9: 00 a.m.	
Encargado : Edwin Raúl Ingaluque Condori	
Zona : Zona 1 Centro poblado Lacaya Huancho bajo, Calahuyo	
DESCRIPCIÓN GENERAL - CAMPO	
VARIABLES	
1. Cobertura vegetal	Plantaciones de <i>Eucalyptus globulus</i> Labill. (figura 9)
2. Centros poblados	Existen algunas viviendas de adobe en el área (ladrillo sin cocer hechos de arcilla, arena y el tallo de gramíneas) (figura 10)
3. Uso actual del suelo	-
4. Red vial	-
5. peligros geológicos	-
observaciones	
- Existe afloramiento lítico de areniscas cuarzosas (Figura 11)	
registro fotográfico (ver anexo 6)	
Código de la foto	Coordenadas (UTM)
Figura 9	409535E; 8322016N
Figura 10	409846E; 8321919N
Figura 11	-
EVALUACIÓN GENERAL CAMPO	
<p>Los hallazgos motivo de delimitación son:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Existen afloramientos líticos - Existen plantaciones recientes de <i>Eucalyptus globulus</i> Labill - Existen viviendas dentro del área. 	

MATRIZ DE DATOS DE CAMPO	
Código del punto de muestreo: Zona 2	
Fecha y hora : 23 / 11 / 2021 3: 00 p.m.	
Encargado : Edwin Raul Ingaluque Condori	
Zona : Zona 2 Centro poblado Juchilaya	
DESCRIPCIÓN GENERAL - CAMPO	
VARIABLES	
1. Cobertura vegetal	Plantaciones de <i>Eucaliptus globulus</i> . (Figura 12)
2. Centros poblados	Existen viviendas habitadas y en estado de abandono de adobe (ladrillo sin cocer hechos de arcilla, arena y el tallo de gramíneas) (Figura 13)
3. Peligros geológicos	Presenta erosión y cárcavas en el punto 409872E 8323553 N debido la escorrentía superficial en temporada de lluvia. (Figura 14)
4. Uso actual del suelo	-
5. Red vial	-
Observaciones	
- Existe afloramiento lítico de areniscas cuarzosas. (Figura 15)	
Registro fotográfico (Ver Anexo 6)	
Código de la foto	Coordenadas (UTM)
Figura 12	409915E ; 8323645N
Figura 13	409917E; 8323730N
Figura 14	409881E; 8323549N
Figura 15	-
EVALUACIÓN GENERAL CAMPO	
<p>Los hallazgos motivo de delimitación son:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Existen afloramientos líticos en algunas zonas - Existen plantaciones de <i>Eucaliptus globulus</i> - Existen viviendas - Existe erosión y cárcavas 	

MATRIZ DE DATOS DE CAMPO	
Código del punto de muestreo: Zona 3	
Fecha y hora : 24 / 11 / 2021 9: 00 a.m.	
Encargado : Edwin Raul Ingaluque Condori	
Zona : Zona 3 Centro poblado Taurahuta	
DESCRIPCIÓN GENERAL - CAMPO	
VARIABLES	
1. Cobertura vegetal	Plantaciones recientes de <i>Eucaliptus globulus</i> (Figura 16)
2. Centros poblados	-
3. Peligros geológicos	-
4. Uso actual del suelo	-
5. red vial	-
Observaciones	
- Existe afloramiento lítico. (Figura 17)	
Registro Fotográfico (Ver Anexo 6)	
Código de la foto	Coordenadas (UTM)
Figura 16	411975E; 8327669 N
Figura 17	-
EVALUACIÓN GENERAL CAMPO	
Los hallazgos motivo de delimitación son: <ul style="list-style-type: none"> - Existen afloramientos líticos - Existen plantaciones de <i>Eucaliptus globulus</i> labill. 	

MATRIZ DE DATOS DE CAMPO	
Código del punto de muestreo: Zona 4	
Fecha y hora : 25 / 11 / 2021 9: 00 a.m.	
Encargado : Edwin Raul Ingaluque Condori	
Zona : Zona 4 Centro poblado Chijichaya	
DESCRIPCIÓN GENERAL - CAMPO	
VARIABLES	
1. Cobertura vegetal	Plantaciones de <i>Eucaliptus globulus</i> labill, dispersados de forma aleatoria en el área. (figura 18)
2. Centros poblados	Se encuentran algunas viviendas habitadas y en abandono de adobe (ladrillo sin cocer hechos de arcilla, arena y el tallo de gramíneas) (figura 19)
3. Peligros geológicos	-
4. Hidrografía	-
5. Uso actual del suelo	-
Observaciones	
- Existe afloramiento lítico. (Figura 20)	
Registro Fotográfico (Ver Anexo 6)	
Código de la foto	Coordenadas (UTM)
Figura 18	414382E; 8330955N
Figura 19	414293E; 8330787N
Figura 20	-
EVALUACIÓN GENERAL CAMPO	
Los hallazgos motivo de delimitación son: <ul style="list-style-type: none"> - Existencia de afloramiento lítico - Presencia de algunos individuos de <i>Eucaliptus globulus</i> labill - Presencia de viviendas 	

MATRIZ DE DATOS DE CAMPO	
Código del punto de muestreo: Zona 5	
Fecha y hora : 26 / 11 / 2021 9: 00 a.m.	
Encargado : Edwin Raul Ingaluque Condori	
Zona : Zona 5 Centro poblado Chicasco	
DESCRIPCIÓN GENERAL - CAMPO	
VARIABLES	
1. Cobertura vegetal	Plantaciones dispersados aleatoriamente de <i>Eucaliptus globulus</i> Labill. (figura 21)
2. Centros poblados	Se encuentran viviendas de adobe dentro del área identificada. (figura 22)
3. Peligros geológicos	-
4. Hidrografía	-
5. Uso actual del suelo	Existen algunas parcelas agrícolas. (figura 23)
Observaciones	
- Existe afloramiento lítico (Figura 24)	
Registro fotográfico (Ver Anexo 6)	
Código de la foto	Coordenadas (UTM)
Figura 21	418088E; 8324167N
Figura 22	418063E; 8324344N
Figura 23	418176E; 8324146N
Figura 24	-
EVALUACIÓN GENERAL CAMPO	
<p>Los hallazgos motivo de delimitación son:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Existencia de afloramiento lítico - Presencia de individuos dispersos de <i>Eucaliptus globulus</i> Labill - Presencia de viviendas - Presencia de parcelas de agricultura 	

MATRIZ DE DATOS DE CAMPO	
Código del punto de muestreo: Zona 6	
Fecha y hora : 27 / 11 / 2021 9: 00 a.m.	
Encargado : Edwin Raul Ingaluque Condori	
Zona : Zona 6 Centro poblado Cuyuraya, Carasani	
DESCRIPCIÓN GENERAL - CAMPO	
VARIABLES	
1. Cobertura vegetal	Plantaciones dispersados aleatoriamente de <i>Eucaliptus globulus</i> Labill (Figura 25)
2. Centros poblados	Existen viviendas en el área. (Figura 26)
3. Peligros geológicos	-
4. Hidrografía	-
5. Uso actual del suelo	-
Observaciones	
- Existe afloramiento lítico. (Figura 27)	
Registro fotográfico (Ver Anexo 6)	
Código de la foto	Coordenadas (UTM)
Figura 25	418194E; 8326082N
Figura 26	418098E; 8326095N
Figura 27	-
EVALUACIÓN GENERAL CAMPO	
Los hallazgos motivo de delimitación son:	
<ul style="list-style-type: none"> - Afloramiento lítico - Presencia de viviendas - Existencia de plantaciones de <i>Eucaliptus globulus</i> Labill 	

MATRIZ DE DATOS DE CAMPO	
Código del punto de muestreo: Zona 7	
Fecha y hora : 29 / 11 / 2021 9: 00 a.m.	
Encargado : Edwin Raul Ingaluque Condori	
Zona : Zona 7 Centro poblado Esquerica, Cruz cucho	
DESCRIPCIÓN GENERAL - CAMPO	
VARIABLES	
1. Cobertura vegetal	Individuos dispersados aleatoriamente de <i>Pinus radiata</i> D. Don (Figura 28)
2. Centros poblados	Existen viviendas en el área. (Figura 29)
3. Peligros geológicos	-
4. Hidrografía	-
5. Uso actual del suelo	Agricultura (Figura 30)
Observaciones	
- Existe afloramiento lítico. (Figura 31)	
Registro fotográfico (Ver Anexo 6)	
Código de la foto	Coordenadas (UTM)
Figura 28	442795E; 8317498N
Figura 29	442276E; 8317941N
Figura 30	442812E; 8317646N
Figura 31	-
EVALUACIÓN GENERAL CAMPO	
<p>Los hallazgos motivo de delimitación son:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Afloramiento lítico - Presencia de viviendas - Existencia de plantaciones de <i>Pinus radiata</i> D. Don - Agricultura 	

MATRIZ DE DATOS DE CAMPO	
Código del punto de muestreo: Zona 8	
Fecha y hora : 30 / 11 / 2021 9: 00 a.m.	
Encargado : Edwin Raul Ingaluque Condori	
Zona : Zona 8 Centro poblado Quiriquiña, huayllane	
DESCRIPCIÓN GENERAL - CAMPO	
VARIABLES	
1. Cobertura vegetal	-
2. Centros poblados	Existen viviendas en el área. (Figura 32)
3. Peligros geológicos	-
4. Hidrografía	-
5. Uso actual del suelo	-
Observaciones	
- Existe afloramiento lítico. (Figura 33)	
Registro fotográfico (Ver Anexo 6)	
Código de la foto	Coordenadas (UTM)
Figura 32	445824E; 8319545N
Figura 33	-
EVALUACIÓN GENERAL CAMPO	
Los hallazgos motivo de delimitación son:	
<ul style="list-style-type: none"> - Afloramiento lítico - Presencia de viviendas 	

