

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSGRADO



UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

TESIS:

**ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LAS ÁREAS VERDES Y CRECIMIENTO
POBLACIONAL EN EL DISTRITO DE CAJAMARCA, 2023**

Para optar el Grado Académico de

MAESTRO EN CIENCIAS

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL

Presentado por:

ANA LUISA SILVA VÁSQUEZ

Asesor:

Dr. NILTON EDUARDO DEZA ARROYO


Cajamarca, Perú

2024

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador: Ana Luisa Silva Vásquez.
DNI: 72752316.
Escuela Profesional/Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias, Mención: Gestión Ambiental.
2. Asesor(a):
Dr. Nilton Eduardo Deza Arroyo.
3. Grado académico o título profesional
 Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor
4. Tipo de Investigación:
 Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico
5. Título de Trabajo de Investigación:
"Análisis multitemporal de las áreas verdes y crecimiento poblacional en el distrito de Cajamarca, 2023"
6. Fecha de evaluación: 10/07/2024
7. Software antiplagio: TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)
8. Porcentaje de Informe de Similitud: 3%
9. Código Documento: 3117:365621136
10. Resultado de la Evaluación de Similitud:
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 10/07/2024

<i>Firma y/o Sello Emisor Constancia</i>

Dr. Nilton Eduardo Deza Arroyo. DNI: 23816486.

* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023

COPYRIGHT © 2024 by
ANA LUISA SILVA VÁSQUEZ
Todos los derechos reservados



Universidad Nacional de Cajamarca
LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 080-2018-SUNEDU/CD

Escuela de Posgrado
CAJAMARCA - PERU



PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

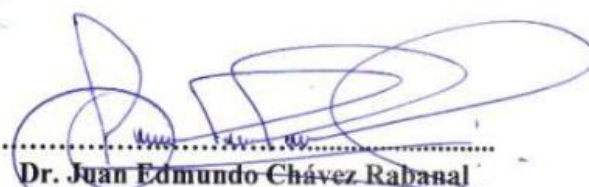
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS


Siendo las 16:05 horas, del día 12 de junio del dos mil veinticuatro, reunidos en el Auditorio de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Jurado Evaluador presidido por el **Dr. JUAN EDMUNDO CHÁVEZ RABANAL**, **Dra. CONSUELO BELANIA PLASENCIA ALVARADO**, **Dr. JIMY FRANK OBLITAS CRUZ** y en calidad de Asesor el **Dr. NILTON EDUARDO DEZA ARROYO**, actuando de conformidad con el Reglamento Interno y el Reglamento de Tesis de Maestría de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, se dio inicio a la Sustentación de la Tesis titulada **ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LAS ÁREAS VERDES Y CRECIMIENTO POBLACIONAL EN EL DISTRITO DE CAJAMARCA, 2023**, presentada por la **Bachiller en Ciencias Forestales, ANA LUISA SILVA VÁSQUEZ**


Realizada la exposición de la Tesis y absueltas las preguntas formuladas por el Jurado Evaluador, y luego de la deliberación, se acordó aprobar con la calificación de diecinueve (19) la mencionada Tesis; en tal virtud, la **Bachiller en Ciencias Forestales ANA LUISA SILVA VÁSQUEZ**, está apta para recibir en ceremonia especial el Diploma que lo acredita como **MAESTRO EN CIENCIAS**, de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias con Mención en **GESTIÓN AMBIENTAL**.

Siendo las 17:25 horas del mismo día, se dio por concluido el acto.


.....
Dr. Nilton Eduardo Deza Arroyo
Asesor


.....
Dr. Juan Edmundo Chávez Rabanal
Jurado Evaluador


.....
Dra. Consuelo Belania Plasencia Alvarado
Jurado Evaluador


.....
Dr. Jimmy Frank Oblitas Cruz
Jurado Evaluador

DEDICATORIA

A Dios por iluminar mi existencia, por su inmensa bondad y bendición.

A mis padres Ana y Wilson, gracias por su constante apoyo a lo largo de mi vida, ustedes son mi mejor ejemplo de superación, los admiro profundamente y estoy agradecida por todo lo que han hecho por mí, gracias por sus palabras de aliento y por su amor.

A mi familia y amigos, porque hacen suyos mis avances y logros, su sinceridad siempre toca mi corazón.

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento al Dr. Nilton Deza Arroyo, por su confianza, consejos y acompañamiento constante durante el desarrollo de esta investigación, por sus importantes aportes y opiniones neutrales que enriquecieron este documento.

A los docentes que contribuyeron con mi formación a lo largo de los dos años de estudios en la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, por lo conocimientos brindados y los consejos de cara al ámbito profesional y humanístico.

Esta investigación no hubiera sido posible sin el acceso a un sin número de artículos científicos disponibles en el sitio web Sci-Hub, artículos de alto nivel a los que accedí de forma gratuita y sin límites, gracias a su creadora Alexandra Asanovna Elbakyan, por poner a disposición de cualquier persona información que cambia perspectivas.

EPÍGRAFE

Solo en la oscuridad puedes ver las estrellas.

Martin Luther King.

ÍNDICE

	Pág.
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
EPÍGRAFE	vii
LISTA DE ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS	xv
RESUMEN	xvi
ABSTRACT	xvii
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II	4
MARCO TEÓRICO	4
2.1 Antecedentes de la investigación	4
2.1.1 Antecedentes Internacionales.	4
2.1.2 Antecedentes Nacionales.	7
2.1.3 Antecedentes Locales.	8
2.2 Bases Teóricas	9
2.2.1 Crecimiento poblacional.	9
2.2.1.1 Crecimiento Poblacional en el Mundo.	9
2.2.1.2 Población en el Perú y Cajamarca.	10
2.2.1.3 Censos en el Perú.	11
2.2.1.4 Cambio de uso de suelo en las urbes.	12
2.2.2 Áreas verdes.	13
2.2.2.1 Beneficios.	13
2.2.2.2 Amenazas.	16

2.2.3	Análisis Multitemporal.	17
2.2.3.1	Teledetección.	17
2.2.3.2	Imágenes satelitales.	20
2.2.3.3	Imágenes Landsat	20
2.2.3.4	Sistemas de Información Geográfica.	23
2.2.3.5	Análisis multitemporal.	24
2.3	Definición de términos básicos.	27
CAPÍTULO III.		28
MATERIALES Y MÉTODOS		28
3.1	Ubicación de la zona de estudio	28
3.2	Población, muestra y unidad de análisis	36
3.3	Métodos de investigación	37
3.4	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	38
3.5	Metodología	41
3.5.1	Generación de mapas de tipos de cobertura para el distrito de Cajamarca.	41
3.5.2	Análisis de la variación multitemporal y la relación entre las áreas verdes y el crecimiento poblacional en el distrito de Cajamarca.	50
3.5.3	Cálculo de las áreas verdes per cápita en la ciudad de Cajamarca al 2023.	55
3.5.4	Inferencia del escenario futuro en relación a las áreas verdes y crecimiento poblacional en el distrito de Cajamarca.	56
3.5.5	Validación de la información generada.	57
CAPÍTULO IV		59
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		59
4.1	Generación de mapas de tipos de cobertura para el distrito de Cajamarca.	59
4.2	Análisis de la variación multitemporal y la relación entre las áreas verdes y el crecimiento poblacional en el distrito de Cajamarca.	72

4.2.1	Análisis multitemporal a nivel distrital.....	72
4.2.1.1	Tejido urbano.....	76
4.2.1.2	Cobertura vegetal.....	79
4.2.1.3	Unidad Minera	80
4.2.2	Análisis multitemporal a nivel de la ciudad de Cajamarca.....	85
4.2.3	Relación entre el crecimiento poblacional y áreas verdes.	91
4.2.4	Porcentaje y Tasa de cambio.	98
4.3	Cálculo de las áreas verdes per cápita en la ciudad de Cajamarca al año 2023. ..	101
4.4	Inferencia del escenario futuro en relación a las áreas verdes y crecimiento poblacional en el distrito de Cajamarca.	117
CAPÍTULO V		120
CONCLUSIONES.....		120
CAPÍTULO VI.....		123
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		123
CAPÍTULO VII		148
APÉNDICE		148

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Cuadro resumen distrito de Cajamarca.....	10
Tabla 2. Población de la ciudad de Cajamarca.....	11
Tabla 3. Cuadro resumen distrito de Cajamarca.....	11
Tabla 4. Metros cuadrados por habitante de áreas verdes en los distritos de Lima.....	15
Tabla 5. Periodo de Actividad del Satélite Landsat.....	21
Tabla 6. Puntos de la delimitación del distrito de Cajamarca	28
Tabla 7. Tipos de clima en el ámbito en estudio	30
Tabla 8. Fisiografía en el distrito de Cajamarca	32
Tabla 9. Cuencas en el distrito de Cajamarca.....	33
Tabla 10. Tipos de geología en el ámbito en estudio.....	35
Tabla 11. Metadatos de imágenes satelitales descargadas	42
Tabla 12. Áreas de tipos de cobertura en el distrito de Cajamarca año 1984	49
Tabla 13. Superficie y porcentaje de las áreas con y sin cambio. Periodo 1984 - 1996.....	52
Tabla 14. Superficie y porcentaje de cambios. Periodo 1984 – 1996.....	53
Tabla 15. Relación entre tejido urbano, crecimiento poblacional y áreas verdes.....	54
Tabla 16. Valoración de Índice Kappa.....	58
Tabla 17. Tipos de coberturas años 1984, 1996, 2007 y 2023	59
Tabla 18. Matriz de confusión mapa de cobertura 1984	68
Tabla 19. Matriz de confusión mapa de cobertura 1996.....	68
Tabla 20. Matriz de confusión mapa de cobertura 2007	69
Tabla 21. Matriz de confusión mapa de cobertura 2023	70
Tabla 22. Resultados de Índice de Kappa	71
Tabla 23. Tipo de cambio observado	72
Tabla 24. Tipo de cobertura con cambio durante los periodos analizados a nivel distrital ...	75

Tabla 25. Área por tipo de cobertura en casco urbano.....	85
Tabla 26. Cambios en el entorno urbano.....	87
Tabla 27. Tipo de cambio observado entre 1984-2023.....	87
Tabla 28. Datos recopilados	91
Tabla 29. Correlación de Pearson a nivel distrital.....	94
Tabla 30. Correlación de Pearson a nivel del casco urbano.....	95
Tabla 31. Porcentaje de cambios	98
Tabla 32. Tasa de cambio.....	99
Tabla 33. Áreas verdes mapeadas del casco urbano al año 2023	101
Tabla 34. Metros cuadrados de áreas verdes en casco urbano de Cajamarca	104
Tabla 35. Escenarios futuros para el distrito de Cajamarca	118
Tabla 36. Escenarios futuros para la ciudad de Cajamarca.....	118
Tabla 37. Operacionalización de las variables	150

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de teledetección.	18
Figura 2: Mapa de ubicación del distrito de Cajamarca año 2023.....	29
Figura 3: Tipos de clima en el ámbito en estudio	30
Figura 4: Tipos de suelo en el ámbito en estudio	31
Figura 5: Tipos de fisiografía en el ámbito en estudio.....	32
Figura 6: Cuencas en el distrito de Cajamarca.	33
Figura 7: Tipos de geología en el ámbito en estudio	34
Figura 8: Zonas de vida.....	36
Figura 9: Portal USGS	39
Figura 10: Selección de criterios en Portal de la USGS.....	42
Figura 11: Bandas espectrales insertadas a la tabla de contenido del Arcgis.....	43
Figura 12: Composición de bandas.....	43
Figura 13: Imagen Landsat con sistema proyectado y corte distrital.....	45
Figura 14: Colocación de puntos de control en Ráster distrital.....	47
Figura 15: Resultado de Clasificación Supervisada.....	48
Figura 16: Mapa de coberturas en formato Vectorial.	49
Figura 17: Lenguaje Phyton usado.	51
Figura 18: Tipos de coberturas para los 04 periodos.	61
Figura 19: Resumen de mapas de coberturas.	62
Figura 20: Cambios en coberturas.	73
Figura 21: Crecimiento del Tejido Urbano en 39 años.	78
Figura 22: Crecimiento de la Unidad Minera.....	81
Figura 23: Resumen de cambios en casco urbano de la ciudad de Cajamarca.....	88
Figura 24: Gráfico de distribución de las áreas verdes urbanas en Cajamarca.	105

Figura 25: Mapa de áreas verdes en el casco urbano de la ciudad de Cajamarca.	107
Figura 26: Buffer para plazuelas y parques.	113
Figura 27: Buffer para plaza y Santa Apolonia.	114
Figura 28: Mapa de cobertura vegetal año 1984.	151
Figura 29: Mapa de cobertura vegetal año 1996.	152
Figura 30: Mapa de cobertura vegetal año 2007.	153
Figura 31: Mapa de cobertura vegetal año 2023.	154
Figura 32: Mapa de cambios 1984 - 1996.....	155
Figura 33: Mapa de tipos de cambios 1984 - 1996.....	156
Figura 34: Mapa de cambios 1996 – 2007.	157
Figura 35: Mapa de tipos de cambios 1996 – 2007.....	158
Figura 36: Mapa de cambios 2007 - 2023.....	159
Figura 37: Mapa de tipos de cambios 2007 - 2023.....	160

LISTA DE ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

BCRP: Banco Central de Reserva del Perú.

CENEPRED: Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres.

CLC: Corine Land Cover.

ERTS: Earth Resources Technology Satellites.

INDECI: Instituto Nacional de Defensa Civil.

INEI: Instituto de Estadística e Informática.

IPCC: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.

ONU: Organización de las Naciones Unidas.

OMS: Organización Mundial de la Salud.

MINAM: Ministerio del Ambiente.

MSS: Multispectral Scanner.

RBU: Return Beam Vidicon.

SENAMHI: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.

SIG: Sistemas de Información Geográfica.

USGS: Servicio Geológico de los Estados Unidos.

RESUMEN

En esta investigación se realizó un análisis multitemporal entre las áreas verdes y el crecimiento poblacional para los años 1984, 1996, 2007 y 2023 en el distrito de Cajamarca, a través del procesamiento de imágenes Landsat en ArcGIS y la generación de mapas de cobertura vegetal mediante Clasificación Supervisada, el análisis multitemporal se realizó entre pares consecutivos de mapas con el fin de conocer el nivel de cambios, su ubicación y extensión; para luego aplicar la tasa de cambio de Temesgen y correlación de Pearson. El valor per cápita de las áreas verdes se obtuvo con el mapeo y cálculo de sus áreas, sumando además un análisis de proximidad con un buffer de 300 m. Para la inferencia de escenarios futuros se aplicó el método de interpolación aritmética. Los resultados obtenidos muestran una dominancia de la cobertura “vegetación” a nivel distrital con 44,13% de su superficie al año 1984 a 55,95% al año 2023 con áreas ganaderas, forestales, vegetación ribereña, y disminución de la superficie agrícola en el fondo de valle. Se verificó que, durante 39 años, la superficie urbana creció 1561,46 ha y causó la pérdida de 462,27 ha de vegetación y 1088,11 ha de áreas productivas en el fondo de valle, y generó procesos de microubanización y fragmentación del suelo en la periferia de una ciudad que creció sin control. Estadísticamente se pudo corroborar una relación inversamente proporcional entre áreas verdes y población. Respecto al área verde per cápita de la ciudad asciende a 1,2 m²/habitante, con carencia marcada en la zona sur y limitado acceso. Finalmente, se proyecta que a nivel de distrito las áreas con vegetación aumenten en 1150,31 ha en 10 años, mientras que a nivel del casco urbano de la ciudad se proyecta la desaparición de vegetación con una pérdida de 118,5 ha en un periodo de 10 años y el incremento de tejido urbano de 400,37 ha en el mismo periodo.

Palabra clave: Landsat, ArcGIS, Clasificación Supervisada, Correlación de Pearson.

ABSTRACT

In this research, a multi-temporal analysis was carried out between green areas and population growth for the years 1984, 1996, 2007 and 2023, in the district of Cajamarca, through the processing of Landsat images in ArcGIS and the generation of vegetation cover maps. Through Supervised Classification, the multitemporal analysis was carried out between consecutive pairs of maps in order to know the level of changes, their location and extent; and then apply the Temesgen change rate and Pearson correlation. The per capita value of green areas was obtained by mapping and calculating their areas, also adding a proximity analysis with a buffer of 300 m. For the inference of future scenarios, the arithmetic interpolation method was applied. The results obtained show a dominance of “vegetation” coverage at the district level with 44,13% of its surface in 1984 to 55,95% in 2023 with livestock, forestry areas, riverside vegetation, and a decrease in agricultural surface in the valley floor. It was verified that during the 39 years the urban surface grew by 1561,46 hectares and caused the loss of 462,27 hectares of vegetation and 1088,11 hectares of productive areas in the valley floor, and generated processes of micro-urbanization and soil fragmentation in the periphery of a city that grew without control. Statistically, an inversely proportional relationship between green areas and population could be corroborated. Regarding the green area per capita of the city, it amounts to 1,2 m²/inhabitant, with a marked lack in the southern area and limited access. Finally, it is projected that at the district level the areas with vegetation will increase by 1150,31 hectares in 10 years, while at the urban area of the city the disappearance of vegetation is projected with a loss of 118,5 hectares in a period of 10 years and the increase in urban plot of 400,37 hectares in the same period.

Keyword: Landsat, ArcGIS, Supervised Classification, Pearson Correlation.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La población mundial siempre está en constante cambio de acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas (2019) al año 2050 se espera que la población urbana se duplique, por lo que 4 de cada 5 personas estarán viviendo en las ciudades, la urbanización es la principal causa de transformación del suelo del siglo XXI y es que las actividades humanas cambian los patrones del paisaje (Li, et al., 2017). Este fenómeno de expansión urbana y cambio de uso de suelo se extienden por todo el mundo, Jin et al. (2022) realizaron la evaluación morfológica de 33584 ciudades con mayor desarrollo económico durante los años 2003 y 2018 mediante imágenes satelitales, y registraron un aumento de la superficie en un 52%; por otro lado, de acuerdo a estudio realizado por la Comisión Europea (2013) la ocupación promedio del suelo en el mundo ha superado los $1000 \text{ km}^2\text{año}^{-1}$, en el caso de las zonas urbanas del mundo estas crecieron un 9 % en promedio, por lo que se puede afirmar que la tendencia de crecimiento poblacional está generalizada en el mundo.

En el caso de nuestro país el crecimiento de las ciudades los últimos 40 años se caracterizó por débiles criterios de planificación y malas decisiones públicas, dando origen a un proceso de urbanización desordenado e irregular (Carrillo y Choquehuanca, 2019), lo que ha conllevado a cambios en el uso del suelo y subsecuentemente pérdida de espacio verdes producto de la expansión urbana, casos el de la cuenca baja del río Rímac que en un periodo de 43 años se generó una expansión urbana de 7,2 % (Gabriel, 2019) o estudios como el realizado en San Juan de Lurigancho en Lima retrata un aumento del tejido urbano del 11,89 %, nos muestran que nuestro país no es ajeno a éste fenómenos y sus impactos posteriores (Huamán, 2022).

Respecto a la ciudad de Cajamarca desde su fundación tuvo incrementos poblacionales lentos, sin embargo, el hito que marcó su explosión demográfica fue en el año 1993 con la llegada de inversiones mineras que aceleraron su crecimiento y la dinámica económica (Vega, 2009), nuestro distrito al año 1981 contaba con 80 931 pobladores, mientras que al año 2017 se estima una población de 231 243 personas. Este aumento poblacional trajo consigo aumento de la tendencia de expansión urbana, que se caracterizó por ser multidireccional, espontánea y horizontal, el escenario apunta a una pérdida total de áreas verdes del fondo del valle y de zonas aledañas al río Mashcón (INDECI, 2005).

Pues bien, el aumento de estas áreas edificadas se caracteriza por su constante expansión y densificación, dando origen a un mosaico de transiciones de coberturas y pérdida de espacios verdes (Cui, et al., 2020), estos cambios conllevan a un fuerte deterioro ambiental en zonas con alto valor ecológico, fragmentación de hábitats (Merlotto, et al., 2012), pérdida de la biodiversidad, el efecto isla de calor urbano, contaminación ambiental, erosión del suelo, etc. (Schneiders, et al., 2012), del mismo modo, al no contar con espacios verdes se priva a la población tanto fuera y dentro de la ciudad de gozar de los bienes y servicios que proveen, y es que de acuerdo a las Naciones Unidas la cantidad de áreas verdes per cápita de mínimo 9 m² por persona (Robles, et al., 2015), solo así se asegura calidad de vida desde el punto de vista ambiental.

En este contexto, se presenta como problema de investigación: ¿qué relación multitemporal existe entre las áreas verdes y el crecimiento poblacional en el distrito de Cajamarca?, considerando que se tiene por hipótesis de investigación la existencia de una “Relación multitemporal inversamente proporcional entre las áreas verdes y el crecimiento poblacional en el distrito de Cajamarca”, para su comprobación y considerando la

problemática ya descrita, se plantea el cumplimiento de objetivos como: generar mapas de tipos de cobertura vegetal para el distrito de Cajamarca, analizar la variación multitemporal y la relación entre las áreas verdes y el crecimiento poblacional en el distrito de Cajamarca, calcular las áreas verdes per cápita en la ciudad de Cajamarca al año 2023 e inferir el escenario futuro en relación a las áreas verdes y crecimiento poblacional en el distrito de Cajamarca. Lo que se busca es entender el proceso evolutivo y cambios a través del tiempo de las variables áreas verdes y crecimiento poblacional, contribuyendo a un mayor entendimiento de las dinámicas del territorio durante las últimas décadas, siendo un aporte no solo para la gestión del territorio, sino también para los planes de desarrollo sostenible Municipal (Gabriel, 2019).

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 Antecedentes Internacionales.

La investigación realizada por Ramón y Aguilar (2021) fue en la Zona Metropolitana Puebla-Tlaxcala en México y tuvo por objetivo el estudio de los procesos de crecimiento poblacional y expansión urbana que han impactado en el cambio de uso del suelo, se usó como evaluó la evolución del comportamiento demográfico a través del análisis de las tasas de crecimiento poblacional entre los periodos 1950 y 2010. La transformación de los usos del suelo se evaluó por medio imágenes Landsat 2, 5 y 8, aplicando clasificación supervisada de los usos del suelo. Se concluye la existencia de una marcada transformación urbana en la región con un crecimiento desde un centro nodal hacia su periferia de 1,5% a 6%, sin embargo, también se registró recuperación de zonas con aptitud forestal.

Núñez (2021) realizó una investigación sobre las áreas verdes urbanas de la ciudad de México, y presenta un enfoque de análisis espacial para conocer la dinámica del espacio verde urbano, basado en los inventarios disponibles de Áreas Verdes Urbanas de la Ciudad de México y análisis satelitales, siendo necesaria la generación de mapas de cambio de uso de suelo, para luego aplicar la matriz de tabulación cruzada o matriz de transición para el análisis de los procesos de cambio de uso del suelo teniendo como resultando que sólo el 7,1% del suelo urbano está cubierto por áreas verdes bajo alguna categoría de manejo, lo que se expresa en 5,3 m²/habitante.

En el estudio realizado por Merlotto et al. (2012) en el área urbana costera del Partido de Necochea (Argentina) se evaluó la dinámica del crecimiento urbano y los cambios del

uso/cobertura del suelo, mediante el análisis de fotografías aéreas e imágenes satelitales en pantalla sobre el mapa base, surgiendo un mapa del uso/cobertura del suelo para los años 1967, 1984 y 2004. En cada uno de ellos se construyeron los polígonos correspondientes para cada capa de información constituida por una categoría. Posteriormente se realizó el análisis comparativo de los cambios, basado en las variaciones de área identificadas. Asimismo, se efectuó un mapa de evolución del uso urbano del cual se obtuvo la expansión urbana desde 1967 a 2004. Finalmente, el análisis efectuado fue integrado con el crecimiento de la población, obtenido a partir de datos de los Censos Nacionales de Población de los años 1960, 1970, 1980, 1991 y 2001. Teniendo como resultado que el espacio ocupado por el uso del suelo urbano se incrementó de 21,95 a 28,44% del área total estudiada, en detrimento del uso no urbano.

El objetivo del trabajo de Adame et al. (2020) fue realizar una evaluación demográfica y de cambios de uso de suelo durante el período 1980 a 2017 en la Zona Metropolitana de Toluca. Se analizó la dinámica poblacional consultando los censos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía, también fue necesaria la recopilación de información cartográfica con imágenes de Basemap del ArcMap y se realizó una fotointerpretación visual. Los resultados muestran que la población total en el período 1980 a 2015 se incrementó en 308 262 personas. En cuanto al uso de suelo para 1984 predominaba el agrícola y el bosque, y para 2017 continúa el uso agrícola seguido de la superficie artificial.

Ramírez y Pértile (2013) realizaron una investigación con el propósito de analizar la dinámica de ocupación del suelo urbano y el crecimiento de la población en Villa Ángela y Juan José Castelli (Chaco Argentino), en dos momentos determinados, 1990 y 2010, se evaluó el crecimiento poblacional y análisis comparativo de imágenes a través de la

clasificación supervisada, se concluye que el crecimiento poblacional va de la mano del aumento de suelo urbano, disminuyendo la superficie a los cultivos y bosque, además la superficie urbana tiene un incremento relativo superior al de la población, por lo que la ciudad tiende a propagarse de forma horizontal con las desventajas que esto acarrea.

Wu et al. (2019) en su investigación busca analizar los cambios temporales y espaciales de los espacios verdes urbanos en Shanghái, entre los años 1980 a 2015. Se descargaron imágenes satelitales Landsat 5 y 8 en verano para los años 1980, 1995, 2005 y 2015 con una resolución de 30 m, el procesamiento fue realizado se hizo uso de Arcgis 10.0. Se tuvo como resultado que los espacios verdes urbanos en Shanghái disminuyeron en el periodo estudiado, los espacios verdes urbanos en los suburbios y las islas han disminuido, aunque, el centro de la ciudad aumentó sus espacios verdes luego de varias décadas de disminución.

Esta investigación fue desarrollada por Seyam et al. (2023) en Mymensingh, Bangladesh, y con el fin de identificar los patrones de cambios de uso de la tierra y los procesos de urbanización. El análisis abarca los años 2002 – 2020, hicieron uso de imágenes Landsat 7 y 8 con resolución de 30 m cobertura de nubes menor a 10% descargadas del Servicio Geológico de los Estados Unidos, no fue necesario preprocesamiento porque son imágenes de Nivel 1, por lo que la composición de bandas y clasificación supervisada fueron realizadas en Arcgis 10.8. Se concluye que se identifica un cambio importante en uso del suelo, generado por la rápida urbanización y las actividades industriales, que se configuran como los factores impulsores para desencadenar la transformación en el área de estudio durante las últimas dos décadas.

2.1.2 Antecedentes Nacionales.

Huamán (2022) realizó una investigación en el distrito de Lurigancho, y tuvo por objetivo analizar la evolución del cambio de cobertura y uso del suelo durante los años 1986 – 2018, realizar el pronóstico de escenarios de crecimiento urbano al año 2030 y proponer medidas de ordenamiento territorial, fue necesario el uso de imágenes satelitales y metodología Corine Land Cover (CLC) y clasificación supervisada. El área de cambio en el periodo 1986-2018 representa un 42,74% donde las actividades antropogénicas (tejido urbano) incrementaron en un 11.89%. Malca (2020) realizó una investigación en Chilca, con el objetivo de encontrar influencias entre las características estructurales, culturales y socioeconómicas de la población sobre la distribución de áreas verdes urbanas, se usó como instrumento de recolección de datos una encuesta, para conocer si la población consideraba los espacios verdes urbanos dentro de su vida. Teniendo como resultado que el cambio de la estructura urbana, las características culturales y las características socioeconómicas no habían influido en la distribución de las áreas verdes en el distrito de Chilca. La investigación realizada por Mestanza (2022) en las ciudades de Tarapoto, Morales y La Banda de Shilcayo, tuvo por objetivo identificar los impactos de la ocupación urbana en áreas con alto valor ecológico, siendo necesario el uso de imágenes satelitales del Servicio Geológico de los Estados Unidos de entre los años 1987 y 2021, se procesaron a través del Arcgis Pro. Se concluyó que el crecimiento del tejido urbano en un lapso de 34 años, se dio sobre las áreas de alto valor ecológico y se han perdido aproximadamente un 14% (46,33 ha) de estas áreas, la pérdida de áreas verdes provocó alteraciones en el ecosistema, degradación del suelo, contaminación de los cuerpos de agua, disminución de caudales,

etc. Finalmente, la característica del proceso de ocupación urbana al inicio fue compacto y actualmente el crecimiento es disperso e informal.

Un estudio realizado en la cuenca baja del río Rímac en Lima, elaborado por Gabriel (2019) con el objetivo de comprender la dinámica de este territorio y su relación con los cambios en la cobertura y uso del suelo, mediante aplicación de encuestas y análisis multitemporal de imágenes satelitales de entre los años 1975 y 2018, con procesamiento en Arcgis y mediante clasificación supervisada, se concluyó que en un periodo de 43 años la expansión urbana alcanzó un 7,2%, debido al aumento poblacional, lo que provoca presión sobre los recursos naturales y cambio de uso del suelo.

2.1.3 Antecedentes Locales.

Tafur (2016) realizó una investigación en 36 áreas verdes de la ciudad Cajamarca, tomando en cuenta su funcionalidad ecológica y social, se delimitó las áreas, se realizaron entrevistas y se mapeo las áreas. Obteniendo como resultado que la funcionalidad ecológica de las áreas verdes de Cajamarca, es baja; en la parte social la funcionalidad de las áreas verdes es media. Además, en las 36 áreas verdes evaluadas, se identificaron 100 especies vegetales, de las cuales 24 son especies nativas de Sudamérica, 47 son exóticas, 17 no fueron identificadas por este estudio y 12 especies son nativas de los ecosistemas presentes en el valle de Cajamarca.

La investigación realizada por Acco (2021) en el distrito de Hualgayoc tuvo por fin analizar los cambios en la cobertura y uso del suelo durante los años 2002 – 2017 para conocer los motivos por los que la expansión de las áreas de cultivos y pastos no inciden en la disminución de la pobreza y emigración. La metodología usada fue aplicación de encuestas, revisión bibliográfica, análisis multitemporal y clasificación supervisada de

imágenes satelitales durante 15 años. Se concluyó que, aunque sí hubo expansión de zonas agrícolas y pastos, no se vio mejoras en la calidad de vida de los pobladores, respecto al cambio de uso del suelo se vieron afectadas 10 087,61 ha que representa 44,08% de su territorio.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Crecimiento poblacional.

La urbanización en el mundo presenta una tendencia creciente en los dos últimos siglos y se configura como una fuerza clave que le dio forma al desarrollo de nuestro mundo moderno, entre 1950 a 2014 la población que vive en áreas urbanas aumentó del 30% al 54%, y se prevé que el aumento continúe (Seto, et al., 2011).

2.2.1.1 Crecimiento Poblacional en el Mundo.

De acuerdo a datos del Instituto Nacional de Estadística e Informática – INEI (2020) al año 2020 el mundo tenía 7 mil 794 millones de habitantes, al 2050 se proyectan 9 mil 735 millones; cabe mencionar que el crecimiento y distribución poblacional no es igual en todos los países, continente asiático es el que alberga número de población, con países como India y China con más de mil millones de habitantes.

En nuestro continente, el país más poblado es Estados Unidos, seguido de Brasil y México, en lo que respecta al Perú, al año 2020 fuimos el 7° país más poblado en América con 32 millones 626 mil habitantes. Existe una ligera predominancia de población femenina sobre la masculina, por cada 99 hombres hay 100 mujeres. Se prevé que el crecimiento poblacional caiga en 41 años, alcanzando una población máxima en el año 2061 con 39 millones 793 habitantes.

2.2.1.2 Población en el Perú y Cajamarca.

De acuerdo al INEI (2018) la tasa de crecimiento poblacional en el Perú en el periodo 1940 y 1961 fue de 1.9%, del periodo 1961 y 1972 fue de 2,8% promedio anual, entre los años 1972 y 1981 una tasa de 2,6% promedio anual, entre 1981 y 1993 de 2,0% de incremento anual, entre 1993 y 2007 1,6% y finalmente para el periodo 2007 – 2017 la tasa es de 1,0%.

En lo que respecta al departamento de Cajamarca, durante el periodo 1940-1961 se tuvo una tasa de crecimiento de 2,0%, entre 1961-1972 de 1,9%, para los años 1972-1981 de 1,2%, el periodo 1981-1993 1,7%, para 1993-2007 de 0,7% y finalmente para los años 2007-2017 de -0,3%, cabe mencionar que, a nivel de capital, la ciudad de Cajamarca en el periodo censal de entre 2007 y 2017 tuvo una tasa de crecimiento promedio de 2.2%. En lo que respecta a la tasa de crecimiento a nivel del distrito de Cajamarca, los resultados se muestran en la Tabla 1, con crecimiento constante desde 1981 a 2007, y un decrecimiento que representa solo un 0.23% entre 2007 y 2017.

Tabla 1

Cuadro resumen distrito de Cajamarca

Año de encuesta	Total	Tasa de crecimiento
1981	80931	-
1993	117509	0,45%
2007	188363	0,60%
2017	231243	0,23%

Fuente: INEI (2018).

La Tabla 2 se presenta el comportamiento intercensal y tasa de crecimiento en la población de la ciudad de Cajamarca, se observa un crecimiento sostenido a lo largo de los años y un decrecimiento entre los años 2007 – 2017.

Tabla 2*Población de la ciudad de Cajamarca*

Año de encuesta	Población	Incremento Intercensal	Tasa de crecimiento promedio anual
1981	80931	-	-
1993	92447	-	-
2007	162326	75,6%	4%
2017	201329	24,9%	2,2%
2023	227904	13,0%	-

Fuente: INEI (2008).

Sobre la densidad poblacional en la ciudad de Cajamarca, la Tabla 3 muestra que el 47,2% de la población se sitúa en el quintil 4 y 5, siendo la clasificación con mayor densidad, lo que significa que este porcentaje de población vive en la zona céntrica del distrito de Cajamarca y un 52,8% de la población de los quintiles 1, 2 y 3, se agrupa sobre manzanas menos densas.

Tabla 3*Cuadro resumen distrito de Cajamarca*

Símbolo	Rango	Población	%
Q1	2-72	21131	16,3
Q2	73-137	29339	16,8
Q3	138-202	36545	19,7
Q4	203-289	42960	22,3
Q5	290-1271	48590	24,8

Fuente: CENEPRED (2021).

2.2.1.3 Censos en el Perú

Los Censos de Población y Vivienda en el Perú se remontan a la época Republicana, ejecutándose hasta el momento 12 Censos de Población y 7 de Vivienda, los censos de 1940 a 1993 fueron de Hecho o Facto, empadronando a la población donde se encontrará, aunque sea fuera de su lugar de residencia, el censo del 2005 fue de Derecho o de Jure censando a la población en su residencia habitual, el censo del 2007 fue un censo de Hecho

o Facto, al igual que el del 2017 (INEI, 2009).

2.2.1.4 Cambio de uso de suelo en las urbes.

En el mundo el hombre está transformando el medio ambiente, siendo la urbanización forma de uso de la tierra más irreversible, y que produce cambios en la cobertura del suelo, en los sistemas hidrológicos, clima, biodiversidad, pérdida de hábitat, extinción de especies, modificación del albedo superficial, evapotranspiración, temperaturas elevadas, etc. (Grimm, et al., 2008). Es importante discernir que la urbanización no es el problema central, sino la mala planificación urbana, porque cuando se hace una adecuada gestión de territorio se convierte en una herramienta para mitigar el cambio climático y es que el desarrollo urbano compacto a partir de residenciales y ubicación de centros laborales en puntos estratégicos disminuirán los recorridos vehiculares y con ello las emisiones de CO₂, sumando además la inclusión de espacios verdes funcionales, interconectados y diversos dentro de las ciudades.

La urbanización continua es el mayor desafío global porque siguen creciendo en tamaño y densidad, se sabe que entre 2001 y 2018 el área urbana creció un 168% (Huang, et al., 2021) este problema está aún más enfocado en Asia y América del sur, presentando las tasas más altas de cambio de uso del suelo y se asocian con el crecimiento económico. Especialmente, las urbes ocupan el 3% de la superficie terrestre y al año 2020, más del 50% de la población en el mundo vivía en ciudades. Este crecimiento exponencial impulsa a los cambios en la cobertura del suelo y patrón de uso, generando impactos no deseados en la biodiversidad local, tras el cambio del paisaje físico, se genera pérdida de tierras agrícolas, ecología y espacios verdes urbanos (Arshad, et al., 2020). Además, se prevé que aproximadamente 4900 millones de personas se establezcan en áreas urbanas para 2030 y

6 300 millones para 2050 (Kuang, et al., 2016). Este problema está generalizado a nivel mundial, la pérdida de espacios verdes, tierras agrícolas, forestales, la destrucción del paisaje y la alternación de los ecosistemas es producto del uso de la tierra urbana sin planificación alguna (Chen, et al., 2006).

De forma genérica se puede decir que la mayoría de ciudades del tercer mundo tienen un patrón de crecimiento no contiguo, descontrolado, disperso, desigual y no planificado, hasta llegar a tal punto que genera el agotamiento de los recursos y de los espacios verdes; dando un reemplazo de suelos con vegetación a superficies impermeables artificiales, induciendo al aumento de riesgos por inundación, al eliminar los espacios verdes se reduce las áreas de infiltración, aumentando el volumen de la escorrentía superficial durante las lluvias (Abass, et al.,2020).

2.2.2 Áreas verdes.

Los espacios verdes son definidos por Kabisch & Haase (2013) como “cualquier vegetación que se encuentra en el entorno urbano, incluidos parques, espacios abiertos, jardines residenciales o árboles en las calles”, p.113), existe otra definición digna de mencionar, hecha por Miller et al. (2015) para áreas verdes urbanas y periurbanas, siendo la suma de vegetación leñosa dentro y en la periferia de los asentamientos humanos densos, que van desde comunidades en entornos rurales hasta metrópolis.

2.2.2.1 Beneficios.

La importancia de los espacios verdes es reconocida por El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático pues manifestó que el establecimiento de la infraestructura verde urbana es uno de los mejores mecanismos para la adaptación y

mitigación climática, del mismo modo la Agenda 2030 de la ONU bajo el ODS 11 (Ciudades y comunidades sostenibles) (Xu, et al., 2020).

Para Meza y Moncada (2010) las áreas verdes contribuyen al bienestar y mejora de la calidad de vida, son beneficios en forma de bienes y servicios, siendo los más relevantes: regulación del clima urbano, absorción de contaminantes, amortiguación del ruido, captan agua de lluvia para dar paso a la percolación y/o infiltración, intervienen en el ciclo del agua porque realizan un pretratamiento cuando el agua corre por los mantos verdes, atenuando en alguna medida e interceptando partículas, sedimentos, etc., antes de su ingreso en el alcantarillado; proveen de hábitats, albergan biodiversidad, etc; no obstante, el beneficio ambiental más relevante se aboca al bienestar social, porque son espacios de esparcimiento y recreación, permiten reforzar la identidad de los barrios, son espacios culturales, de convivencia, son espacios estéticos, el hecho de convivir con espacios verdes estimular el sistema sensorial y relaja, irradia energías positivas que atenúan el estrés (Rapoport, et al., 1983; Terkenli, et al., 2020; Chen, et al., 2022), pero además, un estudio reciente de De Keijzer et al. (2019), asocia el contacto con espacios verdes con la menor pérdida de la velocidad al caminar. A mayor presencia de verdor en los alrededores de las viviendas se vinculan a un mejor funcionamiento físico a edades más avanzadas y declive de la vejez.

La Organización Mundial de la Salud recomienda una superficie de mínimo 9 m² de áreas verdes por habitante (Robles, et al., 2015), siendo el mínimo exigible y una de sus características principales es que se ubique a una distancia no mayor a quince minutos a pie desde las viviendas, con el objetivo de que las personas perciban directamente ellos beneficios, algunas de las grandes ciudades como Nueva York presentan 11 m² de espacios

verdes/persona, Paris 17 m²/persona (Meza y Moncada, 2010) (Sorensen, et al., 1998). A nivel de nuestro país, el MINAM (2018), tiene una web denominada “Indicador: Superficie de área verde urbana por habitante en Lima Metropolitana como se muestra en la Tabla 4 en la que a nivel de los distritos de Lima se tiene un registro de los m² por habitante de áreas verdes para los años 2016, 2017 y 2018, el promedio de áreas verdes per cápita en los distritos de Lima es de 4,92 m²/habitante en 2016, 4,86 m²/habitante en 2017, y 4,90 m²/habitante en 2018, los distritos de Santa María Del Mar 31,54 m²/habitante, San Isidro 22,09 m²/habitante, Miraflores 13.84 m²/habitante, Jesús María 9,27 m²/habitante, son los únicos que cumplen con los cánones de la ONU en términos de calidad de vida ambiental, finalmente el distrito con menos áreas verdes per cápita cuenta es Pucusana con 0,11 m²/habitante.

Tabla 4
m² por habitante de áreas verdes en los distritos de Lima

Serie	2016	2017	2018
Ancón	3,83	3,74	3,66
Ate	2,66	2,6	2,54
Barranco	4,76	4,84	4,93
Breña	0,94	0,95	1,01
Carabayllo	1,44	1,4	1,84
Chaclacayo	8,11	8,04	7,96
Chorrillos	3,14	3,09	3,04
Cieneguilla	1,07	1,04	1,68
Comas	2,31	2,29	2,81
El Agustino	2,68	2,65	1,37
Independencia	1,18	1,18	2,73
Jesús María	9,01	9,01	9,27
La Molina	7,69	7,52	7,52
La Victoria	2,54	2,58	2,62
Lince	3,72	3,76	3,81
Los Olivos	3,83	3,77	4,33
Lurigancho	2,24	2,19	2,42
Lurin	1,17	1,14	1,12
Magdalena Del Mar	4	3,96	3,98
Miraflores	13,78	13,81	13,84

Serie	2016	2017	2018
Pachacamac	0,63	0,61	0,85
Pucusana	0,11	0,11	0,11
Pueblo Libre	3,74	3,74	3,74
Puente Piedra	1,06	1,03	1
Punta Hermosa	8,06	7,87	7,69
Punta Negra	1,76	1,72	1,67
Rímac	1,12	1,13	1,13
San Bartolo	11,23	10,97	8,5
San Borja	11,95	11,9	11,86
San Isidro	20,06	20,2	22,09
San Juan De Lurigancho	1,52	1,49	1,59
San Juan De Miraflores	1,69	1,56	1,65
San Luis	5,04	5	4,97
San Martin De Porres	1,22	1,19	1,63
San Miguel	4,36	4,33	4,3
Santa Anita	2,38	2,33	2,3
Santa María Del Mar	33,31	32,47	31,54
Santa Rosa	7,69	7,49	7,34
Santiago De Surco	6,71	6,59	6,43
Surquillo	2,7	2,7	2,7
Villa El Salvador	1,53	1,5	1,47
Villa María Del Triunfo	0,39	0,38	0,37

Fuente: MINAM (2018).

