

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA



TESIS:

**Cambio en la cobertura de uso de suelo mediante
clasificación supervisada en imágenes Sentinel 2,
distrito Chuschi - Ayacucho, 2016-2024**

Para optar el título profesional de:

BIÓLOGO, ESPECIALIDAD: ECOLOGÍA Y RECURSOS NATURALES

PRESENTADO POR:

Bach. Braulio Martin MENDIETA PACOTAYPE

ASESOR:

Dr. Edwin PORTAL QUICAÑA

COASESOR:

Mg. Wilmer Enrique MONCADA SOSA

AYACUCHO - PERÚ

2024

A mis padres y hermanas mi infinita gratitud.
A mi hija Arya D. mi inspiración.

AGRADECIMIENTOS

A la ilustre Real y Pontificia, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga; a la prestigiosa Facultad de Ciencias Biológicas, a mi Escuela Profesional de Biología, expreso mi más sincero agradecimiento a todos los docentes que con su erudición y experiencia han sido parte de mi formación profesional.

Al Centro de Culturas Indígenas del Perú, CHIRAPAQ, por permitirme formar parte de sus proyectos y así ayudar a mi comunidad.

Al Dr. Edwin Portal Quicaña, mi asesor; por su valiosa mentoría que hizo posible la culminación exitosa de la presente tesis.

Al Mg. Wilmer Enrique Moncada Sosa, por su asesoría y su valiosa intervención para culminar las tesis.

A mis padres, Eulalia y Juan, por su apoyo incondicional y ejemplo de dedicación que me ha motivado a alcanzar mis metas.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE GENERAL	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE ANEXOS	viii
RESUMEN	x
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	3
2.1. Antecedentes	3
2.1.1. Internacionales	3
2.1.2. Nacionales	5
2.1.3. Regionales	8
2.2. Marco conceptual	9
2.2.1. Cobertura	9
2.2.2. Cobertura de suelo	9
2.2.3. Uso de suelo	10
2.2.4. La cobertura y uso de suelo	10
2.2.5. Tiempo	10
2.2.6. Periodo de tiempo	10
2.2.7. Años calendarios	10
2.2.8. Dinámica de la cobertura de suelo	10
2.2.9. Clasificación de la cobertura de suelo	10
2.2.10. Porcentaje de tasa de cambio	11
2.2.11. Clasificación supervisada	11
2.3. Bases teóricas	11
2.3.1. Cambio de la cobertura de uso de suelo	11
2.3.2. Teledetección	13
2.3.3. Satélites Landsat	16
2.3.4. Satélites Sentinel	17
2.3.5. Imágenes satelitales	19
2.3.6. Procesamiento de imágenes satelitales	21
2.3.7. Imágenes Sentinel 2 de nivel 2	22
2.3.8. Metodología Corine Land Cover (CLC)	23
2.3.9. Corine Land Cover adaptado para Perú	24
2.3.10. Sistema de clasificación CLC (Corine Land Cover) para el Perú	24

2.3.11. Dinámica EGO	26
2.3.12. ArcGIS	27
2.3.13. Modelos de cambio de cobertura de suelo	28
2.3.14. Estimación de la tasa de cambio de cobertura	29
2.3.15. Creación de matrices de confusión	29
2.3.16. Índice de Kappa (K)	30
2.4. Marco legal	30
III. MATERIALES Y METODOS	32
3.1. Ubicación de la zona de estudio	32
3.1.1. Ubicación política del distrito de Chuschi	32
3.1.2. Ubicación geográfica del distrito de Chuschi	32
3.2. Población y muestra	34
3.2.1. Población	34
3.2.2. Muestra	34
3.3. Metodología y recolección de datos	34
3.3.1. Recolección de datos	34
3.3.2. Creación de colores RGB de las imágenes satelitales	35
3.3.3. Corte de la imagen de la zona de estudio	35
3.3.4. Clasificación supervisada interactiva	35
3.3.5. Corrección del ráster creado del distrito de Chuschi	35
3.3.6. Conversión de ráster a polígono y eliminación de píxeles	36
3.3.7. Cálculo de las áreas de las clases identificadas	36
3.3.8. Verificación y creación de matriz de confusión	36
3.3.9. Análisis multicriterio para la simulación de la cobertura de uso de suelo del distrito de Chuschi al año 2030	37
3.3.10. Análisis de la cobertura y uso de suelo del distrito de Chuschi	38
3.3.11. Creación de matriz de confusión	38
3.3.12. Determinación de índice de Kappa (K)	38
3.3.13. Estimación de la tasa de cambio (TC)	38
3.3.14. Elaboración de mapas temáticos	39
3.4. Tipo de investigación	39
3.5. Análisis de datos	39
IV. RESULTADOS	40
V. DISCUSIÓN	52
VI. CONCLUSIONES	57
VII. RECOMENDACIONES	58
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
ANEXOS	63

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Características de las bandas Landsat 8.	16
Tabla 2. Características de las bandas Landsat 9.	17
Tabla 3. Resolución de las bandas del Sentinel-2.	19
Tabla 4. Combinación de bandas (B) en imágenes satelitales de Sentinel 2.	19
Tabla 5. Sistema de clasificación CORINE Land Cover adaptada para Perú.	25
Tabla 6. Secuencia de pasos a seguir por el software Dinámica EGO. Para la modelación de cobertura de suelo del distrito de Chuschi.	27
Tabla 7. Valoración del índice Kappa.	30
Tabla 8. Coordenadas del distrito Chuschi capital.	32
Tabla 9. Códigos de las imágenes satelitales Sentinel 2 nivel 2A, del servidor Copernicus Data Space.	34
Tabla 10. Clases de cobertura de uso de suelo, identificadas para el distrito de Chuschi, modificado de la Leyenda Corine Land Cover adaptada para el Perú por el MINAM.	41
Tabla 11. Cobertura de uso de suelo del distrito de Chuschi, provincia Cangallo, Ayacucho; en km ² desde el año 2016 al 2024.	42
Tabla 12. Promedio de cobertura de uso de suelo expresado en km ² y porcentaje para el distrito de Chuschi, Cangallo. Adaptada de la leyenda CLC para el Perú, Ayacucho 2016-2024.	43

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Proceso de la teledetección.	14
Figura 2. Espectro electromagnético en la región visible (longitudes de onda λ en metros).	
Figura 3. Diferencia de una imagen Sentinel 2, entre el nivel 1C (no procesada) y nivel L2A (procesada).	23
Figura 4. Proceso de una representación cartográfica, utilizada por el MINAM para la adaptación de la clasificación Corine Land Cover para el Perú.	24
Figura 5. Proceso general de procesamiento de una imagen satelital.	25
Figura 6. Mapa de ubicación del distrito de Chuschi, Cangallo, Ayacucho 2024.	33
Figura 7. Mapa temático del promedio de cambio de coberturas de uso de suelo expresado en porcentaje, del distrito de Chuschi, Cangallo; Ayacucho 2016-2024.	44
Figura 8. Tasa de cambio del año 2016 y 2024 vs las coberturas de uso de suelo del distrito de Chuschi, Ayacucho 2024.	45
Figura 9. Distrito de Chuschi imagen RGB Sentinel 2A (A), clasificación de coberturas de uso de suelo del distrito de Chuschi para el año 2024 (B) Ayacucho 2024.	46
Figura 10. Clasificación de coberturas de uso de suelo del distrito de Chuschi para el año 2016 (B), distrito de Chuschi imagen RGB Sentinel 2A (A). Ayacucho 2024.	47
Figura 11. Diferencia en km ² (+) aumento y (-) pérdida; para cada cobertura del año 2024 menos el año 2016 del distrito de Chuschi, Ayacucho.	48
Figura 12. Probabilidad de cambio de cobertura de uso de suelo del distrito de Chuschi para el año 2030, Ayacucho 2024.	49
Figura 13. Probabilidad de cambio de cobertura a otra; para el distrito de Chuschi al año 2030, Ayacucho 2024.	50
Figura 14. Mapa de clasificación de cobertura de uso de suelo del año 2030 (probable); para el distrito de Chuschi, Ayacucho 2024.	51

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Ficha de registro del levantamiento topográfico, puntos de 64 verificación para la clasificación del cambio de cobertura de uso de suelo del distrito de Chuschi, Ayacucho 2024.	
Anexo 2. Índice de Kappa de Cohen, concordancia de clasificación de 65 cobertura de uso de suelo del año 2016 al 2024 del distrito de Chuschi, Ayacucho 2024.	
Anexo 3. Áreas quemadas durante el periodo 2016 al 2024 en el distrito de 66 Chuschi, Ayacucho 2024.	
Anexo 4. Puntos de control (•) para la clasificación de coberturas de uso de 67 suelo del año 2024 del distrito de Chuschi, Ayacucho 2024.	
Anexo 5. Tabla de coberturas identificadas (gridcode), se muestra 83327 68 celdas de cobertura distribuidas en todo el distrito de Chuschi, Cangallo, Ayacucho 2024.	
Anexo 6. Proceso de creación de una matriz de confusión, herramienta 69 local-combinar y posterior tabla pivot. Ayacucho 2024.	
Anexo 7. Matriz del proceso final de simulación de cambio de cobertura de 70 uso de suelo en el software Dinámica EGO, para el año 2030 del distrito de Chuschi, Ayacucho 2024.	
Anexo 8. Tasas de cambio calculada para cada año desde el 2016 al 2024 71 para las coberturas de uso de suelo del distrito de Chuschi, Ayacucho 2024.	
Anexo 9. Matriz de confusión del año 2023, para estimar el índice de 72 Kappa, error de omisión y comisión, para la clasificación de cobertura de uso de suelo del distrito de Chuschi, Ayacucho 2024.	
Anexo 10. Clasificación de cobertura de uso de suelo del distrito de Chuschi, 73 Ayacucho desde el año 2016 al 2024.	
Anexo 11. Vista panorámica de la cobertura afloramientos rocosos. Sitio 74 Sacani, altitud 4163 msnm del distrito de Chuschi, Ayacucho 2024.	
Anexo 12. Vista de la cobertura cultivos permanentes (pastos), Sitio 75 Sulcaray a 3787 msnm del distrito de Chuschi, Ayacucho 2024.	
Anexo 13. Vista panorámica de la cobertura tejido urbano, comunidad 76 campesina de Quispillaccta y Chuschi, Ayacucho 2024.	

Anexo 14.	Vista de la cobertura Herbazal sitio Ccasapata a 4262 msnm en el distrito de Chuschi, Ayacucho 2024.	77
Anexo 15.	Vista de la cobertura Aguas continentales sitio Ccorihuaylla a 4028 msnm en el distrito Chuschi, Ayacucho 2024.	78
Anexo 16.	Vista de la cobertura tierras desnudas a 4317 msnm en el distrito Chuschi, Ayacucho 2024.	79
Anexo 17.	Vista panorámica de cobertura mixta herbazal y tejido urbano discontinuo en el distrito de Chuschi, Ayacucho 2024.	80
Anexo 18.	Vista panorámica de la cobertura bosque denso alto Cuchoquesera a 3754 msnm, distrito Chuschi, Ayacucho 2024.	81
Anexo 19.	Vista panorámica de la cobertura Humedal sitio Totora a 3444 msnm, distrito de Chuschi, Ayacucho 2024.	82
Anexo 20.	Vista panorámica de la cobertura cultivos transitorios en el distrito de Chuschi, Ayacucho 2024.	83
Anexo 21.	Exactitud global de la clasificación de imágenes del distrito de Chuschi para cada año desde el 2016 al 2024.	84
Anexo 22.	Matriz de consistencia.	85

RESUMEN

A lo largo de la historia humana, el uso y la cobertura del suelo han cambiado gradualmente en respuesta a las necesidades de las sociedades, llevando en muchos casos a su modificación completa de su medio. En ese sentido esta investigación llevada a cabo en el distrito de Chuschi, provincia Cangallo, departamento Ayacucho, tiene como objetivo medir dicho cambio usando imágenes Sentinel 2 del nivel 2A; que pertenecen a la Agencia Espacial Europea (ESA), mediante clasificación supervisada interactiva. Se tomó 9 imágenes satelitales que resultó de poner el filtro análisis de la tierra para su búsqueda en la plataforma; entre los meses de julio, agosto y setiembre por la poca probabilidad de encontrar nubes (menores a 30% de nubosidad), desde el año 2016 al 2024, que fueron procesados en el software QGIS 3.36.3 y ArcGIS 10.8.2; por otro lado, se hizo una proyección hacia el año 2030, con el software Dinámica EGO 8.0. Se halló 11 coberturas permanentes y una eventual para el distrito de Chuschi, la más extensa cobertura Herbazal con 280,02 km², seguida de cultivos transitorios con 39,17 km² y la más pequeña aguas continentales con 2,78 km² del total del territorio chuschino; importante la cobertura eventual fue áreas quemadas que alcanzó a 4,65 km² en el año 2016. Para la verificación en campo se tomó 300 puntos lo cual fue comparado con la clasificación del año 2024, obteniendo un índice de Kappa que va desde 0,70 a 0,83 indica que hay buena concordancia de la clasificación con la realidad. Las coberturas que más tasa de cambio tiene comparando el año 2016 y 2024 son: Áreas arenosas naturales que aumentó en 5,13 km², seguido de tierras desnudas en 2,66 km², la cobertura que menos cambio fue herbazal con 0,17 km² y la cobertura que más disminuyó fue afloramientos rocosos de 1,69 km². La proyección para el año 2030, la cobertura que tiene más probabilidad de cambiar es aguas continentales a bosque denso alto con una $p=0,38$ y la más baja considerable es tierras desnudas a áreas arenosas naturales con una $p=0,11$.

Palabras clave: Cobertura de suelo, uso de suelo, imágenes satelitales, Sentinel 2, clasificación supervisada, Dinámica EGO, distrito de Chuschi.

I. INTRODUCCIÓN

A escala mundial, la modificación en el uso del suelo es identificada como uno de los principales retos ambientales en el marco del cambio climático y la disminución de la biodiversidad. La expansión de áreas urbanas, la deforestación y el cambio en las prácticas agrícolas han alterado significativamente los ecosistemas naturales, afectando tanto la resiliencia de los paisajes como su capacidad para mitigar emisiones de gases de efecto invernadero. Según el CEPLAN, (2023), la intervención humana en los paisajes naturales ha acelerado la degradación de suelos, la escasez de recursos hídricos y la pérdida de hábitats críticos, comprometiendo la sostenibilidad de los ecosistemas y la seguridad alimentaria. En el Perú, el cambio en la cobertura de uso de suelo tiene implicaciones directas sobre las comunidades locales, especialmente en áreas rurales. En particular, la región de Ayacucho, caracterizada por su geografía montañosa y su diversidad ecológica, ha sido objeto de transformaciones significativas debido a factores como la intensificación agrícola y las fluctuaciones climáticas.(Cruz et al., 2020). Para el distrito de Chuschi, estos cambios no fueron ajenos, sin embargo, con exactitud no existe registro científico que respalde los cambios ocurridos a lo largo de su historia. Para analizar estos cambios, existe numerosas metodologías entre ellas la utilización de imágenes satelitales como las de Lansat, Sentinel, Perú Sat, (grupo de satélites), herramientas poderosas en el campo de la teledetección. Las imágenes Sentinel-2, proporcionadas por la Agencia Espacial Europea (ESA), ofrecen una alta resolución espacial y radiométrica, lo que las hace ideales para estudios en clasificación de cobertura de uso de suelo (Borrás et al., 2017). La clasificación supervisada es una técnica que permite identificar y categorizar diferentes tipos de cobertura de suelo mediante algoritmos que aprenden a partir de muestras conocidas (Alonso, 2019a). Este método ha demostrado ser eficaz en la detección de cambios en áreas agrícolas, urbanas y naturales.

En el contexto del distrito de Chuschi, la aplicación de técnicas de clasificación supervisada permite mapear y cuantificar los cambios de la cobertura de uso de suelo, proporcionando información valiosa en la planificación territorial y la conservación ambiental. Para Sahagún-Sánchez & Reyes-Hernández, (2018). Los resultados de este estudio no solo destacan la utilidad de las imágenes Sentinel-2, sino también la importancia de la teledetección en la gestión de recursos naturales.

Por tal motivo el presente estudio tiene como objeto analizar los cambios en la cobertura de uso de suelo del distrito de Chuschi, provincia Cangallo, departamento Ayacucho, entre los años 2016 al 2024, utilizando imágenes del satélite Sentinel-2 del nivel 2A mediante clasificación supervisada. La investigación busca proporcionar evidencias de las dinámicas espaciales y temporales que han tenido lugar en este periodo, con el fin de contribuir a una mejor comprensión de los patrones de uso del suelo y sus implicaciones socioambientales.

Objetivo general

Evaluar el cambio en la cobertura de uso de suelo mediante clasificación supervisada en imágenes Sentinel 2, del distrito Chuschi en la provincia de Cangallo de la región Ayacucho, durante el periodo del 2016 al 2024.

Objetivos específicos

1. Determinar las clases de cobertura de uso de suelo mediante clasificación supervisada en imágenes Sentinel 2, en el distrito de Chuschi en el periodo 2016 al 2024
2. Cuantificar la variación de cobertura de uso de suelo del distrito de Chuschi del periodo 2016 al 2024.
3. Estimar la tasa de cambio de cobertura de uso de suelo en el distrito de Chuschi periodo 2016 al 2024.
4. Realizar un análisis multicriterio para la simulación de la cobertura de uso de suelo del distrito de Chuschi para el 2030.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Internacionales

En Ecuador Rosero, (2018), realizó un análisis multitemporal para evidenciar cambios de uso y cobertura vegetal, utilizando datos satelitales Landsat de 1991, 2017 y Aster del año 2001. Su meta principal consistió en examinar las fluctuaciones en la modificación del uso del suelo y la cobertura de vegetación en la cuenca del río Tahuando. Para detectar estas fluctuaciones, se utilizaron métodos de teledetección en las imágenes satelitales de 1991, 2001 y 2017. Adicionalmente, se definieron cinco categorías que son las principales causas que influyen en la transformación del uso del suelo, tales como: agricultura, ganadería, áreas habitadas, cuerpos de agua y cobertura de vegetación, las cuales se cuantificaron para cada imagen satelital. En el año 2017, mediante el método de clasificación supervisada, se registró que la agricultura ocupó 16,826 ha; la ganadería ocupó 2,479 ha; se observaron 3,719 ha en áreas pobladas, los cuerpos de agua ocuparon 232 ha y la cobertura vegetal alcanzó 11,801 ha. Adicionalmente, se calculó la tasa de deforestación en -0,12% durante el periodo 1991-2017, con una reducción de 15 hectáreas anuales debido a la variación en el uso del suelo o la disminución de la cobertura de vegetación. Para comprender las transformaciones que sufrirá la cuenca hidrográfica, se llevó a cabo una proyección desde el 2017 hasta el 2031, demostrando que, durante los próximos 14 años, la cobertura de vegetación de la cuenca experimentará variaciones positivas y negativas. Estos se manifiestan en la disminución de 17 hectáreas anuales en comparación con la agricultura y 18 hectáreas anuales de cobertura vegetal. Asimismo, asume que habrá un aumento de 0,35 ha anuales en áreas destinadas a la ganadería y de 32 ha anuales para áreas urbanas.

Por otro lado, en el Parque Estatal Cañón de Fernández, en la cuenca baja del río Nazas, México. Leija et al., (2020), ante la problemática de la demanda para

satisfacer las necesidades de la región, principalmente para en la agricultura y la creciente población. Se propuso analizar las variaciones en las coberturas naturales y las aplicaciones del suelo en la cuenca baja del Río Nazas durante el periodo de 1990 a 2016. Mediante el análisis visual de imágenes satelitales de Landsat TM y ETM, se crearon las bases de datos de cobertura vegetal y utilización del suelo. El matorral xerófilo y el bosque de galería constituían las coberturas naturales en 2016. Durante veintiséis años, el 32,1% de las coberturas naturales fueron deforestadas. Resulta imprescindible establecer políticas públicas que respalden el uso sostenible del agua y la preservación de los ecosistemas en esta zona de características de sequedad.

De igual manera en la amazonia boliviana Peralta-Rivero et al., (2015) llevaron a cabo un estudio sobre las variaciones en la cobertura del suelo, enfocándose principalmente en la deforestación, en el municipio de Riberalta, en la Amazonía del país. Usó la percepción remota y los sistemas de información geográfica para calcular las tasas de variación en las coberturas de suelo y la deforestación. Las imágenes que empleo en el análisis fueron Landsat TM 5 de los años 1986, 2000 y 2011. Se cuantificaron las variaciones en las coberturas y se empleó cartografía para reconocer y trazar el mapa de las áreas más impactadas. Diversas técnicas de identificación de la deforestación fundamentadas en SIG evidenciaron que la disminución de vegetación ha sucedido mayormente en la categoría de bosques, con un índice de cambio del -0.22% entre 1986-2000 y del -0.74% entre 2000 y 2011. La acumulación de deforestación alcanzó los 885.55 km² y se produjo mayoritariamente en propiedades privadas (314.08 km²), seguidos por comunidades rurales. Del mismo modo, la restauración de la cobertura de bosques fue quince veces inferior a la tala. Concluyó que los procesos de deforestación se intensificaron entre los años 2000 al 2011, con un notable aumento en las coberturas no originales, como la vegetación secundaria, pasto, terreno expuesto y zonas urbanas. Los principales actores en la deforestación fueron las propiedades privadas y no de las zonas indígenas. La deforestación es más marcada en las regiones norte y noreste del municipio, lugares donde se encuentran las rutas de transporte más importantes. Este aumento en la deforestación podría señalar tendencias futuras de deforestación y alteraciones en la utilización del suelo para toda la región amazónica boliviana. Es esencial enfocarse más en este municipio para llevar a cabo medidas preventivas de administración y conservación de la cobertura forestal y la biodiversidad.

Moreno et al., (2017); en Argentina, en la región norte de la ciudad de Salta, en la Sierra de Vaqueros, donde el piedemonte está urbanizado. El impacto humano en el entorno serrano estableció la necesidad de calcular las tasas de erosión, identificar las distintas formas de pérdida de suelos y realizar su estudio. Utilizó imágenes satelitales para elaborar los mapas básicos y temáticos requeridos de las microcuencas de los arroyos Vaqueros y Los Nogales, a través del uso de un Sistema de Información Geográfica (SIG). Esto le facilitó describir los campos de estudio y obtener los datos requeridos para implementar la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE). Los factores R, K y LS lo consiguieron a través de modificaciones del método, debido a la falta de datos definidos por los autores. La tasa actual de pérdida de terreno se alinea con una tasa de 47 t/ha/año para la microcuenca de Vaqueros y de 45 t/ha/año para la del arroyo Los Nogales. Las distintas clases de erosión se identificaron y examinaron teniendo en cuenta la interrelación de los factores que intervienen. Para alcanzar una mejor calidad ambiental, se plantearon acciones simples con el objetivo de influir en los elementos que pueden ser alterados.

2.1.2. Nacionales

En nuestro país, Poma (2018), en el departamento de Cajamarca, distrito de Namora, decide analizar el cambio de cobertura y uso de la tierra con imágenes satelitales del distrito en el período 2000 – 2016, con la metodología de obtención de imágenes satelitales de Landsat 5 y Landsat 8, para clasificarlo, utilizó la leyenda CORINE Land Cover-CLC en un nivel III, se aplicó la metodología del Ministerio del Ambiente MINAM para la creación de mapas temáticos de cobertura y uso de la tierra. Los resultados se consiguieron al identificar las siguientes clases de cobertura y aplicación de la tierra: tejido urbano continuo, Pastos, diversas áreas agrícolas, Bosques cultivados, Herbazal, Arbustal, Afloramiento rocoso, alcanzando hasta el nivel III en algunas de las coberturas. En relación a los porcentajes de las categorías, el valor más elevado se registró en mosaico de pastos y cultivos 28%, según el mapa de uso del suelo y cobertura vegetal, donde se experimentaron cambios 9151,86 ha correspondientes al 58,10% y no hubo 6600.30 ha equivalente al 41,90%. En resumen, las principales razones de las alteraciones en la cobertura de las plantas son los efectos antropogénicos.

Igualmente, Cabana (2017); en su estudio realizado en el distrito de Paratia, ubicado en la provincia de Lampa, departamento de Puno, a una altitud de 4,390 msnm, llevó a cabo un análisis multitemporal de la variación en la cobertura del

suelo en el distrito de Paratía durante los años 1988-2016 utilizando como datos fundamentales imágenes de los sensores Landsat. Además, estableció las razones geográficas que inciden en la dinámica de variación de la cobertura del suelo. Resultó que los cambios en la cobertura del suelo en el distrito de Paratía durante el periodo 1988-2016 presentan variaciones importantes, dado que el cambio de superficies se produce de manera constante a lo largo del tiempo. Para la cobertura vegetal se registra una tasa promedio de disminución anual de -0.05% (-123,30 ha) en relación a su superficie inicial (1998), para los cuerpos de agua se registra una tasa promedio de disminución anual de -0,23% (-1,54 ha) en relación a su superficie inicial, mientras que el suelo desnudo presenta una tasa promedio de aumento anual de 0,26% (19,59 ha) en relación a su superficie inicial (1988), mientras que la superficie de las rocas presenta una tasa promedio. Por lo tanto, se deduce que la evaluación de los patrones de cobertura espacial actuales y venideros en el área de estudio nos facilita determinar el cambio hacia un riesgo de desertificación. No obstante, el peligro solo se materializará si las prácticas de aprovechamiento del suelo de la región son perjudiciales para el entorno natural. Respecto a las causas espaciales, se estableció que la minería es la causa espacial con más impacto en la dinámica de transformación del suelo. En cuanto a las tasas de cambio de la cobertura del suelo, el área de estudio presenta un panorama desfavorable dado que la cobertura vegetal y los cuerpos de agua exhiben tasas con tendencias negativas a nivel del sistema.