ANEXO 6: Panel fotográfico



Figura 9. Cobertura vegetal de la ladera - zona 1



Figura 10. viviendas en la ladera - zona 1



Figura 11. Afloramiento lítico - zona 1



Figura 12. Cobertura vegetal - zona 2



Figura 13. Viviendas - zona 2



Figura 14. Cárcavas - zona 2



Figura 15. Afloramiento lítico - zona 2



Figura 16. Plantaciones - zona 3



Figura 17. Afloramiento lítico - zona 3



Figura 18. Plantaciones - zona 4



Figura 19. Viviendas - zona 4



Figura 20. Afloramiento lítico - zona 4



Figura 21. Plantaciones - zona 5



Figura 22. Viviendas - zona 5



Figura 23. Agricultura - zona 5



Figura 24. Afloramiento lítico- zona 5



Figura 25. Plantaciones - zona 6



Figura 26. Viviendas - zona 6



Figura 27. Afloramiento lítico - zona 6



Figura 28. Plantaciones - zona 7



Figura 29. Viviendas de la zona 7



Figura 30. Agricultura - zona 7



Figura 31. Afloramiento lítico - zona 7



Figura 32. Viviendas - zona 8

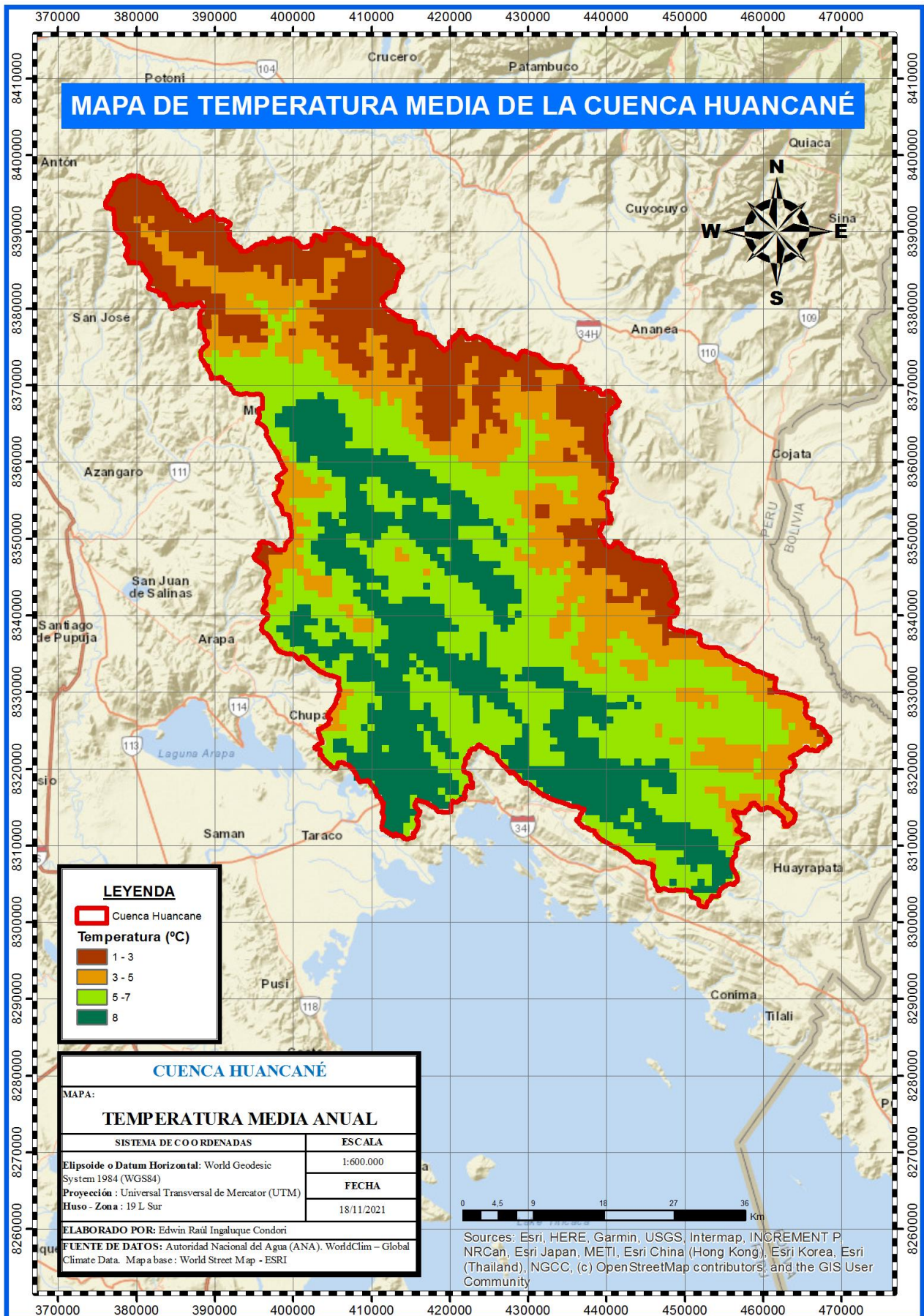


Figura 33. Afloramiento lítico - zona 8

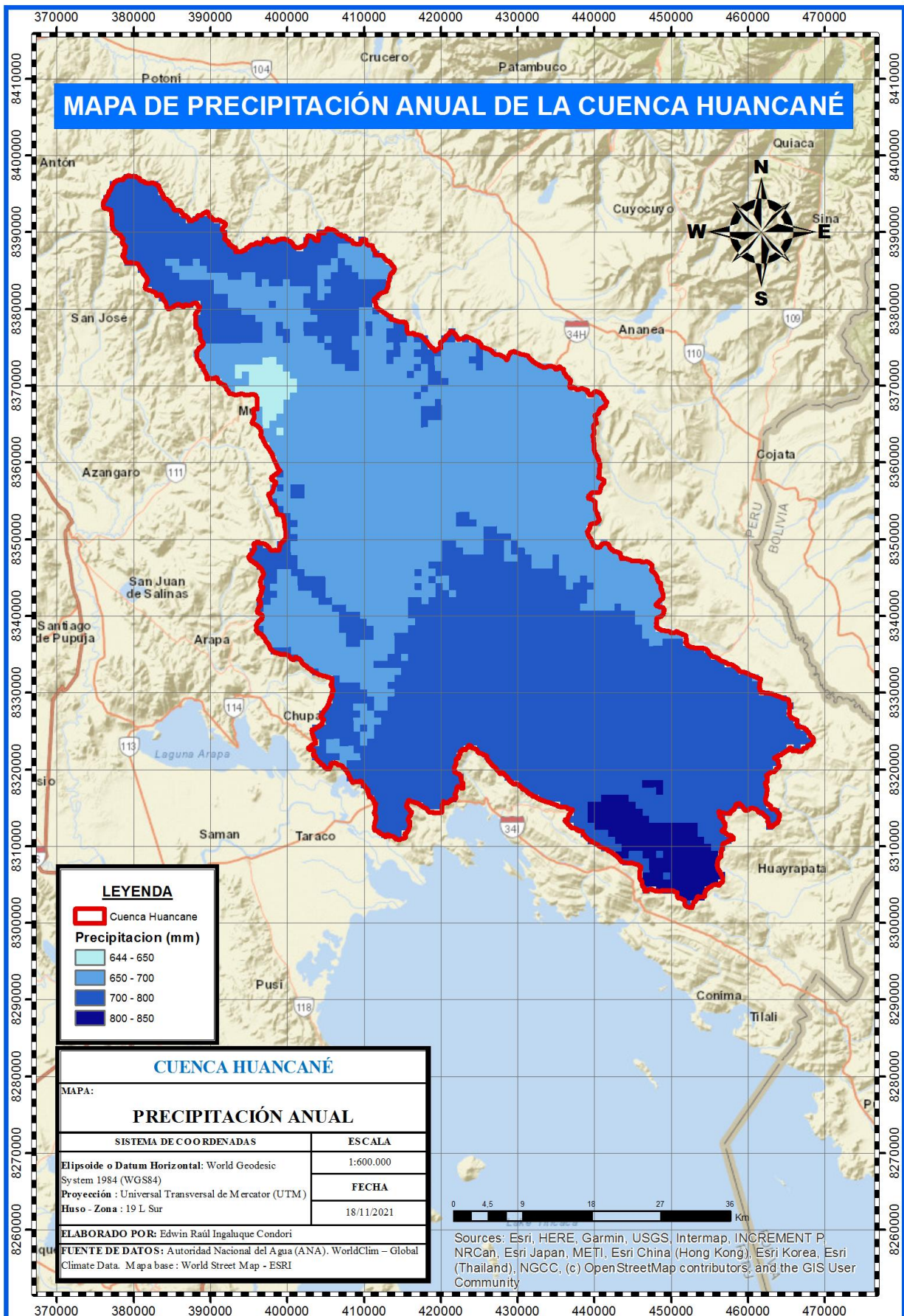
ANEXO 7: Hallazgos en las zonas potenciales de producción forestal

Hallazgos/Zonas	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	Zona 7	Zona 8	Total	porcentaje
	Lacaya Huancho bajo Calahuyo	Juchilaya	Taurahuta	Chijichaya	Chicasco	Cuyuraya Carasani	Esquerica , cruz cucho	Huayllane, Quiriquiña		
Afloramientos líticos	x	x	x	x	x	x	x	X	8	32
Plantaciones forestales	x	x	x	x	x	x	x		7	28
Viviendas	x	x		x	x	x	x	X	7	28
Erosión y carcavas		x							1	4
Agricultura					x		x		2	8
total									25	100