2.2.2.2 Amenazas.

De acuerdo a Teimouri & Yigitcanlar (2018), los espacios verdes son los ecosistemas naturales urbanos más amenazados, la principal razón es el rápido crecimiento urbano y la falta de planificación en los asentamientos. Turrini & Knop (2015), también sustentan que la conversión de espacios verdes en infraestructura urbana es una de las principales razones de la destrucción del hábitat en todo el mundo.

2.2.3 Análisis Multitemporal.

2.2.3.1 Teledetección.

En este ítem, se quiere hacer una breve remembranza de la historia de la teledetección y que el hombre siempre está sediento de conocimiento, así es como en 1859 Gaspar Félix fue el primero en usar un globo para fotografiar un bosque de Boulogne y el Arco del Triunfo; en 1909 Wilburg Wright obtuvo la primera fotografía aérea desde un avión; 1915 Moore-Brabazon creó la primera cámara aérea diseñada para ser accionada desde un avión, dando inicio al interés del hombre por fotografiar la superficie terrestre (Martínez, et al., 2010).

Posteriormente, en 1920 el programa espacial estadounidense de mano del físico Robert Goddard, empezó el diseño de cohetes multifase que en adelante servirían para dar el siguiente paso en materia de teledetección; pues bien la carrera espacial continuó y luego de la segunda guerra mundial en la Universidad de Johns Hopkins durante pruebas en misiles V-2 se colocó una cámara, aunque el misil cayó la cámara fue recuperada y se obtuvieron los primeros fotogramas del panorama de la Tierra vista desde el espacio, sin embargo, la primera imagen de la Tierra se tomó en 1959 cuando se lanzó el primer satélite artificial el Explorer VI de la Nasa (Rodríguez, et al., 2015).

En 1960 el primer satélite en obtener imágenes de forma periódica fue el satélite meteorológico TITOS-I mediante sensores vidicon que mediante cámaras de televisión modificadas fueron capaces de transmitir a la Tierra a manera de señal de TV. En 1961 la Unión Soviética envió a un astronauta a bordo de la cápsula Vostok 2, se trata de Gherman Titov y es el primer fotógrafo espacial, pues tomó varias imágenes desde el espacio con una cámara de cine. Luego llegaron los satélites Landsat en 1970, gama que continúa hasta

nuestros días, estos fueron los primeros satélites para uso civil y diseñados para tomar imágenes continuas de la Tierra con fines netamente científicos (Rodríguez, et al., 2015). Así nace la teledetección, una ciencia cuya base para obtener la información a partir de satélites, mediante la propagación de ondas electromagnéticas y acústicas que interactúan con los objetos a estudiar y consiste básicamente en la medición de la energía transportada por esas ondas y que generará una serie de datos que será procesados y obtener información en forma de imagen multispectral (Rodríguez, et al., 2015). En la Figura 1 se presenta un Diagrama de Teledetección con los principales elementos de este sistema.



Figura 1: Diagrama de teledetección.

Fuente: Rodríguez et al. (2015).

Este sistema opera de la siguiente manera, se requiere de una fuente de energía que generalmente es el sol cuando se trata de Teledetección pasiva para que ilumine a la superficie de interés, cuando alcanza la superficie terrestre interactúa con los objetos que ahí se ubican, estos reaccionan de diferente forma a la energía incidente, una parte es transmitida, otra parte es reflejada o absorbida, la energía reflejada es captada por el sensor que transmite a una estación de recepción y procesamiento, en el que se codifica

digitalmente en imágenes digitales, y en rangos que dependen de la resolución radiométrica del sensor, esto datos son almacenados y enviados periódicamente por el satélite a una estación receptora (Martínez, et al., 2010; Labrador, et al.,2012).

El satélite transforma los niveles de radiancia en valores numéricos que se denominan niveles digitales y cada valor de estos corresponde a un píxel que será proporcional a la intensidad de radiancia procedente de la superficie y elemento captado, este procedimiento se repite para cada banda, generando una matriz tridimensional, cada valor de píxel se ubica en una fila, una columna y una banda, dando origen a una imagen multiespectral, el número de bandas varía de acuerdo al sensor de origen, pero por ejemplo el satélite SPOT cuenta con 4 bandas, Landsat 5 con 07 bandas, Landsat 9 con 11 bandas, etc. (Pérez y Muñoz, 2002).

Otro punto importante en teledetección es la resolución espacial que es la distancia angular o lineal más pequeña que puede llegar a captar un sensor, se trata del tamaño del píxel y es la unidad mínima que conforma una imagen digital, existen satélites con resolución espacial de hasta 1 m, mientras que la gama de Landsat presenta resoluciones de 30 y 15 m, esta gama es la que tiene en órbita mayor tiempo. El píxel generalmente tiene forma cuadrada, su resolución se expresa en m o m/píxel. En teledetección, otro concepto común es la resolución espectral de un sensor y se refiere a como cada elemento que conforma la superficie terrestre responde de diferentes formas a la radiación electromagnética, es decir, se generarán firmas espectrales específicas por cada elemento o superficie (Pérez y Muñoz, 2002; Labrador, et al.,2012).

2.2.3.2 Imágenes satelitales.

Las imágenes satelitales están conformadas por matrices que contienen una celda que es un pixel y su tamaño depende de la resolución del sensor, generalmente las imágenes más comunes que suministran los satélites es una imagen digital tipo ráster que está conformada por bandas espectrales, el producto más común es una imagen digital tipo ráster. Las imágenes satelitales pueden ser del tipo (Labrador, et al.,2012):

- A. Multiespectral: cuya imagen lleva asociados valores numéricos en cada pixel y proporciona la firma espectral de diversos elementos presentes en la imagen.
- B. Pancromática que dispone de una sola banda espectral que es infrarroja, presentada en escala de grises, pero con mayor resolución espacial que las imágenes multiespectrales.
- C. Fusionada: obtenida por fusión de una imagen multiespectral y una pancromática, el denominado pan-sharpened, se obtiene una imagen multiespectral con resolución de una imagen pancromática, mejorando enormemente su resolución.
- D. Estéreo: se trata de dos imágenes de una misma zona que fueron tomados en ángulos diferentes.

2.2.3.3 Imágenes Landsat

Landsat significa, Land=tierra y Sat=satélite, al inicio fueron llamados Earth Resources Technology Satellites – ERTS y fue la primera misión de los Estados Unidos para el monitoreo de los recursos terrestres (Jiménez, 2018). Las imágenes Landsat ofrecen imágenes gratuitas desde 1972 hasta el presente, son una oportunidad sin precedentes para documentar los cambios históricos en la superficie terrestre, representan una biblioteca actualizada de los últimos 51 años (Dong, et al., 2015). Los satélites Landsat se ubican en una órbita casi polar y sincrónica con el sol, a una altura de 920 km de la superficie de la

tierra, orbita la Tierra en 103 minutos, proceso que se repite cada 18 días. Está compuesta por sensores remotos como: Return Beam Vidicon – RBU que es básicamente un sistema de cámaras de televisión y otro sensor llamado Multiespectral Scanner – MSS, que es un equipo de barrido multiespectral que registra la información reflejada (Sacristán, 2006) (Jiménez, 2018). Los satélites Landsat presentan misiones de observación de la Tierra administrado por la NASA y el Servicio Geológico de los Estados Unidos desde 1972, por lo que se creyó conveniente presentar la Tabla 5 con la descripción de las misiones realizadas, satélites puestos en marcha y fecha de lanzamiento:

Tabla 5
Periodo de Actividad del Satélite Landsat

Satélite	Fecha de lanzamiento	Fin de operación
Landsat 1	23/07/1972	5/01/1978
Landsat 2	22/01/1975	27/07/1983
Landsat 3	5/03/1978	7/09/1993
Landsat 4	16/06/1982	14/12/1993
Landsat 5	1/03/1984	30/11/2013
Landsat 6	3/10/1993	Lanzamiento fallido
Landsat 7	15/04/1999	Activo
Landsat 8	11/02/2013	Activo
Landsat 9	27/09/2021	Activo

Fuente: Tarqui y Flores (2022).

Las imágenes Landsat 5 están conformadas por 07 bandas, la banda 01 es una banda azul que permite ver bajo agua a poca profundidad, sirve para el mapeo de zonas costeras, también identifica caminos; la banda 02 es verde y está diseñada para evaluar el vigor de la vegetación sana, también es útil para diferenciar algunos tipos de rocas; la banda 03 de color rojo sirve para clasificar cobertura porque es una banda de absorción de clorofila; la banda 04 que es del infrarrojo cercano identifica biomasa, facilita la delimitación de

cuerpos de agua y clasificación de rocas; banda 05 infrarrojo medio indica el contenido de humedad en la vegetación y suelo, permite diferenciar entre nieve y nubes; banda 06 infrarrojo termal permite mapear la humedad en el suelo y puntos calientes en zonas volcánicas; finalmente la banda 07 infrarrojo medio, usada principalmente en geología, también aplica cuando se quiere mapear zonas quemadas (Bravo, 2022).

Las imágenes landsat 5 presentaban un ciclo de repetición de 16 días y tiene el récord Guinness por ser el satélite de observación de nuestro planeta con más tiempo en órbita con tamaño de imagen de 180 km x 172 km; las imágenes landsat 7 también tiene un ciclo de repetición de 16 días y cuenta con 08 bandas espectrales, posee una banda pancromática con resolución espacial de 15 m, con tamaño de imagen de 180 km x 170 km; las imágenes landsat 8 tiene una repetición de 16 días y está conformado por 11 bandas con el mismo tamaño de imagen que las landsat 7 (MINAM, 2021).

La USGS el año 2016 reorganizó el archivo Landsat en una estructura de colecciones por niveles: La Colección Landsat Nivel-1 proporciona archivos con alta calidad de datos teniendo disponibles escenas para un análisis a nivel de píxeles de series de tiempo, es decir, entre diferentes periodos, pero además también poner al alcance de todos datos temporales que pueden ser usados inmediatamente, incluso en situaciones de emergencia. La Colección 1 tiene el subnivel Tiempo Real (TR), Nivel 1 (T1) y Nivel 2 (T2), el Nivel TR. El nivel T1 es el que se recomienda para los procesamientos, ya que cuenta con la mayor calidad disponible e incluyen la corrección de precisión y terreno de nivel 1, radiometría bien caracterizada. El Nivel T2 presenta escenas con alta presencia de nubes, por lo que para un análisis de clasificación supervisada no se puede tener un número de puntos de control adecuado, para ser usadas se recomienda realizar Corrección Sistemática

del Terreno o Corrección Sistemática, se recomienda consultar el RMSE y otras propiedades antes de considerar su uso.

Finalmente, Landsat Colección 2 presenta una mejora sustancial en la precisión de geolocalización absoluta del conjunto de datos de referencia terrestre global utilizado en el flujo de procesamiento de datos Landsat Nivel-1. Además, la Colección 2 incluye fuentes de modelado de elevación digital global actualizadas y actualizaciones de calibración y validación, así como productos basados en escenas de reflectancia de superficie y temperatura de superficie de nivel 2 global desde 1982 hasta el presente (MINAM, 2021).

A. Corrección de imágenes satelitales

Las imágenes satelitales pueden ser corregidas de tres formas, de acuerdo a Rueda (2019):

- a. Corrección Geométrica: es la transformación de las coordenadas a nivel de pixel hacia el formato de referencia en el que se está trabajando.
- b. Corrección Radiométrica: se enfoca en la restauración de líneas, bandeos que pueden verse en la imagen o de pixeles perdidos.
- c. Corrección Atmosférica: implica la eliminación de radiancia como presencia de nubes o alguna condición atmosférica que dificulte una buena visibilidad de la imagen, generalmente surgen cuando existen problemas mecánicos en el sensor.

2.2.3.4 Sistemas de Información Geográfica.

Los sistemas de información geográfica (SIG) son herramientas informáticas que digitalizan, almacenan y gestionan información georreferenciada, tienen funciones que integran datos alfanuméricos con gráficos, siendo la característica principal su capacidad

para manipular información georreferenciada a través de la superposición reclasificación clasificación, etc., el resultado es la producción de cartografía y generación de estadísticas e informes (Pérez y Muñoz, 2002)

2.2.3.5 Análisis multitemporal.

Se trata de un procesamiento que permite conocer los cambios entre periodos determinados ya sea en material de cobertura vegetal o uso del uso, se puede realizar la comparación píxel a píxel de una imagen satelital en la que se categoriza cada pixel de acuerdo a su tipo de cobertura o uso de suelo pero deberá realizarse esta comparación por cada periodo analizar, para luego realizar una comparación posterior a la clasificación pero entre los productos, solo así se podrán detectar los cambios (Srivastava, et al., 2012).

A. Clasificación de imágenes satelitales

La clasificación de imágenes satelitales básicamente se aboca al análisis de las imágenes y reconocimiento de sus píxeles, para posteriormente clasificarlos de acuerdo a sus características y fines del estudio (Sowmya, et al., 2017). Pueden ser clasificadas de dos formas:

- a. Clasificación no supervisada: se realiza en un software que mediante algoritmos de agrupamiento, pudiendo ser imagen como Kmeans o expectativa de Maximización, estos algoritmos agruparan a los píxeles de acuerdo a sus propiedades de reflectancia en grupos llamados cúmulos, la única intervención del operador será digitalizar la cantidad de grupos o tipos de coberturas que requiere, en palabras simples el software clasificará a los píxeles de acuerdo a los colores

que perciba (Sowmya, et al., 2017). Este tipo de clasificación se aplica en zonas extensas.

- b. Clasificación supervisada: aplica cuando el operador tiene cierto conocimiento del área en estudio porque tendrá que delimitar por zonas o tipos a las áreas existentes, implica el ingreso manual por parte del operador de zonas de entrenamiento, es decir clasificar a los píxeles de acuerdo al tipo de cobertura que existe, estos píxeles elegidos son las llamadas áreas de entrenamiento y se convertirán en parámetros representativos por tipo cobertura. Una vez elegidas estas áreas de entrenamiento, el software calculará las firmas espectrales de estas áreas de entrenamiento considerando el valor y características de cada pixel, para luego clasificar a la imagen completa teniendo como base las áreas de entrenamiento y sus características espectrales, el resultado depende íntegramente de la calidad de estas áreas. Existen varios algoritmos aplicados para este fin, pero el más usado en el de Máxima Verosimilitud, que calcula las distribuciones de cada píxel de acuerdo al nivel de probabilidad estadística por cada clase, considerando el nivel de pertenencia, se basa en el teorema de Bayes (Sowmya, et al., 2017).

Los análisis de superficie requieren la corroboración y contrastación de la información generada, para contrastar la exactitud de la digitalización de los polígonos existen múltiples métodos, siendo uno de los más usados la matriz de confusión y el índice de Kappa. En nuestro país, este método está estandarizado en el Protocolo Evaluación de la Exactitud Temática del Mapa de Deforestación elaborado por el MINAM (2014), siendo la base de la validación imágenes satelitales y la selección de una unidad de muestreo que se genera mediante un shapefile en Arcgis, estos puntos se colocan dentro de un pixel que captura

tanto a la imagen satelital como al mapa de cobertura generado y comparando su nivel de confiabilidad.

La matriz de confusión permite el análisis de los datos obtenidos y la evaluación de la confiabilidad de los mapas, contemplando también a los errores de omisión y comisión, para su realización se desarrollan los siguientes ítems (MINAM, 2014):

- A_1, A_2, A_n : es la sumatoria de los puntos correctamente asignados, expresa el nivel de confiabilidad del mapa.
- M : total de clases, representa el total de puntos de muestreo.
- R, S, T, AY, Z : es el resultado de la sumatoria de los valores por cada una de las clases.

La generación de los datos anteriormente descritos, generan información para conocer el nivel de confiabilidad, siendo las medias de precisión.

- Error de comisión: es la probabilidad de que se encuentre información incorrecta en el mapa. Error de comisión= $1 - \text{Exactitud del usuario}$.
- Error de omisión: representa en qué medida el mapa presentó información incorrecta de acuerdo al terreno. Error de omisión= $1 - \text{Exactitud del productor}$.

Toda la información anteriormente generada, nos lleva a la aplicación del índice de Kappa sirve para medir el grado de exactitud del mapa, se enfoca en los porcentajes de error tanto de la variabilidad y concordancia, entre los mapas de coberturas y las imágenes satelitales usadas como base, es decir, determina si las clasificaciones realizadas se ajustan a la realidad. Puede variar de entre -1 a 1+, cuando el resultado se ubica más cercano al 1+,

significa que el nivel de concordancia entre el mapa de cobertura y la imagen satelital es alto (Jiménez, 2018).

De acuerdo al MINAM (2014), en cartografía el Índice de Kappa es una medida de la diferencia entre la exactitud lograda al realizar la clasificación mediante el software y la exactitud visual en una imagen de alta resolución, la fórmula es la siguiente:

$$K = \frac{Po - Pe}{1 - Pe}$$

Po = Número de aciertos/Número total de clases

Po = (A1 + B2 + C3) / M

Pe = Calculo generado desde la matriz de confusión.

Pe = (EP1 x EU1) + (EP2 x EU2) + (EP3 x EU3)

2.3 Definición de términos básicos

Áreas verdes: son espacios con vegetación de cualquier tipo, dentro o fuera de las ciudades (Miller, et al, 2015).

Crecimiento Poblacional: aumento de la población en un periodo determinado (Seto, et al., 2011).

Imágenes satelitales: se trata de fotografías tomadas desde el espacio a través del uso de sensores remotos (Labrador, et al.,2012).

Cambio de uso del suelo: ocupación de la tierra y cambio de su vocación natural (Arshad, et al., 2020).

Análisis multitemporal: observación, análisis y ubicación de cambios a través de un periodo de tiempo pre establecido en el suelo y las coberturas vegetales (Srivastava, et al., 2012).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación de la zona de estudio

A. Ubicación política y geográfica.

El área en estudio es el distrito de Cajamarca y se ubica en el departamento y región del mismo nombre. Enclavada en la sierra norte del Perú, está dividida en 13 provincias y 127 distritos, siendo su capital la ciudad de Cajamarca. Su territorio abarca regiones naturales de sierra y selva, y su diversidad se explica con alturas que oscilan entre los 150 msnm hasta los 4 496 msnm, el relieve de esta región es muy accidentado, es atravesado de sur a norte por la cordillera occidental de los Andes, dividiendo al territorio en dos vertientes hidrográficas: Pacífico y Atlántico; la presencia de la depresión de Huancabamba es una de las razones por las que tenemos 27 de las 84 zonas de vida del país (Quispe, 2017). En la Tabla 6 se presentan algunos puntos de coordenadas UTM del distrito y en la Figura 2 el mapa a nivel del distrito de Cajamarca.

Tabla 6

Puntos de la delimitación del distrito de Cajamarca

Coordenadas UTM Datum WGS 84, Zona 17S	
Este	Norte
769419,11	9211425,88
765261,27	9238005,06
771724,50	9233399,92
774799,87	9230330,07
774551,47	9225206,48
774120,95	9209610,90
779223,08	9205934,40
780073,41	9203925,57

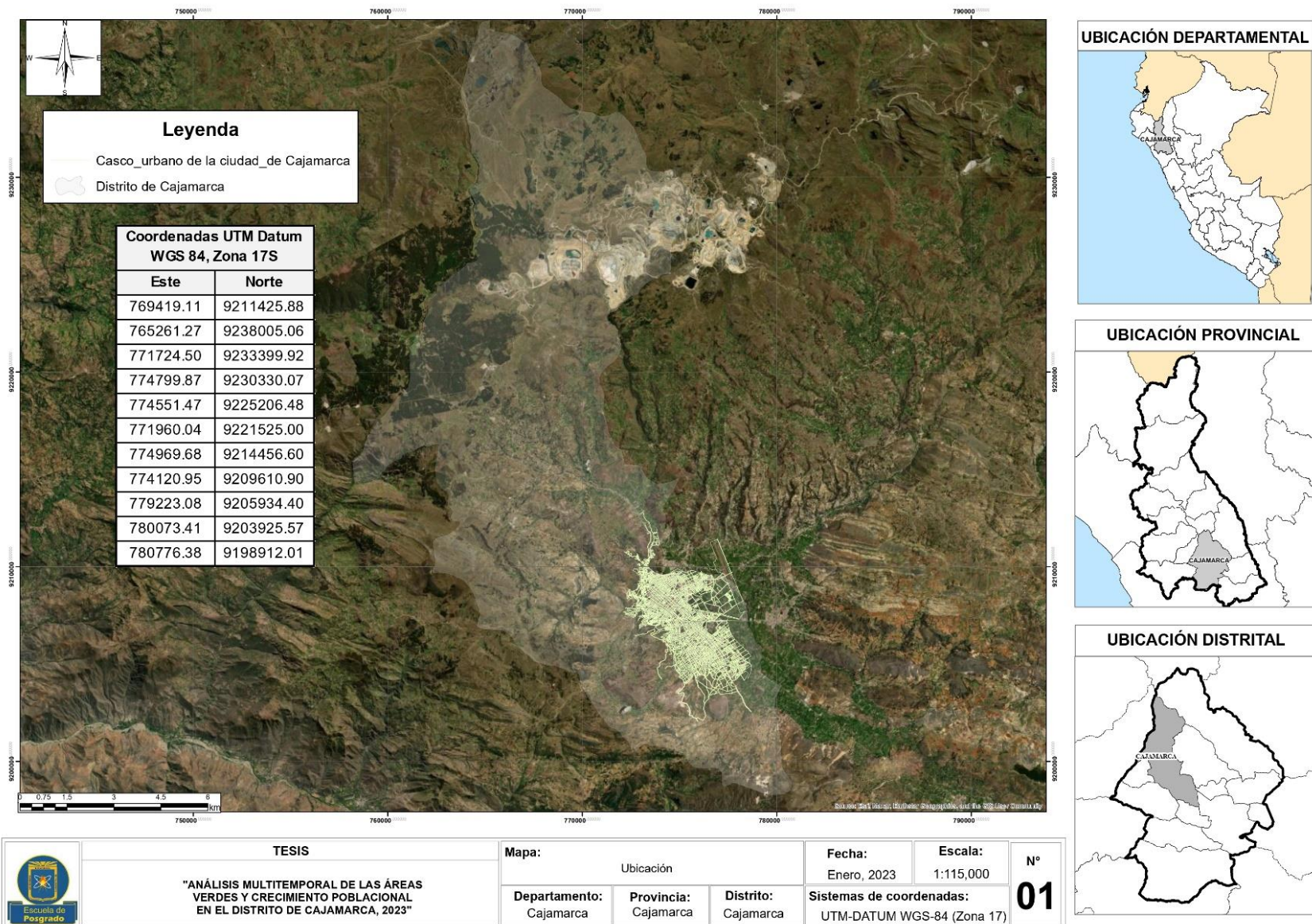


Figura 2: Mapa de ubicación del distrito de Cajamarca año 2023.

B. Clima

De acuerdo a la clasificación climática de Charles Warren Thornthwaite en la región Cajamarca coexisten 6 tipos de climas, en lo que respecta al ámbito del área de influencia de este estudio, hemos ubicado dos tipos de climas (SENAMHI, 2016) como muestra la Tabla 7, presentada a continuación:

Tabla 7

Tipos de clima en el ámbito en estudio

Tipo de Clima	Descripción
C(o,i,p) B'3 H3	Semiseco, semifrío; deficiente lluvia en otoño, invierno y primavera
C(o,i,p) B'2 H3	Semiseco, templado y húmedo; deficiente lluvia en otoño, invierno y primavera

Fuente: SENAMHI (2016).

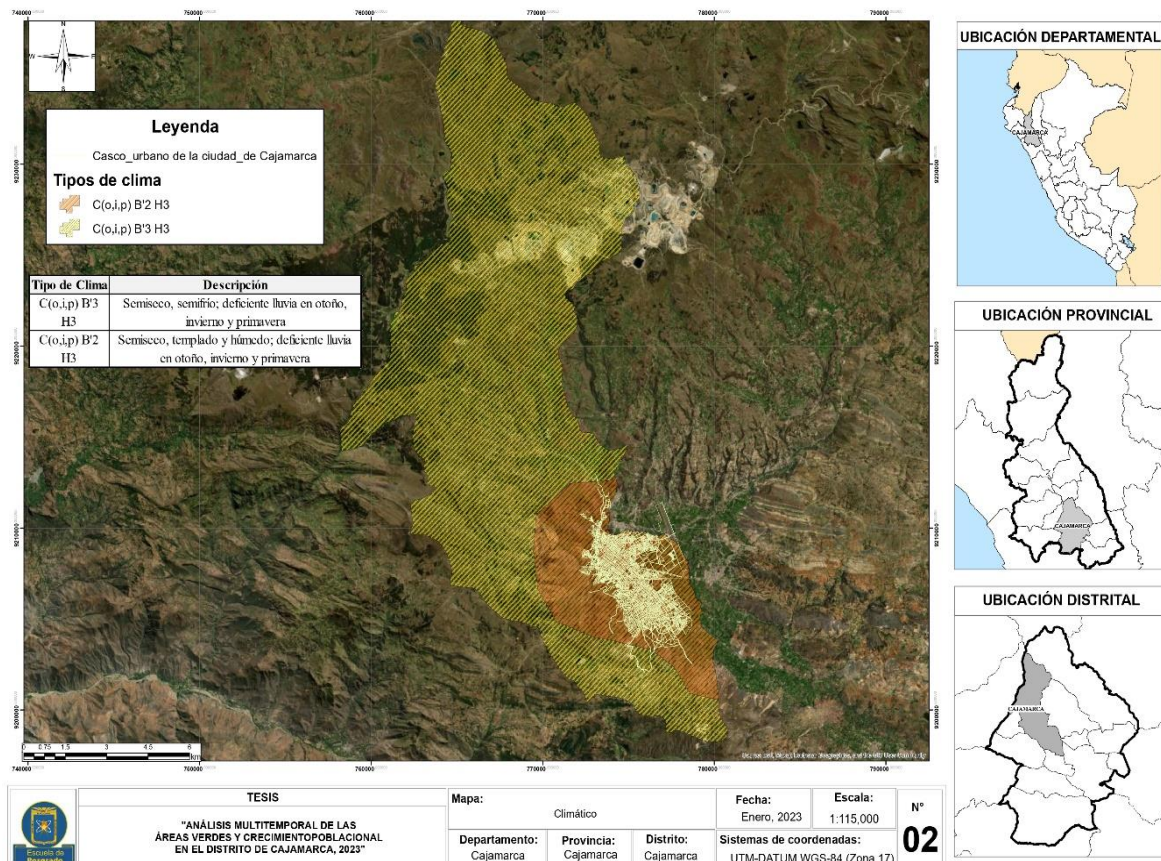


Figura 3: Tipos de clima en el ámbito en estudio

C. Edafología

En la región Cajamarca se realizó un estudio de suelos como parte de la Zonificación Ecológica y Económica – ZEE, teniendo como base el Sistema de Clasificación Soil Taxonomy, para el caso del distrito de Cajamarca se tiene 11 tipos de suelo (Poma y Alcántara, 2011), presentados en la Figura 4.

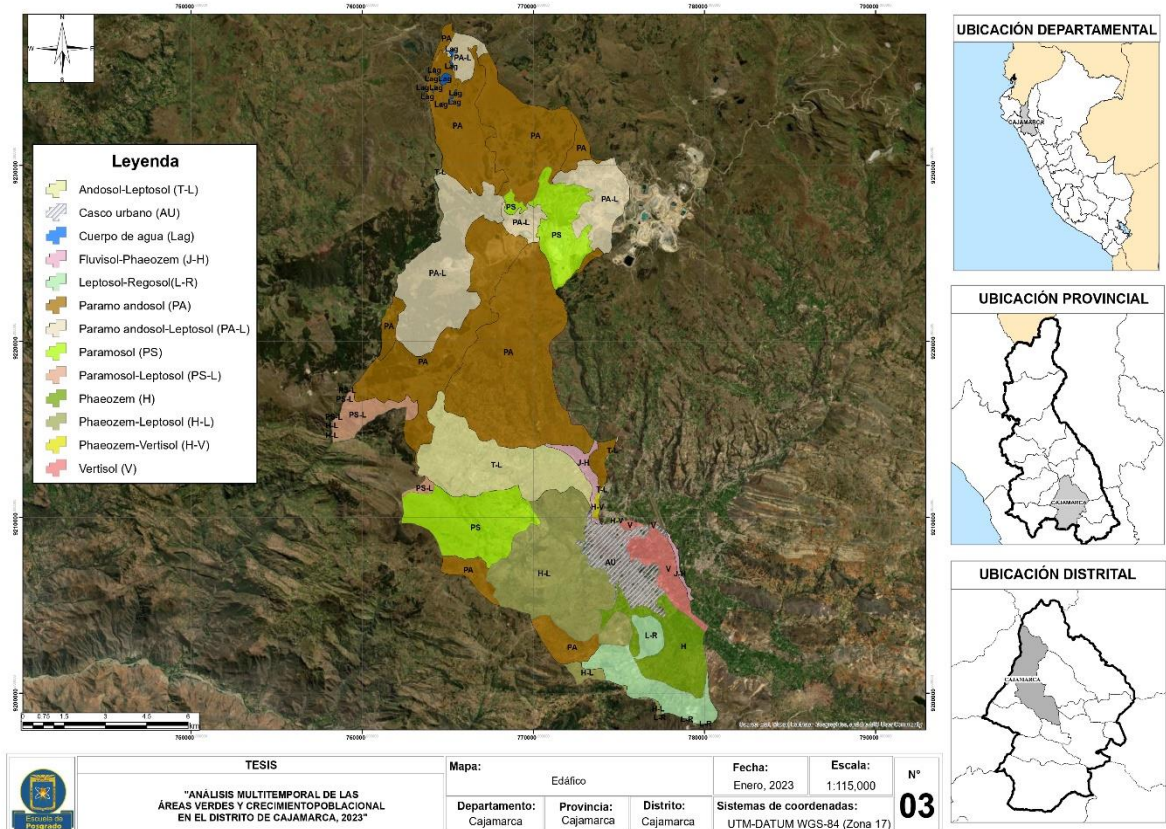


Figura 4: Tipos de suelo en el ámbito en estudio

D. Fisiografía

De acuerdo al estudio realizado por Alcántara (2011), se estableció un sistema de clasificación jerárquico relacionado con el nivel de detalle del área, desglosando en unidades fisiográficas a nivel de nuestro distrito, las cuales se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8

Fisiografía en el distrito de Cajamarca

Gran Paisaje	Sub Paisaje
Montañoso	Ladera
Altiplanicie	Altiplanicie ondulada Altiplanicie disectada
Planicie	Depósitos Terraza baja

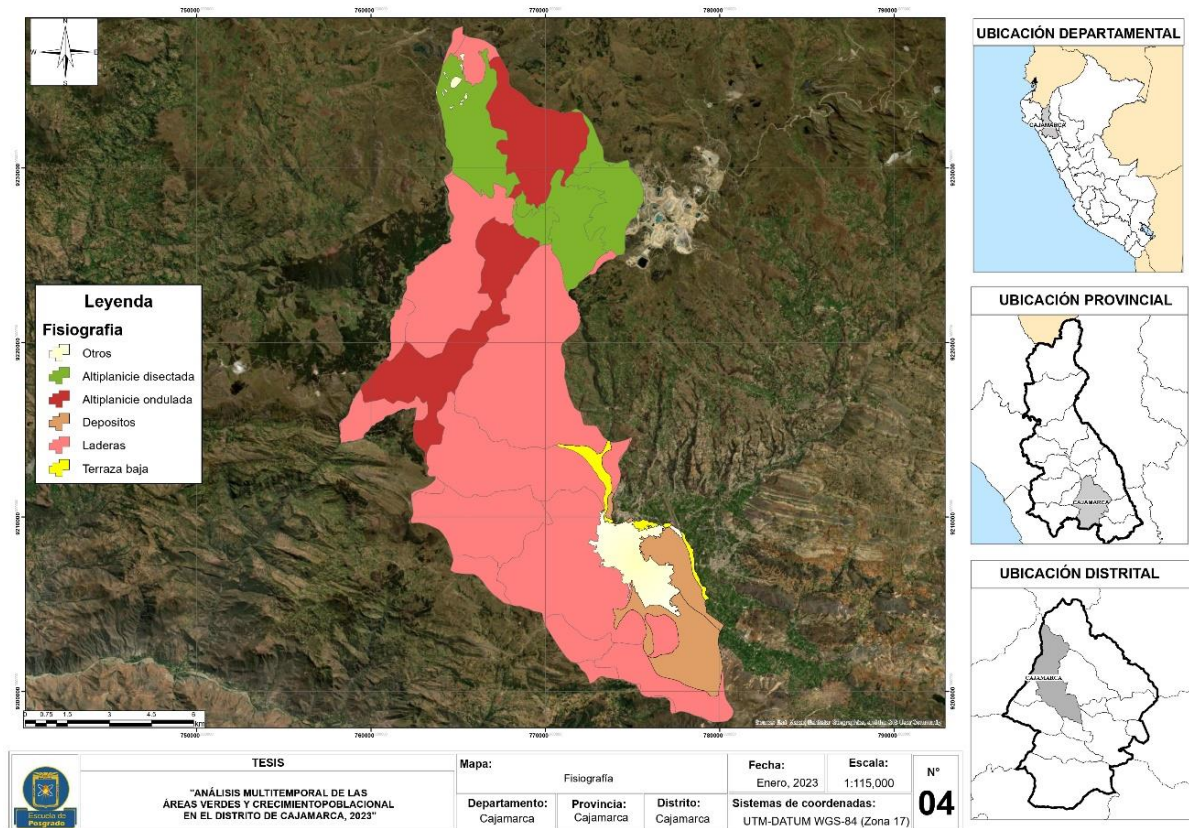


Figura 5: Tipos de fisiografía en el ámbito en estudio

E. Hidrología

El distrito de Cajamarca se emplazan las cuencas del Crisnejas, Jequetepeque y Alto Marañón, tales cuencas son descritas en la Tabla 9.

Tabla 9

Cuencas en el distrito de Cajamarca

Unidad Hidrográfica 01	Unidad Hidrográfica 02	Unidad Hidrográfica 03	Unidad Hidrográfica 04	Nombre
Amazonas	Alto Amazonas	Marañón	Alto Marañón	Cuenca Crisnejas
Amazonas	Alto Amazonas	Marañón	Alto Marañón	Intercuenca Alto Marañón IV
Pacifico	Unidad Hidrográfica 13	Unidad Hidrográfica 137	Unidad Hidrográfica 1377	Cuenca Jequetepeque

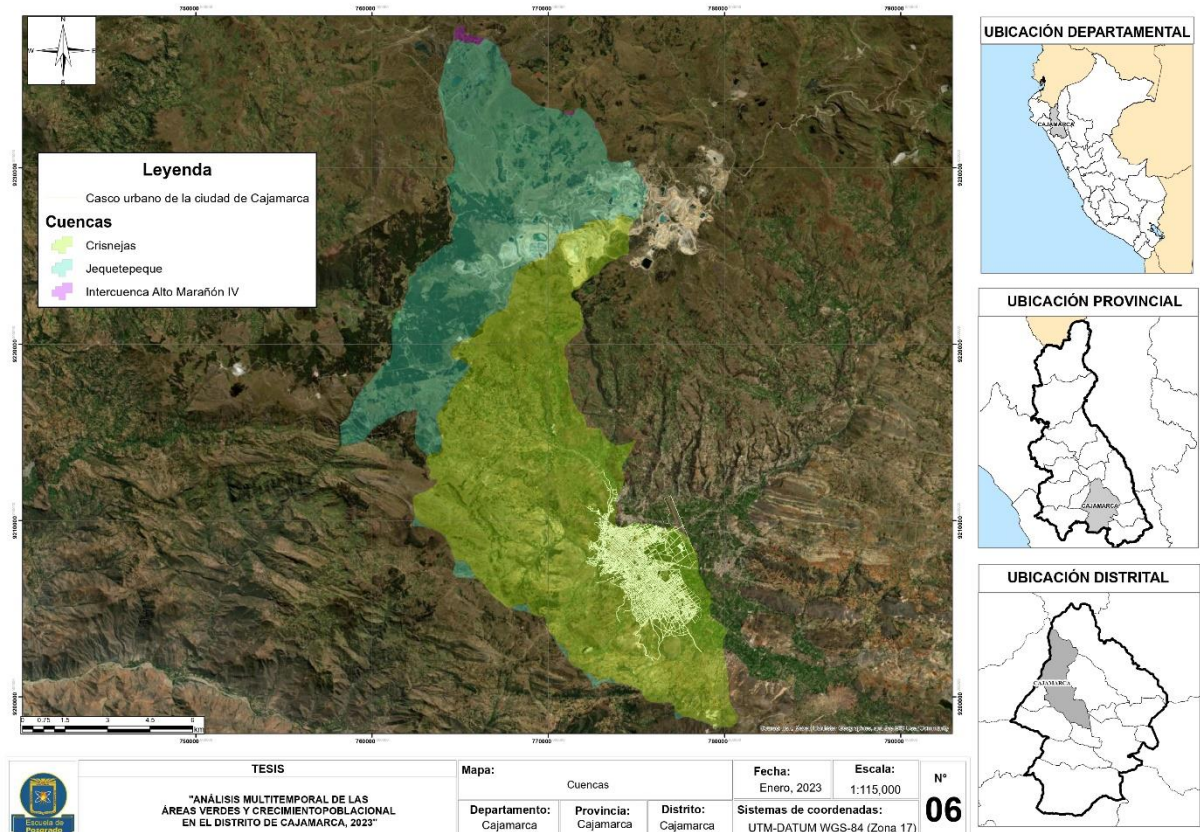


Figura 6: Cuencas en el distrito de Cajamarca.

F. Geología

Por el estudio realizado por Cruzado y Crisólogo (2009) sabemos que la región Cajamarca en su mayoría está cubierta por rocas sedimentarias, siendo el complejo

Marañón la formación más antigua y el grupo Goyllarisquizga la formación regional más importante. En el caso del ámbito de esta investigación, se ubican 17 formaciones cuyo detalle se puede verificar en la Figura 7 y Tabla 10.

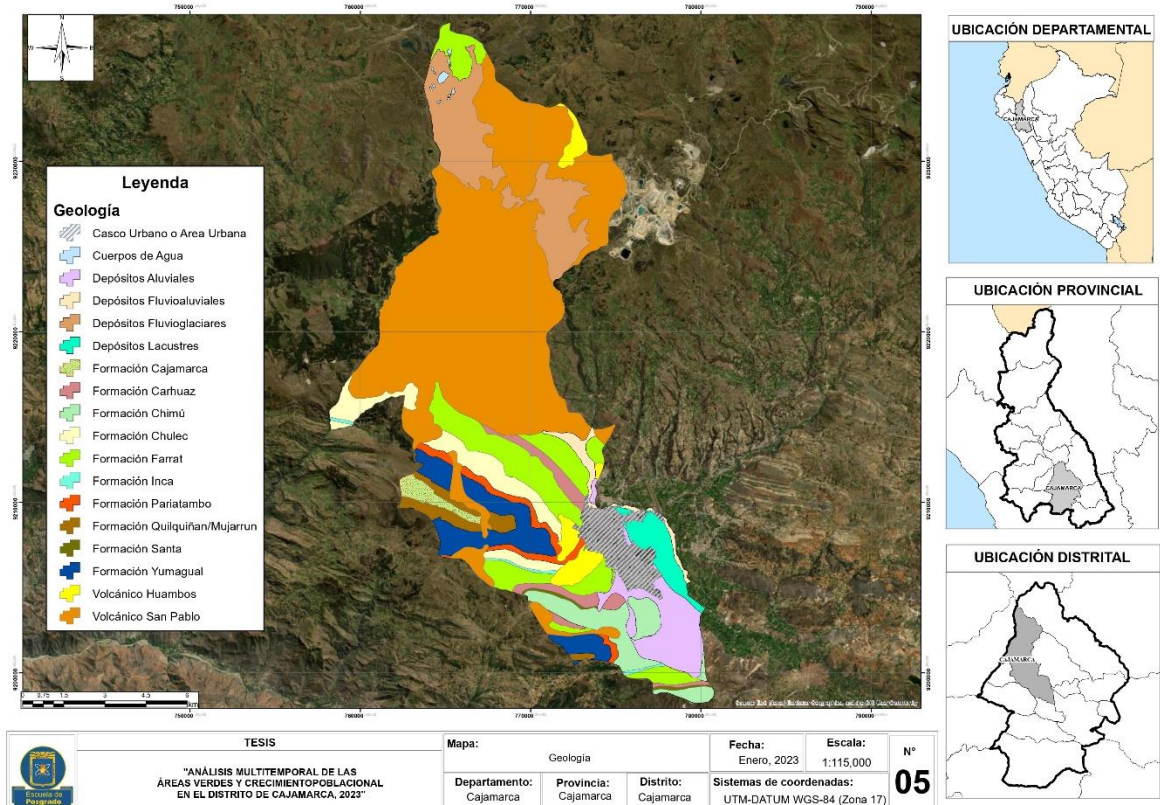


Figura 7: Tipos de geología en el ámbito en estudio

Tabla 10

Tipos de geología en el ámbito en estudio

Código	Formación Geológica
Ki-ca	Formación Carhuaz
Ki-chim	Formación Chimú
Ki-chu	Formación Chulec
Ki-f	Formación Farrat
Ki-in	Formación Inca
Ki-pa	Formación Pariatambo
Ki-sa	Formación Santa
Ki-sa	Formación Santa
Ks-ca	Formación Cajamarca
Ks-qm	Formación Quilquiñan/Mujarrun
Ks-yu	Formación Yumagual
Nm-vh	Volcánico Huambos
Po-vsp	Volcánico San Pablo
Qp-fg	Depósitos Fluvioglaciares
Qp-fa	Depósitos Fluvioaluviales
Qp-la	Depósitos Lacustres
Qh-al	Depósitos Aluviales

G. Zona de vida

Sánchez (2011) elaboró el mapa de Zona de Vida para la región de Cajamarca, y se basó en El Mapa Ecológico del Perú, teniendo como base el Diagrama Bioclimático de Holdridge, para el distrito de Cajamarca contamos con 06 zonas de vida, estas están plasmadas en la Figura 8.

