

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



TESIS

**“DISEÑO DE ESCENARIOS FUTUROS DEL CRECIMIENTO
URBANO PARA LA PLANIFICACIÓN TERRITORIAL EN EL
DISTRITO DE CALANA, TACNA - 2023”**

PARA OPTAR:

TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTADO POR:

Bach. SARAI DEL CARMEN BRAVO RIVEROS

TACNA – PERÚ

2024

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

TESIS

**“DISEÑO DE ESCENARIOS FUTUROS DEL CRECIMIENTO
URBANO PARA LA PLANIFICACIÓN TERRITORIAL EN EL
DISTRITO DE CALANA, TACNA - 2023”**

Tesis sustentada y aprobada el 06 de diciembre de 2024; estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE : Mtra. MILAGROS HERRERA REJAS

SECRETARIO : Mtro. RICARDO WILLIAM NAVARRO AYALA

VOCAL : Mag. MARCO ALBERTO NAVARRO GUZMÁN

ASESOR : Ing. CARMEN ROSA ROMÁN ARCE

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo, Sarai del Carmen Bravo Riveros, en calidad de Bachiller, egresada de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificada con DNI 71231852, así como Carmen Rosa Román Arce con DNI 42316863; en calidad de autor y asesor, declaramos que:

1. Somos los autores de la *tesis* de investigación titulado: *Diseño de escenarios futuros del crecimiento urbano para la planificación territorial en el distrito de Calana, Tacna -2023* la cual presentamos para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental.
2. La tesis es completamente original y no ha sido objeto de plagio, total ni parcialmente, habiendo respetado rigurosamente las normas de citación y referencias para todas las fuentes consultadas.
3. Los datos presentados en los resultados son auténticos y no han sido objeto de manipulación, duplicación ni copia.

En virtud de lo expuesto, asumimos frente a *La Universidad* toda responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la *tesis*, así como por los derechos asociados a la obra.

En consecuencia, nos comprometemos ante a *La Universidad* y terceros a asumir cualquier perjuicio que pueda surgir como resultado del incumplimiento de lo aquí declarado, o que pudiera ser atribuido al contenido de la tesis de investigación, incluyendo cualquier obligación económica que debiera ser satisfecha a favor de terceros debido a acciones legales, reclamos o disputas resultantes del incumplimiento de esta declaración.

En caso de descubrirse fraude, piratería, plagio, falsificación o la existencia de una publicación previa de la obra, aceptamos todas las consecuencias y sanciones que puedan derivarse de nuestras acciones, acatando plenamente la normatividad vigente.

Tacna, 06 de diciembre de 2024



Sarai del Carmen Bravo Riveros
DNI: 71231852



Carmen Rosa Román Arce
DNI: 42316863

DEDICATORIA

A Dios, mi fortaleza y guía a lo largo de todo este proceso. A mi familia por confiar en mí, a mi papá Walter Alfredo Bravo Palomino, por su paciencia y comprensión en todo este tiempo, a mi mamá Aleida del Carmen Riveros Riveros por su apoyo incondicional y por su amor demostrado de maneras únicas, a mi hermano Leao Crisanto por sus palabras de aliento ante las situaciones adversas.

A Diego Alfonso, mi soporte, por acompañarme en todo este proceso animándome a continuar y a dar lo mejor de mí.

A Karla Patricia, mi mejor amiga, por su confianza y valiosa amistad todos estos años a pesar de la distancia.

Y a mis abuelos, quienes ya no están presentes, pero me acompañan siempre, José Bravo Benzunce, Brigida Palomino de Bravo, Guido Riveros Huertas y Guadalupe Riveros de Riveros.

Sarai del Carmen Bravo Riveros

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por recordarme la verdad en todo momento y por enseñarme a confiar en que Él.

A la Universidad Privada de Tacna y a cada docente que fue parte de mi formación académica.

Un agradecimiento especial a la Ing. Carmen Román Arce, por su comprensión, apoyo y asesoramiento en el proceso de la presente tesis.

A todas las personas que de alguna u otra manera contribuyeron con la realización de la presente.

Sarai del Carmen Bravo Riveros

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|-----|
| PÁGINA DE JURADOS | II |
| DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD | III |
| DEDICATORIA | IV |
| AGRADECIMIENTO | V |
| RESUMEN..... | XI |
| ABSTRACT..... | XII |
| INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN | 2 |
| 1.1 Descripción del problema | 2 |
| 1.2 Formulación del problema | 3 |
| 1.2.1 Problema general | 3 |
| 1.2.2 Problemas específicos | 3 |
| 1.3 Justificación e Importancia | 3 |
| 1.4 Objetivos | 4 |
| 1.4.1 Objetivo General | 4 |
| 1.4.2 Objetivos Específicos | 4 |
| 1.5 Hipótesis | 4 |
| CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO | 5 |
| 2.1. Antecedentes de la investigación | 5 |
| 2.1.1. Antecedentes internacionales | 5 |
| 2.1.2. Antecedentes nacionales | 9 |
| 2.1.3. Antecedentes locales | 11 |
| 2.2. Bases Teóricas..... | 12 |
| 2.2.1. Expansión Urbana | 12 |
| 2.2.2. Diagnóstico local..... | 15 |
| 2.2.3. Sistema de Información Geográfico..... | 22 |
| 2.2.4. Modelos de crecimiento Urbano..... | 25 |
| 2.2.5. Teoría de Escenarios Futuros..... | 26 |
| 2.2.6. Modelos Predictivos..... | 27 |
| 2.2.7. Indicadores Ambientales..... | 28 |
| 2.2.8. Clasificación de imágenes satelitales..... | 30 |
| 2.2.9. Verificación de clasificación | 31 |
| 2.2.9.1. Matriz de confusión | 31 |

| | |
|---|-----------|
| 2.2.9.2. Índice de Kappa | 32 |
| 2.2.10. Planificación Territorial en el Perú..... | 33 |
| 2.2.10.1 Planificación incipiente (1920-1960) | 34 |
| 2.2.10.2. Auge de la planificación (1960-1980)..... | 34 |
| 2.2.10.3. Crisis de la Planificación (1980-2000) | 36 |
| 2.2.10.3. Reinicio de la Planificación (2000-2021) | 36 |
| 2.2.11. Instrumentos técnicos sustentarios para el ordenamiento territorial..... | 37 |
| 2.2.11.1. Zonificación Ecológica y Económica – ZEE | 37 |
| 2.2.11.2. Estudios Especializados – EE..... | 37 |
| 2.2.11.3. Diagnóstico Integrado del Territorio – DIT..... | 38 |
| 2.2.11.4. Plan de Ordenamiento Territorial – POT | 38 |
| 2.2.11.2. Instrumentos técnicos para el ordenamiento territorial de la región | 38 |
| 2.3. Definición de términos..... | 39 |
| 2.3.1. Crecimiento urbano..... | 39 |
| 2.3.2. Planificación territorial..... | 40 |
| 2.3.3. Teledetección..... | 40 |
| 2.3.4. Modelamiento geoespacial | 40 |
| 2.3.5. Mapa temático | 40 |
| CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO | 41 |
| 3.1. Diseño de la investigación..... | 41 |
| 3.2. Acciones y actividades | 41 |
| 3.2.1. Analizar la información preexistente | 41 |
| 3.2.2. Representar de manera cartográfica el cambio histórico en el uso del suelo.... | 42 |
| 3.2.3. Proyección del escenario futuro de cambio de uso del suelo..... | 45 |
| 3.2.4. Desarrollar Estrategias de Planificación Territorial..... | 46 |
| 3.3. Materiales y/o instrumentos..... | 46 |
| 3.3.1. Materiales | 46 |
| 3.3.2. Instrumentos | 46 |
| 3.4. Población de estudio | 47 |
| 3.5. Operacionalización de variables..... | 48 |
| 3.6. Procesamiento y análisis de datos | 48 |
| CAPÍTULO IV: RESULTADOS | 49 |
| 4.1. Variables de Campo..... | 49 |
| 4.1.1. Cobertura Vegetal | 49 |
| 4.1.2. Suelos | 51 |
| 4.1.3. Geología..... | 53 |

| | |
|--|----|
| 4.1.4. Geomorfología..... | 55 |
| 4.2. Cambio de Uso de Suelos..... | 58 |
| 4.2.1. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) | 58 |
| 4.2.2. Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI) | 61 |
| 4.2.3. Índice de Diferencia Urbanizada Normalizada (NDBI)..... | 64 |
| 4.3. Escenarios Futuros | 67 |
| 4.3.1. Validación de puntos de control..... | 67 |
| 4.3.2. Proyección de escenario futuro | 68 |
| 4.4. Estrategias de Planificación Territorial | 72 |
| 4.4.1. Estrategia N°01 | 72 |
| 4.4.2. Estrategia N°02 | 73 |
| 4.4.3. Estrategia N°03 | 74 |
| CAPÍTULO V: DISCUSIÓN..... | 75 |
| 5.1. Discusión de resultado en base a otras investigaciones propuestas..... | 75 |
| 5.1.1. Objetivo General | 75 |
| 5.1.2. Análisis de la información preexistente..... | 75 |
| 5.1.3. Representación cartográfica del cambio histórico en el uso del suelo..... | 76 |
| 5.1.4. Proyección de escenario de cambio de uso del suelo para el año 2054 | 76 |
| 5.1.5. Desarrollo de estrategias de planificación territorial | 76 |
| CONCLUSIONES | 77 |
| RECOMENDACIONES..... | 78 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 79 |
| ANEXOS..... | 88 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Población total y tasa de crecimiento promedio regional 1940-2007..... | 16 |
| Tabla 2. Tasa de crecimiento según provincias del Departamento de Tacna | 16 |
| Tabla 3. Tendencias de crecimiento poblacional de la Provincia de Tacna | 16 |
| Tabla 4. Distribución de la población por distritos en la Provincia de Tacna | 17 |
| Tabla 5. Superficie y densidad de la población censada según distritos 2007-2013, Provincia de Tacna..... | 18 |
| Tabla 6. Distribución urbana y rural en la Provincia de Tacna año 2007 | 18 |
| Tabla 7. Migración detallada en la Provincia de Tacna..... | 20 |
| Tabla 8. Distribución de la población Inmigrante departamento Moquegua, Puno y Tacna | 21 |
| Tabla 9. Distribución de la población Emigrante departamento Moquegua, Puno y Tacna | 21 |
| Tabla 10. Tasa neta de migración de la población de Tacna | 22 |
| Tabla 11. Modelo de matriz de confusión | 32 |
| Tabla 12. Descarga de Imágenes Satelitales..... | 41 |
| Tabla 13. Áreas de entrenamiento..... | 45 |
| Tabla 14. Valoración del Índice de Kappa..... | 45 |
| Tabla 15. Operacionalización de variables de investigación | 48 |
| Tabla 16. Distribución de la cobertura del suelo | 50 |
| Tabla 17. Clasificación y distribución de tipos de suelo | 52 |
| Tabla 18. Distribución de unidades geológicas..... | 54 |
| Tabla 19. Distribución de las unidades geomorfológicas | 56 |
| Tabla 20. Distribución de cobertura de suelo para el NDVI..... | 59 |
| Tabla 21. Distribución de cobertura de suelo para el SAVI | 62 |
| Tabla 22. Distribución de cobertura de suelo para el NDBI..... | 65 |
| Tabla 23. Matriz de Confusión año 2013 | 67 |
| Tabla 24. Índice Kappa 2013 | 67 |
| Tabla 25. Matriz de Confusión año 2023 | 68 |
| Tabla 26. Índice Kappa 2023 | 68 |
| Tabla 27. Uso del suelo proyectado para los años 2023 y 2054..... | 69 |
| Tabla 28. Estrategia N°01 detallada | 72 |
| Tabla 29. Estrategia N°02..... | 73 |
| Tabla 30. Estrategia N°03..... | 74 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Expansión acumulada entre los años 2000-2018(%)..... | 13 |
| Figura 2. Expansión del crecimiento total del suelo urbano entre los años 2000 y 2015 | 14 |
| Figura 3. Tipo de crecimiento urbana por ciudad (%) | 14 |
| Figura 4. Dimensión de extensión informal en Latinoamérica..... | 15 |
| Figura 5. Partes de un Sistema de Información Geográfico..... | 23 |
| Figura 6. Ubicación de la zona de estudio | 47 |
| Figura 7. Distribución espacial de tipos de cobertura y uso del suelo | 50 |
| Figura 8. Distribución espacial de los tipos de suelo..... | 52 |
| Figura 9. Distribución espacial de las unidades geológicas | 55 |
| Figura 10. Distribución espacial de las unidades geomorfológicas | 57 |
| Figura 11. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) durante el período 2013-2023 | 60 |
| Figura 12. Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI) durante el período 2013- 2023 | 63 |
| Figura 13. Índice de Diferencia Urbanizada Normalizada (NDBI) durante el período 2013-2023 | 66 |
| Figura 14. Proyección de uso del suelo para el año 2054 | 70 |
| Figura 15. Validación en campo del área urbana N°01 | 91 |
| Figura 16. Validación en campo del área urbana N°02..... | 91 |
| Figura 17. Validación en campo del área urbana N°03..... | 92 |
| Figura 18. Validación en campo del del área urbana N°04 | 92 |
| Figura 19. Validación en campo del área de cobertura vegetal N°01..... | 93 |
| Figura 20. Validación en campo del área de cobertura vegetal N°02..... | 93 |
| Figura 21. Validación en campo del área de cobertura vegetal N°03..... | 94 |
| Figura 22. Validación en campo del área de cobertura vegetal N°04..... | 94 |

RESUMEN

El crecimiento acelerado y descontrolado de las ciudades es una problemática mundial, influenciada por la falta de normativas oportunas y la aplicación de instrumentos de gestión territorial. Por ello, la presente tesis tuvo como objetivo general diseñar escenarios futuros del crecimiento urbano en el distrito de Calana, región de Tacna, a fin de contribuir a una planificación territorial sostenible que permita gestionar eficientemente el uso del suelo. La metodología aplicada fue de tipo básica, de nivel descriptivo con enfoque predictivo y de diseño no experimental; se realizó un análisis detallado de la información existente del distrito, revisando información nacional e internacional; asimismo, se representó cartográficamente el uso del suelo entre 2013 – 2023, con intervalos de dos años, identificando cambios significativos en la zona de estudio, para ello se procesaron índices ambientales: NDVI, SAVI y NDBI; además, mediante herramientas de sistemas de información geográfica (SIG), se proyectó el escenario futuro para el año 2054; con la información resultante se propusieron tres estrategias de planificación territorial orientadas a un crecimiento urbano sostenible. Los resultados de la representación cartográfica evidenciaron un incremento en la expansión del área urbana y una disminución de la cobertura vegetal; la proyección del escenario futuro para el 2054 muestra un incremento de 0,11 km² en la extensión del área urbana y una disminución de 0,09 km² para la cobertura vegetal, en comparación con el año 2023 que presentó 11,41 km² y 4,66 km² para el área urbana y la cobertura vegetal, respectivamente. Estos hallazgos, si bien no representan un impacto significativo, se destaca la importancia de mantener una constante actualización de la información, esto contribuirá a una gestión adecuada del uso del suelo, reducirá los impactos ambientales negativos de un crecimiento urbano sin planificación y proporcionará herramientas esenciales para la toma de decisiones en materia de planificación territorial.

Palabras clave: cobertura vegetal; crecimiento urbano; escenario futuro; planificación territorial; uso del suelo.

ABSTRACT

The accelerated and uncontrolled growth of cities is a global problem, influenced by the lack of appropriate regulations and the application of land management instruments. Therefore, the general objective of this thesis was to design future scenarios of urban growth in the district of Calana, Tacna region, in order to contribute to sustainable land planning that allows efficient management of land use. The methodology applied was basic, descriptive level with a predictive approach and non-experimental design; a detailed analysis of the existing information of the district was carried out, reviewing national and international information; also, land use was represented cartographically between 2013 - 2023, with two-year intervals, identifying significant changes in the study area, for which environmental indexes were processed: NDVI, SAVI and NDBI; in addition, using geographic information system (GIS) tools, the future scenario was projected for the year 2054; with the resulting information, three territorial planning strategies aimed at sustainable urban growth were proposed. The results of the cartographic representation showed an increase in the expansion of the urban area and a decrease in vegetation cover; the projection of the future scenario for 2054 shows an increase of 0.11 km² in the extension of the urban area and a decrease of 0.09 km² for vegetation cover, compared to the year 2023 which presented 11.41 km² and 4.66 km² for the urban area and vegetation cover, respectively. These findings, although they do not represent a significant impact, highlight the importance of maintaining a constant update of the information, this will contribute to an adequate management of land use, will reduce the negative environmental impacts of unplanned urban growth and will provide essential tools for decision-making in matters of territorial planning.

Keywords: vegetation cover; urban growth; future scenario; land use planning; land use.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento acelerado y descontrolado de la urbe viene siendo un fenómeno de interés a nivel mundial debido a su complejidad, dicho fenómeno ha sido impulsado principalmente por el incremento de la población, la migración de áreas rurales a urbanas y la creciente actividad económica que se desarrolla en las zonas urbanas; a fin de abordar los desafíos generados del crecimiento urbano, es clave la implementación de políticas y estrategias de planificación territorial que generen un desarrollo sostenible y equitativo.

En el Perú, los procesos de extensión urbana se vienen dando a nivel nacional, trayendo consigo problemas ambientales y socioeconómicos los que se ven reflejados en asentamientos humanos y pueblos jóvenes ubicados en la capital del país (CEPLAN, 2023), ante este panorama, la planificación territorial es crucial para asegurar el desarrollo sostenible de las ciudades y la conservación de los recursos naturales. Por lo que, el diseño de escenarios futuros del crecimiento urbano surge como una estrategia para pronosticar y gestionar los cambios en el territorio.

En este contexto, el presente estudio a través de un enfoque prospectivo, propone diseñar escenarios futuros del crecimiento urbano para la planificación territorial del Distrito de Calana, ubicado en la provincia de Tacna al sur de Perú, a través del análisis de la información preexistente estableciendo una base de datos que permita comprender el contexto del área de estudio; representando por medio de mapas temáticos el cambio histórico en el uso del suelo entre los años 2013 y 2023, y proyectando un escenario de cambio de uso del suelo para el año 2054; con todo ello se plantearán estrategias de planificación territorial orientadas al desarrollo sostenible.

Los resultados de este estudio suministrarán información de alto valor al campo de la planificación territorial, al ofrecer una visión a largo plazo que oriente en la toma de decisiones y aporte al desarrollo de un distrito sostenible.

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Descripción del problema

El distrito de Calana, ubicado en la región de Tacna, enfrenta una problemática creciente en cuanto a su desarrollo urbano. En los últimos años, el distrito ha experimentado una expansión acelerada y desorganizada, caracterizada por la ocupación irregular del suelo y un crecimiento poblacional que no ha sido acompañado por una adecuada planificación territorial. Este crecimiento desordenado genera múltiples desafíos, tales como la presión sobre la infraestructura básica (agua potable, alcantarillado, electricidad y vías de transporte) y el deterioro de las condiciones ambientales y de habitabilidad en las zonas urbanas y periurbanas.

Una de las causas principales de esta problemática es la falta de un plan urbano integral que oriente el crecimiento de Calana de manera sostenible y ordenada. Esto ha permitido que la expansión urbana ocurra sin restricciones en áreas sin servicios adecuados y en terrenos que no cumplen con las condiciones necesarias para soportar una urbanización segura y eficiente. Además, el incremento poblacional y la migración hacia el distrito han contribuido a la proliferación de asentamientos informales, los cuales agravan la saturación de los servicios básicos existentes.

Otro factor que incide en esta problemática es la falta de normativa oportuna y de instrumentos de gestión territorial que permitan regular el uso del suelo y coordinar el desarrollo urbano en armonía con los recursos ambientales. Esta carencia de regulación favorece la ocupación de áreas agrícolas o ecológicamente sensibles, lo que genera impactos negativos en el medio ambiente y amenaza los recursos naturales del distrito, como la disponibilidad de agua y la calidad del suelo.

En este contexto, el distrito de Calana necesita urgentemente herramientas y estrategias de planificación territorial que proyecten escenarios futuros de crecimiento urbano, con el fin de anticiparse a los problemas derivados de la expansión no planificada. La generación de estos escenarios permitirá a las autoridades locales contar con información precisa para gestionar el crecimiento de la población y el uso del suelo de manera sostenible, minimizando los impactos negativos en el entorno y garantizando una mejor calidad de vida para los habitantes actuales y futuros del distrito.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Cómo puede el diseño de escenarios futuros del crecimiento urbano contribuir a una planificación territorial sostenible en el distrito de Calana?

1.2.2 Problemas específicos

- a. ¿Qué información preexistente sobre el distrito de Calana es relevante para comprender las condiciones actuales de la zona de estudio y cómo puede esta información servir de base para el análisis del cambio de uso del suelo?
- b. ¿Cuál ha sido el cambio histórico en el uso del suelo en el distrito de Calana entre 2013 al 2023, y cuáles son las áreas que han experimentado transformaciones significativas?
- c. ¿Cuáles serían las posibles tendencias de cambio de uso del suelo en el distrito de Calana para el año 2054, y cómo puede contribuir a una planificación territorial más sostenible?
- d. ¿Cómo se pueden desarrollar estrategias de planificación territorial que promuevan un crecimiento urbano sostenible en el distrito de Calana, orientando el uso del suelo de manera equilibrada?

1.3 Justificación e Importancia

La necesidad de esta investigación radica en la urgencia de anticipar el crecimiento urbano en Calana mediante la creación de escenarios futuros. Estos escenarios permiten prever y gestionar el uso del territorio de forma estratégica, evitando problemas como la congestión, el déficit de servicios básicos, la fragmentación del paisaje y la degradación ambiental. La ausencia de una planificación territorial adecuada puede resultar en un crecimiento desordenado, lo que afectaría a futuras generaciones y generaría altos costos económicos y sociales.

El diseño de escenarios futuros del crecimiento urbano permitirá a las autoridades locales y tomadores de decisiones contar con una herramienta de planificación efectiva para guiar el desarrollo de Calana de manera sostenible. Esta investigación proporcionará información útil para identificar áreas prioritarias de intervención, así como para formular políticas y estrategias de desarrollo urbano que maximicen los beneficios sociales y económicos, a la vez que minimicen los impactos negativos en el medio ambiente. Además, los escenarios proyectados podrán ser

aplicables a otros distritos de Tacna, sirviendo como referencia en la planificación urbana de la región.

La importancia de esta investigación radica en su contribución a la planificación urbana de Tacna. A través de un enfoque preventivo y de anticipación, se pueden evitar problemas comunes en ciudades de crecimiento rápido, como la saturación de servicios, la expansión de asentamientos informales y la pérdida de áreas naturales y agrícolas. Asimismo, este estudio aporta una visión integrada y sustentable al desarrollo urbano, asegurando que el crecimiento de Calana esté alineado con la conservación de sus recursos naturales y con una calidad de vida adecuada para sus habitantes actuales y futuros.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Diseñar escenarios futuros del crecimiento urbano en el distrito de Calana, Tacna, para contribuir a una planificación territorial sostenible que permita gestionar eficientemente el uso del suelo.

1.4.2 Objetivos Específicos

- a. Analizar la información relevante preexistente sobre el distrito de Calana para comprender las condiciones actuales de la zona de estudio, información que servirá de base para interpretar el cambio de uso del suelo
- b. Representar de manera cartográfica el cambio histórico en el uso del suelo en el distrito de Calana entre los años 2013 al 2023, identificando las áreas con transformaciones significativas
- c. Desarrollar una proyección de escenario de cambio de uso del suelo en el distrito de Calana para el año 2054, utilizando herramientas de modelación espacial que permitan anticipar las tendencias de crecimiento urbano
- d. Desarrollar estrategias de planificación territorial que promuevan un crecimiento urbano sostenible en el distrito de Calana, orientando el uso del suelo de manera equilibrada.

1.5 Hipótesis

El diseño de escenarios futuros del crecimiento urbano nos servirá para realizar la planificación territorial en el Distrito de Calana.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Para desarrollar este ítem se buscó información de diversas investigaciones, a continuación, se muestran las más importantes.

2.1.1. Antecedentes internacionales

Pérez et al (2019) en su investigación tienen como objetivo identificar la situación de los habitantes de la Parroquia Chiguaza provincia de Corona Santiago – Ecuador a fin de guiar la planificación y el desarrollo sostenible apoyándose en los sistemas de información geográficos participativos. El área de estudio presenta una población de 9401 hab., distribuidos en 95,7 % rural y 4,3 % urbano. El estudio consideró los lineamientos de SENPLADES para la ejecución de los Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial dividido en tres etapas, en la primera realizaron la recopilación de la información secundaria de las instituciones involucradas, considerando su calidad y disponibilidad para posteriormente generar nueva información primaria previo análisis de requerimiento y obtención, en la segunda fase, aplicaron encuestas (presidentes de comunidades), entrevistas (familias de la comunidad), mapeo participativo (presidentes de comunidades y delegados de las mismas) y para la georreferenciación utilizaron el Software ArcGIS 10.4, y en la última etapa analizaron la situación del área de estudio para generar un modelo territorial. Los resultados permitieron conocer la situación real de los componentes ambientales, socio culturales, productivos y asentamientos comunitarios por medio de información espacial y alfanumérica; cada componente fue representado en un mapa mostrando así los siguientes aspectos: deforestación, disminución de la superficie cultivable, riesgo alimentario de las familias comunitarias, abastecimiento de agua para consumo, potencial de biodiversidad en bosques naturales y áreas de reserva y demás los cuales permitirán a los gobiernos locales una toma de decisiones acertadas considerando la realidad de la zona.

Criado (2020) menciona el impacto del ser humano y su modelo de desarrollo en torno a la economía que repercuten en ámbitos y pilares de la sociedad como seguridad, convivencia y protección ambiental, además con respecto a la sostenibilidad ambiental hace hincapié en la débil legislación existente o que en ocasiones no se aplica adecuadamente; ante esta problemática, el objetivo de su trabajo reside en planificar y ordenar la zona de estudio (área de 290 km² en la ciudad de Salamanca - España) de acuerdo a la capacidad de los usos y actividades del territorio, a través de una

Evaluación Ambiental Estratégica (EAE), considerando principalmente el criterio ambiental en la toma de decisiones; para ello elaboró cartografía ambiental representando zonas relevantes desde el punto de vista ambiental, a partir de un análisis de riesgos geológicos elaboró cartografía de limitaciones y usos para el desarrollo de diversas actividades, creó una geodatabase digital de información temática de la zona de estudio, contrastó y validó el binomio desarrollo sostenible-planificación territorial mediante la EAE y generó medidas no estructurales propuestas a los gestores y a la Administración, para su uso en el proceso de planificación. Posteriormente concluyó que, los estudios de los medios físicos y socioeconómicos son cruciales en la adjudicación de recursos y acciones de una planificación territorial; una alternativa para conseguir un modelo económico sostenible es haciendo uso de la EAE en el desarrollo de la planificación; la elaboración de cartografía complementaria eleva la eficacia del proceso planificador; una distribución de las actividades de usos del suelo conforme las pautas del cuidado del ambiente y de la ciudadanía avalan un modelo sostenible y evitan los impactos negativos en el ambiente. Por último, la representación cartográfica sirve de apoyo a las instituciones públicas, demostrando que en las actividades de planificación del territorio y valoración ambiental los sistemas de información geográfica son herramientas útiles para ejecutar diversos análisis a bajo costo y en corto tiempo.