Asimismo en la región Cuzco, Piero (2021), en su trabajo de tesis obtuvo información cuantitativa y cualitativa del entorno geográfico de la cuenca de Chuyapi, para analizar la variación en el uso del suelo y la cobertura vegetal durante 24 años a través de imágenes satelitales, identificando la variación del coeficiente de escurrimiento, con el fin de proponer un diseño, organización y administración apropiada del recurso hídrico. El primer objetivo fue establecer las características biofísicas de la cuenca Chuyapi, reconociéndola como una cuenca joven con alta descarga de agua, con una curva hipsométrica de pendiente elevada, evidenciando una propensión a la erosión en el terreno próximo al río. Además, la capacidad de uso superior CUM de acuerdo a la pendiente permitió establecer que el 51,29 % de la superficie máxima de la cuenca corresponde a un uso de producción forestal y el mínimo de área es de un 1,04 % a un uso de cultivos en limpio. El segundo objetivo consistió en identificar las variaciones en la cobertura vegetal observadas en la cuenca Chuyapi desde 1992 hasta 2015;

descubriendo de esta manera que, la mayor variación en la unidad de cobertura fue el Mosaico de tierras de cultivo (>50%) / vegetación natural (árbol, arbusto, cobertura herbácea) (50%) / tierras de cultivo (50%) / árbol y arbusto (cobertura herbácea) (50%) / tierras de cultivo Respecto al coeficiente de escorentía hallado en la cuenca para la unidad de cobertura de vegetación, el coeficiente más bajo fue de 0,3469 en 2015 y el más alto fue de 0,3560 en 1992.

En Chachapoyas, Salas et al., (2018); en su estudio “Deforestación en el área de conservación privada Tilacancha: zona de recarga hídrica y de abastecimiento de agua para Chachapoyas”; el propósito establecido fue calcular la deforestación en el área de conservación privada Tilacancha, cuya región constituye la reposición de agua y suministro de agua para Chachapoyas. Aplicando el algoritmo de clasificación supervisada de máxima probabilidad integrado en el QGIS para identificar variaciones en la cobertura del suelo observadas en el ACP Tilacancha, utilicé datos satelitales multiespectrales de Landsat 5 y 8 de 1984, 2000 y 2016. El ACP categorizó su cobertura en cinco categorías principales: arbustos, pastos y cultivos, pajonal y superficie quemada. Los mapas producidos mostraron un 87% de precisión temática global y un índice Kappa de 0,78. Los hallazgos señalan que durante el primer y segundo periodo, la cobertura forestal disminuyó en un 21,63% y 41,39% respectivamente, en cambio, la zona de pajonal experimentó un aumento del 13,63 % y 18,06% respectivamente. En el transcurso de las últimas 32 años, la utilización y cobertura del suelo en el área de estudio se ha visto afectada por elementos esenciales relacionados con el progreso ganadero y agrícola. El grado de deterioro forestal se ha intensificado y necesita de forma urgente registrar las alteraciones ambientales y definir políticas rápidas, estrictas y consistentes para el uso lógico de los recursos de esta región.

En Cajamarca, Vigo (2019), realizó una tesis titulada “Teledetección; Análisis de imágenes satelitales; Chadín; Chota; Cobertura boscosa; Cambio de uso de suelo”, donde llevó a cabo el análisis de la pérdida de cobertura de bosques y la modificación del uso del suelo del distrito, con una superficie total de 6 486,26 ha, y diversas clases de vegetación, predominando los pastos naturales y los restos de bosques. Para identificar el cambio en el uso del suelo y la reducción de la cobertura de bosques durante un lapso de 18 años. Se llevó a cabo una evaluación del cambio en el uso del suelo entre los años 2000 y 2018 mediante herramientas de teledetección utilizando imágenes satelitales de resolución media capturadas por el satélite Landsat, resultando en mapas de cobertura para los años 2000 y

2018. El mapa de coberturas del 2018 se cotejó con fotografías Pléyades de alta resolución y se comprobó con visitas a campo para incrementar su fiabilidad. Los mapas mostraron las modificaciones más significativas que sufrieron las 6 coberturas detectadas. En términos generales, todas las categorías experimentaron variaciones en incremento o reducción de su cobertura, destacando especialmente los pastos, que aumentaron en 470,94 ha y los terrenos desnudos que disminuyeron en 348,51 ha para el 2018. Adicionalmente, observó un descenso en la cobertura de bosques durante todo el período evaluado de 323.53 ha, con un promedio anual de deforestación de 17.97 ha año. Asimismo, se documentaron las transiciones o cambios en la utilización del suelo que ocurrieron durante el periodo evaluado, identificando 14 tipos de transiciones más significativas.

2.1.3. Regionales

Para la región Ayacucho el INDECI (2021); en la ciudad de Ayacucho, gracias al respaldo del Proyecto INDECI – PNUD PER/02/051 Ciudades Sostenibles, se percibe a la ciudad como una entidad segura, saludable, atractiva, organizada y eficaz en su operación y crecimiento, para que sus residentes puedan residir en un entorno agradable. Efectúa una categorización de la utilización del suelo en la actualidad, donde el Centro Histórico presenta un uso intensivo y diverso de: servicios públicos y privados, comercial, residencial-comercial y residencial, dominando estos dos últimos, con una amplia concentración de servicios y comercios próximos al Centro Histórico. Esta concentración se sitúa en una diagonal Sur-Oeste Nor-Este, con los polos de concentración correspondientes: El Mercado (en dirección suroeste), la Plaza Mayor (en el centro) y la Av. Centenario (en dirección noroeste) con el Mercado Magdalena.

Lozano (2024), de la Universidad Continental de Huancayo realizó un estudio de coberturas en sus tesis, “Evaluación temporal de la cobertura vegetal mediante teledetección en la provincia de Huanta - Ayacucho, 2017-2021”, para la provincia de Huanta utilizando imágenes Landsat tipo MODIS, cuyos resultados descriptivos con NDVI máximos fueron, el 20 de julio del 2017 con 0,6375; el 18 de junio del 2018 con 0,6321 y 2019 con 0,6688; el 16 de mayo del 2020 con 0,6802 y el 18 de junio 2021 de 0,6082, además determinó el NDVI según el tipo de suelo por área, la relación con la temperatura y con las estaciones del año. En lo inferencial con r de Pearson promedio de 0,673 nos indicó una correlación positiva alta y con una probabilidad de error menor a 0,05 nos permitió evaluar los cambios de la cobertura vegetal. El r de Pearson de -0,452 indicó una correlación negativa

moderada y con $p=0,023<0,05$ se afirmó que el NDVI mayor permitió deducir un área menor de cobertura vegetal y viceversa, según el tipo de suelo. Con r de Pearson de $-0,283$ indicó la correlación negativa baja y con $p=0,029<0,05$ que permitió deducir que, existe correlación inversa baja entre el comportamiento temporal del NDVI y la temperatura ambiental. Finalmente, el r de Pearson de $0,257$ indicó el grado de correlación positiva baja y con $p=0,048<0,05$ afirmamos que, existió una correlación positiva baja entre el comportamiento temporal del NDVI y las estaciones del año. Concluyó que, el comportamiento espacio temporal del NDVI mediante teledetección permitió evaluar la cobertura vegetal en la provincia de Huanta-Ayacucho del 2017 al 2021.

Finalmente, para el distrito de Chuschi, según la, MDCH (2017); plan de desarrollo concertado del 2017 menciona que el distrito tiene una extensión de $495,73 \text{ km}^2$, divididos en tres niveles de altitud. La zona baja (suelos de procedencia coluvial); la zona media (suelos de características pedregosas) y la zona alta o puna (tiene mesetas con bofedales y pastos naturales donde se lleva a cabo la actividad ganadera). La mayoría de los terrenos son tierras de protección, vinculadas a pastizales, con una superficie de $229,72 \text{ km}^2$, lo que equivale al $46,3\%$ del distrito. De acuerdo con el uso actual, el $68,3\%$ de los terrenos están destinados para la producción ganadera; el $13,3\%$ para la agricultura; el $2,3\%$; las zonas de protección y el $14,5\%$; son cuerpos de agua. En la región existen disputas sobre el manejo de las tierras, en un área que equivale al $56,6\%$. Además, la actividad humana y la presencia de elementos climáticos, como las lluvias, han generado zonas con erosión, principalmente de tipo laminar emergente con afloramiento rocoso, así como otras formas de erosión, en un total de $41,87 \text{ km}^2$, lo que equivale al $8,4\%$ del territorio total.

2.2. Marco conceptual

2.2.1. Cobertura

Son las características físicas visibles de la superficie terrestre, pueden ser componentes bio-físicas, como bosques, cuerpos de agua y vegetación, así como estructuras hechas por el ser humano como edificios, carreteras y áreas urbanas (Ares et al., 2007).

2.2.2. Cobertura de suelo

La cobertura del suelo es el componente biofísico que recubre la superficie del suelo. Las capas del terreno comprenden césped, asfalto, árboles, suelo desnudo, agua, entre otros (Comber, 2005).

2.2.3. Uso de suelo

Elemento crucial en la estructura y administración del territorio, impactando directamente en elementos ambientales, económicos y sociales. Su correcta organización y normativa son esenciales para alcanzar un desarrollo balanceado y sustentable.

2.2.4. La cobertura y uso de suelo

La cobertura hace referencia a esos seres naturales o artificiales que envuelven el suelo, por lo que pueden provenir del medio natural (bosques, sabanas, lagunas, etc.) como resultado del desarrollo ecológico o de un medio artificial creado y conservado por el hombre (plantaciones, represas, ciudades, etc.)(UNEP et al., 2009).

2.2.5. Tiempo

El tiempo es una dimensión esencial que permite organizar, medir y comprender la secuencia y duración de eventos. Su estudio abarca disciplinas como la física, la filosofía, la psicología, la biología y la tecnología. Cada enfoque proporciona una perspectiva única sobre cómo interactuamos con el tiempo y cómo éste influye en nuestra vida y en el universo (Aparici & Mezquita, 2006).

2.2.6. Periodo de tiempo

Un periodo de tiempo es una duración en la que ocurre una secuencia de eventos o existe una condición. Puede ser corto o largo y se utiliza a menudo para describir la longitud de tiempo entre dos eventos o la duración de un evento.

2.2.7. Años calendarios

Años calendarios se refieren al tiempo desde el 1 de enero hasta el 31 de diciembre en el calendario gregoriano, que es el calendario civil más utilizado hoy en día. Representa un año completo.

2.2.8. Dinámica de la cobertura de suelo

La dinámica de la cobertura del suelo se refiere a los cambios en la cobertura del suelo con el tiempo. La cobertura del suelo incluye vegetación natural, cuerpos de agua, roca/suelo, hielo, nieve y desarrollos humanos. Las dinámicas de la cobertura del suelo implican comprender cómo y por qué cambia la cobertura del suelo debido a varios factores como el cambio climático, desastres naturales, actividades humanas, entre otros.

2.2.9. Clasificación de la cobertura de suelo

La clasificación de la cobertura del suelo es el proceso de categorizar la superficie de la Tierra en clases basadas en su tipo de cobertura, como bosques, humedales, áreas urbanas, tierras de cultivo, cuerpos de agua, etc. En un nivel inicial, se

categorizan cuatro categorías principales, acordes con los sistemas de clasificación de suelo más prestigiosos a nivel global (USGS y Corine Land Cover): cuerpos de agua, suelo natural/forestal, suelo agropecuario y suelo artificializado.

2.2.10. Porcentaje de tasa de cambio

Es una métrica esencial para entender y cuantificar cómo una cantidad ha cambiado en relación con su valor inicial. Su aplicación abarca múltiples disciplinas y proporciona una base sólida para el análisis y la toma de decisiones informadas.

2.2.11. Clasificación supervisada

Es un proceso utilizado para categorizar cada píxel en una imagen de satélite en una clase temática particular, basada en la información espectral de los píxeles y un conjunto de datos de entrenamiento previamente definido. Este método se llama "supervisado" porque el proceso se guía por un conjunto de ejemplos conocidos (datos de entrenamiento) que representan las diferentes clases de interés.

2.3. Bases teóricas

2.3.1. Cambio de la cobertura de uso de suelo

Factores que inciden en el cambio de cobertura de la tierra

A escala global, hay cinco elementos que influyen de manera significativa en las variaciones que se presentan en la cobertura. (Lambin et al., 2001).

- **Económicos y tecnológicos**

Se refiere a los elementos económicos y las políticas de agricultura que inciden directamente en los precios, tributos, ayudas a los recursos y productos derivados de la utilización de la tierra.

- **Demográficos**

Los aumentos y las reducciones en la población producen un efecto en la utilización de la tierra. Estos cambios afectan la estructura y la dinámica del hogar, la mano de obra, la migración, la urbanización, entre otros aspectos. La migración es uno de los elementos que produce un impacto más significativo, tal vez el más relevante.

- **Institucionales**

Las modificaciones en la administración y gestión territorial son fuertemente impactadas por el sector político, legal y económico, además de las instituciones encargadas de tomar decisiones sobre la administración del territorio, presentando políticas débiles, mal establecidas y sin una implementación apropiada.

- **Culturales**

Este es un elemento a menudo intangible que no se considera, pero una población posee: motivaciones, memorias colectivas, historias personales, actitudes, valores, creencias y percepciones.

- **Globalización**

Los procesos de globalización potencian o disminuyen las fuerzas que dirigen las modificaciones en el uso de la tierra, impactando en las políticas macroeconómicas que establecen las condiciones que determinan la oferta y demanda de bienes y servicios en los mercados globales. Estas son cruciales ya que determinan el uso y explotación ilógica de los recursos naturales, especialmente en naciones con ecosistemas vulnerables.

- **Coberturas**

- **Aguas continentales:** Son cuerpos de agua situados en el interior de los continentes y no tienen conexión directa con los océanos. Incluyen lagos, lagunas, ríos, arroyos, humedales y aguas subterráneas. (MINAM, 2014a).
- **Tierras desnudas, áreas arenosas naturales, áreas quemadas y afloramientos rocosos:** Estos territorios se distinguen por la ausencia o escasez notable de vegetación. Principalmente, consisten en suelos desnudos y quemados, arenas y rocas expuestas. Algunos pueden estar cubiertos por hielo y nieve. (MINAM, 2014a).
- **Bosque denso alto:** Altura mayor a 5m. Cobertura mayor a 10%. Umbral entre denso y abierto: 70% de cobertura.
- **Arbustal:** Se refiere a territorios con vegetación arbustiva que crece naturalmente en diversas densidades y tipos de suelo. Los arbustos son plantas perennes con tallos leñosos, de 0.5 a 2 metros de altura, muy ramificados desde la base y sin una copa definida. (MINAM, 2014a).
- **Humedales:** Son zonas en las que el suelo está completamente saturado de agua. Ejemplos de estas áreas incluyen pantanos, marismas y ciénagas.
- **Herbazal:** Son áreas cubiertas por una comunidad vegetal principalmente de hierbas, que se desarrollan naturalmente en distintas densidades y tipos de suelo. Estas comunidades pueden formar una cobertura densa (más del 70% de ocupación) o abierta (entre el 30% y el 70% de ocupación).
- **Áreas urbanizadas:** Las áreas urbanizadas abarcan tanto la infraestructura urbana como las zonas verdes y las redes de comunicación vinculadas, formando así un entramado urbano.

- **Cultivos permanentes (pastos):** Se refiere a tierras cubiertas por hierba densa, principalmente de las familias Poaceae y Fabaceae, destinadas a pastoreo permanente por períodos de dos años o más. Algunas de estas áreas pueden experimentar inundaciones temporales o permanentes cuando se encuentran en zonas bajas o depresiones del terreno (MINAM, 2014a).
- **Cultivos transitorios:** Su principal característica es que, tras la cosecha, se debe volver a sembrar o plantar para continuar con la producción. Estas áreas incluyen cultivos cuyo ciclo vegetativo es típicamente corto, generalmente de hasta 2 años, e incluso pueden durar solo unos pocos meses (MINAM, 2014a).

2.3.2. Teledetección

Es la obtención de imágenes de la superficie de la Tierra, sin tener contacto; con objetos de alta sensibilidad que se encuentran en plataformas espaciales y la capacidad de información que nos proporcione va depender de la tecnología que se posea en cada momento dado (Chuvieco, 2008).

- **Componentes que intervienen en la teledetección**

Los componentes que participan en el procedimiento de teledetección incluyen: El primero un recurso energético que alumbre o energice el objeto de interés (planta, bosque, mar, suelo, ciudad, etc.). Se ha establecido que el sol es la principal fuente de energía, denominada energía pasiva. Durante su "peregrinación" hacia la Tierra, la radiación solar penetra en la atmósfera e interactúa con ella. Al llegar al suelo, interactúa con los objetos presentes en él y la radiación se basará en el objeto, lo que facilita la diferenciación entre ellos. Esta radiación es recogida y registrada por un sensor en un satélite, dicha radiación es reflejada desde el suelo y la atmósfera. (Labrador, 2012).

La tierra no debe interpretarse únicamente como el terreno y la topografía, sino que alberga los depósitos superficiales, los recursos de agua y clima, así como las comunidades de animales y vegetales que han surgido de la interacción de dichas condiciones físicas. Las consecuencias de las acciones humanas, se manifiestan en modificaciones de cobertura vegetal o en las construcciones, también se consideran como atributos de la tierra. Alterando la utilización de la tierra, que afecta directamente a la flora y fauna, los terrenos, la distribución superficial del agua y el clima. (UNEP et al., 2009).

La figura 1 muestra que (A) se refiere a la radiación solar que penetra e interactúa con el aire. (B) cuando llega a la superficie de la Tierra, interactúa con los objetos presentes en ella. (C). Un sensor instalado en un satélite recolecta y registra esa

radiación emitida por la superficie de la Tierra y la atmósfera en sí. (D). El sensor capta la energía y la envía a una estación de recepción y procesamiento donde los datos se transforman en imágenes digitales. (E). La imagen procesada se comprende de manera visual y/o digital. (F). El paso final implica emplear los datos obtenidos de la imagen para obtener un mayor entendimiento del área de estudio. (G). Los ojos humanos pueden ser vistos como sensores a distancia, dado que perciben la luz que reflejan los objetos de nuestro entorno. (Labrador, 2012).

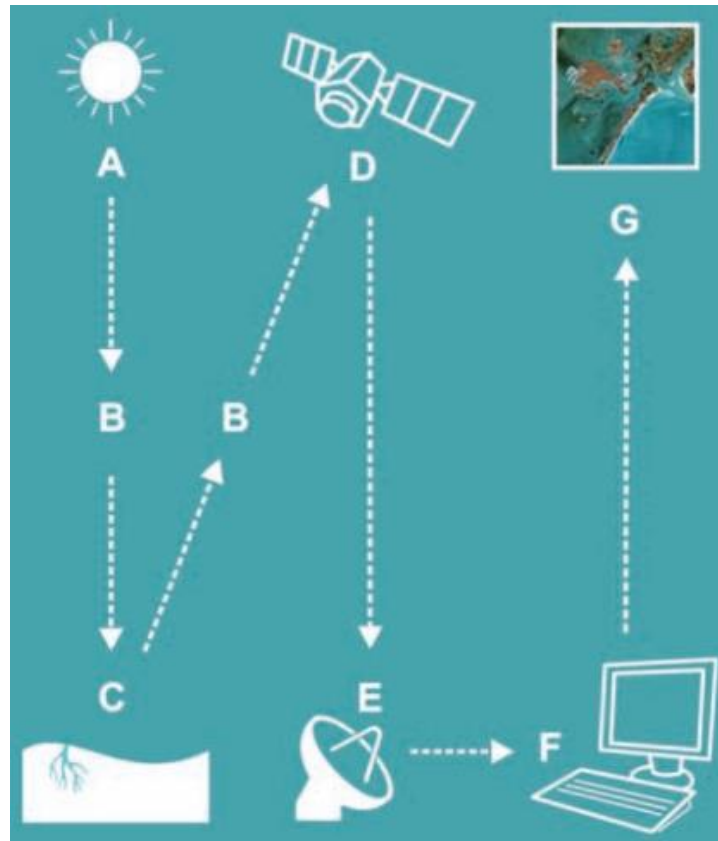


Figura 1. Proceso de la teledetección.

Fuente: (Labrador, 2012).

a. Espectro electromagnético

Es el rango de todas las posibles radiaciones electromagnéticas. Desde la perspectiva de la teledetección, es importante resaltar una serie de bandas espectrales, que son las que se utilizan con mayor frecuencia en la tecnología contemporánea. (Labrador, 2012). Su nombre y extensión difieren entre diversos autores, aunque la terminología más habitual es la siguiente:

- Espectro visible: (0,4 a 0,7 μm).
- Infrarrojo: (0.7 y 1 μm).
- Infrarrojo cercano: (IRC: 0.7 a 1.3 μm).
- Infrarrojo medio: (IRM: 1.3 a 8 μm).

- Infrarrojo lejano:(IRT: 8 a 14 μm).
- Microondas (M, superiores a 1 mm).

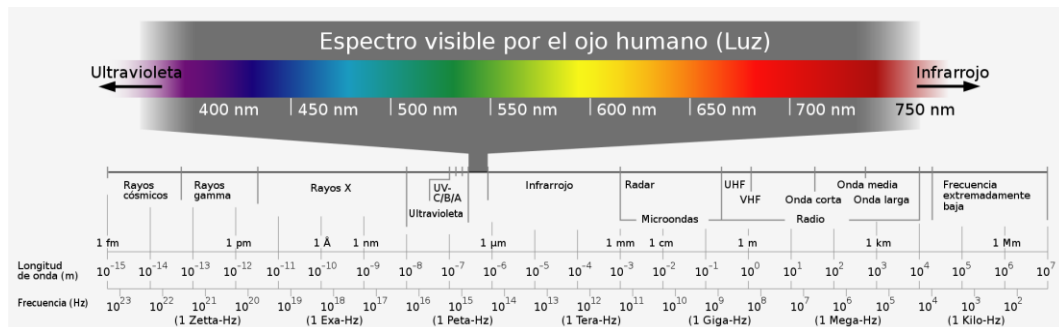


Figura 2. Espectro electromagnético en la región visible (longitudes de onda λ en metros).

Fuente: De Horst (2020).

b. Radiación electromagnética

Es una forma de energía que se desplaza en el vacío mediante ondas a la velocidad de la luz (300 000 km/s) transportando cantidades discretas de energía(Gonzaga, 2014).

Para que se pueda realizar una observación a distancia de la superficie terrestre, es necesario que el sensor identifique un flujo de energía que proviene de ella. Durante el camino que seguirá la radiación electromagnética, esta experimentará tres fenómenos clave:

- **Absorción:** Procedimiento en el que las partículas y moléculas atmosféricas absorben la energía solar y la convierten en energía interna que luego será liberada en el infrarrojo térmico.
- **Dispersión:** Este fenómeno resulta en un reorientamiento o un pequeño desvío del camino de propagación constante. Se origina por la interacción entre la radiación, los gases y partículas presentes en el aire.
- **Emisión:** La Tierra, al igual que cualquier objeto con temperatura superior a - 273 K, emite su propia radiación, la cual lógicamente es de mayor relevancia en el infrarrojo térmico.

c. El efecto de la atmósfera sobre la energía electromagnética

Cuando la radiación solar penetra en la atmósfera terrestre, su energía a determinadas longitudes de onda disminuye significativamente, tal como sucede con la mayoría de la energía ultravioleta (0,001 a 0,4 μm) y algunas secciones del espectro infrarrojo (0,75 a 2,5 μm). Durante días de alta nubosidad, la disminución de energía atmosférica en dichas longitudes de onda es aún más significativa.

Este efecto atmosférico (atenuación atmosférica) se genera especialmente debido a la existencia de partículas suspendidas. De acuerdo a su tamaño, las partículas

influyen en diferentes longitudes de onda. Las nubes son el caso más severo, ya que pueden ocultar completamente el suelo, aunque cuando son tenues también influyen en la transmisión de luz de forma diferente dependiendo de las longitudes de onda.(Gonzaga, 2014).

2.3.3. Satélites Landsat

Landsat es un grupo de satélites creados por el Servicio Geológico de los Estados Unidos/NASA (Administración Nacional de Aeronáutica y espacio de los Estados Unidos), utilizados para la observación de la superficie terrestre desde el inicio de 1972. Los satélites Landsat mantienen una órbita helio sincrónica alrededor de la Tierra, con una inclinación de 98,2° En relación a la línea del Ecuador y a una distancia media de 705 km de altura, (NASA, 2023).

• Landsat 8

El satélite Landsat 8, que se puso en órbita el 11 de febrero de 2013, sigue operando hasta el día de hoy. Este satélite se compone de los sensores OLI y TIRS, los cuales poseen 9 bandas espectrales y una resolución espacial de 30 metros.