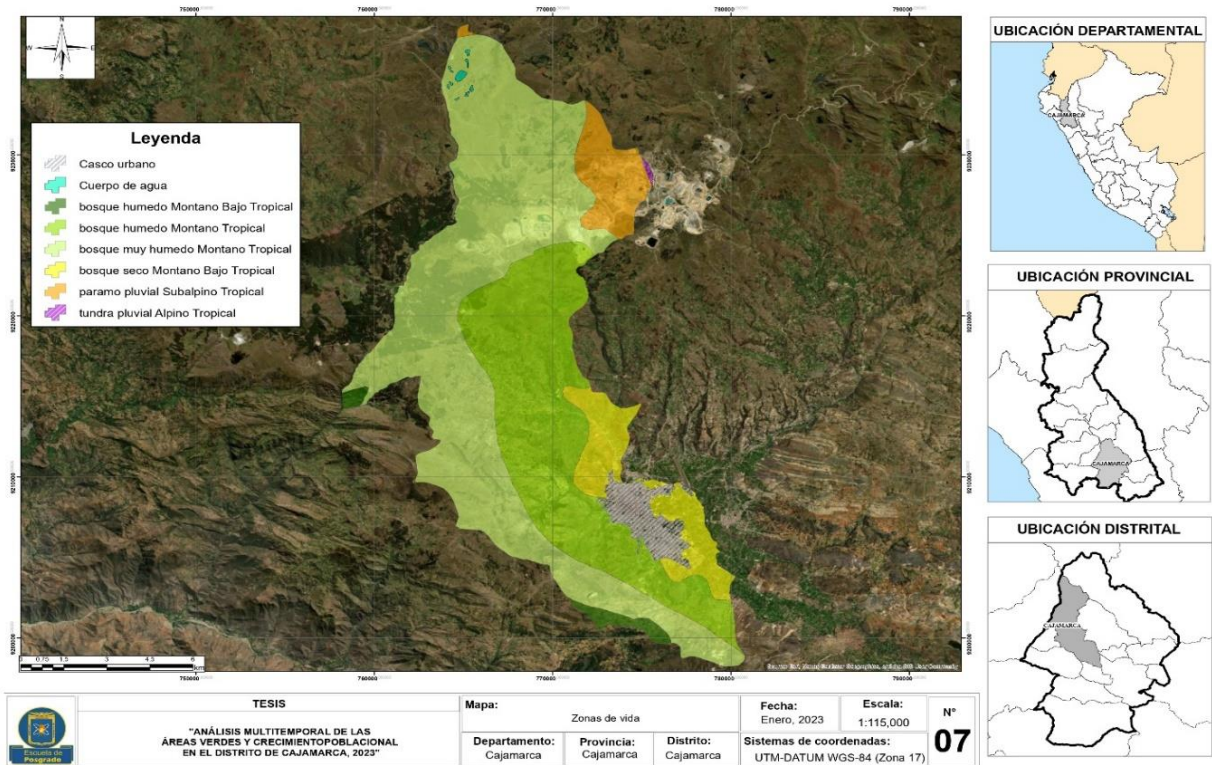


Figura 8: Zonas de vida.

3.2 Población, muestra y unidad de análisis

Población

La población corresponde a los habitantes, tejido urbano y áreas verdes del distrito de Cajamarca, este distrito ocupa una extensión de 37 929,65 ha y una población al año 2017 de 231 243 habitantes, con una tasa de crecimiento poblacional del 0,23%.

Muestra

El tipo de muestreo fue intencional o no probabilístico con elección deliberada de los individuos (Hernández, et al., 2006; Esteban, 2022). La muestra corresponde a la evaluación de las dos variables en los años 1984, 1996, 2007 y 2023, a partir de 4 imágenes satelitales y datos censales del INEI de esos mismos años. Se eligió solo 04 periodos ya que para análisis de la superficie terrestre se recomienda una periodicidad de más de 10 36 años con el fin de poder analizar los cambios, pero sobre todo que estos sean notorios,

sumando además que al ser imágenes de descarga gratuita no todas cuentan con la mejor calidad, sobre todo en el tema de nubosidad dificulta una elección más amplia de periodos.

Unidad de Análisis.

La unidad de análisis son las imágenes satelitales, mapas de cobertura y datos censales del distrito de Cajamarca.

Materiales y Equipos.

- Computadora Core i5.
- Impresora HP.
- Shape límite distrital, límite provincial y departamental.
- Shape clima, fisiografía, cuencas, geología, suelos, zonas de vida, etc.
- DWG Casco urbano.

Imágenes Satelitales.

- Imagen LANDSAT 5 y 9.

Software's.

- ArcMap 10.4.1.
- Google Earth Pro.
- Microsoft Office 2010 (Excel, Word, Power Point).
- Statgraphic.

3.3 Métodos de investigación

Esta investigación fue de corte no experimental porque no se realizó manipulación de las variables y se observó los fenómenos en su estado natural; también es una investigación Temporal de corte Transversal ya que la recolección de los datos se dio en un solo momento con propósito de describir tanto a las áreas verdes del distrito de Cajamarca, como a su

población y analizar su incidencia e interrelación en 04 periodos en un lapso de 39 años (Martínez, 2012); asimismo esta investigación es longitudinal ya que se evaluó la evolución de las variables y su relación existente (Gallardo y Montes, 2021). Además, en esta investigación hay implicancia del enfoque cuantitativo porque la recolección de datos permitió probar la hipótesis planteada, teniendo como base la información cartográfica y población para probar patrones de comportamiento (García, 2019.) (Hernández, 2014); también se trata de una investigación descriptiva porque se usó imágenes satelitales con su posterior procesamiento para realizar observaciones de confianza que caractericen los fenómenos espaciales, además que las mediciones realizadas proporcionaron descripciones de las relaciones entre las variables. Este estudio también trazo analítico y explicativo, porque se intentó comprender un fenómeno al analizar la relación entre crecimiento poblacional y estado de las áreas verdes (García, et al., 2017; Gallardo y Montes, 2021). Finalmente, esta investigación implicó el desarrollo del enfoque Deductivo, mismo que parte de premisas generales que desencadenaron deducciones particulares por medio del razonamiento (Martínez, 2012).

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Análisis documental.

Se realizó la revisión de información de datos poblaciones del INEI tanto a nivel de departamental, provincial, distrital y de la ciudad de Cajamarca, del mismo modo se recolectó información respecto a la tasa de crecimiento a nivel del distrito, además de cómo la población fue creciendo y asentándose en el territorio distrital a lo largo de los años, es decir, las razones del crecimiento histórico en nuestro distrito. Otra fuente de información consultada fue el CENEPRED respecto a la densidad poblacional de la ciudad. En lo que

respecta a la recopilación y revisión de información referida a las áreas verdes del distrito y del Perú se verificó informes del MINAM, libros, revistas, tesis y censos de la Municipalidad Provincial de Cajamarca, con el fin de conocer la ubicación de las áreas verdes y su denominación (Acco, 2021). Para la caracterización del área en estudio se utilizó información de la Zonificación Ecológica y Económica de Cajamarca, de los estudios a nivel departamental de suelo, geología, geomorfología, etc.

Recopilación de Imágenes Satelitales.

Toda la información trabajada se ubica en el sistema de proyección de mapas Universal Transverse Mercator (UTM), en el datum del Sistema Geodésico Mundial 84 (WGS 84), zona 17 sur. Las imágenes satelitales fueron obtenidas del servidor de descarga gratuita: Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) <https://earthexplorer.usgs.gov/>, en la Figura 9 se muestra la interfaz de este geo servidor de la USGS.

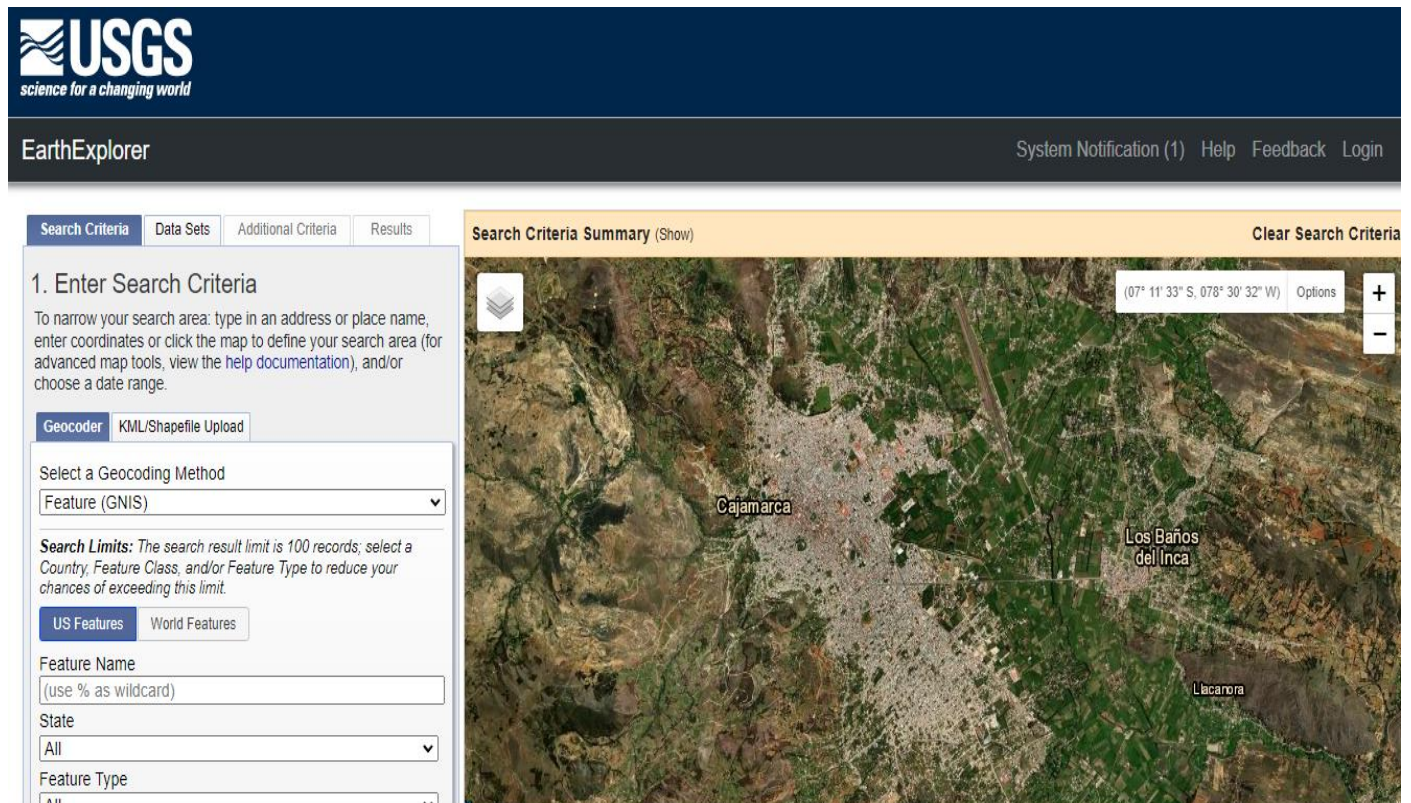


Figura 9: Portal USGS

Para la descarga de imágenes landsat 5 y 9, se creó un usuario en la web del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), para ubicar el área de interés se verificó mediante el Path Row Landsat que son cuadrículas que abarcan diferentes zonas, en el caso del distrito de Cajamarca el Path Row es el 9 65, también se colocó las fechas de los 4 periodos por separado para obtener las imágenes por año.

Recopilación cartográfica.

Para la ubicación del área distrital, provincial y departamental, del área en estudio se recopiló información cartográfica en formato shapefile, del mismo modo, para la descripción y caracterización del área se obtuvo shapefile's de clima, geología, geomorfología, suelos, etc., además del plano catastral del distrito de Cajamarca. Esta información se encuentra disponible en los portales del estado como el MINAM, INGEMMET, Mapoteca del Gobierno Regional de Cajamarca, Geo GPS Perú y Municipalidad Provincial de Cajamarca.

Teledetección.

La teledetección permitió que, mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica se procese las imágenes satelitales recopiladas, aplicación de correcciones, mejoras, proyecciones y cortes, para que una vez procesadas las imágenes se aplicara clasificación supervisada y se diferenciaron 05 tipos de coberturas, finalmente mediante técnicas de procesamiento multitemporal se detectaron los cambios a través del tiempo cuantitativa y cualitativamente (Delgadillo, 2020).

3.5 Metodología

3.5.1 Generación de mapas de tipos de cobertura vegetal para el distrito de Cajamarca.

Descarga de Imágenes Satelitales.

Las imágenes satelitales se descargaron del servidor de descarga gratuita del Servicio Geológico de los Estados Unidos, el portal ofrece un conjunto de imágenes que permite conocer los escenarios de uso de suelo pasado y presente del distrito de Cajamarca, al contar con un archivo histórico y continuo de imágenes de la superficie terrestre desde el año 1972 (Mohamed, et al., 2020).

Para la descarga de imágenes landsat primero se ubicó el área de interés mediante Path Row Landsat, estas son cuadrículas que abarcan diferentes zonas del globo, el distrito de Cajamarca pertenece al Path Row 9 65, las imágenes landsat seleccionadas tuvieron una cobertura de nubes no mayor del 30% ya que su presencia podría reducir significativamente la precisión durante la tarea de categorización, periodo de elección de entre junio a setiembre, es decir, durante el periodo seco con el fin de mejorar las diferencias espectrales entre la vegetación y para minimizar la aparición de nubes (la similitud estacional evita diferencia espectrales de píxel) (Sonter, et al., 2014; Zeng, et al., 2019; Godoy, 2019; Bunyangha, et al. 2021). Una vez seleccionadas las mejores imágenes se procedió a descargar un paquete de datos comprimidos en archivos TIFF, este procesamiento se repitió 04 veces, para los para los años 1984, 1996, 2007 y 2023. En la Figura 10 se muestra la forma de llenado de las casillas dentro de la interfaz del geo servidor de la USGS, considerando el Path Row, nubosidad y ubicación del punto de interés.

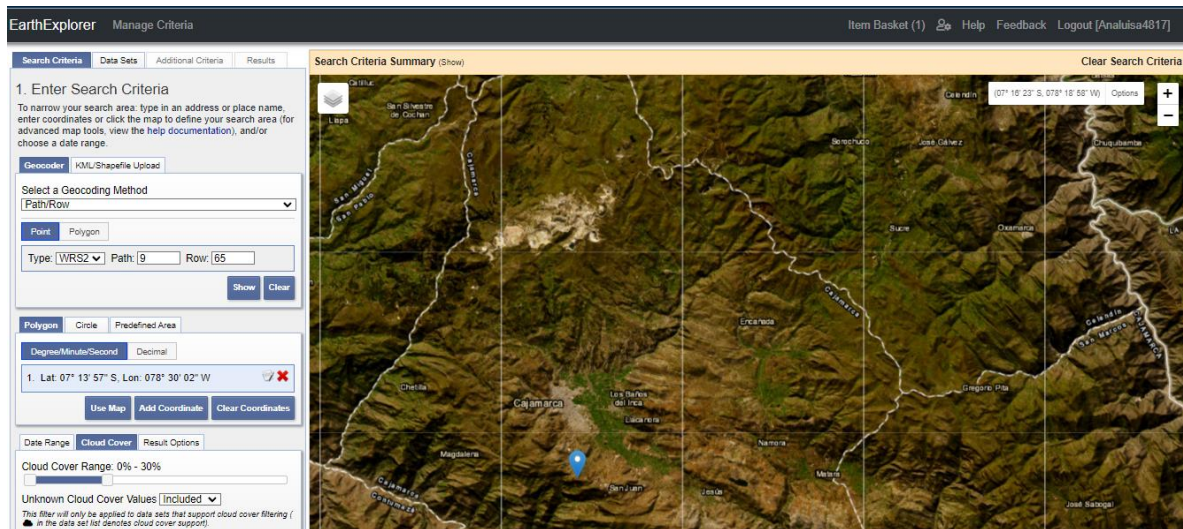


Figura 10: Selección de criterios en Portal de la USGS

Las imágenes satelitales descargadas abarcan landsat 05 y 09, y dentro del área distrital no contienen nubosidad, pero a nivel de todo el Path Row la nubosidad es de menos del 12%, los metadatos de las imágenes satelitales descargadas se presentan a en la Tabla 11, estos incluyen año resolución e ID:

Tabla 11

Metadatos de imágenes satelitales descargadas

Satélite	Path row	Año	Resolución espacial	ID
Landsat 5	9 65	1984	30 m	LT05_L2SP_009065_19840902_20200918_02_T1
Landsat 5	9 65	1996	30 m	LT05_L2SP_009065_19960717_20200911_02_T1
Landsat 5	9 65	2007	30 m	LT05_L2SP_009065_20070801_20200829_02_T1
Landsat 9	9 65	2023	30 m	LC09_L1TP_009065_20230618_20230618_02_T1

Fuente: USGS (2023).

Una vez descargadas las imágenes satelitales, fueron descomprimidas en una carpeta e insertadas en el software Argis, el sistema de coordenadas con el que se trabajó es el WGS 84 zona 17S, posteriormente se insertaron las bandas, para las imágenes landsat 5 están compuestas por 07 bandas, mientras que las imágenes landsat 9 presenta 11 bandas

espectrales (Quiroga & Torres, 2021; Huamán, 2022; Seyam, et al. 2023). En la Figura 11 se muestra una imagen Landsat 5 con sus 07 bandas insertadas en la tabla de contenido del Arcgis, se trata de una imagen sin procesar.

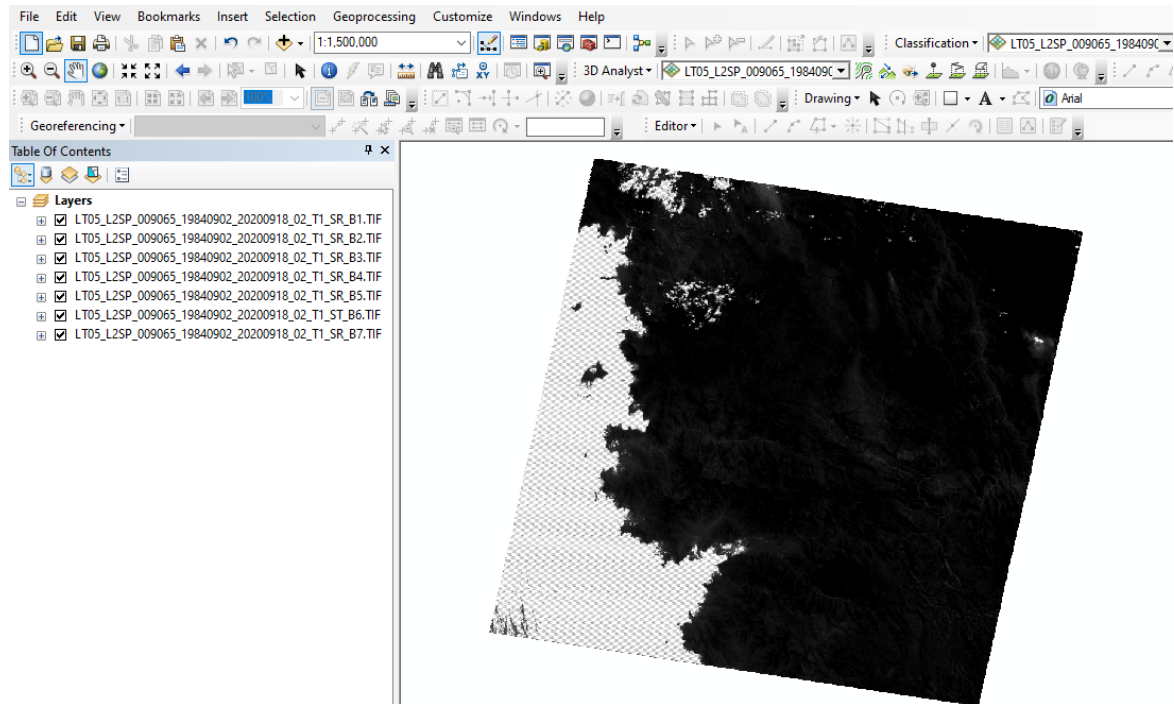


Figura 11: Bandas espectrales insertadas a la tabla de contenido del Arcgis.

Para la composición de bandas espectrales se hizo uso del ArcToolbox, Data Management Tools, Raster, Raster Processing y finalmente la herramienta Composite bands, herramienta usada para crear un único ráster a partir de varias bandas, posteriormente, se puede realizar diferentes combinaciones en función de estas bandas y de acuerdo a las necesidades del usuario. La combinación de bandas RGB usadas para los procedimientos fue 7-4-3 para Landsat 5, y para Landsat 9 la combinación RGB 5-3-2 (Soriano, 2017), en la Figura 12 se muestra una imagen Landsat 5 con composición 7-4-3 a color natural.

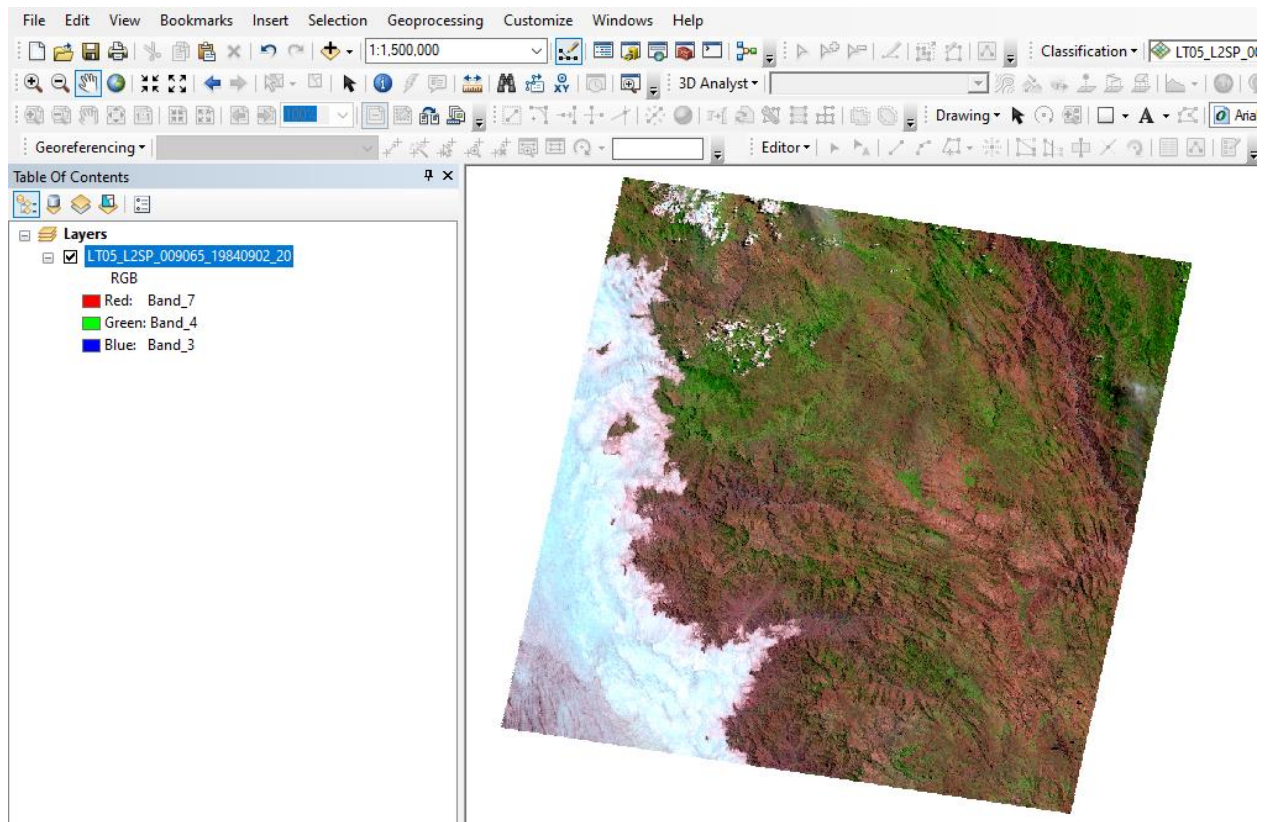


Figura 12: Composición de bandas.

Una vez compuestas las bandas se realizó un corte usando el ArcToolbox, Data Management Tools, Raster, Raster Processing y la herramienta Clip, la base del corte será el shape del distrito de Cajamarca, esta herramienta permitió extraer el ráster en función del distrito y conservará las mismas propiedades del ráster de entrada (Soriano, 2017); posteriormente se realizó una proyección al sistema del hemisferio sur porque el portal del USGS proporciona imágenes Landsat en formato TIFF proyectadas al sistema del hemisferio norte, por lo que se requiere proyectar a nuestro sistema, mediante ArcToolbox, Data Management Tools, Projections and Transformations, Raster y finalmente Project Raster (Quiroga & Torres, 2021; Huamán, 2022; Seyam, et al. 2023). En la Figura 13 se muestra el resultado de la proyección al hemisferio sur de una imagen Landsat 5 y con el corte respectivo a nivel de distrito de Cajamarca.



Figura 13: Imagen Landsat con sistema proyectado y corte distrital.

Para un adecuado análisis una vez unidas las bandas, se realizó un preprocesamiento mediante corrección atmosférica mejorando la visualización de las imágenes aplicando el método de filtrado mayoritario, con el objetivo de aumentar la interpretación visual y separabilidad espectral de las características de la superficie terrestre, así como también una mejor interpretación de los algoritmos durante la clasificación supervisada; el preprocesamiento también incluyó corrección geométrica, pero para el caso de las imágenes satelitales trabajadas, no fue necesario porque pertenecen a la colección Landsat Nivel 1 por lo que el paquete TIFF ya viene ortorectificado (Seyam, et al. 2023).

Generación de Mapas de Cobertura.

Para poder clasificar las coberturas existentes se consideró cinco tipos de clases: tejido urbano, vegetación, suelo desnudo/roca, agua y unidad minera, la justificación de utilizar estos tipos de cobertura se basó en investigaciones de Belal & Moghanm (2011), Hegazy y Kaloop (2015), Kumi-Boateng et al. (2015) y Puplampu & Boafo (2021), la diferenciación en tipos de coberturas permitió detectar los cambios a lo largo del tiempo, cabe mencionar que el la cobertura unidad minera fue agregada debido a las características de nuestro distrito, y es que a partir del año 1993 se visibiliza.

Para los cuatro años estudiados se aplicó Clasificación Supervisada, esta se basa en el algoritmo de máxima verosimilitud, consiste en la clasificación de píxeles de las imágenes satelitales a partir de puntos de control o áreas de entrenamiento en función de cada tipo de cobertura, para el caso de esta investigación se creó 200 puntos de control por tipo de cobertura, tomándose en total 1000 puntos por cada mapa, este algoritmo compara estadísticamente cada pixel clasificado por tipo de cobertura con los demás píxeles de la imagen satelital, realizando la selección en función de la probabilidad, por lo que el software asume que los datos generados para cada clase se distribuyen normalmente, por lo que los agrupa en función de sus propiedades de reflectancia espectral, es decir si los pixeles son similares o idénticos, cabe mencionar que este algoritmo se basa en el teorema de Bayess (Soriano, 2017; Acco, 2021; Seyam, et al., 2023). En la Figura 14 se muestra la colocación de puntos de control antes de aplicar la Clasificación Supervisada, diferenciando los puntos por tipo de cobertura, y en la Figura 15 se presenta el resultado de esta clasificación por tipo de cobertura.

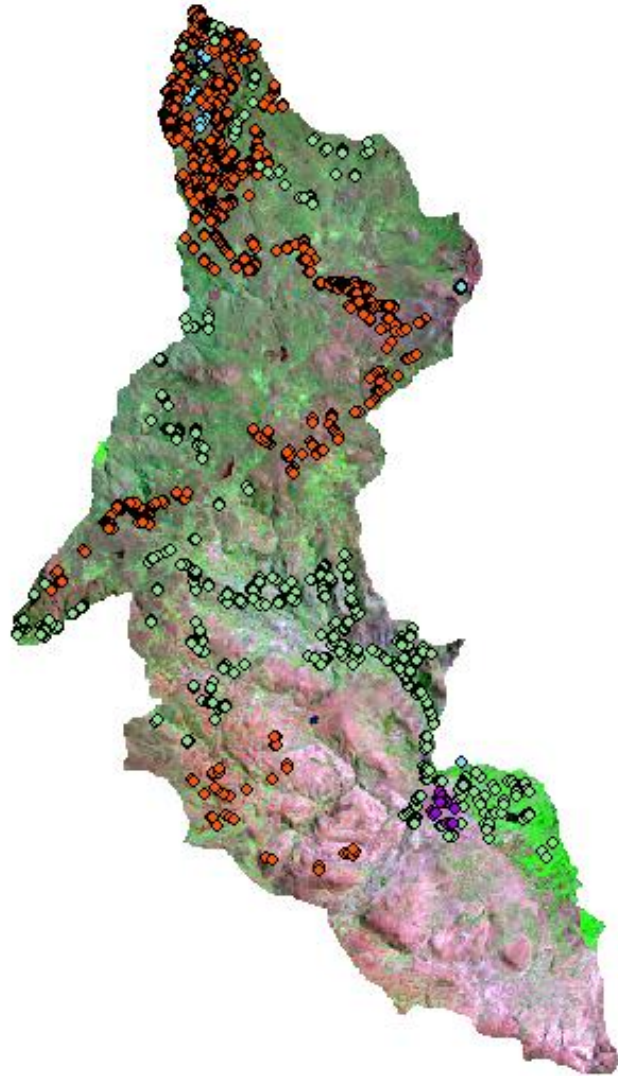


Figura 14: Colocación de puntos de control en Ráster distrital.

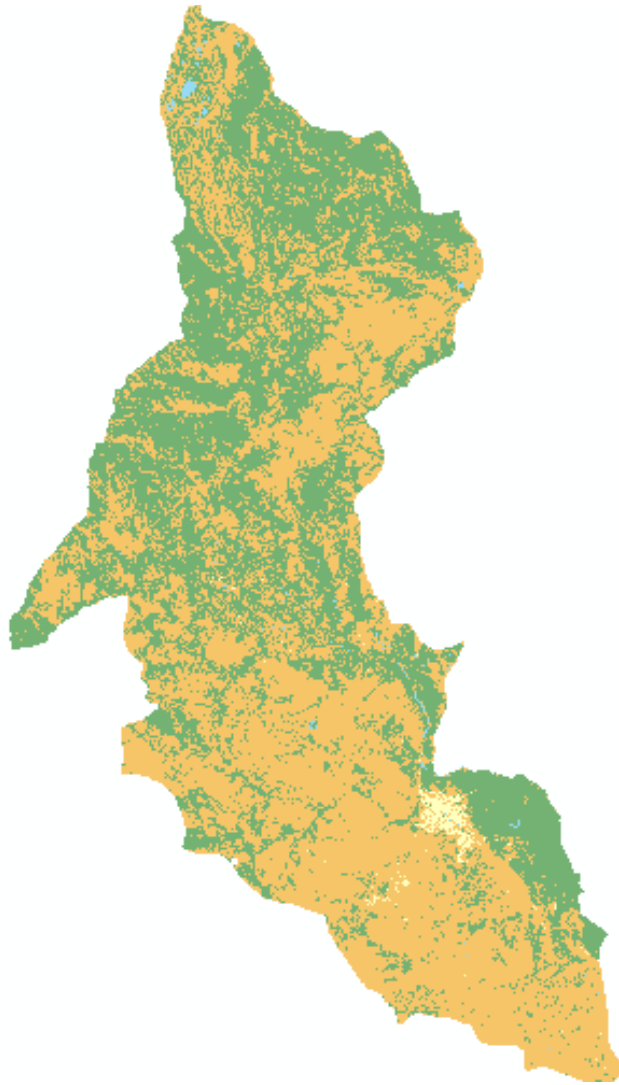


Figura 15: Resultado de Clasificación Supervisada.

Una vez clasificados los píxeles de cada imagen satelital se realizó las correcciones correspondientes y se transformó de formato Ráster que es el producto de la Clasificación Supervisada a formato Vectorial, generándose así los mapas de cobertura vegetal por año y áreas por tipo de cobertura (Soriano, 2017). En la Figura 16 se presenta un mapa en formato Vectorial de tipos de coberturas.

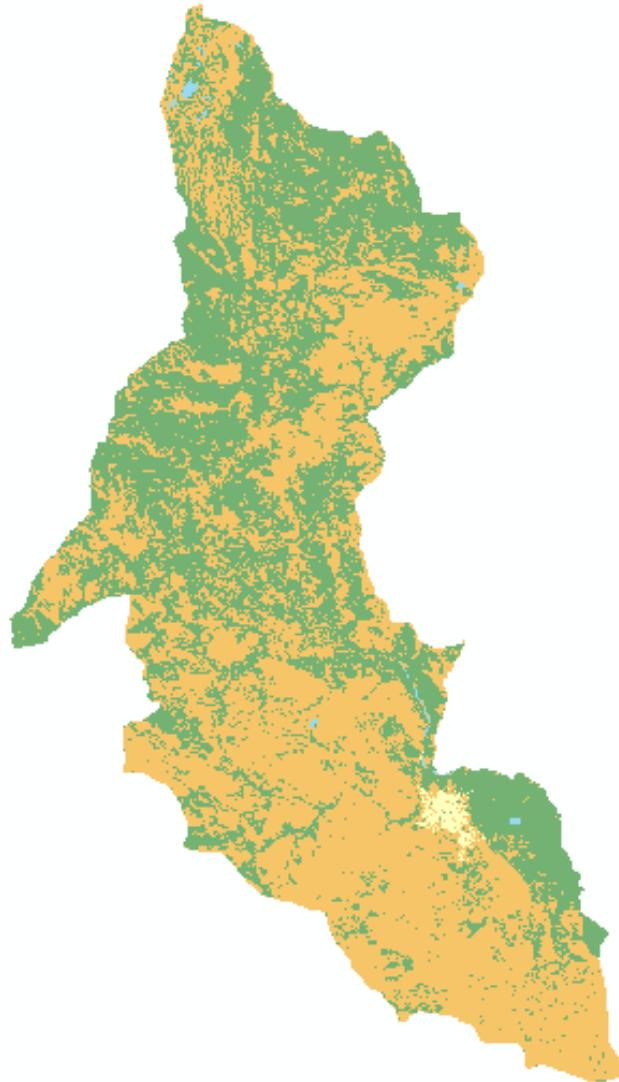


Figura 16: Mapa de coberturas en formato Vectorial.

En la Tabla 12, se presenta la forma de organización de los datos cuantitativos generados luego de la clasificación supervisada.

Tabla 12

Áreas de tipos de cobertura en el distrito de Cajamarca año 1984

Tipo de cobertura	Área (ha)
Tejido urbano	-
Vegetación	-
Suelo desnudo/roca	-
Agua	-
Unidad minera	-

3.5.2 Análisis de la variación multitemporal y la relación entre las áreas verdes y el crecimiento poblacional en el distrito de Cajamarca.

Una vez elaborados los mapas de tipo de cobertura, se realizó un análisis multitemporal vectorial y consiste en comparar coberturas de diferentes periodos de tiempo y determinar qué cambios han ocurrido, siendo necesario que los mapas tengan las mismas características para ser comparados, es decir, misma área total, escala, proyección cartográfica, y que tengan la misma clasificación de coberturas y para ser compatibles (Acco, 2021). Para el caso de este estudio se usó la base de datos de cada mapa de cobertura generados de los años 1984 y 1996, 1996 y 2007, 2007 y 2023, con el fin de compararlos se usó el software Arcgis.

Para este análisis, se usó la herramienta Intersect que permite superponer los datos de dos capas y generar un nuevo shapefile que conserva los datos iniciales y los combina en la tabla de atributos, posteriormente se reorganizó la tabla y se procedió con la actualización del área de los polígonos de intersección mediante el cálculo geométrico en ha. Para poder ubicar los cambios, se procesó los datos para que el sistema nos muestre los registros que cambiaron comparando los valores de la columna inicial y final, es decir, ubicar las áreas donde “Sí” hubo cambio y donde “No” hubo cambio, para ello se creó un nuevo campo del tipo texto denominado “Cambios” en la tabla de atributos, a continuación se aplicó mediante la herramienta “Field Calculator” y lenguaje de programación Python y la función "check", esta permite comparar dos campos de datos, devolviendo “Sí”, si se trata de campos iguales y “No”, si se trata de campos diferentes, esto permite categorizar a los datos y posteriormente diferenciar los tipos de coberturas en los que hubo cambios (Peijun, et al.,

2010). En la Figura 17 se presenta el interfaz del Field Calculator y los códigos usados para la programación Python.

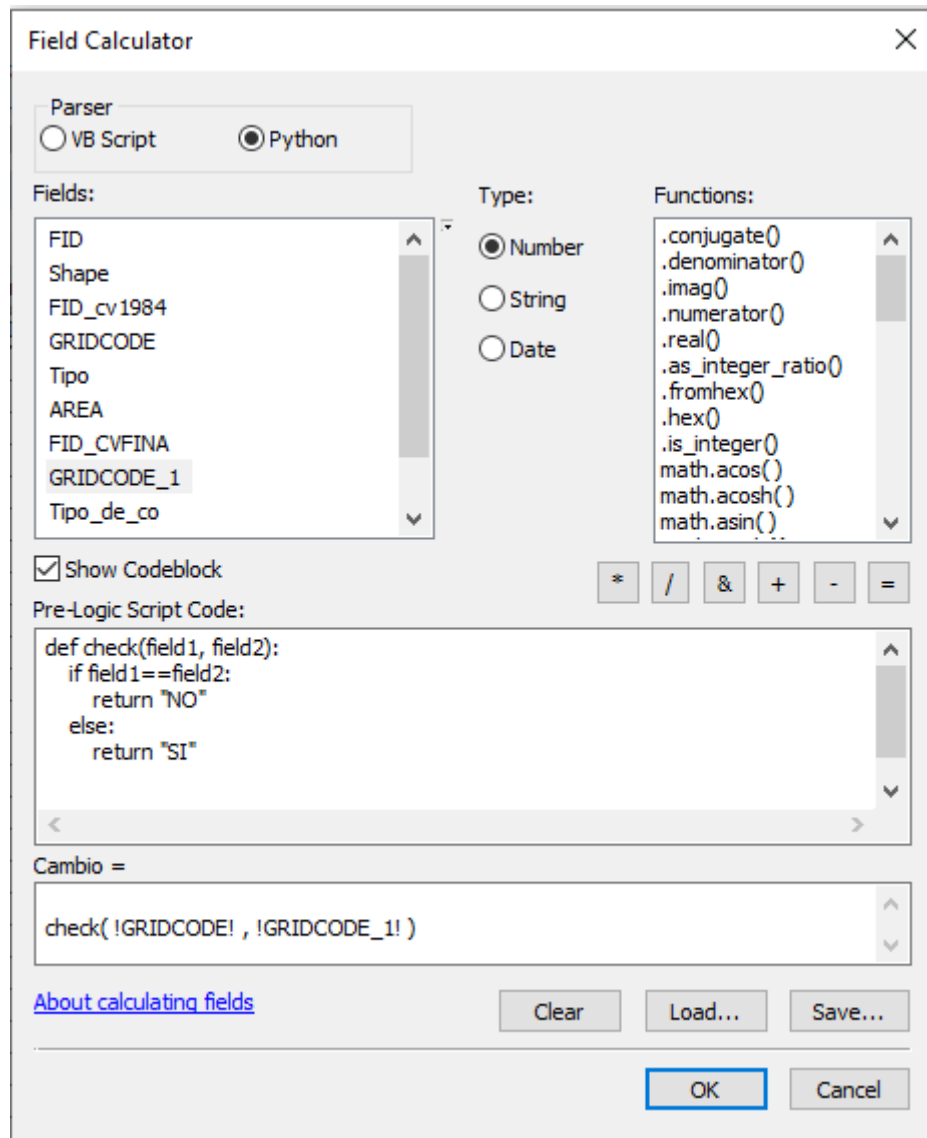


Figura 17: Lenguaje Python usado.

Para obtener las áreas de cambio, se aplicó sobre la columna “Cambio” la herramienta Summarize en formato dbf, para la realización del segundo análisis multitemporal, se creó una nueva columna denominada “Antesluego” del tipo texto, para conocer de forma específica que clase de coberturas vegetales tuvieron cambios se aplicó la herramienta “Field Calculator” en el campo de “Parser – VB Script” se agregó el código: [GRIDCODE]

&” – “&[GRIDCODE1], el resultado en una columna que contiene los cambios específicos de tipos de coberturas, finalmente también se aplicó la herramienta Summarize en formato dbf para obtener las métricas en ha por tipo de cambios.

Este análisis generó dos tipos nuevos de mapas por cada comparación, el primer mapa que ubica zonas de cambios, y el segundo mapa que identificará los tipos de cobertura inicial y final por periodo, permitiendo la identificación de zonas y áreas de cambios (Godoy, 2019). El resultado de esta intercepción arrojará los cambios cuantitativos de los tipos de cobertura por periodos, es decir, se generaron 04 mapas de cambios de cobertura en el distrito solo a nivel de si han cambiado o no, otros 04 mapas identificando los tipos de cobertura vegetal que sufrieron el cambio y las superficies que sufrieron la modificación a lo largo de los años, la Tabla 13 muestra la forma de organizar la información generada respecto al cambio de cobertura por periodos de años analizados.

Tabla 13

Superficie y porcentaje de las áreas con y sin cambio.

Periodo	Cambios	Área (ha)	%	Total
1984 - 1996	No	-	-	-
	Sí	-	-	-
1996 - 2007	No	-	-	-
	Sí	-	-	-
2007 - 2023	No	-	-	-
	Sí	-	-	-

Del mismo modo la Tabla 14 muestra cómo se presentarán los cambios a nivel de tipo de cobertura, considerando tanto área (ha), como porcentaje, con el fin de dilucidar mejor los resultados obtenidos.