En el estudio elaborado por Guevara (2020) se menciona el concepto y las causas del proceso del cambio de uso del suelo (CUS), siendo una de las principales el crecimiento poblacional. Por esta razón su estudio se concentró en la evaluación de uso del suelo en la cuenca del río Mira ubicado al noroccidente de Ecuador entre los años 1996 y 2100, con el objetivo de generar estrategias de ordenamiento territorial; para esto, se ejecutó una clasificación supervisada de los años 1996, 2007 y 2018, registrando un incremento de la zona sin vegetación (10,427 h) en el período entre 1996 y 2018, superando tres veces más el registro del año inicial; posteriormente, para definir el CUS entre los años 1996 y 2018 se empleó el software Terrset 1.0 (anteriormente IDRISI), de igual manera se proyectó un modelo predictivo para el año 2037 el cual reveló un incremento del 26 % de áreas urbanas que sustituyeron las áreas de cultivos y pastos. Finalmente, el estudio determina una predominante correlación entre el cambio de uso del suelo (CUS) y las actividades antrópicas, por lo que el autor desarrolló estrategias de ordenamiento territorial orientadas a la planificación estratégica, la educación ambiental y el seguimiento y control.

Los autores Maturana et al. (2021) resaltan en su estudio el propósito de examinar los cambios de cobertura de suelo presentes en la ciudad de Temuco - Chile,

consiguiendo una simulación de la extensión edificada para el año 2049, a fin de sugerir que zonas podrían considerarse en la planificación territorial a futuro, tomando en cuenta el margen urbano. Para la determinación del uso y cobertura del suelo aplicaron una clasificación supervisada del uso de suelo urbano, zona arbórea, cobertura vegetal, suelo descubierto y lechos fluviales para los años 1985 (Landsat 5), 2001 (Landsat 7) y 2017 (Landsat 8) haciendo uso del programa ENVI 5.0; para la validación del modelo aplicaron un Modelo de Simulación Simultanea de Cambio de Uso/Cobertura de Suelo entre los años 1985 y 2017 y así a través de una nueva simulación determinaron el futuro suelo urbano (a partir del año 2017), para ello incluyeron técnicas como la Evaluación Multicriterio-Multiobjetivo, Cadenas de Markov y Autómata Celular, trabajadas por medio del programa IDRISI Selva 17.0. Obteniendo como resultado del modelo, que las áreas urbanas y arbóreas entre los años 1985 y 2017 incrementaron su superficie, siendo el más representativo el cambio de cobertura urbana con un 41 % del suelo respecto al año inicial y la cobertura arbórea expreso un crecimiento de un 11 %; en el período del año 2001 y 2017 el cambio significativo se refiere a la disminución del ritmo de crecimiento de suelo urbano con un 39 % (1.212 ha adicionales) y el incremento de 3 148 h de cobertura arbórea representando el 35 % respecto al primer tramo, además precisan que la cobertura urbana para el año 2049 será de 6 782 h, 2 437 h mayor a la del año 2017, con una tendencia de crecimiento externo y disperso en dirección norte de la zona de estudio y un sobresaliente crecimiento en dirección al oeste en el barrio de Labranza, en consecuencia es fundamental accionar partiendo de políticas públicas y del desarrollo sostenible.

En la investigación llevada a cabo por Flores y Balseca (2022), mencionan el crecimiento acelerado de la población urbana como una de las causas de que la ampliación de ciudades en Latinoamérica sea dispersa y fragmentada como su infraestructura; debido a esto, el objetivo general de su investigación consistió en determinar escenarios del crecimiento urbano de la ciudad de Cuenca-Ecuador para el año 2030 mediante la realización de modelos espacio-temporales, identificando áreas que presenten tendencia urbana en suelo natural actual, además de considerar la asignación de usos de suelo en el planeamiento territorial; en su metodología utilizaron cadenas de Markov-automatas celulares complementando así la herramienta MOLUSCE (Modules for Land Use Change Simulation) del software QGIS. Como resultado de la comparación de las superficies entre los años 2020 y 2030 se mostraron cambios de clasificación del suelo urbano, para el año 2030 el área urbana aumentará en un 3,47 % (6588,27 h) respecto al año 2020 (5543,64 h), asimismo, habrá una reducción del suelo agrícola (-0,69 %), cuerpo de agua (-0,01 %) y de vegetación natural

(-1,40 %), estos cambios se observan notoriamente en los alrededores de la localidad y concuerdan con las zonas trazadas en el plan territorial local como suelos de crecimiento urbano. Finalmente concluyen que los modelos predictivos de cambio de uso del suelo son una herramienta esencial para la toma de decisiones y un insumo fundamental en los instrumentos de planificación territorial.

En la investigación realizada por Rojas et al. (2022) calculan el incremento de suelo urbanizado en la localidad de Tunja - Colombia con el fin de modelar situaciones futuras; para ello la metodología aplicada se llevó a cabo en cuatro fases: 1) Preprocesamiento, en esta fase definieron el área de estudio y adaptaron las imágenes satelitales; 2) Procesamiento, clasificaron las imágenes de los años 2000, 2012 y 2017 y crearon mapas de cobertura y de usos del suelo como: urbano, productivo y espacios abiertos; 3) Post procesamiento, validaron la distribución anterior; 4) Modelamiento de escenarios futuros, en esta última añadieron las causas del cambio a un suelo urbanizado y sus limitaciones, analizaron los cambios y el territorio con potencial urbano, a fin de crear modelos futuros para los años 2025 y 2030. Obteniendo en sus resultados que, para el año 2025 la extensión del suelo urbanizado será de 22,1 km² representando el 52,5 % del área total del estudio, la zona verde tendrá una extensión de 19,8 km² siendo el 47.1 %, y la zona abierta tendrá una extensión de 0.2 km² representando el 0.5%; además para el año 2030 la extensión del suelo urbanizado será de 24,2 km² (57,4 %), zona verde 17,7 km² (42,1 %) y la zona abierta 0,2 km² (0,5 %); y concluyen que, la principal causa del crecimiento del suelo urbanizado es la existencia de vías e instituciones de educación superior y principalmente al norte de la ciudad se visualizan significativas zonas urbanizables dentro del área urbana; también, considerando los servicios públicos básicos (agua potable e instalaciones de saneamiento), no se translucen dificultades de sostenibilidad respecto a construcciones nuevas a mediano plazo.

Galiano y Suárez (2023) en su estudio plantearon analizar el cambio de uso del suelo en el cantón Otavalo – Ecuador para identificar las zonas afectadas en un futuro, para esto realizaron un análisis espacial a través de ortofotografías de 1993, 2002 y 2012 digitalizadas y una clasificación supervisada con el método de máxima verosimilitud, teniendo como resultado mapas del uso del suelo, información validada con el índice Kappa, a razón de la clasificación consiguieron 12 categorías de cobertura y uso del suelo, dando como resultado la pérdida del 0,67 % del bosque nativo y el 0,20 % del páramo en el periodo de años estudiados; asimismo el resultado del índice Kappa 0,93 demuestra la precisión casi perfecta de la clasificación. Como resultado del análisis del cambio de uso de suelo histórico, el uso óptimo del suelo disminuyó en 0,49 %, el

sobre uso se elevó en un 0,64 % y la subutilización resultó 1,19 %; el resultado de la proyección para el año 2031 arroja que habrá una reducción del 28,18 % del bosque nativo y una pérdida del 12,08 % del páramo; por último, propusieron las siguientes actividades para aminorar los daños ocasionados por los cambios del uso del suelo: evitar perder bosques nativos, evitar perder el páramo, manejar el crecimiento de la frontera agrícola, con la finalidad de conservar los ecosistemas frágiles mediante un principio de sostenibilidad.

2.1.2. Antecedentes nacionales

La investigación de Sernaque y Sandoval (2020) tuvo como objetivo demostrar que la utilización de un SIG mejora un plan de gestión urbana, a través del adecuado análisis y registro de la información territorial. La metodología fue deductiva, con enfoque cualitativo, orientación aplicada y diseño no experimental, transversal y retrospectivo. El área de estudio fue el distrito de San Luis de la provincia de Carlos Fermín Fitzcarrald; las fuentes de datos fueron diversas, digitales y físicas, las que posteriormente fueron procesadas mediante el software ArcGIS, obteniendo mapas temáticos del área de estudio que sirvieron de apoyo tanto para la mejora del panorama del distrito como para la toma de decisiones del municipio del mismo. La investigación concluyó que la utilización del Sistema de Información Geográfica – SIG tiene un gran impacto de manera positiva en un plan de gestión urbano territorial, debido al manejo eficaz y ordenado de la información geográfica, lo que en consecuencia permite que el municipio una mejora en la toma de decisiones al priorizar los problemas urbanos.

Según Huamán (2022) la creciente urbanización en el Distrito de Lurigancho – Lima nace a costa de las áreas de vegetación y esto se evidencia en la degradación de la cobertura del suelo; por ello plantea como objetivo analizar el desarrollo del cambio de cobertura y uso de suelo (CUS) en dicho distrito, entre los años 1986 – 2018. La metodología empleada fue CORINE Land Cover (CLC) en su adaptación para el Perú, la cual arrojó resultados eficaces después de aplicar el algoritmo Random Forest en el desarrollo de la clasificación supervisada, logrando examinar 11 tipos de uso y cobertura del suelo, mostrando un incremento del 11,89 % de las actividades antropogénicas en el periodo de estudio, adicionalmente la metodología utilizada contribuyó con el pronóstico del crecimiento urbano para el año 2030; en cuanto a la cartografía resultante esta obtuvo 95% de validación estadística y los siguientes valores del índice Kappa 0,9644 (año 1986), 0,9450 (año 1998), 0,9749 (año 2013) y 0,9702 (año 2018); concluyendo así que el método CORINE Land Cover (CLC) y los

instrumentos softwares ArcGIS, Envi, R Estudio son una buena alternativa para analizar el uso del suelo.

Mamani (2023) en su trabajo de investigación hace referencia a la creciente extensión urbana carente de planificación en la ciudad de Ilaya ubicada en el Departamento de Puno – Perú; por lo que en su trabajo propuso como objetivo el análisis de los cambios en la cobertura y uso de suelo generados a partir del crecimiento urbano, entre los años 1990 – 2020, a través de imágenes satelitales Landsat. La metodología empleada se basó en detallar el paralelismo de las zonas clasificadas y la cobertura urbana, haciendo uso de imágenes satelitales Landsat 5, 7 y 8, en las que se identificaron cinco coberturas: zonas urbanas, suelo cultivado, suelo no cultivado, zona con vegetación y masas de agua. Para ratificar los resultados empleó el método probabilístico y la matriz de confusión con el índice Kappa, a fin de inferir la correcta clasificación en las cinco clases de coberturas mencionadas anteriormente; teniendo como resultado los valores del coeficiente de Kappa entre 0,91 y 0,99 en un rango casi perfecto. Concluyendo así que, la cobertura de la zona urbana y el suelo no cultivado tienen una correlación negativa muy elevada, representando una influencia alta en la variación del uso de suelo; y una interrelación promedio en las últimas tres categorías (suelo cultivado, cuerpos de agua y vegetación). Asimismo, proyectó que para el año 2030 la extensión urbana será de aproximadamente el 30 % de la zona de estudio (665,17 h).

García (2023) en su trabajo de investigación tuvo como objetivo principal proponer el uso de un modelo SIG (Sistema de Información Geográfica) como herramienta en la gestión territorial de parques públicos y áreas verdes de Arequipa Metropolitana, con la finalidad de integrar las maneras de apropiación y los patrones de habitabilidad territorial; para conseguir dicho objetivo mapeo los parques públicos y áreas verdes con atributos de valor histórico y habitable, lo que permitió que el SIG contribuya a la toma de decisiones relacionadas a la planificación del territorio; analizó con la herramienta SIG las posibles causas del deterioro, el rango de habitabilidad de los parques y áreas verdes en la actualidad y su atribución de sensación de desarrollo y sostenibilidad; además analizó el catastro básico de los parques públicos y áreas verdes y su importancia en la planificación territorial junto con la problemática de integración de espacios públicos de la ciudad; por ultimo estableció estrategias para el uso óptimo de la herramienta SIG en referencia a los espacios públicos y áreas verdes. Su trabajo concluyó en que el modelo SIG permite mejorar las tareas de mantenimiento y gestión de espacios públicos y áreas verdes, optimizando las decisiones.

En el trabajo de Raymundo (2023) el objetivo fue el análisis de uso del suelo y de la planificación territorial del área Cono Urbano de Lima Este, esto mediante determinación de las normas de uso del suelo, diagnóstico territorial y la identificación de su uso todo ello para lograr una planificación del territorio y formular una propuesta de gestión de desarrollo. La metodología fue metódica-observacional, descriptiva-interpretativa, diseño no experimental-transversal; con un procedimiento observacional, documental y entrevista detallada, la muestra corresponde a 24 autoridades de diversos distritos como San Juan de Lurigancho, Lurigancho, La Molina, Chaclacayo, Cieneguilla, Santa Anita, El Agustino y Ate. La recolección de la información se realizó en fichas y se revisó la normativa legal vigente en lo relativo a suelo y planificación territorial. Los resultados reflejan que más del 70% de la extensión de los 8 distritos mencionados fue de uso residencial, de igual manera se identificó el desorden y el uso informal del suelo urbano a raíz de la migración sin planificar, las autoridades entrevistadas establecieron planificar el suelo de forma mancomunada.

La tesis de Terrones (2023) tuvo como objetivo la caracterización de las unidades geomorfológicas del distrito de Chetilla – Cajamarca para conseguir una planificación ambiental y territorial adecuada, el estudio fue de tipo aplicado, nivel descriptivo-correlacional, diseño no experimental-transversal. El área de estudio presenta una extensión de 47,161 km², las muestras fueron geoformas: morfogénesis, morfometría, morfolitología, morfodinámica y el tipo de ambiente morfogenético. El autor realizó seis salidas a campo, para la extracción de datos a nivel de observador y para la recolección de documentos, información que se representó de manera cartográfica geomorfológica y perfiles morfológicos, todo esto utilizando softwares como Excel Profesional, ArcGIS y AutoCAD. Como resultado, se observó que un 41 % de la extensión del área estudio es ambiente Kárstico, un 34,5 % es ambiente Denudacional, el 17,6 % es ambiente estructural, 4.2% es volcánico, 2,3 % ígneo y el 0,3 % es ambiente Fluvial; como conclusión las características de las unidades geomorfológicas guardan una relación estrecha con los procesos geodinámicos, asimismo, el análisis morfométrico y la cartográfica geomorfológica sirven de base para la planificación territorial ambiental de la zona de estudio.

2.1.3. Antecedentes locales

Tarqui y Flores (2022) mencionan en su investigación que, el incremento de la población genera el acelerado crecimiento de la zona urbana con escasa planificación, a razón de ello, el objetivo de su estudio fue la determinación de la relación del crecimiento poblacional y su influencia en el Índice de Calidad Ambiental en la zona urbana de la

ciudad de Tacna – Perú para el año 2021; para ello aplicaron técnicas de teledetección haciendo uso del software ArcGIS, considerando las siguientes coberturas: zona urbana, cobertura vegetal, zona desértica y cuerpos de agua. En cuanto a la metodología aplicada utilizaron imágenes del satélite Landsat 7, asimismo, utilizaron métodos de análisis multitemporal, vectorización visual de zona urbana y una clasificación supervisada; posterior al procesamiento de las imágenes satelitales obtuvieron cinco índices ambientales: NDBI, NDVI, SAVI, NDWI y BU para la zona urbana de Tacna, lo que contribuyó a comprender aspectos de las coberturas mencionadas previamente. Concluyendo que, existe una alta correlación entre los índices de calidad ambiental y la extensión de la zona urbana, exceptuando el NDWI el cual no presenta una correlación.

En materia de ordenamiento territorial el Departamento de Tacna, cuenta con los instrumentos técnicos sustentatorios Zonificación Ecológica y Económica – ZEE; Estudios Especializados; Diagnóstico Integrado del Territorio y el Plan de Ordenamiento Territorial, debidamente aprobados; además Tacna es considerada como la primera región con un Plan de Ordenamiento Territorial (con reglamento interno aprobado) a nivel nacional, por lo que denota el interés de la región por un cumplimiento óptimo de las implicaciones en ordenamiento territorial y todos sus instrumentos relacionados.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Expansión Urbana

Molinero-Parejo et al. (2021), menciona que la expansión urbana se entiende como un proceso que ocurre en el espacio-tiempo lo que indica patrones de asentamiento de la población y sus actividades, este fenómeno puede tener consecuencias importantes e irreversibles para la región.

Tox Town (2017), define el crecimiento urbano como la expansión de áreas urbanizadas, a menudo en terrenos previamente no urbanizados. Este proceso, también conocido como expansión suburbana, ocurre generalmente cuando se urbanizan tierras de cultivo, bosques y humedales.

Finalmente, Chen et al. (2000) señalaron que el crecimiento urbano descontrolado puede conducir a cambios en la estructura urbana y crear desequilibrios territoriales. Estas transformaciones han tenido un impacto negativo en las condiciones ambientales y la calidad de vida de la población

Hernández-Flores et al. (2009) mencionaron que debido a la expansión de las áreas urbanas, los espacios suburbanos se caracterizan por una mezcla de usos del suelo, que es el resultado de actividades urbanas y rurales simultáneas.

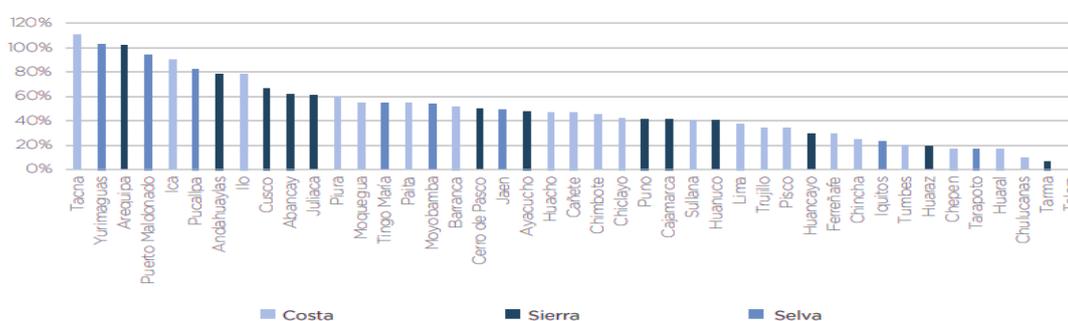
Si hablamos de la expansión urbana en el Perú, Espinoza y Fort (2020) revelaron la situación de la expansión urbana en el Perú, e indicaron que entre 2001 y 2018, las 43 ciudades más grandes del país añadieron 68,000 hectáreas de nuevo suelo urbano, esto representa un aumento del 47 % del suelo urbano ya existente en el año 2000.

Asimismo, la creación de nuevo suelo urbano en el país denota una aceleración, dado que en el periodo 2001 – 2006 se crearon 3.400 h anuales mientras que en entre los años 2007 – 2016 se presentó más de 4.700 h anuales.

La Figura 1 representa las ciudades con mayor crecimiento entre los años 2000 - 2018 fueron Tacna (111 %), Yurimaguas (103 %), Arequipa (102 %), Puerto Maldonado (94 %) e Ica (90 %). Sin embargo, Lima es la ciudad que más suelo urbano generó en dicho periodo (25,000 h), seguida de Arequipa (9,000 h) y Tacna (3,800 h).

Figura 1

Expansión acumulada entre los años 2000-2018(%)

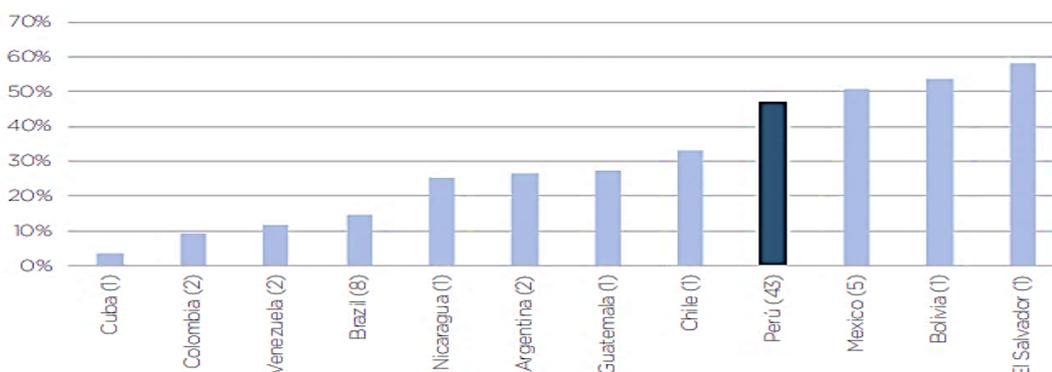


Nota. Espinoza y Fort (2020)

A continuación, en la Figura 2 se muestra la expansión urbana de las localidades del Perú en comparación con las localidades de otros países en Latinoamérica presenta un ritmo acelerado mayor al promedio de 30 %.

Figura 2

Expansión del crecimiento total del suelo urbano entre los años 2000 y 2015



Nota. Espinoza y Fort (2020) citan al Atlas of Urban Expansion (2016)

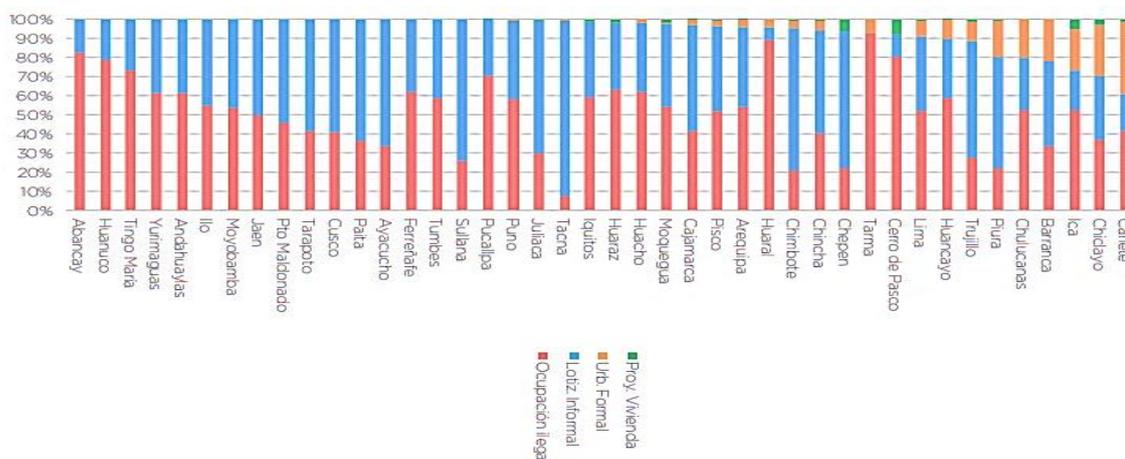
Espinoza y Fort (2020), exponen la situación del país respecto a la expansión urbana informal refiriendo que el 93 % del nuevo suelo urbano creado desde el año 2001 proviene de urbanizaciones informales, asentamientos que no cuentan con habilitación urbana completa.

Las 43 ciudades con mayor población del país entre los años 2001 y 2008 desarrollaron suelo urbano que se dividió de la siguiente manera: urbanizaciones ilegales (47 % de las nuevas urbanizaciones nacionales), fraccionamientos informales (46 %), urbanizaciones formales (6 %) y proyectos de vivienda social (1 %).

Más del 90% de la expansión urbana en las ciudades estudiadas es de carácter informal, como se muestra en la Figura 3. Cañete (39 %), Chiclayo (29 %), Ica (27 %), Barranca (22 %), Chulucanas (20 %) y Piura (20 %) son las ciudades con mayor expansión formal.

Figura 3

Tipo de crecimiento urbana por ciudad (%)

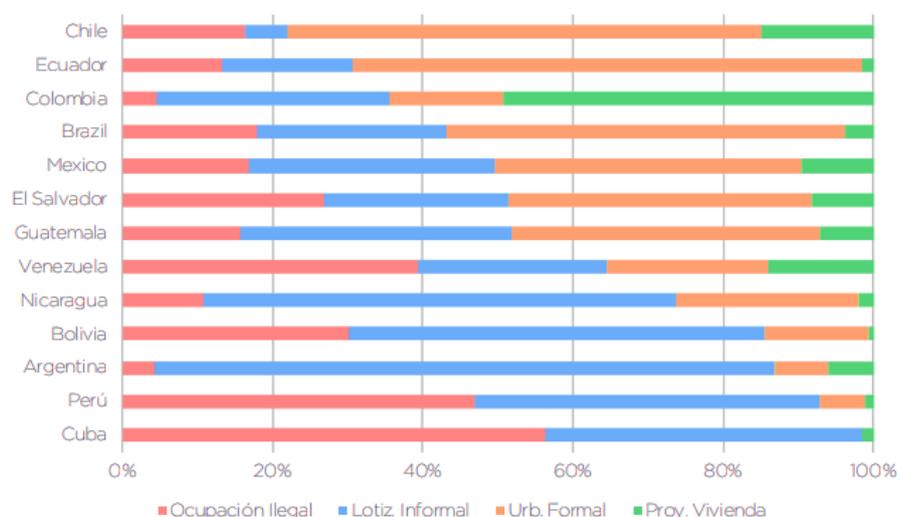


Nota. Espinoza y Fort (2020).

Como se muestra en la Figura 4, la extensión informal es la segunda mayor de América Latina en términos de tamaño, siendo mayor la dimensión de Cuba.

Figura 4

Dimensión de extensión informal en Latinoamérica



Nota. Espinoza y Fort (2020). Extensión informal es la segunda mayor de América Latina en términos de tamaño, siendo mayor la dimensión de Cuba.

2.2.2. Diagnóstico local

a. Nivel Departamental y Provincial

La Municipalidad Provincial de Tacna (2013), menciona que la tasa media de crecimiento anual es el criterio para medir el crecimiento anual de la población. La tasa de crecimiento mundial entre 1940 y 1961 fue del 2,9 %; Tacna vio las primeras oleadas de migración impulsadas por el comercio y la minería.

Entre 1972 y 1981, el movimiento de habitantes de las áreas rurales a las ciudades se intensificó, con tasas de crecimiento urbano de hasta el 3,6 % y el 4,4 %, creando un grupo de habitantes urbanos que buscaban una mejor calidad de vida.

En los años 1993 y 2007, la tasa de crecimiento entre censos disminuyó del 3,5 % al 2,0 %, pero la provincia de Tacna mantuvo una tasa de crecimiento positiva como se observa en la Tabla 1. De igual manera se aprecia en la Tabla 2 la tasa de crecimiento en las provincias del Departamento de Tacna.