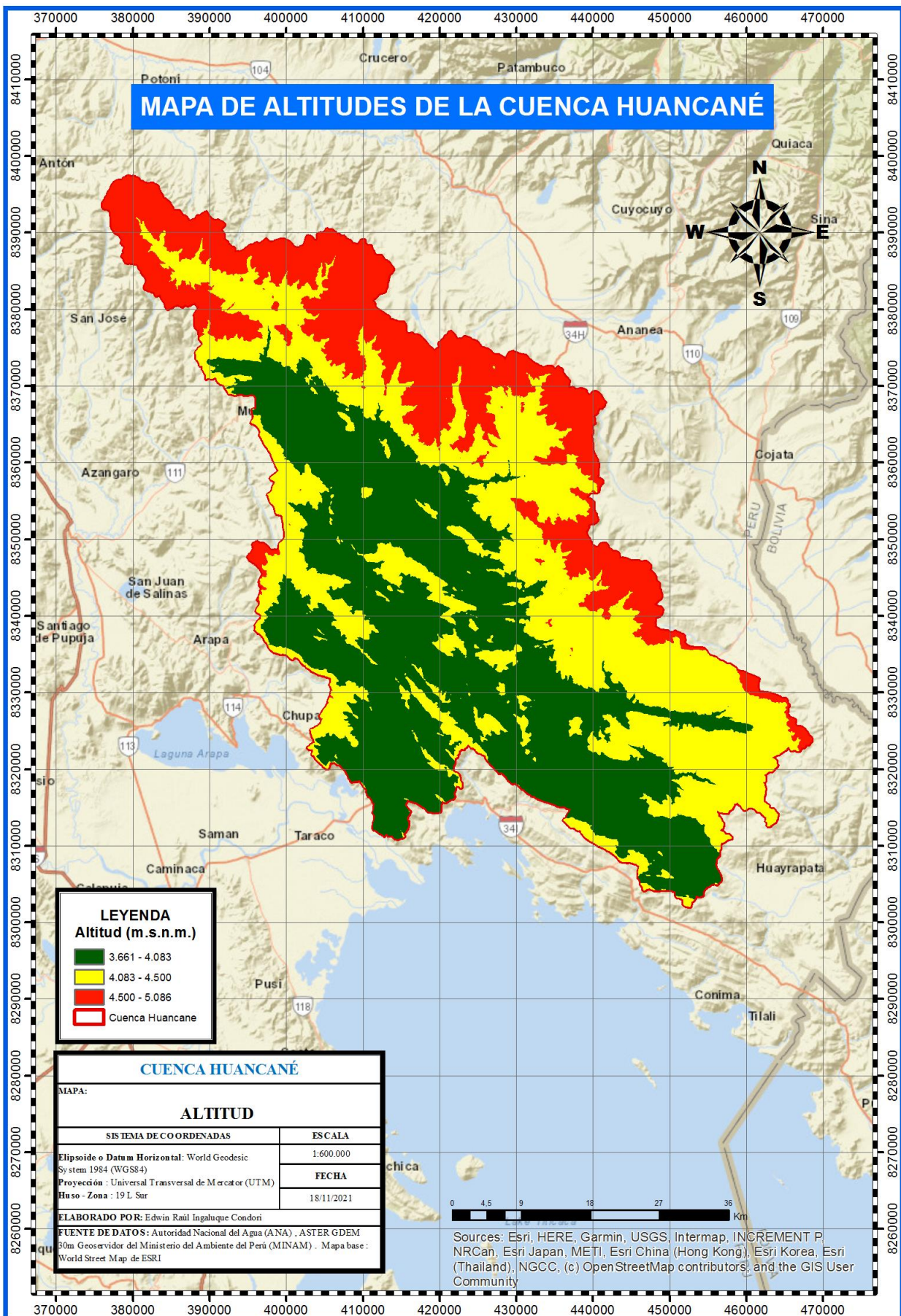
ANEXO 8: Mapa de temperatura media



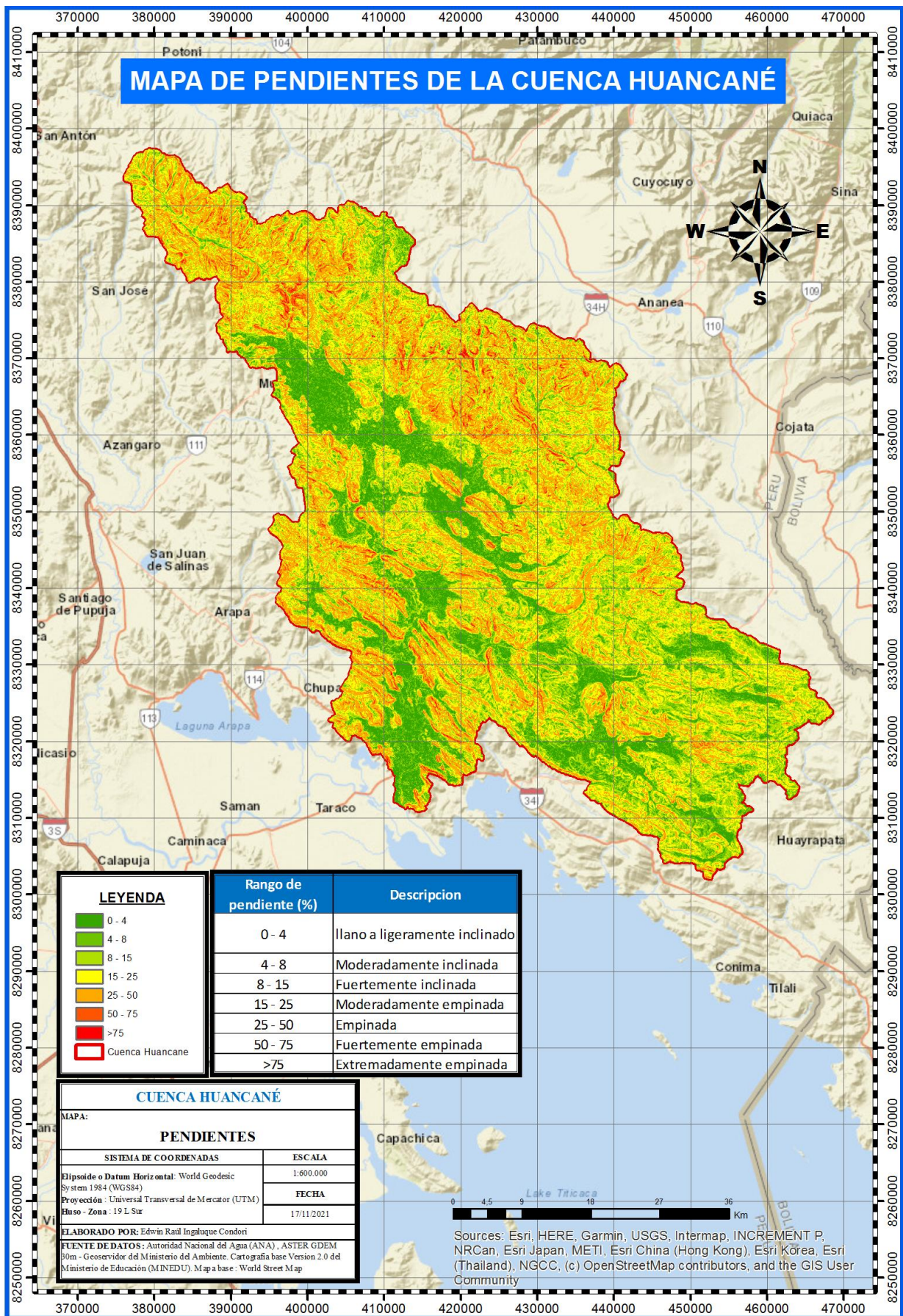
ANEXO 9: Mapa de precipitación anual



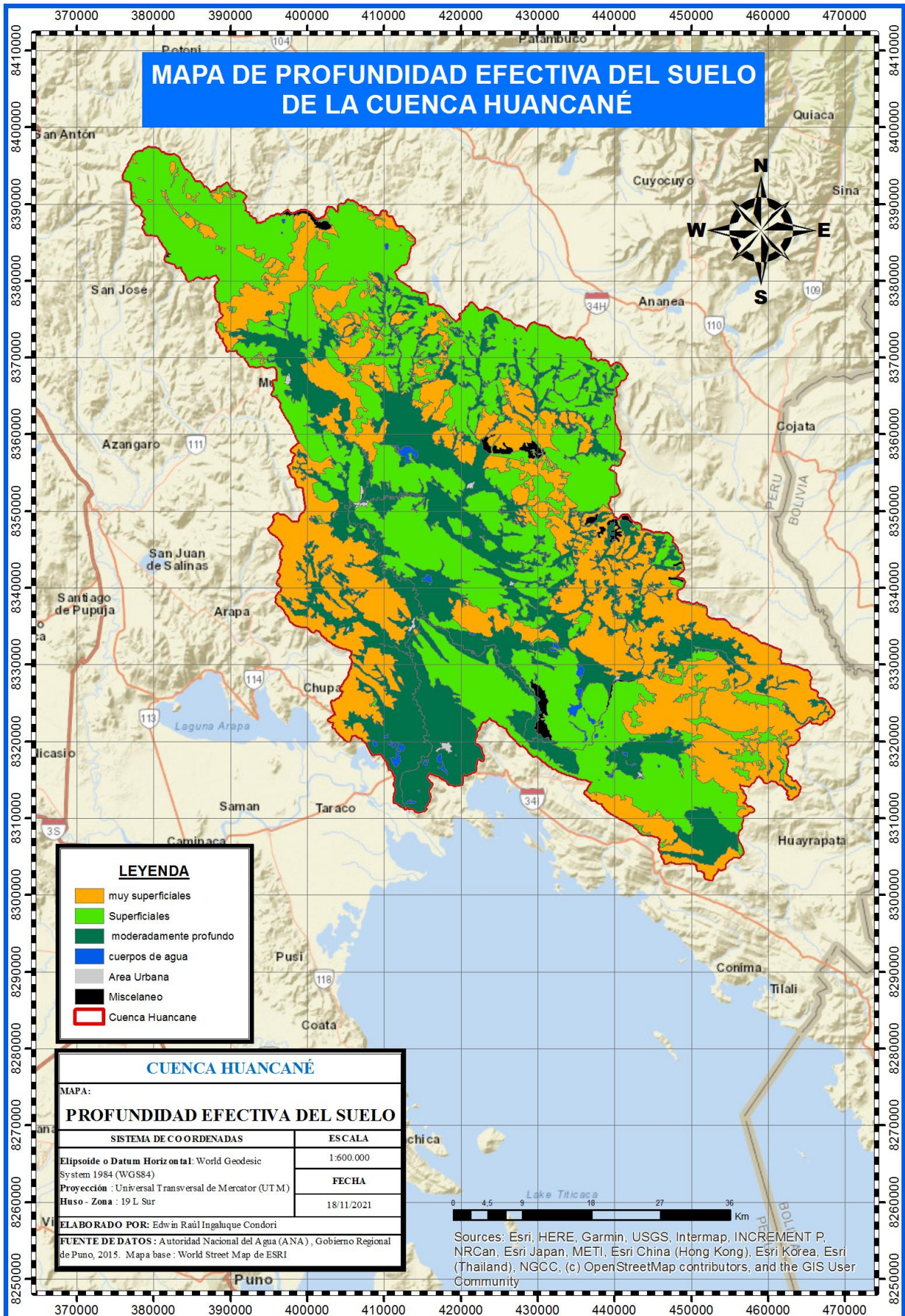
ANEXO 10: Mapa de altitudes



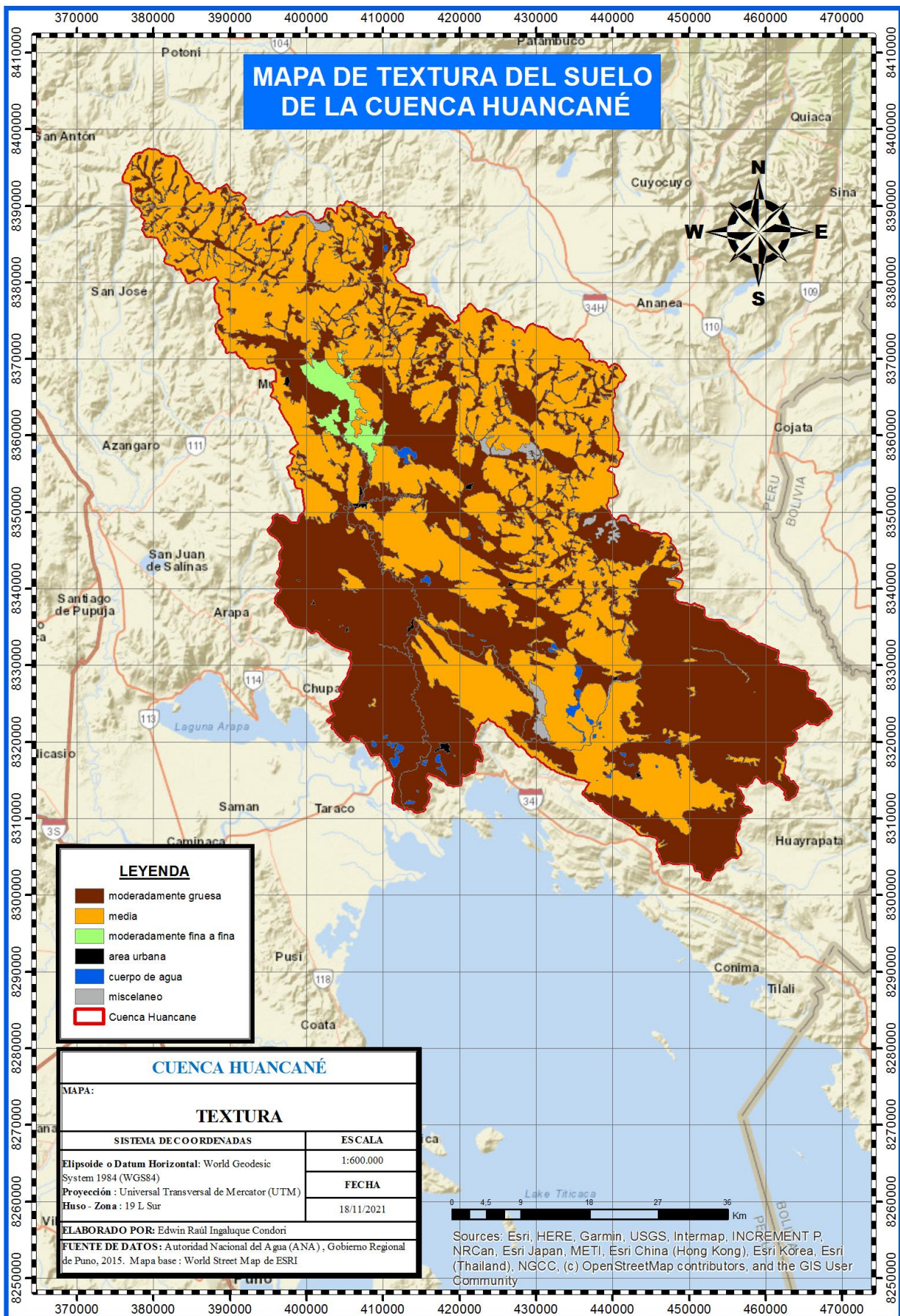
ANEXO 11: Mapa de pendientes