Tabla 14*Superficie y porcentaje de cambios. Periodo 1984 - 1996*

Periodo	Cambios	Área (ha)	%	Total
1984 - 1996	Agua - Vegetación	-	-	-
	Agua - Suelo desnudo/rocas	-	-	-
	Agua - Tejido urbano	-	-	-
	Vegetación - Agua	-	-	-
	Vegetación - Suelo desnudo/rocas	-	-	-
	Vegetación - Tejido urbano	-	-	-
	Suelo desnudo/rocas - Agua	-	-	-
	Suelo desnudo/rocas- Vegetación	-	-	-
	Suelo desnudo/rocas - Tejido urbano	-	-	-
1996 - 2007	Suelo desnudo/rocas - Vegetación	-	-	-
	Suelo desnudo/rocas - Tejido urbano	-	-	-
	Suelo desnudo/rocas - Agua	-	-	-
	Suelo desnudo/rocas - Unidad Minera	-	-	-
	Vegetación - Suelo desnudo/rocas	-	-	-
	Vegetación - Tejido urbano	-	-	-
	Vegetación - Agua	-	-	-
	Vegetación - Unidad Minera	-	-	-
	Agua - Suelo desnudo/rocas	-	-	-
Agua - Vegetación	-	-	-	
Agua - Unidad Minera	-	-	-	
2007 - 2023	Suelo desnudo/rocas - Vegetación	-	-	-
	Suelo desnudo/rocas - Tejido urbano	-	-	-
	Suelo desnudo/rocas - Agua	-	-	-
	Suelo desnudo/rocas - Unidad Minera	-	-	-
	Vegetación - Suelo desnudo/rocas	-	-	-
	Vegetación - Tejido urbano	-	-	-
	Vegetación - Agua	-	-	-
	Vegetación - Unidad Minera	-	-	-
	Agua - Suelo desnudo/rocas	-	-	-
Agua - Vegetación	-	-	-	
Agua - Tejido urbano	-	-	-	

Para conocer la relación área urbana y población, al ya tener digitalizada la mancha urbana en los cuatro momentos, se extrajo su área, sumando además el uso de datos de

población a nivel distrital del INEI por cada año. Ya con estos datos, se aplicará correlación de Pearson que nos acerca a conocer si las variables están correlacionadas, la Tabla 15 permitirá organizar la información a nivel de población, tasa de crecimiento, área del tejido urbano y áreas verdes, con el fin de comparar y relacionar dichas métricas.

Tabla 15

Relación entre tejido urbano, crecimiento poblacional y áreas verdes

Año	Población distrital (hab)	Tejido urbano distrital (ha)	Vegetación (ha)	Población casco urbano (hab)	Tejido urbano ciudad de Cajamarca (ha)	Vegetación (ha)
1984						
1996						
2007						
2023						

Para un mejor análisis también se estimó la tasa anual de cambio tanto en vegetación como en tejido urbano, este es un indicador de presión que permite conocer la real magnitud y velocidad con la que se está desarrollando el proceso, y por consiguiente determinar la dinámica de los cambios en ambos tipos de coberturas (Gallardo y Montes, 2021). Para este análisis se usó la fórmula de porcentaje de cambio usada por Kindu et al. (2013) y Ebrahim & Mohamed (2017) que permite detectar los cambios en los tipos de coberturas a lo largo de los años y la fórmula de tasa de cambio de Temesgen et al. (2014).

$$\text{Porcentaje de cambios} = \frac{\text{Área final} - \text{Área inicial}}{\text{Área inicial}} \times 100$$

$$\text{Tasa de cambio} = \frac{\text{Área final} - \text{Área inicial}}{\text{Años}}$$

3.5.3 Cálculo de las áreas verdes per cápita en la ciudad de Cajamarca al año 2023.

De acuerdo Organización Mundial de la Salud se recomienda que las ciudades deben disponer de mínimo 9 m² de áreas verdes por habitante (Robles, et al., 2015), (Soriano, 2017), por lo que para conocer este valor a nivel del distrito de Cajamarca se mapeó y validó la información de las áreas verdes urbanas. Para evitar errores, se realizó una delimitación de las áreas verdes urbanas públicas a nivel distrital a través de su verificación con imágenes satelitales de Google Earth Pro, debido a su mayor resolución y calidad. Se tuvo como base el inventario realizado por Tafur (2016), Arias (2021) y la Municipalidad Provincial de Cajamarca (2005), con esta base todas las áreas verdes fueron delimitadas en Google Earth Pro y posteriormente guardadas en formato Kml para su ingreso y proyección en Arcgis.

Para efectos de este estudio se usó la metodología de Soriano (2017), Muñoz (2014) y Blancarte (2016), mediante Arcgis este archivo será transformado de formato Kml a formato Shapefile, y haciendo uso de la herramienta ‘Multipart to singlepart’ se calculó su geometría agregando un campo adicional, es decir, el área. Finalmente, se aplicó la siguiente fórmula.

$$\text{Zona verde/habitante} = \text{m}^2 \text{ del área verde} / \text{total de habitantes}$$

Se creyó conveniente no calcular el dato de Zona verde/habitante, sino también generar mapas de áreas verdes urbanas del distrito, el primero fue un mapa de ubicación de las áreas verdes en el casco urbano y los siguientes, mapas de ubicación de las áreas verdes por m².

Se evaluó también la proximidad a las áreas verdes urbanas y es que de acuerdo a Soriano (2017), la accesibilidad a estas zonas es incluso más importante que la cantidad total de superficie verde, es decir, la existencia de áreas verdes dentro de las ciudades de por sí no es suficiente, sino que también es relevante su localización y que se encuentren cerca de la gente y puedan acceder fácilmente. Una serie de estudios afirman que las áreas verdes ubicadas a una distancia de entre 300 – 500 m de las personas dan una real cobertura a las necesidades diarias de esparcimiento y los bienes y servicios que proveen, esta elección se basa en la opinión de expertos y es que este tamaño de buffer corresponde a zonas caminables desde el hogar (Kabisch, et al., 2016; Browning & Lee, 2017; Xu, et al., 2018). Para este análisis de proximidad se utilizó la herramienta “Buffer” en Arcgis sobre las áreas verdes urbanas ya mapeadas, permitiendo conocer qué zonas de la ciudad no tienen acceso a las verdes urbanas.

3.5.4 Inferencia del escenario futuro en relación a las áreas verdes y crecimiento poblacional en el distrito de Cajamarca.

El análisis predictivo es importante, por lo que, a partir de los estados iniciales y finales de esta investigación, es decir, de los años 1984 y 2023, es posible determinar un escenario predictivo para un tercer momento no conocido, para el caso de este estudio se estimó para el año 2030, 2040 y 2050, (Suárez y Olaya, 2018; Flores y Balseca, 2022). Como se tienen calculadas las áreas de los tipos de cobertura a lo largo de los años se aplicó la fórmula usada por Alva y Meléndez (2009), que es un método de interpolación aritmética:

$$P_x = P_0 + \frac{P_1 - P_0}{n} * t$$

Donde:

P_x = cantidad de ha que se quieren conocer en el año x.

P_0 = cantidad de ha para el primer año.

P_1 = cantidad de ha para el último año.

n = cantidad de años entre P_0 y P_1 .

t = número de años entre el primer año y el año que se quiere conocer (entre P_0 y P_x).

3.5.5 Validación de la información generada.

Los análisis de superficies que como producto tienen la generación de mapas de tipos de cobertura, deben pasar por un proceso de verificación de su confiabilidad, para esta investigación, se consideró el Protocolo Evaluación de la Exactitud Temática del Mapa de Deforestación elaborado por el MINAM (2014), como herramienta para validar la exactitud temática de los 04 mapas de cobertura generados, siendo necesario el uso de imágenes satelitales para su ratificación, luego se aplicó matriz de confusión, cálculo de medidas de exactitud, precisión y error, y finalmente Índice de Kappa.

La base de esta validación fueron las imágenes satelitales, además de una selección de la unidad de muestreo que fueron generados a partir de un shapefile en Arcgis, estos puntos fueron colocados dentro de un píxel, y permitieron la comparación entre la clasificación realizada en el mapa de cobertura en relación con la imagen satelital. El método de muestreo ha utilizado fue el aleatorio sistemático no alineado estratificado, este se base en dividir los tipos de cobertura por estratos para que cada una contenga puntos de control, así se tendrá cierto control sobre la distribución de los sitios de muestreo, a mayor cantidad de puntos mayor precisión, sobre el tamaño de la muestra.

Finalmente, los puntos generados contenían la información del mapa de coberturas y se los superpuso con la información de la imagen satelital para la verificación de clase, así

se generó una tabla de atributos con este cruce de información que fue exportada para su análisis.

Matriz de confusión.

La matriz de confusión permitió el análisis de los datos obtenidos y la evaluación de la confiabilidad de los mapas, contemplando también a los errores de omisión y comisión. La matriz de confusión constó de filas que representan la clase de referencia y columnas que son las clases del mapa clasificado, la diagonal de la matriz muestra el número de sitios de verificación, en los que existe concordancia entre el mapa generado y las imágenes de referencia. De la matriz se desprenden los siguientes datos (MINAM, 2014):

Índice de Kappa.

El índice de Kappa sirve para medir el grado de exactitud del mapa, se enfoca en los porcentajes de error tanto de la variabilidad y concordancia, entre los mapas de coberturas y las imágenes satelitales usadas como base, es decir, determina si las clasificaciones realizadas se ajustan a la realidad (MINAM, 2014). La Tabla 16 muestra la valoración del índice de Kappa y su fuerza de concordancia, con valores que oscilan entre 0 a 1, pudiendo ser desde pobre hasta casi perfecta.

Tabla 16
Valoración de Índice Kappa

Índice Kappa	Fuerza de concordancia
0	Pobre
0,01-0,20	Leve
0,21-0,40	Aceptable
0,41-0,60	Moderada
0,61-0,80	Considerable
0,81-1,00	Casi perfecta

Fuente: Landis & Koch (1977).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Generación de mapas de tipos de cobertura vegetal para el distrito de Cajamarca.

Como parte de esta investigación se generaron 04 mapas de coberturas para los años 1984, 1996, 2007 y 2023 sobre la superficie distrital de Cajamarca que asciende a 37929,65 ha, y se diferenciaron 05 tipos de coberturas, siendo: suelo desnudo/rocas, vegetación, tejido urbano, agua y unidad minera. Los resultados pueden ser observados en la Tabla 17, para los años 1984 y 1996, el tipo de cobertura dominante fue “suelo desnudo/rocas”, para los años 2007 y 2023 dominó la cobertura “vegetación”. En la Tabla 17 se puede observar un aumento progresivo del tejido urbano que pasa de ocupar un 0,56% a un 6%, mientras que la vegetación tiene un crecimiento sostenido a lo largo de los años.

Tabla 17

Tipos de coberturas años 1984, 1996, 2007 y 2023

Tipo de cobertura	1984		1996		2007		2023	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
Suelo desnudo/rocas (2)	20885,14	55,06	19457,64	51,30	16324,09	43,04	11431,88	30,14
Vegetación (3)	16736,64	44,13	18002,75	47,46	19071,38	50,28	21222,82	55,95
Tejido urbano (4)	211,92	0,56	384,96	1,01	883,82	2,33	2275,39	6,00
Agua (5)	95,95	0,25	84,28	0,22	90,56	0,24	73,53	0,19
Unidad Minera (6)	-	-	-	-	1559,80	4,11	2926,02	7,71
Total	37929,65	100,00	37929,65	100,00	37929,65	100,00	37929,65	100,00

Al año 1984 el tipo de cobertura dominante fue “suelo desnudo/rocas” con 55,06% de la superficie, ocupando sobre todo en la parte media y baja del distrito, seguida “vegetación” con 44,13% que se distribuye sobre todo en la parte alta del distrito, vegetación ribereña y fondo del valle en la parte baja, para el caso del “tejido urbano” este solo ocupaba una superficie de 211,92 ha representado solo un 0,56% del total de la superficie distrital, en el caso del “agua” la mayor acumulación se ubica en las Lagunas del Alto Perú, pero también se puede observar el cauce con un caudal visible del Río Mashcón antes de su ingreso en la ciudad, otro espejo de agua observable es el de las Lagunas de oxidación, la Laguna Chamis y la Laguna Yanacocha, este tipo de cobertura ocupaba un 0,25% de la superficie distrital.

Para el año 1996 seguía dominando la cobertura “suelo desnudo/rocas” con un 51,30% de la superficie distrital, la segunda cobertura dominante fue “vegetación”, que a nivel distrital tuvo un aumento en su superficie con 47,46%, esto se debe a la constante presencia de cultivos transitorios y permanentes a lo largo de la superficie distrital, sumando además las pasturas naturales y cultivadas, otro factor a mencionar es el incremento de la superficie forestal en el distrito por la instalación de plantaciones forestales en Porcón, no obstante, el cambio más visible fue el del “tejido urbano”, con un aumento de su superficie en 384,96 ha es decir 1,01% de la superficie distrital, en lo que respecta al agua se tuvo una leve disminución del área que ocupaba con un 0,22%.

Al año 2007 la cobertura con mayor área es del tipo “vegetación” con 50,28% de la superficie, por los cultivos y pasturas que dominan nuestro distrito esta dominancia incluye un incremento en cobertura vegetal en la parte media del distrito, entre los ríos Grande, Porcón y Mashcón por la presencia de cultivos agrícolas y pasturas; otra cobertura

dominante es “suelo desnudo/rocas” con solo 43,04%, le sigue “tejido urbano” con 2,33% de la superficie ocupada, la cobertura tipo “agua” con una superficie de 0,24% al 2007 la Laguna Yanacocha ya no existía, sin embargo, se observa un aumento de superficie en la zona alta del distrito en las Lagunas del Alto Perú, cabe mencionar que durante este periodo se incluyó una nueva clase de cobertura, denominada “Unidad Minera” y ocupaba el 4,11% de la superficie distrital.

Los tipos de coberturas para el año 2023, siguieron dominadas por la “vegetación” con un 55,95%, seguida de “suelo desnudo/rocas” con 30,14%, esta clase sigue siendo una de las que más superficie ocupan debido a las características de nuestro distrito y es que sobre todo en la parte baja, existen una serie de consolidaciones geológicas que no han sufrido cambios sustanciales, la “unidad minera” cierra con un 7,71% de la superficie ocupada, en lo respecta al “tejido urbano” al 2023 ocupa el 6% de la superficie distrital, finalmente el tipo de cobertura “agua” con un 0,19%, con únicas representaciones en las Lagunas del Alto Perú y Laguna Chamis.

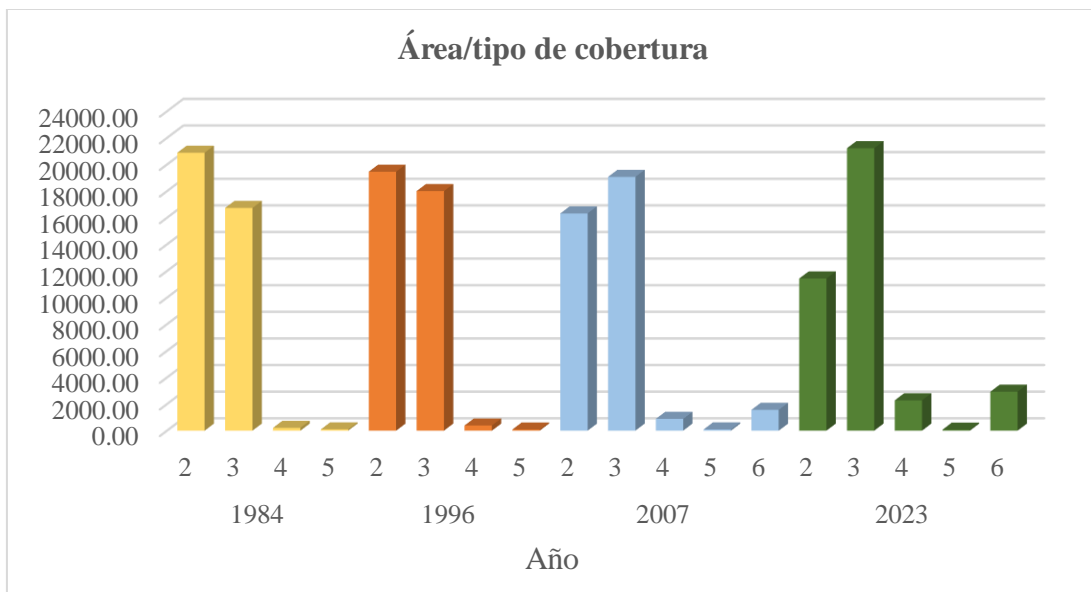


Figura 18: Tipos de coberturas para los 04 periodos.

Para una mejor visualización de los resultados, se agrupó los 04 mapas generados en la Figura 19 siendo pues innegable la evolución de la mancha urbana en los 39 años evaluados, se trata de un fenómeno explosivo y desordenado, que conllevará a problemas ambientales, sociales, económicos y energéticos, que visiblemente no es equilibrado ni homogéneo, sino que presenta una fuerte tendencia a polarizarse a la zona sur y este, acompañado también de un crecimiento sostenido que se va densificando hacia la carretera Bambamarca – Chota y un proceso de micro urbanización lejos de la urbe (Ramírez y Pértile, 2013).

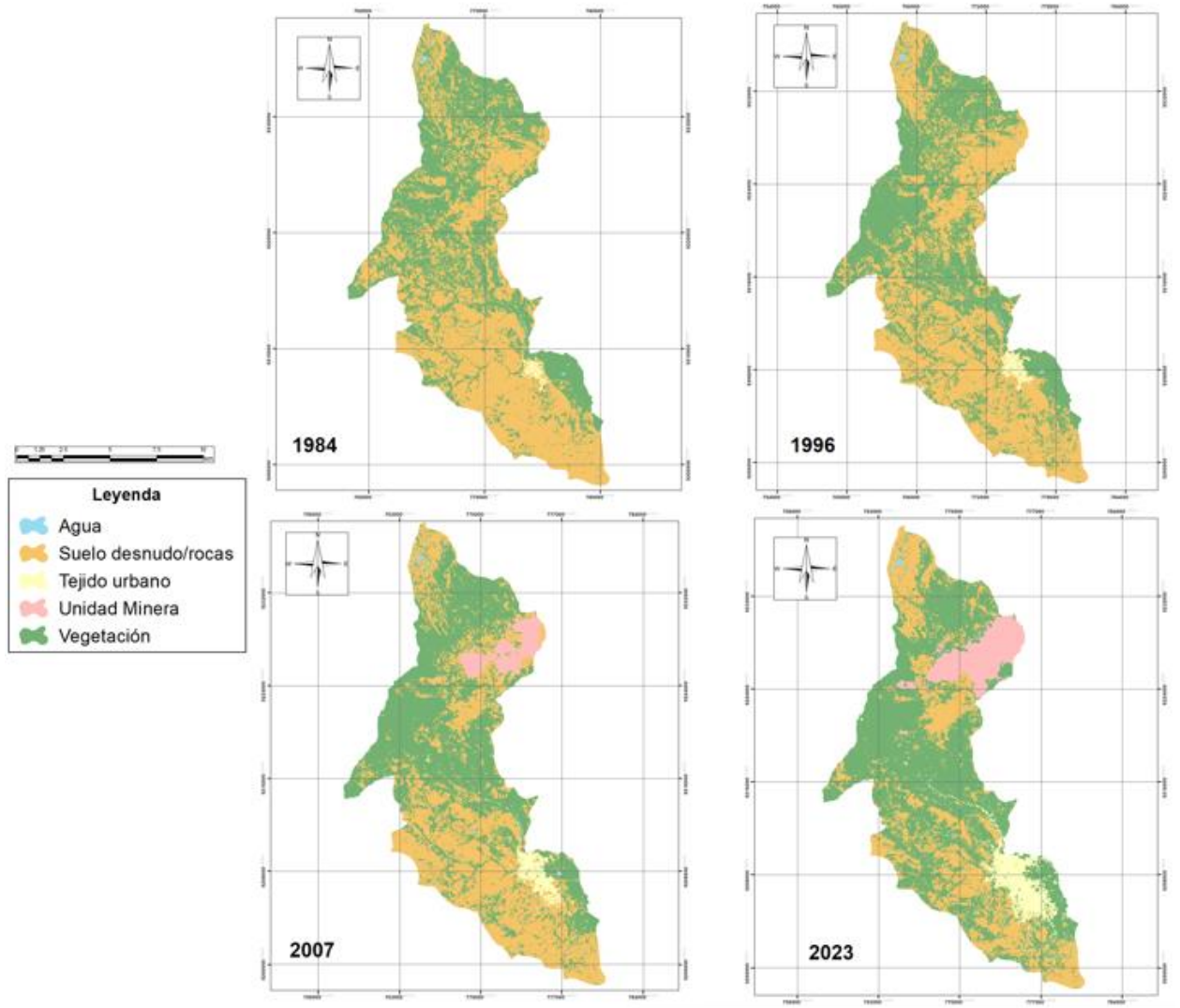


Figura 19: Resumen de mapas de coberturas.

Sobre la cobertura “vegetación” los resultados de la Tabla 17 muestran su crecimiento sostenido a lo largo de los años, y es que de acuerdo al Estudio de Suelos y Capacidad de uso mayor del suelo (Poma y Alcántara, 2011) en nuestro distrito el uso actual del suelo está dominado por uso agrícola, ganadero y forestal, razón por la que indudablemente este tipo de cobertura sea dominante a lo largo de los años evaluados.

El suelo en la parte baja del distrito, zonas del fondo de valle de nuestra ciudad colindantes con el casco urbano y zonas ribereñas del río Mashcón, fueron y son usadas para fines agrícolas y ganaderos, sin embargo, son zonas donde mayor expansión urbana se vio a lo largo de los años, el impacto y la presión que se está generando es alto, y con el paso del tiempo conllevará a su pérdida, siendo un problema latente de cara a la seguridad alimentaria y a la escasez de alimentos, esta realidad se constata en los resultados del III Censo Nacional Agropecuario de 1994 con un tamaño promedio del predio agrícola de 3,2 ha que comparado con los resultados del IV Censo Nacional Agropecuario (2012) la parcela promedio de superficie agrícola es de 1,7 ha, pero además, al comparar con el tamaño promedio a nivel de nuestro país que es de 3,3 ha, por lo que ya se puede hablar de una reducción de la superficie cultivable a nivel distrital, verificando no solo la contracción de la frontera agrícola sino también la afectación en los rendimientos a nivel de producción, reflejado en promedio la productividad agrícola de la región Cajamarca que se ubica por debajo del promedio nacional durante los últimos años (BCRP, 2019).

Otras de las razones de la dominancia de la cobertura vegetación es la presencia de pasturas destinadas a la producción ganadera, en nuestro distrito al año 1947 Cajamarca fue elegida por la Compañía Peruana de Alimentos Lácteos PERULAC S. A., de Nestlé, para instalar una planta de leche fresca en Baños del Inca lo que promovió un auge en la

producción en la campiña cajamarquina, sector que sufrió un estancamiento con la Reforma Agraria de 1968, sin embargo, en la década de los ochenta la cuenca lechera se amplió y pasó de ubicarse solo en el valle hacia las laderas y jalca por la apertura de nuevas rutas de acopio y asistencia técnica de INCALAC, este proceso se reforzó cuando en la década de los noventa con la llegada de la empresa CARNILAC de Gloria. Con la llegada de Minera Yanacocha en 1993, la campiña como eje de producción ganadera fue desplazada por la pérdida de rentabilidad de las tierras dedicadas a la ganadería pues fueron demandas para la expansión urbana, por lo que los nuevos espacios ganaderos fueron las zonas altoandinas, laderas altas de la quechua y en la jalca, en donde predomina las pasturas naturales. Esta es una de las razones de la dominancia de la cobertura vegetal en nuestro distrito, y en el análisis realizado en los 39 años (CITE Agropecuario, 2016).

Las zonas periurbanas a menudo contienen una cantidad importante de vegetación y muchas veces representan los últimos relictos de cobertura vegetal natural dentro y fuera de las ciudades (La Rosa & Privitera, 2013) en nuestro caso desde el inicio del análisis en el año 1984 la vegetación más cercana al tejido urbano es la del valle de Cajamarca que con el paso de los años fue reemplazada por cultivos agrícolas, pasturas para ganadería y tejido urbano, siendo la vegetación de las zonas más alejadas la única que se mantenía prístina. Por otro lado, la vegetación ribereña se ha mantenido en todos los periodos evaluados, sin embargo, de esta no podemos afirmar su nivel de naturalidad porque existen estudios como el realizado por Silva (2018) que analiza las franjas ribereñas del río Porcón, Mashcón y Grande del distrito de Cajamarca, y afirma que esta vegetación está conformada por especies como: *Eucalyptus globulus*, *Alnus acuminata*, *Pinus patula*, *Polylepis racemosa*, *Cortaderia selloana*, *Morella pubescens*, *Lupinus mutabilis*, *Rubus robustus*,

Baccharis salicifolia, *Liabum solidagineum*, *Thelypteris sp*, *Agave americana*, *Cynodon dactylon*, *Salix humboldtiana* y *Cucurbita ficifolia*, lo que habla de estructuras ribereñas sin composición natural, sino más bien áreas intervenidas pero que conservan especies de herbáceas, arbustos y árboles. Se sabe también que es común que estas áreas estén degradadas y presenten un reemplazo de vegetación nativa causada por el asentamiento humano, agricultura, ganadería, etc., para nuestro estudio se observa que al año 2023, las franjas aledañas a las zonas ribereñas contienen extensiones de manchas verdes que probablemente sean zonas de cultivos y ganadería (Jiménez, 2018).

El tejido urbano es el tipo de cobertura terrestre de más rápido crecimiento en el mundo, no obstante, para este estudio y de acuerdo a la Figura 18 y la Tabla 17 es evidente crecimientos y descensos sostenidos a lo largo de los años en los 05 tipos de coberturas, con predominancia en la cobertura del tipo “vegetación”, que el “tejido urbano” no sea la cobertura dominante, probablemente se deba a que se trata de una ciudad pequeña de menos de 300 mil habitantes, no comparable con megaciudades del mundo donde el tejido urbano es la cobertura predominante (Fuller & Gaston, 2009), sino más bien se trata de un territorio con áreas forestales, agrícolas y ganaderas.

Es importante mencionar que múltiples estudios de teledetección y clasificación de coberturas como la observada en la cuenca baja del río Rímac presentó un tejido urbano de 7,2% (Gabriel, 2019) o casos como el distrito de San Juan de Lurigancho en Lima con un tejido urbano del 11,89%, de acuerdo a los mapas de cobertura generados como parte de este estudio, el tipo “tejido urbano” en Cajamarca presenta un crecimiento visible y sostenido, y forma parte del fenómeno de expansión urbana, con un tejido urbano ocupa al

año 2023 el 6% de la superficie distrital, con una superficie inicial al año 1984 de 211,92 ha que se multiplicó por 10 al año 2023 con 2 275,39 ha ocupadas.

Otra premisa importante sobre el “tejido urbano” en nuestro distrito es poder diferenciar las etapas de su crecimiento a lo largo de los 39 años evaluados y es que de acuerdo a Jin et al. (2022) las ciudades presentan dos tipos de crecimiento del tejido urbano, pudiendo ser continuo o desacelerado, en Asia el 44% de las ciudades estudiadas se encuentran en un proceso de desaceleración, países como Japón, Corea y China son los que mejor retratan esta disminución de población y crecimiento con ciudades desaceleradas, estables y maduras, mientras que países como Estados Unidos y algunas parte de Europa y Asia, reflejan un crecimiento continuo. Para el caso del distrito de Cajamarca se observa un crecimiento continuo y sostenido a través del tiempo, probablemente porque formamos parte de un país en vías de desarrollo con una población en crecimiento.

Otros autores como Liu et al. (2010) van más allá y analizan los tipos de expansión urbana, pudiendo ser: relleno, expansión de borde y periferia, para la ciudad de Cajamarca considerando la Figura 19, durante los últimos 39 años fue dominante la expansión de borde y periferia, sin embargo, también se observó en menor medida que la expansión de relleno pasó a ser expansión en la periferia durante los años 1984 y 1996. Además, es visible el tejido urbano se expande hacia afuera de manera contigua mientras que las áreas más alejadas de la urbe tienen un desarrollo disperso, mucho más visible en el mapa de cobertura del año 2023.

La investigación de Chai & Seto (2019) quienes mencionan que es el desarrollo disperso en la periferia de las ciudades es un fenómeno denominado micro urbanización, y se trata de una expansión pero a pequeña escala pudiendo darse con la construcción de una

casa en una zona aislada, por ejemplo, pero también puede expresarse como un patrón de cambio de uso del suelo y desarrollo a menudo irregular, escaso y desigual, con pocas construcciones por unidad de área; lo que significa que estos escasos parches de micro urbanización están lejos unos de otros. Cabe mencionar que otra característica es su ubicación, se produce lejos de las principales zonas urbanas por lo que se diferencia del crecimiento urbano que se produce en la periferia de las áreas urbanas, finalmente la micro urbanización generalmente se da en áreas donde el nivel de actividad urbana es relativamente bajo y las zonas urbanas urbanizadas son escasas. Este concepto representa lo ocurrido en el mapa de cobertura de la Figura 19 año 2023, con micro urbanización en la parte norte de nuestro distrito, pero sobre todo concentrado en las zonas más montañosas del distrito.

Matriz de confusión e Índice de Kappa

Para la verificación y validación de los mapas generados para los 1984, 1996, 2007 y 2023, se aplicó la Matriz de confusión e Índice de Kappa. La Matriz de confusión es una comparación de la Clasificación supervisada con una imagen natural para analizar su nivel de confiabilidad, en las Tablas 18, 19, 20 y 21, se muestran los resultados de esta matriz, considerando las clases de cobertura analizadas por año, tanto a nivel de Error de omisión (exactitud), como del Error de comisión (información incorrecta), cabe mencionar que por cada tipo de cobertura se utilizaron 25 puntos de validación, y los recuadros coloreados con amarillo muestran el número de puntos verificados, es decir la cantidad de coincidencias entre el mapa de cobertura con la imagen, denotando la cantidad de sitios verificados y correctos.

Para la Tabla 18, correspondiente al mapa de cobertura del año 1984, se analizaron 04 tipos de cobertura, teniendo una precisión de 25 coincidencias a nivel de la cobertura suelo desnudo/rocas y agua, solo en el caso de vegetación y tejido urbano se presentó 01 error de comisión por cada tipo, es decir, que existen elementos que no perteneciendo a estas clases aparecen en ellas, y 01 error de omisión lo que denota que uno de los puntos analizados que pertenecen a este clase no aparecen en ella.

Tabla 18

Matriz de confusión mapa de cobertura 1984

Clases	Simbología	Suelo desnudo/rocas	Vegetación	Tejido urbano	Agua	Total	Error de comisión
Suelo desnudo/rocas	2	25	1	1	0	27	2
Vegetación	3	0	24	0	0	24	0
Tejido urbano	4	0	0	24	0	24	0
Agua	5	0	0	0	25	25	0
Total		25	25	25	25	100	
Error de omisión		0	1	1	0		

Para la Tabla 19 del mapa de cobertura del año 1996, también se analizaron 04 tipos de cobertura, con una precisión de 25 coincidencias solo a nivel de la cobertura agua, las demás coberturas presentaron resultados de entre 24 a 22 puntos.

Tabla 19

Matriz de confusión mapa de cobertura 1996

Clases	Simbología	Suelo desnudo/rocas	Vegetación	Tejido urbano	Agua	Total	Error de comisión
Suelo desnudo/rocas	2	24	3	2	0	29	5
Vegetación	3	1	22	0	0	23	1
Tejido urbano	4	0	0	23	0	23	0
Agua	5	0	0	0	25	25	0
Total		25	25	25	25	100	
Error de omisión		1	3	2	0		

En lo que respecta a la Tabla 20, del mapa de cobertura del año 2007, se analizaron 05 tipos de coberturas, con resultados óptimos y es que 04 de estas arrojaron puntos 25 de validación, solo en el caso de Unidad Minera el resultado varió en 23 puntos, y presentó 02 errores de comisión es decir que 02 puntos analizados no pertenecen a esta clase y 02 errores de omisión con elementos que pertenecen a esta clase, pero no aparecen en ella.

Tabla 20

Matriz de confusión mapa de cobertura 2007

Clases	Simbología	Suelo desnudo/rocas	Vegetación	Tejido urbano	Agua	Unidad Minera	Total	Error de comisión
Suelo desnudo/rocas	2	25	0	0	0	2	27	2
Vegetación	3	0	25	0	0	0	25	0
Tejido urbano	4	0	0	25	0	0	25	0
Agua	5	0	0	0	25	0	25	0
Unidad Minera	6	0	0	0	0	23	23	0
Total		25	25	25	25	25	125	
Error de omisión		0	0	0	0	2		

Finalmente, en la Tabla 21 correspondiente al mapa de cobertura del año 2023 también se analizaron 05 tipos de coberturas, siendo el tejido urbano, agua y unidad minera los tipos más precisos con puntos 25 de validación, seguida de vegetación con 23 puntos y suelo desnudo/rocas con 22 puntos. Para el caso de vegetación y suelo desnudo/roca existen hay 02 errores de comisión y 05 errores de omisión.

Tabla 21*Matriz de confusión mapa de cobertura 2023*

Clases	Simbología	Suelo desnudo/rocas	Vegetación	Tejido urbano	Agua	Unidad Minera	Total	Error de comisión
Suelo desnudo/rocas	2	22	2	0	0	0	24	2
Vegetación	3	2	23	0	0	0	25	2
Tejido urbano	4	0	0	25	0	0	25	0
Agua	5	0	0	0	25	0	25	0
Unidad Minera	6	1	0	0	0	25	26	1
Total		25	25	25	25	25	125	
Error de omisión		3	2	0	0	0		

Es importante mencionar que los resultados correspondientes a las Tablas 18, 19, 20 y 21, son el insumo para completar la validación de estos mapas mediante el Índice de Kappa de la Tabla 22, para obtener los niveles de Precisión Global son obtenidos de la sumatoria de los resultados de la diagonal marcada con amarillo y dividida con el total que varía de entre 100 a 125 puntos de acuerdo a la cantidad de coberturas analizadas.

Tabla 22

Resultados de Índice de Kappa

Año	Clases	Error Com%	Error Omi%	Precisión Global (po)	Precisión Global (%)	Índice K	Índice K (%)
1984	Suelo desnudo/rocas	7,4	0	0,98	98	0,97	97
	Vegetación	0	4,0				
	Tejido urbano	0	4,0				
	Agua	0	0				
1996	Suelo desnudo/rocas	17,2	4	0,94	94	0,92	92
	Vegetación	4	12,0				
	Tejido urbano	0	8,0				
	Agua	0	0				
2007	Suelo desnudo/rocas	7,4	0	0,98	98	0,98	98
	Vegetación	0	0				
	Tejido urbano	0	0				
	Agua	0	0				
	Unidad Minera	0	8				
2023	Suelo desnudo/rocas	8,3	12	0,96	96	0,95	95
	Vegetación	8	8				
	Tejido urbano	0	0				
	Agua	0	0				
	Unidad Minera	0	0				

Los valores del Índice de Kappa para los 04 mapas generados que se muestran en la Tabla 22, varían entre 0,92 hasta 0,98 considerándose que tienen una Fuerza de concordancia “Casi perfecta”, ya que se ubican entre la escala de 0,81-1,00, si comparaos con otros estudios como el de Biney et al. (2017) que tuvieron una precisión de entre 0,89 – 0,99 durante una evaluación de imágenes satelitales para los años 1986, 2002 y 2016, o Dinda et al. (2021) que evaluaron el crecimiento urbano y la pérdida de espacios verdes en Calcuta mediante SIG, durante los años 1980, 1991, 2001, 2011 y 2018, obteniendo un coeficiente de Kappa de 0,86 y 91,1%, o casos como Zeng et al. (2019) que analizaron el

entorno urbano y la ciudad de la ciudad de Shenzhen entre los años 2013 y 2017, con un coeficiente de Kappa de 91,1% y 0,92, sin embargo, existen otros estudios con el de Liu et al. (2018) con un coeficiente de Kappa de 0,43 – 0,50 cuyo análisis se desarrolló sobre una superficie mucho más extensa por lo que el nivel de precisión disminuye, lo que nos lleva a concluir a mayor superficie analizada, menor precisión, razón por la que nuestros resultados arrojan una Fuerza de concordancia “Casi perfecta”, al tratarse de una superficie distrital de 37 929,65 ha, área pequeña con respecto a los estudios mencionados, además, normalmente, se considera aceptable para uso científico una precisión de clasificación general del 85% (Dhanaraj & Dasharatha, 2021).

4.2 Análisis de la variación multitemporal y la relación entre las áreas verdes y el crecimiento poblacional en el distrito de Cajamarca.

4.2.1 Análisis multitemporal a nivel distrital.

El análisis multitemporal se realizó comparando los mapas de cobertura generados, comprendiendo los periodos: 1984 – 1996, 1996 – 2007 y 2007 – 2023, para conocer los cambios en relación a cada año seleccionado y poder apreciar cuantitativamente los cambios, que se muestran en la Tabla 23:

Tabla 23

Tipo de cambio observado

Periodo	Cambios	Área (ha)	%	Total
1984 - 1996	No	30552,48	80,55	100,00 %
	Sí	7377,17	19,45	37929,65 ha
1996 - 2007	No	29413,56	77,55	100,00 %
	Sí	8516,09	22,45	37929,65 ha
2007 - 2023	No	27973,19	73,75	100,00 %
	Sí	9956,46	26,25	37929,65 ha

El análisis de datos de la Tabla 23 durante el periodo 1984 – 1996, del total de la superficie distrital, solo sufrieron cambios en algún tipo de cobertura 7 377,17 ha, que representan el 19,45%. Durante el periodo 1996 – 2007 los cambios se reflejaron en un 22,45%, finalmente durante el periodo analizado entre los años 2007 – 2023, el cambio a nivel de la superficie fue de 26,25%. La tabla 25 nos muestra claramente un aumento progresivo en el cambio de las coberturas, este cambio es sostenido durante el paso de los años y conlleva a deterioro ambiental y de los bienes y servicios ecosistémicos que estas coberturas proveen, también nos habla de una constante intervención humana en el área.

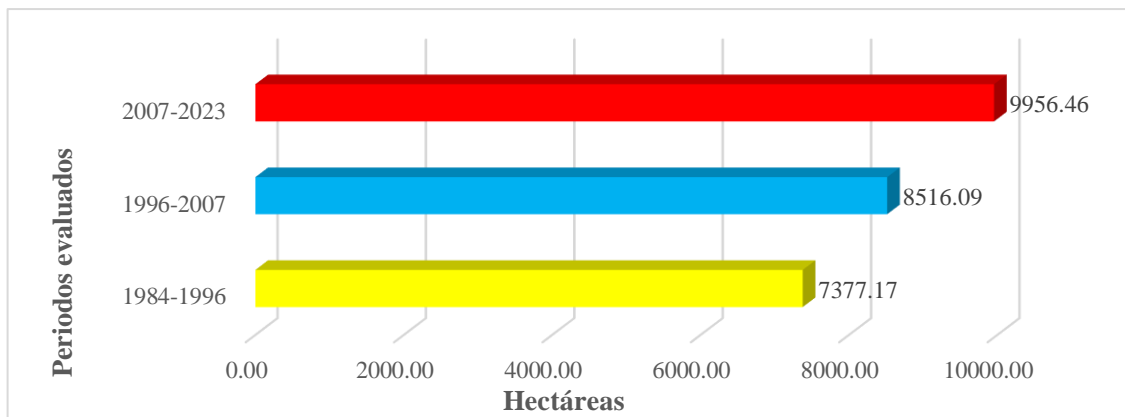


Figura 20: Cambios en coberturas.

La Figura 20 muestra el crecimiento sostenido de los cambios en las coberturas a lo largo de los periodos evaluados, en un lapso de 39 años, autores como Winkler et al. (2021) también realizaron un estudio parecido durante los años 1960-2019 a nivel de toda la superficie terrestre mediante análisis multitemporal de imágenes satelitales, sus resultados permiten diferenciar dos fases: una de aceleración en los cambios de coberturas durante 1960 - 2004 y una desaceleración entre 2005 – 2019 con disminución más evidente en África y América del sur, esta desaceleración puede ser explicada por la crisis económica y alimentaria durante 2007 – 2009, en nuestro caso se percibe un porcentaje de cambios sostenidos durante los periodos evaluados que oscilan entre 19,45% y 26,25%,

probablemente debido a que nuestro país no se vio afectado por esta crisis económica global, por lo que la dinámica terrestre en el distrito no se vio visiblemente afectada.

Winkler et al. (2021) también analizaron la dinámica global del uso de la tierra durante 1960 – 2019 mediante imágenes satelitales y concluyeron que el cambio de uso de tierra y por ende modificación del tipo de cobertura del suelo afectó al 32% de la superficie terrestre con mayor énfasis en los países en vías de desarrollo del hemisferio sur, resultados que guardan relación con el estudio presentando sobre todo considerando que somos un país del tercer mundo y con una dinámica poblacional constante, en el distrito de se vieron cambios sostenidos de 19,45%, 22,45% y 26,25% de la superficie distrital, en un lapso de 39 años.

Los tipos de cambios pueden ser observados en la Tabla 24 el mayor cambio observado durante los periodos analizados es el paso de “Suelo desnudo/roca a vegetación” con un 57,360%, 47,078%, 50,736%, respectivamente, mostrando un cambio sostenido y constante. Otro cambio importante, se registró durante el periodo 1996 – 2007, con el paso de “Suelo desnudo/rocas - Unidad Minera” representando un 13,242% de los cambios y durante el periodo 2007 – 2023, el paso de “Suelo desnudo/rocas - Tejido urbano” con un 9,208% y “Suelo desnudo/rocas - Unidad Minera” con 9,906%. Es evidente los cambios producidos a lo largo de los 39 años evaluados y que han conllevado a la modificación de la estructura y funcionalidad de los espacios, se deduce que el principal motor de transformación es antropogénico (Gabriel, 2019), además es evidente la expansión urbana rápida y sostenida.