Tabla 1*Población total y tasa de crecimiento promedio regional 1940-2007*

| Año | Total (hab) | Tasa de Crecimiento Promedio Anual | |
|------|-------------|------------------------------------|-----|
| | | (%) | |
| 1940 | 36 349 | | |
| 1961 | 66 024 | | 2,9 |
| 1972 | 95 444 | | 3,6 |
| 1981 | 143 085 | | 4,4 |
| 1993 | 218 353 | | 3,5 |
| 2007 | 288 781 | | 2,0 |

Nota. Plan de Acondicionamiento Territorial de la Provincia de Tacna 2014-2023, p.15, por la Municipalidad Provincial de Tacna, 2013.

Tabla 2*Tasa de crecimiento según provincias del Departamento de Tacna*

| Provincia | 1981-1993 | 1993-2007 |
|---------------|-----------|-----------|
| Tacna | 4,6 | 2,3 |
| Candarave | 0,3 | -0,7 |
| Jorge Basadre | -2,0 | -1,5 |
| Tarata | 0,1 | -0,3 |
| Total | 3,5 | 2,0 |

Nota. Plan de Acondicionamiento Territorial de la Provincia de Tacna 2014-2023, p.15, por la Municipalidad Provincial de Tacna, 2013.

b. Nivel Distrital

A pesar del crecimiento poblacional positivo en la provincia de Tacna, según los censos INEI de 1981, 1993 y 2007 y proyecciones para 2013, representados en la Tabla 3, el crecimiento poblacional en los distritos de Tacna y Pachia fue negativo.

Tabla 3*Tendencias de crecimiento poblacional de la Provincia de Tacna*

| Distritos | Población Censada | | | Tasa de Crecimiento | Población estimada | |
|--------------------|-------------------|--------|--------|---------------------|--------------------|--------|
| | 1981 | 1993 | 2007 | | 2013* | 2023* |
| Tacna | 87 235 | 95 866 | 94 428 | -0,11% | 93 818 | 92 810 |
| Alto de la Alianza | - | 32 238 | 35 439 | 0,68% | 36 906 | 39 488 |
| Calana | 994 | 1 682 | 2 625 | 3,23% | 3 176 | 4 365 |
| Ciudad Nueva | - | 26 178 | 34 231 | 1,93% | 38 400 | 46 509 |
| Inclán | 1 112 | 1 144 | 4 064 | 9,48% | 6 996 | 17 303 |
| Pachía | 1 155 | 2 073 | 1 945 | -0,45% | 1 892 | 1 808 |
| Palca | 1 009 | 1 180 | 1 510 | 1,78% | 1 678 | 2 001 |
| Pocollay | 1 840 | 12 124 | 17 113 | 2,49% | 19 836 | 25 374 |

| | | | | | | |
|------------------------------------|---------------|----------------|----------------|---------------|----------------|----------------|
| Sama | 1 281 | 1 804 | 2 387 | 2,02% | 2 691 | 3 287 |
| Crnl. Gregorio Albarracín L. | - | 14 257 | 68 989 | 4,68% | 90 789 | 143 480 |
| Total de la Provincia Tacna | 94 626 | 188 546 | 262 731 | 25,73% | 296 182 | 376 425 |

Nota. Plan de Acondicionamiento Territorial de la Provincia de Tacna 2014-2023, p.16, por la Municipalidad Provincial de Tacna, 2013.

Según el censo de 2007 del Instituto Nacional de Estadística e Informática, el crecimiento y aumento del curso de urbanización es notable. Así, conforme se muestra en la Tabla 4, el distrito de Tacna tiene la mayor población con un 35,94 % de la población total, mientras que el distrito de Palca tiene la menor población con un 0,57 % de la población total.

Tabla 4

Distribución de la población por distritos en la Provincia de Tacna

| Provincia | Total | % | Total | % |
|------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | 2007 | | 2013* | |
| Tacna | 94 428 | 35,94% | 93 818 | 31,68% |
| Alto de la Alianza | 35 439 | 13,49% | 36 906 | 12,46% |
| Calana | 2 625 | 1,00% | 3 176 | 1,07% |
| Ciudad Nueva | 34 231 | 13,03% | 38 400 | 1,97% |
| Inclán | 4 064 | 1,55% | 6 996 | 2,36% |
| Pachía | 1 945 | 0,74% | 1 892 | 0,64% |
| Palca | 1 510 | 0,57% | 1 678 | 0,57% |
| Pocollay | 17 113 | 6,51% | 19 836 | 6,70% |
| Sama | 2 387 | 0,91% | 2 691 | 0,91% |
| Crnl. Gregorio Albarracín L. | 68 989 | 26,26% | 90 789 | 30,65% |
| Total Provincia Tacna | 262 731 | 100,00% | 296 182 | 100,00% |

Nota. Adaptado del Plan de Acondicionamiento Territorial de la Provincia de Tacna 2014-2023, p.16, por la Municipalidad Provincial de Tacna, 2013

La provincia de Tacna en comparación con el resto de las provincias presenta una densidad poblacional mayor, con una estimación de 33 habitantes por kilómetro cuadrado.

En la Tabla 5, se presenta la proyección al año 2013 conforme al número de población de cada distrito que arroja el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI).

Tabla 5

Superficie y densidad de la población censada según distritos 2007-2013, Provincia de Tacna

| Distritos | Población | | Superficie | Densidad Poblacional | |
|------------------------------|-----------|---------|--------------------|----------------------|---------|
| | 2007(1) | 2013(2) | Territorial Km2 | Hab./Km2 | |
| | | | | 2007 | 2013(3) |
| Tacna | 94 428 | 93 818 | 2 407,18 | 39,23 | 38,97 |
| Alto de la Alianza | 35 439 | 36 906 | 371,4 | 95,42 | 99,37 |
| Calana | 2 625 | 3 176 | 108,38 | 24,22 | 29,30 |
| Ciudad Nueva | 34 231 | 38 400 | 173,42 | 197,39 | 221,43 |
| Inclán | 4 064 | 6 996 | 1414,82 | 2,87 | 4,94 |
| Pachía | 1 945 | 1 892 | 603,68 | 3,22 | 3,13 |
| Palca | 1 510 | 1 678 | 1417,86 | 1,06 | 1,18 |
| Pocollay | 17 113 | 19 836 | 265,65 | 64,42 | 74,67 |
| Sama | 2 387 | 2 691 | 1115,98 | 2,14 | 2,41 |
| Crnl. Gregorio Albarracín L. | 68 989 | 90 789 | 187,74 | 367,47 | 483,59 |

Nota. Adaptado del Plan de Acondicionamiento Territorial de la Provincia de Tacna 2014-2023, p.16, por la Municipalidad Provincial de Tacna, 2013. (1) Según Censo 2007, (2) Proyecciones elaboradas por el Equipo Técnico PAT-PDU, (3) Densidades: Equipo Técnico PAT-PDU 2014-2023.

- Distribución espacial de la población

Conforme el censo del año 2007, considerando las zonas urbanas de Tacna, Alto de la Alianza, Ciudad Nueva, Pocollay, Sama y Crnl. Gregorio Albarracín Lanchipa, la provincia de Tacna tiene una población urbana del 93,61 % y una población rural del 6,39 %, representada en la Tabla 6.

Tabla 6

Distribución urbana y rural en la Provincia de Tacna año 2007

| Distrito | Población Total | | Urbano | | Rural | |
|------------------------------|-----------------|------|---------|--------|--------|--------|
| | Hab. | % | Hab. | % | Hab. | % |
| Tacna | 94 428 | 100% | 88 358 | 93,57% | 6 070 | 6,43% |
| Alto de la Alianza | 35 439 | 100% | 34 817 | 98,24% | 622 | 1,76% |
| Calana | 2 625 | 100% | 400 | 15,24% | 2 225 | 84,76% |
| Ciudad Nueva | 34 231 | 100% | 34 225 | 99,98% | 6 | 0,02% |
| Inclán | 4 064 | 100% | 826 | 20,32% | 3 238 | 79,68% |
| Pachía | 1 945 | 100% | 380 | 19,54% | 1 565 | 80,46% |
| Palca | 1 510 | 100% | 189 | 12,52% | 1 321 | 87,48% |
| Pocollay | 17 113 | 100% | 16 193 | 94,62% | 920 | 5,38% |
| Sama | 2 387 | 100% | 1 684 | 70,55% | 703 | 29,45% |
| Crnl. Gregorio Albarracín L. | 68 989 | 100% | 68 858 | 99,81% | 131 | 0,19% |
| Total | 262 731 | 100% | 245 930 | 93,61% | 16 801 | 6,39% |

Nota. Adaptado del Plan de Acondicionamiento Territorial de la Provincia de Tacna 2014-2023, p.18, por la Municipalidad Provincial de Tacna, 2013.

- Migración: población migrante

La manifestación demográfica que más incide en el número y conformación de la ciudadanía de Tacna es la inmigración, considerando que el 61 % del total de inmigrantes provienen del departamento de Puno. Gracias al desarrollo urbano y las suficientes condiciones socioeconómicas, Tacna es una de las ciudades sede más importantes del país. Tomando como referencia el censo del año 2007, conforme se observa en la Tabla 7, la provincia de Tacna tenía una población de 262 731 habitantes, el 69 % de los cuales son inmigrantes de la sierra andina de la provincia de Puno.

Tabla 7*Migración detallada en la Provincia de Tacna*

| Distritos | Población Migrante Total | | Población Migrante (por lugar de nacimiento) | | Población Migrante (por lugar de residencia 5 años antes) | | Hogares con algún miembro en otro País | |
|------------------------------|--------------------------|--------|--|-------|---|-------|--|-------|
| | Cifra Absoluta | % | Cifra Absoluta | % | Cifra Absoluta | % | Cifra Absoluta | % |
| Tacna | 53 149 | 57,40% | 39 967 | 42,30 | 13 182 | 15,10 | 2 917 | 11,00 |
| Alto de la Alianza | 22 631 | 65,20 | 17 610 | 49,70 | 5 021 | 15,50 | 989 | 10,60 |
| Calana | 1 930 | 74,90 | 1 476 | 56,20 | 454 | 18,70 | 35 | 4,40 |
| Ciudad Nueva | 21 472 | 63,80 | 17 655 | 51,60 | 3 817 | 12,20 | 1 033 | 11,80 |
| Inclán | 3 208 | 81,10 | 2 365 | 58,20 | 843 | 22,90 | 87 | 7,30 |
| Pachia | 1 030 | 53,90 | 773 | 39,70 | 257 | 14,20 | 23 | 3,80 |
| Palca | 345 | 23,90 | 199 | 13,20 | 146 | 10,70 | 27 | 5,90 |
| Pocollay | 13 108 | 78,50 | 9 609 | 56,20 | 3 499 | 22,30 | 543 | 11,00 |
| Sama | 1 710 | 73,10 | 1 317 | 55,20 | 393 | 17,90 | 76 | 9,00 |
| Crnl. Gregorio Albarracín L. | 63 204 | 94,30 | 46 781 | 67,80 | 16 423 | 26,50 | 2 791 | 12,40 |
| Total Provincia | 181 787 | 69,19 | 112 553 | 42,80 | 26 756 | 11,10 | 8 521 | 11,20 |
| Prov. Tacna | 262 731 | - | - | - | - | - | - | - |
| Población migrante | 181 787 | - | - | - | - | - | - | - |
| Resto de la provincia | 80 944 | - | - | - | - | - | - | - |

Nota. Adaptado del Plan de Acondicionamiento Territorial de la Provincia de Tacna 2014-2023, p.19, por la Municipalidad Provincial de Tacna, 2013.

Tacna es mucho más acogedora para los inmigrantes que Moquegua y Puno, que han sido las provincias con mayor número de inmigrantes durante muchos años, como se observa en las Tabla 8 y 9.

Tabla 8

Distribución de la población Inmigrante departamento Moquegua, Puno y Tacna

| Departamento | Inmigrante | | | |
|--------------|------------|-----|---------|-----|
| | 1993 | % | 2007 | % |
| Moquegua | 48 915 | 1 | 45 596 | 0,9 |
| Puno | 36 024 | 0,7 | 33 317 | 0,6 |
| Tacna | 94 553 | 1,9 | 106 018 | 1,9 |

Nota. Adaptado del Plan de Acondicionamiento Territorial de la Provincia de Tacna 2014-2023, p.19, por la Municipalidad Provincial de Tacna, 2013.

Tabla 9

Distribución de la población Emigrante departamento Moquegua, Puno y Tacna

| Departamento | Emigrante | | | |
|--------------|-----------|-----|---------|-----|
| | 1993 | % | 2007 | % |
| Moquegua | 35 758 | 0,7 | 38 456 | 0,7 |
| Puno | 297 487 | 6,1 | 322 367 | 5,9 |
| Tacna | 28 827 | 0,6 | 28 908 | 0,5 |

Nota. Adaptado del Plan de Acondicionamiento Territorial de la Provincia de Tacna 2014-2023, p.19, por la Municipalidad Provincial de Tacna, 2013.

La inmigración neta afecta directamente el incremento o disminución de los habitantes y es resultado de la cantidad total de inmigrantes menos el número de emigrantes.

Como se percibe en la Tabla 10, la inclinación de la tasa ha ido incrementando desde el censo del año 1940, la tasa para el año 2007 fue de 77 110 habitantes.

Tabla 10*Tasa neta de migración de la población de Tacna*

| Año | Inmigración | Emigración | Tmn |
|------------|--------------------|-------------------|------------|
| 1940 | 7 684 | 6 741 | 943 |
| 1961 | 24 059 | 10 861 | 13 198 |
| 1972 | 34 610 | 16 117 | 18 493 |
| 1981 | 58 160 | 23 231 | 34 929 |
| 1993 | 94 553 | 28 827 | 65 726 |
| 2007 | 106 018 | 28 908 | 77 110 |

Nota. Adaptado del Plan de Acondicionamiento Territorial de la Provincia

2.2.3. Sistema de Información Geográfico

Environmental Systems Research Institute – ESRI (2023), define los Sistemas de Información Geográfica (SIG) como sistemas para crear, gestionar, analizar y mapear todo tipo de datos. Un SIG conecta datos a un mapa integrando datos de ubicación con diversa información descriptiva.

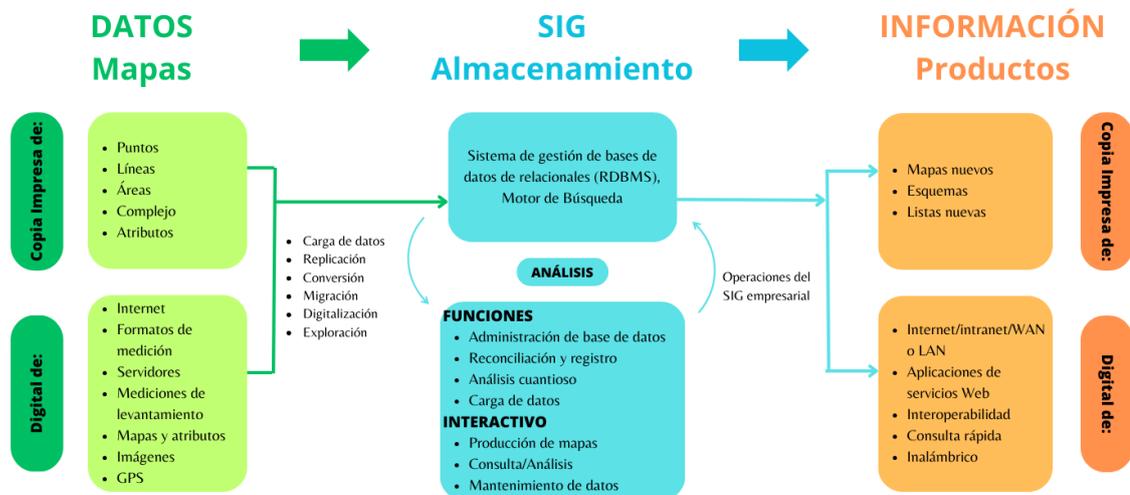
Enriquece la comunicación y eficiencia, así como la administración y toma de decisiones; también nos dice que es un sistema utilizado para detallar y clasificar la Tierra y otras geografías a fin de revelar y observar la información espacial, básicamente a través de mapas.

Arévalo y Martínez (2009), definen los Sistemas de Información Geográfica (SIG) como “un sistema de hardware, software y métodos producidos para simplificar el producto, gestión, manejo, observación, modelado y resultado de datos espaciales referenciados y para dar respuestas a los problemas en materia de gestión y planificación”.

La Figura 5, representa un modelo integral de un Sistema de Información Geográfica, que transforma datos en información relevante a través de un análisis. Se observa en la parte central, como el SIG almacena datos espaciales, cargados de información vinculada (izquierda) en una base de datos de almacenamiento del SIG, en la que las funciones analíticas se controlan de forma interactiva con la finalidad de crear productos ilustrativos (derecha).

Figura 5

Partes de un Sistema de Información Geográfico



Nota. Adaptado de Tomlinson (2008) del libro Pensando en el SIG: planificación del sistema de información geográfica dirigida a gerentes.

Los componentes de un Sistema de Información Geográfica son los siguientes:

- Productos informativos: estos son los que se obtienen del SIG, pueden ser mapas, informes, gráficos, listas o una composición de los elementos mencionados. Estos productos deben ser identificados con claridad desde el inicio de la planificación.
- Datos: en primer lugar, se necesita saber que productos informativos son los que se requieren, esto contribuye con la planificación de la recolección de datos que serán necesarios. Adicionalmente se debe considerar el formato de los datos, esto puede ser decisivo a la hora de elegir el software.
- Software: estos brindan las funciones básicas para analizar y establecer los productos informativos que se quiere. En ocasiones un software personalizado se usa de manera conjunta con el software SIG y su paquete. Se debe considerar la asistencia técnica y los sistemas operativos de los softwares utilizados.
- Hardware: los SIG son exigentes con los hardware. Normalmente las computadoras con sistemas potentes sustituyen el trabajo y el geoprocesamiento, en el caso de sistemas de mayor tamaño lo realizan los servidores de los SIG de una determinada red.
- Procedimientos: esto se refiere a la forma en la que las personas ejecutan sus trabajos y las modificaciones que serán necesarias acoger para producir con el nuevo sistema de SIG.

- f. Recurso Humano: la asignación de personal será el mayor gasto dentro de la planificación.

Javier y Alcántara (2018), refieren que tanto su investigación como la realizada por Bosque y García (2000) confirman la efectividad del uso de las herramientas SIG para resolver inconvenientes de planificación urbana y de ocupación del territorio.

Buzai (2018) quien menciona que los SIG contribuyen en la toma de decisiones de ámbito espacial estableciendo lineamientos de planificación del ámbito regional del uso del suelo.

Huamán (2022) cita al CEPLAN (2019) el cual menciona que gracias a los SIG y a la información geoespacial, se obtiene una data actualizada para analizar el territorio y sus servicios públicos a través de una visión coherente e integral generando propuestas de mejora en políticas públicas.

Palacios (2005) afirma que una de las principales debilidades observadas en la implementación de la planificación municipal a nivel nacional es la falta de herramientas sólidas para facilitar la toma de decisiones y la capacidad generalmente baja de las instituciones. y actualizar la información.

Arévalo y Martínez (2009) presentan la siguiente clasificación de los SIG en función de su aplicación:

- a. Inventario y gestión de recursos naturales. Environmental Systems Research Institute – ESRI (2023), refiere los procedimientos móviles y la planificación tienen mayor eficacia gracias a la tecnología de los SIG, ya que permite recopilar información de campo y de teledetección, el análisis se realiza prácticamente en tiempo real, lo que permite modelar el trabajo complejo en menor tiempo reduciendo así los costos. Adicionalmente hace uso de la tecnología de ubicación para dirigir el inventario y los recursos forestales con mejor precisión, al mismo tiempo que optimiza la calidad.
- b. SIG como archivos espaciales. Se refiere al énfasis de la conversión de información cartográfica física en digital.
- c. Planificación y gestión urbana. Arévalo y Martínez (2009) refieren que son necesarias 02 bases de datos, la primera que contiene elementos espaciales como: calles, edificaciones, similares; la segunda que contiene datos temáticos: padrón de población, datos económicos, entre otros; ambas bases sirven para que los municipios elaboren rutas optimas de circulación de vehículos y planes de ordenamiento urbano.

2.2.4. Modelos de crecimiento Urbano

Como conceptos básicos de modelos tenemos:

Para Gómez (2020) un modelo es una representación simple de un elemento real o hecho compuesto de la realidad que facilita su interpretación y el análisis de su comportamiento; plasma sus principales propiedades dependiendo de lo que se quiera analizar de él.

Clarke (2014) indica que los modelos son simplificaciones de los sistemas que son susceptibles a pruebas y simulaciones de cambios en su estado y función. De igual manera, afirma que los retos del modelado son: el ajuste de los modelos para conseguir mejores resultados (calibración), la conversión de componentes de un sistema en equivalentes estructurales y de comportamiento dentro del modelo (diseño), uso efectivo de la potencia informática (viable), la capacidad de coincidir los resultados del modelado a la realidad (rendimiento) y la capacidad de crear predicciones precisas (validez).

También Linares (2019) menciona que la contribución de la comunidad científica a la solución y prevención de los problemas relacionados con el crecimiento urbano ilimitado es el desarrollo y aplicación de modelos que midan cuantitativamente las interrelaciones de los factores relacionados con el crecimiento, entendiendo así sus orígenes y su posible impacto futuro.

De igual manera existen diferentes conceptos de modelos de crecimiento urbano tales como:

Para Allen y Lu (2003) todos los modelos del uso de suelo urbano son representaciones simples de una realidad compleja; y, para que un modelo sea exitoso es clave la identificación de variables y/o componentes esenciales y que su interrelación refleje verdaderamente la realidad urbana.

Así también Li y Gong (2016) afirman que los modelos de crecimiento urbano son un tipo especial de modelo numérico que considera las variables económicas, geográficas, sociales y estadísticas que se utilizan para analizar los mecanismos de desarrollo urbano y la interrelación en el ámbito urbano.

Principalmente, los modelos de crecimiento urbano en especial claros con alta resolución, que sobre salen en los últimos quince años (Batty et al., 1999), son particularmente beneficiosos para diseñar escenarios futuros, tanto para la planificación urbana como para el sistema de evaluación de impacto ambiental, que países de Latinoamérica han venido adoptando (García y Henríquez, 2007).

Adicionalmente, para Toro (1989) el avance y empleo de modelos matemáticos urbanos (a mediano y largo plazo) y la probabilidad de acercarlos, son acontecimientos de los últimos años; el reciente interés por la calidad de vida en ciudades y regiones significa la adopción de nuevos métodos de investigación con vistas a la superación de problemas en planificación urbana.

Asimismo, según Toro (1989) los principales modelos urbanos son:

a. Modelo de “Dinámica Urbana” (Forrester)

Considera tres elementos que interactúan en una ciudad (sistema): la industria, la población y la vivienda; y de estos dependerá el nivel de crecimiento, paralización o estabilidad de una determinada ciudad. Una urbe en estancamiento, presentará abundancia de viviendas, un parque industrial caduco, un grupo de obreros no cualificados y una paralización considerable; en ese contexto, será momento de aplicar planes y políticas urbanas de reactivación.

b. Modelo de Decazeville

Fue creado para modificar los modelos descritos anteriormente debido a las diferencias en los procesos de desarrollo urbano actuales entre América del Norte y Europa. El modelo intenta analizar el desarrollo de ciudades pequeñas y medianas como Francia.

2.2.5. Teoría de Escenarios Futuros

Para Veldkamp y Lambin (2001) los escenarios futuros se perciben como descripciones de situaciones futuras hipotéticas para comprender o aproximar la realidad futura con base en la integración de diversos puntos de vista, modelos y datos para refinar y apoyar la proyección y las políticas de uso del suelo (hechas recientemente) frente a un futuro probable.

Igualmente, generar y simular escenarios exploratorios externos se consideran herramientas útiles en procesos de planificación y toma de decisiones, y son particularmente importantes a nivel territorial y metropolitano (Carsjens, 2009; Luca, 2007; Peterson et al., 2003; Pettit y Pullar, 2004).

En cuanto a los beneficios de la aplicación de escenarios futuros, Gallardo (2014) afirma que el desarrollo de escenarios futuros puede revelar los efectos potenciales del uso del suelo, puede prolongar la evolución que ha ocurrido en los últimos años y nos permite descubrir que pasaría si los patrones son modificados. Por ello, los escenarios

futuros de uso del suelo pueden servir como una herramienta poderosa para el diseño de una futura planificación territorial.

Asimismo, Verbug et al. (2006) mencionan que la creación de escenarios futuros ayuda a comprender los procesos de cambio de uso del suelo. Pueden servir como sistemas de señal temprana que ponen en evidencia y resaltan los futuros impactos del cambio de uso de suelo y los puntos críticos que se priorizan para un análisis profundo o una intervención política.

Por otro lado, Alcamo et al. (2006) refieren que, los escenarios pueden ser:

- a. Cualitativos: detallan un posible futuro con una descripción literal, puede tomar la forma de diagramas, imágenes, oraciones o escenarios, pero la mayoría de las veces consiste en texto narrativo, a menudo llamado “storylines”; estos pueden describir criterios como percepciones de los interesados y expertos, y, se desarrollan utilizando un enfoque participativo, donde ambas partes desarrollan los escenarios juntos.
- b. Cuantitativos: suelen realizarse mediante modelos informáticos y proporcionan la información en formato digital, en tablas, gráficos y mapas.

Entre tanto, González (2022) refiere tres pilares que intervienen en el proceso constructivo de escenarios futuros de la urbe, a nivel institucional:

- a. Pilar regulatorio: dirige a los gobiernos y otros actores de la urbe a generar escenarios futuros, principalmente a través de la planificación urbana.
- b. Pilar cognitivo cultural: ayuda a dar forma a la visión del futuro por medio del conocimiento compartido y la comprensión de las dimensiones de la ciudad.
- c. Pilar normativo: guía la creación de escenarios futuros de las ciudades, esto a través de valores y normas compartidas de los interesados.

2.2.6. Modelos Predictivos

Maguire et al. (2005) menciona que un modelo es una representación de un componente o proceso realista y existen dos tipos:

- a. Modelo Estático

Los datos de entrada y salida corresponden al mismo momento en el tiempo. Asimismo, combinan diversas entradas para lograr un resultado significativo, ejemplo: el modelo de escorrentía superficial del Servicio de Conservación de

Suelos (SCS) de Estados Unidos integra la cobertura del uso de la tierra, el tipo de suelo basado en el drenaje y las precipitaciones de tormentas en un solo modelo. La cantidad de precipitación que cae en un período de tiempo determinado se utiliza para obtener la cantidad teórica de precipitación perdida desde la superficie (García y Henriquez, 2007).

b. Modelo Dinámico

Los datos de salida corresponden a un tiempo diferente a los datos de entrada. Ejemplo: representación de cambios de uso del suelo en una parte definida del territorio. Además, estos modelos contribuyen a predecir el comportamiento y prever posibles consecuencias de los cambios proyectados (García y Henriquez, 2007).