Una banda recién fabricada (1) (azul- profundo) resulta beneficiosa para investigaciones costeras y aerosoles. La nueva banda (9) resulta práctica para identificar cirrus. Para la banda 8 (pancromática), la resolución es de 15 metros. Las dos bandas térmicas 10 y 11 resultan efectivas para establecer temperaturas más exactas de la superficie, y se aplican a una resolución de 100 metros. La escena tiene un tamaño estimado de 170 kilómetros de norte a sur, y 183 kilómetros de este a oeste (106 km por 114 km).

Tabla 1. Características de las bandas Landsat 8.

Banda	Rango Espectral (μm)	Resolución espacial (metros)
Band 1 - Aerosol Costero	0,43-0,45	30
Band 2 – Azul	0,45-0,51	30
Band 3 – Verde	0,53-0,59	30
Band 4 – Rojo	0,64-0,67	30
Band 5 - Infrarrojo Cercano (NIR)	0,85-0,88	30
Band 6 - SWIR 1	1,57-1,65	30
Band 7 - SWIR 2	2,11-2,29	30
Band 8 – Pancromático	0,50-0,68	15
Band 9 – Cirrus	1,36-1,38	30
Band 10 - Infrarrojo Térmico (TIRS) 1	10,6-11,19	100
Band 11 - Infrarrojo Térmico (TIRS) 2	11,50-12,51	100

Fuente: (NASA, 2023)

- **Landsat 9**

Se lanzó el 27 de septiembre de 2021 con Atlas V y sus fotografías se encuentran disponibles desde el 10 de febrero de 2022. Los instrumentos OLI (Operational Land Imager 2) y TIRS (Sensor Infrarrojo Thermal) son sus equivalentes. En esta situación, OLI 2 junto a TIRS 2 aportan una mejora en los datos derivados de las masas de agua, la humedad de la tierra y la flora.

La flota Landsat 9 sigue el esquema de bandas de las misiones previas. Seis bandas para el instrumento OLI 2, fundamentadas en el visible, NIR y SWIR, en combinación con la banda pancromática, las bandas de cirros y aerosoles. Para el TIRS 2, existen dos bandas térmicas. En esta situación, la resolución radiométrica se incrementa de 12 a 14 bits en comparación con los datos de Landsat 8.

Tabla 2. Características de las bandas Landsat 9.

Banda espectral	Longitud de onda (μm)	Resolución Espacial (m)
Operational Land Imager (OLI)		
Band 1 - Aerosol Costero	0,43-0,45	30
Band 2 – Azul	0,45-0,51	30
Band 3 – Verde	0,53-0,59	30
Band 4 – Rojo	0,64-0,67	30
Band 5 - Infrarrojo Cercano (NIR)	0,85-0,88	30
Band 6 - SWIR 1	1,57-1,65	30
Band 7 - SWIR 2	2,11-2,29	30
Band 8 – Pancromático	0,50-0,68	15
Band 9 – Cirrus	1,36-1,38	30
Thermal Infrared Sensor 2 (TIRS)		
Band 10 - Infrarrojo Térmico (TIRS) 1	10.6-11.19	100/30
Band 11 - Infrarrojo Térmico (TIRS) 2	11.50-12.51	100/30

Fuente:(NASA, 2023).

2.3.4. Satélites Sentinel

Los Sentinel son un conjunto de satélites creados específicamente para suministrar la gran cantidad de datos e imágenes que alimentan el programa Copernicus, de la Comisión Europea.

- **Programa Copérnico**

Elaborado para la observación terrestre, colaborando con la Comisión Europea (CE) y la ESA, con el objetivo de ofrecer datos precisos, actualizados y de fácil acceso para optimizar la administración del medio ambiente. Además, busca entender los impactos del cambio climático y los esfuerzos en términos de

protección civil y seguridad. Asimismo, respalda la estrategia de crecimiento de Europa 2020 a través de la asistencia en la consecución de las metas de un crecimiento inteligente, sostenible e integrador. (Ríos, 2018).

Los servicios de Copernicus se fundamentan en el análisis de la información ambiental obtenida de dos fuentes primordiales: 1) constelación de satélites llamados Sentinel administrados por la ESA y 2) una cantidad de sensores en tierra, mar o aire coordinados por la Agencia Ambiental Europea (EEA, por sus siglas en inglés)(Caicedo, 2014). En la actualidad, hay cinco generaciones de Sentinel, siendo el Sentinel-2 el que se utiliza en este proyecto debido a las características de su sensor.

- **Sentinel-2**

La misión Sentinel-2 abarca una constelación de dos satélites (Sentinel-2A y Sentinel-2B), situados en la misma órbita polar, en etapas de 180° entre ellos.

Es una misión de alta resolución multiespectral destinada a supervisar la superficie terrestre(Caicedo, 2014). Una de las principales fortalezas de la misión Sentinel-2 es el acceso sin costo a los datos censados, dado que es posible descargar las imágenes tomadas desde la plataforma de la ESA. Un beneficio adicional es que proporciona una extensa resolución espacial en las capturas, que oscilan entre 10, 20 y hasta 60 m (Caicedo, 2014), lo que facilita la captura de los detalles de la cubierta del planeta.

Las imágenes satelitales, que provienen de los servidores de la ESA, están en formato.jp2 (Formato de comprensión de las imágenes satelitales del Sentinel 2), con el objetivo de reducir el tamaño y la información que estas poseen. Las capturas pueden ser descargadas desde el servidor oficial de la agencia, conocido como Copernicus Data Space. Las imágenes están comprimidas en un archivo con extensión.zip, acompañadas de la meta data (información de captura) correspondiente a cada una de las 13 imágenes (1 por cada banda espectral).

Cada banda posee un tamaño y resolución diferentes, como se ilustra en la Tabla 3. Todas las imágenes varían en su resolución (píxeles por metro) en función de la onda espectral que captura el sensor.

Por lo tanto, deben ser sometidos a un preprocesamiento donde el objetivo es uniformizar sus propiedades de tamaño y resolución (remuestreo) para su uso futuro en la cadena de procesamiento.

Tabla 3. Resolución de las bandas del Sentinel-2.

Banda	Intervalos de longitud de onda (nm)	Resolución espacial (m)
1	430-450	60
2	450-520	10
3	540-570	10
4	650-680	10
5	690-710	20
6	730-740	20
7	770-790	20
8	780-900	10
8a	850-870	20
9	930-950	60
10	1360-1390	60
11	1560-1650	20
12	2100-2280	20

Fuente: (Rodríguez-Ramírez et al., 2019)

Tabla 4. Combinación de bandas (B) en imágenes satelitales de Sentinel 2.

Aplicación	Banda
Color natural	B4-B3-B2
Infrarrojo y rojo	B8A-B4-B3
Tierra y agua	B8A-B11-B4
Vegetación	B11-B8A-B4
Infrarrojo	B12-B8A-B4
Área urbana	B12-B11-B4
Geología	B12-B4-B2
Agricultura	B11-B8A-B2
Nieve y nube	B2-B11-B12

Fuente:(Alonso, 2019b).

2.3.5. Imágenes satelitales

Las imágenes satelitales son fotografías de la superficie terrestre capturadas desde por los sensores que se encuentran instaladas en satélites en órbita, utilizadas para monitorear cambios ambientales, planificación urbana, agricultura y estudios científicos (Martínez, 2005)

Una imagen satelital es esencialmente un conjunto de puntos digitales, similar a una foto digital, capturada por un sensor en un satélite que orbita la Tierra. Mientras el satélite sigue su ruta orbital, escanea la superficie con múltiples sensores que registran la energía reflejada (Martínez, 2005).

Las imágenes satelitales se presentan en formato ráster, compuesto por una matriz de miles de píxeles, cada uno con un valor digital o de reflectancia. Por

ejemplo, con una resolución de 30 metros, cada píxel representa un área de 30x30 metros en la superficie terrestre (900 m²), permitiendo que la firma espectral o reflectancia de todos los objetos en esa superficie se asigne al píxel correspondiente.

- **Resolución espacial**

La resolución espacial se refiere a la menor distancia angular o lineal que un sensor en órbita puede detectar y se representa mediante un píxel. Un píxel es la unidad más pequeña de una imagen digital, normalmente con forma cuadrada. La longitud del lado del píxel en el suelo determina la resolución espacial del sensor. A mayor resolución espacial, el área que representa cada píxel es menor, permitiendo la identificación de objetos más pequeños, y viceversa.

- **Resolución espectral**

La resolución espectral es la capacidad de un sensor para diferenciar la radiancia en diversas longitudes de onda del espectro electromagnético. Esta resolución depende del número de bandas que puede captar y la anchura de estas bandas. Cuantas más bandas tenga el sensor, más útil será para estudios multiespectrales, aunque es importante que cada banda sea lo más estrecha posible para evitar promedios de regiones espectrales con diferente significado físico. Algunos sensores dividen el espectro en tres bandas, mientras que los hiperespectrales pueden tener alrededor de 300 bandas.(Yupanqui, 2021).

- **Resolución radiométrica**

Esta capacidad del sensor permite diferenciar entre diferentes niveles de radiación reflejada o emitida se llama resolución radiométrica. Cuantos más niveles de grises puede distinguir, mayor es la resolución radiométrica. Por ejemplo, una imagen en blanco y negro (2 niveles) tendrá una resolución radiométrica menor comparada con una imagen que puede distinguir 32 niveles de grises.

El número de niveles de grises que un sensor puede detectar depende de su sistema de grabación y se expresa en bits. La cantidad de bits indica la capacidad del sensor para diferenciar radiación, calculada como 2^n , donde n es el número de bits. Por ejemplo, un sensor con resolución de 8 bits (como el Landsat TM) puede distinguir 256 niveles de grises. En cambio, uno con 6 bits (como el Landsat MSS) discrimina 64 niveles. Esto implica que el sensor de 8 bits tiene mejor resolución, permitiendo identificar diferencias más sutiles en la radiación.

- **Resolución temporal**

La resolución temporal se refiere a la frecuencia con la cual un sensor captura imágenes de la misma área. Por ejemplo, el satélite Landsat revisita la misma

región cada 16 días, mientras que el SPOT lo hace cada 26 días. Este aspecto es crucial para estudiar cambios en la superficie terrestre o en los océanos. En la tierra, estos cambios ocurren en días o años, pero en la atmósfera o en el océano, pueden suceder en horas. Por ello, se necesita una mayor frecuencia de observación en el mar que en la tierra. Además, la hora del día es relevante: al mediodía se eliminan sombras que podrían interferir en el estudio de la vegetación, pero realzan el relieve, beneficiando estudios geológicos.

- **Resolución angular**

Se refiere a la capacidad de un sensor para capturar imágenes oblicuas. Esto no solo acorta los ciclos de recubrimiento, sino que también permite crear imágenes estereoscópicas, esenciales para la reconstrucción del relieve.

2.3.6. Procesamiento de imágenes satelitales

- **Preprocesamiento de imágenes satelitales**

El preprocesamiento de imágenes implica corregir anomalías en la localización o radiometría de los píxeles. Las distorsiones pueden deberse a la plataforma, la rotación terrestre, el sensor o la atmósfera. Comprender estas distorsiones es crucial para un análisis e interpretación precisos de los datos.

- **Correcciones geométricas – georreferenciación**

La corrección geométrica ajusta la geometría de la imagen para que se alinee con la geometría de la superficie terrestre. La georreferenciación adapta la imagen a un sistema geodésico de referencia y a una proyección geográfica específica, como el sistema UTM (Universal Transverse Mercator).

- **Correcciones radiométricas**

La radiación electromagnética interactúa con la atmósfera, afectando su longitud de onda, intensidad, distribución espectral y dirección. Los efectos atmosféricos incluyen absorción y dispersión, que introducen ruido en la teledetección y requieren ser eliminados para obtener datos precisos.

Las correcciones radiométricas mejoran la precisión de las medidas de reflectancia, eliminando ruidos en los niveles digitales de la imagen. Esto se logra compensando diferencias en los valores de radiancia y convirtiendo estos niveles a valores de radiancia y reflectancia, empleando modelos atmosféricos y las geometrías de iluminación/observación.(Gonzaga, 2014).

- **Correcciones topográficas**

La obtención de información de la superficie del terreno mediante imágenes satelitales puede verse afectada por la iluminación oblicua y la topografía irregular,

generando efectos de sombreado e iluminación que alteran la respuesta debida exclusivamente al tipo de superficie. Una vez calculado el ángulo de incidencia, se pueden utilizar distintos métodos para compensar las diferencias de radiación incidente entre las vertientes.(Gonzaga, 2014).

- **Análisis de las imágenes**

El análisis visual de imágenes se lleva a cabo utilizando tres bandas del sensor, coincidiendo con la capacidad de los monitores RGB empleados en informática. Estos monitores poseen tres cañones: rojo, verde y azul (RGB), con los que se combinan estos colores básicos para generar el resto de los colores.

Utilizando estos tres cañones, es posible asignar una banda del sensor a cada uno, combinándose en la pantalla y produciendo diferentes colores y tonos. Estos colores y tonos permiten un análisis visual de la imagen, proporcionando una primera aproximación a su contenido. Las combinaciones de colores se utilizan para distinguir aspectos como la geología, los usos del suelo y la morfología urbana en la imagen. (Pérez & Muñoz, 2006).

- **Firmas espectrales**

Cuando la energía electromagnética alcanza la superficie terrestre, interactúa con los distintos materiales a través de reflexión, absorción o transmisión, siguiendo un patrón de respuesta espectral específico. Este comportamiento único de cada material se utiliza en la clasificación de imágenes, conocido como "firma espectral". La firma espectral describe el comportamiento diferencial de la radiación reflejada (reflectancia) o emitida (emitancia) por una superficie u objeto terrestre en varios rangos del espectro electromagnético.

2.3.7. Imágenes Sentinel 2 de nivel 2

Las imágenes Sentinel 2 de nivel 2A están orto-rectificadas y muestran niveles de reflectancia bajo la atmósfera (BOA). Esto significa que, a diferencia de otros productos de imágenes Sentinel, las imágenes de nivel 2A están corregidas atmosféricamente, proporcionando datos de reflectancia más precisos y colores más realistas. Visualmente, estas imágenes son más nítidas, tienen mayor brillo y contraste, y no presentan la textura blanquecina causada por la atmósfera.

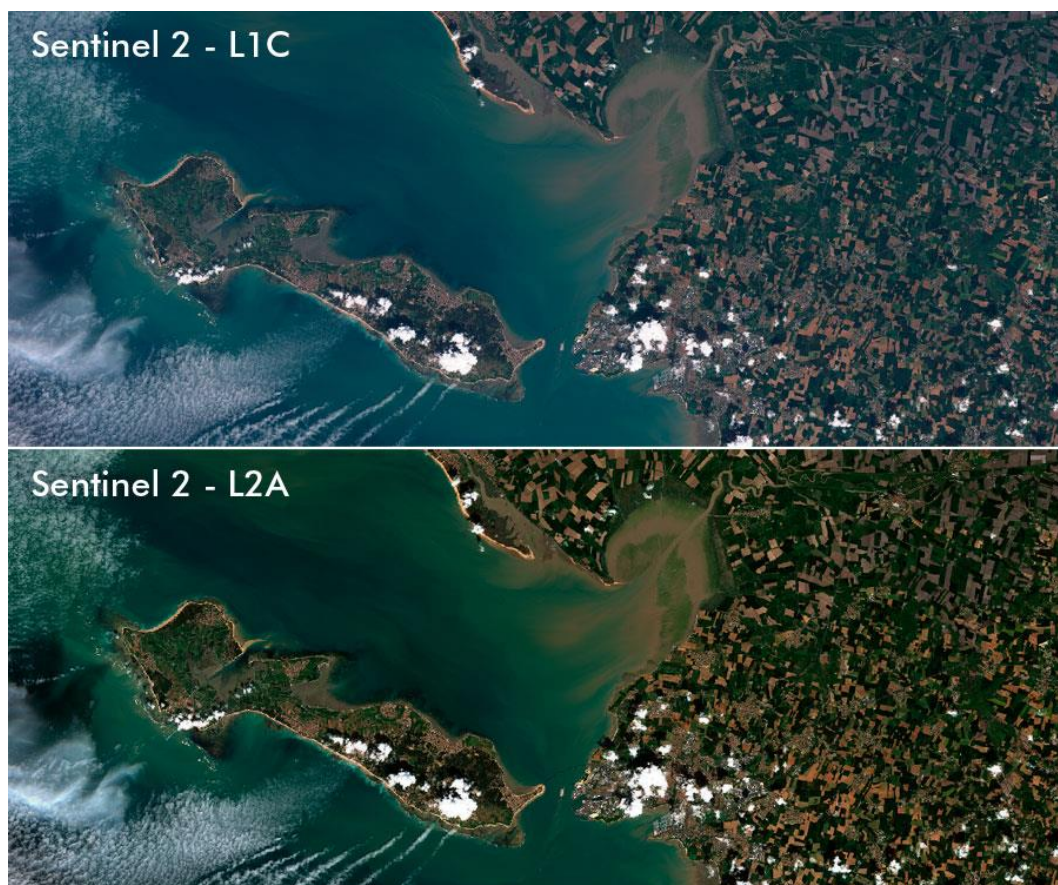


Figura 3. Diferencia de una imagen Sentinel 2, entre el nivel 1C (no procesada) y nivel L2A (procesada).

Fuente: (IDE Chile, 2019)

Corrección Atmosférica: Las imágenes de nivel 2A están corregidas atmosféricamente, lo que significa que se han eliminado los efectos de la atmósfera para obtener valores de reflectancia en la superficie (gisadminbeers, 2019).

Resolución Espacial: Las imágenes tienen una resolución espacial de 10 metros para las bandas en el espectro visible y el infrarrojo cercano, 20 metros para las bandas en el borde rojo y el infrarrojo de onda corta, y 60 metros para las bandas de vapor de agua y corrección atmosférica.

Bandas Espectrales: Sentinel-2 cuenta con 13 bandas espectrales que abarcan desde el visible hasta el infrarrojo de onda corta (SWIR). Estas bandas permiten realizar diversos análisis, como índices de vegetación y estudios de suelo.

2.3.8. Metodología Corine Land Cover (CLC)

Esta metodología es parte del programa CORINE, iniciado en 1985 por la Comisión de la Comunidad Europea. Su objetivo principal es crear un inventario de la cobertura terrestre, adoptando datos numéricos y geográficos para

establecer una base de datos sobre la cobertura y uso del territorio a una escala de 1:100,000.

La base de datos de CLC se utiliza para describir, caracterizar, discriminar y comparar diferentes coberturas según sus características. Esta información se obtiene utilizando imágenes satelitales de resolución espacial moderada (30x30m), como las proporcionadas por los satélites Landsat, que son empleadas para elaborar mapas de cobertura en diversas escalas (IDEAM, 2010).

2.3.9. Corine Land Cover adaptado para Perú

La clasificación CLC para nuestro país adopta la metodología de los países de la Comunidad Andina de Naciones (CAN), conformada por Colombia, Ecuador, Venezuela, Bolivia y Perú. Actualmente, el MINAM, a través de la Dirección de Ordenamiento Territorial (DGOT), asesora técnicamente a los gobiernos regionales en la adopción de esta metodología de clasificación de la tierra. La propuesta de leyenda para la clasificación de coberturas se logró mediante el proyecto "Análisis de las Dinámicas de Cambio de Cobertura de la Tierra en la Cobertura Andina", presentando unidades de clasificación adaptadas a la geografía del país mediante imágenes satelitales y herramientas SIG. (CAN, 2014).

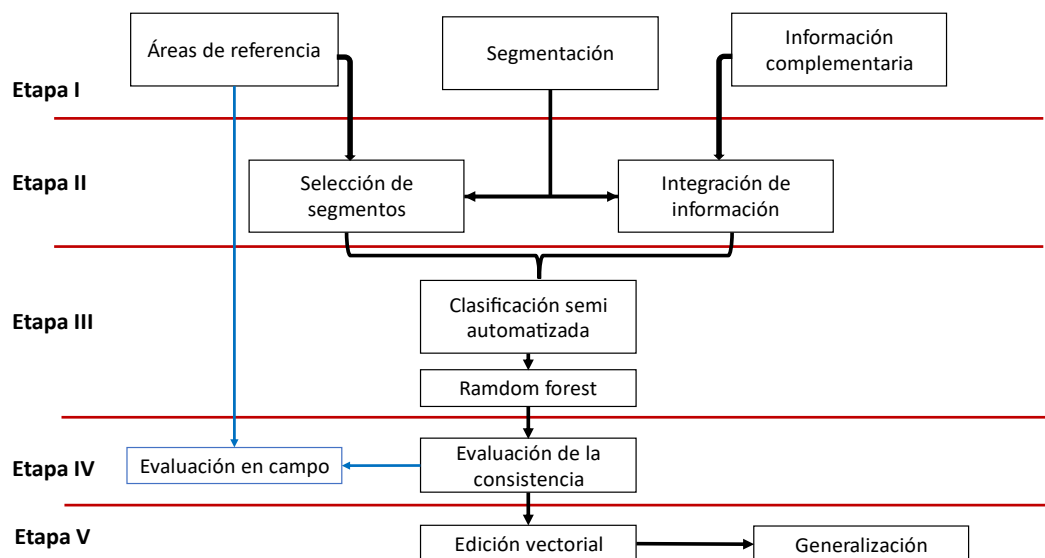


Figura 4. Proceso de una representación cartográfica, utilizada por el MINAM para la adaptación de la clasificación Corine Land Cover para el Perú.

2.3.10. Sistema de clasificación CLC (Corine Land Cover) para el Perú

El Protocolo para el Análisis de las Dinámicas de Cambio de Cobertura de la Tierra en la Comunidad Andina proporciona un diagrama detallado que describe el proceso general de procesamiento de una o más imágenes satelitales. Este

diagrama es esencial para guiar el análisis de las dinámicas de cambio de la cobertura de la tierra, asegurando que cada paso del procesamiento se realice de manera consistente y precisa.(MINAM, 2014b).

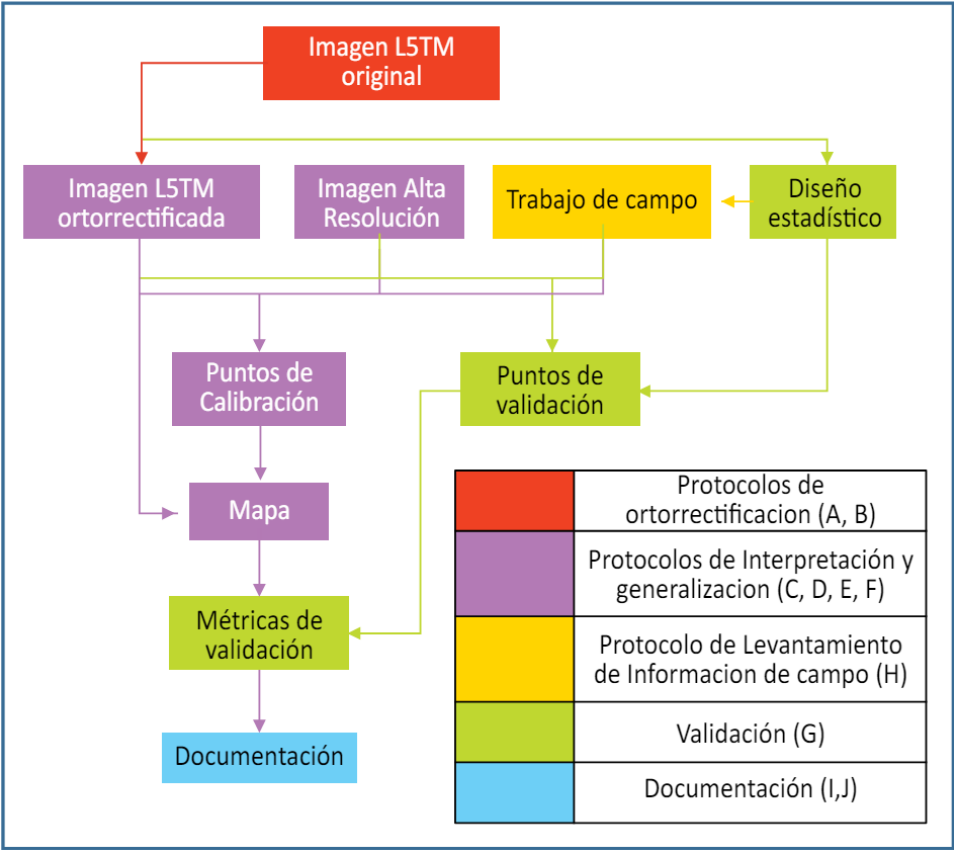


Figura 5. Proceso general de procesamiento de una imagen satelital. (MINAM, 2014b)

Tabla 5. Sistema de clasificación CORINE Land Cover adaptada para Perú.