Tabla 24*Tipo de cobertura que sufrió cambio durante los periodos analizados a nivel distrital*

Periodo	Cambios	Área (ha)	%	Total
1984 - 1996	Agua - Vegetación	17,70	0,240	100,00 %
	Agua - Suelo desnudo/rocas	9,85	0,134	7377,17 ha
	Agua - Tejido urbano	0,21	0,003	
	Vegetación - Agua	9,41	0,128	
	Vegetación - Suelo desnudo/rocas	2902,51	39,345	
	Vegetación - Tejido urbano	73,93	1,002	
	Suelo desnudo/rocas - Agua	6,86	0,093	
	Suelo desnudo/rocas- Vegetación	4231,55	57,360	
	Suelo desnudo/rocas - Tejido urbano	125,15	1,696	
1996 - 2007	Suelo desnudo/rocas - Vegetación	4009,31	47,079	100,00 %
	Suelo desnudo/rocas - Tejido urbano	409,53	4,809	8516,09 ha
	Suelo desnudo/rocas - Agua	2,84	0,033	
	Suelo desnudo/rocas - Unidad Minera	1127,72	13,242	
	Vegetación - Suelo desnudo/rocas	2392,74	28,097	
	Vegetación - Tejido urbano	103,56	1,216	
	Vegetación - Agua	25,12	0,295	
	Vegetación - Unidad Minera	429,51	5,044	
	Agua - Suelo desnudo/rocas	5,51	0,065	
	Agua - Vegetación	7,68	0,090	
	Agua - Unidad Minera	2,57	0,030	
	2007 - 2023	Suelo desnudo/rocas - Vegetación	5051,49	50,736
Suelo desnudo/rocas - Tejido urbano		916,75	9,208	9956,46 ha
Suelo desnudo/rocas - Agua		7,56	0,076	
Suelo desnudo/rocas - Unidad Minera		986,32	9,906	
Vegetación - Suelo desnudo/rocas		2061,46	20,705	
Vegetación - Tejido urbano		488,25	4,904	
Vegetación - Agua		11,48	0,115	
Vegetación - Unidad Minera		391,09	3,928	
Agua - Suelo desnudo/rocas		3,16	0,032	
Agua - Vegetación		36,02	0,362	
Agua - Tejido urbano		2,87	0,029	

Considerando los resultados de la Tabla 23 y Tabla 24, se decidió realizar un análisis en algunas de las coberturas más relevantes y que más cambios han sufrido a lo largo de los 39 años analizados:

4.2.1.1 Tejido urbano

De acuerdo al análisis multitemporal, en las áreas montañosas del distrito el grado de desarrollo urbano es débil, la urbanización prevaleció desde el centro de la ciudad y no se ubicó en las áreas más alejadas del distrito, sobre todo las zonas con mayor altitud en donde las distribuciones espaciales de asentamiento humano son relativamente dispersas en los 39 años evaluados (Li, et al., 2017), esto puede ser verificado en la Figura 21, que retrata los cambios en el tejido urbano en los años evaluados.

La expansión urbana reflejada en este estudio puede ser explicada por lo afirmado por Seto et al. (2011) que afirma que lugares como India, China y África, presentan una expansión urbana sostenida inducida por el asentamiento de alguna fuerza económica impulsora que propicia aumento en los ingresos de los hogares, estimula la demanda de viviendas y migración a las urbes en busca de oportunidades y mejor acceso a bienes y servicios, en nuestro caso la fuerza impulsora fue la actividad minera que generó aumento de la población y el tejido urbano.

En un estudio realizado por Ángel et al. (2012) concluyen que las ciudades alteran otros espacios en un área equivalente a sus áreas construidas y es que la fragmentación del paisaje es una característica inherente al proceso de expansión urbana, a medida que los espacios del centro de ciudad se fueron llenando se usarán nuevos espacios en la periferia, por lo que al menos se agregará un 40% de área construida, para este estudio se vieron

cambios específicos en coberturas como “agua”, “vegetación” y “suelo desnudo/rocas”, lo que habla de cambios en la morfología y paisaje, en favor de la construcción de tejido urbano. La fragmentación de coberturas promueve entornos heterogéneos y discontinuos, que dificultan la propagación de material y energía (Liu, et al., 2014).

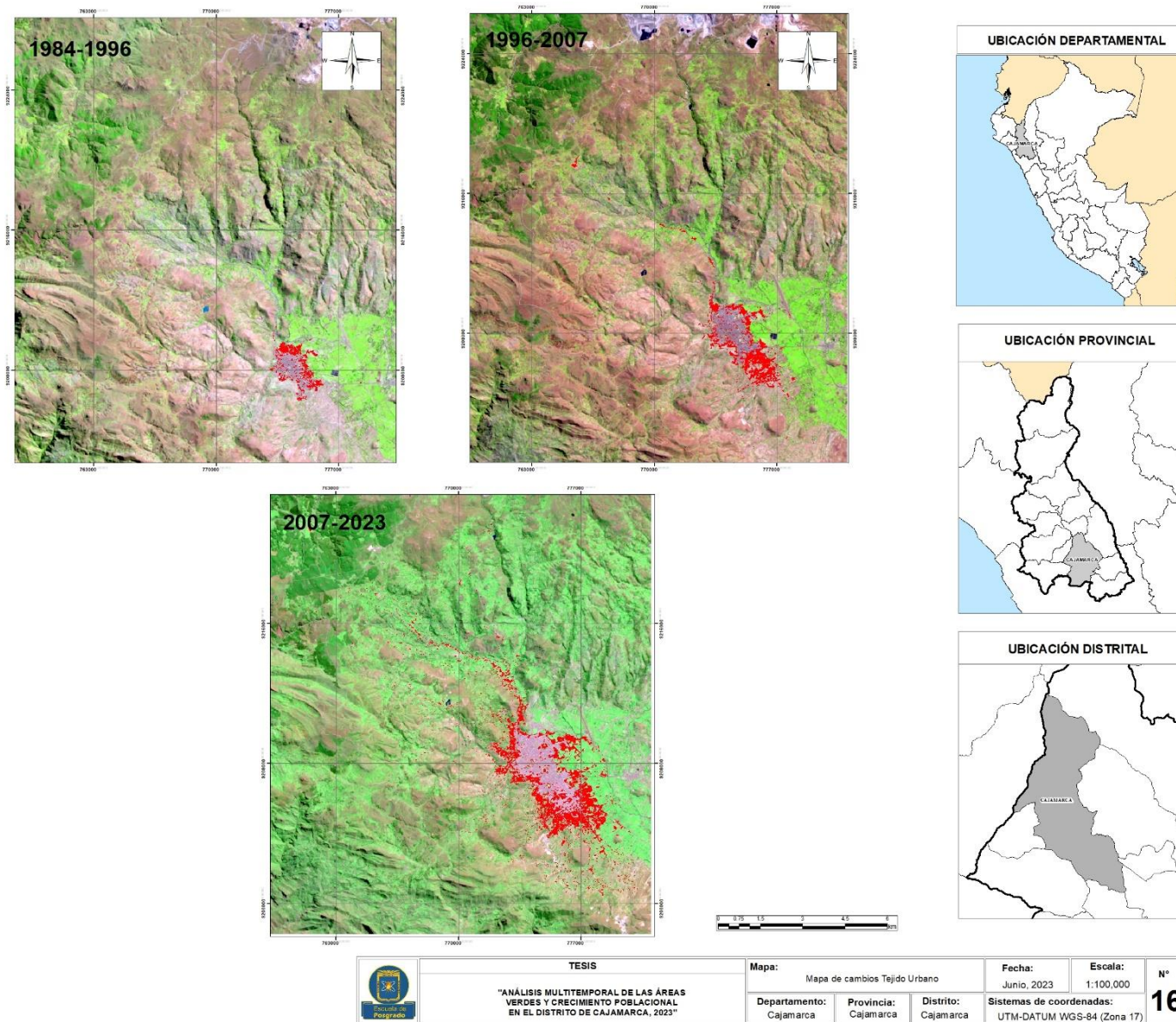


Figura 21: Crecimiento del Tejido Urbano en 39 años.

4.2.1.2 Cobertura vegetal

Como parte de este estudio no era un objetivo diferenciar los tipos de coberturas vegetales presentes en la zona, sino su comportamiento con respecto a la urbanización, y al hacer uso de imágenes Landsat su calidad no es comparable con las de otros satélites de nueva generación, sin embargo, radica su importancia en la data histórica generada desde su lanzamiento. El comportamiento de la vegetación durante los 39 años evaluados es complejo y siempre está en alza, debido probablemente a intervenciones externa y programas estatales que permitieron aumentar la cobertura del suelo mediante plantaciones forestales como las realizadas en Porcón, además del uso productivo del suelo, ya se a nivel agrícola como ganadero.

Winkler et al. (2021) señalan que las áreas cubiertas por vegetación han aumentado en China debido a una serie de incentivos políticos que apoyaban la reforestación, pero disminuyeron en el hemisferio sur, con aceleración de esta disminución que durante 1990; para este estudio durante todos los periodos evaluados la vegetación siempre fue incrementando a nivel distrital, sobre todo en la zona de Porcón, superficies productivas y áreas ribereñas, probablemente en nuestro ámbito esta tendencia no se cumpla debido a que la pérdida de cobertura vegetal en el mundo se orienta al uso del suelo destinado a algún tipo de producción, considerando también que nuestro territorio es accidentado y que no se dieron incentivos para la industrialización de alguna actividad económica, un factor determinante durante esta época es la presencia de organizaciones internacionales que promovieron procesos de forestación y cuidado de la cobertura del suelo distrital.

4.2.1.3 Unidad Minera

La minería y cambio de uso del suelo están estrechamente relacionadas con la forma de explotación minera, cuando es minería subterránea no impacta tanto a la superficie como la minería a tajo abierto que causa degradación del entorno, eliminación de la vegetación, alteración de los micro relieves, desaparición de los cuerpos de agua, etc., sumando además la incorporación al paisaje de elementos como pad's de lixiviación, pilas, etc. (Zhang, et al., 2017), la transformación del paisaje que causa la minería a tajo abierto es común en las áreas mineras de todo el mundo sin importar el país ni el mineral extraído y es que ningún tipo de cambio de cobertura es tan intenso e irreversible como la minería a tajo abierto (Redondo, et al., 2017), este cambio es tan visible porque la minería inicia sus operaciones removiendo el suelo con el fin de acceder al yacimiento, el cambio ocurre inmediatamente al iniciar las operaciones (Ahirwal & Maiti, 2016). En el caso de la “Unidad Minera” representada en nuestro estudio, se trata de minera Yanacocha y realiza exploraciones a tajo abierto, los efectos sobre las coberturas del suelo han sido visibles y se muestran en párrafos posteriores, sin embargo, el efecto transformador de la presencia de minería en un área no solo vincula cambios ambientales, sino también cambios económicos y sociales (Limpitlaw & Briel, 2014).

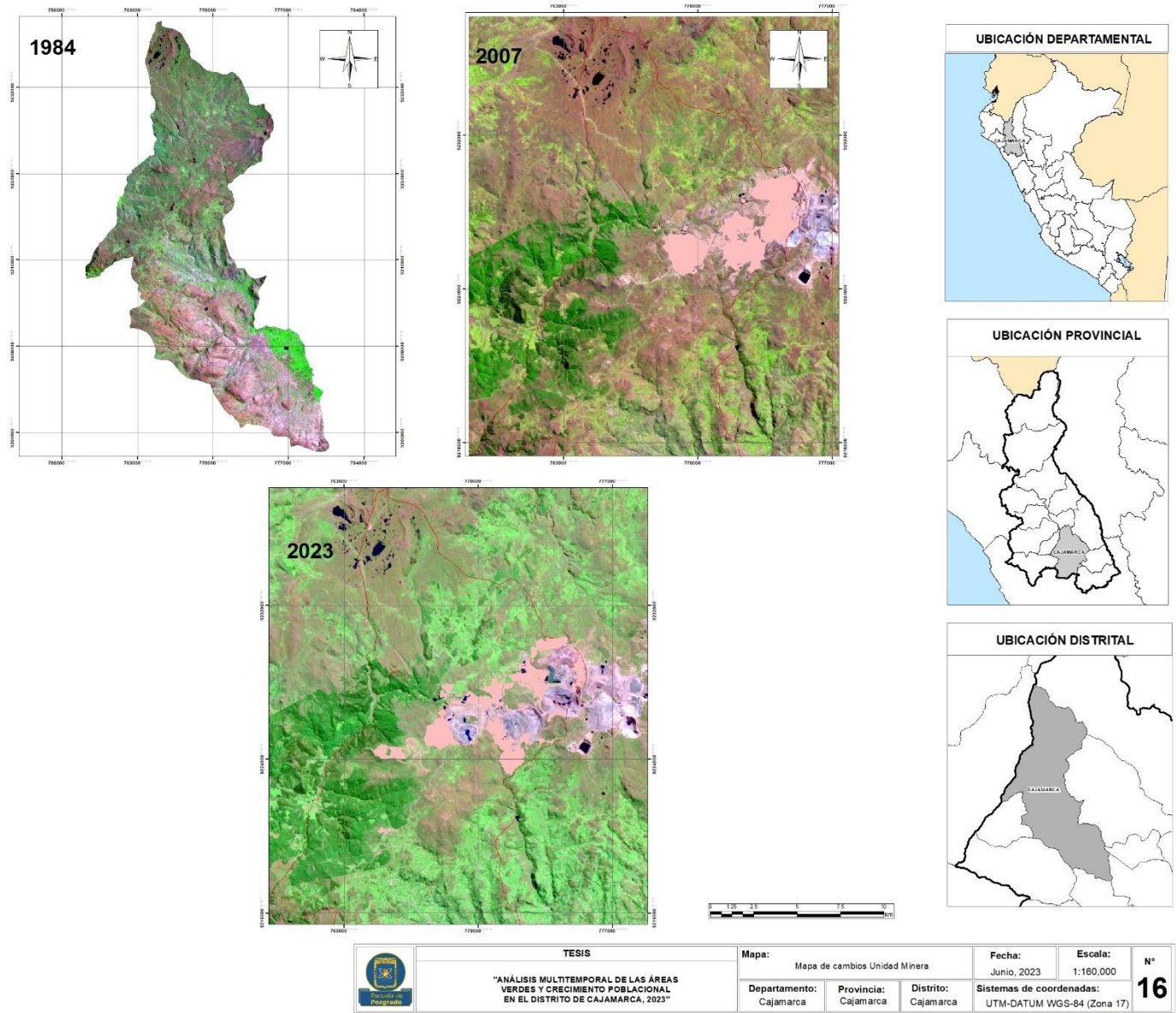


Figura 22: Crecimiento de la Unidad Minera.

Partiendo desde los cambios sociales, el establecimiento de minería en países en vías de desarrollo, generalmente propicia en las regiones vinculadas crecimiento poblacional que trae consigo aumento del tejido urbano, de acuerdo a una investigación realizada por Wilson et al. (2022) la minería cambia la demografía, existiendo indicios de que generó una expansión urbana gradual de 7,5% de tejido urbano y un crecimiento exponencial de su población, en el caso de nuestro distrito el tejido urbano al año 2023 ocupa el 6% de la superficie distrital, respecto al incremento de la población, al año 1981 el distrito contaba con 80931 habitantes, con un incremento sustancial de 117 509 persona al año 1993 que es cuando se inician las operaciones mineras e incrementos fuertemente visibles que al año 2017 con un cierre de 231243 habitantes (INEI, 2018), representando un incremento en un 97%.

Otra consideración importante desde el punto de vista económico y social, es que generalmente las operaciones mineras se extienden más allá de sus operaciones en el sitio como infraestructuras de transporte conexas, que propician aumento del volumen del tráfico por la necesidad de transporte de bienes y servicios hacia la Unidad Minera (Sonter, et al., 2014), lo que conlleva a una necesidad de mejora de la red vial e incluso da pie a la dinamización económica y poblacional, en el caso de Cajamarca, la presencia de Yanacocha también generó demanda de empleos, crecimiento urbano, mejora en los servicios básicos, incremento del parque automotor y mejoras en las carreteras, estos factores resultan ser impulsores tanto en crecimiento del tejido urbano como en crecimiento poblacional, la presencia de minera Yanacocha marcó un hito de crecimiento demográfico en la ciudad de Cajamarca (Vega, 2009).

Ambientalmente hablando, no podemos afirmar situaciones que escapan del análisis realizado mediante teledetección, no obstante, es visible desde los sensores remotos, que la presencia de Minera Yanacocha significó la desaparición de la Laguna Yanacocha que contaba con un espejo de agua de 4 ha de acuerdo a las métricas del mapa de cobertura del año 1984, esta se ubicaba en una de las zonas donde ahora se asienta esta minera.

Enfocándonos en los cambios de las coberturas, de acuerdo a Sonter et al. (2014) las regiones mineras sufren cambios abruptos en el uso del suelo y sus coberturas, pero además los procesos de estos cambios dentro de regiones mineras son distintos al de otros lugares, porque genera alteraciones rápidas de carácter permanente. La superficie en la que se desarrollan actividades mineras se expande con el tiempo, este fenómeno es común porque las operaciones mineras crecen y es debido principalmente al aumento de la demanda de minerales, aumento de precio, etc., así crecen las superficies ocupadas y con ella instalaciones como pad's, almacenes, botaderos, etc.; en nuestro distrito, de acuerdo a nuestros mapas de cobertura, al año 2007 la unidad minera pasó de tener una superficie de 1 559,80 ha a 2 926,02 ha al año 2023, con un porcentaje de cambios en 87,6% durante un lapso de 16 años y se debe a que la empresa amplió constantemente su tajo principal. Este aumento de la superficie se ve reflejada en los cambios realizados en las coberturas para dar paso al tipo de cobertura "Unidad Minera", y es que durante el periodo 1996 – 2007 los cambios mapeados abarcan 8 516,09 ha, pero el cambio de las coberturas que permitió la consolidación de la "Unidad Minera" representan 1 559,80 ha es decir el 18,32%, finalmente, durante el periodo 2007 – 2023, los cambios globales en tipos de cobertura es de 9 956,46 ha, para el caso específico de la "Unidad Minera" fueron de 1 377,41 ha que representa un 13,83% de estos cambios, cabe mencionar que las modificaciones en las

coberturas impactaron directamente a tipos de cobertura como: suelo desnudo/rocas, vegetación y agua.

Se sabe que la minería ejerce una fuerte presión sobre otras actividades como agricultura y ganadería, generando procesos de competencia que conllevan a conflictos, todo a causa de la ampliación de sus operaciones, en muchas partes del mundo esta competencia por el suelo propició el desplazamiento de agricultores y ganaderos, afectando el sustento de los residentes aledaños (Adator, et al., 2023), en el caso de nuestro ámbito este fenómeno probablemente no se vio reflejado y es que de acuerdo al Estudios de suelos y capacidad de uso mayor del departamento de Cajamarca realizado por Poma y Alcántara (2011), el área de la “Unidad Minera” posee una capacidad de uso mayor del tipo: Tierras aptas para producción forestal, Tierras de protección y Tierras aptas para pastos, con limitaciones de clima, suelo, erosión y calidad agrológica que oscila entre baja y media, al ser áreas con este tipo de capacidad de uso mayor, eventualmente la competencia no se hizo visible, sin embargo, se vuelve notorio que la minería ocupa suelos con una vocación diferente, por lo que sí hay impacto directo sobre el tipo de cobertura (Zhang, et al., 2017).

Zhang et al. (2017) mencionan que las zonas de entre 0 – 9 km, pero especialmente las áreas a una distancia de entre 3 a 6 km a yacimientos mineros son las zonas más activas al cambio de uso de suelo, sufriendo una intervención severa, en el caso de nuestro ámbito no vio reflejado, debido probablemente a la distancia de la Unidad Minera de nuestra ciudad, y a las condiciones agrestes que caracterizan este entorno.

4.2.2 Análisis multitemporal a nivel de la ciudad de Cajamarca.

Para un análisis micro, se creyó conveniente extraer de los mapas de cobertura del año 1984 -2023, el área concerniente al casco urbano de la ciudad de Cajamarca, durante estos años los tipos de cobertura y sus áreas se muestran a continuación:

Tabla 25

Área por tipo de cobertura en casco urbano

Tipo de cobertura	1984		2023	
	Ha	%	Ha	%
Suelo desnudo/rocas (2)	1288,60	46,44	200,49	7,23
Vegetación (3)	1263,10	45,52	800,83	28,86
Tejido urbano (4)	211,79	7,63	1773,25	63,91
Agua (5)	11,08	0,40	-	-

La Tabla 25 nos muestra que a nivel del casco urbano en el año 1984 coexistían 04 tipos de coberturas, con dominancia de suelo desnudo/rocas y vegetación, mientras que para el año 2023, solo se reporta tres tipos de cobertura con dominancia del tejido urbano en 1 561,46 ha. Mediante el uso de imágenes satelitales a lo largo de 39 años, se corrobora la desaparición de 462,27 ha de vegetación en los años evaluados, y la pérdida 1 088,11 ha de suelo productivo, a favor de la consolidación de superficie gris.

De acuerdo a Li et al. (2014) existe evidencia de que la urbanización tiene un efecto directo en la desaparición de las áreas verdes periurbanas, parques, jardines, etc., y provoca la disminución de los servicios ecosistémicos que proveen, este efecto también se verifica en nuestro estudio y se muestra en la Tabla 25, y es que al año 1984 el “tejido urbano” solo representaba el 7,63% y la “vegetación” un 45,52% de una superficie de 2 774,57 ha, los cambios en el área de la “vegetación” son visible al año 2023 al reducir su extensión

drásticamente con solo 28,86%, frente a 63,91% de tejido urbano, se confirma pues, que sí existe un efecto de la urbanización en la pérdida de áreas verdes. Es importante mencionar que la cobertura “vegetación” al año 2023 posee un área de 800,83 ha solo a nivel del casco urbano, de las que solo el 3,5% representa áreas verdes urbanas en forma de parques, jardines, etc.

En la mayoría de ciudades Chinas, las áreas verdes urbanas mostraron una tendencia de crecimiento en los últimos 20 años debido a la inclusión de políticas estatales de fomento, apoyo y gestión de áreas verdes, es decir, el gobierno ha promovido hace muchos años la implementación de ciudades sostenibles, estos hallazgos se contradicen con los de nuestro estudio pues la ciudad de Cajamarca presenta una disminución de las áreas verdes en el casco urbano en un periodo de 39 años (Tabla 25), probablemente debido a que no existen directrices eficientes que promuevan una mejora de estos espacios; además a diferencia de China se dieron patrones de expansión urbana diferentes con ciudades que crecen hacia el campo circundante pero dentro de la propia zona urbanizada y delimitada por el gobierno (Zhao, et al., 2013).

Respecto al cambio producido durante los años 1984 -2023 solo a nivel de la ciudad de Cajamarca, en la Tabla 26 se muestra los resultados de las transformaciones producidas durante este periodo, con un 65,15% de cambios registrados en 2 773,99 ha de superficie total.

Tabla 26*Cambios en el entorno urbano*

Cambios	Área (ha)	%
No	966,75	34,85
Sí	1807,24	65,15
Total	2773,99	100,00

Tabla 27 muestra que los cambios producidos en la ciudad de Cajamarca a nivel de coberturas tienen una fuerte dominancia en dos tipos de cambio: el paso de “Suelo desnudo/rocas a Tejido urbano” con un 49,12% y el paso de “Vegetación a Tejido urbano” con un 37,20%, también existe el paso de “Agua a Tejido urbano” debido a que a orillas del río Mashcón existen muchos asentamientos que antes eran parte del cauce del río, esta superficie de cambios representa el 0,10%.

Tabla 27*Tipo de cambio observado entre 1984-2023*

Cambios	Área	%
Suelo desnudo/rocas- Vegetación	204,18	11,30
Suelo desnudo/rocas - Tejido urbano	887,72	49,12
Vegetación - Suelo desnudo/rocas	32,02	1,77
Vegetación - Tejido urbano	672,25	37,20
Agua - Suelo desnudo/rocas	0,00	0,00
Agua - Vegetación	9,34	0,52
Agua - Tejido urbano	1,74	0,10
Total	1807,24	100,00

Para un mayor entendimiento de estos cambios de coberturas solo a nivel del casco urbano, se creyó conveniente la composición del mapa de la Figura 23 que pretende visibilizar el nivel de depredación sufrida en un periodo de 39 años. En la Figura 23 se

presenta la superficie del casco urbano en el año 1984 y 2023, y su dinámica de cambio, se observa un tejido urbano con dos tipos de crecimiento, primero una densificación en la estructura interna urbana y luego un corto externo que crece y crece, pero este crecimiento se concentra en la zona sur del del tejido urbano y marcando paulatinamente la desaparición de la vegetación de fondo de valle (Bai & Xu, 2023). Según Dinda et al. (2021) la vegetación urbana se ve afectada y es destruida gradualmente con la rápida expansión urbana, promoviendo la depredación de la cobertura, hechos que se verifican en nuestro estudio.

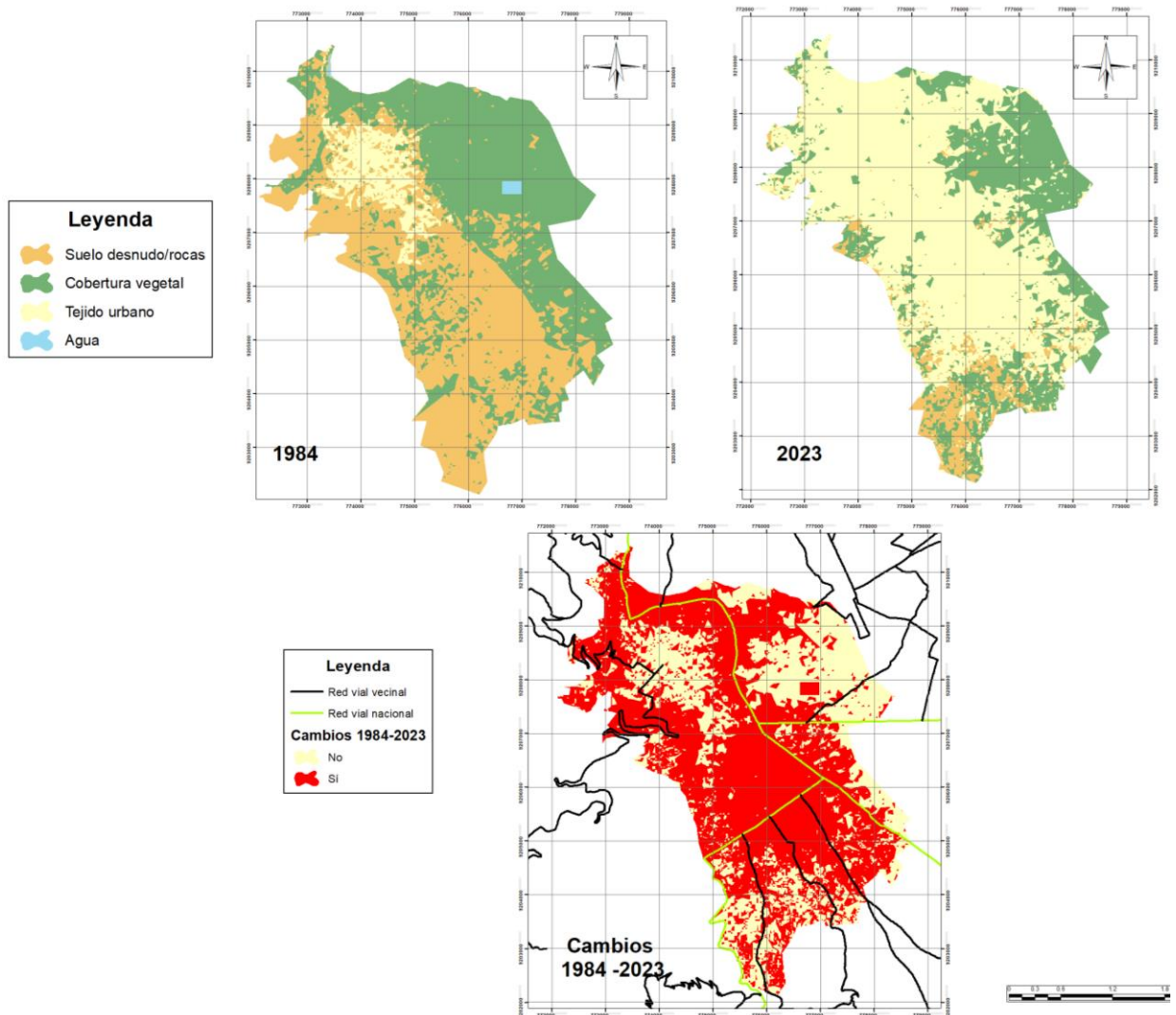


Figura 23: Resumen de cambios en casco urbano de la ciudad de Cajamarca.

Si analizamos la Figura 23, se visibiliza un crecimiento marcado en todas las direcciones, sin embargo, se entiende al sur y este del casco urbano de Cajamarca y puede ser explicado por la teoría de sintaxis espacial propuesta por Hillier et al. (1993) se centra en la relación del espacio y movimiento, en nuestro caso se relaciona en como el crecimiento de una ciudad se refleja en la ubicación de la red vial que forma parte de la estructura interna de la ciudad, y como de acuerdo a su ubicación la tendencia de ocupación cambia, además que también otorga o no vitalidad a la urbe, es decir, determina la evolución y forma del tejido urbano y por ende la dirección de expansión. Esta teoría se cimienta cuando observamos la Figura 23 y como la presencia de una red vial fue la fuerza impulsora del crecimiento sostenido y la densificación urbana, la vía de Evitamiento fue de uno de los ejes de crecimiento principales al igual que la Avenida Hoyos Rubio y Avenida Héroes del Cenepa. Es pues, la presencia de la red vial en una ciudad, tan determinante que influye en el precio del suelo, tipo e intensidad de uso, razones por las que predice el proceso de crecimiento del tejido urbano en una ciudad (Atakara & Allahmoradi, 2021).

La expansión urbana observada en el distrito de Cajamarca durante el periodo 1984 hasta 2023, es el típico crecimiento extendido hacia el exterior, no obstante, al año 1984 se puede observar un fenómeno de densificación que se caracteriza por una expansión urbana dentro de los límites ya definidos de la urbe, los demás años reflejan una mancha urbana que se extiende sin control y que con el paso del tiempo se vuelve más densa hacia los suburbios, ocupando el suelo a manera de parches interconectados (Moreno, et al., 2021), con mosaicos de transiciones de diferentes coberturas que se ubican yuxtapuestos a zonas con vegetación y suelo desnudo/rocas, estas zonas se ubican en todos los límites del casco

urbano, pero se acentúan en la zona sur de la ciudad sobre todo al año 2023 (La Rosa, et al.; 2014).

Sun et al. (2020) investigaron los países con mayor presencia de áreas verdes, siendo: China, Estados Unidos y Japón son los tres principales países que contribuyeron a la ecologización de sus ciudades entre 2001 y 2018, la característica común es que muchas áreas verdes de las grandes ciudades tienen la forma de un "huevo frito" donde el centro de la ciudad con forma de yema se ha vuelto verde y el área de "clara de huevo" no cuenta con enverdecimiento significativo, estas zonas se ubican sobre todo en los suburbios, para la ciudad de Cajamarca esta característica no se aplica y somos ajenos a esta realidad, más bien se observa un proceso inverso, con mayor cantidad de áreas verdes en la periferia, que dentro de la ciudad, visible en la Figura 21 al año 2023.

Sun et al. (2020) también mencionan a las ciudades con mayor inclusión de áreas verdes son: Miami, Beijing, Chicago, Seúl, Tianjin, Sao Paulo y Osaka, siendo la principal característica de estas zonas una alta densidad de tejido urbano y de población, con una mayor parte del establecimiento urbano hasta antes de 2001 por lo que las áreas verdes fueron recientemente establecidas, probablemente esta sea la razón de la diferencia con nuestra ciudad y es que a pesar de tener una creciente expansión del tejido urbano, no concentramos alta densidad poblacional, además nuestro crecimiento no se vio limitado ni detenido al año 2001, sin embargo, lo rescatable de las ciudades ya mencionadas es que la inclusión de las áreas verdes fue reciente lo que habla de que aún en situaciones desfavorables puede revertirse el decrecimiento de las áreas verdes urbanas en Cajamarca, considerando como ejemplo el cambio en estas grandes ciudades, y tomamos como

referencia científica estas transformaciones para mejorar su gobernanza urbana, apuntando un desarrollo urbano sostenible.

Existe una estrecha relación entre los componentes naturales especialmente las áreas verdes, y es evidente que en nuestro ámbito fueron el elemento más deteriorado por el proceso de expansión urbana, por lo que se debe apuntar a un desarrollo urbano sostenible, acompañado de una adecuada gestión de las áreas verdes, promoviendo su conservación a través de la formulación de un plan integral municipal (Dinda, et al., 2021).

4.2.3 Relación entre el crecimiento poblacional y áreas verdes.

Para analizar la relación entre el crecimiento poblacional y las áreas verdes del distrito de Cajamarca se creyó conveniente presentar la Tabla 28, con los datos a usar para la aplicación de la correlación de Pearson:

Tabla 28

Datos recopilados

Año	Población distrital (hab)	Tejido urbano distrital (ha)	Vegetación (ha)	Población casco urbano (hab)	Tejido urbano ciudad de Cajamarca (ha)	Vegetación (ha)
1984	90036	211,92	16736,64	87636	211,79	1263,10
1996	132632	384,96	18002,75	103541	382,68	1146,49
2007	188363	883,82	19071,38	162326	843,69	844,86
2023	284383	2275,39	21222,82	227904	1773,25	800,83

De acuerdo a un estudio de Moreno et al. (2021) durante los años 2000 y 2015 la población en las zonas urbanas creció en 21%, en África se dieron los mayores incrementos en las urbes en un 46%, sin embargo, durante estos años se observó un declive de la población metropolitana, en zonas de Europa y Asia en un 45% y 26% respectivamente,

debido a la disminución de las tasas de natalidad y también a procesos de sub urbanización y redistribución de la población a otras zonas más rurales, en el caso del distrito de Cajamarca durante el periodo intercensal 1993 y 2007 se vio un incremento en la población de la ciudad en un 75,6%, mientras que para el periodo 2007 – 2017 el incremento intercensal fue de solo 24,9%, por lo que estos datos se ajustan a la realidad demográfica de países en vías de desarrollo. Es importante mencionar que, como parte de este estudio, se concluyó que el 53% de la población mundial está asentada en ciudades y que entre 2000 y 2015, el crecimiento de la población en el mundo fue relativamente más rápido en las urbes, lo mismo sucedió en nuestro ámbito con un tejido urbano al año 2007 de 883,82 hasta llegar al 2023 con 2275,39 ha de superficie.

Es importante mencionar que un importante indicador de tejido urbano es el suelo edificado per cápita, se sabe que este es mayor en los países ricos que en los países pobres, de acuerdo a la investigación realizada por Dijkstra et al. (2021) en América del Norte es del 400 m² de suelo construido por habitante, en Europa de 160 m²/habitante, 75 m²/habitante en Asia y 50 m²/habitante en África, en el caso del distrito de Cajamarca al año 2023 el tejido urbano ocupa 2 275,39 ha que equivale a 2 275 3900 m² y cuenta con una población de 227 904 habitantes por lo que el suelo edificado per cápita representa 99 m²/habitante.

De acuerdo a un estudio realizado por Ángel et al. (2012) las ciudades maduras que han pasado por ciclo de construcción y redesarrollo, presentan densidad poblacional alta y fragmentación de espacios baja, mientras que las ciudades jóvenes, presentan densidad baja y fragmentación alta, en nuestro caso, la ciudad de Cajamarca tiene una historia de creación que data de antes de la época de los incas, y aunque se podría identificar como una ciudad

madura, no obstante, presenta las características de una ciudad joven y es que de acuerdo a un informe elaborado por CENEPRED (2021), la densidad poblacional a nivel de la urbe varía de entre de entre 1 271-2 personas/ha, con el 47,1% de la población de la ciudad de Cajamarca ubicada entre el quintil 4 y 5, que representa una densidad de 203 – 289/personas/ha y 290 – 1 271 personas/ha, respectivamente, es decir casi la mitad de la población vive en la zona céntrica del distrito de Cajamarca, por otro lado la periferia es dominada por una densidad poblacional de 2 – 72 habitantes/ha, podemos afirmar que por sus características de densidad poblacional se trata de una ciudad joven, con baja densidad poblacional y alta fragmentación en la periferia, probablemente debido a que a pesar que se trata de una urbe impulsada por el asentamiento de la minería, no es comparable con el crecimiento de una ciudad costera, con alta densidad poblacional.

Tocando nuevamente el tema de la densidad, de acuerdo a la investigación realizada por Jiao (2015) una ciudad en constante crecimiento presenta un aumento de su superficie desde el centro hacia los bordes, sin embargo, la densidad del suelo ocupado comienza a disminuir hacia las afueras, coincidiendo con nuestra realidad, y es que en las métricas de densidad expuestas en el párrafo anterior, la ciudad de Cajamarca presenta una densidad en el centro de la ciudad de 1 271-2 personas/ha, mientras que en los suburbios de 2 – 72 habitantes/ha.

Finalmente, según la ONU (2018) en su informe World Urbanization Prospects, afirma que el número de ciudades de menos 300 000 habitantes, creció de entre 634 a 1 772 entre 1979 y 2015, coincidiendo con el crecimiento de nuestra ciudad de Cajamarca durante el periodo evaluado, ya que pasamos de una población urbana de 92 447 personas en 1993 a 227 904 en 2023.

Teóricamente, una ciudad es un entorno dominado y modificado por el ser humano, desarrollado por el proceso de urbanización (Zeng, et al., 2019), en este estudio esta modificación es visible en los mapas de coberturas de los cuatro años estudiados, sin embargo, se requiere una base estadística que corrobore estas afirmaciones, a continuación, se presentan las Tablas 29 y 30 con los resultados de la correlación de Pearson:

Tabla 29

Correlación de Pearson a nivel distrital

Ítem	Población distrital	Tejido urbano distrital	Vegetación
Población distrital	-	0,9791	0,9978
Tejido urbano distrital	0,9791	-	0,9687
Cobertura vegetal distrital	0,9978	0,9687	-

Para un mejor análisis se aplicó correlación de Pearson tanto para las métricas a nivel distrital, como también para las del casco urbano, los resultados de la Tabla 29 muestran que existe una correlación positiva muy fuerte, con valores muy cercanos a 1, lo que habla de una relación directa, es decir, que las variables crecen homogéneamente.

Yu & Zhou (2017) también aplicaron correlación de Pearson a la población y el tejido urbano, como resultado se obtuvo una fuerte correlación positiva de 0,83, lo que sugiere que el tamaño del tejido urbano aumentó con el crecimiento poblacional, demostrando que la población residencial en su mayoría tuvo una tendencia de aumento significativa a nivel de ciudad junto con un aumento del suelo urbanizado, estas correlaciones generalmente respaldan algunos hallazgos previos de que la expansión urbana está impulsada en gran medida por crecimiento demográfico, del mismo modo la correlación de Pearson aplicada para este estudio tuvo un valor de 0,97 a nivel distrital y 0,99 a nivel del casco urbano,

explicando la estrecha relación ya documentada entre crecimiento poblacional y expansión de tejido urbano.

Tabla 30

Correlación de Pearson a nivel del casco urbano

Ítem	Población casco urbano	Tejido casco urbano	Vegetación
Población casco urbano	-	0,9903	-0,9334
Tejido casco urbano	0,9903	-	-0,8769
Cobertura vegetal casco urbano	-0,9334	-0,8769	-

En lo que respecta a la Tabla 30 solo se incluyeron solo las métricas a nivel del casco urbano y se corrobora una correlación positiva muy fuerte entre Tejido urbano y Población del casco urbano, mientras que para los casos de Población del casco urbano y Vegetación del casco urbano se presenta una correlación negativa muy fuerte, del mismo modo para Tejido casco urbano y Vegetación casco urbano, lo que nos habla de una relación inversa, y corrobora nuestra hipótesis de la existencia de una “Relación multitemporal inversamente proporcional entre las áreas verdes y el crecimiento poblacional en el distrito de Cajamarca”.

Estadísticamente, se pudo corroborar la relación inversa entre las variables analizadas, y teóricamente, y que coincide con el estudio realizado por Zhao et al. (2013) realizado en 286 ciudades durante 1989 y 2009 buscaba conocer la tendencia temporal en la cobertura de espacios verdes y su relación con la urbanización, se demostró que la influencia de la urbanización o la expansión urbana es significativa y afirman que expansión del tejido urbano cambia los patrones de uso del suelo, lo que conlleva a la ocupación de áreas verdes, también mencionan que su pérdida está fuertemente correlacionada con los cambios en la

población, por lo que ciudades con un mayor crecimiento en su población pierden más espacios abiertos, porque dónde y cómo se distribuyen las áreas verdes urbanas suele estar enteramente controlado por los seres humanos y las políticas de planificación urbana, lo que significa que el factor institucional también influye significativamente en la distribución, planificación y estado de los espacios verdes en las zonas urbanizadas, en este estudio también se pudo corroborar la correlación entre expansión urbana y áreas verdes, siendo inversamente proporcional, por lo que al crecer una la otra decrece.

Existe evidencia que la presencia de áreas verdes dentro de una ciudad está relacionada íntimamente con el área de la superficie que ocupa la ciudad más que con el número de habitantes, además el acceso a estas áreas podría disminuir rápidamente a medida que las ciudades crecen, aumentando el aislamiento geográfico de las personas de las oportunidades de experimentar la naturaleza (Fuller & Gaston, 2009). En nuestro estudio esta relación estadística también se corrobora, con una correlación negativa muy fuerte entre Tejido y Vegetación a nivel del casco urbano, a nivel distrital solo se pudo corroborar una correlación positiva muy fuerte.

Nuestra ciudad está dominada por entornos artificiales y su crecimiento obedece a una intensa intervención humana en los entornos más naturales, además se sabe que las áreas verdes interior de las ciudades y las superficies de tejido urbano, podrían afectar la distribución de la energía y la radiación de la superficie terrestre, porque la reflejan o absorben de forma diferente, por lo tanto, su presencia juega un papel importante en el entorno atmosférico, el clima local y la formación de islas de calor urbanas, por lo que a mayor superficie artificial y menos áreas verdes, más críticos se vuelven estos fenómenos (Kuang, et al., 2015).

Un concepto bastante usado al describir las ciudades es diferenciar si se trata de urbes policéntricas o monocéntricas para el caso de la ciudad de Cajamarca, podemos afirmar que se trata de una ciudad monocéntrica debido a que aún no sufre concentraciones con sub centros urbanos en la periferia, sino se asienta como una ciudad con un centro único y dominante que se ubica en el centro histórico de la ciudad que es de donde surge la gran oferta de bienes y servicios que satisfacen las necesidades básicas de la población Cajamarquina (Westerink, et al., 2013; Jiao, 2015), sin embargo, es indiscutible que independientemente de la forma del crecimiento urbano se pierden las áreas verdes durante estos procesos de expansión del tejido urbano (Zhao, et al., 2013). En este estudio también se ha encontrado que los cambios en los espacios verdes están relacionados con los procesos de urbanización.