Pérez et al. (2004) consideran que el uso de modelos predictivos, de diversa complejidad, es frecuente en varias disciplinas, por lo que juegan un papel importante en el estudio del territorio como sistema complejo. En este ámbito, los modelos capturan las características espaciales y temporales que son esenciales para comprender los cambios que ocurren en un área determinada (por ejemplo, el uso del suelo).

De la misma manera, García y Henriquez (2007) afirman que el uso de modelos predictivos para crear escenarios futuros de cambio de uso del suelo puede resultar provechoso y con el uso de indicadores de sostenibilidad puede ayudar significativamente a enfrentar los desafíos del desarrollo sostenible y concretamente con los retos de gestión ambiental del crecimiento urbano.

Sin embargo, el empleo de modelos predictivos de crecimiento urbano en Latinoamérica es escaso, lo cual representa un reto para efectuar investigaciones en el futuro, para así poder ampliar sus resultados a la solución de problemas relacionados con la gestión ambiental territorial.

2.2.7. Indicadores Ambientales

Con el objetivo de acentuar la vegetación existente en una imagen acorde a su respuesta espectral y disminuir los demás elementos presentes, se pueden realizar operaciones algebraicas entre las bandas espectrales que la componen, de esta forma se genera una nueva imagen con las características ansiadas, en el que realcen gráficamente píxeles definidos asociados a los parámetros de las coberturas vegetales. (Sancha, 2010). Este conjunto de operaciones algebraicas, que procura extraer de los valores de reflectividad la información asociada a la vegetación, recibe la denominación de índice de vegetación (Muñoz, 2013).

La revisión de la literatura identificó varios trabajos que utilizan indicadores temáticos resultantes de sensores remotos para estudiar el entorno urbano; con énfasis principal en: determinación y caracterización del clima y las islas de calor urbanas, clasificación del uso del suelo, crecimiento urbano, densidad de población. y evaluación ambiental. calidad; y sostenibilidad (Santana et al., 2010).

Asimismo, Robinson et al. (2017) afirma que los índices de vegetación se utilizan como indicadores cuantitativos de los ecosistemas porque implica el verdor de la vegetación, el suelo desnudo y existencia de agua, basandose en datos remotos recibidos de sensores instalados en satelites.

Y, a juzgar por las técnicas de tratamiento de imágenes utilizadas, el mayor esfuerzo se centra en índices o indicadores que muestran el estado y distribución de la vegetación y de la zona habitada; siendo los más utilizados el índice de vegetación normalizado (NDVI) y la temperatura superficial (TS) (Santana et al., 2010).

Los indicadores ambientales considerados en la presente investigación, se describen a continuación:

a. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada - NDVI

Uno de los indicadores usualmente utilizado para el análisis de la expansión y densificación urbana es el estado de la vegetación, partiendo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI, por sus siglas en inglés) (Celemín y Arias, 2023).

Este índice equilibra una parte de la radiación fotosintéticamente activa interceptada por la vegetación (Chuvieco et al., 2022) y sirve para calcular la cantidad, calidad y crecimiento de la vegetación, la captura de energía por la cobertura vegetal, el funcionamiento en el ecosistema (Rodríguez-Moreno y Bullock, 2013). Además, es el resultado del cociente normalizado entre bandas espectrales que al contrastar con las bandas visibles (0,6 a 0,7 μm) y el infrarrojo cercano (0,7 a 1,1 μm) posibilita la identificación de la vegetación en una determinada área (Chuvieco, 1990).

Los rangos resultantes varían entre -1 y 1, los valores altos mayor actividad fotosintética de la cobertura vegetal y una ajustada relación con la evapotranspiración (Tucker y Vendedores, 1986), los valores bajos son indicadores de una limitada o nula cobertura vegetal y baja actividad fotosintética (Arboit y Silvia, 2018).

b. Índice de Vegetación Ajustado al Suelo - SAVI

Un factor que cambia el comportamiento del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) es la relación vegetación-suelo observada por el sensor. Cuando se trabaja en áreas áridas, es importante considerar el factor suelo para minimizar los efectos del brillo del suelo (cambios de color, humedad del suelo y consecuencias de saturación de la vegetación de alta densidad). Debido a esto, el autor desarrolló un índice de vegetación con un parámetro "L" que ajusta el índice a la reflectividad promedio del fondo, el cual fue denominado Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI, por sus siglas en inglés) (Huete y Warrick, 1990; Huete, 1988; Huete et al., 1985).

Por lo general, en zonas sin cobertura vegetal verde, el valor de $L=1$; en zonas de cobertura vegetal verde moderada $L=0.5$; y en zonas con cobertura vegetal densa $L=0$ (equivalente al método NDVI). Colocando los valores entre -1 y 1 (Jiménez, 2018).

c. Índice de Diferencia Urbanizada Normalizada - NDBI

El Índice de Diferencia Urbanizada Normalizada (NDBI, por sus siglas en inglés), es otro indicador obtenido en base a imágenes satelitales con mayor uso y que dispone de una estructura sencilla y similar a la del NDVI, además de que, favorece la comprensión de la evolución de la superficie construida de un área.

Asimismo, este normaliza las bandas infrarrojo cercano (NIR) e infrarrojo de onda corta (SWIR) empleando la correlación inversa de ambas bandas en zonas construidas, esto tiene base en que tanto las zonas urbanas como las de suelo desnudo presentan una reflectividad baja en la banda NIR, por el contrario a la banda SWIR que presenta una reflectividad moderadamente alta (Celemín y Arias, 2023). Este índice se sustenta en una relación tanto para atenuar los efectos de las diferencias de iluminación del área, como los efectos atmosféricos (Zha et al., 2003).

2.2.8. Clasificación de imágenes satelitales

Según Vicens (2009), la tecnología de clasificación de imágenes permite convertir imágenes reales (fotos aéreas, imágenes de satélite, etc.) en datos temáticos o mapas que representarán información de indiscutible importancia.

En otras palabras, partiendo de la obtención de imágenes de sensores remotos, se puede organizar cada pixel en diferentes clases temáticas, para seguidamente, crear mapas temáticos (Cabrera et al., 2011).

Por técnicas de clasificación de imágenes satelitales se debe considerar un conjunto de métodos automáticos que se pueden clasificar en dos (Monterroso, 2013):

2.2.8.1. Clasificación supervisada

En esta clase se necesita la intervención activa del observador que lleve a cabo la clasificación de las imágenes satelitales; él debe señalar al programa (software) lo que debe realizar en todo momento (como debe organizar cada pixel de la imagen), partiendo de la determinación de zonas de entrenamiento, de las se conoce previamente la naturaleza de su superficie.

2.2.8.2. Clasificación no supervisada

Esta clase guarda relación con el valor referente al color, al tono o al agrupamiento, para distinguir entidades; el observador debe confirmar el resultado de la clasificación luego de que esta haya sido ejecutada. En la clasificación anterior, el observador puede tener influencia en gran parte del proceso de clasificación durante el desarrollo y control de la misma. Sin embargo, en esta técnica de clasificación, la influencia que ejerce el investigador es casi nula, fuera de la selección del algoritmo de clasificación que va usar.

2.2.9. Verificación de clasificación

Determinar la confiabilidad de un producto cartográfico, hace posible al usuario del mapa, evaluar su ajuste con la realidad, de este modo, aceptar el riesgo de la toma de decisiones en base a información cartográfica; adicionalmente, permite conocer y modelar el error que pueda resultar del cruce de diversas capas con algún nivel de error en un sistema de información geográfica (Jiménez, 2018).

La evaluación de la confiabilidad temática ahora implica comparar la información cartográfica con información de referencia confiable. Normalmente, el punto de partida es una muestra de sitios de verificación, cuya clasificación se logra mediante observaciones de campo o análisis de imágenes detalladas (de mayor resolución) en comparación con las imágenes utilizadas para crear el mapa (François et al., 2003).

2.2.9.1. Matriz de confusión

La matriz de confusión, llamada así porque resume los conflictos que surgen entre categorías (Chuvieco, 1990). Es una matriz bidimensional, donde las filas se refieren a

clases de referencia basadas en la imagen subyacente y las columnas se refieren a clases de clasificación (Congalton y Green, 1993). En la diagonal de la matriz se considera el número de puntos de control en campo el cual se compara con ortofotos o imágenes de mayor resolución espacial y los puntos fuera de la diagonal (marginales) se consideran errores de omisión (error al interpretar un píxel de clase “x” que no resultó clasificado en dicha clase) o de comisión (píxel que fue clasificado en clase “x” pero que en realidad pertenece a otra clase) (García y Pérez, 2016). Para resumir, es una matriz cuadrada $n \times n$, donde n , es el número de categorías (Chuvienco, 1990) lo que indica la precisión global del mapa.

Tabla 11

Modelo de matriz de confusión

| | | Clasificación | | | Error de Comisión |
|---------|------------------|---------------|----------|------------|-------------------|
| | | Clase 1 | Clase 2 | Totales | |
| Verdad | Clase 1 | A | B | T_{AB} | B |
| | Clase 2 | C | D | T_{CD} | C |
| Terreno | Totales | T_{AC} | T_{BD} | T_{ABCD} | |
| | Error de Omisión | C | B | | |

2.2.9.2. Índice de Kappa

Introducido por Jacob Cohen en el año 1960, viene siendo un método estadístico para medir la diferencia entre dos observaciones la correlación mapa-realidad y correlación esperada azar. Trata de delimitar el grado de adaptación basándose únicamente en la precisión de la clasificación, independientemente de lo causado por factores aleatorios. Este análisis fue diseñado para evaluar si la clasificación discrimina entre categorías de interés con mayor precisión que la asignación aleatoria (Chuvienco, 1990).

El coeficiente Kappa (k) es el reflejo de la concordancia inter-observador y se puede calcular en tablas de cualquier dimensión, considerando el contraste entre dos observadores (López de Ullibarri y Pita, 1999).

Los valores resultantes de K oscilan entre 0 y 1, si estos se acercan al valor 1, el proceso de clasificación es más preciso, por el contrario si los valores se acercan a 0, el resultado de la clasificación es distinta en relación a la realidad in situ (Chuvienco, 2008).

La ecuación 1, muestra el grado de coincidencia entre dos matrices.

$$K = \frac{P_0 - P_E}{1 - P_E} \quad (1)$$

Donde:

- K, índice de Kappa
- P_0 , Proporción de simultaneidades observadas
- P_E , Proporción de simultaneidades esperadas

El resultado representa el porcentaje en que la clasificación es mejor que la esperada por azar. En caso el valor resultante fuera 0,80, la clasificación del mapa es un 80 % mejor que la esperada por el azar (Morales et al., 2016).

La ecuación 2, representa la Proporción de simultaneidades observadas.

$$P_0 = \frac{A + D}{T_{ABCD}} \quad (2)$$

Donde:

- A+D, diagonal de coincidencias de la matriz de confusión
- T_{ABCD} , sumatoria total de la tabla
- T_{AC}, T_{BD} , sumatorio total vertical de cada columna
- T_{AB}, T_{CD} , sumatorio total horizontal de cada fila

La ecuación 3, representa la Proporción de simultaneidades esperadas.

$$P_E = \frac{T_{AB} * T_{AC} + T_{BD} * T_{CD}}{(T_{ABCD})^2} \quad (3)$$

Donde:

- T_{ABCD} , sumatoria total de la tabla
- T_{AC}, T_{BD} , sumatorio total vertical de cada columna
- T_{AB}, T_{CD} , sumatorio total horizontal de cada fila

2.2.10. Planificación Territorial en el Perú

A lo largo del tiempo la planificación territorial en el Perú ha mostrado diversos problemas todos ellos asociados tanto a la definición como a la praxis, especialmente en las etapas de planteamiento, implementación y seguimiento. La evolución de la planificación, ha atravesado varios cambios a lo largo de su proceso, pasando de la

planificación económica a la regional, de la regional a la planificación estratégica y territorial y por último de la estratégica y territorial a la planificación ambiental (Rendón, 2022).

El concepto de planificación estratégica nace en la Escuela de Negocios de Harvard en la década de los ochenta, inicialmente fue aplicada a la empresa privada con la finalidad de incrementar su competitividad y asegurar su éxito empresarial (Elizalde, 2003). Actualmente, este concepto se aplica en el desarrollo de planes a nivel regional y local tomando en cuenta las capacidades y debilidades del territorio. Este modelo es de naturaleza normativa, sistemática, estratégica y participativa, y tiene por objetivo establecer escenarios futuros considerando las diferentes dimensiones de desarrollo, considerando los acuerdos sociales y espacios participativos entre los actores del territorio (Mata y Quevedo, 1994).

Rendón (2022) menciona que la trayectoria del proceso de planificación en el Perú ha presentado una evolución ondulante, partiendo del año 1920 hasta la actualidad, resumidos en cuatro periodos de evolución temporal denominados incipiente, apogeo, crisis y reinicio.

2.2.10.1 Planificación incipiente (1920-1960)

Las primeras señales de planificación económica y sectorial con criterios técnicos nacieron en la tercera década del siglo XX, destacando la planificación vial para la construcción de infraestructura vial y de riego. En el periodo de 1919-1930, en el régimen de Leguía, vendió la imagen de un Estado centrado en la planificación a largo plazo (Zegarra et al., 2020).

Fitzgerald (1981) señaló que a mediados del siglo XX la planificación regional se incorporó al discurso de los tecnócratas progresistas, lo que influyó en la creación de comités departamentales para planificar el desarrollo de estas jurisdicciones. Para Rendón (2022), en este período se produjeron avances significativos en las estrategias de planificación y desarrollo regional, reflejados en la integración de equipos e infraestructura de transporte a nivel nacional..

2.2.10.2. Auge de la planificación (1960-1980)

En la década de 1960, la situación socioeconómica del Perú se complicó por las demandas campesinas de reforma agraria en las regiones de los andes y la selva. La Comisión Económica para América Latina y el Caribe – CEPAL afirma que en esta

época la economía del país era de “inserción débil y vulnerable” a causa de la falta de infraestructura productiva y competitiva, por lo que, era necesaria una intervención urgente del organismo estatal a través de la aplicación de una planificación (Rendón, 2022).

En 1961, durante la Reunión de Punta del Este (Uruguay), se estableció la Alianza para el Progreso, una iniciativa impulsada por Estados Unidos para mejorar la calidad de vida en América Latina. Esta alianza ofreció asistencia económica, técnica, política y social a los países firmantes, incluido Perú. Como parte de este acuerdo, en 1962 se promulgó la Ley N° 14.220, que creó el Sistema Nacional de Planificación para el Desarrollo Económico y Social. Este sistema incluyó instituciones clave como el Instituto Nacional de Planificación (INP), el Consejo Nacional de Desarrollo Económico y Social (CNDES) y las Oficinas de Planificación Sectorial y Regional. Su objetivo fue promover el desarrollo económico y social del país mediante la implementación de planes de acción, destacándose la formulación e implementación de diversos planes entre 1962 y 1979 para fortalecer la democracia, reducir la pobreza y ejecutar reformas agrarias. (Rondón, 2022).

Además, en 1962, se estableció la Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN) para, entre otras cosas, preparar el primer inventario de recursos naturales, realizar investigaciones interdisciplinarias y mapear tipos de suelos, y ampliar las opciones de uso de la tierra.

En el periodo del gobierno de Velasco (1968-1975) debido al profesionalismo del recurso humano se vio favorecida la planificación regional. Y como afirma Sánchez (2022), en este periodo se reafirmó una planificación estatal real del desarrollo socioeconómico, una política exterior en defensa del territorio y de los intereses del país. Si considerar las deficiencias del sistema de planificación, se evidenció una voluntad política para considerar la planificación como instrumento imprescindible para conseguir una articulación entre la macroeconomía, las políticas sectoriales y sociales.

Para incluir a los sectores excluidos de la población de la distribución de la riqueza, se adoptó una estrategia de planificación regional que dividió el país en cuatro regiones principales: norte, centro, sur y este. Para implementar el plan se elaboró un plan quinquenal que contenía estrategias a corto y mediano plazo, lo que dio como resultado la introducción de una política de desarrollo estructurada y planificada por primera vez en la historia del país. Este proceso marcó un punto de inflexión en la década de 1970 y fue considerado el más apropiado para la planificación nacional, dado el compromiso político en sectores clave como la agricultura, la educación y la

administración pública, la institucionalización de la planificación y la implementación de importantes reformas (Rendón, 2022).

2.2.10.3. Crisis de la Planificación (1980-2000)

Ponce (2014), menciona que en el periodo del presidente Fernando Belaunde se produjeron descoordinaciones que provocaron una pérdida del impulso adquirido, de igual manera afirma que las principales entidades del Estado fueron más conflictivas, acrecentando las rivalidades entre instituciones con respecto a la formulación y control de la política económica. En este periodo se basaron en proyecciones macroeconómicas para realizar planes sin considerar los antecedentes e incluso contemplaron su financiamiento externo en una realidad desfavorable para el país, para Fitzgerald (1981), este contexto evidencia una grave falta en la articulación de la política, la económica y la planificación peruana.

La Ley de Organización y Funciones del Sistema Nacional de Planificación fue aprobada en 1981, pero su implementación fue limitada debido a la falta de voluntad política del poder ejecutivo y la violencia provocada por el movimiento Sendero Luminoso. Además, la crisis económica de los años 1970 tuvo un efecto tardío en este período, afectando la eficacia de la planificación. Entre 1983 y 1985, la situación económica empeoró, debilitando la política nacional y limitando el futuro de la planificación regional en el país (Rendón, 2022).

En 1992 se creó el Consejo Nacional de Planificación, disolviendo así el Instituto Nacional de Planificación (INP); partiendo de la mitad de la década de los años noventa se consolidó la planificación sectorial y estratégica originaria del ámbito empresarial norteamericano, conforme a lo que afirma Vicente Bielza de Ory (2012), el Perú ha mirado al exterior para los procesos y criterios de aplicación de su planificación, sin considerar las diferencias en sus características y contexto.

2.2.10.3. Reinicio de la Planificación (2000-2021)

Según Rendón (2022), la primera década del siglo XXI vio avances significativos en la regulación de la planificación estratégica, territorial y ambiental. En 2002 se aprobó el Acuerdo Nacional que consideraba la planificación como la quinta política nacional y prometía que el Estado promovería la planificación para alcanzar los objetivos de desarrollo nacional. Posteriormente, la Ley N°28.522 crea el Sistema Nacional de Planificación Estratégica (SINAPLAN) y el Centro Nacional de Planificación Estratégica

(CEPLAN). El SINAPLAN se define como un sistema articulado de instituciones, subsistemas y relaciones nacionales destinados a coordinar y facilitar el proceso de planificación estratégica nacional.

En 2011, el D.S N°054-PCM, aprobó el “Plan Bicentenario: Perú hacia el 2021”, un año después, se realizó el primer Congreso Nacional de Planificación y Desarrollo Sostenible a fin de evaluar los avances y desafíos del proceso. La planificación espacial y ambiental disminuyó en esta década a medida que el CEPLAN priorizó la planificación estratégica mediante el Plan Estratégico Institucional (PEI), el Plan Operativo Institucional (POI) y los planes sectoriales, las intenciones del CEPLAN están orientadas al fortalecimiento de la planificación estratégica sin embargo no se articula a los planes territoriales y ambientales.

Entre 2016 y 2021 la inestabilidad política caracterizada por constantes cambios de presidentes afectó la planificación del país, para Fernández-Maldonado (2019) cree que el principal problema radica en la falta de institucionalización y definición de sus métodos.

2.2.11. Instrumentos técnicos sustentarios para el ordenamiento territorial

2.2.11.1. Zonificación Ecológica y Económica – ZEE

El Art. 1° D.S. N°087-2004-PCM, Reglamento de Zonificación Ecológica y Económica – ZEE (2004) refiere que es un “proceso dinámico y flexible para determinar alternativas para el uso sostenible de un área específica, basándose en una evaluación del potencial y las limitaciones de criterios físicos, biológicos, sociales, económicos y culturales”.

El objetivo de este instrumento radica en simplificar la dirección de políticas, planes, programas y proyectos orientados al desarrollo a través de la identificación de las características similares del territorio para contribuir a la toma de decisiones sobre el óptimo uso del mismo.

2.2.11.2. Estudios Especializados – EE

La Resolución Ministerial N°135-2013-MINAM, indica que: Son herramientas técnicas de carácter estratégico que se centran en analizar las dinámicas, relaciones y funciones del estudio y su interacción con otras áreas. Corresponden a la necesidad de comprender las relaciones sociales (medio natural, estado actual y proyecciones) y se

priorizan con base en información generada por las ZEE, contexto geográfico, rol y dinámica territorial, social, económica y ambiental de cada región.

A raíz de la complejidad del territorio, se hace necesaria la elaboración de 07 estudios conforme a la realidad geográfica; los que se mencionan a continuación:

- Estudio de dinámica económica regional
- Estudio de normativa y políticas con incidencia territorial
- Estudios de análisis de capacidad institucional
- Estudio de análisis de los cambios de la cobertura y uso de la tierra
- Estudio de ecosistemas y hábitat marino-costero
- Estudio de servicios ecosistémicos
- Estudios de evaluación del riesgo de desastres y vulnerabilidad al cambio climático

2.2.11.3. Diagnóstico Integrado del Territorio – DIT

El MINAM (2015) los define como una herramienta técnica que compone y examina la información generada en la ZEE y los EE, esto permite una comprensión completa del carácter y las particularidades ambientales y sociales, como también la dinámica e inclinaciones de crecimiento económico de un territorio y sus consecuencias en la biosfera.

2.2.11.4. Plan de Ordenamiento Territorial – POT

Según la R.M. N°135-2013-MINAM (2013) el:

Es un instrumento de ordenamiento y gestión territorial que promueve y regula el proceso de ordenamiento territorial y gestión sustentable, en relación con la planificación ambiental, el desarrollo económico, social, cultural y demás políticas de desarrollo vigentes.

2.2.11.2. Instrumentos técnicos para el ordenamiento territorial de la región

A través de la plataforma web denominada GEOTAKANA el Proyecto “Mejoramiento de los Servicios de Gestión Territorial del Departamento de Tacna” de la Gerencia Regional de Recursos Naturales y Gestión Ambiental brinda acceso a diversos recursos y servicios de información geográfica actualizada en materia de Ordenamiento Territorial. Los instrumentos contemplados en dicha plataforma son los siguientes:

- a. Zonificación Ecológica y Económica – ZEE: El Gobierno Regional de Tacna ha considerado desarrollar este instrumento a nivel macrozonificación (región) impulsando la mesozonificación en las provincias y la microzonificación en sus distritos, esto debido a la importancia de un uso y ocupación adecuada del territorio y del desarrollo de actividades sostenibles. El presente instrumento fue aprobado mediante la Ordenanza Regional N°016-2012-CR/GOB.REG.TACNA, y posteriormente fue modificado a través de la Ordenanza Regional N°018-2013-CR/GOB.REG.TACNA, asimismo, el presente cuenta con su respectivo reglamento de aplicación.
- b. Estudios Especializados – EE: A través de la Ordenanza Regional N°005-2021-CR/GOB.REG.TACNA aprueban los Estudios Especializados del departamento de Tacna: Estudio de dinámica económica regional, Estudio de normativa y políticas con incidencia territorial, Estudios de análisis de capacidad institucional, Estudio de análisis de los cambios de la cobertura y uso de la tierra, Estudio de ecosistemas y hábitat marino-costero, Estudio de servicios ecosistémicos, Estudios de evaluación del riesgo de desastres y vulnerabilidad al cambio climático.
- c. Diagnóstico Integrado del Territorio – DIT: El presente instrumento fue aprobado mediante la Ordenanza Regional N°006-2021-CR/GOB.REG.TACNA, el cual brindó información valiosa para determinar la ocupación del territorio Tacna con base en las características biofísicas, sociales, económicas, culturales, funcionales, institucionales y políticas del territorio; dicho diagnostico sirvió de base para el desarrollo del Plan de Ordenamiento Territorial – POT.
- d. Plan de Ordenamiento Territorial – POT: Aprobado mediante la Ordenanza Regional N°028-2021-CR/GOB.REG.TACNA, este instrumento busca la implementación y complementación con otros instrumentos relacionados a la gestión del territorio; su reglamento interno fue aprobado mediante Decreto Regional N°001-2023-GR/GOB.REG.TACNA.

2.3. Definición de términos

2.3.1. Crecimiento urbano

Esto se debe al aumento de la población y la infraestructura en los centros urbanos, mientras que el aumento de la actividad humana contribuye a la influencia económica, social, política y geográfica de la región. (Ramachandra, et al., 2014).

2.3.2. Planificación territorial

La planificación territorial es una forma de planificación que se centra en el territorio como objeto de intervención y no se limita a un lugar o área específica (Geiger, 1996). Esto cubre aspectos como la interacción urbano-rural, la planificación de cuencas, la gestión de riesgos, la infraestructura, los sitios y la zonificación (Sandoval, 2014).

2.3.3. Teledetección

Implica observar y recopilar información sobre objetos en la superficie terrestre utilizando sensores satelitales que registran la energía electromagnética emitida por los objetos. Esta herramienta ha avanzado significativamente en las últimas décadas ya que permite el análisis remoto sin contacto físico con la superficie (Holzman, 2012).

2.3.4. Modelamiento geoespacial

Es una representación abstracta del mundo real utilizando un conjunto de datos específico que facilita la visualización en un mapa. Esta herramienta le permite modificar, examinar y analizar información para crear productos de información geográfica (Rojas, 2018).

2.3.5. Mapa temático

El resultado de la prueba de clasificación es un mapa temático que muestra la ubicación de las variables (por ejemplo, suelo, vegetación, etc.) y una base de datos que contiene y gestiona esta información (Jensen, 1996).

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Diseño de la investigación

El diseño de esta investigación es de nivel descriptivo, ya que se enfoca en la observación y caracterización de las variables de estudio sin realizar modificaciones en ellas. Este nivel descriptivo se aplica principalmente a la variable *Crecimiento Urbano*, al proporcionar una visión detallada de la problemática actual. Además, la investigación tiene un enfoque predictivo, dado que se desarrollará un modelo que permita proyectar escenarios y analizar la variable *Planificación Territorial*, anticipando así posibles tendencias y desafíos para la gestión del crecimiento urbano en el distrito de Calana.

3.2. Acciones y actividades

Las acciones y actividades se basan en los objetivos específicos propuestos en la investigación

3.2.1. Analizar la información preexistente

a. Imágenes Satelitales

Descargadas de la página del Servicio Geológico de los Estados Unidos, USGS por sus siglas en inglés, del satélite Landsat 8 debido a que presentan una resolución multiespectral mayor en comparación con las de otros satélites, además dicho satélite cuenta con una mayor cantidad de imágenes desde su lanzamiento (11 de febrero del año 2013) hasta la actualidad.

Las imágenes descargadas corresponden a los años 2013, 2015, 2017, 2019, 2021 y 2023 entre los meses de marzo y abril.