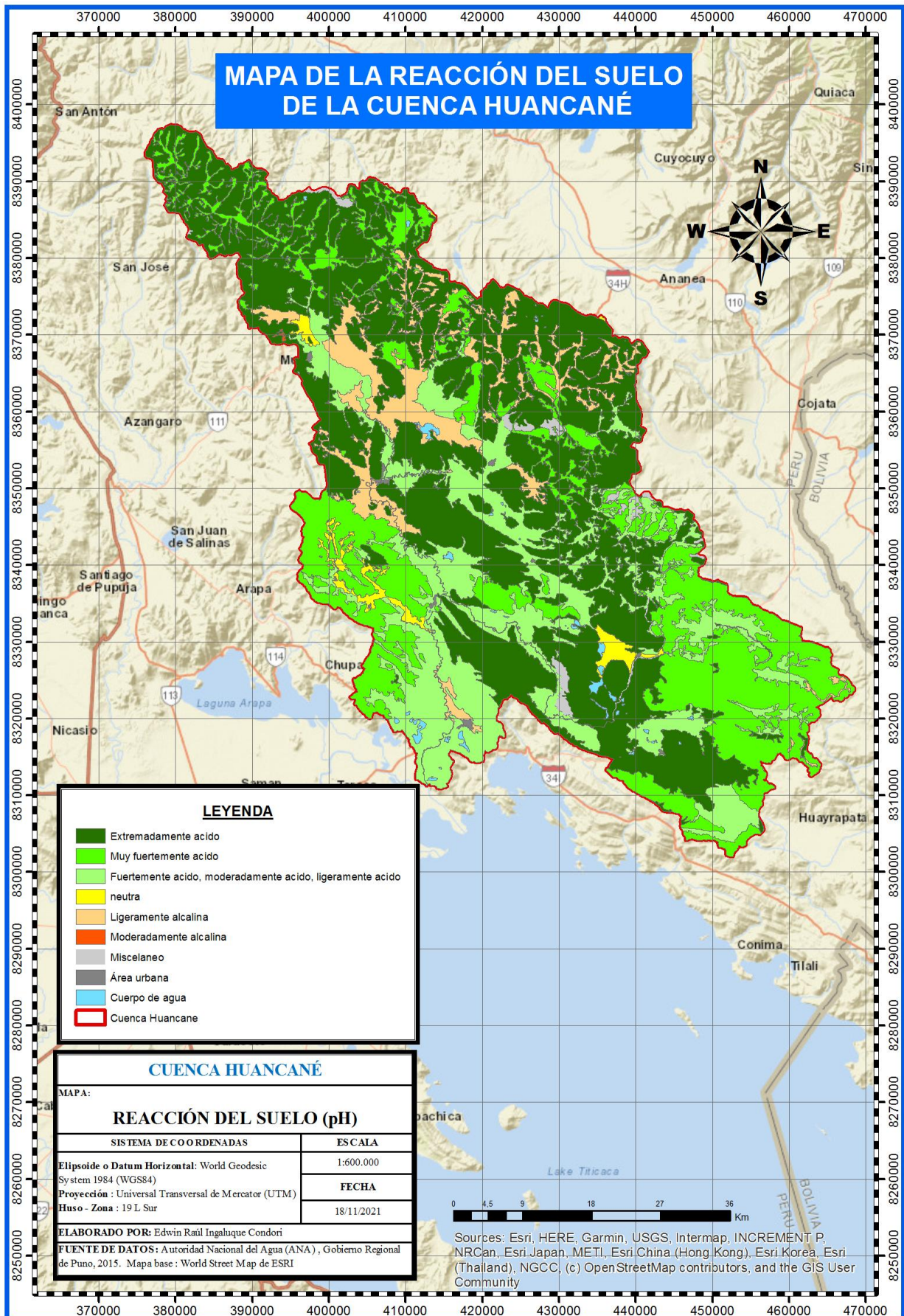
ANEXO 12: Mapa de profundidad del suelo



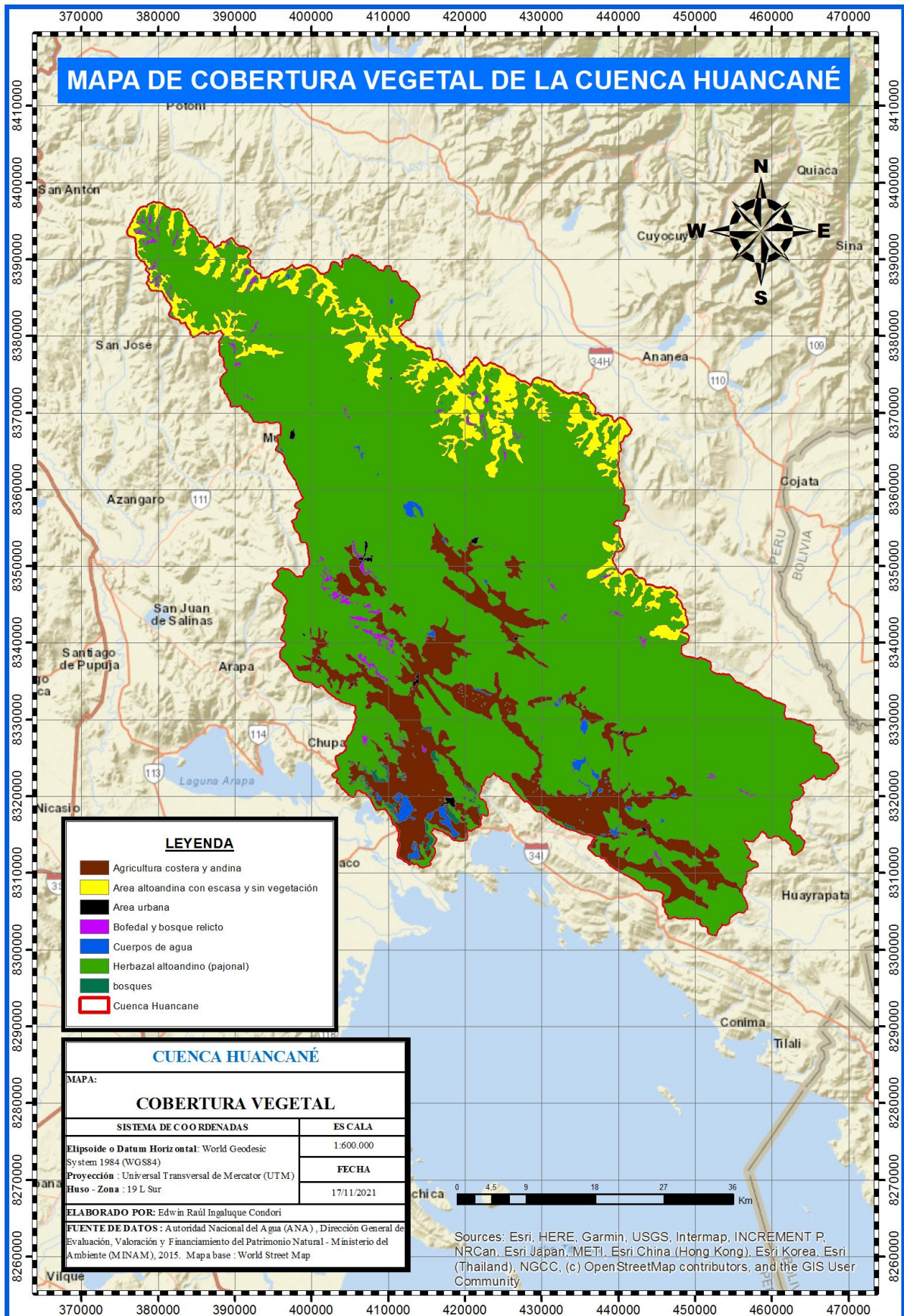
ANEXO 13: Mapa de textura del suelo



ANEXO 14: Mapa de la reacción del suelo



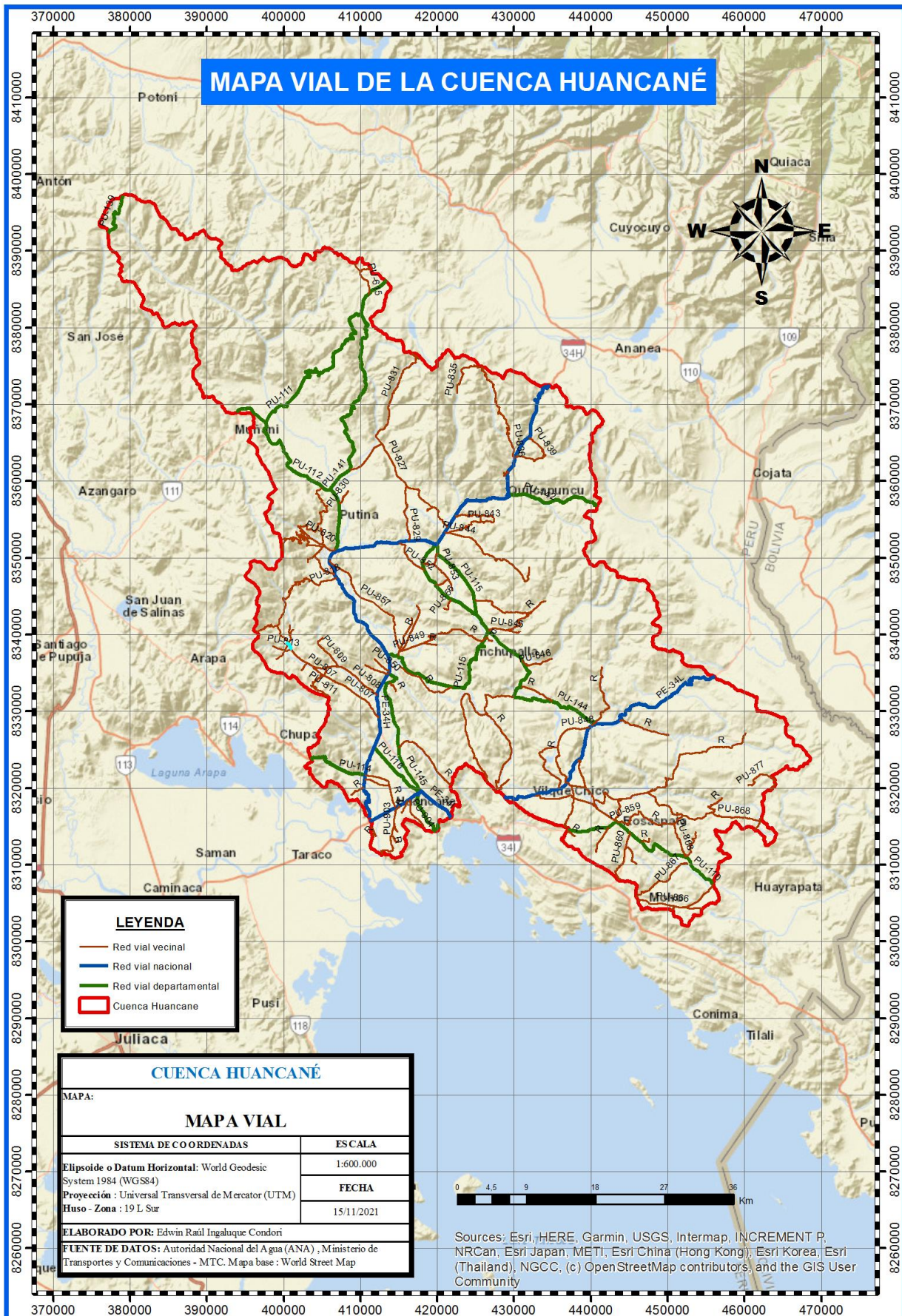
ANEXO 15: Mapa de cobertura vegetal