Nuestro estudio, nos permite dilucidar y comparar varias realidades, y es que en muchas ciudades del mundo sobre todo en países en vías de desarrollo, el crecimiento urbano es rápido y desordenado, lo que genera aumento en la presión sobre el entorno natural y, en particular, sobre la cubierta de las áreas verdes (Lin, et al., 2015), es pues evidente que la cubierta vegetal urbana está siendo invadida y degradada gradualmente por el proceso de rápida expansión urbana (Li, et al., 2016), en nuestro estudio esto también es comprobable no solo por las métricas y mapas generados como el de la Figura 20, sino también por los resultados de las correlaciones presentadas en la Tabla 29 y 30. Nuestros resultados, no corresponden a hechos aislados, existen estudios como el de Song et al. (2016) se evidencian fuertes correlaciones entre el crecimiento demográfico y la expansión del tejido urbano, en nuestro caso esta correlación positiva muy fuerte.

4.2.4 Porcentaje y Tasa de cambio.

Como parte del análisis se obtuvo la tasa de cambio durante tres periodos esperados para los 05 tipos de coberturas como se muestra en la Tabla 31, enfocándonos en nuestras variables en estudio, para el caso de la cobertura “Vegetación” la tasa de cambio fue positiva a lo largo de los años, pasado de 7,56% entre 1984 – 1996, a un 5,94% durante 1996 -2007, para finalmente durante el periodo 2007 – 2023 se registrar una tasa de cambio de 11,28%, lo que significa que la vegetación a nivel distrital sufrió aumentos en su superficie. Para el caso de la cobertura “Tejido urbano”, también tuvo un crecimiento sostenido, pasando de 81,65% de tasa de cambio durante 1984 – 1996, a un 129,59% durante 1996 – 2007, para cerrar en 157,45% de tasa de cambio durante el periodo 2007-2023.

Tabla 31

Porcentaje de cambios

Tipo de cobertura	Porcentaje de cambios 1984-1996	Porcentaje de cambios 1996-2007	Porcentaje de cambios 2007-2023
Suelo desnudo/rocas (2)	-6,84	-16,10	-29,97
Vegetación (3)	7,56	5,94	11,28
Tejido urbano (4)	81,65	129,59	157,45
Agua (5)	-12,16	7,45	-18,80
Unidad Minera (6)	-	-	87,59

Como se puede corroborar en la Tabla 32, de los 05 tipos de coberturas, “Suelo desnudo/rocas” y “Agua”, han tenido tasas de crecimiento negativas, mientras que las coberturas “Vegetación”, “Tejido urbano” y “Unidad Minera”, han tenido tasas de cambio positivas en un periodo de 30 años

Tabla 32

Tasa de cambio

Tipo de cobertura	Tasa de cambio 1984-2023
Suelo desnudo/rocas (2)	-242,39 ha/año
Vegetación (3)	115,03 ha/año
Tejido urbano (4)	52,91 ha/año
Agua (5)	-0,57 ha/año
Unidad Minera (6)	85,39 ha/año

En la Tabla 32 se puede observar que durante el periodo 1984 – 2023, la expansión del tejido urbano es evidente con una tasa de cambio de 52,91 ha/año, que no solo conlleva a cambios paisajísticos y escénicos, sino también a un aumento de áreas impermeables, porque se han transformado áreas que antes eran suelo desnudo/rocas o zonas con vegetación a superficies edificadas que son impermeables, generando disminución de las tasas de infiltración y recarga de agua, asociado a eventos de escorrentía, este proceso de expansión urbana causa la sustitución del paisaje natural por un entorno artificial (Viola, et al., 2014; Kuang, et al., 2015).

De acuerdo a Merlotto et al. (2012) la urbanización es uno de los principales causantes de la transformación de la cobertura del suelo, cambiando el entorno de forma radical, su expansión obedece a factores socioeconómicos y políticos, que no son procesos aislados, sino que están ocurriendo en muchas partes del mundo, incluida Latinoamérica. El crecimiento urbano se caracteriza por ser constante, sin planificación y en condiciones deficientes que finalmente afectan la calidad de vida de la población. En el estudio realizado por estos autores durante los 37 años estudiados se reportó un porcentaje de cambios ascendente, pero que decayó en 1990 y 2000, para el caso de este estudio en la

Tabla 25 se puede corroborar un crecimiento sostenido durante los 39 años evaluados, con porcentajes crecientes de 81,65%, 129,59% y 157,45%, porque la población siempre está en búsqueda de mejores condiciones económicas y acceso a una mayor cantidad de bienes y servicios.

En muchas regiones del mundo y durante las últimas tres décadas las tasas de ocupación de suelo urbano son superiores a las tasas de crecimiento de la población urbana, (Seto, et al., 2011), en nuestro estudio esta realidad también puede ser comprobada con tasas de crecimiento del tejido urbano de 81,65%, 129,59% y 157,45% en los últimos 39 años versus un incremento intercensal de la población de 75,6%, 24,9% y 13,0% (INEI, 2018), lo que sugiere que el crecimiento urbano se está volviendo más expansivo que compacto, existiendo muchas ocupaciones en la periferia, dispersas y fragmentadas; en nuestro distrito el uso del suelo para expansión del tejido urbano es mayor que el crecimiento poblacional, si esta realidad continúa, se avecina una demanda mayor de áreas para urbanizar, en vez de áreas ya establecidas que se densifiquen.

En 1975 las ciudades solo ocupaban el 0,21% de la superficie terrestre, de acuerdo a Dijkstra et al. (2021) entre 1975 y 2015 se vio un incremento del suelo urbano en promedio en el mundo de 65%, con mayores aumentos en el sur de Asia con 72%, Asia oriental y Pacífico con 71%, América del Norte con 71%, Europa y Asia Central con 64%, América Latina y Caribe con 54%, África subsahariana con 50%, finalmente Oriente Medio y África del norte con 48%, en el caso de nuestro ámbito se vio una tasa de crecimiento de 81,7% entre 1984 y 1996, 129,6% entre los años 1996 y 2007, y una tasa final de 157,5% para los años 2007 y 2023.

Sun et al. (2020), investigaron a las ciudades con mayor crecimiento demográfico y de tejido urbano en el mundo y se ubican en: Asia (15), África (5), América del Sur (Sao Paulo) y Europa (Moscú). Se concluyó que las tasas promedio de crecimiento demográfico y tejido urbano de las grandes ciudades de los países de ingresos bajos y medianos bajos entre 2000 y 2015 es mayor que la de países de ingresos medios altos y altos, este análisis nos lleva a concluir que nuestra ciudad calza con ciudades de los países de ingresos bajos y medianos bajos, con expansión urbana constante, a un ritmo de 52,91 ha/año.

4.3 Cálculo de las áreas verdes per cápita en la ciudad de Cajamarca al año 2023.

Para el cálculo de áreas verdes per cápita se consideró trabajar con las áreas verdes a nivel del casco urbano del distrito de Cajamarca, las que se muestran en la Tabla 33:

Tabla 33

Áreas verdes mapeadas del casco urbano al año 2023

N°	Nombre	Coordenadas UTM Datum WGS 84, Zona 17S	
		Este	Norte
1	Jardín Jr. Cumbe Mayo	775276,4778	9207577,368
2	Jardinera Jr. José Santos Chocano	773657,5384	9207515,498
3	Jardinera Jr. Juan Villanueva	773398,8114	9208134,823
4	Jardineras Av. Atahualpa	778431,1323	9207229,55
5	Jardineras Av. El Maestro	774693,7575	9207740,843
6	Jardineras Av. El Maestro	775002,5434	9208084,206
7	Jardineras Av. Héroes del Cenepa	776190,5429	9205553,619
8	Jardineras Av. La Cantuta	776530,9593	9207234,855
9	Jardineras Av. La Paz	775210,5007	9206953,333
10	Jardineras Av. Mario Urteaga	775492,5353	9207330,494
11	Jardineras Av. Nuevo Cajamarca	776065,9692	9206089,005
12	Jardineras Av. San Martín	775193,6256	9207365,516
13	Jardineras Av. Tupac Amaru	775819,1138	9205631,676
14	Jardineras Belén-Jr. Junín	774246,735	9207883,69
15	Jardineras Comisaría San José	774018,4039	9208894,696
16	Jardineras Jr. 05 esquinas	774777,9165	9208148,193

Continúa la Tabla 33.

N°	Nombre	Coordenadas UTM Datum WGS 84, Zona 17S	
		Este	Norte
17	Jardineras Jr. Casuarinas	774367,8404	9209022,856
18	Jardineras Jr. Fraternidad	774928,6834	9208453,76
19	Jardineras Jr. José Olaya	775373,4282	9207315,207
20	Jardineras Jr. Los Fresnos	774403,6806	9209022,203
21	Jardineras Jr. Los Pinos	774383,9001	9209254,9
22	Jardineras Jr. Los Sauces	775072,0119	9208415,521
23	Jardineras Jr. Progreso	775038,6623	9207641,624
24	Jardineras Jr. Tayabamba	774715,5613	9209021,689
25	Jardineras Jr. Urrelo	774717,2119	9208298,809
26	Jardineras Jr. San Luis	775394,0417	9207457,444
27	Jardineras Leoncio Prado	774912,8395	9208195,101
28	Jardineras Prolongación Chanchamayo	773473,9977	9209605,413
29	Jardineras Prolongación Guadalupe	774943,9884	9208410,218
30	Jardineras Prolongación Revilla Pérez	774570,1746	9208671,132
31	Jardineras Psje. San Juan	774967,0788	9207809,28
32	Jardineras Santa Apolonia	774079,2092	9207886,107
33	Jardineras Sedacaj	773706,6223	9207713,016
34	Jardineras Sucre	775136,8033	9207231,371
35	Jardineras Vía de Evitamiento Norte	775388,7542	9208192,954
36	Jardineras Vía de Evitamiento Sur	777637,7051	9205737,135
37	Parque Amauta	773558,016	9209610,19
38	Parque Aranjuez	775455,9104	9206816,022
39	Parque Astopilco	776134,343	9209033,513
40	Parque Ayacucho	775004,4692	9208172,248
41	Parque Casuarinas	774348,084	9209011,335
42	Parque Chontapaccha	773347,5303	9208995,263
43	Parque Clínica San Francisco	775020,9303	9208072,211
44	Parque Comisaría San José	774028,2861	9209023,155
45	Parque de las Orquídeas	773659,4578	9209307,012
46	Parque Ecológico	773843,8134	9209186,052
47	Parque Fonavi II	775269,1137	9209142,652
48	Parque Francia	773420,8983	9208831,948
49	Parque Gladiolos	774373,7497	9208791,52
50	Parque Guadalupe	774728,7851	9208724,184
51	Parque Horacio Zevallos	775709,6654	9208967,769
52	Parque Huancavelica	774045,039	9209172,978

Continúa la Tabla 33.

N°	Nombre	Coordenadas UTM Datum WGS 84, Zona 17S	
		Este	Norte
53	Parque Huaraz	773865,0112	9209088,048
54	Parque Jequetepeque	774166,0586	9208844,447
55	Parque Jr. Leoncio Prado	774751,7788	9208463,903
56	Parque Jr. Los Cipreces	774601,6455	9209249,052
57	Parque Jr. Los Eucaliptos	774749,5655	9209284,94
58	Parque Jr. Los Saucos	774825,4846	9209428,307
59	Parque La Justicia	774942,7311	9209317,639
60	Parque La Madre	775190,3721	9207586,266
61	Parque La Merced - Amancaes	775240,2145	9208528,718
62	Parque Las Flores	773942,3459	9208546,404
63	Parque Las Torrecitas	775907,2473	9209084,282
64	Parque los Nogales	774507,9	9209034,519
65	Parque Los Rosales	773523,0714	9209218,773
66	Parque Prolongación Chanchamayo 1	773776,3724	9209072,969
67	Parque Prolongación Chanchamayo 2	773704,4002	9209150,399
68	Parque Prolongación Chanchamayo 3	773722,3123	9209128,953
69	Parque Ramon Castilla-2	774953,7365	9207942,855
70	Parque Santa Apolonia	774082,0198	9207828,591
71	Parque Santa Rosa-1	776773,9573	9205401,753
72	Parque Santa Rosa-2	776870,5178	9205443,717
73	Parque Santa Rosa-3	776891,3097	9205413,156
74	Parque Vía de Evitamiento Norte-1	774963,9497	9209475,247
75	Parque Vía de Evitamiento Norte-2	775043,6762	9209461,864
76	Parque Villa Universitaria	776025,8431	9207492,844
77	Parque Virgen de las Mercedes	775350,0133	9208631,595
78	Plaza de Armas	774191,7912	9208151,024
79	Plazuela Amalia Puga	774649,4133	9207781,162
80	Plazuela Belén	774277,6484	9207892,261
81	Plazuela Bolognesi	774915,0756	9207433,201
82	Plazuela Haya de la Torre	775376,2476	9207589,747
83	Plazuela Irene Silva	775353,722	9208986,48
84	Plazuela Jr. Baños del Inca-1	775068,3691	9207741,602
85	Plazuela Jr. Baños del Inca-2	775118,9134	9207796,159
86	Plazuela La Colmena	775168,4157	9208147,705
87	Plazuela las Monjas	774410,8277	9207978,11
88	Plazuela Luis Alberto Sánchez	776749,3162	9204991,397

Continúa la Tabla 33.

N°	Nombre	Coordenadas UTM Datum WGS 84, Zona 17S	
		Este	Norte
89	Plazuela Manuel Cacho Sousa	775099,5689	9208406,561
90	Plazuela Miguel Grau	774870,7943	9208102,392
91	Plazuela Ramón Castilla	775143,6043	9207696,132
92	Plazuela San Luis	775271,1194	9208836,62
93	Plazuela San Martín	775851,1152	9206946,109
94	Plazuela San Pedro	773693,7926	9208275,647
95	Plazuela Vicente Pita-1	773196,0188	9207997,314
96	Plazuela Vicente Pita-2	773210,5797	9207971,016
97	Plazuelas Urb. Docente 1	776885,9777	9206620,737
98	Plazuelas Urb. Docente 2	776768,6651	9206526,405
99	Plazuelas Urb. Docente 3	776697,1239	9206461,15
100	Qhapac Ñan	776575,7294	9207303,854
101	Rotonda Fonavi	775320,7542	9209058,73
102	Santa Apolonia	773971,9588	9207763,784

Para un mejor análisis se decidió agrupar a las áreas verdes urbanas por categorías, como se muestra en la Tabla 34 y se obtuvo un área total de 281525,11 m² a nivel del casco urbano de la ciudad de Cajamarca, siendo el Qhapac Ñan el área verde urbana con mayor cantidad de m² disponibles, por otro lado, una característica importante de mencionar es la gran cantidad de jardineras a lo largo de nuestra ciudad.

Tabla 34

M² de áreas verdes en casco urbano de Cajamarca

N°	Área Verde Urbana	Área (m ²)
1	Jardineras	47 807,95
2	Parque	49 878,23
3	Plaza	9 228,07
4	Plazuela	25 790,17
5	Qhapac Ñan	122 694,39
6	Santa Apolonia	26 126,29
	Total	281 525,11

La Figura 24 muestra la distribución de las áreas verdes urbanas a nivel de nuestra ciudad, con una fuerte dominancia en el Qhapac Ñan.

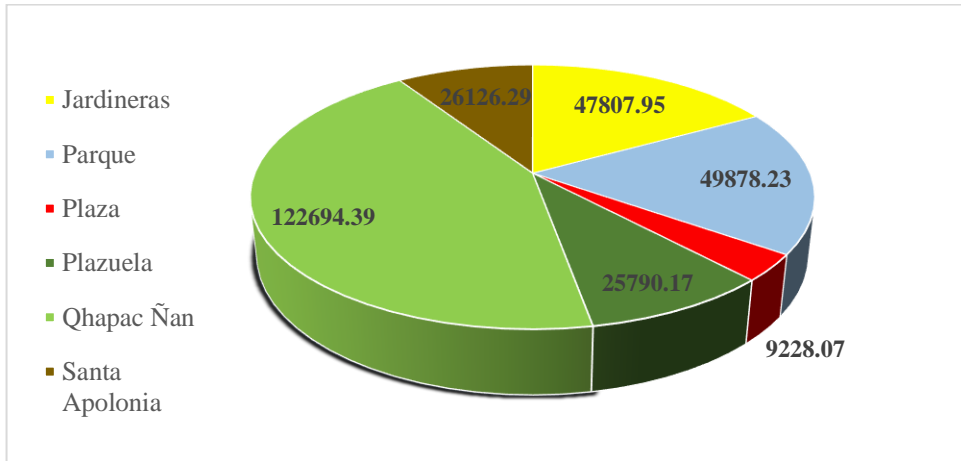


Figura 24: Gráfico de distribución de las áreas verdes urbanas en Cajamarca.

Para calcular los m² per cápita se utilizó una población de 227904 habitantes y 281 525,11 m² de áreas verdes, resultando 1,2 m²/habitante de áreas verdes per cápita a nivel de la ciudad de Cajamarca, si comparamos esta métrica con los datos de la web denominada “Indicador: Superficie de área verde urbana por habitante en Lima Metropolitana del MINAM (2018) en la que se registró que al año 2018 el promedio de áreas verdes a nivel de Lima es 4,92 m²/habitante, resulta que nos supera en más de tres veces, el listado completo de los distritos de Lima con este indicador puede ser observado en la Tabla 4.

Basándonos en Indicador de áreas verdes citado en el párrafo anterior, el distrito de Santa María del Mar es el que posee mayor de áreas verdes per cápita con 31,54 m²/habitante, sin embargo, es un distrito con una población de 1049 personas (INEI, 2018), otro distrito con gran cantidad de superficie de áreas verdes es San Isidro con 22.09 m²/habitante y una población de 65333 personas (INEI, 2018), Miraflores es otro distrito a mencionar con 103090 personas (INEI, 2018) y 13,84 m²/habitante, los distritos

enumerados cuentan con la mayor cantidad de área verde per cápita a nivel de Lima, no obstante, si comparamos con nuestro estudio la diferencia tanto a nivel de habitantes y área verde salta a la vista. En lo que respecta a los distritos con menor área verde per cápita a nivel de Lima ubicamos en último lugar a Pucusana con 0,11 m²/habitante y un total de 15125 personas que se asientan en este distrito (INEI, 2018), le sigue el distrito de Villa María Del Triunfo con 0,37 m²/habitante y una población de 424064 personas (INEI, 2018) y Pachamac con 121982 habitantes (INEI, 2018) y 0,85 m²/habitante.

Tanto los máximos como los mínimos presentados en el párrafo anterior no son comparables con nuestra realidad, tanto a nivel de población como a nivel del indicador de áreas verdes, empero, fueron presentados con el fin de informar y dar conocer la realidad en el ámbito de áreas verdes per cápita a nivel nacional. Resulta necesario pues, que para ser comparable elijamos distritos con una población semejante a la de nuestro estudio, por lo que elegimos al distrito El Agustino que posee una población de 212165 habitantes (INEI, 2018), y 1,37 m²/habitante, comparable con el 1,2 m²/habitante de la ciudad de Cajamarca y sus 227904 personas, otros distritos con población parecida es La Victoria con 189083 habitantes y 2,62 m²/habitante. Estas comparaciones realmente reafirman una similitud en la realidad nacional de la presencia de áreas verdes y la nula y escasa preocupación de las autoridades por gestionarlas, mejorarlas, repotenciarlas y ampliarlas, se vislumbra una realidad acentuada en nuestro país con escasa preocupación por las áreas verdes del país (MINAM, 2018).

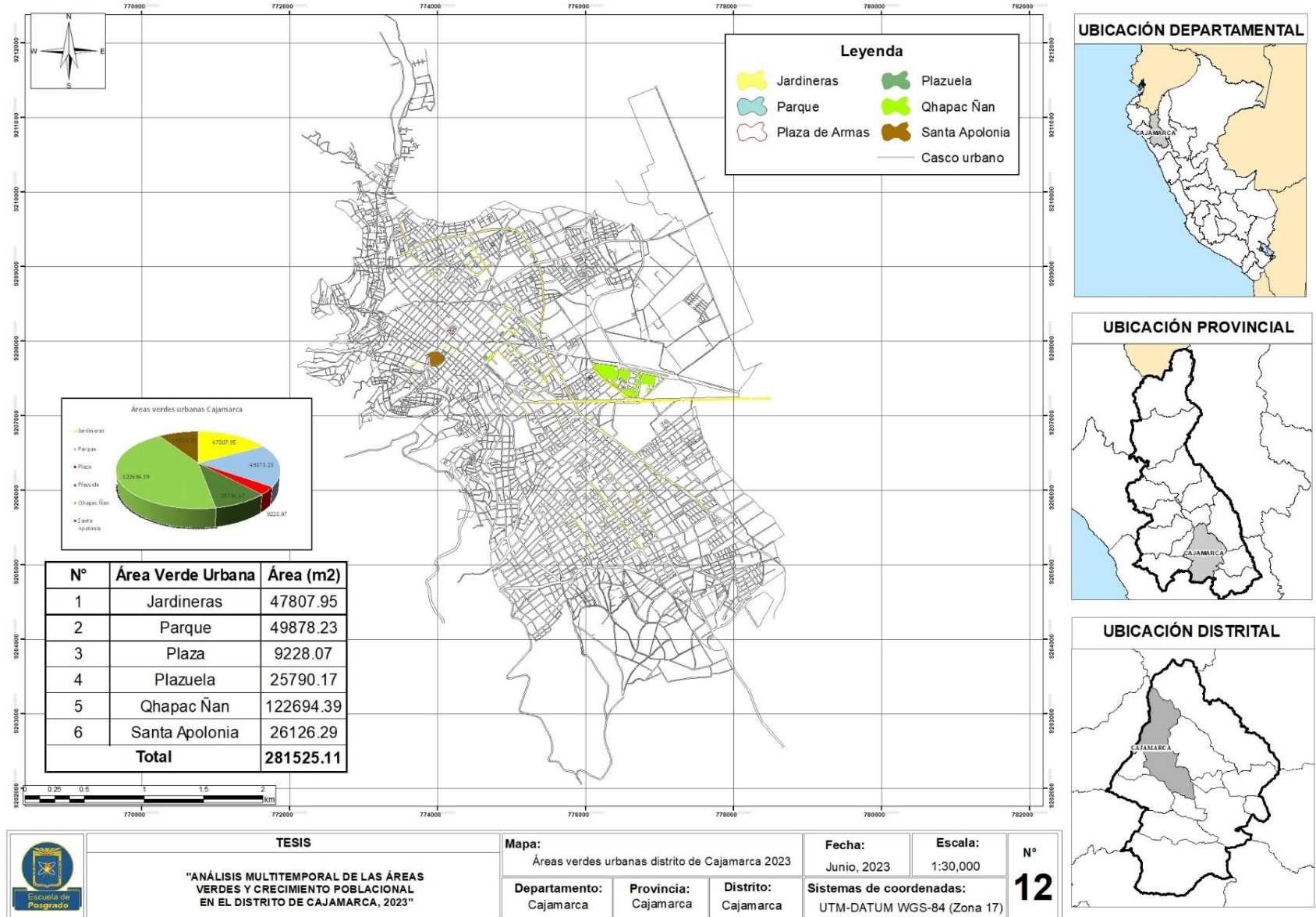


Figura 25: Mapa de áreas verdes en el casco urbano de la ciudad de Cajamarca.

Por otro lado, la Organización Mundial de la Salud recomienda una superficie de mínimo 9 m² de áreas verdes por habitante (Robles, et al., 2015), este es un importante indicador de calidad de vida desde el punto de vista ambiental, a nivel de nuestra ciudad de Cajamarca solo poseemos 1.2 m²/habitante, lo que habla de una real deficiencia de estos espacios, y de los bienes y servicios como regulación del clima urbano, absorción de contaminantes, amortiguación del ruido, captación de agua de lluvia para dar paso a la percolación y/o infiltración, intervención en el ciclo del agua porque realizan un pretratamiento cuando el agua corre por los mantos verdes, atenuando en alguna medida e interceptando partículas y sedimentos antes de su ingreso en el alcantarillado, proveen de hábitats, albergan biodiversidad, etc. (Meza y Monzada, 2010).

Es importante mencionar que la cobertura del tipo “vegetación” al año 2023 posee un área de 800,83 ha solo a nivel del casco urbano (Tabla 25), de las que solo el 3,5% representa áreas verdes urbanas en forma de parques, jardines, etc. En ciudades como Hangzhou las áreas verdes urbanas ocupan el 40% del área de la ciudad, llegando a unos 15 m² per cápita y más del 90 % de la población de la ciudad tiene fácil acceso, esto se logró con la demolición de fábricas, la modernización de áreas verdes urbanas, arborización de riberas, instalación de árboles a lo largo de las calles de la ciudad, etc. En ciudades de los Estados Unidos se está optando por transformar los callejones traseros (Wolch, et al., 2014)

Un ejemplo de una ciudad ideal es Ljubljana en Eslovenia en el año 2016 fue galardonada como la Capital Verde Europea al poseer 560 m²/habitante de áreas verdes, y prácticamente todas sus zonas residenciales se encuentran dentro de un radio de 300 m del área verde pública, esto se logró mediante políticas públicas se enfocaron en restaurar,

rehabilitar y conservar sus áreas verdes urbanas existentes (Russo & Giuseppe, 2018). Otra ciudad digna de mencionar es Singapur con la mitad de su superficie cubierta por áreas verdes (Gaw, et al., 2019), y más del 80% de los hogares se ubican a solo 10 minutos a pie de un parque, sin embargo, se estableció como objetivo que el 90% de las viviendas puedan tener este acceso al año 2030 (Ministry of the Environment and Water Resources, & Ministry of National Development, 2014). En ciudades como como Berlín , Alemania, se planteó como objetivo proporcionar $> 6m^2$ de espacio verde urbano por persona, mientras que el gobierno del Reino Unido quiere proporcionar un área > 2 ha dentro de los 300 m de las casas de los residentes de la ciudad. Esta creciente preocupación por la presencia de áreas verdes en la ciudad llevó a la Agencia Europea de Medio Ambiente a recomendar que los espacios verdes deberán ser accesibles para las personas dentro de 15 pasos (Kabisch, et al., 2016). Todas estas son muestras de la creciente preocupación en el mundo por mejorar las condiciones de las áreas verdes urbanas por lo que nuestra ciudad no debe ser ajena a esta tendencia.

Los beneficios que generan la presencia de áreas verdes, también se enfocan al bienestar social, porque son espacios de esparcimiento y recreación, permiten reforzar la identidad de los barrios, son espacios culturales, de convivencia, son espacios estéticos, el hecho de convivir con espacios verdes estimular el sistema sensorial y relaja, irradia energías positivas que atenúan el estrés (Rapoport, et al., 1983; Terkenli, et al., 2020; Chen, et al., 2022). Las áreas verdes también contribuyen a la cohesión social, ya que alientan a las personas a salir y realizar actividades sociales (Wan, et al., 2021).

De acuerdo a los hallazgos de Sun et al. (2020) la población que goza de mayor cantidad de áreas verdes urbanas pertenece a países de ingresos medianos altos y altos, la

diferencia es que los países de ingresos altos siempre han gozado de áreas verdes incluso hasta antes del 2001, mientras que los países de ingresos medianos altos aumentaron significativamente la superficie de áreas verdes entre 2001 y 2018, antes del 2001 la presencia de estas áreas era relativamente bajo en las urbes, contrastando con nuestra realidad, nuestro acceso a las áreas verdes es limitado, al tratarse de un país en vías de desarrollo que todavía no satisface necesidades básicas de alimentación, vivienda, educación, salud, agua, desagüe, etc., por lo que su prioridad no apunta a satisfacer primero las necesidades básicas de su población, sin embargo, también resulta importante incluir medidas que favorezcan la inclusión de áreas verdes urbanas y mejorar el entorno de vida urbano.

Pues bien, la escasa área verde per cápita a nivel de nuestro distrito y los nulos esfuerzos por gestionarlas, también nos privan de implementar espacios que promuevan mecanismos para la adaptación y mitigación climática, siendo reconocidos y promovidos por El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático del mismo modo la Agenda 2030 de la ONU bajo el ODS 11 (Ciudades y comunidades sostenibles) (Xu et al., 2020), el Convenio sobre la Diversidad Biológica, la Estrategia de Biodiversidad para 2020 y la Estrategia de Infraestructura Verde de la Comisión Europea (Ghasemi, et al., 2022), lo que habla de una real oportunidad perdida para formar parte de la lucha contra el cambio climático.

Proximidad

La proximidad describe principalmente la posibilidad de caminar hacia las áreas verdes, en la ciudad de Cajamarca de acuerdo a la Figura 26, la ubicación de las plazuelas se engloba tanto en el centro y norte de la ciudad, siendo la zona sur de la ciudad la que

presenta menor cantidad de éstas, por lo que es la zona más desfavorecida y con mejor acceso y proximidad a estas áreas. Es importante mencionar que es apreciable que la existencia de todas estas plazuelas a nivel del casco urbano, no tienen un real alcance, y son limitadas. Lo mismo ocurre con los parques, con ausencia de los mismos tanto al sureste y suroeste del casco urbano, con una limitada presencia en la zona sur, la diferencia con la zona norte de la ciudad es abismal y es perfectamente retratada en la Figura 26.

Analizando a un nivel macro, tanto parques como plazuelas no abarcan muchas zonas de nuestra ciudad y la diferencia en su ubicación y acceso es visible, beneficiando solo a un sector de la ciudad, por lo que muchos habitantes de la ciudad de Cajamarca no tienen acceso a estas áreas verdes. Existen autores como Jacobs (1961) que creen que de todos los espacios verdes urbanos los parques, son las áreas más valiosas, porque a menudo contrastan directamente con la vida urbana agitada y densa, empero, la presencia de un área verde por sí mismo no necesariamente puede ser percibido como beneficioso para toda la población, pues existen percepciones negativas cuando se trata de áreas congestionadas, descuidadas, sin mantenimiento e inseguras, que puede producir disminución o evitar su uso (Boone, et al., 2009; Wan, et al., 2021), en nuestro ámbito, el mejor ejemplo de un área verde congestionada es el Qhapac Ñan, a pesar que cuenta con la superficie más amplia a nivel de la ciudad, ya no se abastece, sobre todo los fines de semana se encuentra saturado y con escaso mantenimiento.

También existe mucha evidencia de los beneficios de la proximidad de las áreas verdes a las personas, pero no desde el punto de vista ambiental, sino más bien social como se menciona en el estudio de De Keijzer et al. (2019), que asocia el contacto con espacios verdes con la menor pérdida de la velocidad al caminar, a mayor presencia y proximidad

de verdor en los alrededores de las viviendas se vinculan a un mejor funcionamiento físico a edades más avanzadas, declive de la vejez, disminución más lenta de la velocidad al caminar y la fuerza de agarre, lo que promueve mayores niveles de calidad de vida y la vida independiente en la vejez, además se ha asociado con una menor morbilidad y mortalidad.

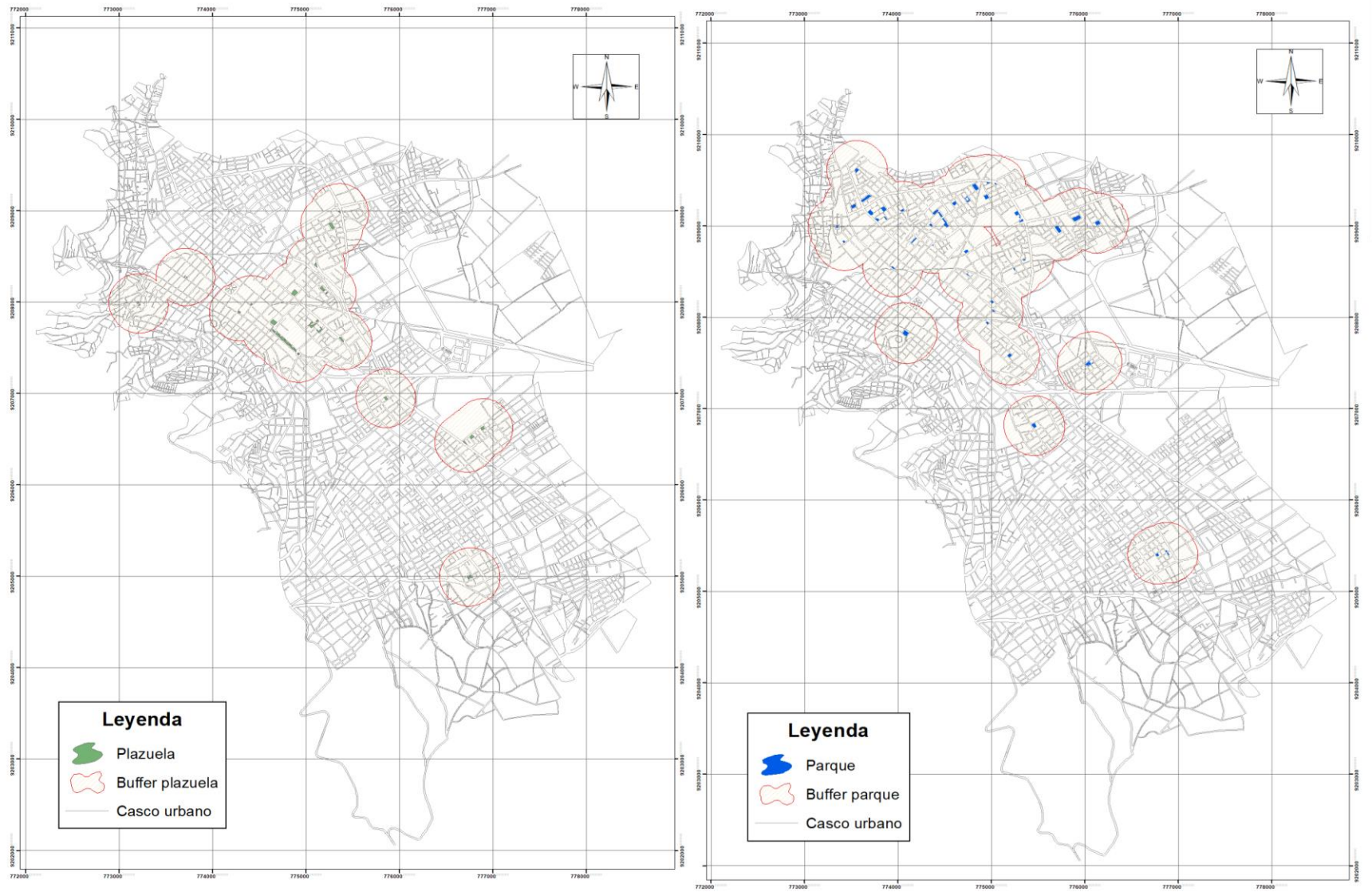


Figura 26: Buffer para plazuelas y parques.



Figura 27: Buffer para plaza y Santa Apolonia.

Las Figuras 26 y 27, nos muestran un limitado acceso a los espacios verdes para los habitantes de la ciudad de Cajamarca, el buffer de influencia abarca algunos sectores con mayor presencia de áreas verdes, pero otros en cambio, no cuentan con su presencia por lo un sector de la población se encuentra desfavorecido, sin embargo, este no es un fenómeno aislado para nuestra ciudad, ya que en muchas zonas del mundo la urbanización desordenada va acompañada de una creciente desigualdad porque no toda la población tiene acceso a estas áreas. Una de las principales estrategias para lograr la justicia en las ciudades es distribuir adecuadamente los servicios públicos, para que todos los habitantes tengan acceso a estos servicios (Ghasemi, et al., 2022).

La desigualdad urbana respecto al acceso de las áreas verdes en muchas partes del mundo se encuentra sesgada hacia los más ricos, contrastando con la realidad de los hogares de bajos ingresos que cuentan con el peor acceso a estos espacios (Sharifi, et al., 2021). Incluso autores como Evangelio et al. (2019) muestran que las viviendas cercanas a áreas verdes a menudo se comercializan a un precio superior, por lo que los hogares con menor poder adquisitivo tienen un menor acceso a estas áreas, en nuestra realidad estos factores deben ser analizados, sin embargo, podemos afirmar que sí existe una distribución desigual y orientada a zonas con mayores ingresos, en la Figura 22 la Urbanización el Ingenio es una de las zonas que goza de mayor cantidad de áreas verdes urbanas, siendo de conocimiento común que es un área residencial con un mayor nivel de vida y mayor poder adquisitivo.

Como alternativa de solución en muchas parte del mundo se han promovido intervenciones para aumentar las áreas verdes en zonas desfavorecidas, sin embargo, la mala planificación y proyección, suscita que los habitantes de estas áreas que gozan de

menor poder adquisitivo se vean obligados a mudarse, creando segregación social, esto se debe a que al mejorar su entorno se vuelven áreas más deseables y los costos de vivienda pueden aumentar (Harris, et al., 2020), lo que lleva a problemas de gentrificación y a una desigualdad más grave (Wu, et al., 2022). La gentrificación se puede definir como el desplazamiento y/o exclusión de los habitantes de un barrio con escasas áreas verdes que se busca beneficiar con cualquier tipo de actividad orientada a la mejor de estos espacios y que una vez concluidas estas mejoras pueden conllevar a alquileres más altos, por lo que muchos de ellos se pueden ver obligados a abandonar sus viviendas y terminar en vecindarios menos deseables con problemas similares de escases de áreas verdes (Wolch, et al., 2014).

La carencia de justicia ambiental surge cuando se demanda equidad social y búsqueda de un entorno igualitario, la distribución desigual de las áreas verdes promueve desigualdad, y limita a la población a gozar de condiciones de vida adecuadas y saludables, y a beneficiarse de los bienes y servicios que las áreas verdes proveen (Jie, et al., 2023; Chen, et al., 2023). Este escenario se relaciona también con el tipo de escenario urbano: policéntrico o monocéntrico, siendo más equitativa una ciudad policéntrica porque se dispersa desde el centro de la ciudad hacia los subcentros en los suburbios donde hay más espacios disponibles, y con cada subcentro con áreas verdes independientes, para el en el caso de nuestra ciudad como se trata de una urbe monocéntrica que puede explicarse la brecha de desigualdad en la distribución de estas áreas con la forma de la urbanización (Westerink, et al., 2013).

Finalmente, el alcance de las áreas verdes urbanas en nuestra ciudad es limitado, no cubriendo las necesidades de toda la población, además las posibilidades de incrementar

sus áreas son escasas, ya que la presión ejercida por el crecimiento poblacional y la ocupación del suelo densificó el tejido urbano y las posibilidades de ampliación dentro de la urbe son exiguos, no obstante, se puede apuntar a mejorar la calidad y optimización de los espacios existentes y es que producto de este estudio se hizo evidente que las áreas mapeadas no cuentan con comunidades vegetales estructuradas, interconectadas, diversas, por lo que urge su mejora, sin embargo, se tiene que considerar que el aumento de la densidad de las plantaciones causa pérdida del vigor y las prácticas de manejo inadecuadas también conllevarán al deterioro de estas áreas (Meza, et al., 2017). Pero apuntando a una mejora de las áreas verdes ya mapeadas un importante factor que debería ser considerado es la presencia de árboles y césped porque fomentan un mayor uso de los espacios al aire libre, la percepción del verdor dentro del entorno también motiva a la gente a usar las áreas verdes, pero también la percepción de seguridad en el entorno (Wan, et al., 2021).

Pues bien, comparando con otros estudios resulta evidente que una mayor demanda de viviendas se traduce a una distribución más inequitativa de las áreas verdes, está comprobado que esta expansión supone una mayor presión sobre los espacios verdes (Westerink, et al., 2013), en nuestro estudio esta realidad también fue verificada tanto numéricamente como gráficamente.

4.4 Inferencia del escenario futuro en relación a las áreas verdes y crecimiento poblacional en el distrito de Cajamarca.

Se tomó como año inicial 1984 y año final 2023, para analizar el escenario de un tercer momento no conocido se tomó como referencia los años 2030, 2040 y 2050, mediante la fórmula de Alva y Meléndez (2009), que es un método de interpolación aritmética:

Tabla 35*Escenarios futuros para el distrito de Cajamarca*

Año	Tipo de cobertura	
	Vegetación (ha)	Tejido urbano (ha)
2030	22028,03	2645,76
2040	23178,33	3174,85
2050	24328,64	3703,95

Para la Tabla 35, se muestran los resultados de los escenarios futuros al año 2030, 2040 y 2050, para ambas coberturas analizadas se tiene previsto que a nivel distrital se tengan incrementos sostenidos, siendo el incremento mayor la expansión del tejido urbano con una ampliación en promedio de 529,09 ha durante un periodo de 10 años, sin embargo, este incremento no solo se da a nivel de la ciudad sino en las zonas aledañas, siendo los centros poblados y otros centros urbanos, los que también sufrirán expansión y crecimiento sostenido. Al año 2050 las 3 703,95 ha de tejido urbano a nivel distrital representarán un 9,8% de la superficie distrital ocupada, frente al 6% al año 2023. En lo que respecta a la cobertura vegetación en un periodo de 10 años se incrementará en 1 150,31 ha a nivel del distrito, y es que la superficie distrital presenta muchas superficies con vocación forestal agrícola y ganadera, por lo que su uso y explotación es posible conforme la demanda de recursos esté en alza.

Tabla 36*Escenarios futuros para la ciudad de Cajamarca*

Año	Tipo de cobertura	
	Vegetación (ha)	Tejido urbano (ha)
2030	717,86	2053,51
2040	599,33	2453,89
2050	480,80	2854,26

Para la Tabla 36, los escenarios a predecir son los mismos años, sin embargo, este análisis se realizó solo a nivel del casco urbano de Cajamarca, y se visibiliza una disminución de la “Vegetación” de 118,5 ha en un periodo de 10 años, por lo que al año 2050 solo se tendría 480,80 ha, de acuerdo a las métricas generadas. En lo que respecta al “Tejido urbano”, el crecimiento es sostenido, siendo de 400,37 ha durante un lapso de 10 años, por lo que al año 2050 se tendrá una superficie gris de 2 854,26 ha, la diferencia con los resultados de la Tabla 35, es que este análisis solo ocupa métricas a nivel del casco urbano de la ciudad y no de las zonas aledañas.