Tabla 12

Descarga de Imágenes Satelitales

| Año | Fecha | ID |
|------|------------|--|
| 2013 | 04/26/2013 | LC08_L1TP_002072_20130426_20200913_02_T1 |
| 2015 | 31/03/2015 | LC08_L1TP_002072_20150331_20200909_02_T1 |
| 2017 | 21/04/2017 | LC08_L1TP_002072_20170421_20200904_02_T1 |
| 2019 | 11/04/2019 | LC08_L1TP_002072_20190411_20200828_02_T1 |
| 2021 | 06/04/2021 | LC08_L1TP_002072_20210416_20210424_02_T1 |
| 2023 | 06/04/2023 | LC08_L1TP_002072_20230406_20230412_02_T1 |

b. Procesamiento de las imágenes satelitales

Dado que las imágenes satelitales suelen cubrir grandes áreas, es necesario delimitar el área correspondiente al distrito de Calana antes de proceder con el análisis detallado. El recorte elimina las secciones de la imagen que no forman parte del área de estudio, optimizando el uso de recursos computacionales y reduciendo el tiempo de procesamiento. Esto se realiza mediante la superposición de la imagen satelital con un shapefile o una capa vectorial que define los límites del distrito de Calana, recortando la imagen para enfocarse exclusivamente en esta área.

También se realizó la conversión de Formato y calibración de bandas. Las imágenes satelitales pueden venir en distintos formatos y bandas espectrales. Para facilitar el análisis, es posible que se requiera convertirlas a un formato compatible con el software de procesamiento elegido (como TIFF para software de SIG). Además, la calibración de bandas espectrales, como la banda infrarroja o la banda de color natural, puede ser necesaria para resaltar características específicas del suelo o la vegetación.

c. Cobertura Vegetal

Se utilizó la información validada del Mapa Nacional de Cobertura Vegetal, propuesta por el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2015)

d. Suelos

Se trabajó con los shapefile del Mapa de Suelos del Perú, desarrollado por el Ministerio de Agricultura (1996)

e. Geología

Se procesó la información propuesta por el Instituto Minero Metalúrgico del Perú (INGEMMET)

f. Geomorfología

Se procesó la información propuesta por el Instituto Minero Metalúrgico del Perú (INGEMMET)

3.2.2. Representar de manera cartográfica el cambio histórico en el uso del suelo

Para determinar el cambio histórico de uso de suelo se procesó la información considerando los índices de calidad ambiental.

a. Cálculo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

Utilizado comúnmente para la vigilancia de la vegetación, dado que permite determinar tanto el vigor, el verdor y la densidad de la biomasa de la cobertura vegetal presente en la zona de estudio. El rango de valores que se obtienen como resultado de este índice oscilan entre -1 y 1, tomando en cuenta que los valores negativos corresponden a territorio con cuerpos de agua; los valores cercanos a cero indican territorio desnudo o con vegetación enferma y en cuanto a los valores positivos estos hacen referencia a un territorio con una mayor densidad de vegetación sana.

Por medio de la teledetección se determinó el NDVI; se empleó la herramienta de Álgebra de mapas del módulo Spatial Analyst (ubicado dentro de la ventana ArcToolbox) introduciendo una ecuación aritmética para las bandas 4 y 5 del satélite Landsat 8.

La ecuación 1, permite calcular el Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI):

$$\frac{(Banda\ 5 - Banda\ 4)}{(Banda\ 5 + Banda\ 4)} \quad (4)$$

Donde:

Banda 5 = Infrarrojo cercano (NIR)

Banda 4 = Rojo (R)

Como resultado de la operación se obtuvo un Raster NDVI con valores de -1.0 a 1.0, el cual posteriormente fue reclasificado (herramienta Reclassify), de tal manera que los valores definidos para NDVI que van de -1.0 a 1.0 puedan ser rangos más simplificados; luego de ello se modificó el formato Raster a un formato vectorial (polígono) a fin de calcular el área del mismo.

b. Cálculo del Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI)

El Índice de Vegetación Ajustado al Suelo es aplicado en la reducción de la influencia del brillo del suelo que se encuentra debajo de la vegetación, agregando un factor de corrección del brillo del suelo (L) el cual depende de la densidad de la vegetación ya sea baja, intermedia o alta; tomando los valores de 1, 0,5 y 0, respectivamente. Ahora bien, este índice a menudo es utilizado en zonas áridas con baja cobertura de vegetación.

Así pues, por medio de la teledetección se determinó el SAVI; se empleó la herramienta de Álgebra de mapas del módulo Spatial Analyst (ubicado dentro de la ventana ArcToolbox) introduciendo una ecuación aritmética para las bandas 4 y 5 del satélite Landsat 8, considerando un valor de 0.5 para el factor de corrección del brillo del suelo (L).

La ecuación 2, permite calcular el Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI):

$$\frac{(Banda\ 5 - Banda\ 4)}{((Banda\ 5 + Banda\ 4 + L) * (1 + L))} \quad (5)$$

Donde:

Banda 5 = Infrarrojo cercano (NIR)

Banda 4 = Rojo (R)

L= Factor de corrección del brillo del suelo

c. Cálculo del Índice de Diferencia Urbanizada Normalizada (NDBI)

El presente índice es utilizado para destacar las áreas urbanas edificadas y en proceso de construcción; de igual manera es un medio para analizar la evolución territorial de las ciudades a través del tiempo. Obteniendo como resultado valores en un rango de -1.00 a 1.00, considerando que los valores negativos hacen referencia a territorio con vegetación; los valores intermedios indican territorio desnudo, con cultivo en crecimiento o zonas en construcción y los valores positivos refieren suelo edificado o con presencia de infraestructura producto de las actividades del hombre. Por esta razón haciendo uso de un Software para el procesamiento SIG; se empleó la herramienta de Álgebra de mapas del módulo Spatial Analyst (ubicado dentro de la ventana ArcToolbox) introduciendo una ecuación aritmética para las bandas 5 y 6 del satélite Landsat 8.

La ecuación 3, permite calcular el Índice de Diferencia Urbanizada Normalizada (NDBI):

$$\frac{Float\ (Banda\ 6 - Banda\ 5)}{Float\ (Banda\ 6 + Banda\ 5)} \quad (6)$$

Donde:

Banda 6 = Infrarrojo de longitud de onda corta (SWIR)

Banda 5 = Infrarrojo cercano (NIR)

Como resultado de la operación se obtuvo un Raster NDBI con valores de -1.00 a 1.00, el cual posteriormente fue reclasificado (herramienta Reclassify), de tal manera que los valores definidos para NDBI que van de -1.00 a 1.00 puedan ser rangos más simplificados; posterior a ello se modificó el formato Raster a un formato vectorial (polígono) a fin de calcular el área de este.

3.2.3. Proyección del escenario futuro de cambio de uso del suelo

Para realizar una adecuada proyección del escenario futuro previamente se debe validar la información, para ello, se utilizó un Software para el procesamiento SIG.

- a. **Validación de puntos de control.** Se establecieron 2 áreas de entrenamiento:

Tabla 13

Áreas de entrenamiento

| Áreas de entrenamiento | Abreviatura |
|------------------------|-------------|
| Área urbana | U |
| Cobertura vegetal | CV |

Para la validación se utilizó una matriz de confusión y la matriz de Kappa, las cuales nos permite validar la información.

Tabla 14

Valoración del Índice de Kappa

| Índice de Kappa | Fuerza de Concordancia |
|-----------------|------------------------|
| 0,00 | 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 |

Nota. Landis y Koch (1977) detallaron la escala que usualmente es utilizada para expresar cualitativamente la fuerza de concordancia del Índice Kappa.

- b. **Proyección del escenario futuro**

Predecir los cambios en el uso del suelo en el área de estudio a futuro, considerando las tendencias actuales y factores de crecimiento urbano, agrícola y ambiental, para orientar la planificación territorial. Las Herramientas utilizadas son los Sistemas de Información Geográfica (SIG), software de procesamiento de imágenes satelitales.

Generar escenarios proyectados de cambio de uso del suelo utilizando modelación espacial. Utilizar modeladores de cambio de uso del suelo, como el Land Change Modeler (LCM) del software IDRISI, para proyectar posibles escenarios. Crear diferentes escenarios considerando el crecimiento urbano controlado, el crecimiento expansivo y un escenario de conservación. Validar los escenarios comparando las proyecciones con datos reales de cambio en períodos previos.

Las herramientas utilizadas fueron (IDRISI, Land Change Modeler), SIG. Se crea el mapa temático que muestra el escenario futuro de uso del suelo, destacando los cambios significativos en áreas urbanas y cobertura vegetal.

3.2.4. Desarrollar Estrategias de Planificación Territorial

En base a los resultados obtenidos se pudo hacer el análisis para realizar tres propuestas.

3.3. Materiales y/o instrumentos

3.3.1. Materiales

Imágenes Landsat 8: las cuales fueron descargadas del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) del servidor Earth Explorer; estas comprendieron los años 2013, 2015, 2017, 2019, 2021, 2023, entre los meses de marzo y abril (períodos húmedos).

3.3.2. Instrumentos

3.3.2.1. Instrumentos de Recolección de datos

Para la presente investigación se utilizó información satelital (imágenes satelitales Landsat 8) del Servicio Geológico de Estados Unidos (siglas en inglés USGS) y en cuanto a información de índole poblacional esta se obtuvo del Instituto Nacional de

Estadística e Informático (INEI) Censos Nacionales 2017 - XII de Población, VII Vivienda y III de Comunidades Indígenas.

3.3.2.2. Instrumentos de Análisis de datos

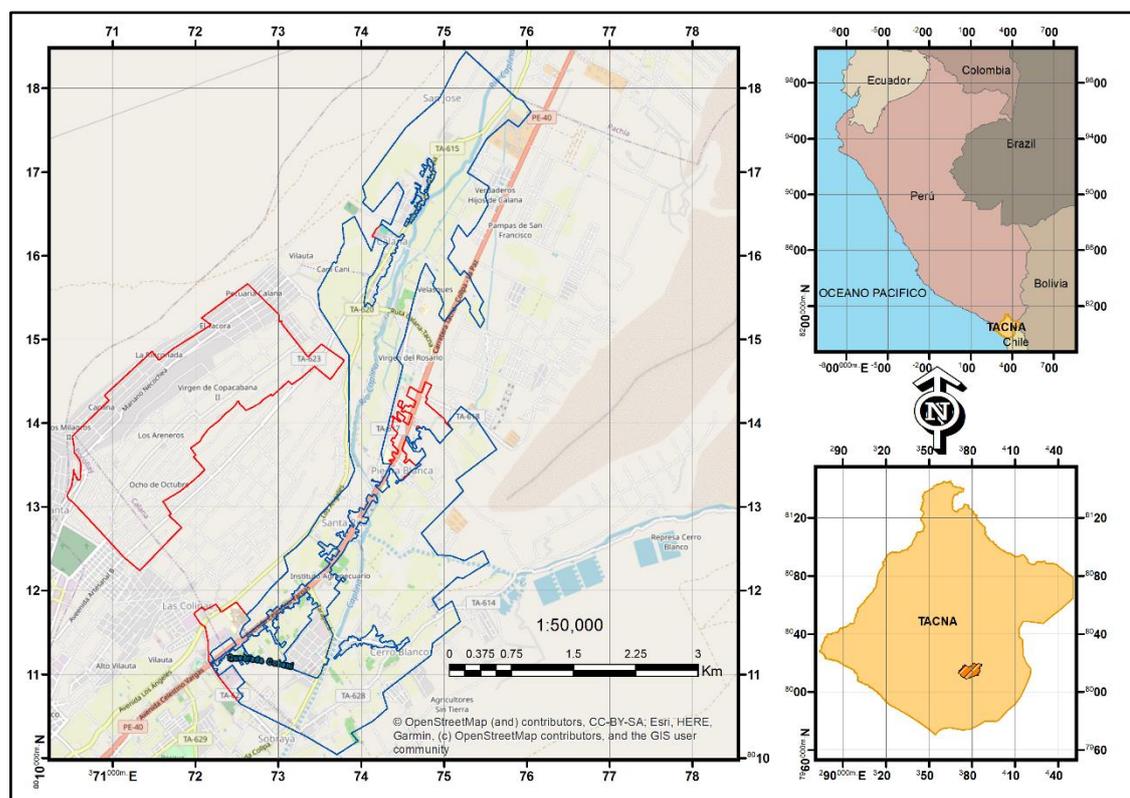
Para el análisis de datos se utilizó un software para el procesamiento SIG a fin de interpretar y procesar las imágenes satelitales descargadas, se empleó el programa de Microsoft Excel 2019 para el ordenamiento de datos puntuales de área y de campo.

3.4. Población de estudio

La presente investigación estudia toda la superficie del Distrito de Calana, Provincia de Tacna; dicho distrito presenta una superficie de 111,18 Km² como lo indica la Municipalidad Provincial de Tacna (2013), con una población de 2 979 habitantes INEI (2017), asimismo se sabe que limita por el Nor-oeste y Norte con los distritos de Ciudad Nueva y Pachía, por el Este con el distrito de Pachía, por el Sur y Sur-oeste con el distrito de Pocollay.

Figura 6

Ubicación de la zona de estudio



Nota. Adaptado del Plan de Ordenamiento Territorial (Gobierno Regional de Tacna, 2021).

3.5. Operacionalización de variables

La operación de variable de la investigación se divide como se muestra la siguiente tabla.

Tabla 15

Operacionalización de variables de investigación

| Variable | Definición conceptual | Dimensiones | Indicador | Escala | Técnicas o métodos |
|---|---|--|--|---|---|
| Variable 1. Escenarios Futuros del Crecimiento Urbano | Proyección de distintos escenarios de crecimiento urbano basados en el análisis de tendencias actuales y factores como el cambio en el uso del suelo. Estos escenarios anticipan posibles formas de crecimiento y expansión de las áreas urbanas en el futuro. | Variables de campo | Cobertura Vegetal Suelos Geología Geomorfología | Km ² Tipo Unidades Unidades | Procesamiento de imágenes satelitales. |
| | | Cambio de uso de suelo | NDVI SAVI NDBI | Km ² Km ² Km ² | Uso de Herramientas SIG |
| | | Escenarios Futuros | Combinación de Imágenes satelitales | RGB | Análisis multiespectral |
| | | | Proyección | Año | |
| Variable 2. Planificación Territorial | Estrategias y políticas diseñadas para gestionar el uso del suelo de manera sostenible, con el fin de orientar el crecimiento urbano según los escenarios proyectados. La planificación territorial busca balancear el desarrollo urbano con la preservación de recursos naturales y la provisión de servicios adecuados. | Estrategias de Planificación Territorial | Objetivo Estrategia Entidad Responsable | Fichas de estrategias | Análisis de políticas de ordenamiento territorial |

3.6. Procesamiento y análisis de datos

Para el procesamiento de la información y análisis de datos se utilizó la verificación de clasificación.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1. Variables de Campo

4.1.1. Cobertura Vegetal

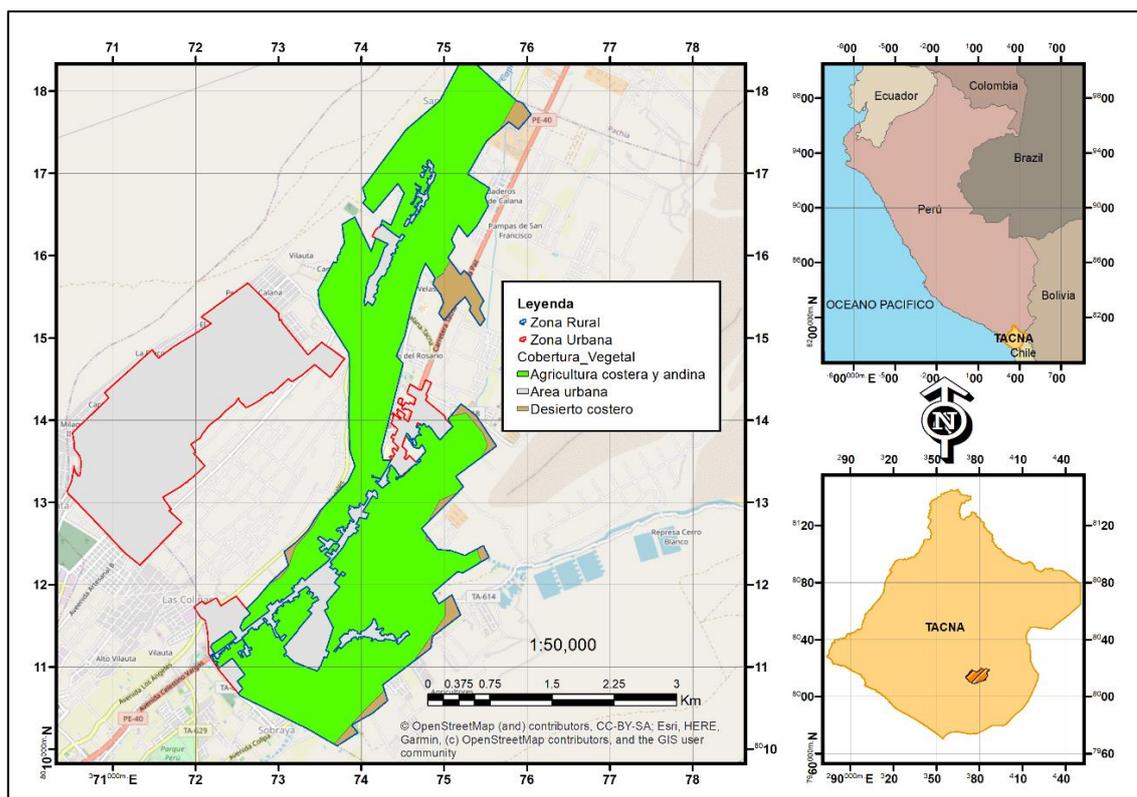
La tabla 16 presenta la distribución de la cobertura del suelo en el área de estudio, segmentada en tres categorías: Agricultura Costera y Andina, Área Urbana, y Desierto Costero. La superficie total del área analizada es de 16,228 km². A continuación, se detalla un análisis de cada categoría.

- a. **Agricultura Costera y Andina (Agri).** Esta categoría es la más extensa, cubriendo un área de 9,699 km², lo que representa aproximadamente el 60 % de la superficie total. La predominancia de esta categoría indica que la agricultura es una actividad importante en la región, con terrenos dedicados tanto a cultivos costeros como de zonas andinas. La extensión de tierras agrícolas implica una fuerte dependencia de la agricultura en el área, lo cual sugiere que la planificación territorial debe tomar en cuenta el uso agrícola del suelo y asegurar su sostenibilidad para evitar degradación.
- b. **Área Urbana (U).** El área urbana ocupa 5,961 km², lo que representa alrededor del 37 % de la superficie total. La considerable proporción de suelo urbano sugiere un desarrollo significativo en términos de infraestructura y asentamientos humanos. La expansión del área urbana puede estar relacionada con el crecimiento poblacional y la demanda de espacios residenciales y comerciales. Sin embargo, este crecimiento urbano también plantea desafíos para la gestión del suelo y la conservación de áreas naturales.
- c. **Desierto Costero (Dc).** El desierto costero es la categoría con menor extensión, abarcando solo 0,569 km² (aproximadamente el 3 % del área total). Este tipo de cobertura es típico de zonas áridas, con vegetación escasa o nula debido a las condiciones climáticas y edáficas. Aunque ocupa una porción pequeña, el desierto costero puede ser importante para la biodiversidad y representa un ecosistema específico que también requiere consideraciones de conservación.

Tabla 16*Distribución de la cobertura del suelo*

| Idem | Descripción | Símbolo | Área (Km ²) |
|--------------|------------------------------|---------|-------------------------|
| 1 | Agricultura costera y andina | Agri | 9,699 |
| 2 | Área urbana | U | 5,961 |
| 3 | Desierto costero | Dc | 0,569 |
| Total | | | 16,228 |

Este mapa (Figura 7) muestra la distribución espacial de diferentes tipos de cobertura y uso del suelo en el área de estudio en la Provincia de Tacna. Las categorías principales representadas en el mapa incluyen Agricultura Costera y Andina, Área Urbana, y Desierto Costero. A continuación, se analiza cada categoría en el contexto del área.

Figura 7*Distribución espacial de tipos de cobertura y uso del suelo*

- a. **Agricultura Costera y Andina (Cobertura Vegetal).** Representada en color verde, esta categoría cubre gran parte del área de estudio, especialmente en la zona central y sureste del distrito.

- b. **Área Urbana.** En el mapa, las áreas urbanas están representadas en color gris. Estas se encuentran en zonas estratégicas que parecen seguir el eje de las principales carreteras y áreas con infraestructura. La presencia de áreas urbanas en el centro del distrito sugiere una concentración de población y actividades económicas en esa zona.
- c. **Desierto Costero.** Representado en color amarillo, ocupa una menor extensión en el área de estudio y se encuentra principalmente en las zonas periféricas. Esta categoría de cobertura es característica de zonas áridas con poca o nula vegetación debido a las condiciones climáticas. Aunque ocupa una menor área, el desierto costero puede tener un valor ecológico particular y servir como un ecosistema único.

4.1.2. Suelos

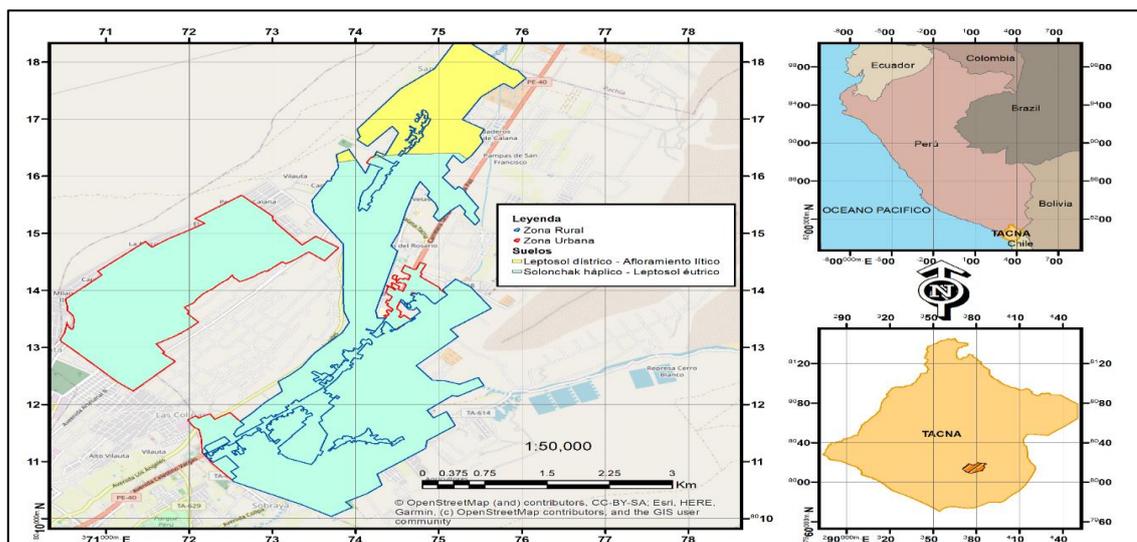
La tabla 17 presenta la clasificación y distribución de los tipos de suelo en el área de estudio, con un total de 16,228 km². Se identifican dos tipos de suelo principales: Leptosol dístrico - Afloramiento lítico y Solonchak háplico - Leptosol éutrico. A continuación, se analizan cada uno de estos tipos.

- a. **Leptosol dístrico - Afloramiento lítico (LPd-R).** Este tipo de suelo cubre un área de 2,087 km², representando aproximadamente el 12,87 % del total del área de estudio. Los Leptosoles son suelos generalmente poco profundos, a menudo asociados con terrenos montañosos o pendientes pronunciadas. La presencia de afloramientos líticos indica la proximidad de la roca madre a la superficie, lo que limita su capacidad para actividades agrícolas intensivas. Estos suelos suelen ser poco fértiles y son propensos a la erosión, especialmente en áreas con pendiente.
- b. **Solonchak háplico - Leptosol éutrico (SCh-LPe).** Este tipo de suelo abarca una mayor superficie, con 14,142 km², lo que representa el 87,13 % del área total. Los Solonchaks son suelos salinos, a menudo ubicados en áreas con baja permeabilidad y pobre drenaje. Suelen presentar una capa de sal en la superficie o en el subsuelo, lo que puede afectar el crecimiento de plantas sensibles a la salinidad. La presencia de Leptosol éutrico sugiere que algunas áreas de este tipo de suelo pueden tener mejor fertilidad relativa, pero la salinidad sigue siendo una limitante. Estos suelos son más adecuados para actividades agrícolas específicas, como cultivos tolerantes a la salinidad, o para usos alternativos como pastoreo controlado.

Tabla 17*Clasificación y distribución de tipos de suelo*

| Idem | Descripción | Símbolo | Área (Km ²) |
|--------------|--|---------|-------------------------|
| 1 | Leptosol dístico - Afloramiento lítico | LPd-R | 2,087 |
| 2 | Solonchak háptico - Leptosol éutrico | SCh-LPe | 14,142 |
| Total | | | 16,228 |

Este mapa (Figura 8) muestra la distribución espacial de los tipos de suelo en el área de estudio en el distrito de Calana la Provincia de Tacna. Los tipos de suelo identificados son Leptosol dístico - Afloramiento lítico y Solonchak háptico - Leptosol éutrico, que están marcados en diferentes colores y áreas específicas. A continuación, se detalla el análisis de cada tipo de suelo.

Figura 8*Distribución espacial de los tipos de suelo*

- a. **Leptosol dístico - Afloramiento lítico (LPd-R).** Representado en color amarillo, este tipo de suelo se encuentra en una porción más reducida de la zona norte del área de estudio. Los Leptosoles son suelos poco profundos y a menudo presentan limitaciones para la agricultura debido a la proximidad de la roca madre. La presencia de afloramientos líticos indica que es probable que existan áreas rocosas en la superficie, lo cual puede dificultar su uso para cultivos o actividades agrícolas intensivas.

- b. Solonchak háplico - Leptosol éútrico (SCh-LPe).** Representado en color celeste, este tipo de suelo cubre la mayor parte del área de estudio, desde el centro hasta el sur. Los Solonchaks son suelos caracterizados por su alta salinidad, lo que limita las opciones de cultivo a especies tolerantes a la sal o actividades de menor intensidad agrícola. El Leptosol éútrico, presente en este tipo de suelo, ofrece una fertilidad relativa mejor que los leptosoles districos, pero sigue enfrentando desafíos debido a la salinidad. Este suelo es adecuado para usos específicos como pastoreo controlado o cultivos adaptados a su salinidad.