NIVEL I	NIVEL II	NIVEL III
1. Áreas artificializadas	1.1 Áreas urbanizadas	1.1.1. Tejido urbano continuo
		1.1.2 Tejido urbano discontinuo
	1.2 Áreas industriales e infraestructura	1.2.1 Áreas Industriales o comerciales
		1.2.2 Red vial, ferroviaria y terrenos asociados
		1.2.3 Áreas portuarias
		1.2.4 Aeropuertos
		1.2.5 Obras hidráulicas
	1.3 Áreas de extracción de minería e hidrocarburos y escombreadas	1.3.1 Áreas de extracción de minería e hidrocarburos
		1.3.2 Áreas de disposición de residuos
	1.4 Áreas verdes artificiales no agrícolas	1.4.1 Áreas verdes urbanas
		1.4.2 Instalaciones recreativas

	2.1 Cultivos transitorios	
	2.2 Cultivos permanentes	
2. Áreas Agrícolas	2.3 Pastos	
	2.4 Áreas agrícolas heterogéneas	
		3.1.1 Bosque denso bajo
		3.1.2 Bosque abierto bajo
	3.1 Bosque	3.1.3 Bosque denso alto
		3.1.4 Bosque abierto alto
		3.1.5 Bosque fragmentado
	3.2 Bosques Plantados	
		3.3.1 Herbazal
		3.3.2 Arbustal
		3.3.3 Vegetación secundaria o transición
	3.3 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	3.3.4 Vegetación arbustiva/ herbáceas
3. Bosques y áreas mayormente naturales		3.3.5 Arbustal / área intervenida
		3.3.6 Herbazal / área intervenida
		3.3.7 Arbustal - Herbazal / área intervenida
		3.4.1 Áreas arenosas naturales
		3.4.2 Afloramientos rocosos
		3.4.3 Tierras desnudas (incluyen áreas erosionadas naturales y también degradadas)
	3.4 Áreas sin/con poca vegetación	3.4.4 Áreas quemadas
		3.4.5 Glaciares
		3.4.6 Solares
		4.4.1 Áreas pantanosas
4. Áreas	4.1 Áreas húmedas continentales	4.1.2 Tuberías y bofedales
		4.1.3 Vegetación acuática sobre cuerpos de agua
5. Superficies de agua	5.1. Aguas continentales	

Fuente:(CAN, 2014).

2.3.11. Dinámica EGO

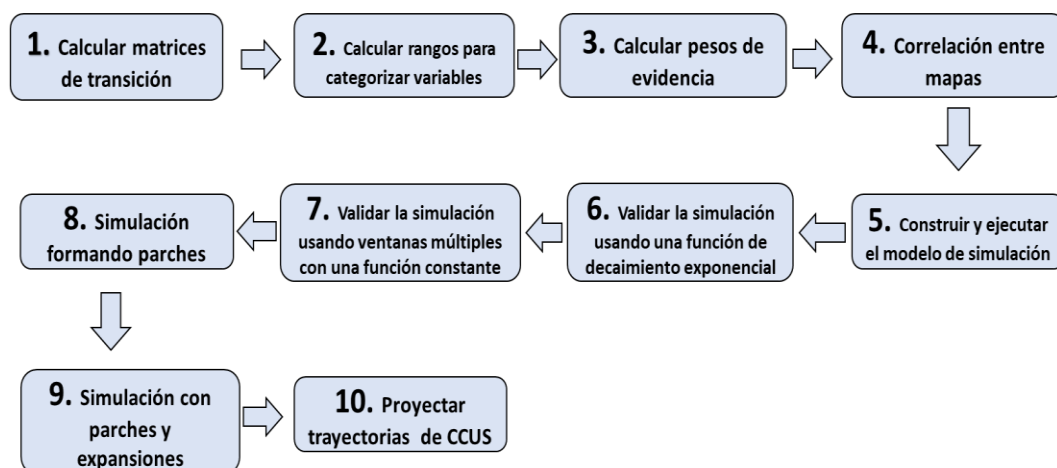
La herramienta Dinamica EGO, cuyas siglas hacen referencia al concepto de “Environment for Geoprocessing Objects” (Entorno para Objetos de Geoprocesamiento) Padilla et al. (2015). Esta técnica se utiliza en investigaciones de modelación de deforestación y crecimiento urbano. Es altamente adaptable, facilitando la creación de modelos complejos de cambio de cobertura y el

desarrollo de futuros escenarios de cambio. Además de efectuar análisis de cambios multitemporales, en la Dinámica EGO se pueden emplear análisis multicriterio para evaluar impactos ambientales, planificación urbana o regional, con indicaciones del paisaje o métricas del paisaje, con el fin de evaluar la calidad de los hábitats en situaciones donde los inventarios de biodiversidad o los datos ecológicos son escasos. Además, es posible elaborar modelos econométricos de pronósticos para estimar las tasas de deforestación basándose en el entorno socioeconómico de las ciudades, además de desarrollar modelos para supervisar las emisiones de carbono (Soares, 2009).

Esta herramienta funciona en una plataforma que utiliza los lenguajes C++ y Java. Dinámica EGO modela el paisaje como una matriz regular de celdas que interactúan dentro de un vecindario específico, y el estado de cada celda depende de los estados previos de las celdas vecinas (Padilla et al. 2015).

El modelado de CCUS en Dinámica EGO se lleva a cabo mediante una serie de diez pasos consecutivos. Los modelos se expresan mediante functors, formando diagramas de flujo para producir un resultado que responda a una pregunta sobre un tema específico (Soares-Filho et al. 2009).

Tabla 6. Secuencia de pasos a seguir por el software Dinámica EGO. Para la modelación de cobertura de suelo del distrito de Chuschi. (Ezpinoza, 2021)



2.3.12. ArcGIS

En la actualidad, ESRI (Environmental Systems Research Institute) lidera la tecnología en Sistemas de Información Geográfica (SIG), con más de 30 años de desarrollo y mejoras. Bermejo, (2014) Sus funcionalidades abarcan:

- Creación de datos geográficos mediante digitalización asistida
- Dibujo y edición de entidades en un mapa
- Trabajo con dispositivos móviles para actualización en tiempo real

- Síntesis de datos provenientes de diversas fuentes
- Almacenamiento de información en bases de datos geográficas
- Realización de análisis espaciales
- Diseño y cálculo de redes
- Automatización de geoprocursos
- Creación de visualizaciones espaciales en 2D y 3D
- Maquetación de mapas y control de salida de datos
- Publicación de información geográfica accesible para cualquier usuario

2.3.13. Modelos de cambio de cobertura de suelo

- **Modelo de Transición de Márkov:** Este modelo se basa en la teoría de cadenas de Markov y predice cambios de cobertura de suelo a partir de la matriz de transición que describe las probabilidades de cambio entre diferentes categorías de cobertura de suelo.
- **Modelo Dinámico de Sistemas (MDS):** Los MDS son modelos que representan la interacción entre diferentes variables para simular el cambio de cobertura de suelo a lo largo del tiempo. Estos modelos pueden incluir factores biológicos, socioeconómicos y ambientales.
- **Modelo de Regresión Logística:** Utiliza análisis estadístico para predecir la probabilidad de cambio de cobertura de suelo en función de variables independientes, como la distancia a carreteras, la topografía, la vegetación circundante, etc.
- **Modelo de Redes Neuronales Artificiales (RNA):** Las RNA son modelos inspirados en el funcionamiento del cerebro humano que pueden utilizarse para predecir el cambio de cobertura de suelo a partir de datos históricos y variables ambientales.
- **Modelo de Autómata Celular:** Este modelo simula el cambio de cobertura de suelo a través de la interacción de unidades discretas de paisaje, llamadas "celdas", que cambian de estado según reglas predefinidas.
- **Modelo de Random Forest:** Es un modelo de aprendizaje automático que utiliza múltiples árboles de decisión para predecir el cambio de cobertura de suelo en función de diversas variables predictoras.
- **Modelo de Regresión Espacial:** Similar a la regresión logística, pero tiene en cuenta la autocorrelación espacial en los datos, lo que puede ser importante para predecir el cambio de cobertura de suelo en paisajes fragmentados.

2.3.14. Estimación de la tasa de cambio de cobertura

La tasa de cambio de cobertura se refiere a la medida del cambio en el uso o la cobertura del suelo en un área determinada a lo largo del tiempo. Es una clave métrica en los estudios de dinámica de paisaje, gestión ambiental y planificación territorial, ya que permite evaluar cómo han cambiado las diferentes categorías de uso del suelo (como bosques, áreas urbanas, cuerpos de agua, áreas agrícolas, etc.) debido a actividades humanas o fenómenos naturales (Ruiz et al., 2013).

$$tc = \left\{ \left[\frac{S2}{S1} \right]^{1/n} - 1 \right\} \times 100$$

Donde:

tc = tasa de variación del suelo

$S1$ = extensión del área de estudio en la fecha inicial

$S2$ = extensión del área de estudio con la fecha final

n = disimilitud de años entre la fecha inicial y final

2.3.15. Creación de matrices de confusión

Es una herramienta utilizada en la evaluación del rendimiento de un modelo de clasificación. En el contexto del CCUS, una matriz de confusión permite comparar las predicciones del modelo con las etiquetas reales de las imágenes para evaluar la precisión y otros parámetros de rendimiento del modelo.

Desde la matriz de confusión se pueden derivar varias medidas importantes de exactitud, tales como:

		Predicción	
		Positivos	Negativos
Observación	Positivos	Verdaderos Positivos (VP)	Falsos Negativos (FN)
	Negativos	Falsos Positivos (FP)	Verdaderos Negativos (VN)

- VP (Verdaderos Positivos): Cantidad de positivos correctamente clasificados como positivos.
- VN (Verdaderos Negativos): Cantidad de negativos correctamente clasificados como negativos.
- FN (Falsos Negativos): Cantidad de positivos clasificados incorrectamente como negativos.
- FP (Falsos Positivos): Cantidad de negativos clasificados incorrectamente como positivos.

Matrices derivadas:

Precisión (Accuracy): Proporción de píxeles correctamente clasificados sobre el total de píxeles.

$$Precision\ norte = \frac{\sum VP}{\sum (VP + FP + FN + VN)}$$

Precisión por clase (Precisión): Proporción de verdaderos positivos sobre el total de píxeles predichos como esa clase.

$$Precision\ por\ clase = \frac{VP}{VP + FP}$$

Sensibilidad o Recall (Sensibilidad): Proporción de verdaderos positivos sobre el total de píxeles que realmente pertenecen a esa clase.

$$Sensibilidad = \frac{VP}{VP + FN}$$

Puntuación F1 (F1 Score): Media armónica de la precisión y la sensibilidad.

$$Puntuación\ F1 = \frac{Precision\ por\ clase \times Sensibilidad}{Precision\ por\ clase + Sensibilidad}$$

2.3.16. Índice de Kappa (K)

El estadístico Kappa evalúa si la clasificación ha diferenciado las categorías de interés con una exactitud significativamente mayor que la obtenida por asignación aleatoria. Un valor de Kappa igual a 1 indica un acuerdo completo entre la realidad y el mapa, mientras que un valor cercano a 0 sugiere que el acuerdo observado es debido al azar.

La índice Kappa (k), fórmula:

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r (X_{i+} \times X_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (X_{i+} \times X_{+i})}$$

Dónde:

R: Número de la fila

xii: Número de combinaciones a lo largo de la diagonal

xi: Observaciones totales de la fila i

x+i: Total de observaciones en la columna i

N: Número total de celda en la esquina inferior derecha

Tabla 7. Valoración del índice Kappa.

Estadística Kappa	Fuerza de concordancia
< 0.00	mala
0.00 - 0.20	pobre
0.21 - 0.40	débil
0.41 - 0.60	aceptable
0.61 - 0.80	bueno
0.81 - 1	excelente

Fuente: Rubiales, (2020)

2.4. Marco legal

- Ley General del Ambiente N° 26811, en su Artículo N° 1 menciona, toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable,

equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente.(Ley-N°-28611, 2005).

- LEY N° 31313, Ley de desarrollo Urbano Sostenible; en su artículos N° 1 establece los principios, lineamientos, instrumentos y normas que regulan el acondicionamiento territorial, la planificación urbana, el uso y la gestión del suelo urbano, a efectos de lograr un desarrollo urbano sostenible, la habilitación y la ocupación racional del suelo; así como el desarrollo equitativo y accesible y la reducción de la desigualdad urbana y territorial, y la conservación de los patrones culturales, conocimientos y estilos de vida de las comunidades tradicionales y los pueblos indígenas u originarios.(LEY - N° 31313., 2021).
- Ley N° 29763, La Ley Forestal y de Fauna Silvestre, tiene como objetivo promover la conservación, protección, incremento y uso sostenible del patrimonio forestal y de fauna silvestre.(Ley Forestal y de Fauna Silvestre, 2015).
- El Decreto Supremo N° 0005-2022-MIDAGRI, decreto supremo que aprueba el reglamento de clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor. El decreto tiene como objetivo promover y difundir el uso racional y continuado de las tierras para conseguir el óptimo beneficio social, económico y ambiental.(DS N°5.MIDAGRI, 2022).
- El Proyecto de Ley N° 7785/2020-CR, tiene por objeto declarar de interés nacional y necesidad pública la implementación de prácticas de manejo y conservación de suelos para la prevención de la erosión del suelo agrícola.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación de la zona de estudio

La zona de estudio es el distrito de Chuschi, determinado por el límite político.

3.1.1. Ubicación política del distrito de Chuschi

Departamento : Ayacucho

Provincia : Cangallo

Distrito : Chuschi

3.1.2. Ubicación geográfica del distrito de Chuschi

El distrito de Chuschi se sitúa en la parte central de la provincia de Cangallo, a 109 kilómetros al sureste de la ciudad de Ayacucho y a 59 kilómetros de Cangallo, según la Dirección Regional de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción. Está enclavado en los Andes del Perú y forma parte de los pueblos ubicados en las cuencas de los ríos Pampas y Mantaro-Cachi. Por otro lado, las altitudes referenciales en el punto más bajo son 2,196 m.s.n.m., mientras en el punto más alto es 5,139 m.s.n.m.(Carbajal et al., 2017).

Tabla 8. Coordenadas del distrito Chuschi capital.

Distrito	Coordenadas UTM-WGS84, ZONA 18L		
	Norte (m)	Este (m)	Altitud (msnm)
Chuschi-Capital	8498074.95	570101.24 E	3148

Norte : Provincia Huamanga

Este : Distrito Los Morochucos y María Parado de Bellido

Sur : Provincia Víctor Fajardo

Oeste : Distrito Paras y Totos

Anexos: Puckruhuasi grande, Tucucucho, Tuco, Choccoro, Unión Potrero, Puncupata, Catalinayocc, Pampamarca, Cuchuquesera, Cerce, Huerta Huasi, Yuraccruz, Pirhuamarca, Llactauran, Patario, Quispillaccta, Chuschi, Callcabamaba, San Juan de Uchuyri, Ccotarara, Cancha, San Juan de Cruz Pampa, Chaccolla, Hirapata.

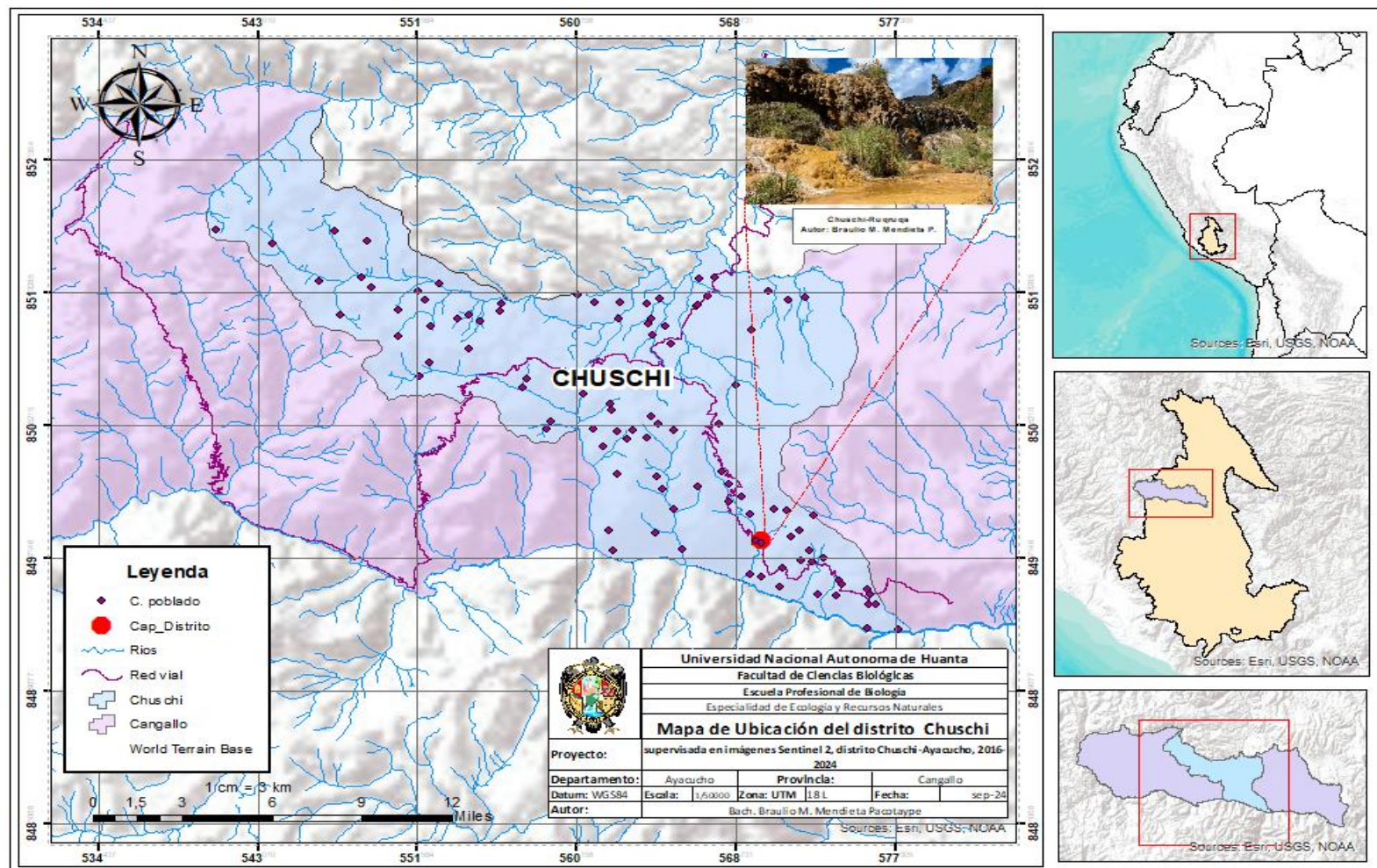


Figura 6. Mapa de ubicación del distrito de Chuschi, Cangallo, Ayacucho 2024.

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

La población estuvo conformada por las imágenes satelitales Sentinel 2, del nivel 2A que se encuentran en el servidor <https://dataspace.copernicus.eu/> (ESA, 2024), comprendidas entre el año 2016 al 2024.

3.2.2. Muestra

Estuvo constituida por 9 imágenes satelitales del Sentinel 2, nivel 2A del distrito de Chuschi, del año 2016 al 2024 entre los meses de julio, agosto y setiembre con nubosidad menor al 30%.

3.3. Metodología y recolección de datos

3.3.1. Recolección de datos

a. Acceso a servidor Copernicus Data Space

Visita al sitio web: <https://dataspace.copernicus.eu/> realice el registro e inicie sesión con tu nombre de usuario y contraseña. Navegación: Utiliza la interfaz gráfica para buscar los datos que necesitas. Puedes filtrar por sensor, producto, fecha de adquisición y zona geográfica; se recomienda tener el área o zona de estudio en formato kml o kmz, para facilitar la búsqueda de imágenes.

b. Descarga de imágenes satelitales vía internet

Se busco imágenes con los siguientes Filtros:

- Imágenes Sentinel 2 del nivel 2A con las siguientes características:

Formato de datos: Los datos de nivel 2A están disponibles en formato GeoTIFF optimizado para la nube, lo que facilita su manejo y procesamiento en plataformas de análisis geoespacial

- Nubosidad con menor o igual al 30%.
- Filtro de monitoreo de la tierra: con valores de reflectancia alto.

Tabla 9. Códigos de las imágenes satelitales Sentinel 2 nivel 2A, del servidor Copernicus Data Space.

Sensor	Descripción	Mes	Año
Sentinel 2-2A	S2A_MSIL2A_20161030T150722_N0500_R082_T18LWL_20230928T213126.SAFE	noviembre	2016
	S2B_MSIL2A_20170801T150719_N0500_R082_T18LWL_20230830T073509.SAFE	agosto	2017
	S2B_MSIL2A_20180707T150719_N0500_R082_T18LWL_20230625T213649.SAFE	julio	2018
	S2A_MSIL2A_20190806T150721_N0500_R082_T18LWL_20230702T000655.SAFE	agosto	2019
	S2A_MSIL2A_20200721T150731_N0500_R082_T18LWL_20230326T113517.SAFE	julio	2020
	S2A_MSIL2A_20210825T150721_N0500_R082_T18LWL_20230121T130834.SAFE	agosto	2021
	S2B_MSIL2A_20220825T150719_N0400_R082_T18LWL_20220829T173637.SAFE	agosto	2022
	S2B_MSIL2A_20230820T150729_N0509_R082_T18LWL_20230820T185740.SAFE	agosto	2023
	S2A_MSIL2A_20240819T150721_N0511_R082_T18LWL_20240819T210751.SAFE	agosto	2024

3.3.2. Creación de colores RGB de las imágenes satelitales

Una vez descargada la imagen satelital se cargó en el Software QGIS versión 3.36.3, para obtener una imagen en color natural, se utilizó las bandas B4 (rojo), B3 (verde) y B2 (azul); con la herramienta “Renderizador multibanda”; para ajustes de visualización se realizó: Ajuste del contraste y el brillo según sea necesario para mejorar la visualización. Se utilizó herramientas de estiramiento de histograma para mejorar la apariencia de la imagen. Finalmente se guardó y exportó; en formato .TIF, para su procesamiento en el Software ArcGIS, importante las imágenes Sentinel por defecto se descargan en formato jp2.

Y para la clasificación se utilizó la leyenda CORINE Land Cover adaptada para el Perú por el MINAM, del cual los colores establecidos para cada cobertura fueron extraídos y representados en los mapas temáticos.

3.3.3. Corte de la imagen de la zona de estudio

Con la herramienta “Extract by Mask” (Extraer por Máscara), un .shp del distrito de Chuschi con delimitación política y la imagen satelital RGB, se realiza el recorte. Después de configurar los parámetros, se ejecutó la herramienta. El proceso generó un nuevo ráster que contenía únicamente las celdas dentro del área definida por la máscara.

Finalmente, se verificó la precisión del corte visualizando el ráster resultante y comparándolo con la máscara original para asegurarse de que el área de interés había sido correctamente extraída.

3.3.4. Clasificación supervisada interactiva

Se cargaron las imágenes ráster correspondientes a la zona de estudio, distrito de Chuschi ya recortado en color RGB. Se procedió a crear muestras de entrenamiento 30 puntos por cada clase identificada.

Creadas las muestras de entrenamiento, se utilizó la herramienta de "Clasificación supervisada interactiva". Esta herramienta permitió realizar una clasificación supervisada sin necesidad de crear un archivo de firma explícito.

El resultado de la clasificación se agregó a la tabla de contenido de ArcMap como una capa ráster temporal. Finalmente, se guardó el ráster clasificado en el disco duro para su posterior análisis y uso.

3.3.5. Corrección del ráster creado del distrito de Chuschi

Para realizar una corrección del ráster utilizando el filtro mayoritario en ArcGIS, se utilizó la herramienta “Filtro mayoritario” (Majority Filter).

Se eligió el número de vecinos a considerar, optando entre **cuatro u ocho vecinos**. Esta elección determinó si el filtro consideraría solo los vecinos

ortogonales (cuatro) o también los diagonales (ocho). Este proceso se realizó dos veces por la gran extensión de la zona de estudio.

A continuación, se estableció el umbral de reemplazo, que definió cuántas celdas contiguas debían tener el mismo valor para que se produjera el reemplazo. Se seleccionó la opción “Mayoría” para asegurar que la celda central adoptara el valor más común entre sus vecinos.

3.3.6. Conversión de ráster a polígono y eliminación de píxeles

Con la herramienta de conversión en ArcToolbox y seleccionó “Raster to Polygon”. En la ventana de la herramienta, especificó el ráster de entrada y el nombre de la clase de entidad de salida. Simplificando los polígonos de salida para mantener la precisión de los bordes del ráster original.

Una vez completada la conversión, revisó la nueva capa de polígonos. Se observó que algunos polígonos pequeños aún estaban presentes, por lo que se utilizó la herramienta de eliminación de polígonos pequeños para limpiar la capa. Esta herramienta le permite definir un umbral de área mínima, eliminando automáticamente los polígonos que no cumplían con este criterio, la base para eliminar eran polígonos que sea menores a 300 ha.

3.3.7. Cálculo de las áreas de las clases identificadas

Luego de la conversión a polígono se abrió la tabla de atributos y se agregó un nuevo campo nombre: Area_km² entrada doble (para realizar el cálculo en el mismo campo); se sigue con la herramienta calculadora geométrica, se seleccionó la unidad km² para cada clase (gridcode).

3.3.8. Verificación y creación de matriz de confusión

Primero, se prepararon los datos necesarios. Se utilizó una imagen clasificada y un conjunto de datos de referencia que representaban la verdad en el terreno. Estos datos de referencia se generaron con la herramienta “Crear puntos de evaluación de exactitud” en ArcGIS.

Luego, se actualizaron los puntos de evaluación de exactitud utilizando la herramienta correspondiente para asegurarse de cada punto tuviera valores de clases válidos tanto para los campos “Classified”.