Un estudio reciente de Chai & Seto (2019), mencionan que en el 2018 el 26,5% de los habitantes vivían en asentamientos con menos de 500 000 habitantes y representan el 48% de la población urbana, estos autores afirman que la mayor parte del crecimiento urbano futuro se va a producir en pequeñas y medianas ciudades, se sabe pues que solo el 6,9% de la población mundial vive en megaciudades con más de 10 millones de habitantes, pero además, sólo una de cada cuatro personas vive en una ciudad de más de 1 millón de habitantes. Por lo que en adelante la mayoría de la población urbana del mundo vivirá en asentamientos urbanos más pequeños (ONU, 2018).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

Durante los 39 años analizados la cobertura “vegetación” fue dominante con un 55,95% de cobertura, con un suelo que se mantuvo productivo en el sector ganadero, forestal y vegetación ribereña. Los mapas de cobertura generados presentan un índice de Kappa que varía entre 0,92 hasta 0,98 y se traducen en una precisión “casi perfecta”, lo que habla de un análisis de superficie con alta confiabilidad.

Se verificó crecimiento del “tejido urbano” en 1561,46 ha con una pérdida a nivel de la ciudad de Cajamarca de 462,27 ha de vegetación y 1088,11 ha de suelo productivo en a favor de la superficie gris, provocando cambios morfológicos y paisajísticos en el valle e induciendo procesos expansivos y no compactos, además de procesos de microubanización que produjo fragmentación de espacios.

El área verde per cápita de la ciudad de Cajamarca es de 1.2m²/habitante, con una fuerte tendencia de ubicación en la zona norte y centro de la ciudad, mostrando una carencia de estos espacios en la zona sur generando segregación y desigualdad respecto al acceso, uso y disfrute de estas áreas, debido a que gran parte de la población no goza de los múltiples bienes y servicios ecosistémicos que las áreas verdes proveen.

Se prevé que en el distrito de Cajamarca la cobertura vegetal tendrá un incremento de 1150,31 ha en un periodo de 10 años, del mismo modo el tejido urbano seguirá creciendo tanto en la ciudad de Cajamarca como en otros centros urbanos aledaños con 529,09 ha en el mismo lapso de tiempo. La vegetación a nivel de la ciudad de Cajamarca tendrá una pérdida de 118,5 ha en un periodo de 10 años.

Se propone realizar estudios de simulación del crecimiento de la ciudad mediante modelos de micro proceso geográfico (GMP), o también denominado "gradiente de densidad", buscando medir la compacidad de nuestra urbe mediante modelos matemáticos (densidad poblacional y uso del suelo), y evaluar la dinámica urbana desde otro punto de vista más geográfico. Otra forma de estudiar la ciudad y sus cambios es estudiando la compacidad del suelo urbano, patrones de cambio y predicciones futuras de la mancha urbana que brinden datos más precisos para una mejor planificación, orientada a una ciudad más compacta, buscando contribuir a un mejor ordenamiento territorial, pero sobre todo a un uso del suelo sostenible

Se recomienda realizar un estudio mediante la aplicación de la función S inversa de densidad del suelo urbano, con el fin de realizar un análisis más profundo de los cambios en la morfología espacial urbana en la ciudad de Cajamarca, además del uso de datos de luz nocturna mediante datos de imágenes Landsat, y aplicación de análisis estadísticos de los procesos espaciales y temporales, que incluye la tasa de expansión la intensidad e índice de diferenciación de la intensidad de expansión; pero también mediante el cambio morfológico urbano (compacidad e índice de forma y patrón de expansión) y análisis espacial. La obtención de esta data, permitirá una mejor comprensión del crecimiento urbano en el contexto de expansión urbana global, y por consiguiente dilucidar como las actividades socioeconómicas humanas influyen en el desarrollo del entorno.

Una de las principales limitaciones de los estudios comparativos globales sobre la caracterización cuantitativa de la forma urbana es la falta de datos especialmente para las ciudades del hemisferio sur, esto oscurece la comprensión espacial de las ciudades ubicadas en África, Asia y América Latina. Para ver variaciones a nivel micro en la densidad del

suelo edificado, ahora se emplean con frecuencia métricas de expansión urbana para categorizar cuantitativamente los píxeles edificados individuales en varias tipologías espaciales basadas en la densidad, como núcleo urbano, periferia urbana y desarrollo disperso, por lo que se propone realizar estudios en esta línea en nuestra ciudad.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abass, Kabila; Buor, Daniel; Afriyie, Kwadwo; Dumedah, Gift; Segbefi, Alex; Guodaar, Lawrence; Garsonu, Emmanuel; Adu, Samuel; Forkuor, David; Ofosu, Andrews; Mohammed, Abass; Gyasi, Razak. (2020). Urban sprawl and green space depletion: Implications for flood incidence in Kumasi, Ghana. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. ISSN 2212-4209, 51. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2020.101915>
- Acco, I. (2021). Transformaciones socio-espaciales producto de los cambios de cobertura y uso del suelo del distrito y provincia de Hualgayoc - departamento Cajamarca. Años 2002-2017. *Universidad Nacional Mayor de San Marcos Universidad del Perú. Decana de América Facultad de Ciencias Sociales Escuela Profesional de Geografía*, 1-241.
- Adame, S., Sánchez, R., & Hoyos, G. d. (2020). Factores socioterritoriales de cambio de uso de suelo en el centro de México. Caso oriente de la Zona Metropolitana de Toluca, México. *Factores socioterritoriales de cambio de uso de suelo en el centro de México. Caso oriente de la Zona Metropolitana de Toluca, México Revista Universitaria de Geografía*, vol. 29, núm. 1, 2020.
- Adator, S., Wu, Q., Lambongang, M., Otoo, S., Bosah, C., & Nimako, K. (2023). Farmers' perception of the impact of gold mining on shrinking agricultural land and their livelihood in the Asutifi-North District. *Resources Policy*, 81, 103-379. doi:<https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103379>.

- Ahirwal, J., & Maiti, S. (2016). Assessment of soil properties of different land uses generated due to surface coal mining activities in tropical Sal (*Shorea robusta*) forest, India. *Catena*, *140*, 155 - 163. doi:10.1016/j.catena.2016.01.028
- Alva, M., & Meléndez, J. (2009). Aplicacion de la Teledeteccion para el analisis multitemporal de la regresion glaciara en la Cordillera Blanca. . *Investigaciones Sociales. UNMSM/IIHS*, *13*(22), 71-83. doi: <https://doi.org/10.15381/is.v13i22.7216>
- Ángel, S., Parent, J., & Civco, D. (2012). The fragmentation of urban landscapes: Global evidence of a key attribute of the spatial structure of cities, 1990-2000. *Environment and Urbanization*, *24*(1), 249-283. doi:10.1177/0956247811433536
- Arias, O. (2021). Relación de la riqueza de aves y flora de las áreas verdes de la ciudad de Cajamarca. *Universidad Nacional de Cajamarca - Unidad de Posgrado*, 1-139.
- Arshad, A., Ashraf, M., Sundari, R. S., Qamar, H., Wajid, M., & Hasan, M.-u. (2020). Vulnerability assessment of urban expansion and modelling green spaces to build heat waves risk resiliency in Karachi. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. ISSN 2212-4209, *46*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2019.101468>
- Atakara, C., & Allahmoradi, M. (2021). Investigating the urban spatial growth by using space syntax and gis—a case study of Famagusta city. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, *10*(10), 638. doi:10.3390/ijgi10100638
- Bai, X., & Xu, H. (2023). Understanding spatial growth of the old city of Nanjing during 1850–2020 based on historical maps and Landsat data. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, *26*(1), 25-41. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2022.12.005>.

- BCRP. (2019). Informe Económico y Social Región Cajamarca. 1-206. Obtenido de <https://www.bcrp.gob.pe/docs/Proyeccion-Institucional/Encuentros-Regionales/2019/cajamarca/ies-cajamarca-2019.pdf>
- Belal, A., & Moghanm, F. (2011). Detecting urban growth using remote sensing and GIS techniques in Al Gharbiya governorate, Egypt. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*. ISSN 1110-9823, 14, 73-79. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2011.09.001>.
- Biney, E., Biney, N., Dadzie, I., Harris, E., Quartey, G., Asare, Y., . . . Forkuo, E. (2017). Impact of mining on vegetation cover: A case study of Prestea Huni-Valley municipality. *Scientific African*, 17(e01387). doi:<https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2022.e01387>
- Blancarte, R. (2016). La relación entre las áreas verdes y la calidad de vida en ambientes urbanos. *Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de investigación para el desarrollo Integral Regional*. Obtenido de https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/23348/3/Tesis_La%20Relacion_entre
- Boone, C., Buckley, G., Grove, M., & Sister, C. (2009). Parks and people: An environmental justice inquiry in Baltimore, Maryland. *Annals of the Association of American Geographers*, 99(4), 767-787. doi:<https://doi.org/10.1080/00045600903102949>
- Bravo, F. (2022). Teledetección espacial landsat, sentinel2, aster 11t y modis. *Universidad Nacional Agraria de la Selva.*, 1-105. Obtenido de https://acolita.com/wp-content/uploads/2018/01/Teledeteccion_espacial_ArcGeek.pdf

- Browning, M., & Lee, K. (2017). Within What Distance Does “Greenness” Best Predict Physical Health? A Systematic Review of Articles with GIS Buffer Analyses across the Lifespan. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(7), 675. doi:<https://doi.org/10.3390/ijerph14070675>
- Bunyangha, J., Majaliwa, M., Muthumbi, A., Gichuki, N., & Egeru, A. (2021). Past and future land use/land cover changes from multi-temporal Landsat imagery in Mpologoma catchment, eastern Uganda. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 24(3-2), 675-685. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2021.02.003>
- Carrillo, A., & Choquehuanca, V. (2019). Análisis multitemporal del crecimiento urbano de la ciudad de Puno mediante imágenes satelitales, entre los años 1980 – 2017. *Universidad Nacional del Antiplano*.
- CENEPRED. (2021). Escenario de riesgo por covid-19 ciudad de Cajamarca, provincia y departamento de Cajamarca. Dirección Regional de Salud, 1-24. Obtenido de https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/storage/biblioteca/10524_escenario-de-riesgo-por-covid-19-para-la-ciudad-de-cajamarca-provincia-y-departamento-de-cajamarca.pdf
- Chai, B., & Seto, K. (2019). Conceptualizing and characterizing micro-urbanization: A new perspective applied to Africa. *Landscape and Urban Planning*, 190(ISSN 01692046), 103595. doi:[10.1016/j.landurbplan.2019.103595](https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.103595)
- Chen, B., Yang, J., & Duan, C. W. (2022). Spatial supply-demand balance of green space in the context of urban waterlogging hazards and population agglomeration. *Resources, Conservation and Recycling*. ISSN 0921-3449, 188. doi:<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106662>

- Chen, J., Kinoshita, T., Li, H., Luo, S., Su, D., Yang, X., & Hu, Y. (2023). Toward green equity: An extensive study on urban form and green space equity for shrinking cities. *Sustainable Cities and Society*, 90(ISSN 2210-6707), 104395. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104395>.
- Chen, X., Zhao, H., Li, P., & Yin, Z. (2006). Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. *Remote Sensing of Environment*, 144. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.11.016>.
- CITE Agropecuario. (2016). Experiencia realizada por CEDEPAS Norte con productores y productoras de la pequeña agricultura familiar, en la sierra norte del Perú. (C. Norte, Ed.) *Ganadería lechera y transformación de derivados lácteos en zonas altoandinas*, 1-55. Obtenido de https://www.cedepas.org.pe/sites/default/files/manual_ganaderia_0.pdf
- Comisión Europea. (2013). Los costes ocultos del sellado del suelo. En busca de alternativas a la ocupación y el sellado del suelo. *Unión Europea*, 1-36. doi:<https://doi.org/10.2779/16773>
- Cui, L., Wang, L., Sun, L., & Lv, C. (2020). Construction and optimization of green space ecological networks in urban fringe areas: A case study with the urban fringe area of Tongzhou district in Beijing. *Journal of Cleaner Production*, 276, 124-266. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124266>.
- De Keijzer, C., Tonne, C., Séverine, S., Basagaña, X., Valentín, A., Singh, A., & Antó. (2019). Green and blue spaces and physical functioning in older adults: Longitudinal analyses of the Whitehall II study. *Environment International*, ISSN: 0160-4120, Vol: 122, 346-356. doi:<http://doi.org/10.1016/j.envint.2018.11.046>

- Dhanaraj, K., & Dasharatha, P. (2021). Urban expansion quantification from remote sensing data for sustainable land-use planning in Mangaluru, India. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 23(ISSN 2352-9385.), 100602. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100602>
- Dijkstra, L., Florczyk, A., Freire, S., Kemper, T., Melchiorri, M., Pesaresi, M., & Schiavina, M. (2021). Applying the Degree of Urbanisation to the globe: A new harmonised definition reveals a different picture of global urbanisation. *Journal of Urban Economics*, 125, 103-312. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jue.2020.103312>.
- Dinda, S., Das Chatterjee, N., & Ghosh, S. (2021). An integrated simulation approach to the assessment of urban growth pattern and loss in urban green space in Kolkata, India: A GIS-based analysis. *Ecological Indicators*, 121(ISSN 1470-160X), 107178. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107178>.
- Dong, J., Xiao, X., Kou, W., Qin, Y., Zhang, G., Li, L., . . . Moore, B. (2015). Tracking the dynamics of paddy rice planting area in 1986–2010 through time series Landsat images and phenology-based algorithms. *Remote Sensing of Environment*, 160, 99-113. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.01.004>
- Ebrahim, E., & Mohamed, A. (2017). Land use/cover dynamics and its drivers in Gelda catchment, Lake Tana watershed, Ethiopia. *Environmental Systems Research*, 6 (4), 1-13. doi:[10.1186/s40068-017-0081-x](https://doi.org/10.1186/s40068-017-0081-x)
- Esteban, J. (2022). Crecimiento poblacional y cambio de uso de suelo y su impacto en los recursos hídricos en la cuenca del río Ica, provincia y departamento de Ica. . *Universidad Nacional*

Mayor de San Marcos. Tesis para Para optar el Grado Académico de Magíster en Ciencias.

Evangelio, R., Hone, S., Lee, M., & Prentice, D. (2019). What Makes a Locality Attractive? Estimates of the Amenity Value of Parks for Victoria. *Economic Papers*, 38(3), 182 - 192. doi:10.1111/1759-3441.12259

FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (1996). Forest resources assessment 1990. Survey of tropical forest cover and study of change processes. *FAO*, 130-152. Obtenido de <https://www.fao.org/3/w0015e/w0015e00.htm>

Flores, E., & Balseca, M. (2022). Análisis prospectivo de la incidencia de la expansión urbana en el ámbito de la planificación territorial: ciudad de Cuenca. *GEOESPACIAL (Enero-Junio 2022)* 19(1): 33-49.

Fuller, R., & Gaston, K. (2009). The scaling of green space coverage in European cities. *Biology Letters*, 5(3), 352 - 355. doi:10.1098/rsbl.2009.0010

Gabriel, E. (2019). Dinámicas territoriales por los cambios de la cobertura y uso de la tierra en la cuenca baja del río Chilca de la región Lima. *Pontificia Universidad Católica del Perú*, 1-118. Obtenido de https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/14637/GABRIEL_CAMPOS_EDWIN_NATIVIDAD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Gallardo, D., & Montes, R. (2021). Estimación de la variabilidad espacio temporal de la cobertura vegetal por la expansión urbana en la Loma de Carabayllo. *Universidad Nacional Mayor de San Marcos Universidad del Perú. Decana de América Facultad de Ingeniería*

Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geográfica, 1-116.

García, G., Castillo, A., & Morales, M. (2017). *Crecimiento poblacional y cambio del uso del suelo en la Comarca San José de la Cañada, distrito III del municipio de Managua, período 2005-2015*. Managua: Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua.

García, N. (2019.). *Valoración económica de los servicios ecosistémicos hidrológicos asociados a la vegetación riparia en el río Copalitilla, Oaxaca*. Xoxocotlán: Instituto Politécnico Nacional.

Gaw, L., Yee, A., & Richards, D. (2019). A High-Resolution Map of Singapore's Terrestrial Ecosystems. *Data*, 4(3), 116. doi:<https://doi.org/10.3390/data4030116>

Ghasemi, K., Behzadfar, M., Borhani, K., & Nouri, Z. (2022). Geographic information system based combined compromise solution (CoCoSo) method for exploring the spatial justice of accessing urban green spaces, a comparative study of district 22 of Tehran. *Ecological Indicators*, 144(ISSN 1470-160X), 109455. doi:<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X22009281>

Godoy, L. (2019). *Impactos de los cambios de cobertura y uso de la tierra sobre los componentes ambientales en la provincia de San Pablo, entre los años 1996 – 2016*. Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca.

Grimm, N., Faeth, S., Golubiewski, N., Redman, C., Wu, J. B., & Briggs, J. (2008). Global change and the ecology of cities. *Science*, 319(5864), 756–760. doi:DOI: 10.1126/science.1150195

- Harris, B., Schmalz, D., Larson, L., Fernandez, M., & Griffin, S. (2020). Contested Spaces: Intimate Segregation and Environmental Gentrification on Chicago's 606 Trail. *City and Community*, 19(4), 933 - 962. doi:10.1111/cico.12422
- Hegazy, I. R., & Kaloop, M. R. (2015). Monitoring urban growth and land use change detection with GIS and remote sensing techniques in Daqahlia governorate Egypt. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 4, 117-124. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijse.2015.02.005>
- Hernández, R. (2014). *Metodología de la investigación*. México: INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2006). *Metodología de la Investigación* (Vol. 4). México. Obtenido de https://www.uv.mx/personal/cbustamante/files/2011/06/Methodologia-de-la-Investigaci%C3%83%C2%B3n_Sampieri.pdf
- Hillier, B., Penn, A., Hanson, J., Grajewski, T., & Xu, J. (1993). Natural movement: or, configuration and attraction in urban pedestrian movement. *Environment & Planning B: Planning & Design*, 20(1), 29-66. doi:10.1068/b200029
- Huamán, G. (2022). *Escenarios de crecimiento urbano mediante análisis multitemporal del cambio de cobertura y uso de suelo del distrito de Lurigancho – Lima – Perú*. Universidad San Ignacio de Loyola. Lima .
- Huang, X., Huang, J., Wen, D., & Li, J. (2021). An updated MODIS global urban extent product (MGUP) from 2001 to 2018 based on an automated mapping approach. *International*

Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102255>

INDECI. Instituto Nacional de Defensa Civil. (2005). *Programa de prevención y medidas de mitigación ante desastres de la ciudad de Cajamarca*. Cajamarca.

INEI. Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2009). *Perfil Sociodemográfico del departamento de Cajamarca*. Lima.

INEI. Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2018). *Perfil Sociodemográfico. Informe Nacional. Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas*. Lima.

INEI. Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2020). *Estado de la población peruana 2020*. Lima. Obtenido de https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1743/Libro.pdf

INEI, Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2018). *Censos Nacionales 2017: XII de Población y VII de Vivienda. Perú: Crecimiento y distribución de la población, 2017 Lima, junio 2018 Primeros Resultados*. Lima.

Jacobs, J. (1961). *The Death and Life of Great American Cities*.

Jiao, L. (2015). Urban land density function: A new method to characterize urban expansion. *Landscape and Urban Planning*, 139, 26 - 39. doi:DOI: 10.1016/j.landurbplan.2015.02.017

- Jiménez, H. (2018). Análisis de crecimiento urbano a partir de imágenes landsat en el cantón Durán, provincia del Guayas, en el período 1990 – 2015. *Universidad Técnica Estatal de Quevedo*, 1-98. Obtenido de <https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/2cc3ca5c-e336-45aa-8a6a-92edbf516f97/content>
- Jin, M., Sun, R., Yang, X., Yan, M., & Chen, L. (2022). Remote sensing-based morphological analysis of core city growth across the globe. *Remote sensing-based morphological analysis of core city growth across the globe*, 131. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264275122004218>
- Kabisch, N., & Haase, D. (2013). Green spaces of European cities revisited for 1990–2006. (I. 0169-2046, Ed.) *Landscape and Urban Planning*, 110, 133-122. doi:<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.10.017>
- kabisch, N., Strohbach, M., Haase, D., & Kronenberg, J. (2016). Urban green space availability in European cities,. *Ecological Indicators*, 70(ISSN 1470-160X), 586-596. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.02.029>.
- Kindu, M., Schneider, T., Teketay, D., & Knoke, T. (2013). Land use/land cover change analysis using object-based classification approach in Munessa-Shashemene landscape of the ethiopian highlands. *Remote Sensing*, 5, 2411-2435. doi:10.3390/rs5052411
- Ko, H., & Son, Y. (2018). erceptions of cultural ecosystem services in urban green spaces: A case study in Gwacheon, Republic of Korea”, *Ecological Indicators*, 91, Amsterdam, Elsevier, pp. 299-306, doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.04.006.

- Kuang, W., Dou, Y., Zhang, C., Chi, W., Liu, A., Liu, Y., . . . Liu, J. (2015). Quantifying the heat flux regulation of metropolitan land use/land cover components by coupling remote sensing modeling with in situ measurement. *Journal of Geophysical Research*, 120(1), 113 - 130. doi:10.1002/2014JD022249
- Kuang, W., Liu, J., Dong, J., Chi, W., & Zhang, C. (2016). The rapid and massive urban and industrial land expansions in China between 1990 and 2010: A CLUD-based analysis of their trajectories, patterns, and drivers. *Landscape and Urban Planning*, 145, 21-33. doi:<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.10.001>
- Kumi-Boateng, B., Stemm, E., & Agyapong, E. (2015). Effect of urban growth on urban thermal environment: a case study of Sekondi-Takoradi Metropolis of Ghana. *Journal of Environment and Earth Science ISSN 2224-3216 (Paper) ISSN 2225-0948 (Online)*, 5, 32-41. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/234664001.pdf>
- Labrador, M., Evora, J., & Arbelo, M. (2012). *Satelites de Teledetección para la gestión del territorio*. Canarias: Proyecto SATELMAC, Programa de Cooperación Transnacional Madeira - Azores - Canarias -2007-2013 (PCT-MAC) . Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Manuel-Arbelo-2/publication/259230060_Satelites_de_teledeccion_para_la_gestion_del_territorio/links/0c96052a862c01b620000000/Satelites-de-teledeteccion-para-la-gestion-del-territorio.pdf
- Landis, J., & Koch, G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33, 74-159. Obtenido de <https://www.jstor.org/stable/2529310>

- La Rosa, D., & Privitera, R. (2013). Characterization of non-urbanized areas for land-use planning of agricultural and green infrastructure in urban contexts. *Landscape and Urban Planning*, 109(1), 94-106. doi:<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.05.012>
- La Rosa, D., Barbarossa, L. P., & Martinico, F. (2014). Agriculture and the city: A method for sustainable planning of new forms of agriculture in urban contexts. *Land Use Policy*, 41, 290 - 303. doi:[10.1016/j.landusepol.2014.06.014](https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2014.06.014)
- Li, F., Sun, Y., Li, X., Hao, X., Li, W., Qian, Y, Sun, H. (2016). Research on the sustainable development of green-space in Beijing using the dynamic systems model. *Sustainability (Switzerland)*, 8(10), 965. doi:[10.3390/su8100965](https://doi.org/10.3390/su8100965)
- Li, F., Ye, Y., Song, B., Wang, R., & Tao, Y. (2014). Assessing the changes in land use and ecosystem services in Changzhou municipality, Peoples' Republic of China, 1991–2006. *Ecological Indicators*, 14(ISSN 1470-160X), 95-103. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.11.012>.
- Li, H., Peng, J., Yanxu, L., & Yi'na, H. (2017). Urbanization impact on landscape patterns in Beijing City, China: A spatial heterogeneity perspective. *Ecological Indicators*, 82, 50-60. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.06.032>
- Limpitlaw, D., & Briel, A. (2014). Post-mining land use opportunities in developing countries - A review. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 114(11), 899-903. Obtenido de <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84920939737&origin=inward&txGid=5c3c20b9832e3f4ad2ca6028dff17e41>

- Lin, B., Meyers, J., & Barnett, G. (2015). Understanding the potential loss and inequities of green space distribution with urban densification. *Urban Forestry and Urban Greening*, 14(4), 952 - 958. doi:10.1016/j.ufug.2015.09.003
- Liu, M., Xu, Y., Hu, Y., Li, C., Sun, F., & Chen, T. (2014). A Century of the evolution of the urban area in Shenyang, China. *PLoS ONE*, 9(6). doi:10.1371/journal.pone.0098847.
- Liu, X., Hu, G., Chen, Y., Li, X., Xu, X., Li, S., . . . Wang, S. (2018). High-resolution multi-temporal mapping of global urban land using Landsat images based on the Google Earth Engine Platform. *Remote Sensing of Environment*, 209(ISSN 00344257), 227 - 239. doi:10.1016/j.rse.2018.02.055
- Liu, X., Li, X., Chen, Y., Tan, Z., Li, S., & Ai, B. (2010). A new landscape index for quantifying urban expansion using multi-temporal remotely sensed data. *Landscape Ecology*, 25(5), 671 - 682. doi:10.1007/s10980-010-9454-5
- Malca, N. (2020). *Características estructurales, culturales, y socioeconómicas de la población y su influencia en la distribución de las áreas verdes urbanas en el distrito de Chilca*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima.
- Martínez, H. (2012). *Metodología de la investigación* (Cengage Learning Editores, S.A. de C.V. ed.). México.
- Martínez, J., Martín, M., Díaz, J., López, J., & Muñoz, F. (2010). *Guía didáctica de teledetección y medio ambiente red nacional de teledetección ambiental*. Madrid: Centro de ciencias humanas y sociales.

- Merlotto, A., Piccolo, M., & Bértola, G. (2012). Crecimiento urbano y cambios del uso/ cobertura del suelo en las ciudades de Necochea y Quequén, Buenos Aires, Argentina. *Revista de Geografía Norte Grande*, 53: 159-176. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022012000300010>
- Mestanza, I. (2022). Análisis de los procesos de ocupación urbana y las formas de crecimiento en ciudades de la Amazonia peruana. Caso de estudio: la conurbación de Tarapoto, Morales y La Banda de Shilcayo. *Universidad de los Andes. Facultad de Arquitectura y diseño*, 1-51. Obtenido de <https://renati.sunedu.gob.pe/bitstream/sunedu/3280789/1/MestanzaRiosI.pdf>
- Meza, M., & Moncada, O. (2010). Las áreas verdes de la ciudad de México. Un reto actual. *Geografía y Ciencias Sociales Universidad de Barcelona*. ISSN: 1138-9788. Depósito Legal: B. 21.741-98 Vol. XIV, núm. 331 (56), 1 de agosto de 2010.
- Meza, M., Velázquez, L., & Larrucea, A. (2017). Recuperación De Áreas Verdes Urbanas. La Importancia Del Diagnóstico Fitosanitario Para La Intervención. *Revista Legado de Arquitectura y Diseño. Universidad Autónoma del Estado de México.*, 1(22), 1-11. Obtenido de <https://legadodearquitecturaydiseno.uaemex.mx/article/view/11448/9094>
- Miller, R., Hauer, R., & Werner, L. (2015). *Werner Urban Forestry: Planning and Managing Urban Greenspaces* Waveland Press .
- MINAM. (2021). Protocolo metodológico para la detección de la pérdida de bosque. *Bosques en tus manos*, 1-29. Obtenido de https://geobosques.minam.gob.pe/geobosque/descargas_geobosque/perdida/documentos/

Protocolo_Metodologico_Deteccion_Perdida_de_Bosque.pdf?Tue%20Feb%2021%202023%2013:06:55%20GMT-0500%20(hora%20est%C3%A1ndar%20de%20Per%C3%BA)

MINAM. (2018). Indicador: Superficie de área verde urbana por habitante en Lima Metropolitana. *Sistema Nacional de Información Ambiental*, 1. Obtenido de <https://sinia.minam.gob.pe/indicador/998>

MINAM. (2014). *Protocolo Análisis de las dinámicas de los cambios de cobertura de la tierra en la comunidad Andina. Dirección General de ordenamiento territorial. Primera ed, febrero 2014. Editado Biblioteca Nacional del Perú. . Lima.*

MINAM. (2014). Protocolo Evaluación de la Exactitud Temática del Mapa de Deforestación. 1-32. Obtenido de <https://www.minam.gob.pe/ordenamientoterritorial/wp-content/uploads/sites/18/2013/10/Protocolo-Validacion-Mapa-Deforestacion.pdf>

Ministry of the Environment and Water Resources, & Ministry of National Development. (2014). Sustainable Singapore Blueprint.

Moreno, A., Schiavina, M., & Veneri, P. (2021). Metropolitan areas in the world. Delineation and population trends. *Journal of Urban Economics*, 125, 103-242. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jue.2020.103242>

Mohamed, M., Anders, J., & Schneider, C. (2020). Monitoring of changes in land use/land cover in Syria from 2010 to 2018 using multitemporal landsat imagery and GIS. *Land Systems and Global Change*, 9(7), 226. doi:<https://doi.org/10.3390/land9070226>

Municipalidad Provincial de Cajamarca. (2015). Línea de base: Proyecto mejoramiento de parques y jardines de Cajamarca. (CD-ROM). Primera edición. Cajamarca-Perú,.

Muñoz, M. (2014). Accesibilidad a las áreas verdes urbanas como espacios públicos. El caso de ciudad Juárez, Chihuahua. *El Colegio de la Frontera Norte. Tesis para optar el Grado de Maestro(a) en Acción Pública y Desarrollo Social*. Obtenido de <https://www.colef.mx/posgrado/wp-content/uploads/2015/02/TESIS-Mu%C3%B1oz-Resendiz-Mara-Quetzalli.pdf>

Núñez, J. M. (2021). Análisis espacial de las áreas verdes urbanas de la Ciudad de México. *Econ. soc. territ* vol.21 no.67 Toluca sep./dic. 2021 Epub 25-Abr-2022. *Economía, sociedad y territorio*. doi:<https://doi.org/10.22136/est20211661>

ONU, Organización de las Naciones Unidas. (2014). La situación demográfica en el mundo, 2014: informe conciso.

ONU, Organización de las Naciones Unidas. (2018). The World's Cities in 2018.

ONU, Organización de las Naciones Unidas. (17 de Junio de 2019). Creciendo a un ritmo menor, se espera que la población mundial alcanzará 9.700 millones en 2050 y un máximo de casi 11.000 millones alrededor de 2100: Según informe de la ONU. *United Nations Department of Public Information 405 East 42nd Street, New York, NY 10017* .

Peijun, D., Xingli, L., Wen, C., & Yan, L. H. (2010). Monitoring urban land cover and vegetation change by multi-temporal remote sensing information. *Mining Science and Technology* , 20, 922-932. doi:[https://doi.org/10.1016/S1674-5264\(09\)60308-2](https://doi.org/10.1016/S1674-5264(09)60308-2)

Pérez, C., & Muñoz, A. (2002). *Teledetección Nociones y Aplicaciones*. Salamanca: Universidad de Salamanca. Obtenido de <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=SfrGxbO1DT0C&oi=fnd&pg=PA1&dq=te>

ledetecci%C3%B3n&ots=pFmj_D8mEU&sig=AmR0PHoYsUmzSjoTwfZoEdDtgCI#v=onepage&q&f=false

Poma, W., & Alcántara, G. (2011). *Estudio de suelos y capacidad de uso mayor del departamento de Cajamarca*. . Cajamarca.

Puplampu, D. A., & Boafó, Y. A. (2021). Exploring the impacts of urban expansion on green spaces availability and delivery of ecosystem services in the Accra metropolis. *Environmental Challenges*. 100283. ISSN 2667-0100. doi:<https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100283>.

Quiroga, J., & Torres, N. (2021). *Análisis multitemporal de la cobertura vegetal en las inmediaciones del río Bogotá y la vda. Florida – municipio de Funza*. Universidad distrital Francisco José de Caldas. . Bogotá .

Quispe, A. (2017). *Zonificación Ecológica Económica y Ordenamiento Territorial en Cajamarca*. (Vol. 1ra edición). Cajamarca.

Ramírez, L., y Pértile, V. (2013). Cambio de uso de suelo y tendencias de la expansión urbana entre 1990 y 2030 en Juan José Castelli y Villa Ángela, Chaco, Argentina . *Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG)*. Revista digital del Grupo de Estudios sobre Geografía y Análisis Espacial con Sistemas de Información Geográfica (GESIG). Programa de Docencia e Investigación en Sistemas de Información Geográfica, Luján, , 194-216. Obtenido de https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/8572/CONICET_Digital_Nro.11210.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Ramón, J., & Aguilar, A. (2021). Expansión urbana irregular, cambio de uso del suelo y deterioro ambiental en la periferia norte de la Zona Metropolitana Puebla-Tlaxcala: el caso del Parque Nacional La Malinche. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 30(2), 441–458. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v30n2.89849>.
- Rapoport, E., Díaz, M., & López, I. (1983). Aspectos de la ecología urbana en la ciudad de México. Flora de las calles y baldíos. México: Limusa.
- Redondo, J., Gómez, A., Santos, J., González, R., & Álvarez, J. (2017). Changes in land use due to mining in the north-western mountains of Spain during the previous 50 years. *Catena*, 149(3), 844-856. doi:<https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.03.017>
- Robles, M., Näslund, E., Ramos, M., & Paredes, J. (2015). Áreas verdes de la escuela. Banco Interamericano de Desarrollo, 1-32. Obtenido de <https://publications.iadb.org/publications/spanish/viewer/%C3%81reas-verdes-de-la-escuela.pdf>
- Rodríguez, D., Sánchez, N., Domínguez, J., & Pastrana, C. (2015). *Cuestiones de teledetección*. Madrid. Obtenido de https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=tXxxCgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA4&dq=teledetecci%C3%B3n&ots=IAiPdKxA7F&sig=E0SNk6P0Gq_uhnQ5vHdPjR4sybA#v=onepage&q&f=false
- Rueda, M. (2019). Análisis temporal y espacial del cambio de cobertura del bosque nativo en paisajes protegidos de la parroquia Río Tigre, provincia de Pastaza. *Universidad Nacional de Loja*, 1-60. Obtenido de

<https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/22586/1/Monica%20Eunice%20Rueda%20Pucha.pdf>

Russo, A., & Giuseppe, C. (2018). Modern Compact Cities: How Much Greenery Do We Need?. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(10), 2180. doi:<https://doi.org/10.3390/ijerph15102180>

Sacristán, F. (2006). La Teledetección satelital y los sistemas de protección ambiental. *Revista AquaTIC. Revista científica de la Sociedad Española de Acuicultura. Universidad Complutense de Madrid*(24), 13-41.

Sánchez, S. (2011). Zonas de vida de Cajamarca. Gobierno Regional de Cajamarca.

Schneiders, A., Van Daele, T., Van Landuyt, W., & Van Reeth, W. (2012). Biodiversity and ecosystem services: Complementary approaches for ecosystem management? *Ecological Indicators*(21), 123-133. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.06.021>.

SENAMHI. (2016). *Ciclos horarios de precipitación en el Perú utilizando información satelital*. Lima.

Seto, K., Fragkias, M., Güneralp, B., & Reilly, M. (2011). A meta-analysis of global urban land expansion. *PLoS ONE*, 6(8). doi:[10.1371/journal.pone.0023777](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0023777)

Seyam, M. M., Haque, M. R., & Rahman, M. M. (2023). Identifying the land use land cover (LULC) changes using remote sensing and GIS approach: A case study at Bhaluka in Mymensingh, Bangladesh. *Case Studies in Chemical and Environmental*, 7(ISSN 2666-0164), 100293. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cscee.2022.100293>.

- Sharifi, F., Nygaard, A., Stone, W., & Levin, I. (2021). Accessing green space in Melbourne: Measuring inequity and household mobility. *Landscape and Urban Planning*, 207(ISSN 0169-2046), 104004. doi:<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2020.104004>.
- Silva, A. (2018). influencia de la vegetación ribereña en la calidad del agua en la cuenca del río Mashcón – Cajamarca. *Universidad Nacional de Cajamarca. Facultad de Ciencias Agrarias. Tesis para optar por el grado de Ingeniero Forestal*, 1-122. Obtenido de <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/2596/INFLUENCIA%20DE%20LA%20VEGETACI%c3%93N%20RIBERE%c3%91A%20EN%20LA%20CALIDAD%20DEL%20AGUA%20EN%20LA%20CUENCA%20DEL%20R%c3%8dO%20MASHC%c3%93N%20e2%80%93%20CAJAMA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sonter, L., Moran, C., Barrett, D., & Soares, B. (2014). Processes of land use change in mining regions. *Journal of Cleaner Production*, 84, 494-501. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.03.084>.
- Sorensen, M., Barzetti, V., Keipi, K., & Williams, J. (1998). Manejo de áreas verdes. *Mayo, 1998 - No. ENV - 109*.
- Soriano, I. (2017). *Análisis comparativo de la fragmentación de zonas verdes intraurbanas a partir de cartografía de usos del suelo derivadas de imágenes Sentinel-2. Relación con indicadores de calidad ambiental*. Valencia: Universitat Politècnica de València. Escuela Técnica Superior de Ingeniería en Geodésica, Cartográfica y Topográfica.
- Sowmya, D., Deepa, P., & Venugopal, K. (2017). Remote Sensing Satellite Image Processing Techniques for Image Classification : A Comprehensive Survey. *International Journal of Computer Applications*, 161(11), 34-37. Obtenido de

<https://www.ijcaonline.org/archives/volume161/number11/sowmya-2017-ijca-913306.pdf>

Srivastava, D., Han, D., Ramirez, R., Bray, M., & Islam, T. (2012). Selection of classification techniques for land use/land cover change investigation. *Advances in Space Research*, 50(9), 1250-1265. doi:<https://doi.org/10.1016/j.asr.2012.06.032>

Suárez, G., & Olaya, L. (2018). Aplicación de un modelo predictivo para el análisis del impacto generado por el cambio de cobertura urbana en el municipio de Mosquera, Cundinamarca . *Universidad distrital Francisco José de Caldas*.

Sun, L., Chen, J., Li, Q., & Huang, D. (2020). Dramatic uneven urbanization of large cities throughout the world in recent decades. *Nature Communications*, 11(1), 5366. doi:[10.1038/s41467-020-19158-1](https://doi.org/10.1038/s41467-020-19158-1)

Tafur, V. (2016). Evaluación de la funcionalidad ecológica y social de las áreas verdes de la ciudad de Cajamarca. . *Universidad Nacional de Cajamarca - Gestión Ambiental y Recursos Naturales*.

Tarqui, R., & Flores, D. (2022). Influencia del crecimiento poblacional, en un índice de calidad ambiental (ica) urbano de la ciudad de Tacna, a partir de imágenes satelitales. *Universidad Privada de Tacna*, 1-87.

Teimouri, R., & Yigitcanlar, T. (2018). An approach towards effective ecological planning: quantitative analysis of urban green space characteristics. *Global Journal of Environmental Science and Management* 4 (2) (2018), pp. 195-206. doi:[10.22034/gjesm.2018.04.02.007](https://doi.org/10.22034/gjesm.2018.04.02.007)

- Temesgen, G., Amare, B., & Abraham, M. (2014). Evaluations of Land Use/Land Cover Changes and Land Degradation in Dera District, Ethiopia: GIS and Remote Sensing Based Analysis. *International Journal of Scientific Research in Environmental Sciences*, 2(6), 199-208. doi:<http://dx.doi.org/10.12983/ijres-2014-p0199-0208>
- Terkenli, T., Bell, S., Tošković, O., Dubljević, J., Panagopoulos, T., Straupe, I., . . . Živojinović, I. (2020). Tourist perceptions and uses of urban green infrastructure: An exploratory cross-cultural investigation. *Urban Forestry & Urban Greening*, 49. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126624>
- Turrini, T., & Knop, E. (2015). A landscape ecology approach identifies important drivers of urban biodiversity . *Global Change Biol.*, 21 (4) , 1652-1667.
- Vega, P. (2009). Nuevas élites urbanas en ciudades tradicionales: impactos globales en Cajamarca. *PUCP*. Obtenido de https://files.pucp.education/facultad/arquitectura/2019/05/24165822/2009_Nuevas-%C3%A9lites-urbanas-en-ciudades-tradicionales_impactos-en-Cajamarca.pdf
- Viola, M., Mello, C., Beskow, S., & Norton, L. (2014). Impacts of Land-use Changes on the Hydrology of the Grande River Basin Headwaters, Southeastern Brazil. *Water Resources Management*(28), 4537 - 4550. doi:DOI: 10.1007/s11269-014-0749-1
- Wan, C., Shen, G., & Choi, S. (2021). Underlying relationships between public urban green spaces and social cohesion: A systematic literature review. *City, Culture and Society*, 24(SSN 1877-9166), 100383. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ccs.2021.100383>.
- Westerink, J., Haase, D., Bauer, A., Ravetz, J., Jarrige, F., & Aalbers, C. (2013). Dealing with Sustainability Trade-Offs of the Compact City in Peri-Urban Planning Across European

- City Regions. *European Planning Studies*, 21(4), 473 - 497.
doi:10.1080/09654313.2012.722927
- Wilson, S., Wilsonb, C., & Moise, I. (2022). Livelihood impacts of iron ore mining-induced land change in Sierra Leone: A time series analysis. *Applied Geography*, 144.
doi:https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2022.102713.
- Winkler, K., Fuchs, R., Rounsevell, M., & Herold, M. (2021). Global land use changes are four times greater than previously estimated. *Nature Communications*, 12(1), 2501-2511.
doi:10.1038/s41467-021-22702-2
- Wolch, J., Byrne, J., & Newell, J. (2014). Urban green space, public health, and environmental justice: The challenge of making cities 'just green enough'. *Landscape and Urban Planning*, 125(ISSN 0169-2046), 234-244.
doi:https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.01.017.
- Wu, J., Peng, Y., Liu, P., Weng, Y., & Lin, J. (2022). Is the green inequality overestimated? Quality reevaluation of green space accessibility. *Cities*, 130(ISSN 0264-2751), 103871.
doi:https://doi.org/10.1016/j.cities.2022.103871
- Wu, Z., Chen, R., Meadows, M., Sengupta, D., & Xu, D. (2019). Changing urban green spaces in Shanghai: trends, drivers and policy implications. *Land Use Policy*, Volume 87, 87(ISSN 0264-8377), 104080. doi:https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104080
- Xu, F., Yan, J., & Heremans, S. S. (2020). Pan-European urban green space dynamics: A view from space between 1990 and 2015. ISSN 0169-2046. *Landscape and Urban Planning*, 226. doi:https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2022.104477.