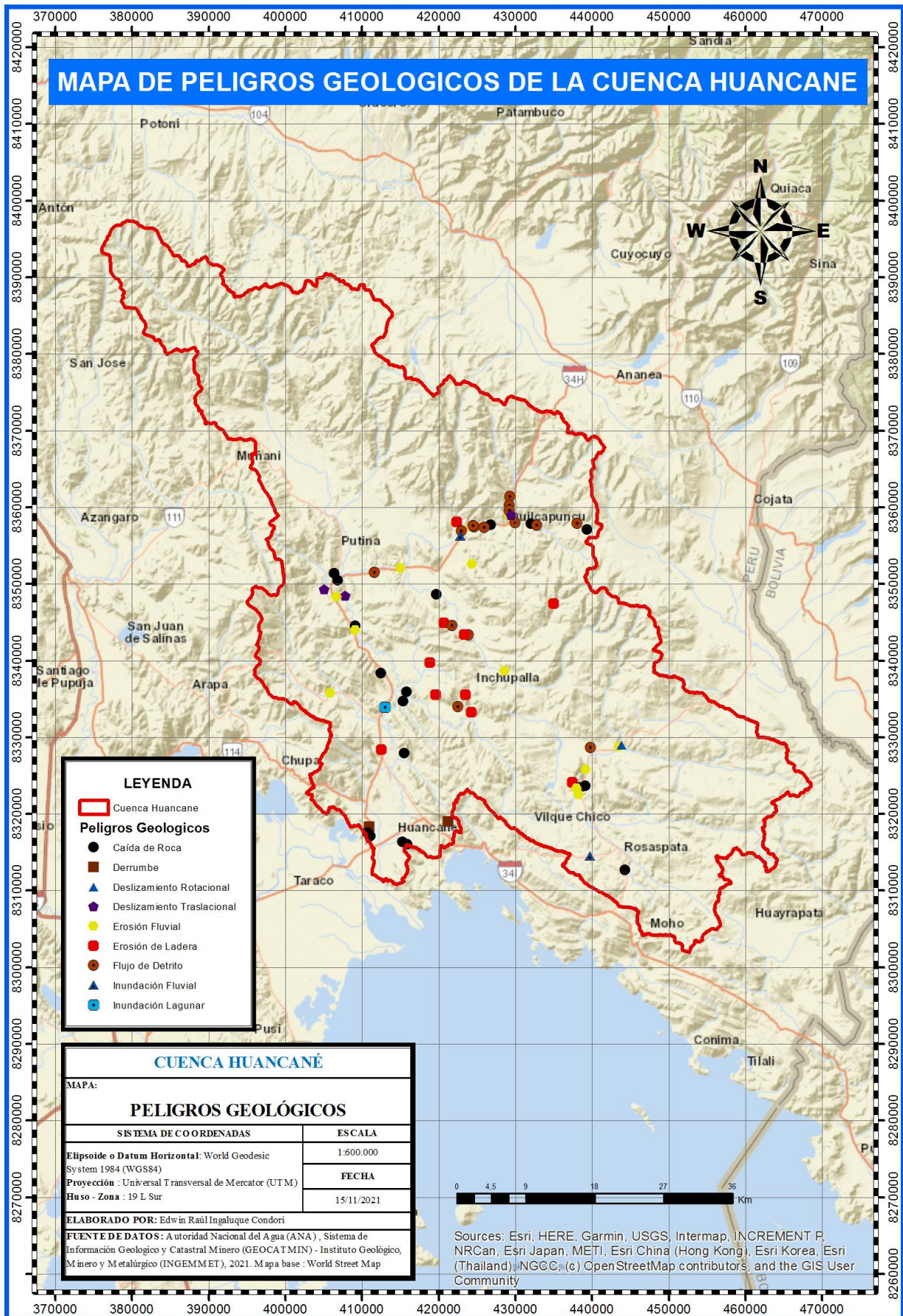
ANEXO 16: Mapa de centros poblados



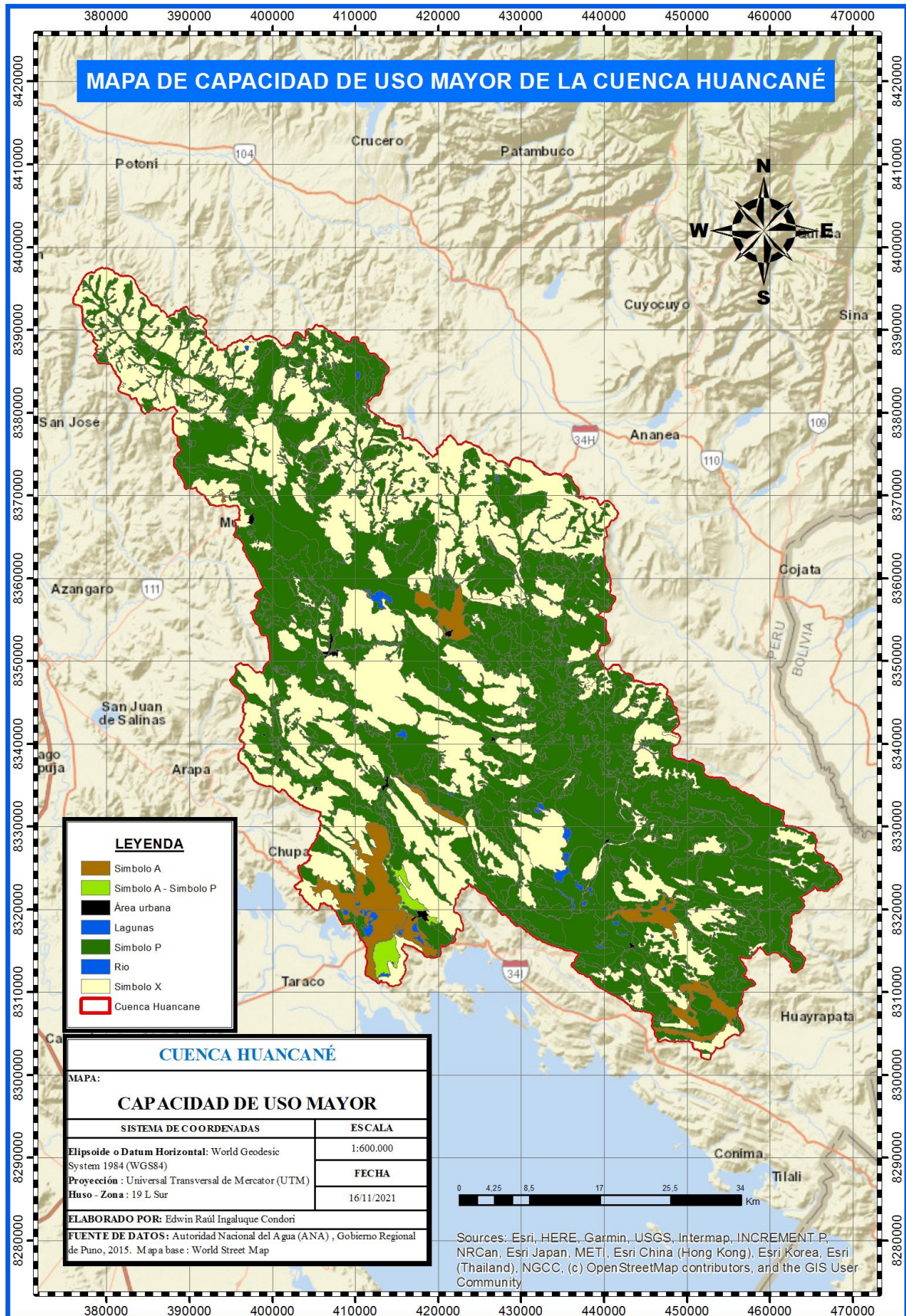
ANEXO 17: Mapa de red vial



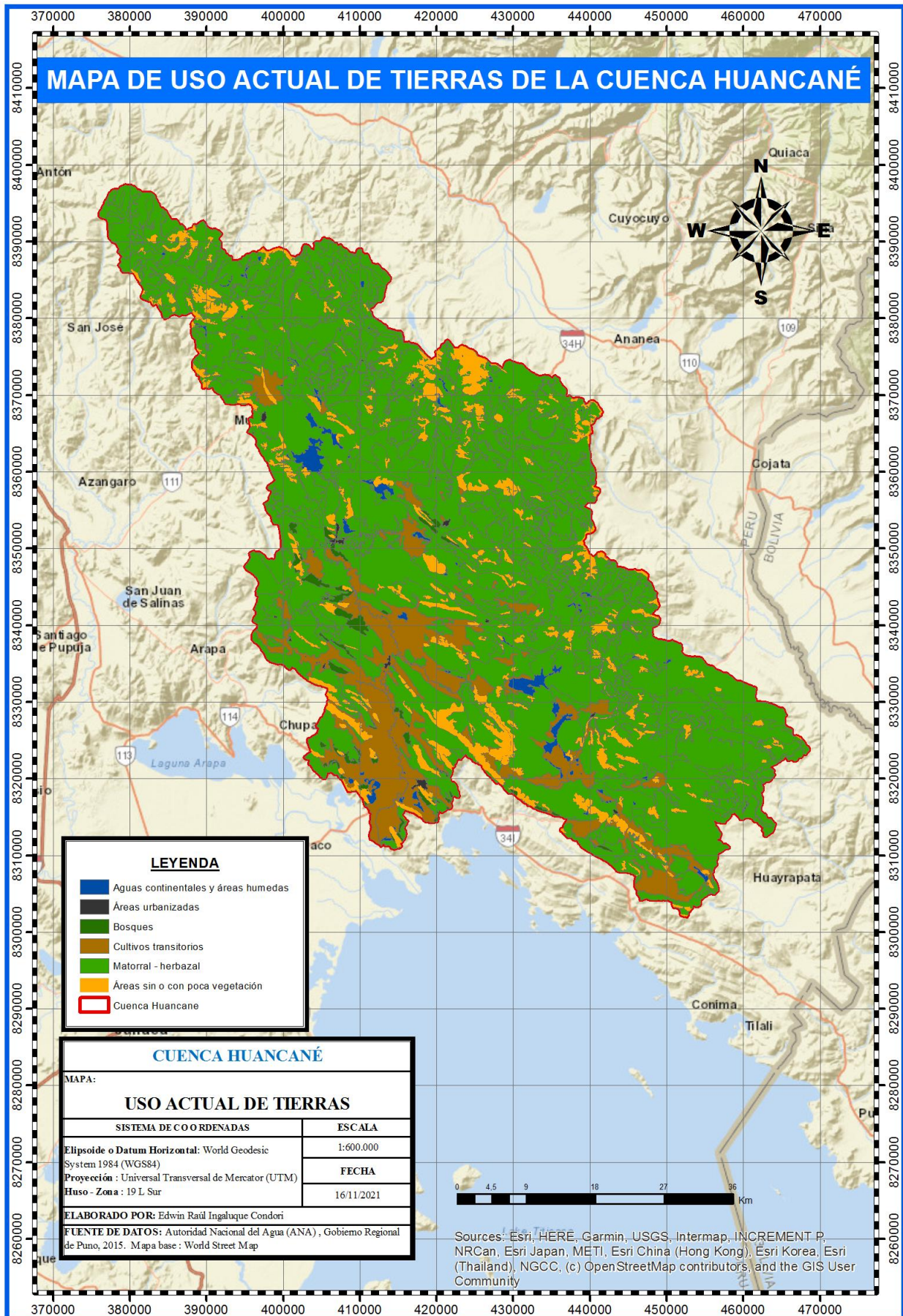
ANEXO 18: Mapa de peligros geológicos



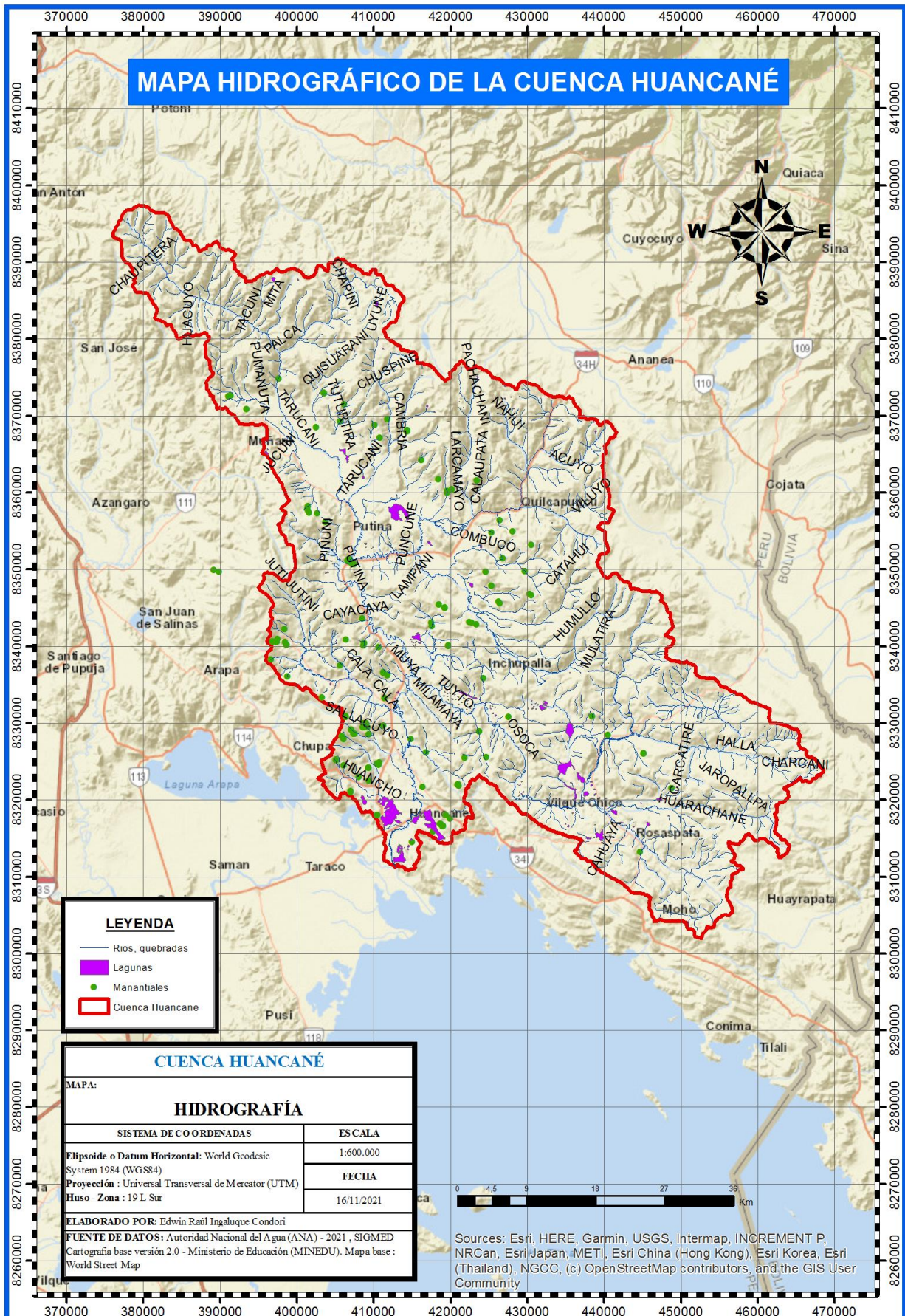
ANEXO 19: Mapa de capacidad de uso mayor de suelo