A continuación, se procedió a calcular la matriz de confusión. Para ello, se utilizó la herramienta “Calcular matriz de confusión” disponible en el módulo Spatial Analyst. Esta herramienta comparó las clases de la imagen clasificada con las clases de los datos de referencia, generando una tabla que mostraba los aciertos y errores de clasificación.

La matriz de confusión resultante permitió evaluar la precisión de la clasificación. Se calcularon el error de comisión y error omisión para cada clase, así como un índice de acuerdo Kappa global. Estos índices proporcionaron una medida cuantitativa de la precisión de la clasificación, ayudando a identificar áreas de mejora.

Finalmente, se interpretaron los resultados de la matriz de confusión para entender mejor los errores de omisión y comisión presentes en la clasificación. Esta interpretación fue crucial para ajustar y mejorar los algoritmos de clasificación utilizados en futuros análisis.

3.3.9. Análisis multicriterio para la simulación de la cobertura de uso de suelo del distrito de Chuschi al año 2030

Dinámica EGO es una herramienta poderosa para modelar los cambios en la cobertura y uso de suelo a lo largo del tiempo, considerando factores biofísicos y socioeconómicos. Presenta 7 pasos principales para modelar.

Importante para la modelación los datos que fueron usados fueron los mapas de clasificación supervisada para el distrito de Chuschi realizado anteriormente desde el 2016 al 2024, los cuales tienen mismo tamaño de celda, pixeles y rangos o clases.

1. Creación de matriz de transición

Es la medida que se calcula a partir de dos mapas históricos en este caso del 2017 y del 2023, motivo que son los más lejanos y contienen el mismo número de clases ya que en los otros años la cobertura de áreas quemadas están presentes y este factor de incendios es impredecible.

2. Creación de cubo ráster y rangos

La creación de cubo ráster es la unión de variables ya sean continuas o discretas. Por otro lado, los rangos en base a la matriz de transición, se seleccionó las variables que nos son relevantes y se añaden los metros a calcular a partir del final de una clase, para la probabilidad de cambio.

Para esta investigación se tomó:

- Mapa de clasificación supervisada del año 2017.
- Mapa de clasificación supervisada del año 2024.
- Población total censada del 2017 por el INEI.
- Situación socioeconómica.

3. Creación de pesos de evidencia

Es la probabilidad que tiene cada clase de ser modificado o cambiado del tiempo inicial al tiempo final.

4. Cálculo de correlación entre variables

La correlación entre variables mide la relación estadística entre dos variables. Se utilizó para determinar cómo una variable influenció o se asoció con otra, ayudando a identificar patrones y dependencias en los datos espaciales.

5. Simulación

Este es el paso donde se obtiene el producto en imagen formato tif del mapa proyectado. Se simuló para el año 2030 para el distrito de Chuschi.

6. Validación y Simulación final

Para esta investigación la validación se realizó de dos maneras primero usando ArcGIS, mediante matriz de confusión entre el mapa inicial, final y el proyectado o simulado.

3.3.10. Análisis de la cobertura y uso de suelo del distrito de Chuschi

Los datos se registraron en una tabla Excel, cobertura y uso de suelo en km², se procedió a calcular el error de comisión y omisión de la matriz de confusión para luego determinar el índice de Kappa. Asimismo, calcular la tasa de cambio de cada cobertura identificada.

3.3.11. Creación de matriz de confusión

Se realizó utilizando el software ArcGIS, creando 30 a 50 puntos aleatorios por cada clase identificada (12), en total 360 a 600 puntos, luego convertidos a ráster para ser sobrepuesto con la herramienta Local-Combinar, partir de ahí calcular la concordancia y convertirlo a tabla tipo pivot, lo cual te da como resultado una matriz de confusión.

Desde la matriz de confusión se exportó a formato .xsl para poder trabajar en Excel y calcular los errores de comisión y omisión.

3.3.12. Determinación de índice de Kappa (K)

El índice de Kappa es una medida estadística que evaluó el grado de concordancia entre la imagen clasificada y la imagen base, se utilizó para determinar la fiabilidad de las evaluaciones categóricas con la siguiente fórmula:

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r (X_{i+} \times X_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (X_{i+} \times X_{+i})}$$

3.3.13. Estimación de la tasa de cambio (TC)

Para la estimación se siguió la fórmula:

$$tc = \left\{ \left[\frac{S2}{S1} \right]^{1/n} - 1 \right\} \times 100$$

Se estimó para cada año con más énfasis para el año 2016 y 2024.

3.3.14. Elaboración de mapas temáticos

Se realizó los mapas temáticos del cambio de cobertura de uso de suelo del distrito de Chuschi, para el año inicial 2016, final 2024 y la proyección al 2030. Utilizando el software QGIS.

3.4. Tipo de investigación

Por su finalidad es básica, por la profundidad es descriptiva; busca aumentar el conocimiento de la realidad o de los fenómenos de la naturaleza.

3.5. Análisis de datos

Fueron procesados en el software Microsoft Excel 2019 de Microsoft Office, lo que es estimación de índice de Kappa, tasa de cambio, tablas de frecuencia y gráficos. Por otro lado, la creación de matriz de confusión y correlación de variables para la simulación de cobertura de uso de suelo del distrito de Chuschi se utilizó el Software Dinámica EGO 8.0

IV. RESULTADOS

Tabla 10. Clases de cobertura de uso de suelo, identificadas para el distrito de Chuschi, modificado de la Leyenda Corine Land Cover adaptada para el Perú por el MINAM.

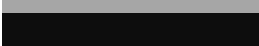
N°	Coberturas	Color de identificación
1	Aguas continentales	
2	Tierras desnudas	
3	Bosque denso alto	
4	Arbustal	
5	Humedales	
6	Herbazal	
7	Áreas urbanizadas	
8	Cultivo permanente (pastos)	
9	Cultivos transitorios	
10	Áreas arenosas naturales	
11	Áreas quemadas	
12	Afloramientos rocosos	

Tabla 11. Cobertura de uso de suelo del distrito de Chuschi, provincia Cangallo, Ayacucho; en km2 desde el año 2016 al 2024.

Años	2024	2023	2022	2021	2020	2019	2018	2017	2016
Coberturas	Área (km ²)								
Aguas continentales	2,696	2,818	2,662	2,688	2,693	2,882	2,941	2,898	2,743
Tierras desnudas	5,246	4,498	4,331	3,835	5,922	2,817	2,953	3,802	4,252
Bosque denso alto	6,047	6,802	7,392	6,782	6,386	7,658	7,268	7,299	6,470
Arbustal	18,122	19,998	18,807	20,629	19,442	22,235	21,488	19,245	19,868
Humedales	14,559	13,156	15,498	14,966	13,870	13,132	11,338	12,493	13,848
Herbazal	287,110	278,559	277,820	278,147	285,899	279,328	272,942	277,084	284,321
Áreas urbanizadas	12,927	11,289	11,046	10,560	10,930	11,979	10,787	11,866	10,693
Cultivo permanente (pastos)	3,634	3,816	2,335	2,097	2,393	3,008	3,633	5,257	5,536
Cultivos transitorios	35,756	38,161	37,564	40,279	34,474	38,693	43,305	41,786	42,577
Áreas arenosas naturales	21,678	28,746	28,893	27,170	24,024	23,950	27,672	24,420	14,532
Áreas quemadas	1,122	---	1,396	0,914	1,721	---	0,385	---	4,659
Afloramientos rocosos	2,708	3,756	3,860	3,537	3,851	5,919	6,889	5,455	2,105

Tabla 12. Promedio de cobertura de uso de suelo expresado en km² y porcentaje para el distrito de Chuschi, Cangallo. Adaptada de la leyenda CLC para el Perú, Ayacucho 2016-2024.

Coberturas	Promedio (km²)	%
Aguas continentales	2,780	0,675
Tierras desnudas	4,184	1,015
Bosque denso alto	6,900	1,674
Arbustal	19,981	4,848
Humedales	13,651	3,312
Herbazal	280,023	67,939
Áreas urbanizadas	11,342	2,752
Cultivo permanente (pastos)	3,523	0,855
Cultivos transitorios	39,177	9,505
Áreas arenosas naturales	24,565	5,960
Áreas quemadas	1,700	0,412
Afloramientos rocosos	4,342	1,054
TOTAL	412,170	100

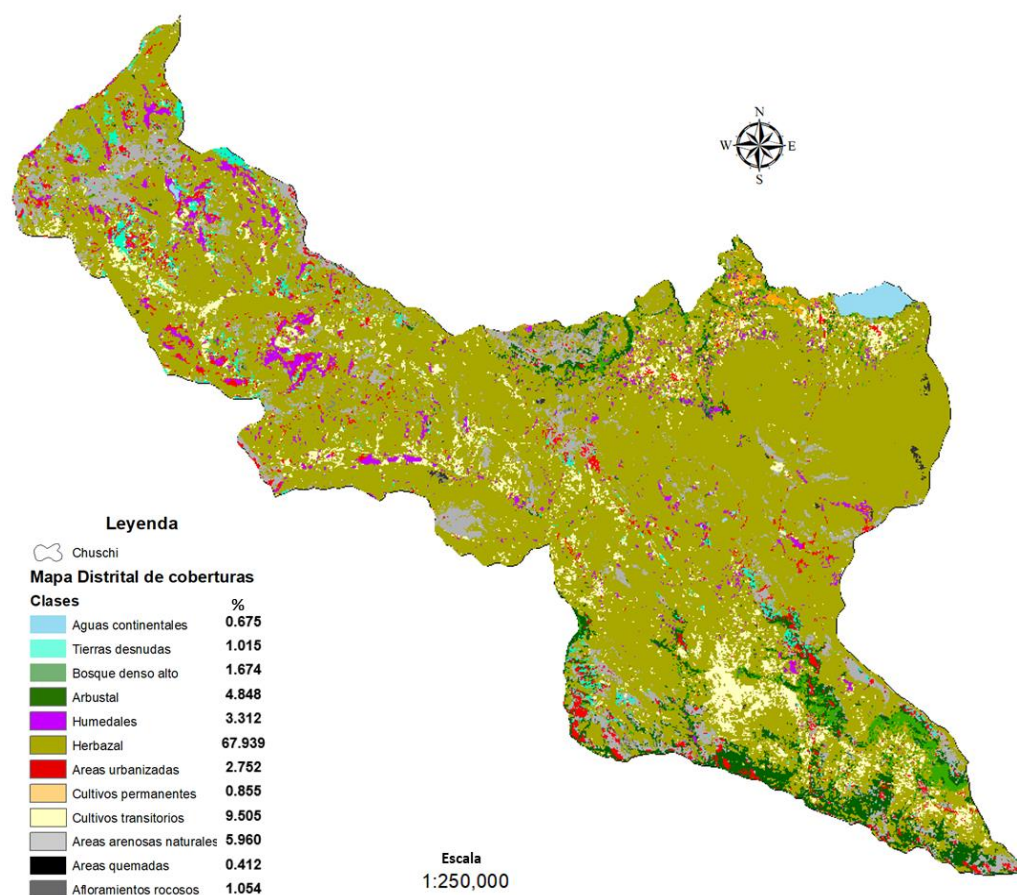


Figura 7. Mapa temático del promedio de cambio de coberturas de uso de suelo expresado en porcentaje, del distrito de Chuschi, Cangallo; Ayacucho 2016-2024.

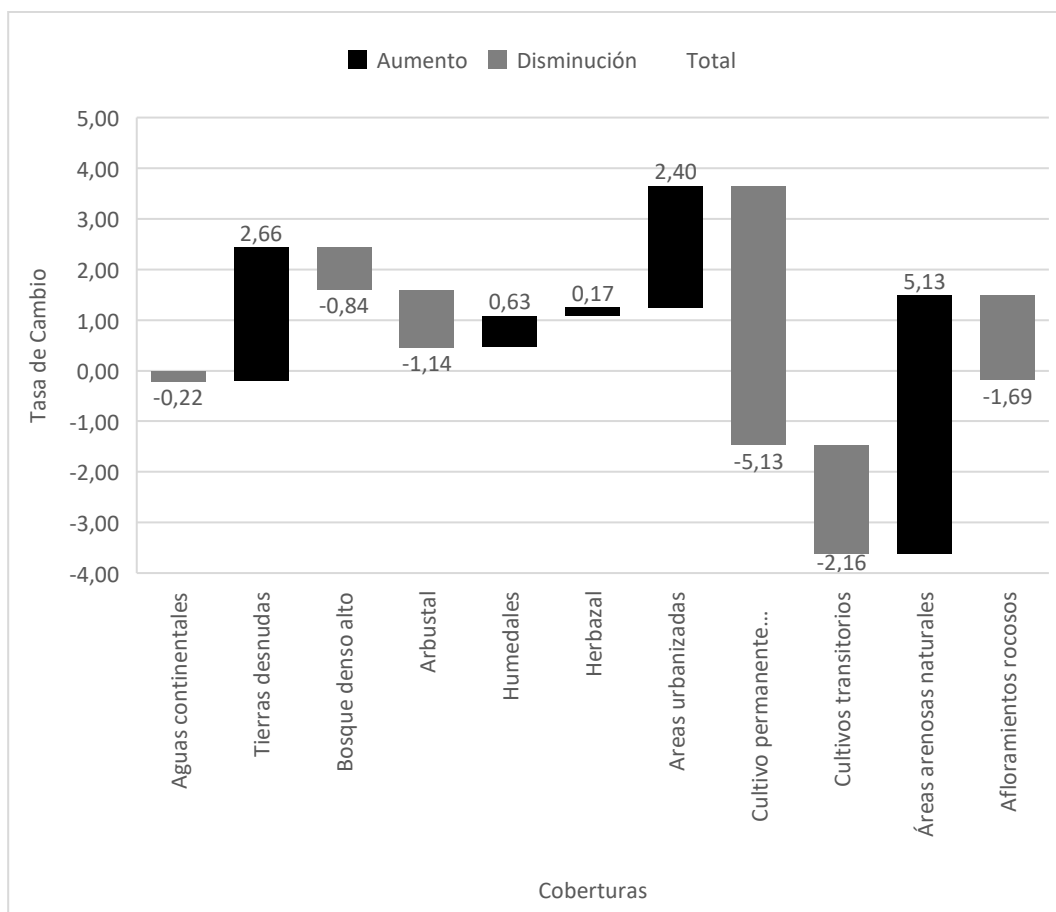


Figura 8. Tasa de cambio del año 2016 y 2024 vs las coberturas de uso de suelo del distrito de Chuschi, Ayacucho 2024.

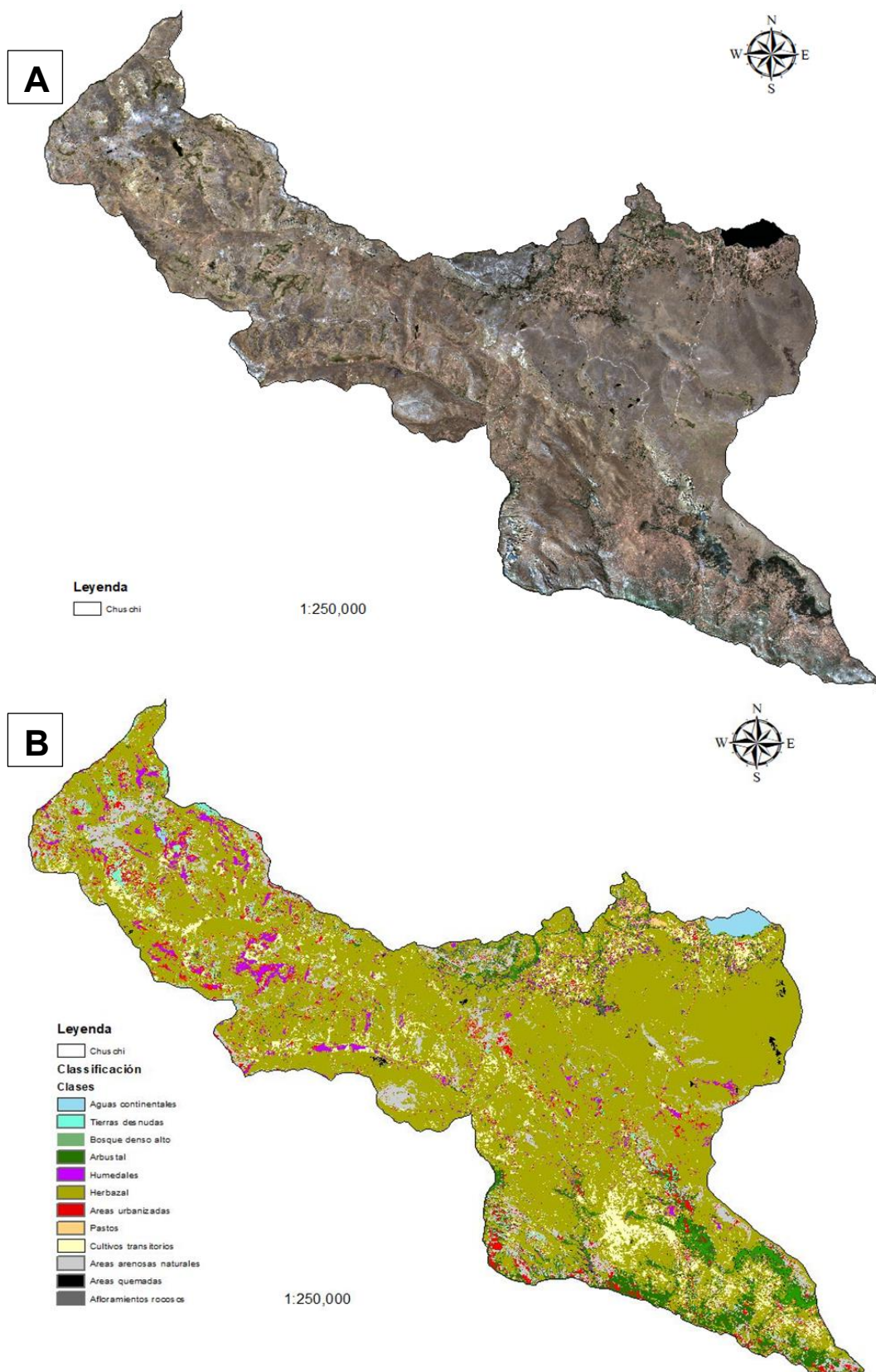


Figura 9. Distrito de Chuschi imagen RGB Sentinel 2A (A), clasificación de coberturas de uso de suelo del distrito de Chuschi para el año 2024 (B) Ayacucho 2024.

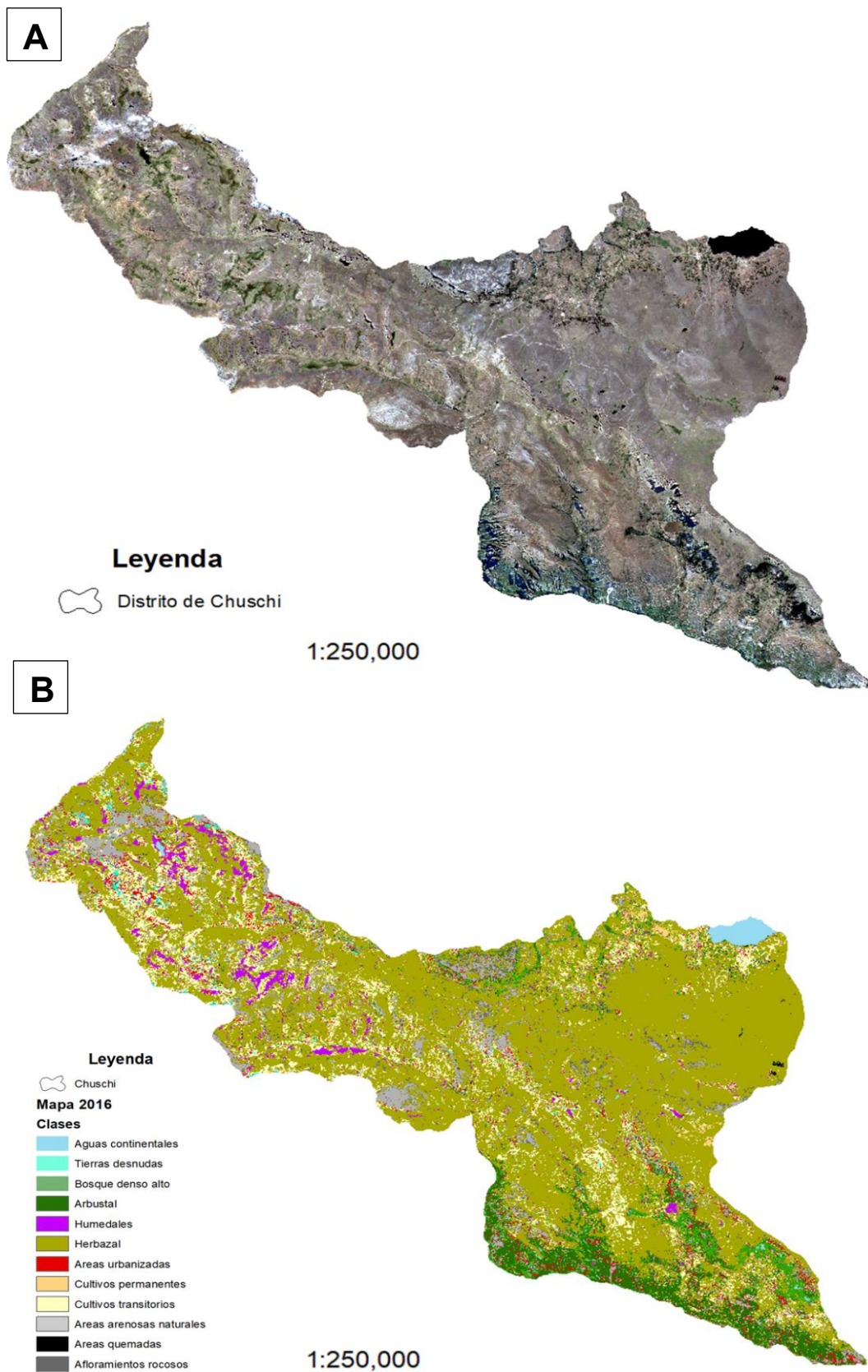
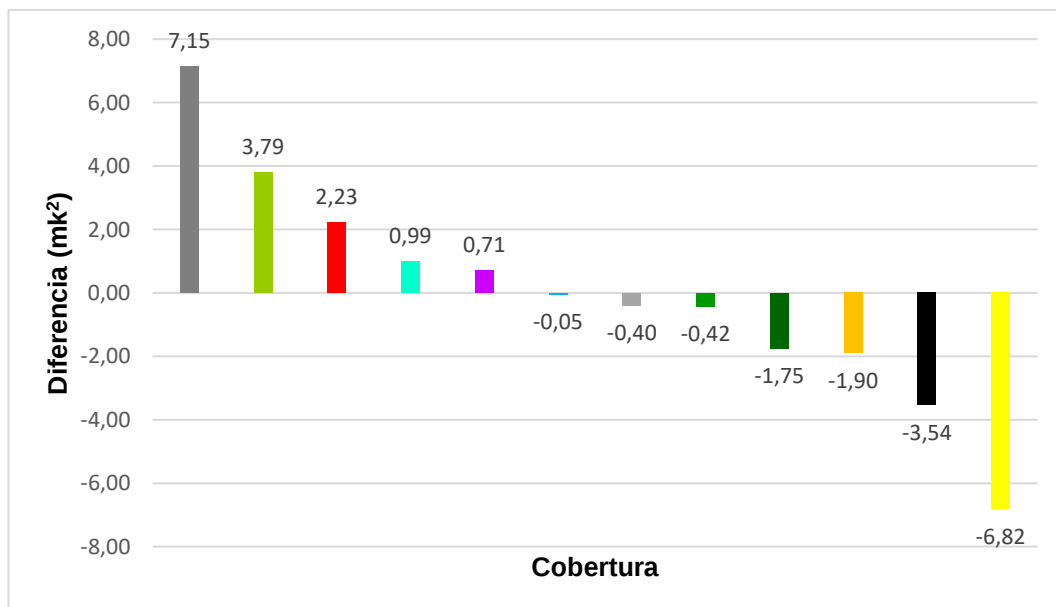


Figura 10. Clasificación de coberturas de uso de suelo del distrito de Chuschi para el año 2016 (B), distrito de Chuschi imagen RGB Sentinel 2A (A). Ayacucho 2024.



Leyenda

Diferencia en (Km²)	Coberturas
7.15	Áreas arenosas naturales
3.79	Herbazal
2.23	Áreas urbanizadas
0.99	Tierras desnudas
0.71	Humedales
-0.05	Aguas continentales
-0.40	Afloramientos rocosos
-0.42	Bosque denso alto
-1.75	Arbustal
-1.90	Cultivo permanente (pastos)
-3.54	Áreas quemadas
-6.82	Cultivos transitorios

Figura 11. Diferencia en km² (+) aumento y (-) perdida; para cada cobertura del año 2024 menos el año 2016 del distrito de Chuschi, Ayacucho.