4.1.3. Geología

La tabla 18 presenta la distribución de unidades geológicas en el área de estudio, clasificadas por tipo de roca. El área total analizada es de 16,132 km², dividida en cinco unidades geológicas principales. A continuación, se analiza cada unidad geológica y sus implicaciones para el uso del suelo.

a. Unidad Geológica Qh-ce (Sedimentarios y Piroclásticas)

Esta unidad cubre un área de 3,757 km², representando aproximadamente el 23,30 % del área total. Los depósitos sedimentarios y piroclásticos están compuestos por materiales que se han acumulado a lo largo del tiempo, ya sea por procesos de sedimentación o por actividad volcánica explosiva (piroclásticos). Este tipo de suelo puede ser adecuado para ciertas actividades agrícolas, pero es propenso a la erosión. La planificación territorial debe tomar en cuenta la estabilidad de estos depósitos, especialmente en pendientes, para evitar la erosión y deslizamientos de tierra.

b. Unidad Geológica Qh-al (Sedimentaria)

Esta unidad sedimentaria abarca dos áreas: una de 11,633 Km² y otra de 0,143 km², sumando un total de 11,776 Km² (73,00 % del área total). Los sedimentos acumulados en esta unidad indican un suelo más suelto y posiblemente fértil, adecuado para actividades agrícolas. Sin embargo, también puede ser susceptible a la erosión y a movimientos de suelo en ciertas condiciones climáticas.

c. Unidad Geológica Nm-hu (Volcánica)

Esta unidad volcánica cubre un área de 0,599 km², representando el 3,71 % del área total. Las rocas volcánicas suelen ser más duras y resistentes, lo que limita su uso para actividades agrícolas, pero las hace adecuadas para ciertos

tipos de construcción, siempre que se evalúen adecuadamente las condiciones geológicas. Dado su tamaño reducido, esta unidad no tendrá un impacto significativo en el uso del suelo general del área de estudio.

Tabla 18

Distribución de unidades geológicas

| Idem | Unidades Geológicas | Tipo de Roca | Área (Km²) |
|--------------|----------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| 1 | Qh-ce | Sedimentarios y piroclásticas | 3,757 |
| 3 | Qh-al | Sedimentaria | 11,776 |
| 5 | Nm-hu | Volcánica | 0,599 |
| Total | | | 16,132 |

El mapa (Figura 9) muestra la distribución de las unidades geológicas en el área de estudio en el distrito de Tacna, clasificadas en tres tipos principales: Sedimentaria, Sedimentarios y Piroclásticas, y Volcánica. A continuación, se realiza un análisis de cada tipo de unidad geológica.

a. Unidad Geológica Sedimentarios y Piroclásticas

Representada con un patrón de líneas inclinadas, esta unidad se distribuye en áreas específicas del mapa, cubriendo porciones considerables del centro del área de estudio. Las rocas sedimentarias y piroclásticas incluyen depósitos de material volcánico fragmentado, lo cual puede hacer que el suelo sea menos estable en ciertas áreas, especialmente en pendientes pronunciadas. La presencia de esta unidad sugiere la necesidad de precaución en actividades de construcción y en áreas agrícolas, ya que estos suelos pueden ser más propensos a la erosión.

b. Unidad Geológica Sedimentaria

Esta unidad cubre una gran parte del área de estudio y está representada con un patrón de puntos. Los sedimentos en esta unidad suelen estar formados por materiales más sueltos y pueden ofrecer suelos relativamente fértiles y adecuados para la agricultura, siempre que se manejen de manera sostenible.

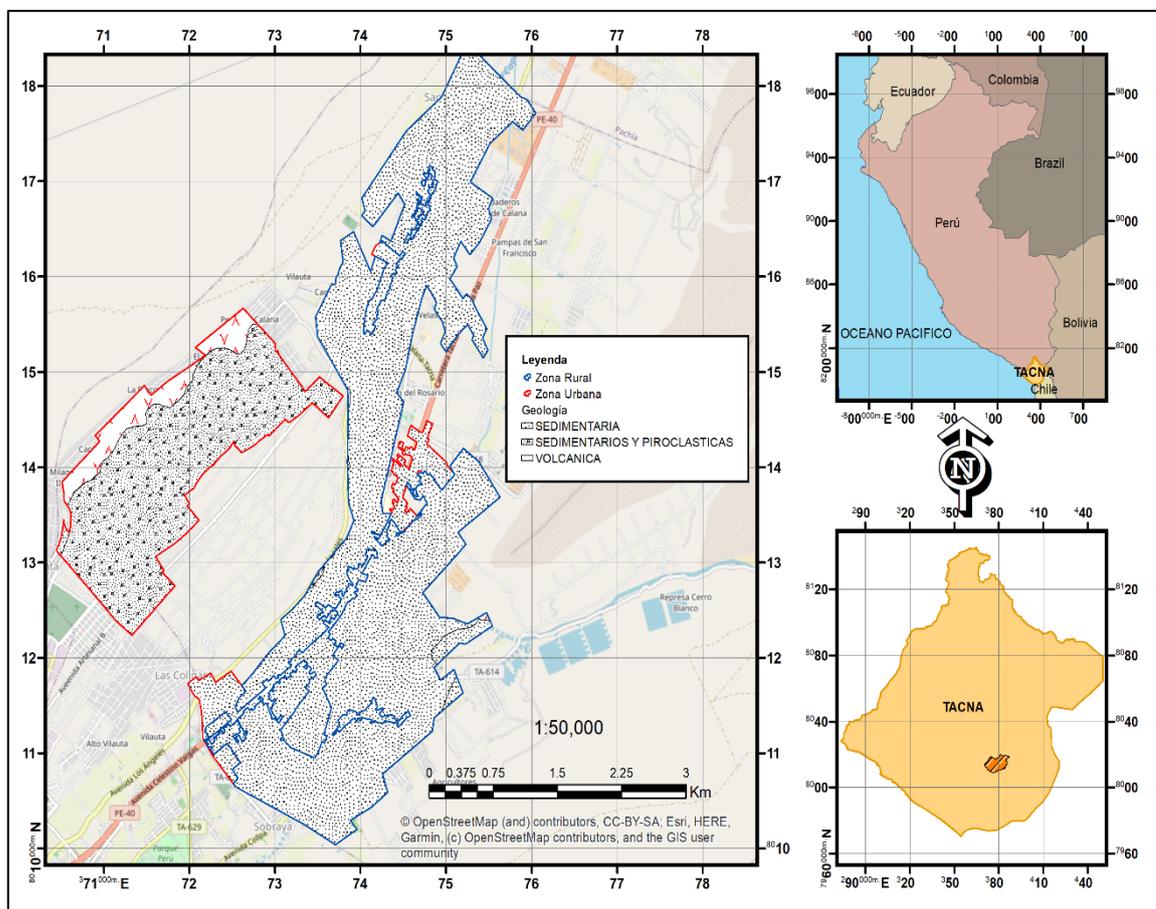
c. Unidad Geológica Volcánica

Representada en el mapa con un patrón de líneas horizontales, esta unidad ocupa una menor extensión en comparación con las demás. Las rocas volcánicas suelen ser duras y resistentes, lo que las hace menos adecuadas para actividades agrícolas, pero pueden ser útiles para la construcción en pequeñas áreas. Dado su tamaño reducido, esta unidad no tiene un impacto

significativo en el uso del suelo general, pero puede ser relevante para estudios geológicos o actividades específicas de conservación.

Figura 9

Distribución espacial de las unidades geológicas



4.1.4. Geomorfología

La tabla 19 presenta la distribución de las unidades geomorfológicas en el área de estudio, con un área total de 16,131 km². Se identifican cuatro unidades principales de relieve: Flanco Disectado de los Andes, Terraza Aluvial, Pampa Costera, y Superficie Huayllillas. A continuación, se realiza un análisis de cada unidad.

a. Flanco Disectado de los Andes (FD)

Esta unidad cubre un área de 1,866 km², representando aproximadamente el 11,57 % del total. Los flancos disectados de los Andes suelen tener pendientes pronunciadas y estar sujetos a procesos de erosión. Son áreas donde la topografía es accidentada debido a la actividad tectónica y la erosión diferencial. Estas áreas son generalmente poco adecuadas para la agricultura

intensiva o la construcción, ya que el riesgo de erosión y deslizamientos es elevado.

b. Terraza Aluvial (TA)

La unidad de terraza aluvial abarca una gran extensión de 11,782 km², lo que representa el 73,05 % del área total, siendo la unidad más extensa. Las terrazas aluviales están formadas por depósitos de sedimentos arrastrados por ríos y tienen suelos más fértiles y relativamente planos. Estas áreas son adecuadas para la agricultura y para la expansión urbana, siempre que se tomen en cuenta las condiciones de inundación y el manejo de suelos.

c. Pampa Costera (PC)

La pampa costera cubre 1,915 km², representando aproximadamente el 11,87 % del área de estudio. Esta unidad geomorfológica es característica de áreas planas cercanas a la costa y puede incluir suelos áridos o semiáridos. La Pampa Costera es propensa a condiciones de baja fertilidad y podría requerir prácticas agrícolas específicas para cultivos adaptados a zonas secas.

d. Superficie Huaylillas (SH)

La Superficie Huaylillas ocupa 0,568 km², representando el 3,52 % del área total. Esta unidad geomorfológica corresponde a una superficie elevada o meseta formada por procesos geológicos antiguos, y puede tener suelos de escasa profundidad y vegetación limitada. Dado su tamaño reducido y sus características, esta superficie es más adecuada para actividades de conservación o investigación geológica. Su uso para agricultura o construcción es limitado debido a la baja calidad del suelo y su topografía relativamente estable pero poco fértil.

Tabla 19

Distribución de las unidades geomorfológicas

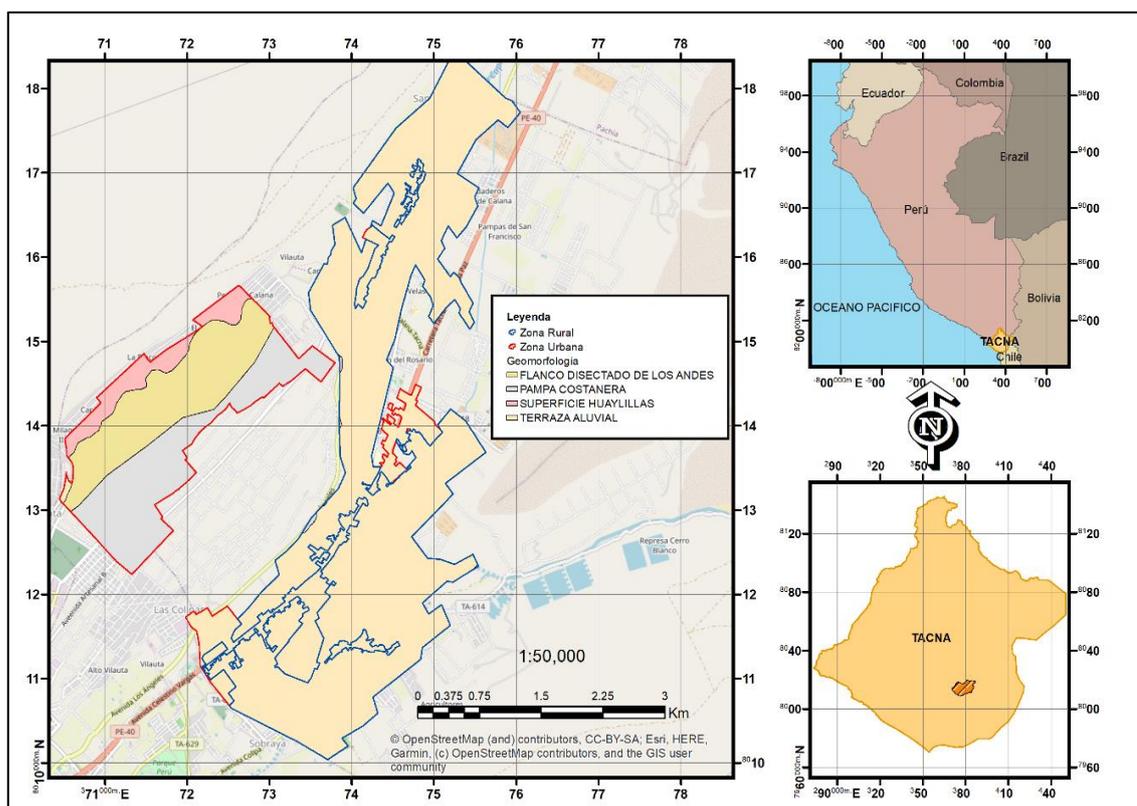
| Idem | Unidades Geológicas | Tipo de Roca | Área (Km²) |
|--------------|----------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| 1 | FD | Flanco Disectado de los Andes | 1,866 |
| 2 | TA | Terraza Aluvial | 11,782 |
| 3 | PC | Pampa Costera | 1,915 |
| 4 | SH | Superficie Huaylillas | 0,568 |
| Total | | | 16,131 |

Este mapa (Figura 10) muestra la distribución geomorfológica del área de estudio en el distrito de Tacna, clasificando las unidades en cuatro categorías: Flanco

Disectado de los Andes, Pampa Costera, Superficie Huaylillas, y Terraza Aluvial. A continuación, se detalla el análisis de cada unidad y sus implicaciones para la planificación territorial y el uso del suelo.

Figura 10

Distribución espacial de las unidades geomorfológicas



- a. **Flanco Disectado de los Andes.** Representado en color gris, esta unidad se encuentra en la parte oeste del área de estudio y cubre una porción significativa. Esta unidad se caracteriza por pendientes pronunciadas y una topografía accidentada, común en regiones montañosas. Es susceptible a la erosión y a deslizamientos, lo cual limita su uso para agricultura o construcción intensiva.
- b. **Terraza Aluvial.** Representada en color beige, esta unidad ocupa la mayor parte del área de estudio, especialmente en las zonas centrales y sureñas. Las terrazas aluviales están formadas por depósitos de sedimentos de origen fluvial, lo que generalmente resulta en suelos más fértiles y planos, ideales para la agricultura y la expansión urbana.

- c. **Pampa Costera.** La pampa costera, en color amarillo, se encuentra en la parte noroeste del área de estudio, abarcando una extensión importante. Esta unidad es característica de zonas planas y áridas cerca de la costa. Los suelos de la pampa costera suelen tener baja fertilidad y ser más adecuados para actividades de pastoreo controlado o conservación de la vegetación natural adaptada al clima árido.
- d. **Superficie Huaylillas.** Representada en un área pequeña en color amarillo claro, la Superficie Huaylillas ocupa una menor proporción en el área de estudio. Esta unidad corresponde a una meseta o superficie elevada formada por procesos geológicos antiguos. Su topografía relativamente estable y baja fertilidad limita su uso agrícola o constructivo.

4.2. Cambio de Uso de Suelos

4.2.1. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

La tabla 20 muestra la distribución en kilómetros cuadrados y porcentajes de dos tipos de cobertura de suelo en el área de estudio: Área Urbana y Cobertura Vegetal, durante el período 2013-2023. El área total permanece constante en 16,08 km² a lo largo de los años. A continuación, se presenta un análisis de cada categoría y las tendencias observadas.

a. Área Urbana

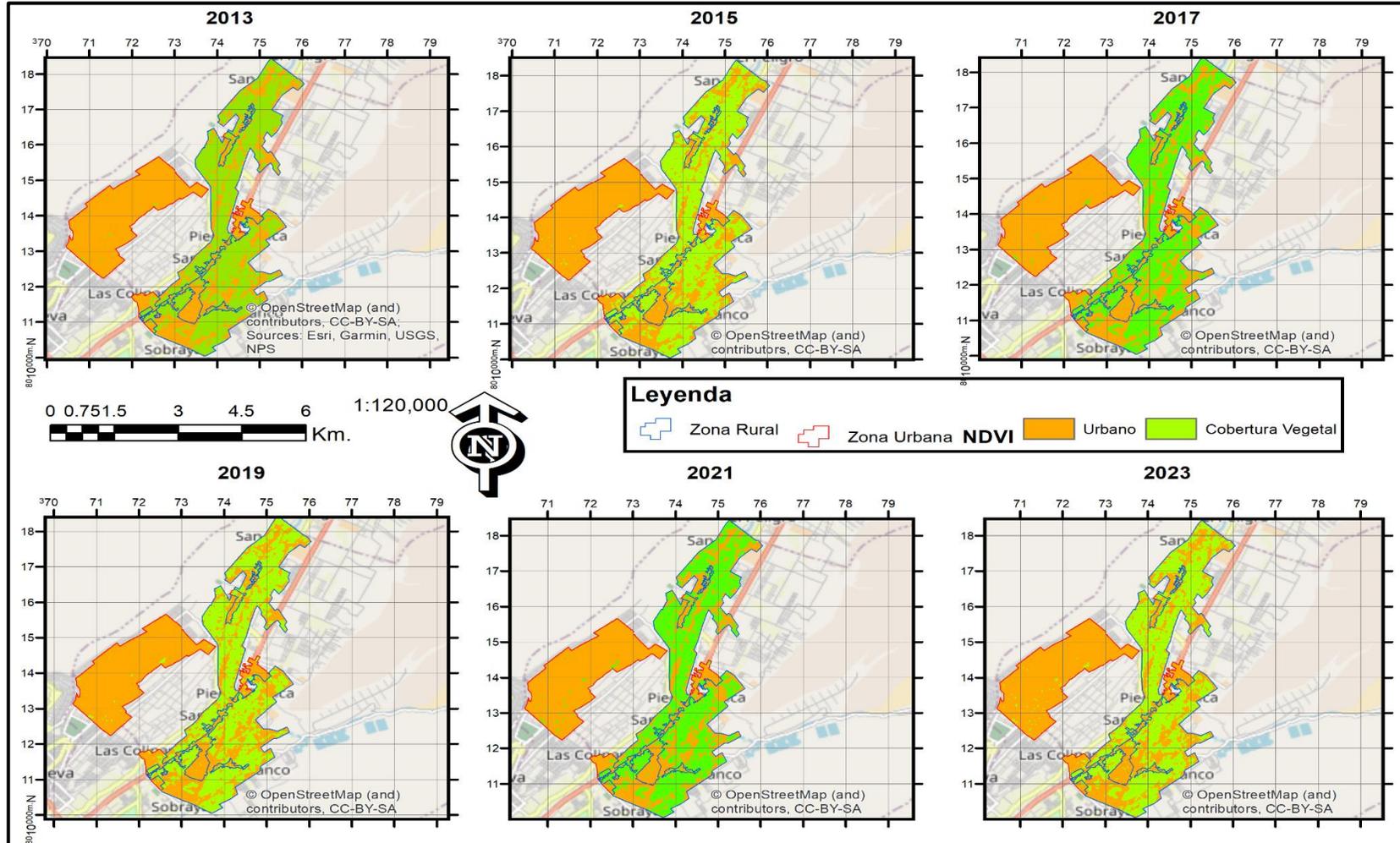
- El área urbana ha mostrado un crecimiento gradual a lo largo del período de estudio, aumentando de 8,72 km² (54,25 %) en 2013 a 9,24 km² (57,51 %) en 2023.
- Este crecimiento sugiere un proceso de expansión urbana, posiblemente debido a un aumento en la demanda de terrenos para viviendas, infraestructuras y servicios.

b. Cobertura Vegetal

- La cobertura vegetal ha disminuido ligeramente durante el mismo período, pasando de 7,36 km² (45,75 %) en 2013 a 6,83 km² (42,49 %) en 2023.
- Esta reducción puede reflejar una conversión de áreas vegetales a zonas urbanas, lo cual puede estar vinculado al crecimiento poblacional y a la expansión de la infraestructura.
- La disminución constante en la cobertura vegetal es una señal de cambio en el paisaje natural y podría tener implicaciones en la biodiversidad, en la capacidad de retención de agua del suelo, y en los servicios ecosistémicos.

Figura 11

Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) durante el período 2013-2023



4.2.2. Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI)

La tabla 21 muestra la distribución en kilómetros cuadrados y porcentajes de dos tipos de uso del suelo en el área de estudio: Área Urbana y Cobertura Vegetal, durante el período de 2013 a 2023. La superficie total se mantiene prácticamente constante, en alrededor de 16,08 km² a lo largo de los años. A continuación, se detallan los hallazgos y tendencias observadas para cada categoría.

a. Área Urbana

- La categoría Área Urbana ocupa la mayor parte del área de estudio, fluctuando entre el 71,20 % y el 74,30 % a lo largo del período.
- Observamos una ligera disminución en el área urbana en 2015 (11,45 km², 71,20 %) en comparación con 2013, seguida de un aumento en 2017 (11,95 km², 74,30 %). Sin embargo, en 2023 se mantiene casi igual que en 2013, con 11,68 km² (72,62 %).
- Estas fluctuaciones pueden indicar variaciones en el desarrollo urbano y la posible conversión temporal o permanente de áreas urbanas en espacios con vegetación o viceversa.

b. Cobertura Vegetal

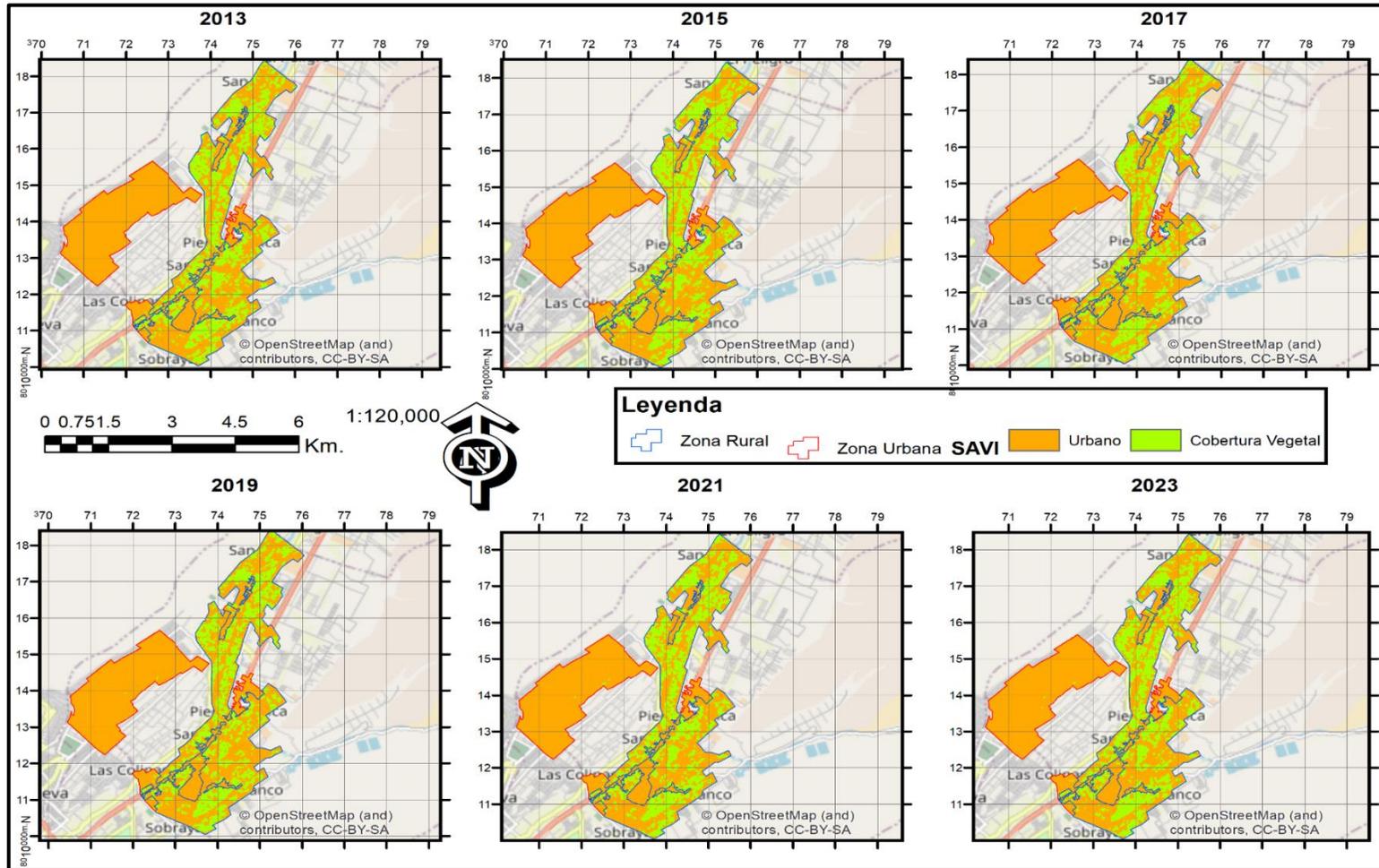
- La cobertura vegetal ha mostrado ligeras variaciones en el período de estudio, oscilando entre el 25,70 % y el 28,80 %.
- Se observa un leve aumento en 2015 (4,63 km², 28,80 %), seguido de una disminución en 2017 (4,13 km², 25,70 %). Posteriormente, en 2023, vuelve a aumentar a 4,40 km² (27,38 %).

Tabla 21*Distribución de cobertura de suelo para el SAVI*

| Tipos | Área | | | | | | | | | | | |
|-------------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|
| | 2013 | | 2015 | | 2017 | | 2019 | | 2021 | | 2023 | |
| | Km ² | % |
| Área urbana | 11,69 | 72,68 | 11,45 | 71,20 | 11,95 | 74,30 | 11,92 | 74,11 | 11,71 | 72,78 | 11,68 | 72,62 |
| Cobertura vegetal | 4,39 | 27,32 | 4,63 | 28,80 | 4,13 | 25,70 | 4,16 | 25,89 | 4,38 | 27,22 | 4,40 | 27,38 |
| Total | 16,08 | 100,00 | 16,09 | 100,00 |

Figura 12

Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI) durante el período 2013-2023



4.2.3. Índice de Diferencia Urbanizada Normalizada (NDBI).

La tabla 22 muestra la distribución en kilómetros cuadrados y porcentajes de dos tipos de uso del suelo en el área de estudio: Área Urbana y Cobertura Vegetal, durante el período de 2013 a 2023. La superficie total se mantiene prácticamente constante, en alrededor de 16,08 km² a lo largo de los años. A continuación, se detallan los hallazgos y tendencias observadas para cada categoría.

a. Área Urbana

- La categoría Área Urbana ocupa la mayor parte del área de estudio, fluctuando entre el 70,99 % y el 75,23 % a lo largo del período.
- Observamos una ligera disminución en el área urbana en 2015 (11,55 km², 71,83 %) en comparación con 2013, seguida de un aumento en 2019 (12,10 km², 75,23 %). Sin embargo, en 2023 se reduce nuevamente hasta llegar a (11,41 km², 70,99 %).
- Estas fluctuaciones pueden indicar variaciones en el desarrollo urbano y la posible conversión temporal o permanente de áreas urbanas en espacios con vegetación o viceversa.

b. Cobertura Vegetal

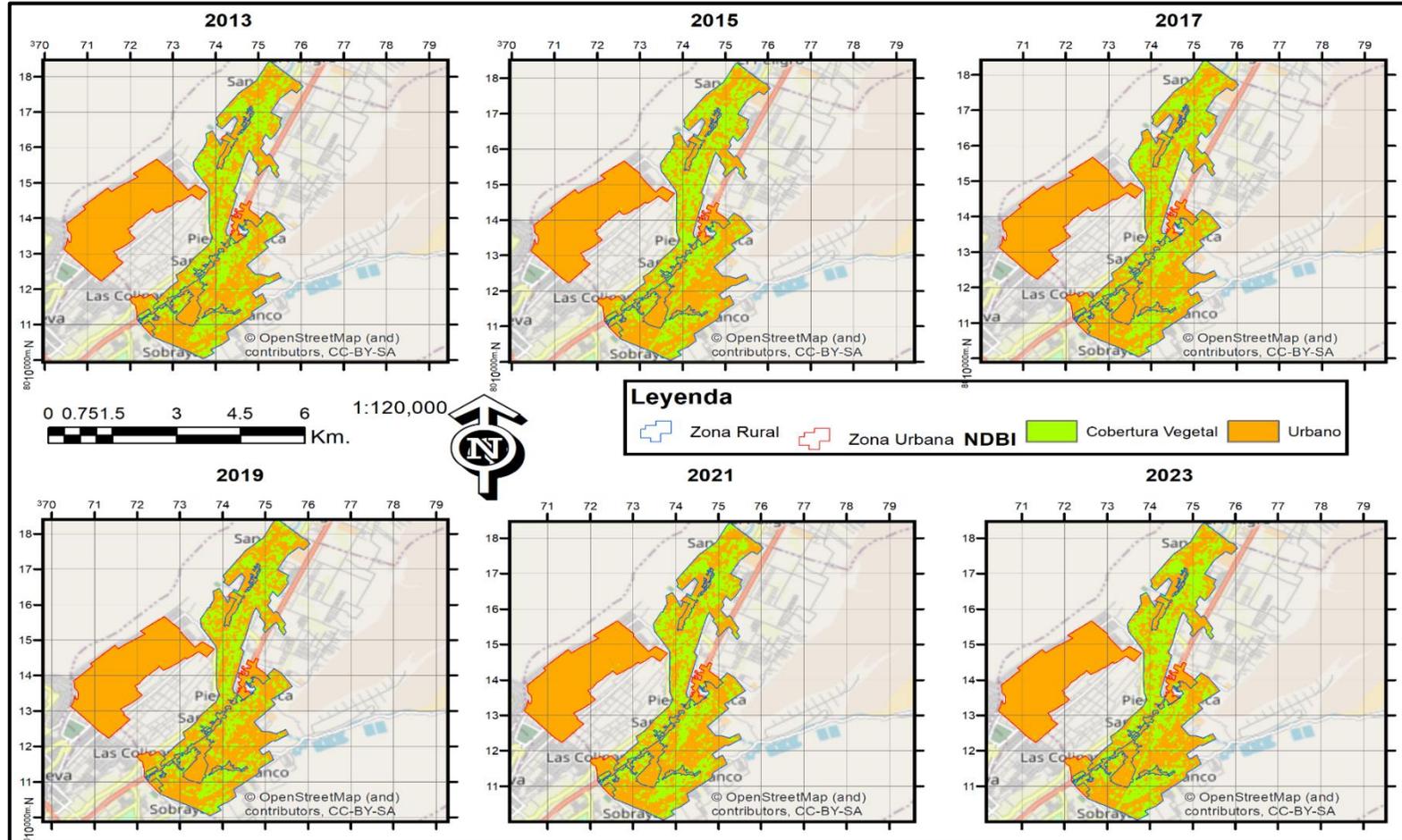
- La cobertura vegetal ha mostrado ligeras variaciones en el período de estudio, oscilando entre el 24,77 % y el 29,01 %.
- Se observa un leve aumento en 2015 (4,53 km², 28,17 %), seguido de una disminución en 2019 (3,98 km², 24,77 %). Posteriormente, en 2023, vuelve a aumentar a 4,66 km², 29,01 %).

Tabla 22*Distribución de cobertura de suelo para el NDBI*

| Tipos | Área | | | | | | | | | | | |
|-------------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|
| | 2013 | | 2015 | | 2017 | | 2019 | | 2021 | | 2023 | |
| | Km ² | % |
| Área urbana | 11,65 | 72,43 | 11,55 | 71,83 | 11,87 | 73,80 | 12,10 | 75,23 | 11,74 | 72,97 | 11,41 | 70,99 |
| Cobertura vegetal | 4,43 | 27,57 | 4,53 | 28,17 | 4,21 | 26,20 | 3,98 | 24,77 | 4,35 | 27,03 | 4,66 | 29,01 |
| Total | 16,08 | 100,00 | 16,08 | 100,00 | 16,09 | 100,00 | 16,08 | 100,00 | 16,09 | 100,00 | 16,08 | 100,00 |

Figura 13

Índice de Diferencia Urbanizada Normalizada (NDBI) durante el período 2013-2023



4.3. Escenarios Futuros

4.3.1. Validación de puntos de control

La validación de los puntos de control (año 2013 y 2023) se obtuvo del procesamiento de las áreas de entrenamiento en un Software para el procesamiento SIG, el cual arrojó los siguientes valores para la matriz de confusión y el índice Kappa:

Tabla 23

Matriz de Confusión año 2013

| | Área urbana | Cobertura vegetal | Total | Error C |
|-------------------|-----------------|-------------------|------------|-----------------|
| Área urbana | 191 | 2 | 193 | 0,010363 |
| Cobertura vegetal | 2 | 337 | 339 | 0,0059 |
| Total | 193 | 339 | 532 | |
| Error O | 0,010363 | 0,0059 | | 0,007519 |

Error O= Errores de omisión (expresados en proporciones)

Error C = Errores de comisión (expresados en proporciones)

Tabla 24

Índice Kappa 2013

| Ítem | Índice | Porcentaje (%) |
|-----------|--------|----------------|
| Po | 0,99 | 99,25 |
| Pe | 0,54 | 53,77 |
| K | 0,98 | 98,37 |

Donde:

Po = Proporción de simultaneidades observadas

Pe = Proporción de simultaneidades esperadas

K = Índice Kappa

Tabla 25*Matriz de Confusión año 2023*

| | Área urbana | Cobertura vegetal | Total | Error C |
|-------------------|-----------------|----------------------|-------|-----------------|
| Área urbana | 180 | 21 | 201 | 0,104478 |
| Cobertura vegetal | 13 | 318 | 331 | 0,039275 |
| Total | 193 | 339 | 532 | |
| Error O | 0,067358 | 0,061947 | | 0,06391 |

Error O= Errores de omisión (expresados en proporciones)

Error C = Errores de comisión (expresados en proporciones)

Tabla 26*Índice Kappa 2023*

| Ítem | Índice | Porcentaje (%) |
|-----------|--------|----------------|
| Po | 0,94 | 93,61 |
| Pe | 0,53 | 53,35 |
| K | 0,86 | 86,30 |

4.3.2. Proyección de escenario futuro

La tabla 27 muestra una comparación entre el uso del suelo proyectado para los años 2023 y 2054, destacando dos categorías principales: Área Urbana y Cobertura Vegetal. El área total permanece prácticamente constante, en alrededor de 16,08 – 16,09 km². A continuación, se analizan las tendencias proyectadas para cada categoría y sus implicaciones.

- a. **Área Urbana.** En 2023, el área urbana ocupa 11,41 km², lo que representa el 70.99% de la superficie total. Para 2054, se proyecta un leve incremento en el área urbana, alcanzando los 11,52 km² (71,57 % del área total). Este aumento de 0,11 km² sugiere una tendencia de expansión urbana moderada, que podría estar impulsada por el crecimiento poblacional y la necesidad de infraestructura adicional. Aunque el incremento es mínimo, cualquier expansión urbana tiene el potencial de reducir la cobertura vegetal y afectar los ecosistemas locales. La planificación territorial deberá considerar estrategias para contener la expansión urbana de manera sostenible.

- b. Cobertura Vegetal.** La cobertura vegetal en 2023 abarca 4,66 km², equivalente al 29,01 % del área total. En 2054, se proyecta una ligera disminución en la cobertura vegetal, quedando en 4,57 km², lo que representa el 28,43 % del área total. Esta reducción de 0,09 km² puede parecer pequeña, pero refleja una tendencia hacia la disminución de áreas verdes, lo cual podría tener impactos negativos en la biodiversidad, la calidad del aire y el bienestar de los habitantes. La pérdida de cobertura vegetal podría requerir acciones de reforestación o la creación de áreas verdes urbanas para mitigar los efectos de la reducción de vegetación en el área de estudio.

Tabla 27

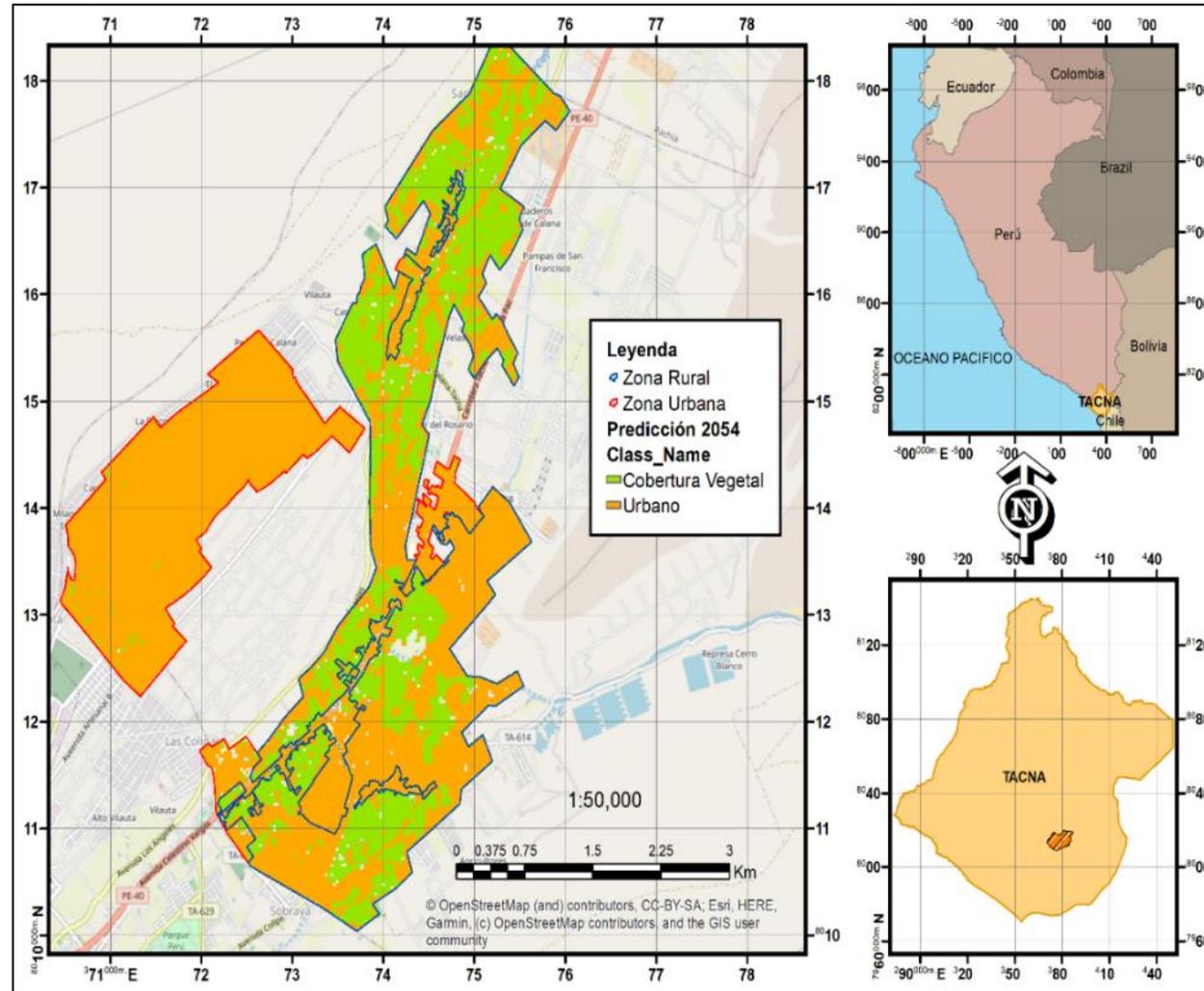
Uso del suelo proyectado para los años 2023 y 2054

| Descripción | 2023 | | 2054 | |
|-------------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|
| | Km ² | % | Km ² | % |
| Área urbana | 11,41 | 70,99 | 11,52 | 71,57 |
| Cobertura vegetal | 4,66 | 29,01 | 4,57 | 28,43 |
| Total | 16,08 | 100,00 | 16,09 | 100,00 |

El mapa (Figura 14) muestra la proyección de uso del suelo para el año 2054 en el área de estudio en el distrito de Tacna, clasificando el territorio en dos categorías principales: Cobertura Vegetal y Área Urbana. Estas proyecciones reflejan el cambio anticipado en la distribución del suelo urbano y las áreas de vegetación, de acuerdo con las tendencias de crecimiento actual.

Figura 14

Proyección de uso del suelo para el año 2054



- a. Área Urbana.** En el mapa, las zonas urbanas se representan en color naranja, concentradas principalmente en el centro y norte del área de estudio. Comparado con los datos de 2023, se observa un ligero aumento en las áreas urbanas, lo cual sugiere una expansión urbana gradual hacia zonas que actualmente presentan cobertura vegetal. La expansión del área urbana indica un aumento en la demanda de terrenos para vivienda, infraestructura y servicios debido al crecimiento poblacional. Sin embargo, esta expansión urbana puede afectar la cobertura vegetal y los recursos naturales de la región.
- b. Cobertura Vegetal.** La cobertura vegetal, representada en color verde, se encuentra distribuida en zonas menos accesibles y periféricas del área de estudio. En la proyección para 2054, esta categoría muestra una reducción leve en comparación con 2023, principalmente debido a la expansión de las áreas urbanas en las zonas adyacentes. La disminución de cobertura vegetal puede impactar negativamente en la biodiversidad, la calidad del aire y los servicios ecosistémicos. Mantener esta vegetación es esencial para preservar el equilibrio ecológico y la calidad de vida de la población.

4.4. Estrategias de Planificación Territorial

4.4.1. Estrategia N°1

La tabla 28 da mayores detalles a todo lo concerniente a la Estrategia N°01 propuesta para una planificación territorial sostenible en la zona de estudio.

Tabla 28

Estrategia N°1 detallada

| Nombre de la Propuesta | Control de Expansión Urbana y Densificación |
|-------------------------------|---|
| Objetivo | Evitar el crecimiento desmedido de áreas urbanas hacia zonas agrícolas y naturales, promoviendo la densificación en las áreas urbanas existentes. |
| Estrategias | <ul style="list-style-type: none"> - Revisar y actualizar la zonificación urbana del distrito para priorizar el crecimiento hacia dentro, utilizando el espacio urbano disponible antes de expandir los límites. - Incentivar la construcción de edificaciones de mayor densidad en áreas urbanas consolidadas, permitiendo el uso mixto (residencial y comercial). - Fomentar el uso de techos verdes y paredes vegetales en construcciones nuevas, ayudando a compensar la pérdida de cobertura vegetal. |
| Entidad Responsable | Municipalidad Distrital de Calana, en colaboración con la Municipalidad Provincial de Tacna y el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. |

4.4.2. Estrategia N°2

La tabla 29 da mayores detalles a todo lo concerniente a la Estrategia N°02 propuesta para una planificación territorial sostenible en la zona de estudio.

Tabla 29

Estrategia N°2

| Nombre de la Propuesta | Protección de Áreas Agrícolas |
|-------------------------------|---|
| Objetivo | Garantizar la preservación de las tierras agrícolas en Calana, fundamentales para la economía local, y evitar su conversión en áreas urbanas. |
| Estrategias | <ul style="list-style-type: none"> - Declarar zonas de uso exclusivo agrícola en áreas de alta productividad, mediante ordenanzas municipales que limiten su cambio de uso. - Implementar programas de capacitación para agricultores en prácticas sostenibles que mejoren la fertilidad del suelo y reduzcan la erosión. - Fomentar la creación de cooperativas agrícolas para fortalecer el sector y mejorar el acceso a mercados y tecnologías. |
| Entidad Responsable | Dirección Regional Agraria de Tacna y Municipalidad Distrital de Calana, con el apoyo del Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI). |

4.4.3. Estrategia N°3

La tabla 30 da mayores detalles a todo lo concerniente a la Estrategia N°03 propuesta para una planificación territorial sostenible en la zona de estudio.

Tabla 30

Estrategia N°3

| Nombre de la Propuesta | Desarrollo de Infraestructura Verde en el Área Urbana |
|-------------------------------|---|
| Objetivo | Integrar infraestructura verde en el área urbana de Calana para mejorar la calidad ambiental, reducir el efecto de isla de calor y promover un ambiente saludable. |
| Estrategias | <ul style="list-style-type: none"> - Crear parques urbanos, plazas y jardines en áreas densamente pobladas, mejorando la calidad de vida de los habitantes y aumentando la cobertura vegetal. - Incentivar el desarrollo de corredores verdes que conecten parques y plazas, facilitando la movilidad peatonal y el contacto con la naturaleza. - Implementar un plan de arborización urbana con especies nativas adaptadas al clima local, priorizando áreas públicas y vías principales. |
| Entidad Responsable | Municipalidad Distrital de Calana, con apoyo de la Municipalidad Provincial de Tacna y el Ministerio del Ambiente. |

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

5.1. Discusión de resultado en base a otras investigaciones propuestas

El presente trabajo, responde a la pregunta planteada inicialmente, sobre como el diseño de escenarios futuros del crecimiento urbano contribuye a una planificación territorial sostenible en el distrito de Calana, y de igual manera cumple con los objetivos, al analizar la información previa de la zona de estudio, para posteriormente representar a través de mapas temáticos el cambio del uso del suelo en un determinado periodo de tiempo, asimismo, se logró observar las tendencias del crecimiento urbano mediante la proyección de un escenario de cambio de uso de suelo para el año 2054 y por último se plantearon estrategias de planificación territorial que permitan un crecimiento urbano sostenible.

5.1.1. Objetivo General

Mamani (2023) analizó los cambios en el uso del suelo por crecimiento urbano en llave (Puno) entre 1990 y 2020, utilizando imágenes Landsat para clasificar zonas urbanas, suelos cultivados, no cultivados, vegetación y cuerpos de agua. Proyectó que para 2030 el área urbana abarcaría el 30% del área de estudio, evidenciando un crecimiento rápido que afecta principalmente los suelos no cultivados. En contraste, la presente investigación proyecta escenarios futuros hasta 2054 para Calana (Tacna), con un crecimiento urbano más moderado que afecta en menor medida la cobertura vegetal. Los resultados subrayan la importancia de políticas de conservación en Calana para equilibrar la expansión urbana y el uso sostenible del suelo.

5.1.2. Análisis de la información preexistente

El análisis inicial facilitó la creación de una base sólida de datos de información de las variables de distribución de la cobertura vegetal, clasificación y distribución de los tipos suelo, unidades geológicas y unidades geomorfológicas de Calana. Durante el análisis de estos, se identificaron elementos esenciales como la dependencia de la actividad agrícola, un gran porcentaje de suelo suelto y con posible presencia de sal y una unidad geomorfológica amplia adecuada para la agricultura y la expansión urbana. Esto subraya lo mencionado por Pérez et al (2019) quienes confirman la relevancia de

conocer la situación de los diversos componentes de la zona de estudio para la elaboración de planes de desarrollo y ordenamiento territorial.

5.1.3. Representación cartográfica del cambio histórico en el uso del suelo

La representación cartográfica del cambio de uso del suelo en el periodo del año 2013 y 2023 muestran patrones de cambios relevantes en el área de cobertura vegetal. Este resultado coincide con el estudio de Rojas et al. (2022), el cual realizó una clasificación de imágenes de los años 2000, 2012 y 2017 representada de manera cartográfica para una mejor visualización de la tendencia de uso del suelo.

5.1.4. Proyección de escenario de cambio de uso del suelo para el año 2054

La proyección de escenarios del crecimiento urbano para el año 2054 plantea un crecimiento moderado del área urbana, este resultado es similar en comparación con el estudio realizado en el Cantón Otavalo - Ecuador (Galiano y Suárez, 2023), donde los resultados de su proyección para el año 2031 destacan la reducción de las áreas verdes (bosque nativo y páramo) y la importancia de proponer actividades para aminorar los daños generados por los cambios del uso del suelo; se observa la similitud con respecto al uso de herramientas de modelación espacial.

5.1.5. Desarrollo de estrategias de planificación territorial

Las estrategias diseñadas, establecen una guía para la regulación del crecimiento urbano en el distrito de Calana. Esto concuerda con lo señalado en el estudio realizado en la cuenca del río Mira – Ecuador (Guevara, 2020), el cual señala la predominante correlación entre el cambio de uso del suelo (CUS) y las actividades antrópicas, por ello el autor desarrolló estrategias de ordenamiento territorial orientadas a la planificación estratégica, educación ambiental y seguimiento y control. Finalmente, la aplicación de esta investigación contribuye a la sociedad con información útil para las autoridades locales y tomadores de decisiones.

CONCLUSIONES

El diseño de escenarios futuros del crecimiento urbano ha proporcionado una herramienta esencial para la planificación territorial en el distrito de Calana. A través de la modelación y proyección de tendencias de expansión urbana, esta investigación ha permitido anticipar áreas clave de intervención y desarrollo, logrando identificar tanto las zonas que requieren protección por su valor ambiental como aquellas con potencial para la expansión urbana controlada. La implementación de estos escenarios futuros contribuye a una gestión más equilibrada del suelo, orientando el desarrollo urbano de manera que se minimicen los impactos negativos sobre el ambiente.

La revisión y análisis de los datos existentes proporcionaron una comprensión detallada del contexto geográfico y ambiental de Calana. Este análisis inicial facilitó la identificación de áreas prioritarias en la planificación territorial, destacando los sectores con mayor susceptibilidad a los cambios de uso del suelo y la expansión urbana.

Los mapas generados para el período 2013-2023 revelaron patrones de transformación significativos en el uso del suelo, evidenciando un aumento en la expansión urbana y una reducción en las áreas de cobertura vegetal. Este cambio confirma la tendencia hacia una mayor ocupación de suelos naturales y agrícolas, subrayando la necesidad de políticas de preservación en las áreas más afectadas.

La proyección para el año 2054 indica un crecimiento urbano moderado, lo cual permite prever futuras necesidades en infraestructura y servicios, y resalta la importancia de implementar medidas de planificación para evitar la expansión en áreas agrícolas y de conservación.

Las estrategias propuestas, basadas en la proyección de escenarios y el análisis de cambio en el uso del suelo, ofrecen un marco de acción para gestionar la expansión urbana en Calana. Estas estrategias son fundamentales para promover un desarrollo equilibrado que minimice el impacto ambiental y asegure la sostenibilidad del territorio en el largo plazo.

RECOMENDACIONES

Promover la formación del personal técnico municipal en el manejo de herramientas de Sistema de Información Geográfica y de modelado espacial con el objetivo de asegurar la actualización de manera continua de los escenarios futuros y su acertada interpretación.

Construir y conservar actualizada continuamente la información geográfica y ambiental del distrito, con la finalidad de fabricar una base de datos que permita tomar decisiones acertadas respecto a la planificación territorial.

Fomentar la creación de programas de conservación a proteger áreas agrícolas y de cobertura vegetal afectadas por el crecimiento urbano, incentivando a los propietarios a mantener el uso de suelo actual.

Establecer zonas estratégicas de uso exclusivo urbano por medio de ordenanzas municipales que regulen rigurosamente el cambio de uso del suelo en dichas zonas, a fin de garantizar un desarrollo territorial sostenible.

Adoptar las estrategias propuestas en la presente investigación como punto de partida para la implementación de una planificación territorial sostenible en el distrito alineada con la normativa a nivel regional y nacional.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcamo, J., Kok, K., Busch, G., & Priess, J. (2006). Searching for the future of land: Scenarios from the local to global scale. *Environmental futures: the practice of environmental scenario analysis*.
- Allen, J., & Lu, K. (2003). Modeling and Prediction of Future Urban Growth in the Charleston Region of South Carolina: a GIS-based Integrated Approach. *Conservation Ecology*. Obtenido de <http://www.consecol.org/vol8/iss2/art2/>
- Alva-Huayaney, M. E., & León-Taquia, A. A. (2017). Diseño e implementación de un catálogo de objetos geográficos para la cobertura de la Tierra mediante la leyenda Corine Land Cover, para el departamento de Anchas-Perú. *UD y la Geomática*. Obtenido de <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/UDGeo/article/view/7923/13546>
- Arana Velarde, F. (2018). El crecimiento urbano y su influencia por el cambio de uso de tierras en el Valle del Mantaro.
- Arboit, M. E., & Silvia, M. D. (2018). Análisis Multitemporal y Multiespacial del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y del Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI) en centros Urbanos Forestados y Oasis Irrigados, con climas secos.
- Arévalo, R., & Martínez, J. (2009). Sistema de Información Geográfica (SIG), para la gestión de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) del municipio del Prat de Llobregat.
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2022). *Urbanismo Ciudadano en América Latina, Superlibro de acciones cívicas para la transformación de las ciudades*. Obtenido de <https://publications.iadb.org/publications/spanish/viewer/Urbanismo-ciudadano-en-America-Latina-superlibro-de-acciones-civicas-para-la-transformacion-de-las-ciudades.pdf>
- Barboza Castillo, E. (2022). Crecimiento urbano y su influencia en los cambios de cobertura y uso del suelo utilizando autómatas celulares en los distritos de Bagua Grande y Chachapoyas, Perú.
- Batty, M., Xie, Y., & Sun, Z. (1999). Modeling urban dynamics through GIS-based cellular automata. *Computers, Environment and Urban Systems*, 205-233.

- Cabrera Montenegro, E., Vargas Galvis, D. M., Galindo García, G., García Dávila, M. C., & Ordoñez Castro, M. F. (2011). Protocolo de procesamiento digital de imágenes para la cuantificación de la deforestación en Colombia cala gruesa y fina. Bogotá: Instituto de Hidrología Meteorologica y Estudios Ambientales. IDEAM.
- Carsjens, G. J. (2009). Supporting Strategic Spatial Planning. Planning Support Systems for the spatial planning of metropolitan landscapes. Tesis Doctoral. Universidad de Wageningen.
- Carvajal, L. H. (2022). Análisis multitemporal de la expansión urbana y cambios en el uso del suelo entre los años 2004-2021 de la ciudad de Ambato.
- Celemín, J. P., & Arias, M. E. (2023). Evolución de la cobertura vegetal y área construida en la ciudad de Mar de Plata (Argentina), en el período 2018-2022. Revista Electrónica@ de Medio Ambiente.
- Centro Nacional de Planeamiento Estratégico. (2023). Análisis del crecimiento y expansión urbana a nivel nacional y el impacto a nivel regional.
- Chuevico, E. S. (2002). Teledetección ambiental : la observación de la tierra desde el espacio. Ariel Ciencia.
- Chuvieco Salinero, E. (2008). Teledeteccion Ambiental: La Observacion de la Tierra (Tercera ed.). Barcelona - España: Ariel Editorial, S.A.
- Chuvieco, E. S. (1990). Fundamentos de Teledetección Espacial. Madrid: Ediciones Rialp.
- Chuvieco, E., Martín, M., & Palacios-Orueta, A. (2022). Assessment of different spectral indices in the red-near-infrared spectral domain for burned land discrimination. *International Journal of Remote Sensing*, 5103-5110.
- Clarke, K. (2014). Cellular automata and agent-based models. *Handbook of regional science*, 1751-1766.
- Congalton, R. G., & Green, K. (1993). A practical look at the sources of confusion in error matrix generation. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 641-644.
- Criado Nicolás, M. (2020). Análisis geoambiental aplicado a la evaluación estratégica de la ciudad de Salamanca y alrededores, cartografías temáticas mediante SIG. Salamanca - España.
- Diario Oficial del Bicentenario El Peruano. (2021). Política Nacional de Vivienda y Urbanismo, con horizonte temporal al 2030.

- Díaz Arroyo, A. (2019). La protección del suelo por planificación territorial y urbanística. España.
- Elizalde Hevia, A. (2003). Planificación estratégica territorial y políticas públicas para el desarrollo local. CEPAL.
- Environmental Systems Research Institute. (2023). ESRI. Obtenido de <https://www.esri.com/es-es/home>
- Espinoza, A., & Fort, R. (2020). Mapeo y Tipología de la Expansión Urbana en el Perú.
- Fitzgerald, E. V. (1981). La economía política del Perú, 1956-1978: desarrollo económico y reestructuración del capital. Instituto de Estudios Peruanos.
- Flores-Juca, E., & Balseca Carrera, M. (2022). Análisis prospectivo de la incidencia de la expansión urbana en el ámbito de la planificación territorial ciudad de Cuenca. *Revista Geoespacial*, 33-49. Obtenido de <https://doi.org/10.24133/geoespacial.v19i1.2817>
- François Mas, J., Reyes Díaz-Gallegos, J., & Pérez Vega, A. (2003). Evaluación de la confiabilidad temática de mapas o de imágenes clasificadas: una revisión. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, 53-72.
- Galiano Suárez, M., & Suárez Salazar, J. (2023). Análisis del cambio de uso de suelo y proyección futura para el cantón Otavalo. Ibarra - Ecuador.
- Gallardo Beltrán, M. (2014). Cambios de usos del suelo y simulación de escenarios en la Comunidad de Madrid. Madrid.
- García Andrade, V. A. (2023). SIG herramienta de soporte socio espacial para la gestión y el ordenamiento territorial de los parques públicos y áreas verdes de Arequipa Metropolitana. Arequipa - Perú.
- García Rodríguez, P., & Pérez González, M. E. (2016). Mapping of soil sealing by vegetation indexes and built-up index: A case study in Madrid (Spain). *Geoderma*, 100-107.
- García, G., & Henríquez, C. (2007). Propuesta de modelos predictivos en la planificación territorial y evaluación de impacto ambiental. *Scripta Nova Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*.
- Geiger, P. (1996). Des -territorialização e espacialização. *Territorio: Globalização e Fragmentação*.
- Gobierno Regional de Tacna. (2021). Plan de Ordenamiento Territorial - POT del departamento de Tacna .

- Gómez, L. F. (2020). Simulación de escenarios futuros de cambios de usos del suelo usando Redes Neuronales Artificiales. Aplicación en la ciudad de Curuzú Cuatiá, Corrientes, Argentina. *Estudios Socioterritoriales. Revista de Geografía*.
- Gonzalez Arellano, S. (Setiembre de 2022). The Future Scenarios of Cities: An Analysis of their Institutional Construction. *International Journal of Urban and Regional Research*, 46(5).
- Grupo Banco Mundial. (06 de Octubre de 2022). Banco Mundial. Obtenido de <https://www.bancomundial.org/es/topic/urbandevelopment/overview>
- Guevara Ruales, E. R. (2020). Proyección del campo de uso del suelo en la Cuenca del Río Mira: una visión a los años 2037 y 2100.
- Guillén, D., Nuñez, O., Vargas, J., & Vega, L. (2018). Situación de los Sistemas de Información Territorial para la gestión municipal: caso de la GAM. Costa Rica.
- Holzman, M. (2012). Estimación del estrés hídrico en cultivos y su relación con rendimientos en la región pampeana mediante imágenes de temperatura de superficie e índice de vegetación. Argentina.
- Huaman Vela, G. D. (2022). Escenarios de crecimiento urbano mediante análisis multitemporal del cambio de cobertura y uso de suelo del distrito de Lurigancho-Lima-Perú.
- Huete, A. R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 295-309.
- Huete, A. R., & Warrick, A. W. (1990). Assessment of vegetation and soil water regimes in partial canopies with optical remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 155-167.
- Huete, A. R., Jackson, R. D., & Post, D. F. (1985). Spectral response of a plant canopy with different soil backgrounds. *Remote Sensing of Environment*, 37-53.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2017). Censos Nacionales 2017 - XII de Población, VII Vivienda y III de Comunidades Indígenas.
- Javier Silva, L. A., & Alcántara Boza, F. A. (2018). Modelo cartográfico para determinar áreas óptimas para la expansión urbana del distrito de Huánuco como aporte para la planificación. *Revista Del Instituto De Investigación De La Facultad De Minas, Metalurgia Y Ciencias Geográficas*, 21(42), 3-12.
- Jensen, J. (1996). Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective. *International Journal of Geosciences*.

- Jiménez Párraga, H. P. (2018). Análisis de crecimiento urbano a partir de imágenes landsat en el cantón Durán, provincia del Guayas, en el período 1990 – 2015. Quevedo: Universidad Técnica Estatal de Quevedo.
- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 159-174.
- Li, X., & Gong, P. (2016). Urban growth models: progress and perspective. *Science Bulletin*, 61(21), 1637-1650.
- Linares, S. (2019). Modelos del crecimiento urbano. *Boletín Red GESIG*, 4-5.
- López de Ullibarri, I., & Pita Fernandez, S. (1999). Medidas de concordancia: el índice de Kappa. *Cuadernos de atención primaria*, 223-226.
- Luca, C. (Enero de 2007). Generative platform for urban and regional design. *Automation in Construction*, 16, 70-77.
- Mamani Cutipa, Y. B. (2023). Análisis multitemporal del crecimiento urbano, en la ciudad de Ilave, mediante imágenes satelitales Landsat.
- Mata, A., & Quevedo, F. (1994). *Diccionario didáctico de ecología*. Editorial de la Universidad de Costa Rica.
- Maturana, F., Peña, F., Morales, M., & Vielma, C. (2021). Crecimiento urbano difuso en ciudades intermedias simulando el proceso de expansión en la ciudad de Temuco , Chile. *Urbano (Concepción)*, 62-73. Obtenido de <https://dx.doi.org/10.22320/07183607.2021.24.43.06>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2021). *Manual para la elaboración de planes de desarrollo urbano - PDU*. Lima.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (5 de Octubre de 2022). *Reglamento de Acondicionamiento Territorial y Planificación Urbana del Desarrollo Urbano Sostenible*. *Diario Oficial El Peruano*, págs. 38-39.
- Ministerio del Ambiente. (2015). *Orientaciones básicas sobre el Ordenamiento Territorial en el Perú*. Obtenido de <https://www.minam.gob.pe/ordenamientoterritorial/wp-content/uploads/sites/129/2017/02/Orientaciones-basicas-OT-1.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (2016). *Instrumentos técnico normativos del ordenamiento territorial*.
- Ministerio del Ambiente. Dirección General de Ordenamiento Territorial. (2015). *Guía metodológica para la elaboración de los instrumentos técnicos sustentatorios para el Ordenamiento Territorial*. Lima.

- Molina, A., López, L., & Villegas, G. (2005). Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la Planificación Municipal.
- Moliner-Parejo, R., Aguilera-Benavente, F., & Gómez-Delgado, M. (2021). Regresión Logística Geográficamente ponderada para identificar los factores explicativos de la distribución de usos de suelo en escenarios futuros de crecimiento urbano. Obtenido de <https://bage.age-geografia.es/ojs/index.php/bage/article/view/3052/2834>
- Monterroso Tobar, M. F. (2013). Guía práctica: clasificación de imágenes satelitales.
- Morales-Hernández, J. C., Carrillo-González, F. M., Farfán-Molina, L. M., & Cornejo-López, V. M. (2016). Cambio de cobertura vegetal en la región de Bahía de Banderas, México. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 7-16.
- Municipalidad Distrital de Calana. (2021). Esquema de Ordenamiento Urbano 2021-2031.
- Municipalidad Provincial de Tacna. (2013). Plan de Acondicionamiento Territorial de la Provincia de Tacna 2014-2023.
- Muñoz Aguayo, P. (2013). Apuntes de teledetección : índices de vegetación. Centros de Información de Recursos Naturales (Chile).
- Pérez Campaña, R., Molero Melgarejo, E., Valenzuela Montes, L. M., & Matarán Ruiz, A. (2004). Aplicación de SIG para la elaboración de modelos predictivos del cambio en los usos del suelo. Universidad de Granada.
- Pérez Robalino, M., Pérez Robalino, N., Fiallos Ortega, E., Wampankit Juank, N., & Cruz Tobar, S. (2019). Sistemas de Información Geográfica en la parroquia Shuar Chiguaza, Morona Santiago. Una aproximación a la realidad actual. Ecuador.
- Peterson, G., Cumming, G. S., & Carpintero, S. R. (Abril de 2003). Scenario Planning: a tool for conservation in a uncertain world. *Conservation biology*, 17(2), 358-366.
- Pettit, C. J., & Pullar, D. (Marzo de 2004). way forwar for land use planning to achieve policy goals by using spatial modelling scenarios. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 31(2), 2013-233.
- Ponce, L. (2014). Política fiscal del Perú, 1920-1980. En C. Contreras, *La Economía Peruana entre la Gran Depresión y el Reformismo Militar, 1930-1980* (págs. 345-414). Compendio de historia económica del Perú.

- Portocarrero Bazán, H. (2023). El ordenamiento territorial como instrumento de planificación para la conservación de la biodiversidad en la subcuenca del río Verde, cuenca del río Huayabamba.
- Presidencia de Consejos de Ministros -PCM. (2004). Decreto Supremo N°087-2004-PCM, Reglamento de Zonificación Ecológica y Económica - ZEE.
- Ramachandra, T. V., Shivamurthy, V., & Aithal, B. (2014). Landscape dynamics modeling through integrated Markov, Fuzzy-AHP and cellular automata. International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS).
- Ramos Reyes, R., & Palomeque de la Cruz, M. Á. (2022). Cambio de uso del suelo y escenarios prospectivos en el Estado de Tabasco (México).
- Raymundo Villegas, A. (2023). Ocupación del suelo y planificación territorial en el área del cono urbano de Lima Este. Lima - Perú.
- Rendón Cusi, S. F. (2022). Evolución de la planificación territorial en Perú 1920-2021: una aproximación histórica. *Perspectiva Geográfica*, 32-50.
- Ríos Chiquiza, S., & Lara Hinestroza, J. (2020). Restaurando Raíces, Estrategias de planificación territorial implementadas en el barrio Santa Cecilia Alta. Bogotá - Colombia.
- Robinson, N., Allred, B. W., Jones, M. O., Moreno, Á., Kimball, J. S., Naugle, D. E., . . . Richardson, A. (2017). A dynamic Landsat derived normalized difference vegetation index (NDVI) product for the conterminous United States. *Remote Sensing*.
- Rodríguez-Moreno, V. M., & Bullock, S. H. (2013). Comparación espacial y temporal de índices de la vegetación para verdor y humedad y aplicación para estimar LAI en el Desierto Sonorense. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*.
- Rojas Delgado, D. E. (2018). Implementación del Sistema de Información Geoespacial del Instituto Mixto de Ayuda Social (SIG IMAS) para la administración de la información institucional de carácter espacial asociada al área de titulación en la provincia de Limón.
- Rojas, N., Fonseca, L., Pérez, S., & Blanco, M. (2022). Modelación de Crecimiento Urbano: Tunja 2017 - 2035. Obtenido de <https://doi.org/10.15446/bitacora.v32n1.87758>
- Sancha Navarro, E. F. (2010). El estudio de los índices de vegetación como base para conocer las relaciones entre la vegetación y el clima. *Tecnologías de la*

Información Geográfica: La información Geográfica al servicio de los ciudadanos, 1095-1108.

- Sánchez, J. M. (2022). La revolución peruana: ideología y práctica política de un gobierno militar 1968-1975. Consejo Superior de Investigaciones Científicas .
- Sandoval Escudero, C. (2014). Métodos y aplicaciones de la planificación regional y local en América Latina. Naciones Unidas.
- Santana Rodríguez, L. M., Escobar Jaramillo, L. A., & Capote, P. A. (2010). Estimación de un índice de calidad ambiental urbano, a partir de imágenes de satélite. *Revista de Geografía Norte Grande*, 77-95.
- Sernaque Camargo, O. F., & Sandoval Vaez, J. M. (2020). Sistema de Información Geográfica para el desarrollo de un plan de gestión urbana. Lima.
- Sernaque, O. (2020). Sistema de Información Geográfica para el Desarrollo de un Plan de Gestión Urbana.
- Tarqui Montalico, R. B., & Flores Calderón, D. E. (2022). Influencia del crecimiento poblacional, en un Índice de Calidad Ambiental (ICA) urbano de la ciudad de Tacna, a partir de imágenes satelitales.
- Terrones Mendoza, D. J. (2023). Caracterización de las unidades geomorfológicas para la planificación ambiental y territorial sostenido en el Distrito de Chetilla - 2021. Cajamarca.
- Tomlinson, R. (2008). En Pensando en el SIG: planificación del sistema de información geográfica dirigida a gerentes (pág. 2).
- Toro Fernández, B. (1989). La Teoría General de Sistemas, modelos urbanos y planificación. *Norba: Revista de geografía*, 531-538.
- Tucker, C., & Venedores, P. J. (1986). Satellite remote Sensing of primary production. *International Journal of Remote Sensing*, 1395-1416.
- Veldkamp, T., & Lambin, E. F. (2001). Predicting land-use change. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 1-6.
- Verburg, P. H., Kok, K., Pontius, R. G., & Veldkamp, A. (2006). Modelling Land-Use and Land-Cover Change. In E. F. Lambin, & H. J. Geist (Eds.), *Land-Use and Land-Cover Change. Local Processes and Global Impacts*, 117-135.
- Vicens, L. (2009). Fuentes y Adquisición de Datos: Lección 9, Clasificación de Imágenes. Programa UNIGIS de Postgrado y Master Internacional a distancia en Sistemas de Información Geográfica, 15.

- Vizuet Coello, O. D. (2019). Análisis del proceso de expansión urbana y cambio de uso de suelo en la Parroquia de Píntag, en el período 1963 - 2019, como aporte a la planificación territorial.
- Zegarra, L., Kuramoto, J., Glave, M., Manrique, N., Jaramillo, M., Huamán, R., . . . Parodi, C. (2020). Perú, 1920-1980. Contexto internacional, políticas públicas y crecimiento económico. En C. Contreras, La economía peruana entre la gran depresión y el reformismo militar, 1930-1980 (págs. 19-104). Compendio de historia económica del Perú.
- Zha, Y., Gao, J., & Ni, S. (2003). Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 583-594.

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de Consistencia

| Problema | Objetivos | Hipótesis | Variables | Indicador | Metodología |
|---|---|---|--|--|---|
| <p>Problema general ¿Cómo puede el diseño de escenarios futuros del crecimiento urbano contribuir a una planificación territorial sostenible en el distrito de Calana?</p> | <p>Objetivo general Diseñar escenarios futuros del crecimiento urbano en el distrito de Calana, Tacna, para contribuir a una planificación territorial sostenible que permita gestionar eficientemente el uso del suelo</p> | <p>Hipótesis general El diseño de escenarios futuros del crecimiento urbano nos servirá para realizar la planificación territorial en el Distrito de Calana.</p> | <p>Variable independiente - Escenarios Futuros del Crecimiento Urbano</p> | <p>- Cobertura Vegetal - Suelos - Geología - Geomorfología - NDVI - SAVI - NDBI - Combinación de imágenes satelitales - Proyección</p> | <p>Tipo de investigación: - Investigación básica</p> <p>Nivel de investigación: - Descriptivo</p> |
| <p>Problemas específicos</p> <p>a. ¿Qué información preexistente sobre el distrito de Calana es relevante para comprender las condiciones actuales de la zona de estudio y cómo puede esta información servir de base para el análisis del cambio de uso del suelo?</p> <p>b. ¿Cuál ha sido el cambio histórico en el uso del suelo en el distrito de Calana entre 2013 al 2023, y cuáles son las áreas que han experimentado transformaciones significativas?</p> <p>c. ¿Cuáles serían las posibles tendencias de cambio de uso del suelo en el distrito de Calana para el año 205, y cómo puede contribuir a una planificación territorial sostenible?</p> | <p>Objetivos específicos</p> <p>a. Analizar la información relevante preexistente sobre el distrito de Calana para comprender las condiciones actuales de la zona de estudio, información que servirá de base para interpretar y cambio de uso del suelo</p> <p>b. Representar de manera cartográfica el cambio histórico en el uso del suelo en el distrito de Calana entre los años 2013 al 2023, identificando las áreas con transformaciones significativas</p> <p>c. Desarrollar una proyección de escenario de cambio de uso del suelo en el distrito de Calana para el año 2054, utilizando herramientas de modelación espacial que permitan anticipar las tendencias de crecimiento urbano</p> | <p>Hipótesis específicas No hay porque el estudio es no experimental</p> | <p>Variable dependiente - Planificación Territorial</p> | <p>- Objetivo - Estrategia - Entidad responsable</p> | <p>Diseño de investigación - No experimental</p> |

(continúa)

Anexo 1. Matriz de consistencia (continuación)

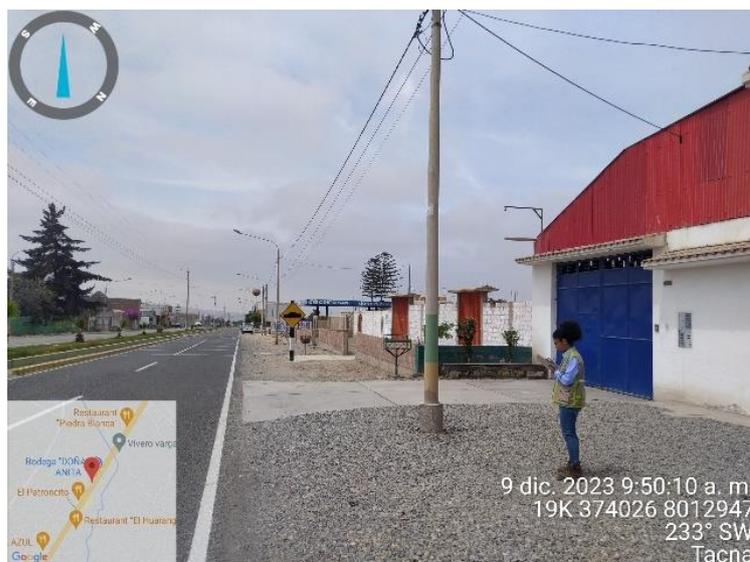
| Problema | Objetivos | Hipótesis | Variables | Indicador | Metodología |
|---|--|------------------|------------------|------------------|--------------------|
| d. ¿Cómo se pueden desarrollar estrategias de planificación territorial que promuevan un crecimiento urbano sostenible en el distrito de Calana, orientando el uso del suelo de manera equilibrada? | d. Desarrollar estrategias de planificación territorial que promuevan un crecimiento urbano sostenible en el distrito de Calana, orientando el uso del suelo de manera equilibrada | | | - | |

Anexo 2. Validación en campo de puntos de control

La Figura 15 muestra el área urbana en el distrito de Calana, sector Piedra Blanca, detallada a través de coordenadas UTM, hora y fecha en la que se realizó la validación en campo.

Figura 15

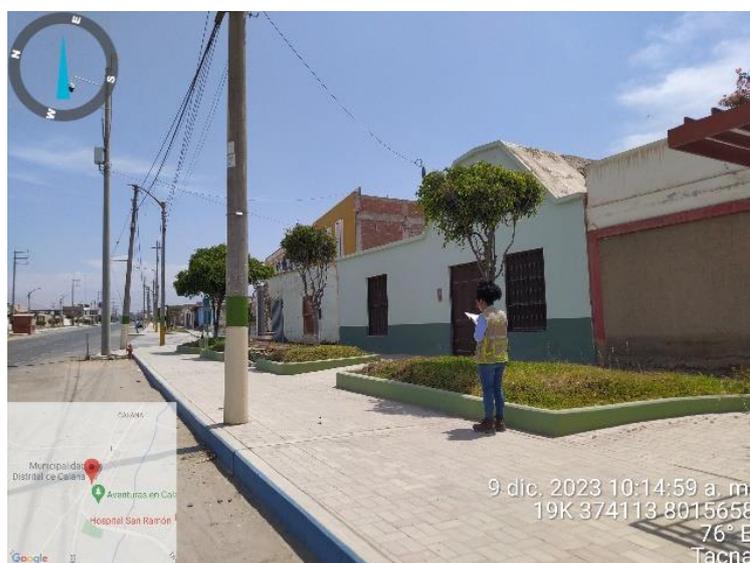
Validación en campo del área urbana N°01



La Figura 16 de igual manera muestra el área urbana del distrito de Calana, sector Calana Pueblo Tradicional, detallada a través de coordenadas UTM, hora y fecha en la que se realizó la validación en campo.

Figura 16

Validación en campo del área urbana N°02



La Figura 17 muestra el área urbana al ingreso de la plaza principal del distrito de Calana, en los límites de los sectores Calana Pueblo Tradicional y Piedra Blanca, detallada a través de coordenadas UTM, hora y fecha en la que se realizó la validación en campo.

Figura 17

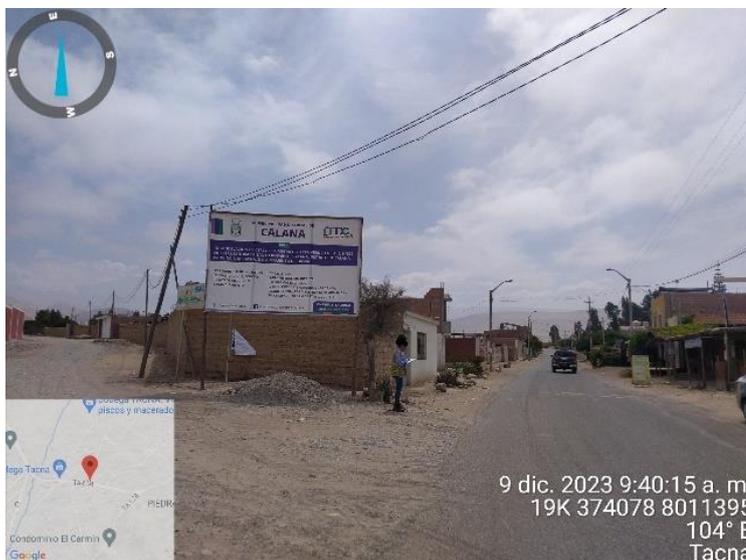
Validación en campo del área urbana N°03



La Figura 18 de igual manera muestra el área urbana del distrito de Calana, sector Cerro Blanco, detallada a través de coordenadas UTM, hora y fecha en la que se realizó la validación en campo.

Figura 18

Validación en campo del del área urbana N°04



La Figura 19 muestra la cobertura vegetal en el distrito de Calana, sector Calana Pueblo Tradicional, detallada a través de coordenadas UTM, hora y fecha en la que se realizó la validación en campo.

Figura 19

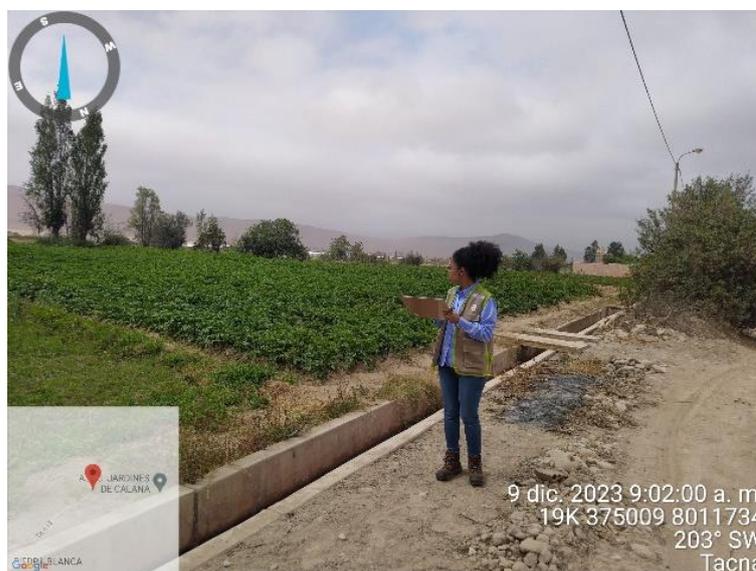
Validación en campo del área de cobertura vegetal N°01



La Figura 20 de igual manera muestra la cobertura vegetal en el distrito de Calana, límite de los sectores Intiorko y Piedra Blanca, detallada a través de coordenadas UTM, hora y fecha en la que se realizó la validación en campo.

Figura 20

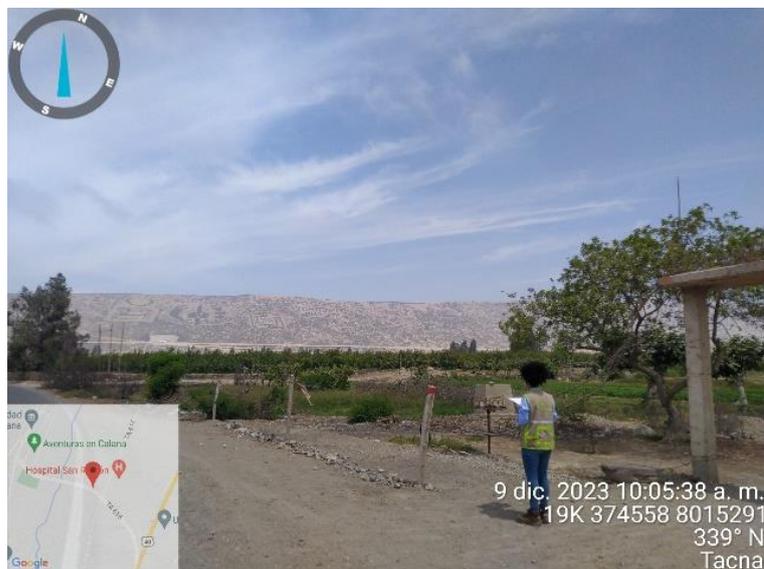
Validación en campo del área de cobertura vegetal N°02



La Figura 21 muestra la cobertura vegetal del distrito de Calana, sector Piedra Blanca, detallada a través de coordenadas UTM, hora y fecha en la que se realizó la validación en campo.

Figura 21

Validación en campo del área de cobertura vegetal N°03



La Figura 22 muestra la cobertura vegetal en otro punto del distrito de Calana, sector Calana Pueblo Tradicional, detallada a través de coordenadas UTM, hora y fecha en la que se realizó la validación en campo.

Figura 22

Validación en campo del área de cobertura vegetal N°04