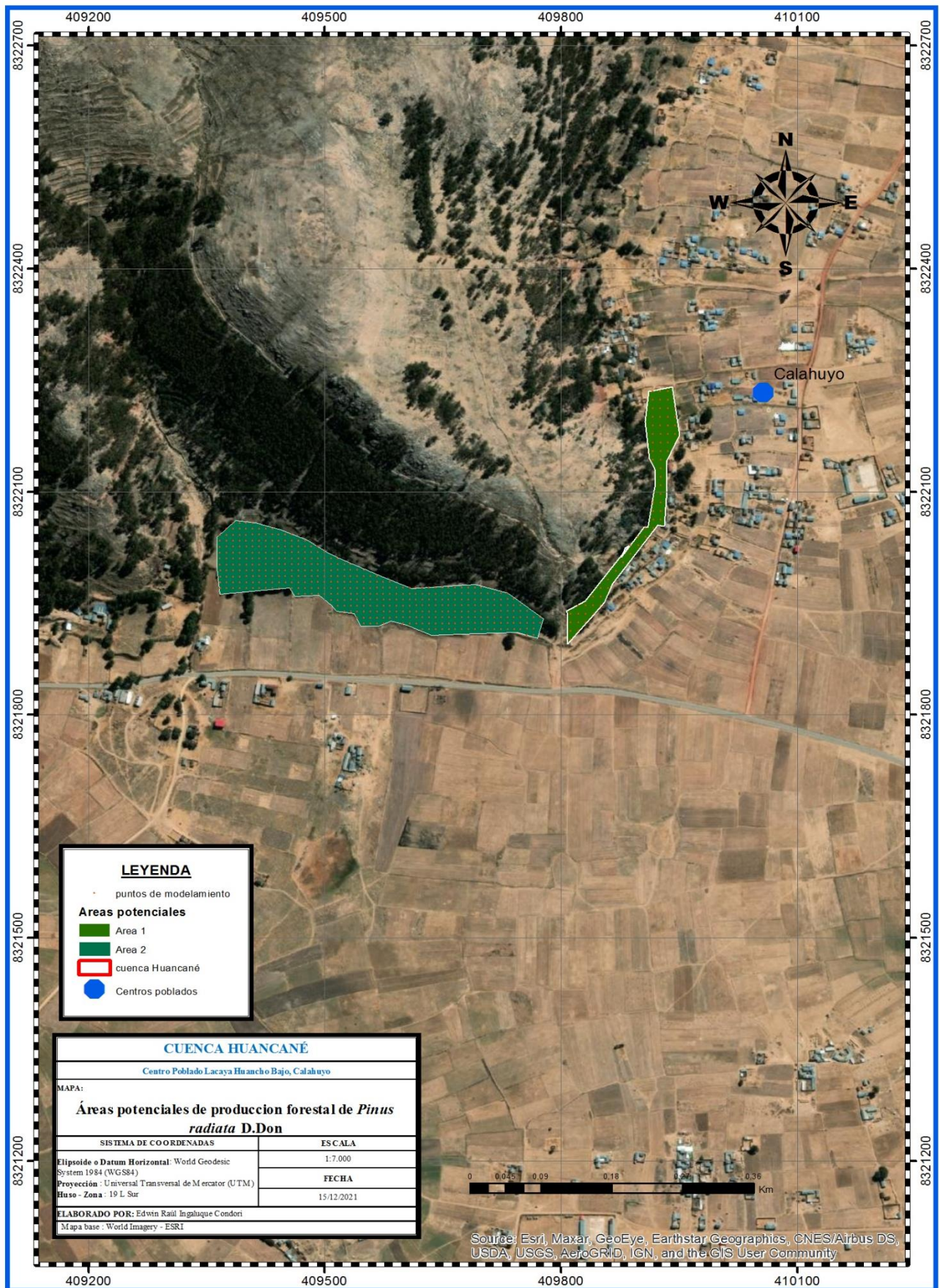
ANEXO 20: Mapa de uso actual del suelo



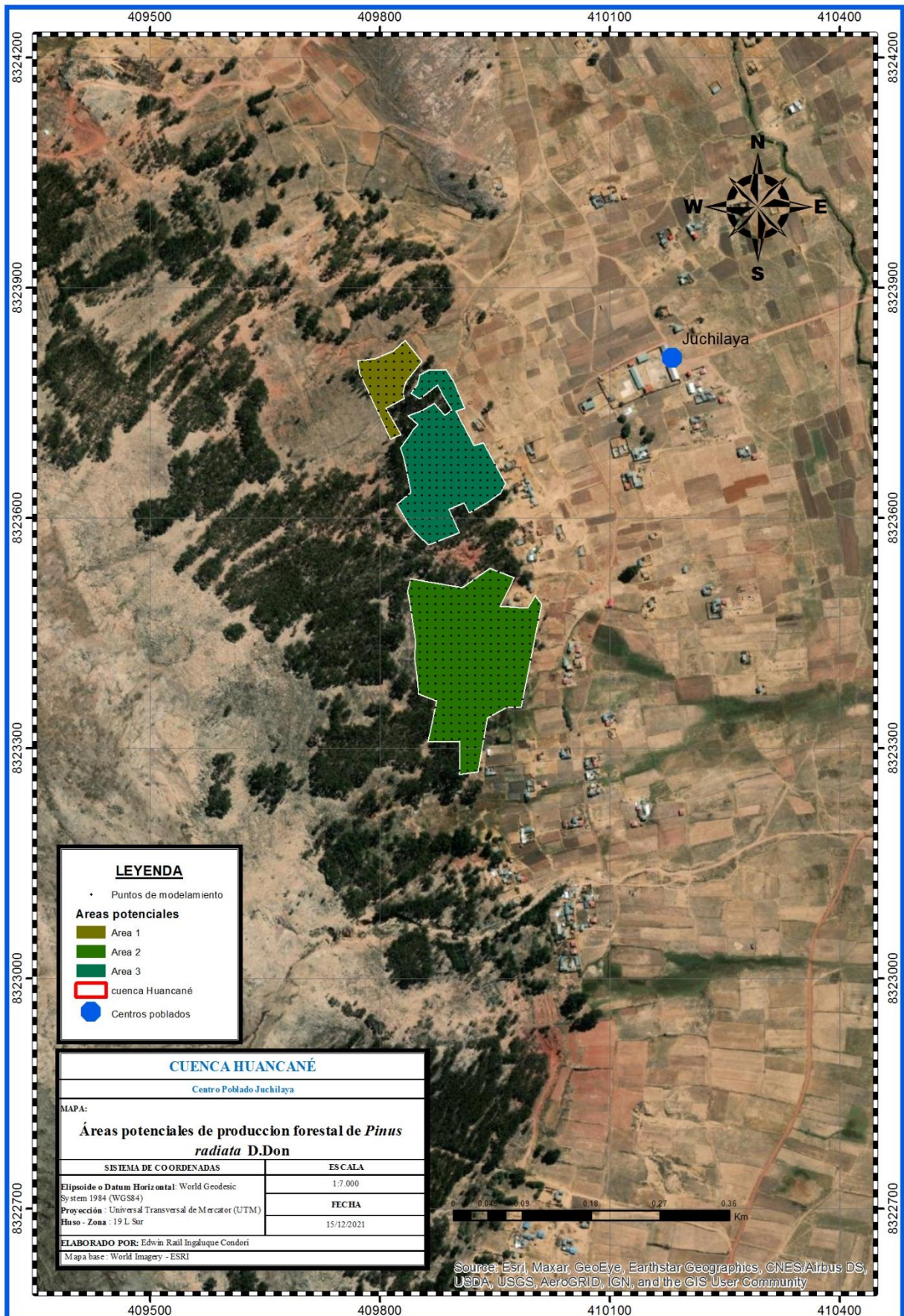
ANEXO 21: Mapa hidrográfico



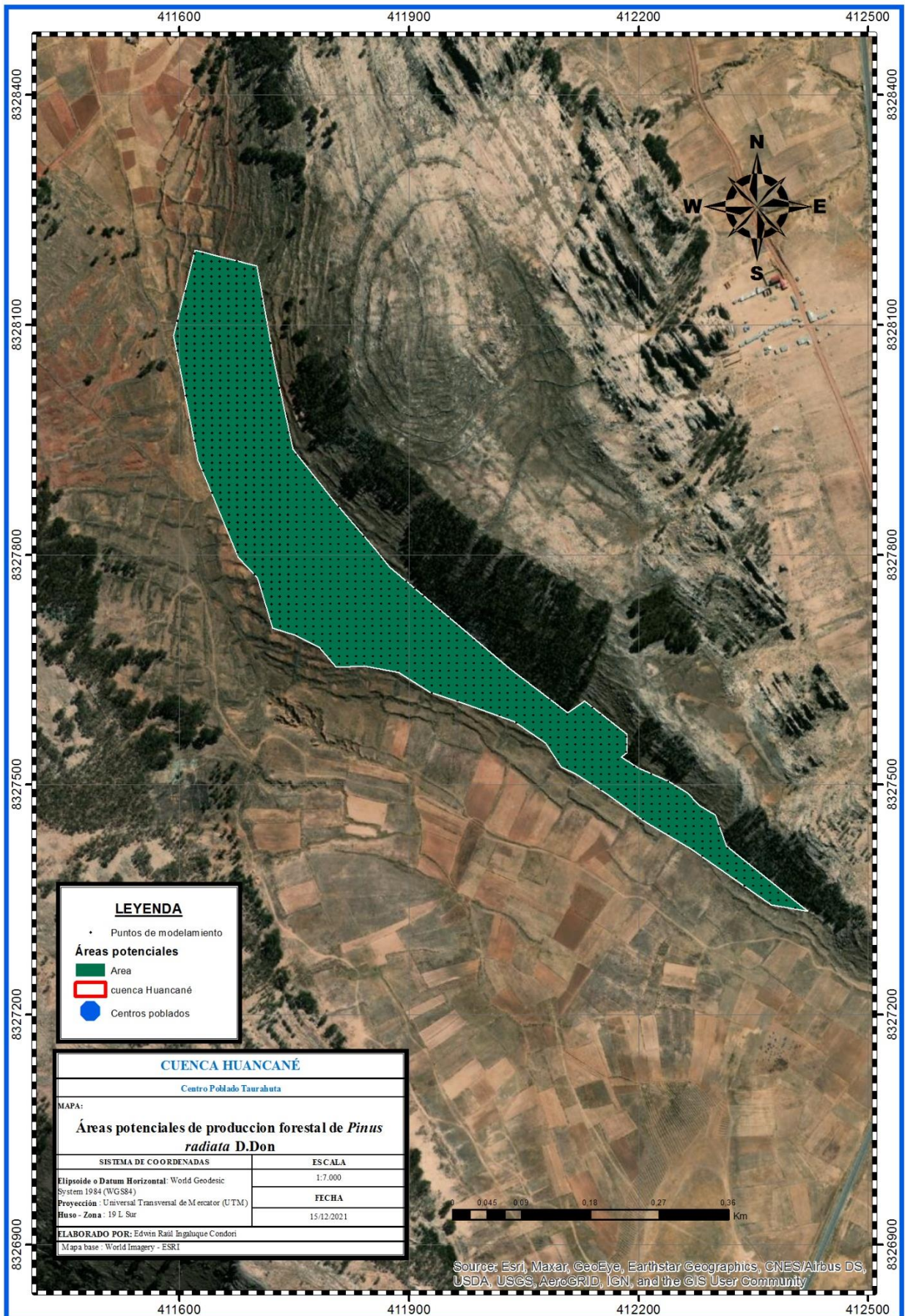
ANEXO 22: Mapa de áreas potenciales de producción forestal zona 1