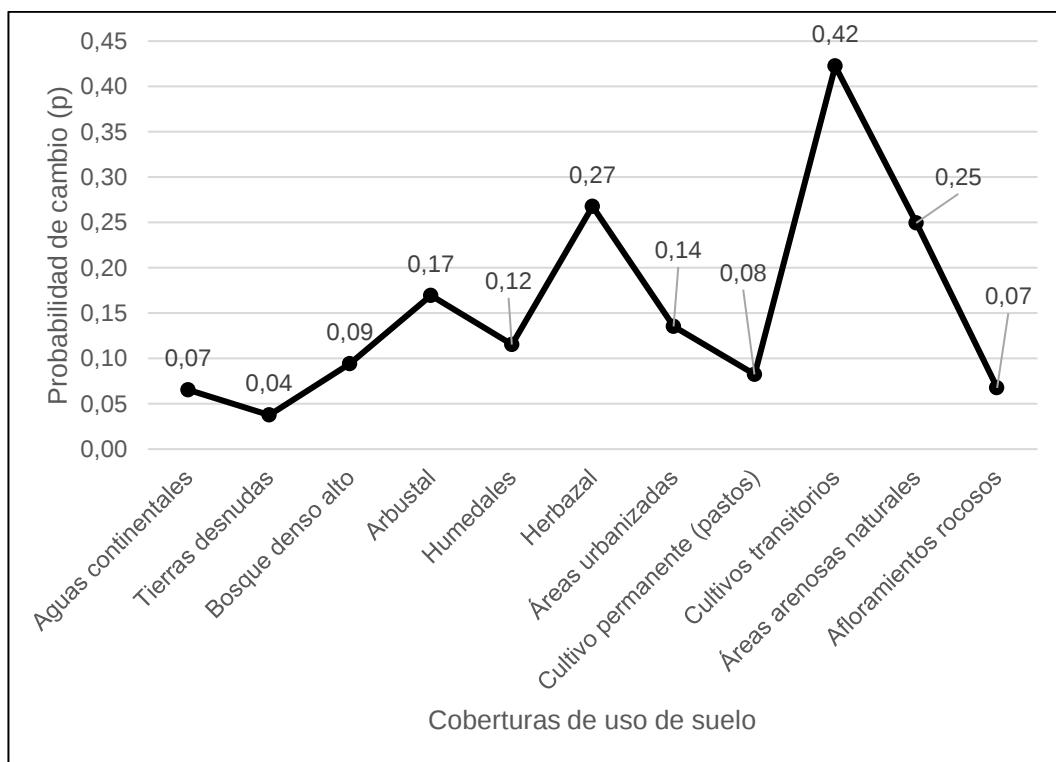
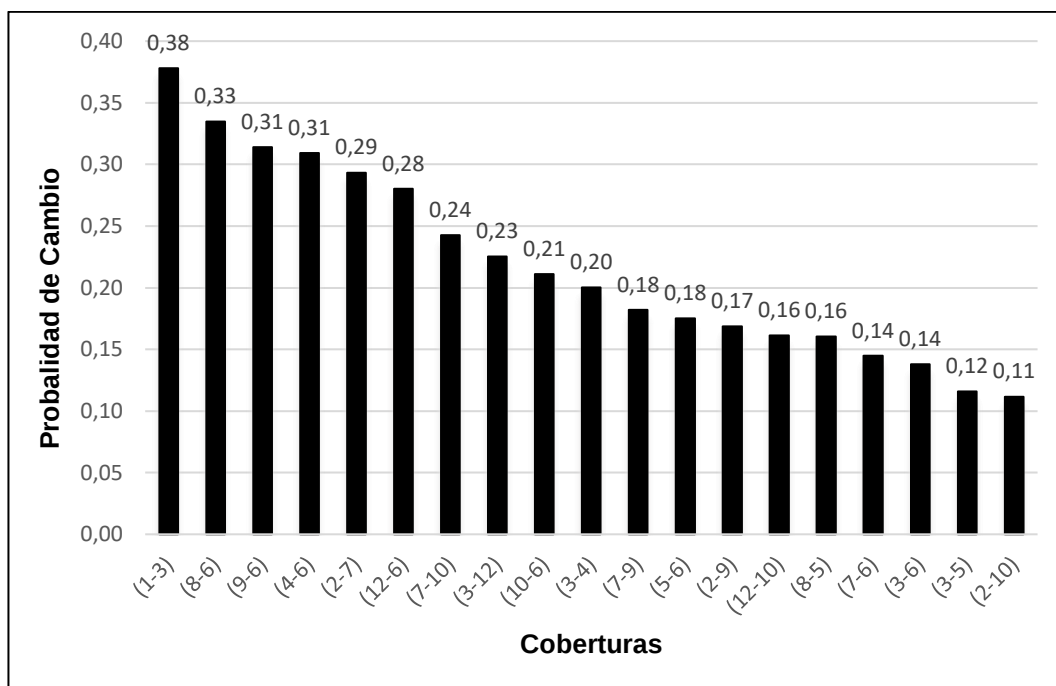


Figura 12. Probabilidad de cambio de cobertura de uso de suelo del distrito de Chuschi para el año 2030, Ayacucho 2024.



Leyenda

- 1 Aguas continentales
- 2 Tierras desnudas
- 3 Bosque denso alto
- 4 Arbustal
- 5 Humedales
- 6 Herbazal
- 7 Áreas urbanizadas
- 8 Cultivo permanente (pastos)
- 9 Cultivos transitorios
- 10 Áreas arenosas naturales
- 12 Afloramientos rocosos

Figura 13. Probabilidad de cambio de cobertura a otra; para el distrito de Chuschi al año 2030, Ayacucho 2024.

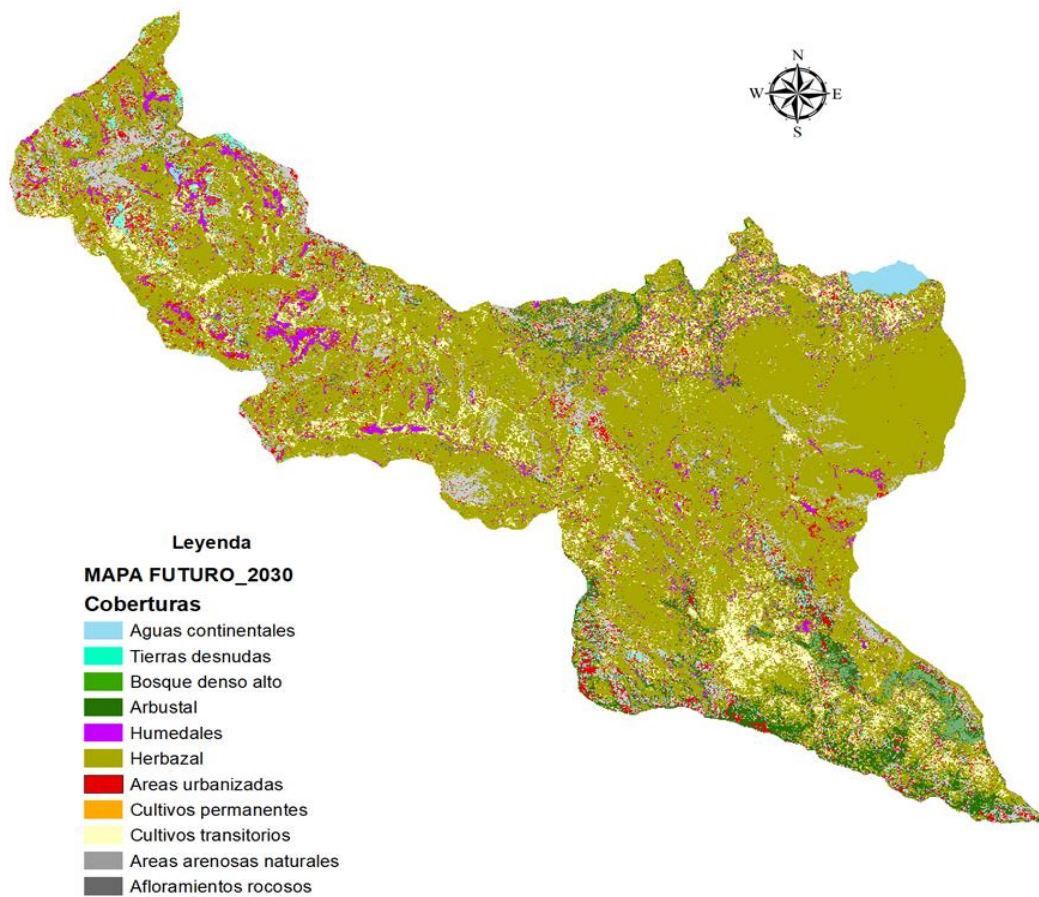


Figura 14. Mapa de clasificación de cobertura de uso de suelo del año 2030 (probable); para el distrito de Chuschi, Ayacucho 2024.

V. DISCUSIÓN

La tabla 13, presenta al distrito de Chuschi, ubicado en la provincia de Cangallo, departamento de Ayacucho, una diversidad de coberturas de usos de suelo que reflejan tanto su geografía como las actividades económicas y culturales de sus habitantes. Cobertura de Suelo: Chuschi se caracteriza por una combinación de 11 coberturas de uso de suelo principales donde la mayor extensión es de herbazal con 67,9% del territorio total, seguido de cultivos transitorios con un 9,5%; otra área que resalta es la presencia de humedales con un 3,3% del territorio total del distrito lo cual indica que alberga un característico ecosistema en riqueza de especies vegetales y animales; las lagunas y ríos que forman las aguas continentales representan el 0.6% en área del territorio total. Santiago, (2022), en sus tesis, usando imágenes Landsat 8, logro identificar 14 coberturas en el nivel 3 según la leyenda Corine Land Cover para el distrito de Kimbiri, obteniendo como resultado la cobertura de bosque denso ocupando el 65,35% de su territorio total; poniendo en evidencia la importancia de las imágenes satelitales para este tipo de trabajos.

Resaltar que la ciudad de Ayacucho capta agua para consumo humano del territorio chuschino, desde las cabeceras de cuenca como Chikllarazo, Apacheta fuente de agua dulce. Por otro lado, se registran áreas quemadas con un 0,4% del territorio total, datos alarmantes que se atribuye a prácticas tradicionales de quema o falta de conocimiento e irresponsabilidad por parte de los habitantes. En Uso de Suelo el distrito de Chuschi está estrechamente ligado a las prácticas tradicionales y a la economía local, lo cual refleja que un 9,5% del territorio del distrito es de cultivos transitorios (cultivo de maíz, papa, oca, mashua, ajo, tunales, haba, cebada, trigo y frutales), más un 0,8% del territorio es de cultivos permanentes específicamente de pastos, indica la práctica de ganadería en las zonas altas a 3798 msnm comunidades como Cuchoquesera, Pampamarca,

Catalinayocc, Puncupata, parte de Unión Potrero y Tuco. La extensa presencia de cobertura herbazal ha permitido a la población del distrito de Chuschi la práctica de ganadería entre los principales la crianza de camélidos sudamericanos (llama, alpaca, huanaco), vacunos, caprinos, ovinos, porcinos y equinos; estos dos últimos en pequeña proporción. Uno de los principales desafíos en el distrito Chuschi es la degradación del suelo, ya que no existe ningún plan de desarrollo sostenible instalado, esto se ve reflejado en la extensión que representa las tierras desnudas que es el 1% del territorio total, 4,18 km², esto incluye la presencia de carreteras y canteras de extracción tierras y fábrica de tejas y ladrillos. La población del distrito de Chuschi está conformada por 8261 habitantes, según el INEI, (2017) con una superficie de 495,73 km². Según la (MDCH, 2017) su territorio están distribuidos en tres pisos altitudinales que son: la zona baja (suelos de origen coluvial); la zona media (suelos pedregosos y con aptitudes diferenciadas) y la zona alta o puna (presenta mesetas con bofedales y pastos naturales donde se desarrolla la actividad ganadera). Los suelos, en su mayoría son tierras de protección, asociadas a pastos en una extensión de 229,72 km², que representa el 46,3% del distrito. Según el uso actual, los suelos están destinados para la producción pecuaria, en 68,3%; para la producción agrícola, en 13,3%; para uso forestal un 2,3%; las áreas de protección, un 14,5%; los restantes son cuerpos de agua. Por lo que concuerda con nuestros resultados.

El cambio que pueda ocurrir entre las coberturas de uso de suelo durante un periodo se determina usando estadísticos y/o mediante análisis visual y midiendo las áreas definidas entre el tiempo uno y tiempo final (Jensen, 2015). La cobertura que más ha cambiado desde el año 2016 al año 2024, es cultivos permanentes (pastos) con $t_c = -5,1$ en el 2016 había 5.536 km² disminuyendo para el año 2024 a 3,634 km², seguido de cultivos transitorios con $t_c = -2,2$ de haber 42,577 km² a 35,756 km², si bien es cierto no son datos alarmantes, pero afecta su economía local de los habitantes, las aguas continentales que son los ríos, lagunas entre otras; es lo que menos cambios a sufrido de un -0,2 de tasa de cambio pasando a tener de 2,743 km² a 2,696 km² en el 2024; es sabido que el cambio climático ha hecho que exista épocas de poca lluvia, sin embargo la introducción de políticas por parte de instituciones sin fines de lucro y el gobierno local sobre cosecha de agua y otras prácticas tradicionales ha llevado al distrito de Chuschi la construcción de presas en todo el territorio, se ve reflejado en el poco cambio que sufrió esta cobertura, incluso se atribuye que no sufrió ningún cambio y la

diferencia es motivo de la clasificación por parte del Software y el investigador. Las áreas arenosas naturales han sufrido un cambio positivo de 5,1 de tasa de cambio de tener 14,532 km² en el año 2016 a 21,678 km² en el 2024 una diferencia 7.146 km² datos preocupantes ya se ha por la acelerada erosión y la intervención humana, en el distrito de Chuschi existe diversos proyectos sobre carreteras y explotación de canteras de extracción de material de acarreo y desplazamiento de tierra; lo cual hace que aumente esta cobertura. La (ONU, 2022) menciona que las áreas urbanas tienden a aumentar al paso del tiempo en el 2020 el 56% aproximadamente de la población mundial vivía en zonas urbanas, se espera un 60% para el 2030 y para el 2050 dos tercios de la población pasen a vivir en zonas urbanas, alarmante ya que hay un aumento real del 33% de la población mundial que vivía en el año 1950. Los resultados de esta tesis muestran el crecimiento en coberturas de áreas urbanizadas por lo tanto tiene relación.

En el anexo 2, el índice de Kappa (κ) es una medida estadística que se utiliza para evaluar la concordancia entre dos clasificadores (Rubiales, 2020), en el contexto de la clasificación supervisada interactiva, la coincidencia entre los valores observados y los predichos por el modelo. A diferencia de otras medidas de exactitud, el índice de Kappa toma en cuenta la posibilidad de que la concordancia ocurra por azar, lo que lo convierte en una métrica más robusta y confiable para evaluar la precisión del modelo de evaluación (Jensen, 2015); los datos obtenidos para esta investigación que están en el Anexo 2; tienen una concordancia de índice de Kappa que va desde 0,70 hasta 0,83, que significa según su escala de valoración una fuerza de concordancia buena y muy buena; dándonos la certeza y fiabilidad que nuestra clasificación es confiable y acorde con la realidad.

La figura 12, muestra el gráfico donde está representado las probabilidades de cambio de cobertura de uso de suelo, $p=0,42$ los cultivos de transitorios, seguido de herbazal con un $p=0,27$ y la cobertura que menos probabilidad tiene es tierras desnudas con una $p=0,04$. Estas probabilidades indican de manera general el posible cambio al año 2030, sin embargo, no indica si va en aumento o disminución, por tal motivo los cálculos se realizan de manera puntual, cobertura a cobertura. Guarda relación con los resultados ya existentes de coberturas de uso de suelo comparadas del año 2016 al 2024; por otro lado; la figura 13. Muestra las mayores probabilidades de cambio de una cobertura a otra, desde 0,11 hasta 0,38 de probabilidad, la más propensa a cambiar es de Aguas continentales a bosque denso alto, tiene relación debido a que desde el año 2016 vino

implementándose proyectos de forestación a las riberas de lagunas, tanto fue el cambio que para el año 2024 la plantación de pino al borde de la presa Cuchoquesera, aumento en gran medida y puede ser cuantificado; por otro lado el cambio de tierras desnudas a áreas arenosas naturales tiene una probabilidad de cambio del 0,11 se podría relacionar con la proliferación de proyectos en el distrito de Chuschi que ha desencadenado una intensificación de la degradación ambiental, caracterizada por la pérdida de cobertura vegetal y la progresiva desertificación de amplias zonas y estos no tienen un plan de cierre correcto dejando como áreas sin vegetación y en la mayoría convirtiendo en áreas arenosas o desnudas. Hablando de las coberturas de cultivos permanentes y transitorios tienen una probabilidad de 0,33 y 0,31 respectivamente a cambiar a una cobertura herbazal, se le atribuye a la disminución de las prácticas agrícolas hasta el año 2019 y la vuelta de la población a sus lugares de origen por la pandemia mundial Covid-19, donde claramente aumentó las fronteras agrícolas. Por otro lado, vemos las áreas urbanizadas tiene más probabilidad a cambiar a zonas arenosas, suelos desnudos y herbazal, curioso porque el comportamiento de la población fue muy dividida, bien sabido la población que migro a las ciudades en la pandemia retornaron y comenzaron a construir casas y abrir fronteras agrícolas con una intensidad impresionante durante casi 3 años de confinamiento, una vez levantado la pandemia gran parte volvieron a las ciudades dejando en abandono sus casas que serían áreas urbanizadas y las chacras que se convertirían en cobertura herbazal. Importante estas probabilidades es muy ajena a decisiones políticas y desastres naturales que podrían ocurrir.

El empleo de imágenes satelitales Sentinel 2, nivel 2A, con el filtro estricto de análisis de la tierra, representa una elección sólida para este estudio. La alta resolución y la capacidad de los sensores Sentinel para distinguir diferentes tipos de cobertura terrestre garantizan una base de datos confiable para el análisis temporal. La elección de datos fue crucial como, por ejemplo, para el año 2024 del día 19 de agosto, para el año 2022 y 2021 de día 25 de agosto y para el año 2016 el día 30 de noviembre; para este ultimo la nubosidad fue un problema; no existe imagen del nivel 2A u otros productos que tenga mejor calidad de la que se usó para esta investigación. La selección de fechas específicas para cada año fue determinante por la poca probabilidad de encontrar nubes en la sierra peruana, son factores que pueden influir significativamente en la interpretación de las imágenes. Sin embargo, es importante reconocer que la presencia de nubosidad

en la imagen del 2016 limitó la calidad de los datos para ese año. Por otro lado, para la predicción se utilizó datos del INEI 2017; para la cantidad de población, situación socioeconómica y para las coberturas se utilizó la clasificación realizada del 2017, motivo porque no tuvo complicación con la presencia de nubosidad como mapa inicial y mapa final la clasificación del año 2023 por la coincidencia de clases de cobertura en específico en estos años no se registró las áreas quemadas.

Todo lo obtenido, es gracias a herramientas de acceso libre, plataformas de dominio de la Agencia Espacial Europea (ESA), ha permitido a la humanidad realizar estudios de su entorno, las imágenes satelitales cubren áreas extensas y remotas, que para el hombre directamente acceder es imposible así facilitando el acceso a estos lugares. Además, con satélites como Sentinel-2, es posible obtener información actualizada de forma periódica, lo que permite una vigilancia constante del medio ambiente y respuesta rápida ante desastres naturales, como incendios forestales o inundaciones. Esta investigación puso en evidencia tal importancia logrando medir los cambios ocurridos desde el año 2016 (año en el que fue lanzado el Satélite Sentinel 2A y 2B), hasta el 2024, dando detalles de las coberturas modificadas en todo el territorio del distrito de Chuschi. Según el CENEPRED, (2021), el distrito de Chuschi se encuentra en la clasificación muy alta a la susceptibilidad a los incendios forestales. Cada día las tecnologías van en aumento, y el reto es ir a la vanguardia y utilizarla a nuestro favor, ya que son herramientas imprescindibles para la gestión y ordenamiento territorial.

VI. CONCLUSIONES

1. Para el distrito de Chuschi, se ha determinado 11 coberturas y 1 eventual (Áreas quemadas), mediante clasificación supervisada usando imágenes Sentinel 2 del nivel 2A; las coberturas identificadas fueron modificados de la Leyenda CORINE Land Cover adaptada para el Perú por el MINAM.
2. Las coberturas que tienen mayor extensión son: 1). Herbazal con 280,023 km² y representa el 67,939 % del territorio total, 2). Cultivos transitorios con 39,177 km² y representa el 9,5% del territorio total y la más pequeña 3). Aguas continentales con 2,780 km² y representa el 0,675 % del territorio del distrito de Chuschi.
3. Las coberturas que más cambios han sufrido desde el año 2016 al 2024 fueron: en aumento las Áreas arenosas naturales con una tc = 5.13 de tener 14,532 km² a 21,678 km², tierras desnudas con una tc = 2.66; las coberturas que se mantuvieron o que sufrieron pocos cambios son: Aguas continentales con una tc = -0.22 sufriendo una pérdida de 0,047 km² y bosque denso alto con una tc = -0,84 y finalmente las que cambiaron en disminución fueron: cultivos permanentes (pastos) con una tc = -5,13 de tener 5,536 km² en el 2016 a 3,634 km² en el 2024; seguido de cultivos transitorios con una tc = -2,16 de tener 42, 577 km² a 35, 756 km² en la actualidad.
4. Las coberturas que tienen mayor probabilidad de ser modificados en el análisis multicriterio para el año 2030 son: cultivos transitorios con una p=0,42 y la menor tierras desnudas con una p=0,04 y de manera puntual son: Aguas continentales (p = 0,38) a bosque denso alto; seguido de cultivos permanentes y transitorios a herbazal (p= 0,33 y p = 0,31 respectivamente); por último, el menos propenso con una p = 0,11 de tierras desnuda a áreas arenosas naturales.

VII. RECOMENDACIONES

- Realizar las clasificaciones utilizando otras técnicas de clasificación (Random forest, Redes neuronales entre otros) y softwares (ArcGIS Pro, SNAP entre otros), para conseguir menor error en los resultados.
- Implementar un programa de pagos por servicios ambientales para incentivar a la comunidad a conservar los bosques y restaurar áreas degradadas. Además, se recomienda fortalecer los mecanismos de control y vigilancia para prevenir los incendios forestales.
- Realizar gestiones para facilitar el acceso a los productos del satélite peruano Perú SAT.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alonso, D. (2019a, mayo 15). Combinación de bandas en imágenes de satélite Landsat y Sentinel. *MappingGIS*. <https://mappinggis.com/2019/05/combinaciones-de-bandas-en-imagenes-de-satelite-landsat-y-sentinel/>
- Alonso, D. (2019b, mayo 15). Combinación de bandas en imágenes de satélite Landsat y Sentinel. *MappingGIS*. <https://mappinggis.com/2019/05/combinaciones-de-bandas-en-imagenes-de-satelite-landsat-y-sentinel/>
- Aparici, E., & Mezquita, F. (2006). *Cristina Crespo Sánchez Alfonso Garmendia Salvador Antonio J. Samo Lumbreras*.
- Ares, M. G., Varni, M., Entraigas, I., & Marzoratti, M. (2007). Uso del suelo y grado de cobertura vegetal en una cuenca del centro de la provincia de Buenos Aires. *Cuadernos del CURIHAM*, 13, 63-69. <https://doi.org/10.35305/curiham.v13i0.83>
- Bermejo, E. (2014, mayo 5). *TECNOLOGÍA ARCGIS*. Geoinnova. <https://geoinnova.org/blog-territorio/que-es-la-tecnologia-arcgis/>
- Borràs, J., Delegido, J., Pezzola, A., Pereira, M., Morassi, G., & Camps-Valls, G. (2017). Clasificación de usos del suelo a partir de imágenes Sentinel-2. *Revista de Teledetección*, 48, 55. <https://doi.org/10.4995/raet.2017.7133>
- Cabana, W. E. (2017). Dinámica de cambio en la cobertura/uso del suelo, caso distrito de Paratía—Puno, periodo (1988 – 2016). *Universidad Nacional del Altiplano*. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3226863>
- Caicedo, J. P. R. (2014). *OPTIMIZED AND AUTOMATED ESTIMATION OF VEGETATION PROPERTIES: OPPORTUNITIES FOR SENTINEL-2*.
- CAN. (2014). *Informe-final-de-Proyecto-Dinamica-de-los-Cambios-de-la-Tierra-CAN.pdf*. <https://www.minam.gob.pe/ordenamientoterritorial/wp-content/uploads/sites/18/2013/10/Informe-final-de-Proyecto-Dinamica-de-los-Cambios-de-la-Tierra-CAN.pdf>
- Carbajal, S. F. Q., Vilca, S. A. G., Quispe, S. V. M., Núñez, S. S. C., & Galindo, S. J. D. (2017). *Plan de Desarrollo Local Concertado del distrito de Chuschi 2017-2025*.
- CENEPRED. (2021). *INFORME-ESCENARIO-INCENDIOS-FORESTALES-REGION-AYACUCHO_compressed.pdf*. https://cenepred.gob.pe/web/wp-content/uploads/2021/05/INFORME-ESCENARIO-INCENDIOS-FORESTALES-REGION-AYACUCHO_compressed.pdf
- CEPLAN. (2023). *Observatorio Nacional de Prospectiva*. <https://observatorio.ceplan.gob.pe>
- Chuvieco. (2008). *FUNDAMENTOS-DE-TELEDETECCION-EMILIO-CHUVIECO.pdf*. <http://cursosihlla.bdh.org.ar/Sist.%20Cart.%20y%20Teledet./Bibliografia/FUNDAMENTOS-DE-TELEDETECCION-EMILIO-CHUVIECO.pdf>
- Cruz Arango, J. de la, Gómez Carrión, J., Chanco, M., Carrillo Fuentes, E. P., & Aucasime Medina, L. (2020). Flora y vegetación de la provincia de