- Yu, W., & Zhou, W. (2017). The spatiotemporal pattern of urban expansion in China: A comparison study of three urban megaregions. *Remote Sensing*, 9(1), 45-63. doi:10.3390/rs9010045
- Zeng, Q., Xie, Y., & Liu, K. (2019). Assessment of the patterns of urban land covers and impervious surface areas: A case study of Shenzhen, China. *Physics and Chemistry of the Earth*, 110, 1 - 7. doi:10.1016/j.pce.2019.04.002
- Zhang, J. R., Geng, Y., Fu, M., & Prishchepov, A. (2017). A novel understanding of land use characteristics caused by mining activities: A case study of Wu'an, China. *Ecological Engineering*, 99, 54-69. doi:https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.11.026.
- Zhao, J., Chen, S., Jiang, B., Ren, Y., Wang, H., Vause, J., & Yu, H. (2013). Temporal trend of green space coverage in China and its relationship with urbanization over the last two decades. *Science of The Total Environment*, 442(ISSN 0048-9697), 455-465. doi:https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.10.014

CAPÍTULO VII

APÉNDICE

Para procesar y analizar las imágenes Landsat y obtener como producto mapas de tipos de cobertura se aplicó la metodología de clasificación supervisada, sin embargo, en principio de modo exploratorio se aplicó la metodología de clasificación no supervisada, este procedimiento es realizado únicamente por el software mediante algoritmos de agrupamiento, y fueron probados tanto mediante Kmeans como expectativa de Maximización, la forma de procesamiento es mediante el agrupamiento de píxeles considerando su reflectancia a manera de grupos denominados cúmulos, con esta metodología el operador solo cumple un rol, es y digitalizar la cantidad de tipos de cobertura que quiere que el software diferencie, de esta forma el software clasificará a los píxeles de acuerdo a los colores que perciba, siguiendo esta retórica se obtuvieron mapas de cobertura para el distrito de Cajamarca con métricas inadecuadas y que no se ajustaban a la realidad, coincidiendo que otras investigaciones que mencionan que la metodología de clasificación supervisada es factible en áreas pequeñas de análisis pero sobre todo en zonas que el investigador conocer y puede diferenciar en tipos de coberturas, por lo que no se recomienda para la generación de mapas de cobertura, la aplicación de clasificación no supervisada a nivel del distrito de Cajamarca.

Pues bien, en lo que respecta a la clasificación supervisada se aplicó el algoritmo de máxima verosimilitud, por este método existen tres formas de ponderación de probabilidad, siendo estas: "equal" en el que todos los píxeles analizados tendrán la misma probabilidad de selección., "sample" en el que los píxeles tendrán la misma probabilidad considerando el número de puntos de control por cada clase de tipo de cobertura en relación al universo

total de puntos de control en todos los tipos de cobertura. y "file" en el que la probabilidad la asignará de mano del autor, para fines de este estudio se usó la ponderación de probabilidad "equal", obteniendo resultados muy satisfactorios con un análisis de confiabilidad "casi perfecto".

Tabla 37

Operacionalización de las variables

Variable	Dimensiones	Definición Conceptual	Indicadores	Técnicas e instrumentos	Unidad de observación
Crecimiento poblacional	- Tasa de crecimiento poblacional.	Crecimiento o disminución de una población a lo largo de los años.	- Número de habitantes. - Porcentaje.	- Análisis documental.	- Población del distrito de Cajamarca.
	- Tejido urbano.	- Conjunto de unidades de viviendas, edificaciones, vías, manzanas, etc., que conforman las ciudades.	- Área (ha) - Tasa anual de cambio	- Análisis documental. - Recopilación de imágenes Landsat. - Recopilación cartográfica. - Teledetección.	- Viviendas del distrito de Cajamarca.
Áreas verdes	- Cobertura.	- Superficie cubierta por vegetación arbórea, arbustiva o herbácea que forma parte de las urbes y sus alrededores.	- Área (ha) - Tasa anual de cambio	- Análisis documental. - Recopilación de imágenes Landsat. - Recopilación cartográfica. - Teledetección.	- Áreas verdes distrito de Cajamarca.
	- Áreas verdes per cápita.	- Es la cantidad de m ² de área verde por habitante en una ciudad.	- m ² /habitante.	- Análisis documental. - Recopilación de imágenes Landsat. - Recopilación cartográfica. - Teledetección.	- Áreas verdes casco urbano del distrito de Cajamarca.
	- Proximidad urbana.	- Cercanía de áreas verdes urbanas a la población.	- 300 m	- Recopilación de imágenes Landsat. - Recopilación cartográfica. - Teledetección	- Áreas verdes casco urbano del distrito de Cajamarca.

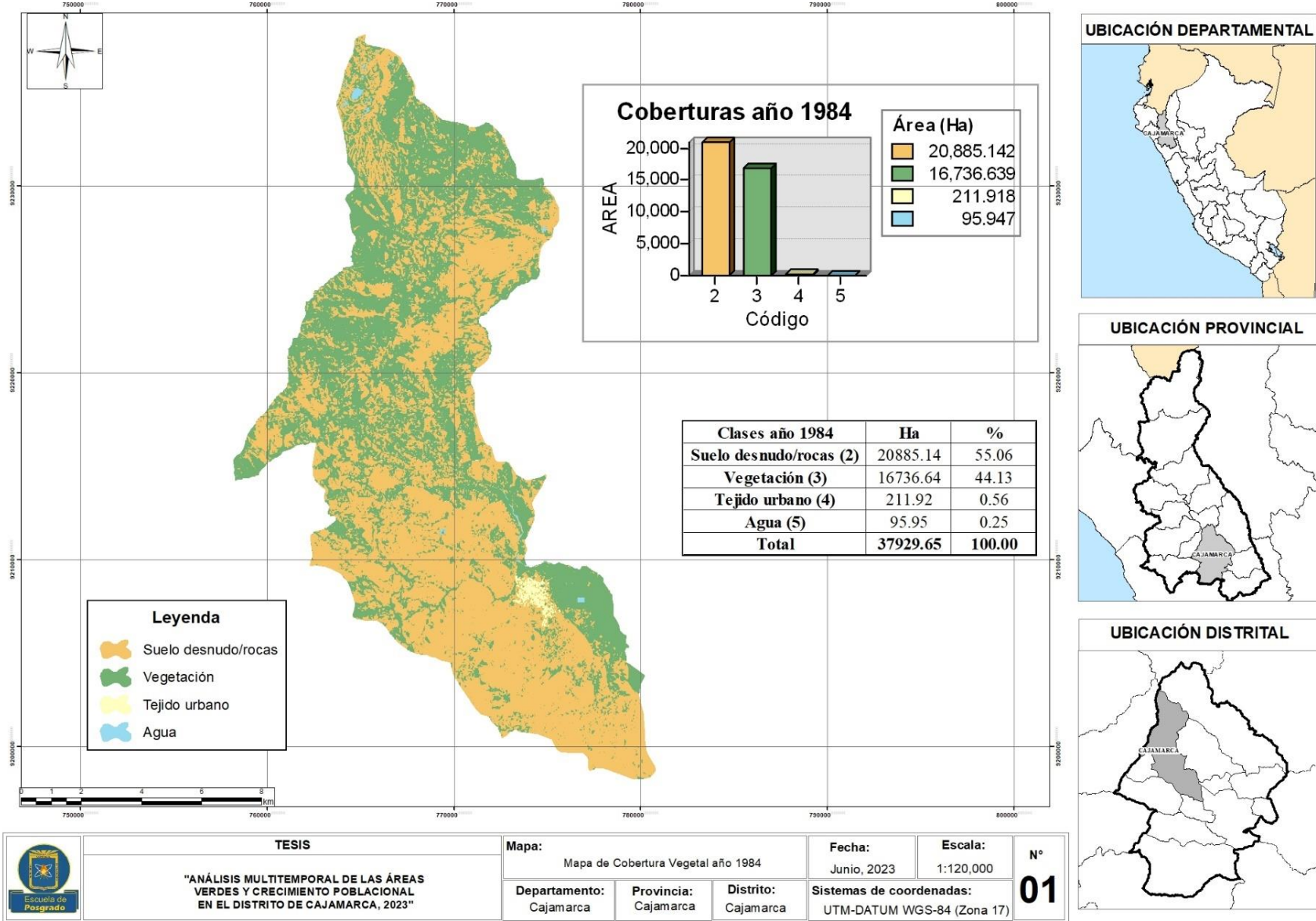


Figura 28: Mapa de cobertura vegetal año 1984.

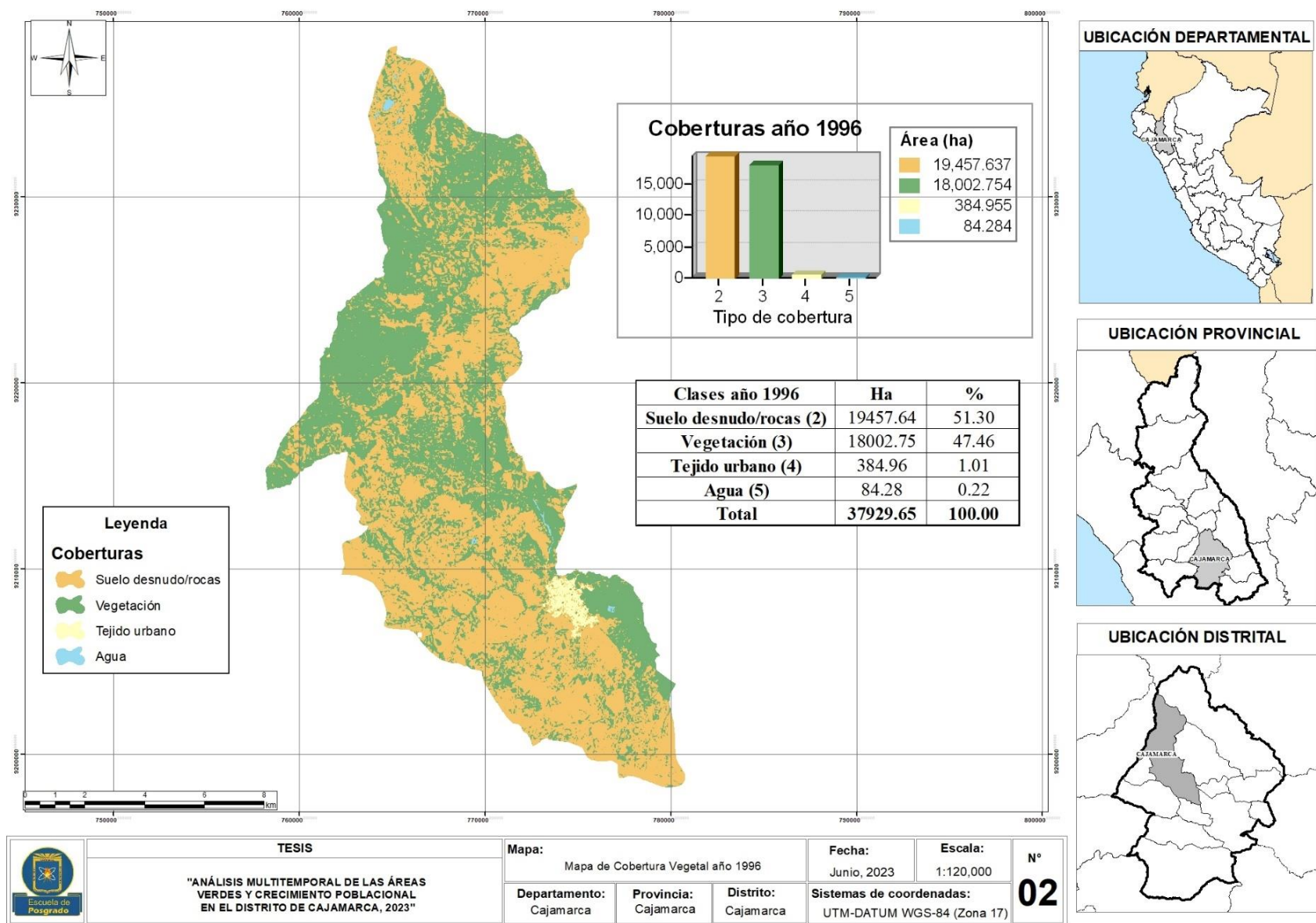


Figura 29: Mapa de cobertura vegetal año 1996.

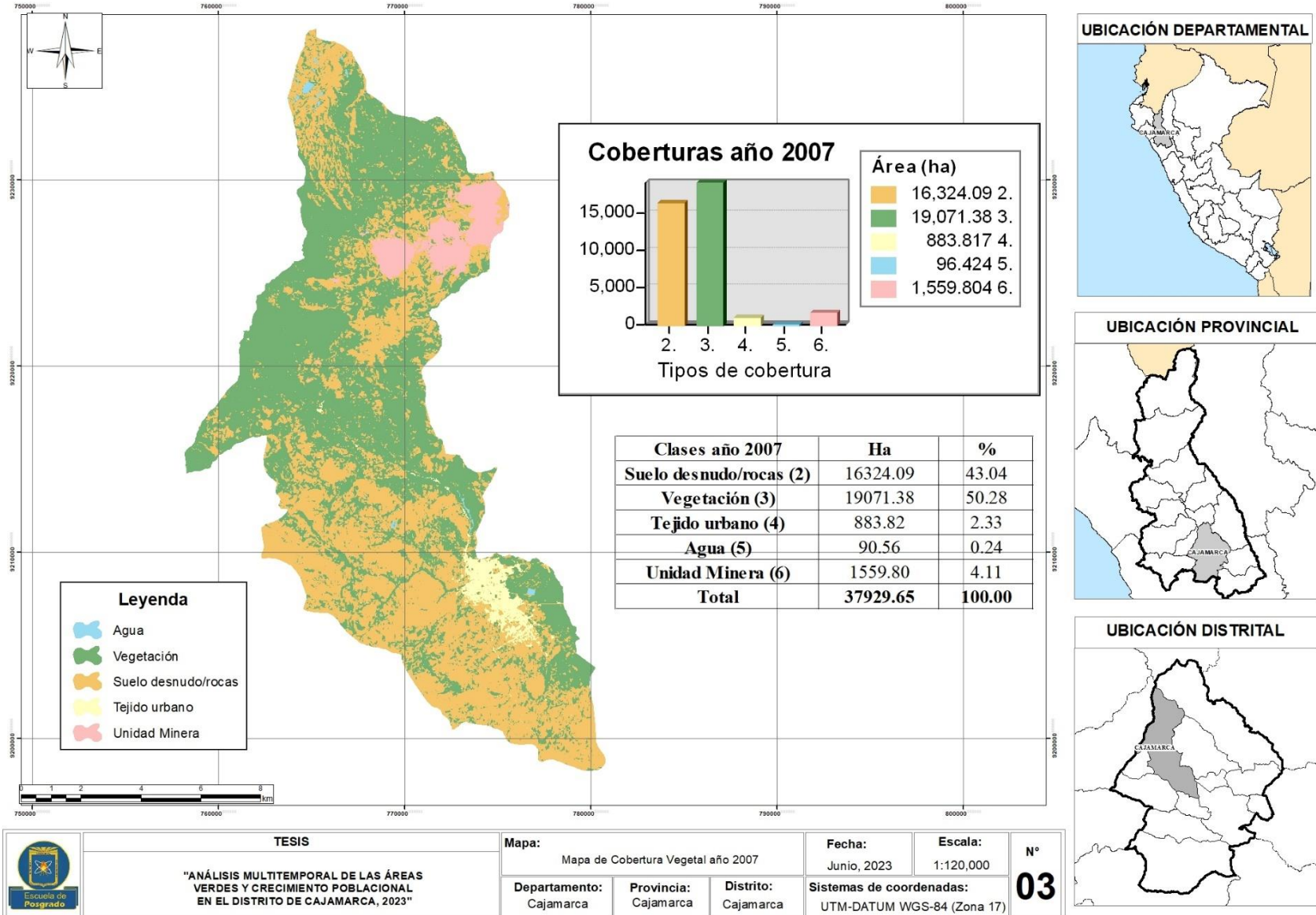


Figura 30: Mapa de cobertura vegetal año 2007.

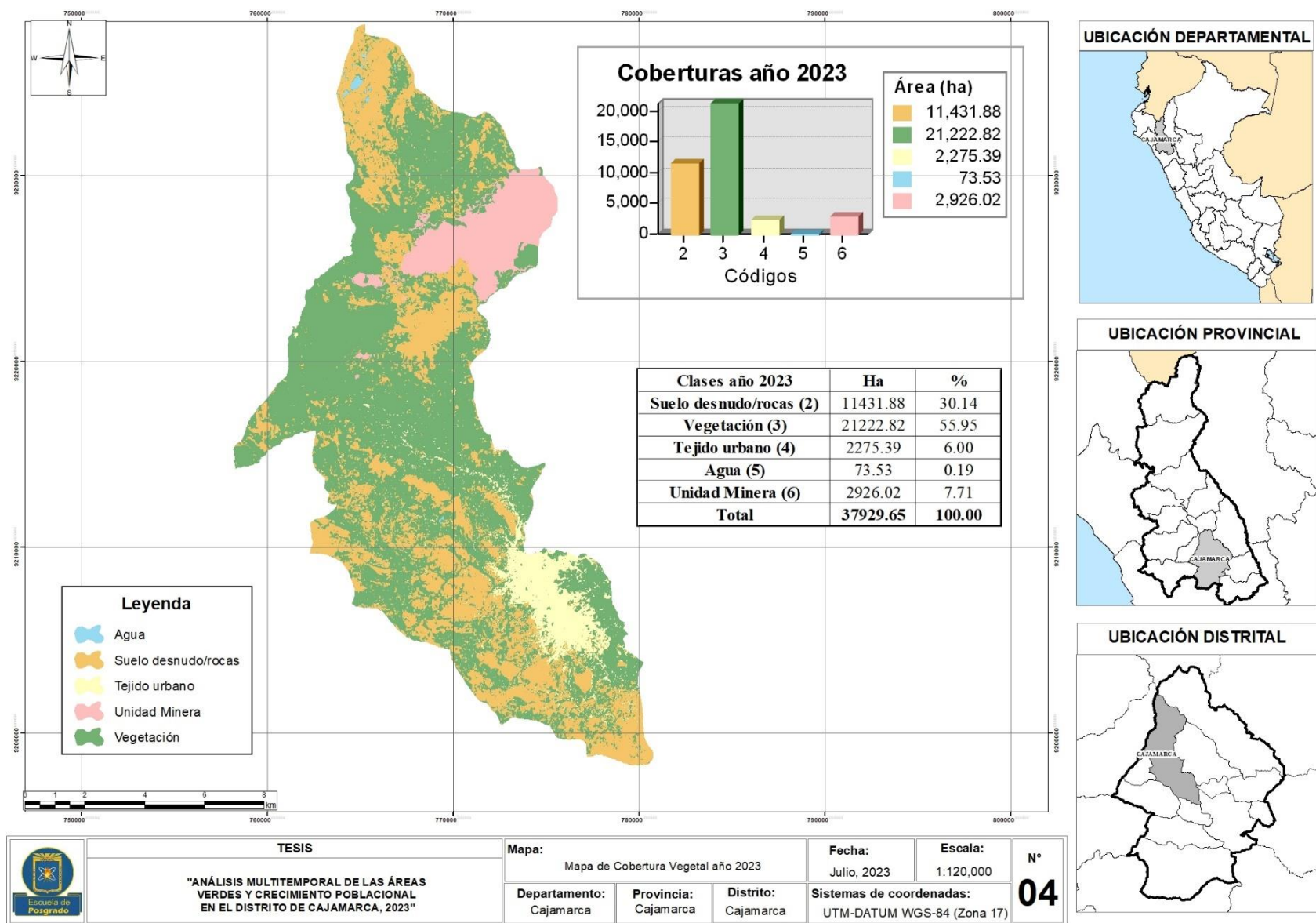


Figura 31: Mapa de cobertura vegetal año 2023.

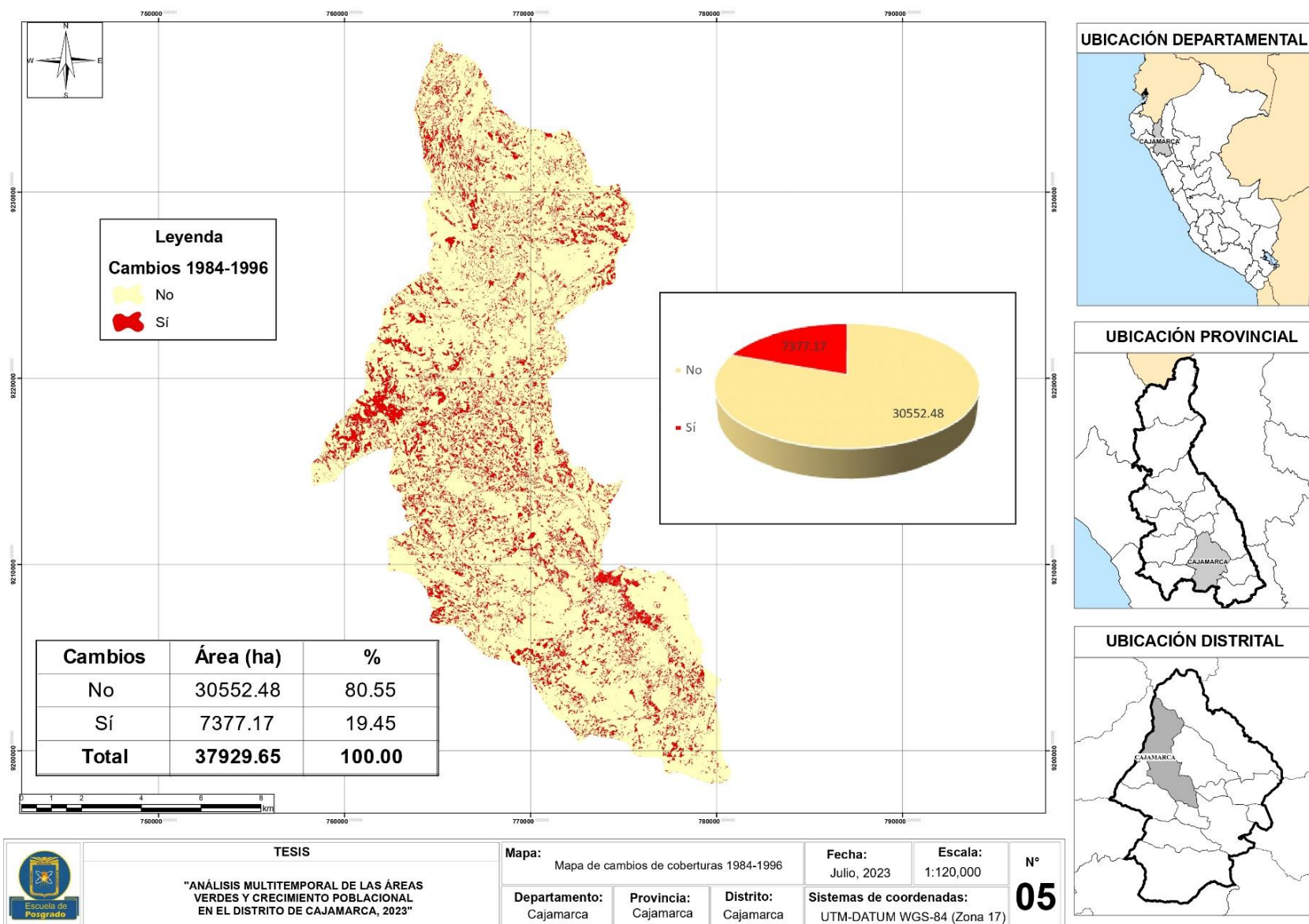


Figura 32: Mapa de cambios 1984 - 1996.

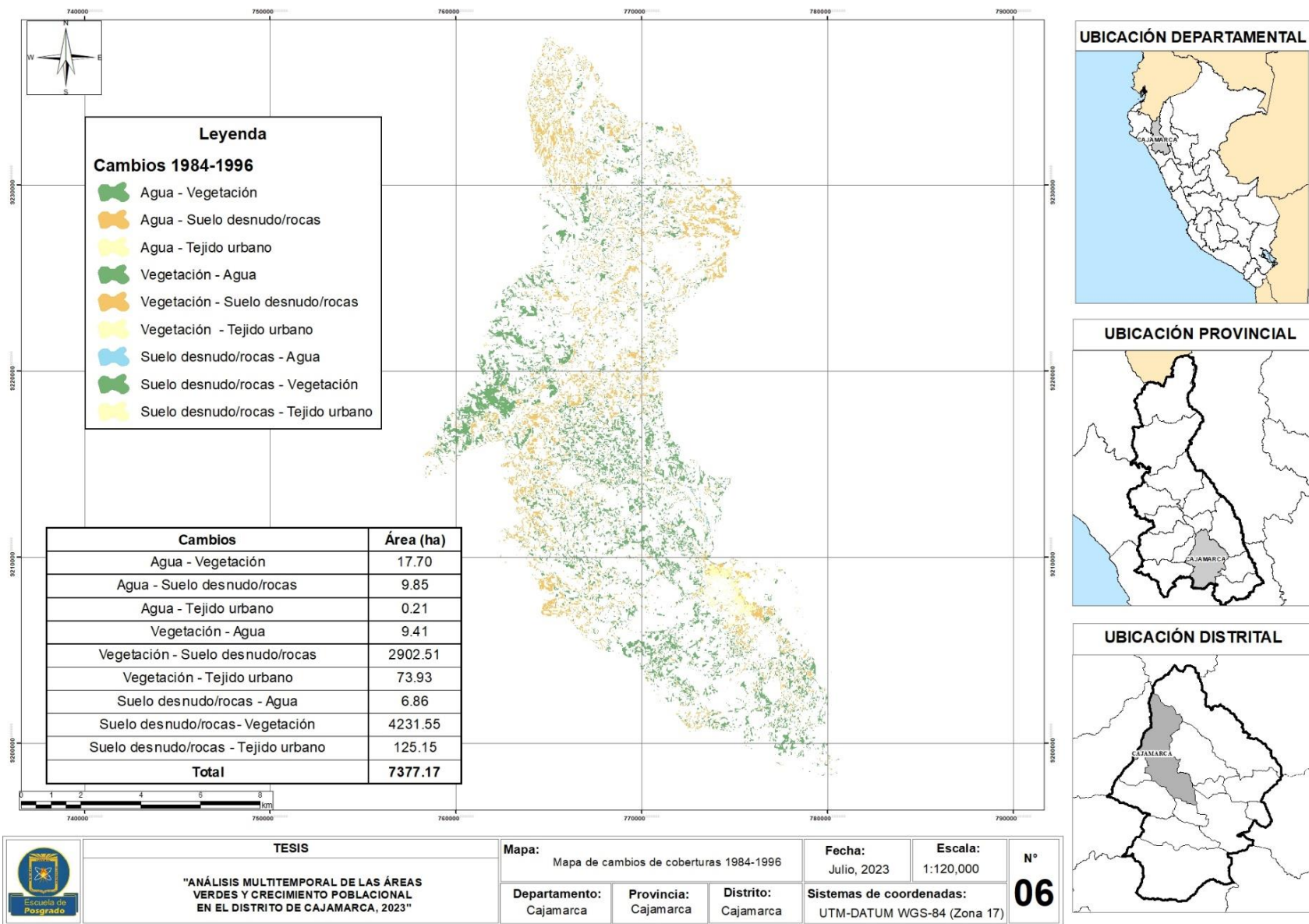


Figura 33: Mapa de tipos de cambios 1984 - 1996.

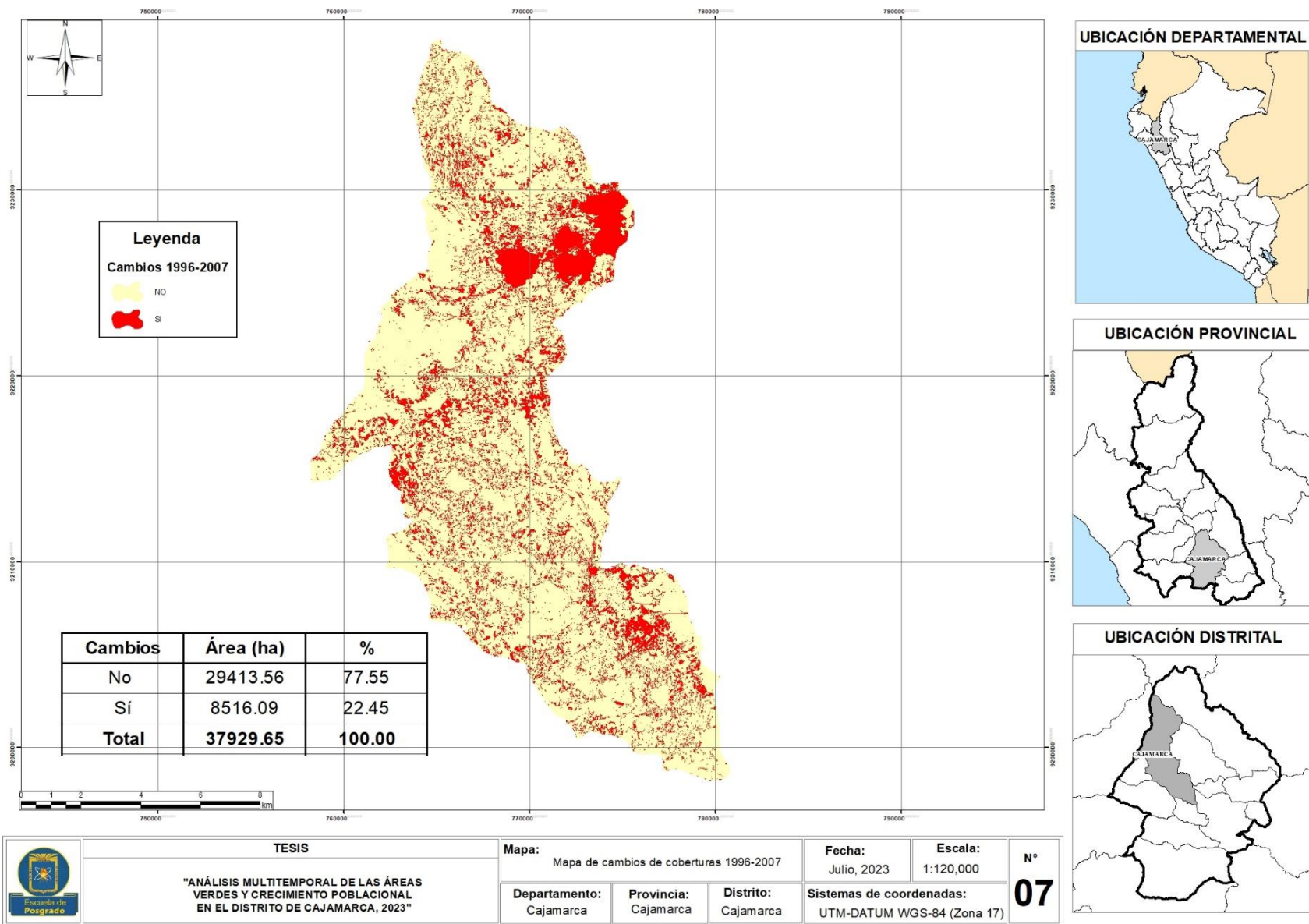


Figura 34: Mapa de cambios 1996 – 2007.

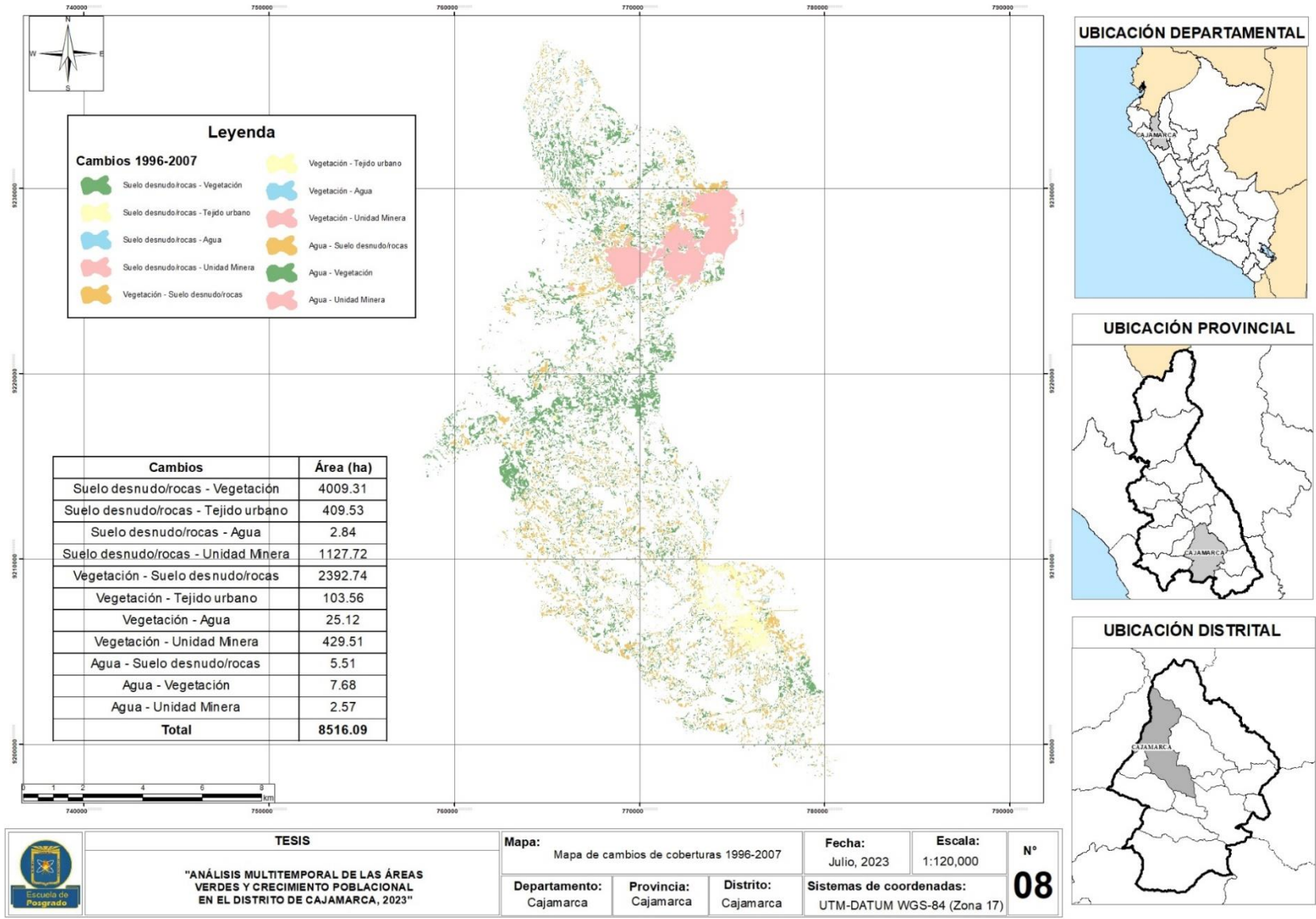


Figura 35: Mapa de tipos de cambios 1996 – 2007.

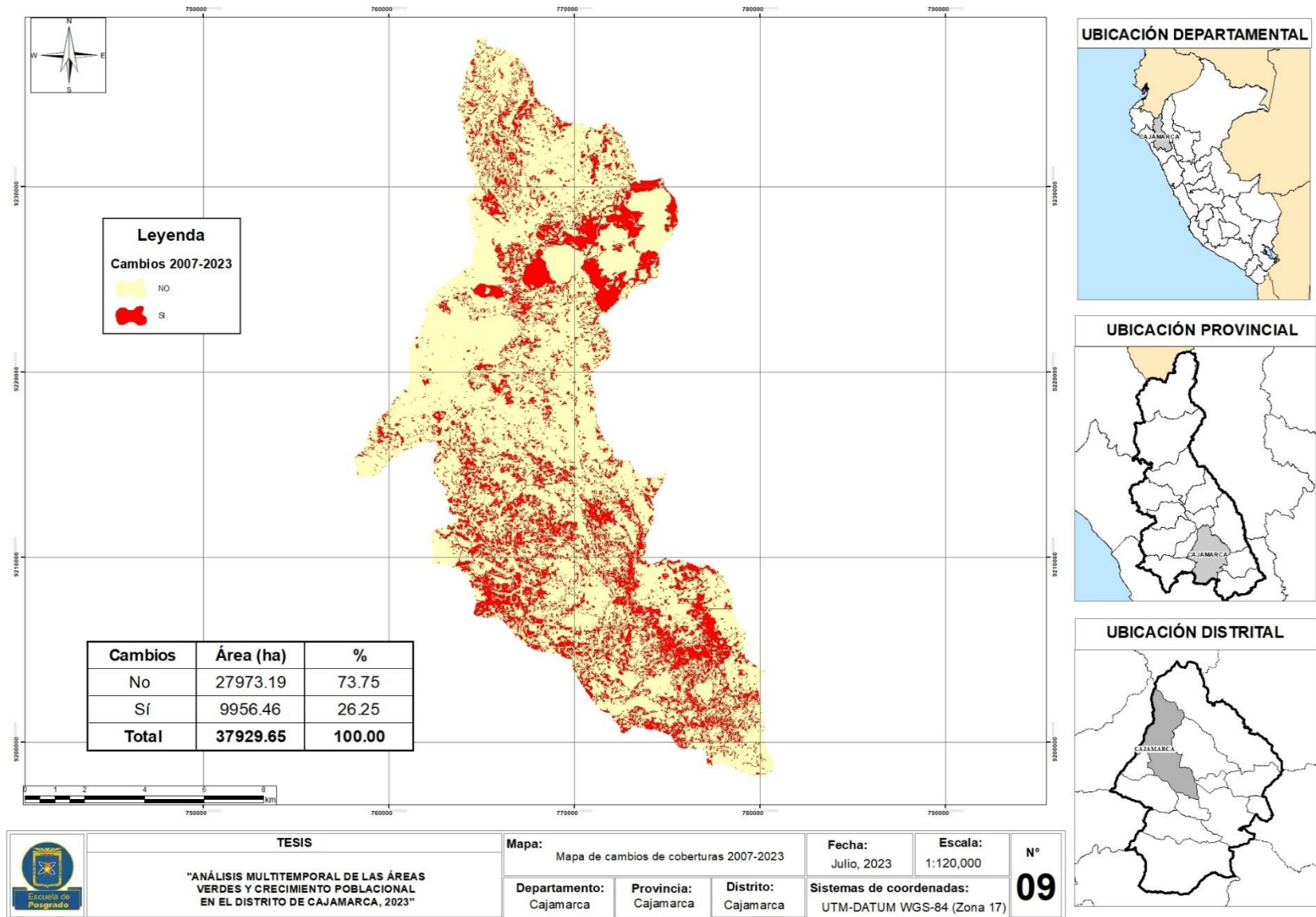


Figura 36: Mapa de cambios 2007 - 2023.

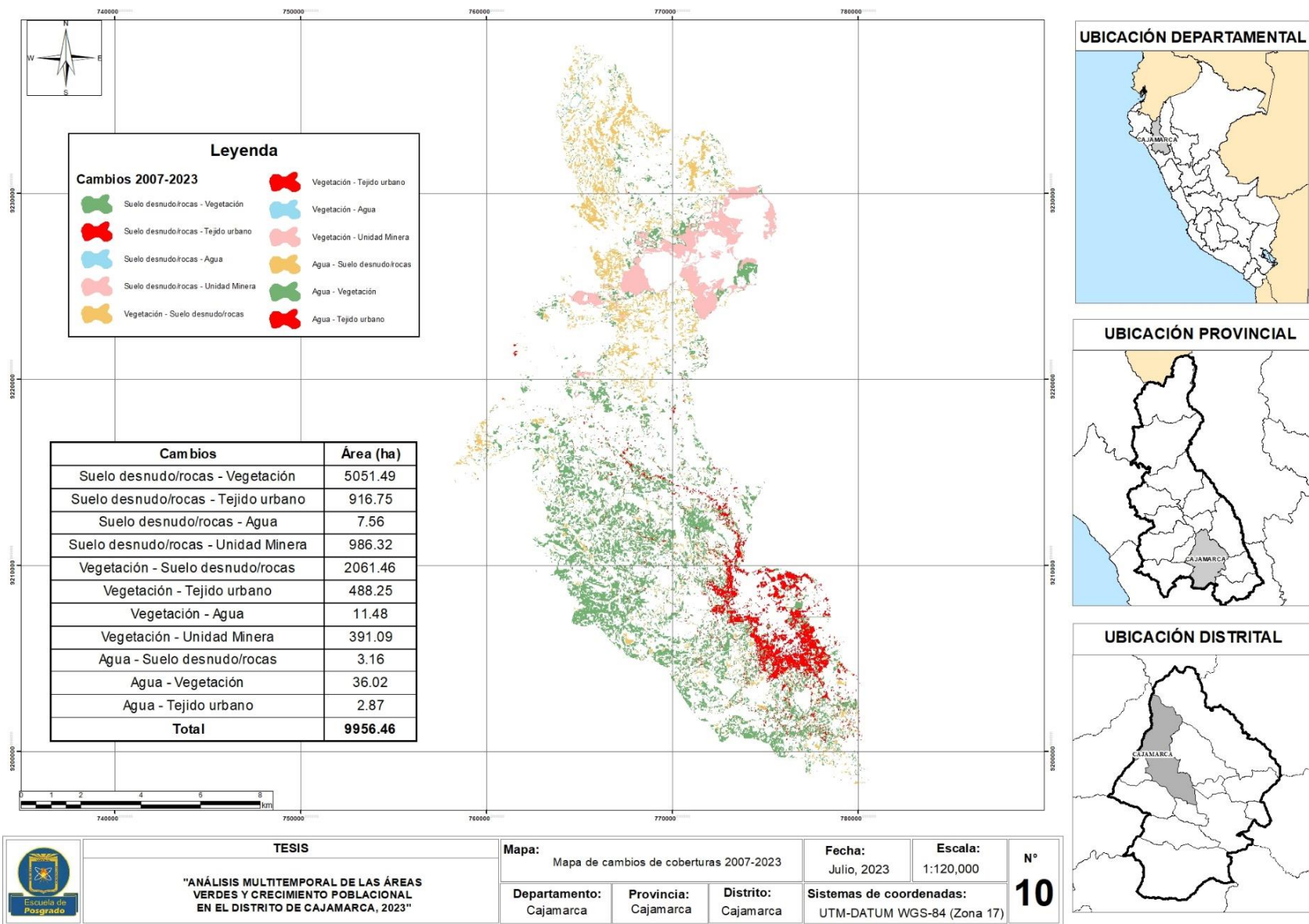


Figura 37: Mapa de tipos de cambios 2007 - 2023