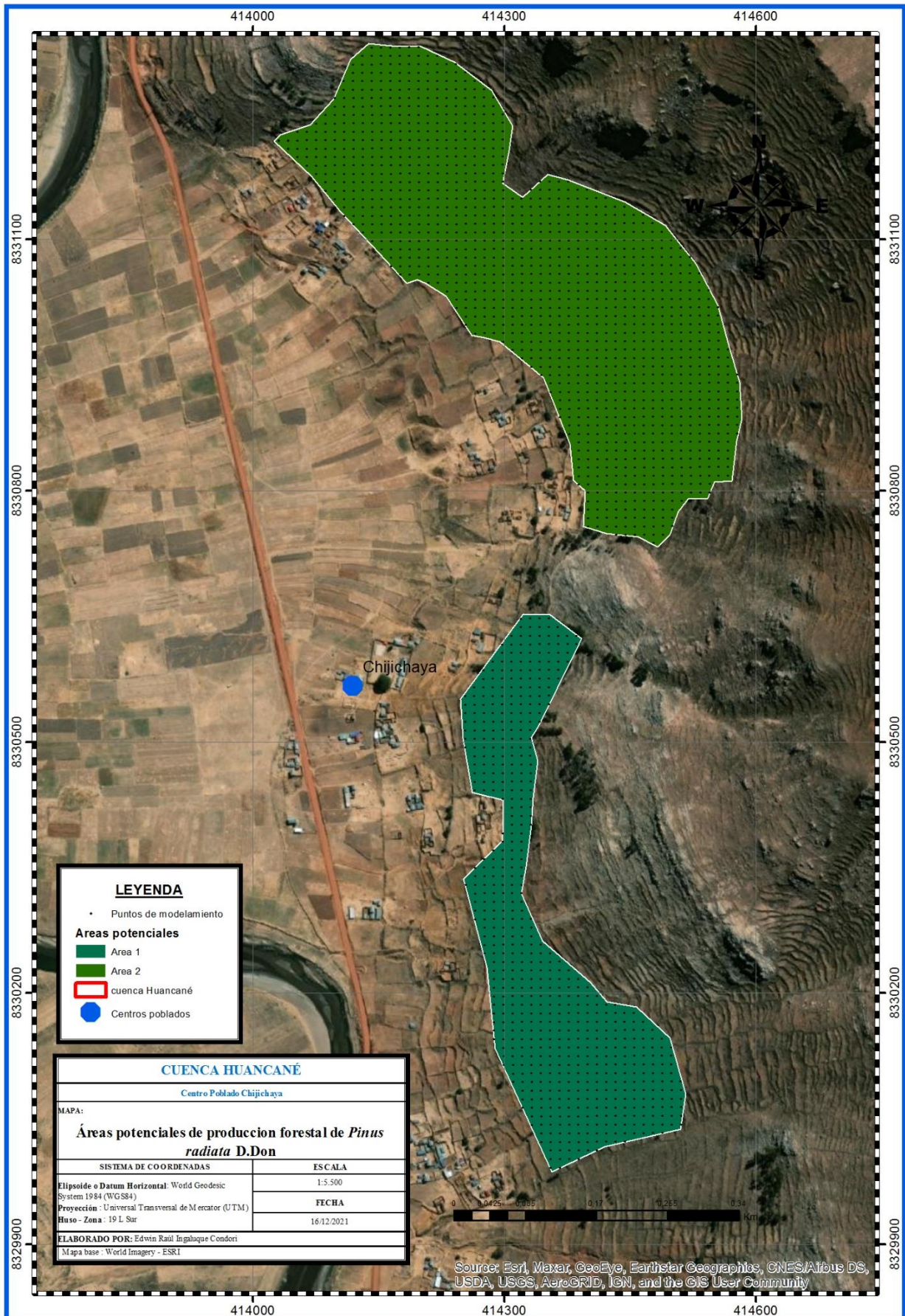
ANEXO 23: Mapa de áreas potenciales de producción forestal zona 2



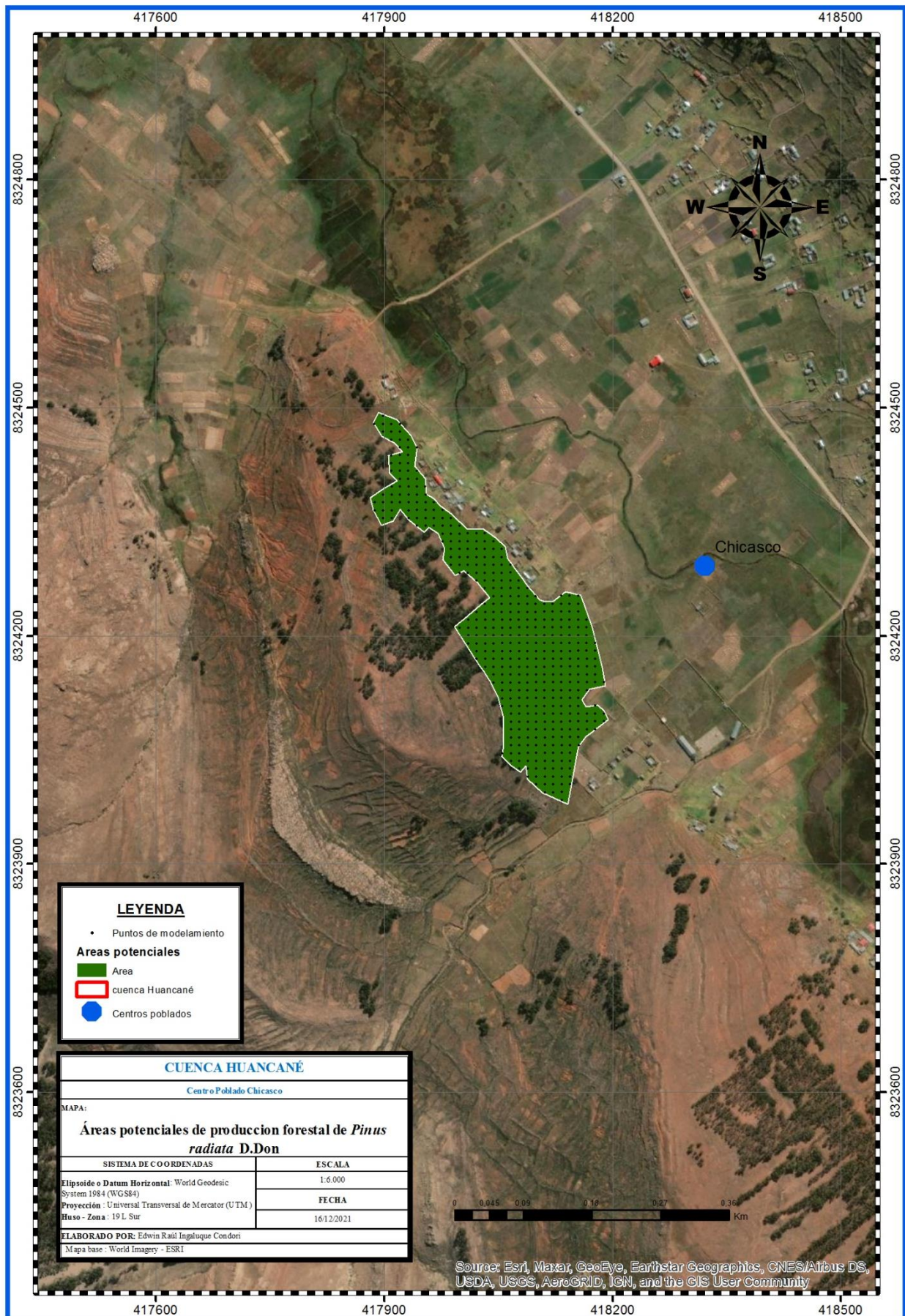
ANEXO 24: Mapa de áreas potenciales de producción forestal zona 3



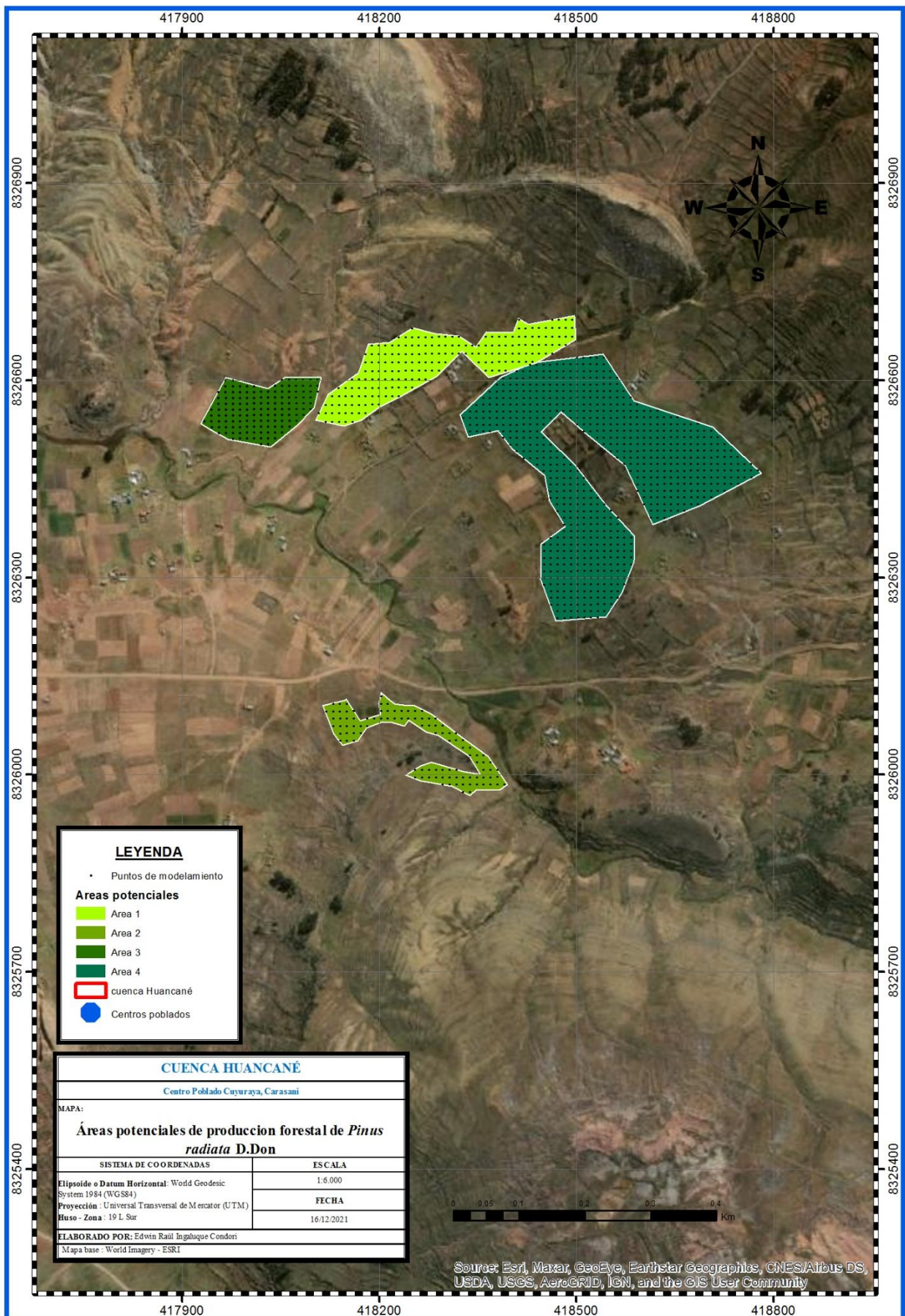
ANEXO 25: Mapa de áreas potenciales de producción forestal zona 4



ANEXO 26: Mapa de áreas potenciales de producción forestal zona 5



ANEXO 27: Mapa de áreas potenciales de producción forestal zona 6



LEYENDA

- Puntos de modelamiento
- Áreas potenciales**
- Area 1
- Area 2
- Area 3
- Area 4
- cuenca Huancané
- Centros poblados

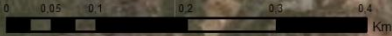
CUENCA HUANCANÉ
Centro Poblado Cuyuraya, Carasani

MAPA:

Áreas potenciales de producción forestal de *Pinus radiata* D.Don

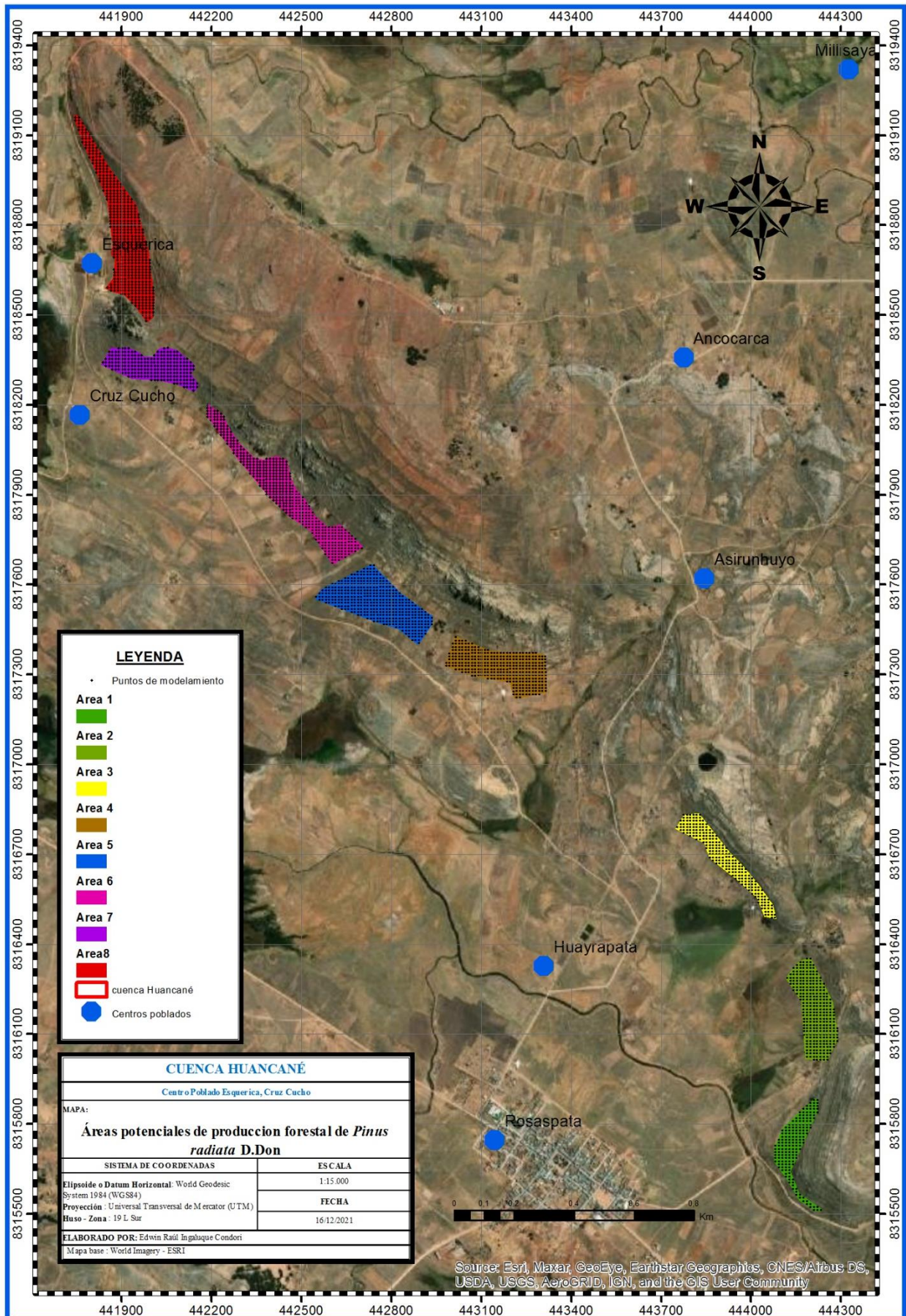
SISTEMA DE COORDENADAS	ESCALA
Elipsoide o Datum Horizontal: World Geodesic System 1984 (WGS84)	1:6.000
Proyección: Universal Transversal de Mercator (UTM)	FECHA
Huso - Zona: 19 L Sur	16/12/2021

ELABORADO POR: Edwin Raúl Ingañaque Condoni
Mapa base: World Imagery - ESRI

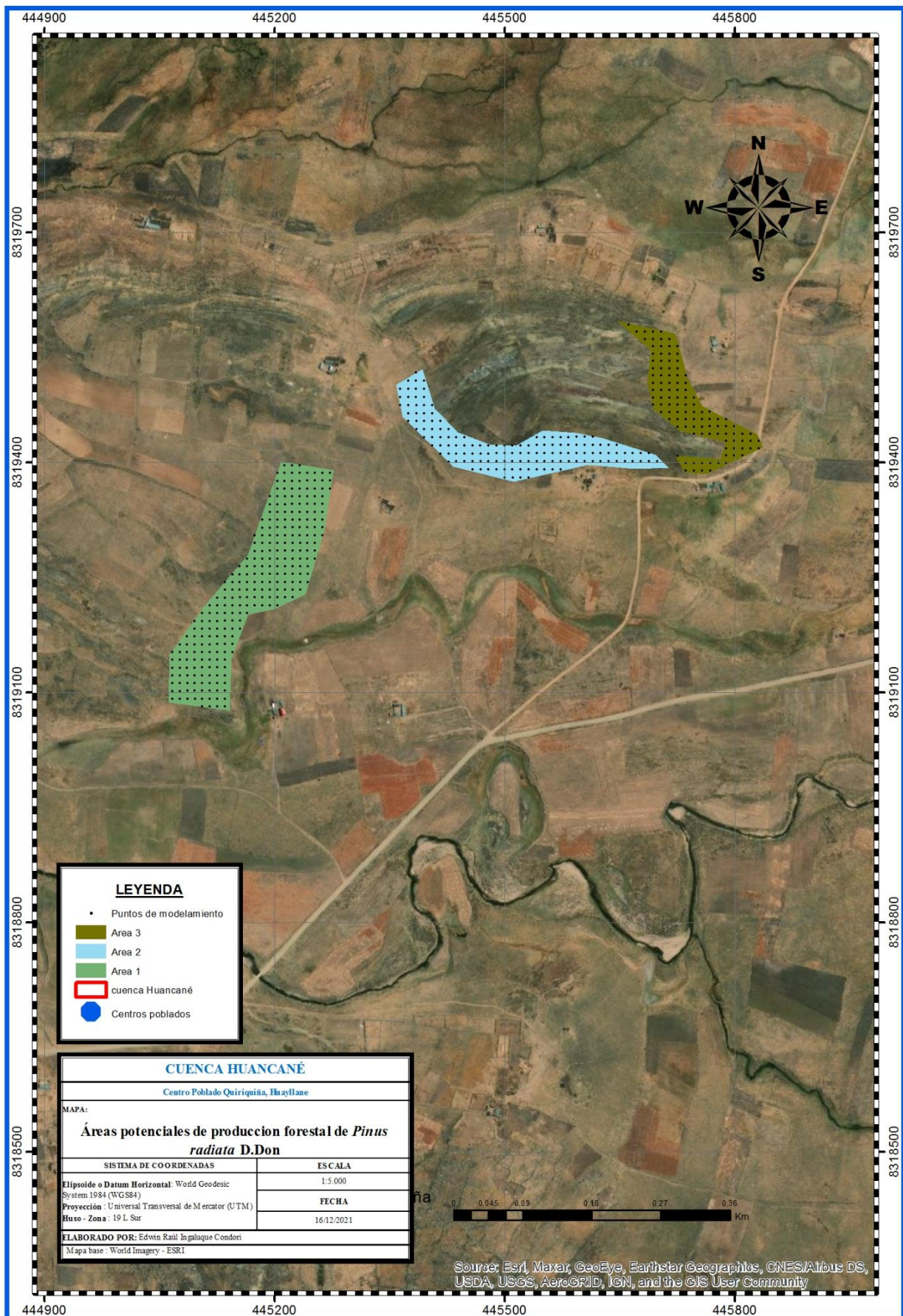


Source: Esri, Maxar, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

ANEXO 28: Mapa de áreas potenciales de producción forestal zona 7



ANEXO 29: Mapa de áreas potenciales de producción forestal zona 8



ANEXO 30: Panel fotográfico



Figura 34. Vista de frente de la zona 1



Figura 35. Vista de frente de la zona 2



Figura 36. Vista lateral de la zona 2



Figura 37. Vista de frente de la zona 3



Figura 38. Vista de frente de la zona 4



Figura 39. Vista de frente de la zona 5



Figura 40. Vista de frente de la zona 6



Figura 41. Vista de frente de la zona 7



Figura 42. Vista de frente de la zona 7



Figura 43. Vista de frente de la zona 8

ANEXO 31: AUC y test de *jackknife*

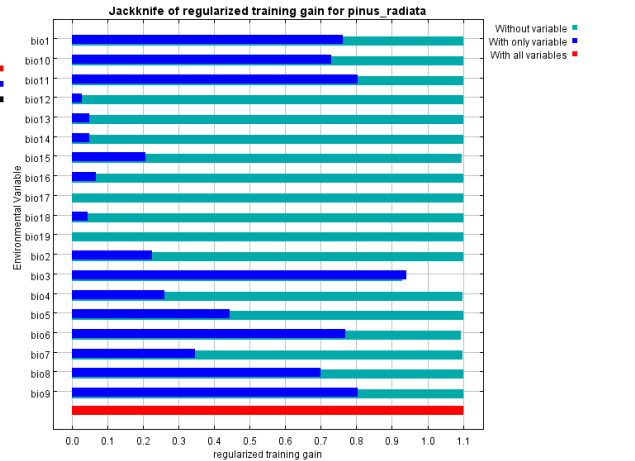
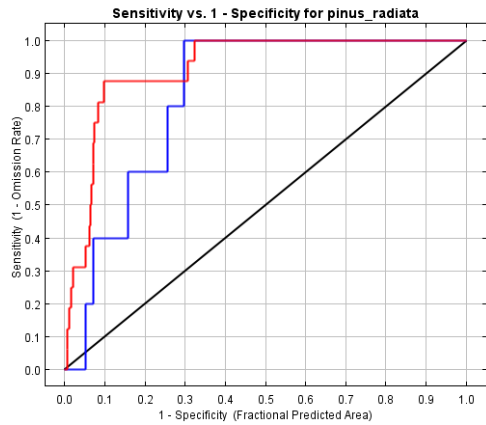


Figura 44. AUC (izquierda) y test de *Jackknife* del escenario RCP 2.6 (derecha)

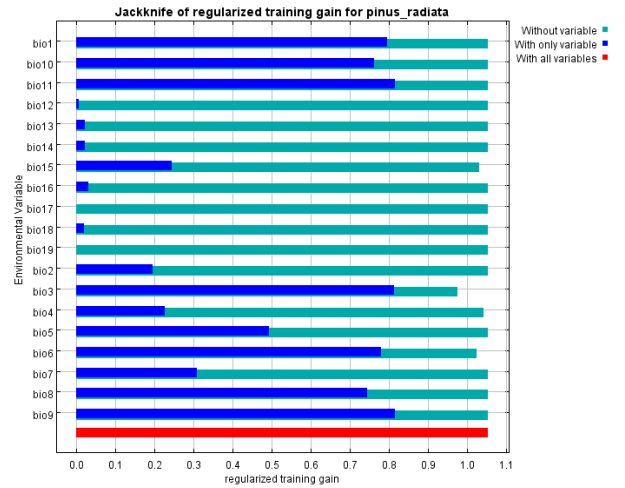
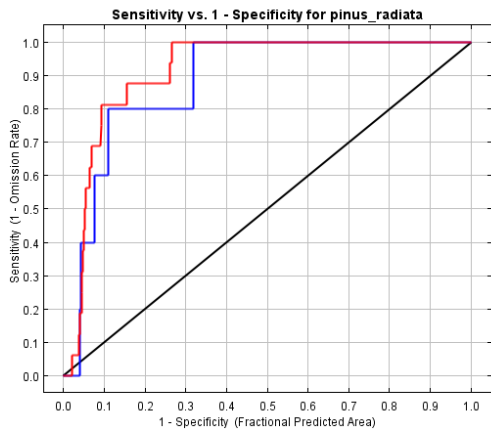


Figura 45. AUC (izquierda) y test de *Jackknife* del escenario RCP 8.5 (derecha)

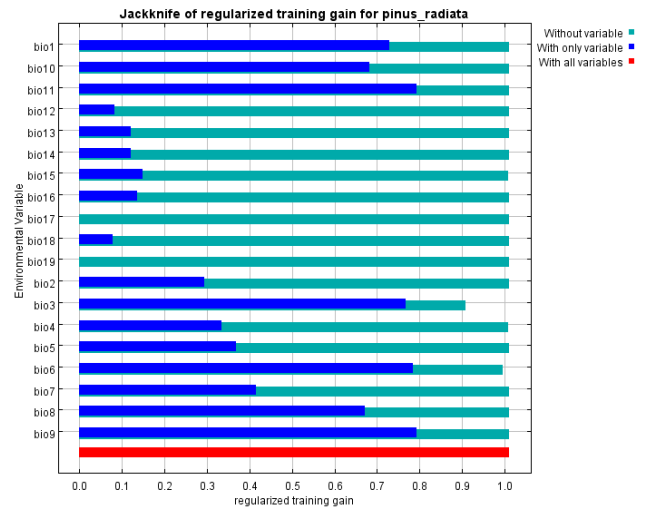
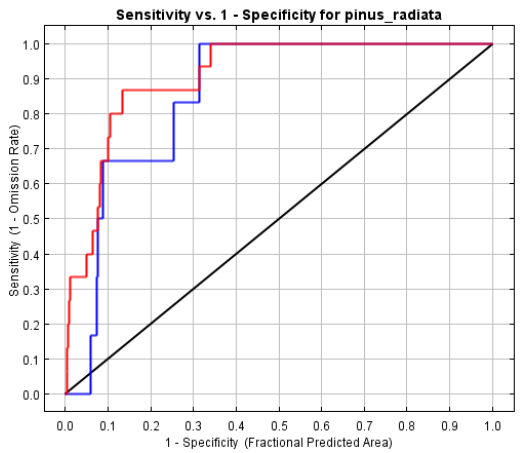


Figura 46. AUC (izquierda) y test de *Jackknife* del escenario RCP 4.5 (derecha)