- Huamanga (Ayacucho-Perú). *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 8(1), 3-18.
- DECRETO SUPREMO N°5.MIDAGRI. (2022).
<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/3094866/DECRETO%20SUPREMO%20N%C2%B0%200005-2022-MIDAGRI.pdf?v=1652390378>
- ESA. (2024). *Ecosistema espacial de datos de Copernicus | Los ojos de Europa puestos en la Tierra*. <https://dataspace.copernicus.eu/>
- Ezpinoza Mendoza, V. (2021). *Dinamica EGO*.
<https://cgp.org.pe/publicaciones/boletin3/B3-08.pdf>
- gisadminbeers. (2019, diciembre 21). Todo lo que deberías saber sobre imágenes Sentinel 2. *Gis&Beers*. <https://www.gisandbeers.com/lo-deberias-saber-imagenes-sentinel-2/>
- Gonzaga, C. (2014). *Aplicación de índices de vegetación derivados de imágenes satelitales Landsat 7 ETM+ y ASTER para la caracterización de la cobertura vegetal en la zona centro de la provincia de Loja, Ecuador* [Tesis, Universidad Nacional de La Plata]. <https://doi.org/10.35537/10915/34487>
- IDEAM. (2010). (PDF) LEYENDA NACIONAL DE COBERTURAS DE LA TIERRA. METODOLOGIA CORINE LAND COVER ADAPTADA PARA COLOMBIA. ESCALA 1:100.000.
https://www.researchgate.net/publication/303960063_LEYENDA_NACIONAL_DE_COBERTURAS_DE_LA_TIERRA_METODOLOGIA_CORINE_LAND_COVER_ADAPTADA_PARA_COLOMBIA_ESCALA_1100000
- INDECI. (2021). PLAN DE PREVENCION ANTE DESASTRES: USOS DEL SUELO Y MEDIDAS MITIGACION.
http://bvpad.indec.gov.pe/doc/estudios_CS/Region_Ayacucho/ayacucho/ayacucho.pdf
- INEI. (2017). 05TOMO_01.pdf.
https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1568/05TOMO_01.pdf
- Jensen, J. R. (2015). *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*.
- Labrador, M. (2012). *Satélites de Teledetección para la Gestión del Territorio*.
https://gmrcanarias.com/wp-content/uploads/2020/10/20_catalogo_satelites_es.pdf
- Lambin, E. F., Turner, B. L., Geist, H. J., Agbola, S. B., Angelsen, A., Bruce, J. W., Coomes, O. T., Dirzo, R., Fischer, G., Folke, C., George, P. S., Homewood, K., Imbernon, J., Leemans, R., Li, X., Moran, E. F., Mortimore, M., Ramakrishnan, P. S., Richards, J. F., ... Xu, J. (2001). The causes of land-use and land-cover change: Moving beyond the myths. *Cambio Ambiental Global*.
- Leija Loredó, E. G., Valenzuela, S. I., Valencia Castro, M., Jiménez González, G., Castañeda Gaytán, G., Reyes Hernández, H., & Mendoza Cantú, M. E. (2020). Analysis of change in vegetation cover and land use in the north-central region of Mexico. The case of the lower basin of the Nazas river. *Ecosistemas*, 29(1). <https://doi.org/10.7818/ECOS.1826>

- LEY - N° 31313. (s. f.). Recuperado 22 de febrero de 2024, de <http://busquedas.elperuano.pe/dispositivo/NL/1976352-2>
- Ley Forestal y de Fauna Silvestre. (2015). *Ley-N°-29763*. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Ley-N%C2%B0-29763.pdf>
- Ley-N°-28611. (2005). <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Ley-N%C2%B0-28611.pdf>
- Lozano Rodriguez, J. L. (2024). *Evaluación temporal de la cobertura vegetal mediante teledetección en la provincia de Huanta—Ayacucho, 2017-2021*. Continental.
- Martinez, D. (2005). *Fundamentals_of_RS_Span.pdf*. https://appliedsciences.nasa.gov/sites/default/files/2023-03/Fundamentals_of_RS_Span.pdf
- MDCH. (2017). *Plan de desarrollo concertado del distrito de Chuschi*.
- MINAM. (2014a). *Informe-final-de-Proyecto-Dinamica-de-los-Cambios-de-la-Tierra-CAN.pdf*. <https://www.minam.gob.pe/ordenamientoterritorial/wp-content/uploads/sites/18/2013/10/Informe-final-de-Proyecto-Dinamica-de-los-Cambios-de-la-Tierra-CAN.pdf>
- MINAM. (2014b). *Protocolo Análisis de las Dinámicas de Cambio de Cobertura de la Tierra en la Comunidad Andina*. <https://www.minam.gob.pe/ordenamientoterritorial/wp-content/uploads/sites/129/2017/02/04.-protocolo-analisis-de-las-dinamicas-8.pdf>
- Moreno, R. I., Campos, P. A., Avendaño, A. J., Núñez, V., Gil, M. N., Salas Barboza, A. G. J., & Medina, E. P. J. (2017). Spatial distribution and analysis of soil loss over micro watersheds of Sierra de Vaqueros (Salta, Argentina) by using a GIS. *Espacio y Desarrollo*, 30, 161-192. <https://doi.org/10.18800/espacioydesarrollo.201702.007>
- NASA. (2023). *Misiones Landsat | Servicio Geológico de EE. UU.* <https://www.usgs.gov/landsat-missions>
- ONU. (2022). *La urbanización sostenible ha de llegar a todos los países, y no ser un beneficio de unos pocos | Noticias ONU*. <https://news.un.org/es/story/2022/04/1507862>
- Peralta-Rivero, C., Torrico-Albino, J. C., Vos, V. A., Galindo-Mendoza, M. G., & Contreras-Servín, C. (2015). *Tasas de cambios de coberturas de suelo y deforestación (1986-2011) en el municipio de Riberalta, Amazonía boliviana*.
- Piero, A. (2021). *“Análisis multitemporal del uso de suelo y cobertura vegetal mediante el uso de herramientas SIG aplicados a la cuenca de Chuyapi - Santa Ana—La Convención – Cusco”*. https://repositorio.uandina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12557/4638/Al_essandro_Piero_Tesis_bachiller_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- POMA, W. (2018). *ANÁLISIS DE CAMBIO DE COBERTURA Y USO DE LA TIERRA CON IMÁGENES SATELITALES DEL DISTRITO DE NAMOR*.pdf. <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/2558/AN%c3%81LISIS%20DE%20CAMBIO%20DE%20COBERTURA%20Y%20US>

O%20DE%20LA%20TIERRA%20CON%20IM%c3%81GENES%20SATE
LITALES%20DEL%20DISTRITO%20DE%20NAMOR.pdf?sequence=1&is
Allowed=y

- Rodriguez-Ramirez, R., Sánchez, M., Rivera Caicedo, J., Fajardo-Delgado, D., & Avila-George, H. (2019). *Automating an Image Processing Chain of the Sentinel-2 Satellite: Proceedings of the 7th International Conference on Software Process Improvement (CIMPS 2018)* (pp. 216-224). https://doi.org/10.1007/978-3-030-01171-0_20
- Rosero Mier, M. M. (2018). *Análisis multitemporal del uso del suelo y cobertura vegetal de la cuenca del Río Tahuando y proyección de cambios al año 2031, en el cantón Ibarra, provincia de Imbabura* [masterThesis]. <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/7745>
- Rubiales, E. (2020). Kappa de Cohen. SAMIUC. <https://www.samiuc.es/estadisticas-variables-binarias/medidas-de-concordancia/kappa-de-cohen/>
- Sahagún-Sánchez, F. J., & Reyes-Hernández, H. (2018). *Impactos por cambio de uso de suelo en las áreas naturales protegidas de la región central de la Sierra Madre Oriental, México Impact of land use cover change on protected natural areas in central region of Sierra Madre Oriental, Mexico*.
- Salas, R., Rojas, N. B., Mamani, J., & Rodriguez, N. Y. (2018). Deforestación en el área de conservación privada Tilacancha: Zona de recarga hídrica y de abastecimiento de agua para Chachapoyas. *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable*, 2(2), Article 2. <https://doi.org/10.25127/aps.20182.393>
- Santiago, Y. (2022). *TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AGROFORESTAL*.
- Soares, B. S. (2009). *Modelamiento de Dinámica Ambiental con Dinamica EGO - PDF Free Download*. <https://docplayer.es/6392052-Modelamiento-de-dinamica-ambiental-con-dinamica-ego.html>
- UNEP, FAO, Forests, U. F. on, & GRID-Arendal. (2009). *Vital forest graphics*. UNEP ; <https://digitallibrary.un.org/record/658551>
- Vigo, J. C. R. (2019). *Análisis de la pérdida de cobertura boscosa y cambio de uso del suelo, mediante el análisis de imágenes satelitales, período 2000 al 2018; en el distrito de chadín, chota*.
- Yupanqui, W. (2021). *Dinámica de Cobertura y uso de Tierras para Sostenibilidad de tres Comunidades Asháninkas, Río Negro*. https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/7237/T010_25762989_M.pdf?sequence=1&isAllowed=y

ANEXOS

Anexo 1. Ficha de registro del levantamiento topográfico, puntos de verificación para la clasificación del cambio de cobertura de uso de suelo del distrito de Chuschi, Ayacucho 2024.

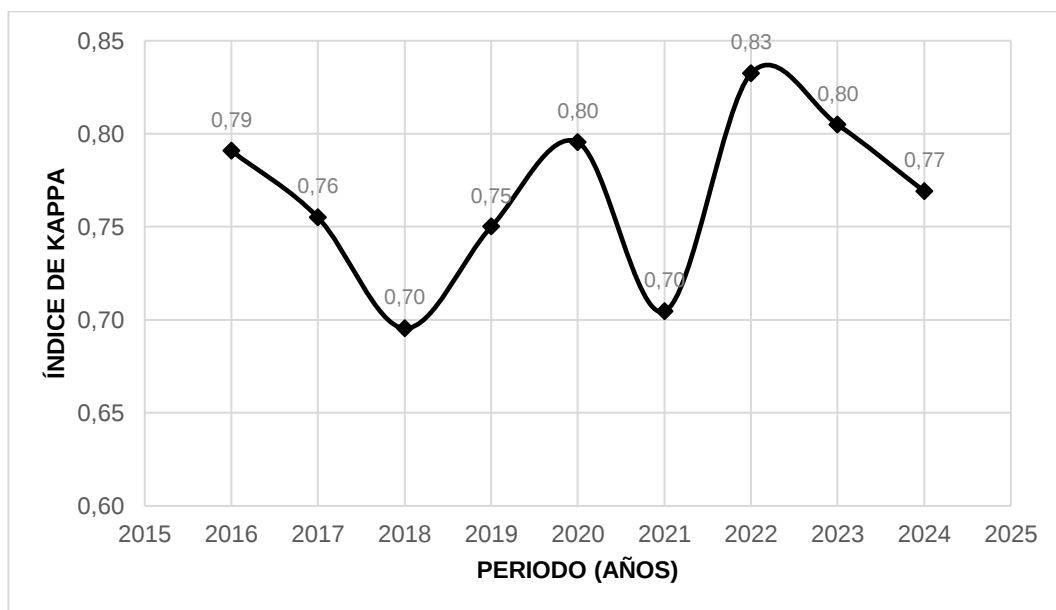


Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga
Facultad de Ciencias Biológicas: Biología
Ecología y Recursos Naturales

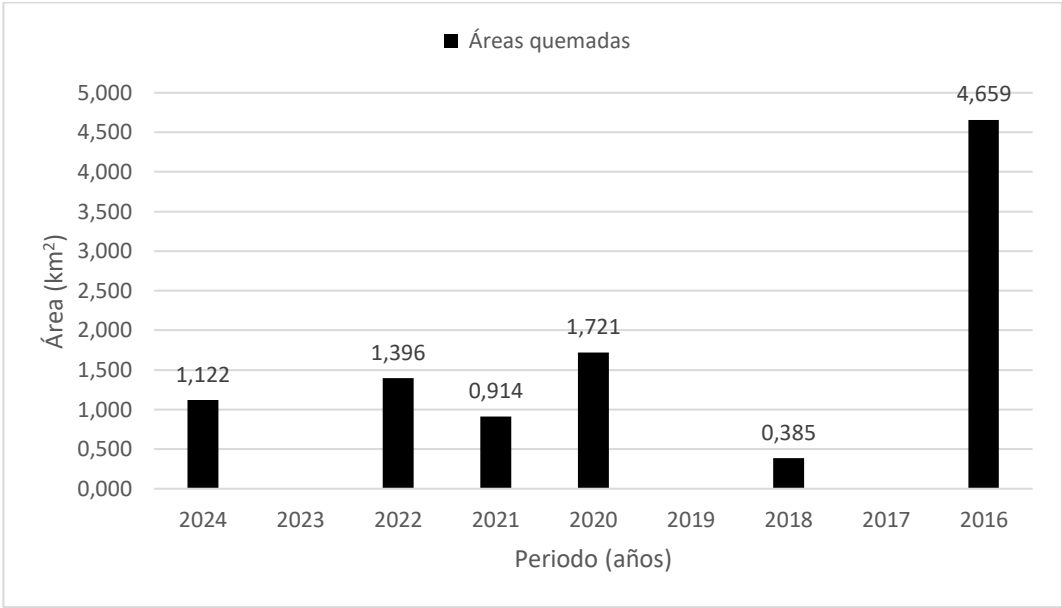


Registro de Verificación Topográfico					
Proyecto:		"Cambio en la cobertura de uso de suelo mediante clasificación supervisada en imágenes Sentinel 2, distrito Chuschi-Ayacucho, 2016-2024".			
Responsable:		Bach. Braulio M. Mendieta Pacotaype			
Fecha:		26/07/2024		Hora: 06:30 m.d.a	
Lugar:	Inicio Cachoquesera	Distrito:	Chuschi	Provincia:	Cangallo
Sistema de clasificación:		UTM WGS 84			
Asistente:		M.T.M.			
N°	ESTE	NORTE	ALTITUD (msnm)	DESCRIPCIÓN	
512 1	0570896	8513923	4044	3.3.2, Eucalypto, genciana	
513 2	0570917	8513629	4021	1.1.1 casa con plantas	
514 3	0571085	8513425	3993	3.2.1 (2.3) eucalypto, sogia, ichu, pino. F11	
4	0572448	8513153	3954	3.1.3 pino	
5	0572491	8513236	3930	2.2.	
6	0572457	8513292	3912	5.1	
518 7	0572267	8512653	3790	2.3	
519 8	0571911	8511826	3849	3.1.5 guinda, para para, motay	
9	0570825	8511116	3889	3.3.6	
10	0570521	8510974	3936	3.3.6 ichu, pino	
11	0570609	8512215	3861	3.1.5.	
12	0570226	8513784	3780	3.1.5 Canal de agua, chilco,	
13	0570086	8513458	3781	3.1.5	
14	0569950	8513500	3782	3.1.5	
520 15					
521 16					
17	0569064	8513751	3784	3.3.5 eucalypto, chila, huorago	

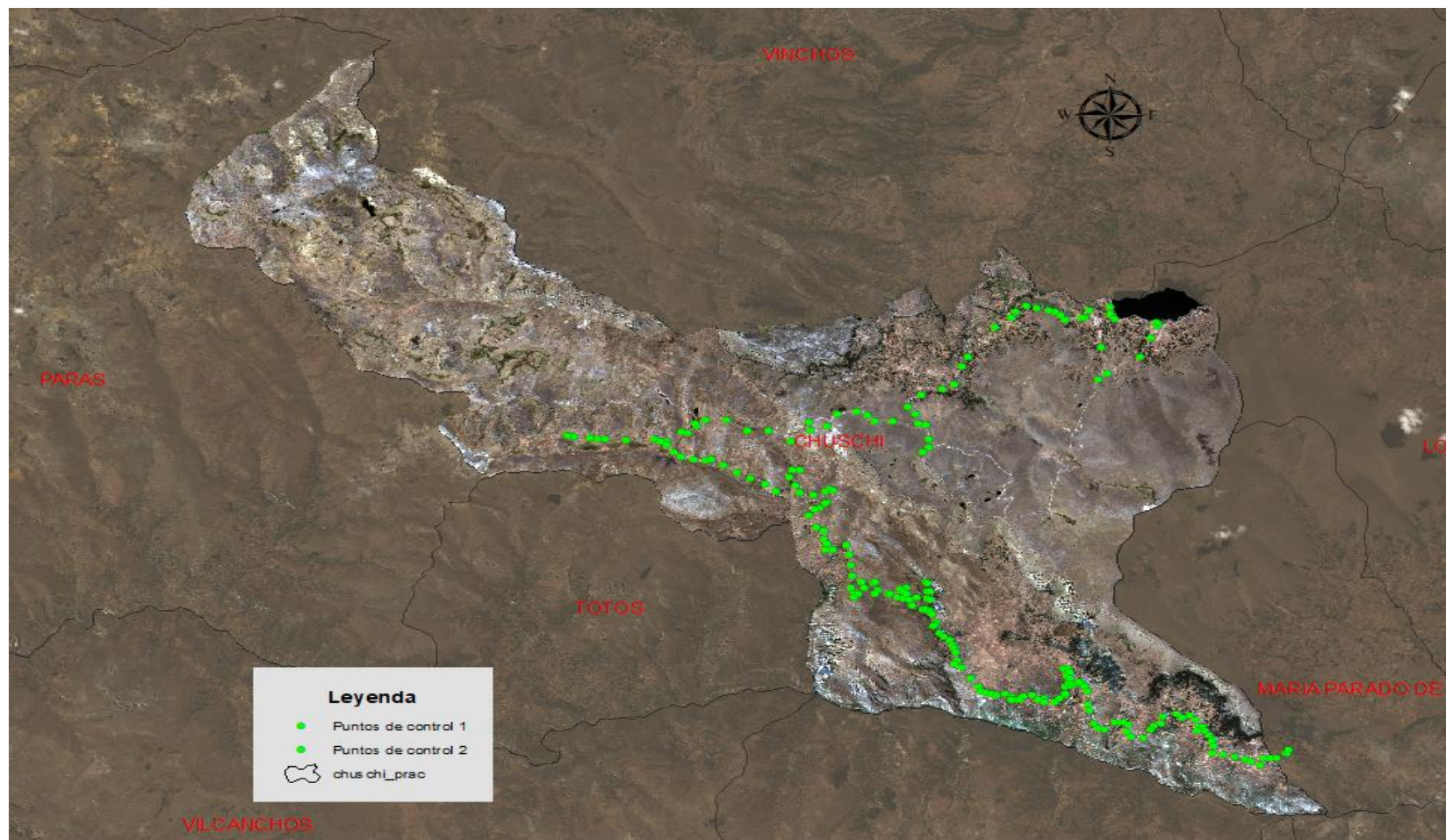
Anexo 2. Índice de Kappa de Cohen, concordancia de clasificación de cobertura de uso de suelo del año 2016 al 2024 del distrito de Chuschi, Ayacucho 2024.



Anexo 3. Áreas quemadas durante el periodo 2016 al 2024 en el distrito de Chuschi, Ayacucho 2024.



Anexo 4. Puntos de control (•) para la clasificación de coberturas de uso de suelo del año 2024 del distrito de Chuschi, Ayacucho 2024.



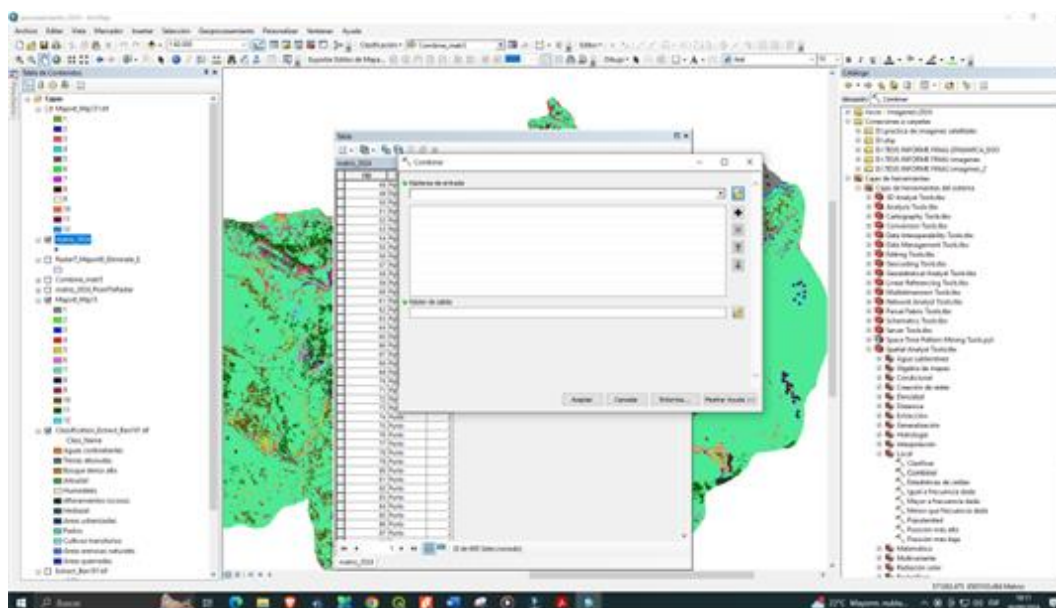
Anexo 5. Tabla de coberturas identificadas (gridcode), se muestra 83327 celdas de cobertura distribuidas en todo el distrito de Chuschi, Cangallo, Ayacucho 2024.

Tabla						
RasterT_Majorit8_Eliminate_E						
OBJECTID *	Shape *	Id	gridcode	area_km2	Shape_Length	Shape_Area
1	Poligono	3	7	0.001828	232.060103	1828.345728
2	Poligono	5	10	0.003356	229.719139	3355.951028
3	Poligono	10	8	0.001254	134.71549	1254.380322
4	Poligono	11	7	0.000546	106.765564	546.225929
5	Poligono	15	11	0.0007	112.36068	700
6	Poligono	17	7	0.0004	80	400
7	Poligono	19	10	0.004073	305.226964	4072.984866
8	Poligono	22	6	0.000383	84.255817	382.8125
9	Poligono	24	10	0.000654	109.994118	654.380035
10	Poligono	25	10	0.00165	194.561006	1650.474079
11	Poligono	26	6	0.0003	80	300
12	Poligono	28	10	0.0002	60	200
13	Poligono	29	4	0.001653	171.330099	1653.249628
14	Poligono	30	6	0.000269	71.609081	268.733597
15	Poligono	32	10	0.002085	191.068973	2085.299133
16	Poligono	33	6	0.001116	138.675775	1116.40625
17	Poligono	35	6	0.000411	87.994603	410.953522
18	Poligono	37	7	0.0003	72.36068	300
19	Poligono	40	6	0.0002	60	200
20	Poligono	42	6	0.000683	111.895138	682.8125
21	Poligono	45	10	0.0003	80	300
22	Poligono	51	7	0.001	160	1000
23	Poligono	53	11	0.0009	140	900
24	Poligono	54	6	0.000266	69.767983	265.625
25	Poligono	55	8	0.0002	60	200
26	Poligono	70	2	0.0024	220	2400
27	Poligono	74	11	0.003866	349.767983	3865.625
28	Poligono	75	8	0.0003	80	300
29	Poligono	82	8	0.000452	94.646092	452.036285
30	Poligono	85	10	0.0004	100	400
31	Poligono	88	8	0.0003	80	300
32	Poligono	89	10	0.0003	80	300
33	Poligono	91	8	0.0003	80	300
34	Poligono	97	11	0.0002	60	200
35	Poligono	108	11	0.0003	80	300
36	Poligono	109	11	0.00289	325.199885	2890.387293
37	Poligono	110	11	0.01093	440.229362	10929.532464
38	Poligono	115	10	0.0002	60	200
39	Poligono	117	8	0.000966	129.767983	965.625
40	Poligono	119	10	0.000903	132.757387	902.922151

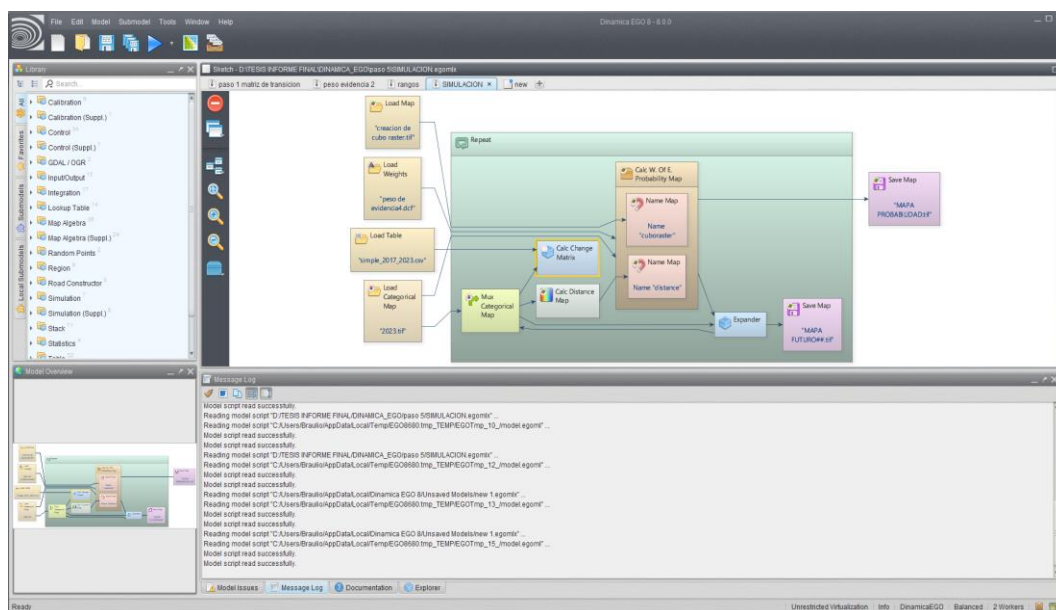
1 (0 de 83327 Seleccionado)

RasterT_Majorit8_Eliminate_E

Anexo 6. Proceso de creación de una matriz de confusión, herramienta local-combinar y posterior tabla pivot. Ayacucho 2024.



Anexo 7. Matriz del proceso final de simulación de cambio de cobertura de uso de suelo en el software Dinámica EGO, para el año 2030 del distrito de Chuschi, Ayacucho 2024.



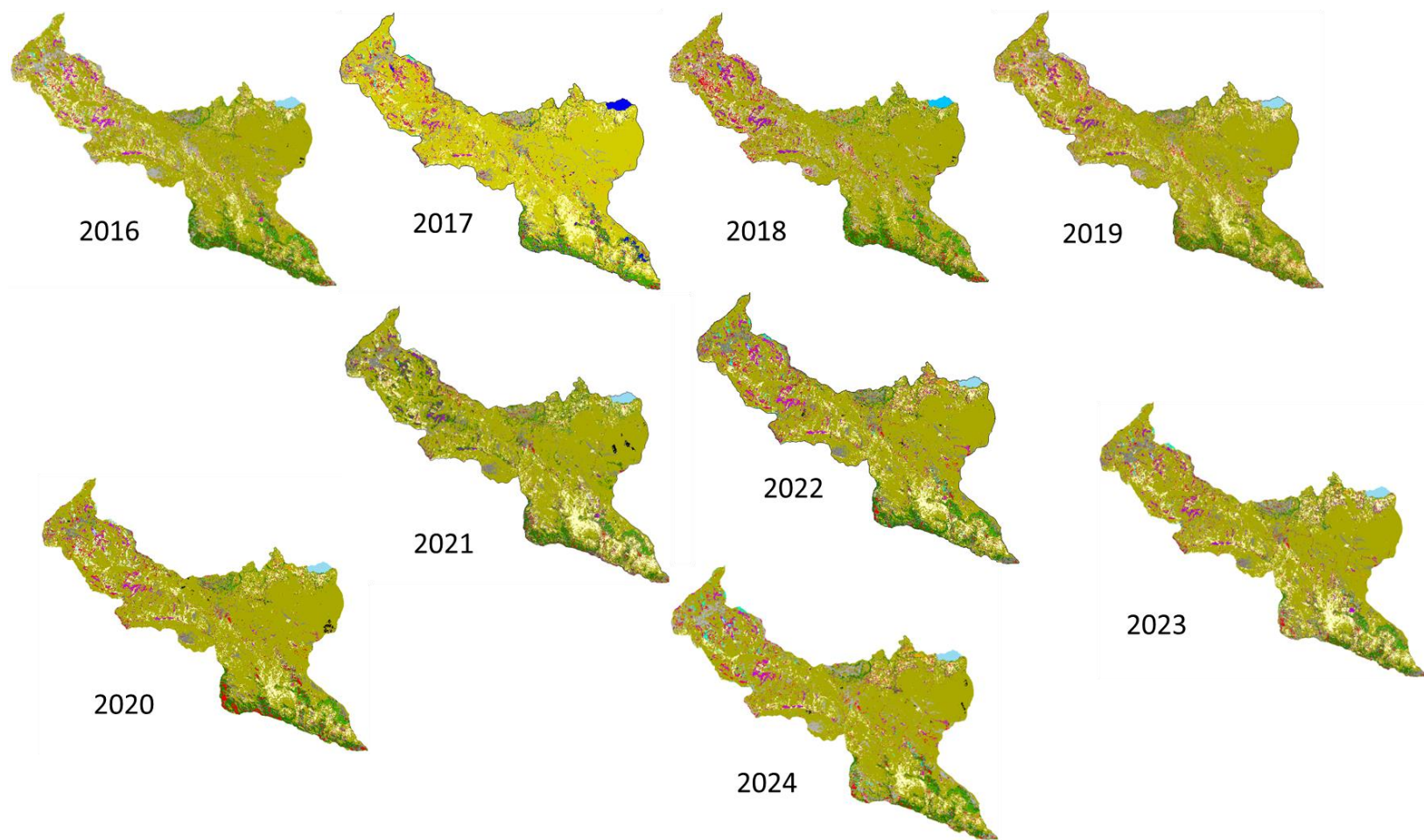
Anexo 8. Tasas de cambio calculada para cada año desde el 2016 al 2024 para las coberturas de uso de suelo del distrito de Chuschi, Ayacucho 2024.

N°	Coberturas	Tasa de cambio							
		2016 al 2017	2017 al 2018	2018 al 2019	2019 al 2020	2020 al 2021	2021 al 2022	2022 al 2023	2023 al 2024
1	Aguas continentales	5.64	1.50	-2.02	-6.57	-0.16	-0.98	5.88	-4.34
2	Tierras desnudas	-10.58	-22.34	-4.61	110.24	-35.24	12.91	3.87	16.62
3	Bosque denso alto	12.82	-0.43	5.37	-16.61	6.20	8.98	-7.98	-11.10
4	Arbustal	-3.14	11.65	3.48	-12.56	6.11	-8.83	6.34	-9.39
5	Humedales	-9.79	-9.24	15.82	5.62	7.90	3.56	-15.11	10.66
6	Herbazal	-2.20	-1.49	2.34	2.35	-2.71	-0.12	0.27	3.07
7	Áreas urbanizadas	10.97	-9.10	11.05	-8.76	-3.39	4.60	2.20	14.50
8	Cultivo permanente (pastos)	-5.04	-30.88	-17.21	-20.46	-12.34	11.34	63.39	-4.77
9	Cultivos transitorios	-1.86	3.64	-10.65	-10.90	16.84	-6.74	1.59	-6.30
10	Áreas arenosas naturales	68.04	13.32	-13.45	0.31	13.10	6.34	-0.51	-24.59
12	Afloramientos rocosos	75.70	26.29	-14.08	-34.93	-8.16	9.11	-2.68	-27.89

Anexo 9. Matriz de confusión del año 2023, para estimar el índice de Kappa, error de omisión y comisión, para la clasificación de cobertura de uso de suelo del distrito de Chuschi, Ayacucho 2024.

N°	CLASES	si	Aguas continentales	Tierras desnudas	Bosque denso alto	Arbustal	Humedales	Afloramientos rocosos	Herbazal	Áreas urbanizadas	Pastos	Cultivos transitorios	Áreas arenosas naturales	TOTAL	ERROR DE COMISION
1	Aguas continentales		24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24	0
2	Tierras desnudas		0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0
3	Bosque denso alto		6	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	36	6
4	Arbustal		0	0	0	21	0	0	0	0	4	0	0	25	4
5	Humedales		0	0	0	3	28	0	0	0	0	0	0	31	3
6	Afloramientos rocosos		0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	7	0
7	Herbazal		0	0	0	5	1	21	29	1	0	0	4	61	32
8	Áreas urbanizadas		0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	20	0
9	Pastos		0	0	0	1	0	0	0	0	26	0	0	27	1
10	Cultivos transitorios		0	0	0	0	0	0	0	2	0	29	0	31	2
11	Áreas arenosas naturales		0	0	0	0	0	2	1	6	0	1	25	35	10
	TOTAL		30	30	30	30	29	30	30	29	30	30	29	327	
	ERROR DE OMISION		6	0	0	9	1	23	1	9	4	1	4		

Anexo 10. Clasificación de cobertura de uso de suelo del distrito de Chuschi, Ayacucho desde el año 2016 al 2024.



Anexo 11. Vista panorámica de la cobertura afloramientos rocosos. Sitio Sacani, altitud 4163 msnm del distrito de Chuschi, Ayacucho 2024.



Anexo 12. Vista de la cobertura cultivos permanentes (pastos), Sitio Sulcaray a 3787 msnm del distrito de Chuschi, Ayacucho 2024.



Anexo 13. Vista panorámica de la cobertura tejido urbano, comunidad campesina de Quispiyaccta y Chuschi, Ayacucho 2024.



Anexo 14. Vista de la cobertura Herbazal sitio Ccasapata a 4262 msnm en el distrito de Chuschi, Ayacucho 2024.



Anexo 15. Vista de la cobertura Aguas continentales sitio Ccorihuaylla a 4028 msnm en el distrito Chuschi, Ayacucho 2024.



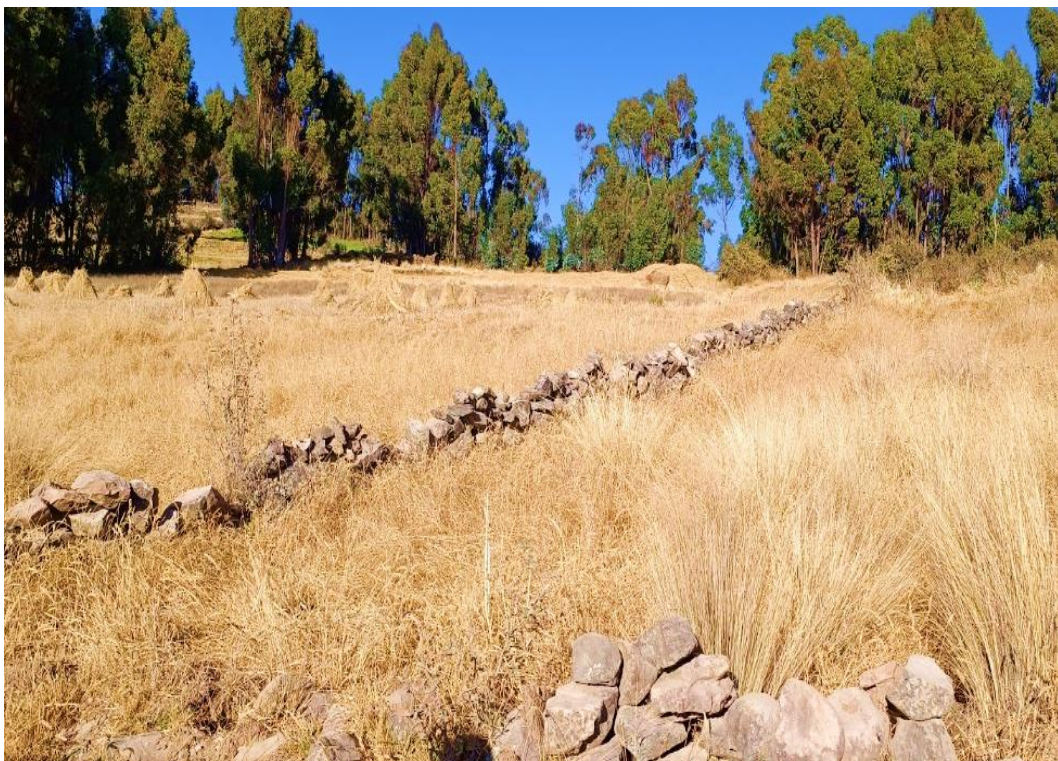
Anexo 16. Vista de la cobertura tierras desnudas a 4317 msnm en el distrito Chuschi, Ayacucho 2024.



Anexo 17. Vista panorámica de cobertura mixta herbazal y tejido urbano discontinuo en el distrito de Chuschi, Ayacucho 2024.



Anexo 18. Vista panorámica de la cobertura bosque denso alto sitio Cuchoquesera a 3754 msnm, distrito Chuschi, Ayacucho 2024.



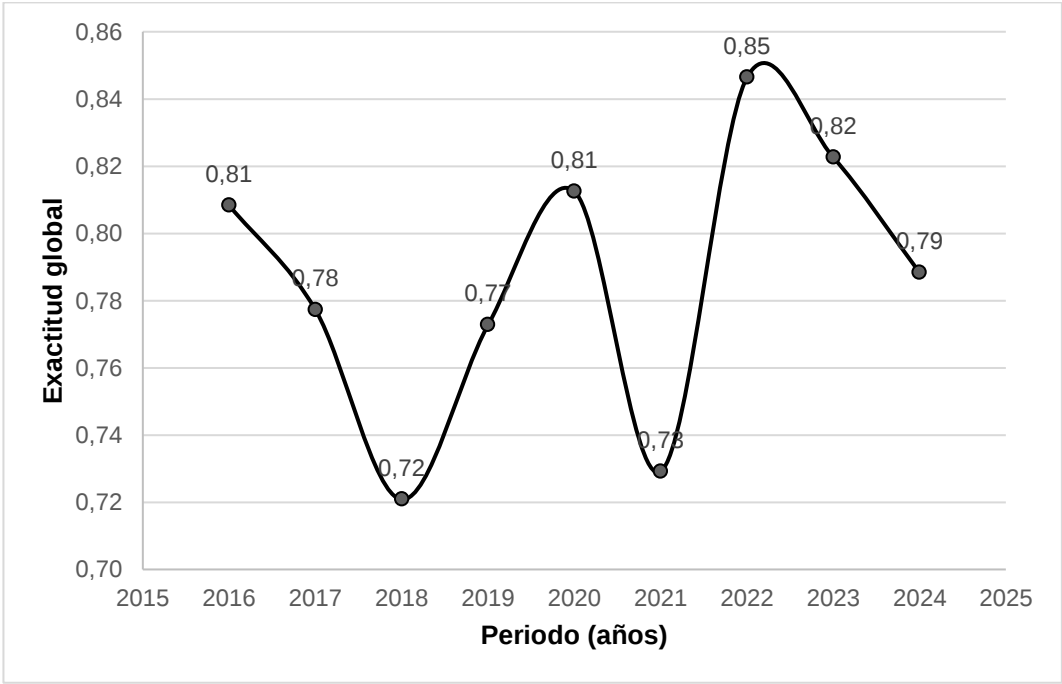
Anexo 19. Vista panorámica de la cobertura Humedal sitio Totora a 3444 msnm, distrito de Chuschi, Ayacucho 2024.



Anexo 20. Vista panorámica de la cobertura cultivos transitorios en el distrito de Chuschi, Ayacucho 2024.



Anexo 21. Exactitud global de la clasificación de imágenes del distrito de Chuschi para cada año desde el 2016 al 2024.



Anexo 22. Matriz de consistencia.

Título: Cambio en la cobertura de uso de suelo mediante clasificación supervisada en imágenes Sentinel 2, distrito Chuschi-Ayacucho, 2016-2024

Autor: Bach. Braulio Martin Mendieta Pacotaype

Asesor: Blg. Edwin Portal Quicaña

TÍTULO	PROBLEMA	OBJETIVOS	MARCO TEÓRICO	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
Cambio en la cobertura de uso de suelo mediante clasificación supervisada en imágenes Sentinel 2, distrito Chuschi-Ayacucho, 2016-2024	PROBLEMA GENERAL ¿En qué medida la clasificación supervisada en imágenes Sentinel 2 permite evaluar el cambio en la cobertura de uso de suelo del distrito de Chuschi, en la provincia de Cangallo de la región Ayacucho, durante el periodo 2016 al 2024? problema ESPECIFICO ¿Cuáles son las clases de cobertura de uso de suelo obtenidas mediante clasificación supervisada en imágenes Sentinel 2, en el distrito de Chuschi en el periodo 2016 al 2024? ¿Cuál es el cambio en la cobertura de uso de suelo del distrito de Chuschi en el periodo 2016 al 2024? ¿Cuánto es la tasa de cambio de cobertura de uso de suelo en el distrito de Chuschi en el periodo 2016 al 2024?	OBJETIVO GENERAL Evaluar el cambio en la cobertura de uso de suelo mediante clasificación supervisada en imágenes Sentinel 2, del distrito Chuschi en la provincia de Cangallo de la región Ayacucho, durante el periodo del 2016 al 2024. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 1. Determinar las clases de cobertura de uso de suelo mediante clasificación supervisada en imágenes Sentinel 2, en el distrito de Chuschi en el periodo 2016 al 2024 2. Cuantificar el cambio de cobertura de uso de suelo del distrito de Chuschi del periodo 2016 al 2024. 3. Estimar la tasa de cambio de cobertura de uso de suelo en el distrito de Chuschi periodo 2016 al 2024. 4. Realizar un análisis multicriterio para la simulación en la cobertura de uso de suelo del distrito de Chuschi para el 2030.	• Antecedentes • Cobertura • Tipos de cobertura • Teledetección • imágenes satelitales • satélites • Sentinel 2. • Suelo • Factores que inciden en el cambio de uso actual de la tierra • Radiación • Bandas • Procesamiento de imágenes satelitales • Sentinel • Sentinel nivel 2A • ArcGIS • Dinámica EGO • Corine Land Cover (CLC) • ESA • Leyes	El cambio en la cobertura de uso de suelo en el distrito de Chuschi-Cangallo durante el periodo 2016-2024 presenta disminución de áreas de cobertura natural y aumento de áreas artificializadas y agrícolas.	Variable principal Cambio en la cobertura de uso de suelo del distrito de Chuschi del año 2016 al 2024. Variable temporal Periodo de tiempo (del año 2016 al año 2024 del distrito de Chuschi). Indicadores Años calendarios Variable espacial Distrito de Chuschi Indicadores • Superficie de cambio de cobertura de uso desuelo (ha) del distrito de Chuschi. • Porcentaje de tasa de cambio (%) de las clases de cobertura de uso de suelo del distrito de Chuschi.	TIPO DE INVESTIGACIÓN Básica DISEÑO No experimental NIVEL DE INVESTIGACIÓN Descriptiva MUESTREO No estadístico POBLACION Imágenes satelitales del periodo 2016-2024 del distrito de Chuschi. MUESTRA 9 imágenes satelitales del distrito de Chuschi. CRITERIO Imágenes con menos de 30% de nubosidad TECNICA . Observación . Clasificación supervisada INSTRUMENTOS Software: ArcGIS, Dinámica EGO, ENVI, SNAP Equipos: computadora, Cámara fotográfica, GPS, impresora, celular.

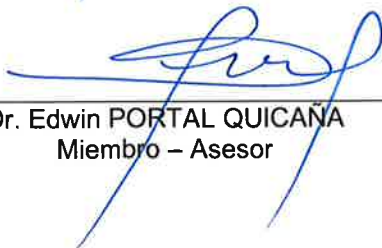
**UNSCH**FACULTAD DE
CIENCIAS BIOLÓGICAS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
Bach. Braulio Martin MENDIETA PACOTAYPE
RESOLUCIÓN DECANAL N° 528-2024-UNSCH-FCB-D

En la ciudad de Ayacucho, siendo las cuatro de la tarde del día jueves cinco de diciembre del año dos mil veinticuatro; se reunieron los miembros del Jurado Evaluador en el Auditorio de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, participando como presidente encargado el MS. Elmer Alcides Avalos Pérez con memorando N° 388-2024-UNSCH-FCB con fecha cuatro de diciembre del año dos mil veinticuatro, el Dr. Carlos Emilio Carrasco Badajoz (miembro – jurado), Mg. Percy Colos Galindo (miembro – jurado), Dr. Edwin Portal Quicaña (miembro – asesor), actuando como secretario docente el Mg. Luis Uriel MOSCOSO GARCÍA; para presenciar la sustentación de tesis titulada: **Cambio en la cobertura de uso de suelo mediante clasificación supervisada en imágenes Sentinel 2, distrito de Chuschi-Ayacucho, 2016-2024**, presentado por el **Bach. Braulio Martin MENDIETA PACOTAYPE**; el presidente luego de verificar la documentación presentada, indicó al secretario docente dar lectura a la documentación generada que refrenda el presente acto académico, luego de ello dispuso el inicio del acto de sustentación, indicando al sustentante que dispone de cuarenta y cinco minutos para exponer su trabajo de investigación tal como establece el Reglamento de Grados y Títulos de la Escuela Profesional de Biología de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Culminada la exposición, el presidente invitó a cada uno de los Miembros del Jurado a participar con sus observaciones, sugerencias y preguntas al sustentante. Culminada esta etapa, el presidente invitó al sustentante y al público asistente a abandonar momentáneamente el Auditorio de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga para que los miembros del jurado evaluador puedan realizar las deliberaciones y calificaciones; cuyos resultados son los que se consignan a continuación:

Miembros del Jurado Evaluador	Exposición	Respuesta a preguntas	Promedio
Dr. Carlos Emilio CARRASCO BADAJOZ	18	14	16
Mg. Percy COLOS GALINDO	18	16	17
		PROMEDIO	16

El sustentante alcanzó el promedio de 16 aprobatorio. Acto seguido, el presidente autorizó el ingreso del sustentante y el público al Auditorio de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga dando a conocer los resultados e indicando que de este modo se da por finalizado el presente acto académico, siendo las seis con treinta minutos de la tarde; firmando al pie del presente en señal de conformidad.


MS. Elmer Alcides AVALOS PÉREZ
Presidente (e)
Dr. Carlos Emilio CARRASCO BADAJOZ
Miembro – Jurado
Mg. Percy COLOS GALINDO
Miembro – Jurado
Dr. Edwin PORTAL QUICAÑA
Miembro – Asesor
Mg. Luis Uriel MOSCOSO GARCÍA
Secretario – Docente



FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA

DECANATURA - ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE TESIS

N° 96-2024-FCB-D

Yo, FIDEL RODOLFO MUJICA LENGUA, Director de la Escuela Profesional de Biología de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga; autoridad encargada de verificar la tesis titulada: **Cambio en la cobertura de uso de suelo mediante clasificación supervisada en imágenes Sentinel 2, distrito Chuschi-Ayacucho, 2016-2024**, por BRAULIO MARTIN MENDIETA PACOTAYPE; he constatado por medio del uso de la herramienta TURNITIN, procesado CON DEPÓSITO, una similitud de 24%, grado de coincidencia, menor a lo que determina la ausencia de plagio definido por el Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación de la UNSCH, aprobado con Resolución del Consejo Universitario N° 039-2021-UNSCH-CU.

En consecuencia, la tesis cumple con las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Se acompaña el INFORME FINAL DE TURNITIN correspondiente.

Ayacucho, 26 de diciembre de 2024.


UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
Escuela Profesional de Biología
Dr. Fidel R. Mujica Lengua
DIRECTOR

Cambio en la cobertura de uso de suelo mediante clasificación supervisada en imágenes Sentinel 2, distrito Chuschi- Ayacucho, 2016-2024

por BRAULIO MARTIN MENDIETA PACOTAYPE

Fecha de entrega: 24-dic-2024 03:31p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2558007045

Nombre del archivo: MENDIETA_PACOTAYPE-_Braulio_Martin-_pregrado-_2024_TURNITIN.pdf (2.14M)

Total de palabras: 15576

Total de caracteres: 80565

Cambio en la cobertura de uso de suelo mediante clasificación supervisada en imágenes Sentinel 2, distrito Chuschi-Ayacucho, 2016-2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

24%

INDICE DE SIMILITUD

24%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

10%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

hdl.handle.net

Fuente de Internet

8%

2

repositorio.untels.edu.pe

Fuente de Internet

2%

3

mcc.cdguzman.tecnm.mx

Fuente de Internet

1%

4

qdoc.tips

Fuente de Internet

1%

5

Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga

Trabajo del estudiante

1%

6

Submitted to Universidad Continental

Trabajo del estudiante

1%

7

repositorio.unc.edu.pe

Fuente de Internet

1%

8

repositorio.uandina.edu.pe

Fuente de Internet

1%

9	repositorio.upagu.edu.pe Fuente de Internet	1 %
10	cgp.org.pe Fuente de Internet	1 %
11	www.scielo.org.bo Fuente de Internet	1 %
12	repositorio.unas.edu.pe Fuente de Internet	1 %
13	repositorio.pucp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
14	www.scilit.net Fuente de Internet	<1 %
15	doaj.org Fuente de Internet	<1 %
16	repositorio.unu.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
17	vsip.info Fuente de Internet	<1 %
18	Submitted to Universidad Autónoma de Nuevo León Trabajo del estudiante	<1 %
19	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

20	Ali A. Khawfany, Mahmoud A. Aref, Mohammad I. Matsah, Rushdi J. Taj. "Utilizing Landsat-8 data in mapping of sabkha, mangroves, and land covers in Jizan coastal plain, southwestern Saudi Arabia", Arabian Journal of Geosciences, 2017 Publicación	<1 %
----	---	------

21	dehesa.unex.es Fuente de Internet	<1 %
----	--	------

22	Submitted to Universidad Ricardo Palma Trabajo del estudiante	<1 %
----	--	------

23	repository.udistrital.edu.co Fuente de Internet	<1 %
----	--	------

24	repositorio.umsa.bo Fuente de Internet	<1 %
----	--	------

25	www.abae.gob.ve Fuente de Internet	<1 %
----	--	------

26	www.elsevier.es Fuente de Internet	<1 %
----	--	------

27	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1 %
----	--	------

28	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
----	--	------

29	sania.comunidadandina.org Fuente de Internet	<1 %
----	--	------

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo