UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN CIENCIAS MENCIÓN ECOLOGÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL

TESIS

EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD AMBIENTAL URBANO MEDIANTE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN EN LA CIUDAD DEL CUSCO

PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN CIENCIAS MENCIÓN ECOLOGÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL

AUTOR

Br. ALVARO CHRISTIAM SILVA ESPEJO

ASESOR:

Mtro. WILIAN NAZARIO CÁRDENAS ENRIQUEZ

CODIGO ORCID:

0000-0003-2325-628X

CUSCO –PERÚ

2025

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, **Asesor** del trabajo de investigación/tesis titulada: EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD AMBIENTAL URBANO MEDIANTE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN EN LA CIUDAD DEL CUSCO

Presentado por: Alvaro Christiam Silva Espejo DNI N° 70578017

presentado por: ..... DNI N° : .....

Para optar el título profesional/grado académico de .....

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 02 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del ***Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC*** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 07 %.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** las primeras páginas del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 8 de julio de 20 25

.....
Firma

Post firma Mtro. Wilian Nazario Cárdenas Enriquez

Nro. de DNI 45456517

ORCID del Asesor 0000-0003-2325-628x

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: **oid:** 27259:472663780

ALVARO CHRISTIAM SILVA ESPEJO

EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD AMBIENTAL URBANO MEDIANTE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN.pdf

Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::27259:472663780

Fecha de entrega
8 jul 2025, 10:33 p.m. GMT-5

Fecha de descarga
8 jul 2025, 10:39 p.m. GMT-5

Nombre de archivo
EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD AMBIENTAL URBANO MEDIANTE TÉCNICAS DE TELEDETECC....pdf

Tamaño de archivo
62.8 MB

292 Páginas

60.046 Palabras

316.074 Caracteres

7% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 12 palabras)

Fuentes principales

6%	Fuentes de Internet
0%	Publicaciones
6%	Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
ESCUELA DE POSGRADO

INFORME DE LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES A TESIS

Dra. NELLY AYDE CAVERO TORRE, Directora (e) General de la Escuela de Posgrado, nos dirigimos a usted en condición de integrantes del jurado evaluador de la tesis **EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD AMBIENTAL URBANO MEDIANTE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN EN LA CIUDAD DEL CUSCO.** del **Br. ALVARO CHRISTIAM SILVA ESPEJO.** Hacemos de su conocimiento que el sustentante ha cumplido con el levantamiento de las observaciones realizadas por el Jurado el día **SIETE DE MAYO DE 2025**.

Es todo cuanto informamos a usted fin de que se prosiga con los trámites para el otorgamiento del grado académico de MAESTRO EN CIENCIAS MENCIÓN ECOLOGÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL.

Cusco, 25 de junio del 2025

DRA. GRETA MARGOT PAIVA PRADO
Primer Replicante

DR. EDWIN MOLINA PORCEL
Segundo Replicante

DRA. VERONIKA ISELA VERA MARMANILLO
Primer Dictaminante

DR. PERCY TACO PALMA
Segundo Dictaminante

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi amada esposa Shirley, por su amor, apoyo incondicional, por el empuje que me dio día a día y por brindarme el tiempo necesario para realizar esta investigación. A mis dos hijas, Lunella y Liara, quienes son mi fuente constante de inspiración y el motor que impulsa mi vida. Y a mi madre Vilma, por darme la oportunidad de ser una mejor persona en este vasto mundo lleno de dilemas sociales a través de su crianza.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco por brindarme la oportunidad de cursar la maestría, lo que me ha permitido adquirir conocimientos fundamentales para especializarme en el fascinante campo de la ecología y la gestión ambiental.

Extiendo mi agradecimiento al MSc. Wilian Nazario Cárdenas Enriquez, un gran amigo quien aceptó guiarme en este largo camino de la investigación con quien hemos compartido muchas experiencias de ciencia y de vida.

A los señores dictaminantes, la Dra. Veronika Isela Vera Marmanillo y el Dr. Percy Taco Palma mi más sincero agradecimiento por su valioso aporte, que ha contribuido significativamente a la mejora de este estudio.

A Kenneth, mi socio y amigo, y a Rolando, cuyo apoyo fue fundamental e indispensable durante los trabajos de campo.

Y, finalmente, a todas aquellas personas que de alguna manera aportaron para la culminación de este trabajo, les expreso mi gratitud profunda.

ÍNDICE GENERAL

LISTA DE UNIDADES, ABREVIATURAS Y SIGLAS i
RESUMEN ii
ABSTRACT iii
INTRODUCCIÓN iv
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 2
1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA 2
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 4
1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN 5
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN 6
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL 7
2.1. BASES TEÓRICAS 7
2.1.1. TELEDETECCIÓN 7
2.1.2. ÍNDICES AMBIENTALES 19
2.1.3. CALIDAD AMBIENTAL URBANA 22
2.1.4. CONTAMINACIÓN AMBIENTAL URBANA 24
2.2. MARCO CONCEPTUAL (PALABRAS CLAVES) 27
2.3. ANTECEDENTES EMPÍRICO DE LA INVESTIGACIÓN (ESTADO DEL ARTE). 28
2.4. HIPÓTESIS 32
2.5. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES E INDICADORES 33
2.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE 33
2.5.2. VARIABLES INDEPENDIENTES 33
2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES 33
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA 35
3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO: LOCALIZACIÓN POLÍTICA Y GEOGRÁFICA 35
3.2. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN 39
3.3. UNIDAD DE ANÁLISIS 39
3.4. POBLACIÓN DE ESTUDIO 39
3.5. TAMAÑO DE MUESTRA 39
3.6. TÉCNICAS DE SELECCIÓN DE MUESTRA 40
3.7. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN 40
3.7.1. EQUIPOS 40
3.7.2. MATERIALES E INSUMOS 41
3.7.3. SOFTWARES 41
3.8. TÉCNICAS DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN 42
3.8.1. DETERMINACIÓN DE LAS CLASES DE USO DE SUELO URBANO 43
3.8.2. CÁLCULO DE LOS ÍNDICES AMBIENTALES 50
3.8.3. DETERMINACIÓN DE LOS COMPONENTES PRINCIPALES DE LOS ÍNDICES AMBIENTALES QUE EXPLICAN EL ÍNDICE DE CALIDAD AMBIENTAL URBANO Y SU CLASIFICACIÓN 59

3.8.4. COMPORTAMIENTO DEL ÍNDICE DE CALIDAD AMBIENTAL URBANO RESPECTO A LAS CLASES DE USO DE SUELO URBANO 62
3.8.5. ELABORACIÓN DE UN MAPA TEMÁTICO DEL ÍNDICE DE CALIDAD AMBIENTAL URBANO RESPECTO A LAS CLASES DE USO DE SUELO URBANO PARA LA CIUDAD DEL CUSCO 66
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN 72
4.1. PROCESAMIENTO, ANÁLISIS, INTERPRETACIÓN Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS 72
4.1.1. CLASES DE USO DE SUELO URBANO 72
4.1.2. ÍNDICES AMBIENTALES 79
4.1.3. ÍNDICE DE CALIDAD AMBIENTAL URBANO 92
4.1.4. COMPORTAMIENTO DEL ÍNDICE DE CALIDAD AMBIENTAL URBANO RESPECTO A LAS CLASES DE USO DE SUELO URBANO 114
4.1.5. MAPA TEMÁTICO PARA LA CIUDAD DEL CUSCO 127
4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS 131
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 145
CONCLUSIONES 145
RECOMENDACIONES 146
REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍCAS 149
ANEXOS 159
ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA 159
ANEXO 2: INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN 160
ANEXO 3: MEDIOS DE VERIFICACIÓN 161
ANEXO 4: CÓDIGOS UTILIZADOS EN R 162
ANEXO 5: COMPROBACIÓN EN CAMPO DEL MODELO DEL INDICE DE BU 163
ANEXO 6: FICHA DE CAMPO MEDICION DE MATERIAL PARCITULADO 213
ANEXO 7: REGISTRO FOTOGRÁFICO 255
ANEXO 8: CERTIFICADO DE CALIDAD MEDIDOR DE PM 272
ANEXO 9: MAPA FINAL ICAU VS BU 280

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resolución espacial de las bandas de Sentinel-2 16
Tabla 2. Operacionalización de variables 33
Tabla 3. Ubicación geográfica 36
Tabla 4. Clasificación de la cuenca del Huatanay metodología O. Pfafstetter 38
Tabla 5. Clases de uso de suelo urbano 48
Tabla 6. Clases de uso de Suelo Urbano 75
Tabla 7. Matriz de Confusión para el mapa Urbano 78
Tabla 8. Métricas generales de la validación del mapa urbano 79
Tabla 9. Imágenes satelitales utilizadas 79
Tabla 10. Imágenes satelitales utilizadas 80
Tabla 11. Regresiones lineales Red vs NIR 84
Tabla 12. Resultados del Bootstrapping para LL1 92

Tabla 13. Resultados del Bootstrapping para LL2 93
Tabla 14. Resultados del Bootstrapping para SE1 94
Tabla 15. Resultados del Bootstrapping para SE2 95
Tabla 16. Matriz de correlación de Pearson para LL1 96
Tabla 17. Matriz de p-valores para LL1 96
Tabla 18. Matriz de correlación de Pearson para LL2 97
Tabla 19. Matriz de p-valores para LL2 97
Tabla 20. Matriz de correlación de Pearson para SE1 98
Tabla 21. Matriz de p-valores para SE1 98
Tabla 22. Matriz de correlación de Pearson para SE2 99
Tabla 23. Matriz de p-valores para SE2 99
Tabla 24. Análisis de componentes principales para LL1 100
Tabla 25. Pesos de los componentes en función del ACP para LL1 101
Tabla 26. Análisis de componentes principales para LL2 102
Tabla 27. Pesos de los componentes en función del ACP para LL2 103
Tabla 28. Análisis de componentes principales para SE1 104
Tabla 29. Pesos de los componentes en función del ACP para SE1 105
Tabla 30. Análisis de componentes principales para SE2 106
Tabla 31. Pesos de los componentes en función del ACP para SE2 107
Tabla 32. Resumen de pesos normalizados para el índice de calidad urbano 108
Tabla 33. Medianas de los Valores en Lluvias y Secas 111
Tabla 34. Resultado de la Prueba de Mann-Whitney U 111
Tabla 35. Resultado de la Prueba de Friedman 112
Tabla 36. Estadísticas descriptivas por clúster y ráster 113
Tabla 37. Prueba de correlación de Spearman 115
Tabla 38. Tabla de contingencia - Prueba de Chi-cuadrado de Pearson 116
Tabla 39. Prueba de Chi-cuadrado de Pearson de la relación entre BU e ICAU 117
Tabla 41. Puntos de medición para la validación del modelo ICAU 119
Tabla 42. Resultados de $PM_{2.5}$ y PM_{10} para la validación del modelo ICAU 119
Tabla 43. Estadística descriptiva para la validación del modelo ICAU 121
Tabla 44. Prueba de normalidad de Anderson-Darling para datos evaluados 123
Tabla 45. Análisis de correlación de ICAU versus los parámetros medidos en campo 124
Tabla 46. Análisis de precisión del Modelo ICAU 125
Tabla 47. Resultados de aprendizaje automática Random Forest 126
Tabla 40. Distribución de las categorías del ICAU en función del BU 129
Tabla 48. Matriz de consistencia 159
Tabla 49. Instrumentos de recolección de información 160
Tabla 50. Medios de verificación 161

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Gráfico de los principales elementos de un sistema de teledetección 8
Figura 2. Gráfico de los principales elementos de un sistema de teledetección 9
Figura 3. Mapa de ubicación geográfica de la ciudad del Cusco 36
Figura 4. Esquema del procedimiento metodológico 42
Figura 5. Mapa del catastro a nivel de manzanas de la ciudad del Cusco 72
Figura 6. Mapa del Índice de área construida – BU 73

Figura 7. Histograma de la distribución de valores del índice BU 74
Figura 8. Mapa urbano de la ciudad del Cusco 75
Figura 9. Gráfico de porcentajes de ocupación de las unidades de Suelo Urbano..... 78
Figura 10. Gráfico de la relación de datos meteorológicos..... 80
Figura 11. NDVI para la ciudad del Cusco 82
Figura 12. NSI para la ciudad del Cusco..... 83
Figura 13. Gráfico de regresión lineal para cálculo de TSAVI 85
Figura 14. TSAVI para la ciudad del Cusco 85
Figura 15. NDWI para la ciudad del Cusco..... 87
Figura 16. LWCI para la ciudad del Cusco 89
Figura 17. TS para la ciudad del Cusco..... 90
Figura 18. Gráfico de la distribución Bootstrap de las medias para cada índice – LL1..... 93
Figura 19. Gráfico de la distribución Bootstrap de las medias para cada índice – LL2..... 94
Figura 20. Gráfico de la distribución Bootstrap de las medias para cada índice – SE1 95
Figura 21. Gráfico de la distribución Bootstrap de las medias para cada índice – SE2 96
Figura 22. Gráfico de la contribución de las variables ACP – LL1..... 102
Figura 23. Gráfico de la contribución de las variables ACP – LL2..... 104
Figura 24. Gráfico de la contribución de las variables ACP – SE1 106
Figura 25. Gráfico de la contribución de las variables ACP – SE2 108
Figura 26. ICAU para la ciudad del Cusco 109
Figura 27. Mapa de ICAU clasificado para la ciudad del Cusco..... 110
Figura 28. Agrupación de Datos mediante K-means en los ACP (PC1 y PC2) 112
Figura 29. Histograma de valores por clúster y ráster (LL1, LL2, SE1 y SE2)..... 114
Figura 30. Distribución del ICAU en cada categoría del BU (Spearman) 116
Figura 31. Gráfico de matriz de frecuencias (Heatmap) de la relación de BU e ICAU..... 118
Figura 34. Boxplot de los parámetros medidos para la validación del modelo ICAU..... 121
Figura 35. Entrenamiento a través de Randon forest para validación de modelo ICAU 127
Figura 32. Mapa de ICAU clasificado para la ciudad del Cusco..... 128
Figura 33. Distribución del porcentaje de variación del ICAU vs BU 130

LISTA DE UNIDADES, ABREVIATURAS Y SIGLAS

NDVI : *Normalized Difference Vegetation Index* (Índice de vegetación de diferencia normalizada)
BDA : *Bulk Download Application* (Aplicación de descarga masiva)
BU : *Built-Up* (Urbanización)
DEM : *Digital elevation model* (Modelo de elevación digital)
GPS : *Global Positioning System* (Sistema de Posicionamiento Global)
ICAU : Índice de calidad ambiental urbano
IFOV : *Instantaneous field of view* (Campo de visión instantánea)
LWCI : *Leaf Water Content Index* (Índice de humedad en las hojas)
ND : Nivel Digital
NDWI : *Normalized Difference Water Index* (Índice de diferencia normalizada del agua)
NIR : *Near Infrared* (Infrarrojo cercano)
NSI : *Normalized Sand Index* (Índice normalizado de suelo)
PCA : *Principal Component Analysis* (Análisis de Componentes Principales)
R : *Red* (Reflectividad del rojo)
RMSE : *Root-mean-square error* (Raíz del error cuadrático medio)
RPAS : *Remotely Piloted Aircraft System* (Sistema de aeronave piloteada a distancia)
SWIR : *Short Wave Infrared* (Infrarrojo de onda corta)
TS : Temperatura de la superficie
TSAVI : *Transformed Soil Adjusted Vegetation Index* (Índice de vegetación ajustado al suelo transformado)
USGS : *United States Geological Survey* (Servicio Geológico de los Estados Unidos)
UTM : *Universal Transverse Mercator* (Sistema de coordenadas universales transversales de Mercator)

RESUMEN

Se evaluó un Índice de Calidad Ambiental Urbano (ICAU) en la ciudad de Cusco durante el año 2023, utilizando técnicas avanzadas de teledetección. La investigación fue sustentada por la rápida urbanización de la ciudad y la necesidad de herramientas para una planificación territorial sostenible. Los objetivos incluyeron determinar las clases de uso del suelo urbano, calcular índices ambientales y analizar el comportamiento espacial del ICAU en relación con estas clases. Para ello, se procesaron imágenes satelitales Sentinel-2 y datos de RPAS (vehículos aéreos no tripulados), lo que permitió una clasificación precisa del suelo, verificada con controles de campo para la elaboración del índice de urbanización (BU). Se emplearon estadísticos multivariados como el Análisis de Componentes Principales (PCA), pruebas de Levene y ANOVA, para analizar la dispersión de los datos y diferencias significativas entre categorías de uso del suelo. Los índices analizados fueron NDVI, NSI, TSAVI, NDWI, TS y SWIR, en cuatro momentos del año (dos en secas y dos en lluvias) para captar variaciones estacionales.

Los resultados mostraron diferencias estacionales; se trató cada época de manera individual. Las áreas con BU > 0,89 presentaron calidad ambiental muy deficiente, abarcando el 23,93 % del área en la época seca. En contraste, zonas con mayor cobertura vegetal (NDVI medio 0,205 en lluvias) exhibieron mejores condiciones. Se identificó una correlación inversa entre BU e ICAU, con rho = -0,905 en época seca. La validación con PM2.5, PM10, temperatura y humedad reveló correlación inversa significativa con PM2.5 (52 %) y PM10 (46 %); temperatura y humedad no fueron relevantes. El uso de *Random Forest* incrementó la capacidad predictiva del ICAU (R^2 = 0,68).

En conclusión, la combinación de imágenes satelitales y RPAS resultó efectiva para evaluar la calidad ambiental urbana, proporcionando una base técnica replicable para la gestión territorial en Cusco y otras ciudades.

Palabras clave: Índice de Calidad Ambiental Urbano, Contaminación ambiental, Sensores remotos, Dron.

ABSTRACT

An Urban Environmental Quality Index (ICAU) was evaluated in the city of Cusco during 2023 using advanced remote sensing techniques. This research was driven by the city's rapid urbanization and the need for tools to support sustainable land-use planning. The objectives included identifying urban land-use classes, calculating environmental indices, and analyzing the spatial behavior of the ICAU in relation to these classes. Sentinel-2 satellite imagery and data from Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS) were processed, enabling accurate land classification validated through field surveys for the development of the Built-Up Index (BU). Multivariate statistical methods, including Principal Component Analysis (PCA), Levene's test, and ANOVA, were employed to analyze data dispersion and statistically significant differences among land-use categories. The indices analyzed were NDVI, NSI, TSAVI, NDWI, TS, and SWIR, across four periods of the year (two during the dry season and two during the rainy season) to capture seasonal variations.

Results revealed seasonal differences; therefore, each period was analyzed individually. Areas with BU > 0.89 exhibited very poor environmental quality, covering 23.93% of the area during the dry season. In contrast, areas with higher vegetation cover (mean NDVI of 0.205 during the rainy season) displayed better environmental conditions. An inverse correlation between BU and ICAU was identified (rho = -0.905 during the dry season). Validation with PM2.5, PM10, temperature, and humidity showed a significant inverse correlation with PM2.5 (52%) and PM10 (46%), while temperature and humidity were not relevant. The application of Random Forest enhanced the ICAU's predictive capacity ($R^2 = 0.68$).

In conclusion, the integration of satellite imagery and RPAS data proved effective for assessing urban environmental quality, providing a replicable technical foundation for territorial management in Cusco and other cities.

Keywords: Urban Environmental Quality Index, Environmental Pollution, Remote Sensors, Drone.

INTRODUCCIÓN

La mayoría de países de América Latina han experimentado, en las últimas cinco décadas, un proceso intenso de urbanización que ha modificado y complejizado el espacio urbano (Rodríguez & Villa, 1998), ocasionando impactos significativos sobre el medio, porque afecta: 1) los procesos de intercambio de energía entre la superficie de la tierra y la atmósfera, 2) el sistema hidrológico superficial y subsuperficial, 3) la calidad del aire, agua y suelo, y 4) las condiciones meso y microclimáticas (Wilson et al., 2003). Estos factores inciden en la calidad ambiental urbana y por consiguiente en el desarrollo social y económico de las ciudades, y se asocian a la forma de como los actores sociales realizan sus actividades, ocupan y utilizan el espacio, situación que crea nuevos retos para las autoridades y entidades de planificación urbana (Luis Marino et al., 2010).

En Perú la tasa de crecimiento demográfica es en promedio 1.5%, es decir hay 15 personas más por cada 1000 año a año (INEI, 2020), en el caso de Cusco tiene una tasa de crecimiento departamental de 0.9 % que es 9 personas más por cada 1000 año a año (INEI, 2017) en una curva de crecimiento exponencial. Si tomamos en cuenta que una familia promedio tiene 4 miembros entonces se necesitaría 2.25 viviendas más por cada 1000 personas año a año. Este incremento podría ser aún mayor considerando que el dato es para todo el departamento del Cusco, la ciudad al tener mayor densidad poblacional también debería tener mayor cantidad de habitantes por tanto más viviendas. Al existir mayor cantidad de personas se ha visto en los últimos años que uno de los principales problemas que se genera es la contaminación ambiental por tanto se puede afirmar que la calidad ambiental urbana varía según el incremento de la densidad poblacional y la industrialización (Tello-Cifuentes & Díaz-Paz, 2021a) sin embargo, a la fecha en la ciudad del Cusco no se cuentan con estudios que puedan corroborarlo, o signifiquen antecedentes para seguir estudiando el fenómeno.

La calidad ambiental urbana podría incidir favorable o desfavorablemente en la vida de los ciudadanos (Nichol & Wong, 2005) por tanto, tener la información de cómo se encuentra la salud ambiental ayudaría a prevenir riesgos en la salud de la población a través de una planificación, sostenible y sustentable que incluya esta variable de calidad ambiental urbana.

Los altos costos para disponer de esta información base de calidad ambiental son un impedimento para su realización, se tendría que instalar una red de estaciones fijas de monitoreo de calidad ambiental según el mínimo del tamaño muestral para obtener esta información y proceder a su análisis. En este sentido los sensores remotos son una buena alternativa que constituyen una herramienta útil para entender y monitorear los procesos urbanos relacionados con el espacio físico, permitiendo construir bases de datos sobre el ambiente urbano a través de índices de calidad ambiental urbano (Weng, 2001) y a bajo costo. Estos sensores adquieren información de forma continua en el espacio y con cierta frecuencia de tiempo, en distintas regiones del espectro y a diferentes escalas (Prihodko & Goward, 1997), conteniéndose en imágenes satelitales que luego pueden ser analizadas.

Tomando en cuenta los aspectos previamente planteados, esta investigación tiene como finalidad constituirse en un referente inicial para el diseño de un índice urbano de calidad ambiental en la ciudad del Cusco, a través del uso de herramientas de teledetección. En este contexto, se pretende reconocer los índices ambientales más relevantes, evaluar su relación con las categorías de uso del suelo urbano y comprender su distribución espacial dentro del ámbito urbano.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

El vínculo entre urbanización y desarrollo económico se ha visto influenciado por el proceso de industrialización en diversos países. Esta transformación ha generado una migración de fuerza laboral desde zonas rurales hacia centros urbanos. Asimismo, la cercanía física entre actores facilita el intercambio de ideas y habilidades, impulsando procesos de innovación tecnológica. En este contexto, ciudades como Cusco se consolidan como espacios clave en el avance de la urbanización, actuando como motores del crecimiento económico y la eficiencia productiva. No obstante, la expansión urbana también conlleva retos importantes, como el incremento en los tiempos de desplazamiento, la exposición a mayores niveles de contaminación, impactos en la salud pública, encarecimiento de la vivienda y el aumento de problemáticas sociales como la criminalidad (Banco de Desarrollo de América Latina, 2017).

Para medir continuamente la calidad ambiental de las urbes, se requiere tener una red estaciones fijas, algunos países que disponen de esta red son capaces de monitorear en tiempo real la calidad ambiental (atmosférica e hídrica principalmente), ante alertas de superar el límite máximo permisible pueden prevenir consecuencias mayores, y consecuentemente las autoridades pueden planificar i/o zonificar de mejor manera el territorio. En el Perú según la información de Dirección General de Salud Ambiental (DIRESA), se cuenta únicamente una red de 7 estaciones fijas de monitoreo de calidad ambiental de aire en Lima y Callao, y las estaciones puntuales en el resto del país impulsadas por a través de un Decreto Supremo N° 010-2019-MINAM (DIGESA, 2019). Otras ciudades como Arequipa a través del gobierno regional implementaron una red de monitoreo de calidad ambiental de aire con 1 estaciones fijas, 4 estaciones móviles y 18 tubos pasivos para NO_2 (GORE AREQUIPA, 2020), las demás ciudades

aún no han implementado una red de monitoreo para medir la calidad ambiental. En el caso de la ciudad del Cusco la DIGESA a través de su Programa Nacional de Vigilancia Sanitaria de Calidad del Aire Cusco, registró entre el 2007 y 2013 mediciones de NO_2 por medio de tubos pasivos (DIGESA, 2019), luego está el Instituto de Energía y de la Atmósfera de la UNSAAC creado en el año 2014 que desde el año 2016 adquirió una estación móvil para monitoreo de calidad de aire, recolectando datos puntuales hasta la fecha (Warthon-Ascarza, 2017), finalmente El Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) a través de los gobiernos locales en cumplimiento de su PLANEFA, miden puntualmente la calidad ambiental en función de focos de contaminación (Tessy & Sánchez, 2019).

Todos estos informes confirman el incremento en las concentraciones de contaminantes ambientales año a año, a veces superando los límites máximos permisibles aun así con toda esta data no se ha modelado espacialmente los contaminantes, porque el tamaño muestral mayor al que se tiene; instalarlos demandaría una gran inversión económica.

A pesar de la existencia de antecedentes, la información disponible no permite que las autoridades integren de manera efectiva la variable de calidad ambiental en la gestión territorial, ya que muchos de estos datos provienen de metodologías heterogéneas o han sido generados a escalas que no son adecuadas. Ante ello, cabe preguntarse: ¿qué resultados se obtendrían si se aplicaran técnicas de teledetección para construir un índice ambiental que proporcione información precisa y útil para la toma de decisiones en materia de gestión, conservación y mejora del entorno urbano?

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

a. PROBLEMA GENERAL

¿Cuál es el índice de calidad ambiental urbano para la ciudad del Cusco?

b. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

1. ¿Cuáles son las clases de uso de suelo urbano para la ciudad del Cusco?
2. ¿Cuáles son los índices ambientales que se podrían calcular a partir de técnicas de teledetección para la ciudad del Cusco?
3. ¿Cuáles son los componentes principales derivados de los índices ambientales que explican el Índice de Calidad Ambiental Urbano en Cusco y cómo pueden clasificarse cualitativamente?
4. ¿Cómo es el comportamiento espacial del índice de calidad ambiental urbana respecto a las clases de uso de suelo urbano para la ciudad del Cusco?
5. ¿Cómo se representa cartográficamente el Índice de Calidad Ambiental Urbano respecto a las clases de uso de suelo urbano para la ciudad del Cusco?

1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

En la ciudad del Cusco, los responsables de la planificación territorial aún no han incorporado de manera sistemática el uso de imágenes satelitales como insumo para evaluar la calidad ambiental urbana, a pesar de la existencia de diversas aplicaciones de teledetección orientadas al monitoreo de indicadores ambientales. Estas herramientas permitirían abordar con mayor precisión la complejidad espacial de los problemas ambientales. Si se valida la eficacia del enfoque propuesto, este podría ser replicado en otras ciudades, ofreciendo a los gobiernos locales una solución accesible y de bajo costo para mejorar la gestión ambiental.

Aunque se implementen redes de monitoreo fijas o móviles, sus elevados costos representan una limitación, especialmente considerando las condiciones particulares del territorio cusqueño. En esta región, la acumulación de contaminantes atmosféricos está influenciada por características topográficas y climáticas, tales como: depresiones rodeadas de montañas que limitan la circulación del aire, presencia frecuente de neblina, variaciones en la radiación solar y cambios térmicos, entre otros factores. Todo ello resalta la importancia de incorporar herramientas de análisis espacial para el estudio de la contaminación ambiental, contribuyendo así a decisiones administrativas más informadas tanto en el Cusco como en otras regiones del país.

En este escenario, se plantea la necesidad de aplicar técnicas de teledetección como una opción accesible que permita establecer el primer referente espacial del índice de calidad ambiental urbana para la ciudad del Cusco. Se busca validar esta metodología y convertirla en una herramienta útil para la toma de decisiones por parte de las autoridades locales en temas de gestión territorial y ambiental. Su implementación permitiría anticiparse, mitigar o responder ante impactos ambientales, contribuyendo a la protección de la ciudadanía y su entorno.

Además, se aspira a que este modelo pueda adaptarse a otras regiones del país y ser comparado con experiencias similares desarrolladas en contextos internacionales. Con ello, se espera contribuir a la formulación de políticas eficaces de conservación ambiental en una ciudad que, pese a su riqueza histórica y cultural, enfrenta crecientes desafíos debido al desarrollo urbano acelerado, la presión del turismo y otros factores.

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

a. OBJETIVO GENERAL

Evaluar un índice de calidad ambiental urbano mediante técnicas de teledetección para la ciudad del Cusco

b. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar las clases de uso de suelo urbano para la ciudad del Cusco
2. Calcular los índices ambientales a partir de técnicas de teledetección para la ciudad del Cusco
3. Determinar los componentes principales de los índices ambientales que explican el Índice de Calidad Ambiental Urbano para la ciudad Cusco y clasificarlos cualitativamente
4. Describir el comportamiento espacial del índice de calidad ambiental urbano respecto a las clases de uso de suelo urbano para la ciudad del Cusco
5. Elaborar un mapa temático del índice de calidad ambiental urbano respecto a las clases de uso de suelo urbano para la ciudad del Cusco

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

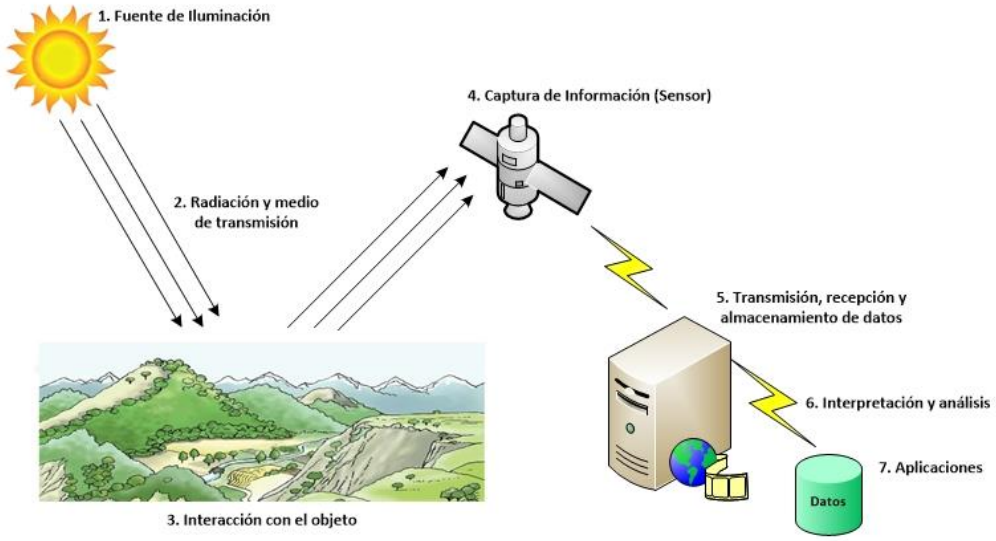
2.1. BASES TEÓRICAS

2.1.1. TELEDETECCIÓN

La teledetección constituye una herramienta tecnológica que posibilita la obtención de datos sobre la superficie terrestre sin establecer contacto físico directo. Esto se logra mediante sensores ubicados en plataformas aéreas o satelitales, tanto tripuladas como automáticas. Gracias a esta técnica, es factible generar representaciones visuales de componentes del planeta como el suelo, los océanos y la atmósfera, valiéndose de dispositivos instalados en sistemas aeroespaciales. Dado que el sensor no mantiene interacción directa con el objeto de análisis, la transmisión de datos se basa en un medio físico: la radiación electromagnética. Esta radiación puede ser emitida por el propio objeto, reflejada desde una fuente externa, o generada de forma natural. Todos los cuerpos, ya sean bióticos o abióticos, irradian energía electromagnética con características variables según su longitud de onda e intensidad, las cuales dependen de la energía del objeto observado. En este contexto, el Sol desempeña un papel fundamental como fuente principal de radiación en el sistema solar. La energía solar reflejada por la superficie terrestre es esencial para numerosos procedimientos de teledetección. Sin embargo, también se dispone de sensores activos, capaces de emitir su propia energía para generar información sin depender de fuentes externas (Chuvieco, 1996a).

El principio base de la teledetección como ya se ha mencionado anteriormente, es el resultado en algunos elementos fundamentales que se describen a continuación (Pérez & Muñoz, 2006):

Figura 1. Gráfico de los principales elementos de un sistema de teledetección



Nota: Extraído del libro de Teledetección: nociones y aplicaciones (Pérez & Muñoz, 2006)

Según la figura anterior, un sistema de teledetección está compuesto por los siguientes elementos fundamentales.

1. Origen de la energía o fuente de iluminación, indispensable para generar la radiación utilizada en la observación remota.
2. Canal de propagación de la radiación, usualmente representado por la atmósfera terrestre, que actúa como medio transmisor.
3. Relación entre la radiación y el objeto de interés, donde ocurre la interacción física que determina el tipo de señal registrada.
4. Captura de información mediante sensores remotos, los cuales registran datos sin establecer contacto físico con la superficie observada.
5. Etapas de transmisión, recepción y almacenamiento de la información, que garantizan su disponibilidad para análisis posteriores.
6. Proceso de análisis e interpretación de los datos recolectados, necesario para extraer conclusiones significativas.
7. Aplicación práctica de la información generada, orientada a objetivos específicos según el contexto del estudio.

La presencia articulada de estos componentes es esencial para alcanzar el propósito final de la teledetección: transformar los datos en información comprensible que permita interpretar adecuadamente los resultados obtenidos.

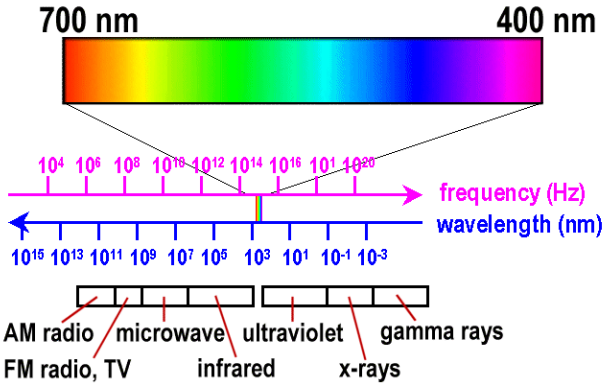
2.1.1.1. PRINCIPIOS DE RADIACIÓN

La radiación se origina a partir de variaciones simultáneas en los campos eléctricos y magnéticos que rodean a los objetos. Estas variaciones generan ondas que transportan energía mediante la interacción de dos campos perpendiculares entre sí: uno eléctrico y otro magnético. Estas ondas electromagnéticas permiten la transferencia de energía a través del espacio. Ejemplos de este tipo de energía incluyen los rayos X, las ondas de radio, la radiación ultravioleta y el espectro de luz visible, todos los cuales forman parte del espectro de la radiación electromagnética (Chuvieco, 1996a).

2.1.1.2. ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

Se conoce como espectro electromagnético al rango de energía definido por su longitud de onda y frecuencia (Chuvieco, 1996a). La figura siguiente presenta cómo se distribuyen las diferentes bandas del espectro, ordenadas en función de sus respectivas longitudes de onda, lo cual refleja una secuencia energética progresiva.

Figura 2. Gráfico de los principales elementos de un sistema de teledetección



Nota: Extraído del libro de Teledetección: nociones y aplicaciones (Pérez & Muñoz, 2006)

2.1.1.3. SENSORES REMOTOS

Los sensores remotos constituyen herramientas especializadas cuya función es detectar la radiación electromagnética (reflejada o emitida) procedente de la superficie del planeta y de la atmósfera. Esta energía captada se convierte en una señal física susceptible de ser registrada y analizada. Dicha señal puede conservarse como una imagen, en formatos tradicionales (como fotografías analógicas) o mediante medios digitales. Para llevar a cabo la observación del entorno, estos sensores se sitúan en distintas plataformas, las cuales pueden ser fijas o móviles, incluyendo globos aerostáticos, aeronaves, cometas, grúas, cohetes o satélites. Tanto la calidad como el tipo de imagen obtenida dependerán del tipo de sensor utilizado y de la altitud o distancia desde la cual se efectúa la captura de datos (Chuvieco, 1996a).

2.1.1.3.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS SENSORES

Las características espaciales del sensor hacen referencia a la porción de la superficie terrestre de la cual obtienen información y se determinan por magnitudes tales como (Castaño et al., 1996):

- **Campo de visión instantánea (*Instantaneous field of view - IFOV*)**. Este parámetro está determinado por la apertura óptica del sensor y especifica el área máxima del terreno que puede visualizarse en un instante dado. Aunque su medida se expresa en radianes, comúnmente se traduce en términos de distancia sobre la superficie terrestre, asociada al ángulo de observación, lo que usualmente coincide con el tamaño del píxel.
- **Campo total de observación**. Hace referencia al área cubierta por sensores de barrido, influenciada por el ángulo de rotación del espejo y el tiempo de observación. Dependiendo de la altitud del satélite, se

calcula la longitud de la franja registrada, generalmente expresada en metros o kilómetros.

- **Píxel**. Corresponde al tamaño espacial de cada unidad muestral captada por el sensor. La frecuencia de muestreo está sujeta al sistema de adquisición y afecta la velocidad de barrido. Uno de los aspectos más relevantes es la resolución espacial, la cual indica la capacidad del sensor para distinguir entre objetos cercanos o con características espectrales parecidas.

2.1.1.4. TIPOS DE SENSORES

Los sensores en teledetección son instrumentos que transforman la radiación en información perceptible y analizable hay de dos tipos (Sobrino et al., 2001).

2.1.1.4.1. SENSORES PASIVOS

Los sensores pasivos están diseñados para detectar la energía que proviene de la superficie terrestre, ya sea como resultado de la radiación reflejada o emitida, dentro del espectro electromagnético. Su operación se fundamenta en la capacidad de registrar las características reflectivas del objeto observado, bien sea mediante la luz solar reflejada o a través de la energía que el propio cuerpo irradia. Su principal función consiste en captar la radiación sin generar ninguna fuente de energía adicional. Según sus características técnicas, se agrupan en tres categorías: sensores fotográficos (como cámaras tradicionales), sensores ópticos-electrónicos (como los escáneres de barrido o cámaras de visión), y sensores de antena, como los radiómetros de microondas (Sobrino et al., 2001).

2.1.1.4.2. SENSORES ACTIVOS

A diferencia de los anteriores, los sensores activos emiten una señal electromagnética propia, la cual impacta sobre el objeto de interés. Posteriormente, una vez que esta señal es reflejada, el mismo sensor se encarga

de registrarla. Estos dispositivos desempeñan una función doble: primero generan una onda y luego capturan su retorno con el fin de analizarlo. La información recopilada se basa en el contraste entre la señal enviada y la que ha sido reflejada. Entre los sensores activos más utilizados destaca el radar, empleado con frecuencia en contextos militares y en sistemas de navegación aérea. Este opera dentro del rango de microondas del espectro electromagnético. Otro ejemplo relevante es el sensor Lidar, el cual utiliza rayos láser polarizados para llevar a cabo mediciones precisas (Sobrino et al., 2001).

2.1.1.5. RESOLUCIÓN DE UN SISTEMA SENSOR

En el contexto de la teledetección, la resolución de un sensor hace alusión a su capacidad para captar información detallada sobre las distintas coberturas presentes en la superficie terrestre. Este concepto se vincula con la precisión del sensor para identificar variaciones en la energía electromagnética, el nivel de detalle espacial alcanzado, así como la cantidad y el rango de bandas espectrales utilizadas. A continuación, se detallan los principales tipos de resolución (Chuvieco, 1996a).

2.1.1.5.1. RESOLUCIÓN ESPECTRAL

La resolución espectral alude tanto al número como a la amplitud de las bandas espectrales que un sensor es capaz de distinguir. Cuanto mayor sea esta resolución, más precisa será la información sobre las variaciones espectrales dentro de una misma cobertura, lo que permite observarla mediante diferentes bandas. Esta capacidad es fundamental para una mejor identificación de las coberturas del terreno. Las bandas más estrechas proporcionan datos más específicos, mientras que aquellas de mayor amplitud suelen mezclar señales, dificultando la detección de diferencias entre elementos con características espectrales similares (Chuvieco, 1996a).

2.1.1.5.2. RESOLUCIÓN ESPACIAL

Este tipo de resolución está directamente relacionado con las dimensiones del píxel y define el nivel de detalle visible en una imagen. A menor tamaño del área representada por cada píxel, mayor será la capacidad para reconocer objetos pequeños, lo cual implica una resolución espacial más alta y, por ende, una mayor nitidez en la representación visual (Sobrino et al., 2001).

2.1.1.5.3. RESOLUCIÓN RADIOMÉTRICA

La resolución radiométrica describe la capacidad que posee un sensor para distinguir variaciones en la intensidad de la radiación electromagnética, ya sea reflejada o emitida por los objetos observados. Esta intensidad se representa en distintos niveles de gris. A mayor resolución radiométrica, mayor será la cantidad de niveles detectables, lo cual permite una interpretación más detallada y precisa de los datos adquiridos. Esta propiedad resulta clave para detectar diferencias sutiles en la energía registrada en una imagen (Sobrino et al., 2001).

Ecuación 1. Cálculo de la resolución radiométrica

$$2^n = Número\ de\ niveles\ de\ Gris$$

Donde: ***n*** es el número de bits en una imagen

2.1.1.5.4. RESOLUCIÓN TEMPORAL

La resolución temporal se refiere a la frecuencia con la que un sensor es capaz de capturar imágenes sucesivas de una misma región geográfica a lo largo del tiempo. Este tipo de resolución determina cuán seguido puede observarse una determinada área. Su frecuencia de adquisición está influida por diversos factores, como la altitud de la órbita del satélite, la velocidad de desplazamiento y el campo de visión del sensor. También es conocida como “frecuencia de revisita”, y tiene un impacto directo en la eficacia del monitoreo ambiental. Una alta resolución temporal resulta crucial para el seguimiento de procesos dinámicos

como inundaciones, incendios, fluctuaciones en la calidad del agua, y el monitoreo de actividades agrícolas como el desarrollo de cultivos (Sobrino et al., 2001).

2.1.1.6. IMÁGENES SATELITALES

Las imágenes satelitales representan visualmente la superficie terrestre y permiten observar extensas áreas geográficas. Están formadas por una matriz de valores numéricos, donde cada número se asocia a un píxel, conocidos como Niveles Digitales (ND). Estos niveles constituyen una unidad esencial en los procesos de análisis de imágenes. El valor de cada ND está determinado por las características del sensor, y la radiancia que registra depende, entre otros factores, de la cantidad de luz solar disponible en el momento en que se realiza la captura (Chuvieco, 2007).

Estas imágenes son utilizadas de acuerdo a las características propias de cada sensor, constituyéndose dicha información en un insumo importante para realizar trabajos de planificación, ambiente, ingeniería, etc. (Y. León, 2002).

Las imágenes satelitales están formadas por diversas bandas, cada una de las cuales representa una porción específica del espectro electromagnético. Por ejemplo, los sensores Landsat-TM y Landsat-MSS recopilan datos en múltiples bandas: el Landsat-TM cuenta con siete bandas, que incluyen longitudes de onda en azul, verde, rojo, tres en el infrarrojo cercano y una en el infrarrojo térmico. En cambio, el Landsat-MSS opera con cuatro bandas: verde, rojo y dos en el infrarrojo cercano. Las bandas del infrarrojo resultan particularmente útiles para el análisis del estado de la vegetación, ya que permiten detectar condiciones que no son visibles a simple vista (Chen et al., 2004).

Estas imágenes permiten distinguir elementos ubicados tanto en la superficie terrestre como en la atmósfera, gracias a la combinación de bandas espectrales. Cada una refleja propiedades específicas del objeto observado, conocidas como firmas espectrales, que son esenciales para clasificar diferentes tipos de

cobertura. Una correcta diferenciación entre zonas de interés requiere considerar la respuesta espectral de los objetos presentes, lo cual también permite efectuar análisis multitemporales del área en estudio. A través del uso de imágenes multiespectrales, se pueden generar composiciones de color seleccionando bandas determinadas, como ocurre en los estudios enfocados en la identificación de zonas urbanas. Por ejemplo, utilizando la combinación en falso color 4-3-2, es posible identificar edificaciones con claridad (Rojas et al., 2020).

2.1.1.6.1. TIPOS DE IMÁGENES SATELITALES

Las imágenes satelitales son generadas por sensores instalados en plataformas espaciales artificiales, los cuales inicialmente fueron diseñados con fines meteorológicos. Actualmente, los satélites se emplean ampliamente en áreas como el monitoreo de recursos naturales, estudios oceánicos, análisis meteorológicos, entre otros (Y. León, 2002). Entre la variedad de imágenes satelitales tenemos, por ejemplo, *Lansat, Sentinel, Aster, Avnir2, Prism, Alos, RapidEye, Quickbird, WorldView1*, etc.

2.1.1.6.1.1. SENTINEL

El programa Sentinel forma parte de una iniciativa liderada por la Agencia Espacial Europea (ESA) dentro del marco del proyecto Copernicus. Se trata de una misión satelital relativamente reciente, cuyos primeros lanzamientos ocurrieron en 2014. Para el desarrollo del presente estudio se emplearon datos del satélite Sentinel 2A, equipado con el sensor MSI. Este satélite, puesto en órbita en 2015, ofrece una periodicidad de observación de 10 días sobre una misma región.

El sensor proporciona una resolución radiométrica de 12 bits. En cuanto a la resolución espacial, esta varía entre bandas; sin embargo, los proveedores de imágenes la reescalan uniformemente a 10 metros. En lo referente a la resolución

espectral, el sensor MSI incorpora cuatro bandas en el espectro visible y nueve en el infrarrojo, tanto cercano como medio (Picone, 2017).

Tabla 1. Resolución espacial de las bandas de Sentinel-2

Resolución espacial	Bandas	Tipo
10 metros	✓ Banda 2 (Azul) ✓ Banda 3 (Verde) ✓ Banda 4 (Rojo) ✓ Banda 8 (NIR)	Alta resolución óptica
20 metros	✓ Banda 5 ✓ Banda 6 ✓ Banda 7 ✓ Banda 8A (Red Edge) ✓ Banda 11 ✓ Banda 12 (SWIR)	Media resolución para análisis de vegetación, suelo y agua
60 metros	✓ Banda 1 (Aerosoles) ✓ Banda 9 (Vapor de agua) ✓ Banda 10 (Corrección atmosférica)	Baja resolución para corrección atmosférica

Nota: Elaboración propia en base a Handbook & Tools, (2015)

2.1.1.7. TRATAMIENTO DE IMÁGENES SATELITALES

El tratamiento de imágenes obtenidas por satélite se refiere a las etapas iniciales del procesamiento de los datos en bruto, cuyo objetivo es corregir tanto las distorsiones geométricas como radiométricas presentes en las imágenes, así como reducir el ruido. Las alteraciones radiométricas se originan por interferencias de origen atmosférico o por problemas propios del equipo, lo que afecta el brillo de los píxeles registrados (Lira Chávez, 2002).

2.1.1.7.1. CORRECCIÓN RADIOMÉTRICA

El proceso de corrección radiométrica incluye procedimientos adicionales más allá de la simple recuperación de píxeles o líneas perdidas. En ciertos casos, las estaciones encargadas de recibir las imágenes aplican ajustes automáticos durante la captura, con el fin de mejorar la calidad de la información registrada (Lira Chávez, 2002).

- **Píxeles o líneas perdidas. -** Cuando un píxel pierde su valor original, una alternativa sencilla para estimarlo consiste en calcular el promedio de ese mismo píxel en las líneas previas y siguientes. No se aconseja usar los valores de los píxeles adyacentes en la misma línea, ya que probablemente hayan sido captados por el mismo detector que presentó la falla, lo cual compromete su confiabilidad.
- **Bandeado. -** El bandeado es una alteración visual que surge debido a deficiencias en la calibración entre los distintos detectores del sensor, siendo especialmente notoria en áreas con baja reflectancia, como las regiones oceánicas. Esta distorsión se manifiesta como la aparición periódica de franjas más claras o más oscuras. Para mitigar este efecto, se parte del supuesto de que, en condiciones normales, los histogramas generados por cada detector deberían presentar patrones similares entre sí y con respecto al histograma general de la imagen utilizada como referencia.

2.1.1.7.2. CORRECCIÓN GEOMÉTRICA

La corrección geométrica consiste en modificar las coordenadas de los píxeles de una segunda imagen para que se alineen con exactitud respecto a los de una imagen de referencia. Esta correspondencia se logra a través de una transformación polinómica de segundo orden, construida a partir de un conjunto de pares de puntos de control identificados en ambas imágenes (Lira Chávez, 2002).

- **Localización de los puntos. –** Para establecer relaciones geométricas precisas entre imágenes, es fundamental la detección automática de un número adecuado de puntos de control. Estos puntos deben seleccionarse con un alto nivel de exactitud (preferiblemente a nivel subpíxel) y distribuirse de forma homogénea en toda la imagen. Esto

permite minimizar los errores de emparejamiento que suelen presentarse durante el proceso y garantizar una alineación confiable entre las escenas comparadas.

- **Transformación de coordenadas. -** Los puntos de control identificados en ambas imágenes son utilizados para calcular el coeficiente del polinomio que permite realizar la transformación de coordenadas. Esta operación corrige la posición de los píxeles de la imagen secundaria para alinearla con la imagen de referencia.
- **Transformación de niveles de gris. -** Una vez corregidas las coordenadas, se procede al cálculo de los niveles de gris correspondientes. Para ello, se aplica una convolución cúbica que promedia los valores de 16 píxeles vecinos. Aunque este método demanda mayor capacidad computacional que otros procedimientos, ofrece una estimación más precisa del nivel de gris en la imagen remuestreada.

2.1.1.7.3. CORRECCIÓN ATMOSFÉRICA

Este proceso busca solucionar fallas derivadas de errores mecánicos del sensor, que pueden producir valores incorrectos en ciertos píxeles. En paralelo, la corrección atmosférica se enfoca en identificar y compensar las distorsiones provocadas por la atmósfera en los datos de radiancia que el sensor detecta desde la superficie terrestre (Lira Chávez, 2002).

- **Conversión de lo ND a valores de radiancia. –** Las imágenes satelitales generan datos numéricos llamados Niveles Digitales (ND), que representan la energía captada por el sensor. Para convertir estos valores en medidas físicas de radiancia, es necesario aplicar una fórmula lineal basada en la energía registrada por el satélite.

- **Mínimo del histograma. -** Este método consiste en ubicar áreas de la imagen con muy baja reflectancia, cercanas a cero, especialmente en bandas del infrarrojo (como cuerpos de agua limpia o zonas profundas). En estos casos, los valores mínimos del histograma tienden a acercarse a cero. Cabe destacar que este límite inferior se incrementa conforme disminuye la longitud de onda.

2.1.2. ÍNDICES AMBIENTALES

La teledetección desempeña un papel clave en los estudios relacionados con el ambiente, ya que permite acceder a información satelital que no es perceptible a simple vista, gracias al uso de longitudes de onda más amplias. Esta tecnología, al contar con una alta resolución espectral, resulta especialmente adecuada para investigaciones ambientales. Además, existe abundante literatura científica que respalda su aplicación y facilita la ejecución de procesos vinculados con el análisis del entorno (Martínez & Martin, 2010).

Los índices ambientales, obtenidos mediante la combinación de distintas bandas espectrales presentes en las imágenes satelitales, permiten resaltar características específicas del territorio. En contextos actuales, estos índices se han convertido en herramientas fundamentales con fines científicos, ya que permiten identificar y estudiar problemáticas ambientales, como es el caso de la contaminación del aire.

Para que estos análisis sean precisos, es indispensable realizar previamente las correcciones radiométricas y atmosféricas correspondientes, especialmente cuando se trabaja con imágenes multiespectrales y térmicas (Luis Marino et al., 2010).

Los índices seleccionados para el desarrollo de esta investigación se detallan a continuación.

2.1.2.1. ÍNDICE DE VEGETACIÓN DE DIFERENCIA NORMALIZADA (NDVI)

Es un índice usado para estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación con base a la medición, por medio de sensores remotos instalados comúnmente desde una plataforma espacial, de la intensidad de la radiación de ciertas bandas del espectro electromagnético que la vegetación emite o refleja (Gilabert et al., 1997).

La aplicación de estos índices se basa en el comportamiento radiométrico característico de la vegetación. Cuando una cobertura vegetal se encuentra en condiciones saludables, presenta una firma espectral distintiva, que se manifiesta por el fuerte contraste entre la absorción en la banda del rojo (aproximadamente entre 0.6 y 0.7 μm) y la alta reflectancia en el infrarrojo cercano (entre 0.7 y 1.1 μm), fenómeno principalmente atribuible a las hojas. Este patrón espectral es aprovechado por el NDVI, índice que permite detectar la vegetación verde presente en la superficie terrestre, analizar su distribución espacial y monitorear los cambios en su estado a lo largo del tiempo. Estos comportamientos están influenciados principalmente por las condiciones climáticas (Gilabert et al., 1997).

2.1.2.2. ÍNDICE NORMALIZADO DEL SUELO - NSI

El NSI, desarrollado por Roger y Kearney (2004), es un índice que permite una mejor detección de áreas construidas y suelos sin cobertura vegetal, debido a que estos presentan altos niveles de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIR) y en el infrarrojo de onda corta (SWIR). Este índice resulta particularmente útil, ya que existe una relación directa entre las zonas urbanizadas y los niveles de contaminación. Dicha relación se debe al incremento en el tránsito y en el

consumo de combustibles, factores que intensifican los impactos ambientales en áreas urbanas (Gonzaga Aguilar, 2014).

2.1.2.3. ÍNDICE DE VEGETACIÓN AJUSTADO AL SUELO TRANSFORMADO - TSAVI

El índice TSAVI propuesto por (Huete, 1988), es más sensible a la variación atmosférica que a la variación de la cobertura vegetal, apropiada para regiones que tienen baja cubierta vegetal. Actúa con la banda roja y el infrarrojo cercano, además el TSAVI se diseñó para corregir el efecto del brillo del suelo en áreas con escasa cobertura vegetal. Este índice se basa en la suposición de que, en ausencia de vegetación, toda la luz reflejada en la banda roja proviene del suelo, permitiendo ajustar la influencia del sustrato en la medición de la vegetación. Este índice incorpora la pendiente y el intercepto de la "línea de suelo" en su fórmula, lo que permite una corrección más precisa del efecto del brillo del suelo en comparación con otros índices como el SAVI. (Sobrino et al., 2001).

2.1.2.4. ÍNDICE DE DIFERENCIA NORMALIZADA DEL AGUA - NDWI

El NDWI es un indicador diseñado para estimar desde el espacio el contenido de agua presente en la vegetación. Este índice se basa en la comparación entre las reflectancias en el infrarrojo cercano (NIR) y en el infrarrojo de onda corta (SWIR), lo que permite detectar variaciones en la humedad de la cubierta vegetal. Aunque este índice no elimina completamente la interferencia provocada por la reflectancia del suelo, presenta menor sensibilidad a los efectos de los aerosoles atmosféricos en comparación con el NDVI. Por ello, se considera una herramienta complementaria eficaz para evaluar el estado hídrico de los ecosistemas (Gao, 1996).

2.1.2.5. ÍNDICE DE HUMEDAD EN LAS HOJAS - LWCI

Es el índice de humedad en las hojas que ayuda a determinar el contenido de agua, dicho índice fue propuesto por Raymond Hunt (Raymond Hunt, Rock, & Nobel, 1987) se basa en la interrelación entre las reflectividades en el infrarrojo de onda corta (SWIR) y en el infrarrojo cercano (NIR) (Luis Marino et al., 2010).

2.1.2.6. TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE – TS

La temperatura superficial (TS) representa un parámetro clave en el análisis de los intercambios de energía y humedad entre la superficie terrestre y la atmósfera. Este valor corresponde a la energía térmica de onda larga que emite la superficie del planeta. Es posible estimar la TS utilizando datos adquiridos por sensores remotos que operan dentro del rango térmico del espectro electromagnético. Siempre que se conozca la emisividad del terreno y se corrijan los efectos atmosféricos, se puede calcular la temperatura del objeto observado, asumiendo que actúa como un reflector *lambertiano*, mediante la aplicación inversa de la ley de Planck (Sobrino et al., 2001).

2.1.3. CALIDAD AMBIENTAL URBANA

La calidad ambiental urbana se enfoca en analizar y comprender los factores que configuran el entorno físico donde los seres humanos llevan a cabo sus actividades esenciales, tales como habitar, alimentarse, trabajar, descansar, movilizarse y disfrutar de su vida cotidiana. Este enfoque busca identificar los elementos que favorecen o dificultan dichas actividades, y se basa en el análisis de diversas condiciones e indicadores que permiten evaluar su desarrollo (Benavides & Scheuren, 2012).

Se concibe la calidad ambiental urbana como el conjunto de condiciones favorables que regulan el comportamiento del espacio habitable, garantizando comodidad y bienestar. Estas condiciones están vinculadas a aspectos ecológicos,

biológicos, funcionales, económicos, socioculturales, morfológicos, tecnológicos, estéticos y tipológicos, siempre desde una perspectiva espacial. La calidad de vida en contextos urbanos surge de la interacción entre estas variables, contribuyendo a formar un entorno saludable, que cumpla con los requerimientos mínimos para la sostenibilidad individual y colectiva dentro del medio urbano (Luengo Federico & Rangle Mora, 2009). Por ello, la calidad ambiental urbana se reconoce en un lugar específico y se evalúa mediante acciones medibles y observables (Benavides & Scheuren, 2012).

Para evaluar la calidad ambiental en zonas urbanas, se toman en cuenta diversos componentes clave que reflejan el estado del entorno en relación con la vida humana. Entre estos, destacan (Luengo Federico & Rangle Mora, 2009):

- **Aspectos físico – naturales.** Se incluyen aquí las variables del entorno natural que afectan directamente el bienestar y la seguridad de los habitantes. Estos elementos inciden en la calidad ambiental urbana debido a su influencia sobre el confort general. Entre los aspectos evaluados se encuentran el clima, las zonas destinadas a conservación ambiental, los riesgos naturales y los niveles de impacto ambiental.
- **Aspectos urbano – arquitectónicos.** Este grupo contempla los elementos que estructuran físicamente el espacio urbano. Se consideran factores como la funcionalidad del entorno, la movilidad, el equipamiento urbano, la estética del paisaje, la identidad visual y la forma urbana. La falta o deterioro de estos elementos suele generar consecuencias negativas sobre la percepción de calidad ambiental en las ciudades.
- **Aspectos socioculturales.** En esta categoría se agrupan variables vinculadas al bienestar humano, la seguridad ciudadana, la preservación del patrimonio histórico, las formas de expresión cultural, la participación activa de la comunidad y el valor simbólico y económico del entorno. Estos aspectos

resultan esenciales para comprender la identidad, cohesión y organización de una comunidad determinada.

2.1.3.1. ÍNDICE DE CALIDAD AMBIENTAL URBANO

El índice de calidad ambiental urbano, ésta entendido como la interacción de un conjunto de factores humanos y ambientales interrelacionados que inciden favorable o desfavorablemente en la calidad de vida de los habitantes de una ciudad (Nichol & Wong, 2005).

Los sensores remotos son una herramienta útil para entender y monitorear los procesos urbanos relacionados con el espacio físico, permitiendo construir bases de datos sobre el ambiente urbano a través de índices de calidad ambiental urbano (Weng, 2001) y a bajo coste. Adquieren información de forma continua en el espacio y con cierta frecuencia de tiempo, en distintas regiones del espectro y a diferentes escalas (Prihodko & Goward, 1997), ampliando la posibilidad de utilización. De esta forma, el procesamiento digital de imágenes permite apoyar, de manera ágil y fiable, los procesos de toma de decisiones en la planificación y gestión ambiental urbana (Wilson et al., 2003), mediante la generación de índices de calidad ambiental urbano.

2.1.4. CONTAMINACIÓN AMBIENTAL URBANA

La contaminación ambiental urbana se refiere a la presencia de agentes físicos, químicos o biológicos —o una combinación de ellos— en el entorno, que aparecen en concentraciones, ubicaciones o formas que pueden generar riesgos para la salud humana, la seguridad o el bienestar de la población. También se considera contaminación cuando estos agentes afectan negativamente a la fauna, la flora, o impiden el uso adecuado de espacios recreativos y propiedades. Además, esta problemática incluye el vertido de sustancias sólidas, líquidas o gaseosas (o sus mezclas) en cuerpos receptores, cuando estas alteran de forma negativa las

condiciones naturales del ambiente, comprometiendo la higiene, la salud pública o el bienestar general de la sociedad (Escobar Lopez, 1997).

El rápido crecimiento de los sistemas urbanos e industriales, como ya se ha mencionado, ha traído consigo diferentes problemas ambientales relacionados con la producción de desechos, la afectación de los ecosistemas acuáticos y terrestres, las numerosas emisiones atmosféricas con sus impactos sobre la calidad del aire y la atmósfera, la acumulación de ruido, la contaminación visual y, más recientemente, la afectación por ondas electromagnéticas (Mayr, 2011). Estudios recientes revelan que, en promedio, una ciudad con un millón de habitantes consume diariamente aproximadamente 625,000 metros cúbicos de agua, 2,000 toneladas de alimentos y 9,500 toneladas de combustibles. Este nivel de consumo genera cerca de 500,000 metros cúbicos de aguas residuales, 2,000 toneladas de residuos sólidos y 950 toneladas de contaminantes emitidos al aire, sin considerar los efectos de los procesos industriales. Estas cifras, sin embargo, no son universales; varían dependiendo del tipo de ciudad y de su contexto sociocultural. Por ejemplo, se ha documentado que una persona residente en Nueva York puede llegar a generar hasta tres veces más desechos que un ciudadano promedio de Calcuta (Sadik, 1991).

En el entorno urbano, las concentraciones de contaminantes atmosféricos están fuertemente asociadas con la quema de combustibles fósiles, tanto en el sector transporte como en la producción de energía. Este tipo de combustión, al igual que la de materiales orgánicos, libera compuestos como óxidos de azufre (SOx) y óxidos de nitrógeno (NOx), los cuales se vinculan directamente con afecciones respiratorias y un incremento en los ingresos hospitalarios. El anhidrido sulfuroso (SO) también genera efectos negativos similares. Además, a nivel doméstico, el uso de fuentes de energía como la leña o el carbón sigue representando un riesgo importante para la salud pública, ya que sus emisiones contribuyen a la contaminación intradomiciliaria (Mayr, 2011).

La contaminación del agua, que afecta tanto a fuentes de agua dulce como a cuerpos marinos, representa uno de los principales impactos generados por las ciudades. Este problema se origina tanto por descargas provenientes de actividades industriales como por vertimientos de origen doméstico. De acuerdo con el informe *Global Environmental Outlook 4*, publicado en 2007 por el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, las acciones humanas han ejercido una presión creciente sobre los recursos hídricos, intensificando el cambio climático, alterando los ciclos del agua y afectando gravemente los ecosistemas acuáticos, al tiempo que agotan los recursos pesqueros. Aunque en las últimas dos décadas ha habido avances en el tratamiento de aguas residuales urbanas, se estima que alrededor de 2.600 millones de personas todavía carecen de servicios sanitarios adecuados. A esto se suma el hecho de que muchos residuos líquidos, tanto de hogares como de industrias, son vertidos directamente en ríos y quebradas, sin tratamiento previo. Las alteraciones provocadas por el ser humano han impactado el ciclo global del agua, deteriorando los ecosistemas vinculados a este recurso. Este deterioro se refleja en el estado físico de los cuerpos hídricos, lo cual tiene implicancias severas sobre la salud de la población (Mayr, 2011).

Otro problema emergente en el contexto urbano es la contaminación sonora, la cual ha comenzado a ser reconocida por su impacto sobre la salud y la calidad de vida de los habitantes. Esta se debe, principalmente, a fuentes móviles, siendo los vehículos los responsables de los mayores niveles de ruido registrados en las ciudades. A estos se suman las fuentes fijas, como industrias y obras de construcción. También se identifican formas de contaminación visual y, más recientemente, contaminación relacionada con campos electromagnéticos, provocada especialmente por antenas y equipos de telecomunicaciones empleados en telefonía móvil (Mayr, 2011).

2.2. MARCO CONCEPTUAL (PALABRAS CLAVES)

- **Calidad ambiental urbana. -** La contaminación es la presencia en el ambiente de sustancias o elementos dañinos para los ecosistemas denominados contaminantes. El contaminante puede ser una sustancia química o energía (como sonido, calor, luz o radiactividad) los mismos que van a causar una alteración negativa del estado natural del medio ambiente, así como enfermedades en los seres vivos, i/o daños en los ecosistemas o el medio ambiente (Nichol & Wong, 2005).
- **Contaminación ambiental. -** La contaminación ambiental se refiere a la introducción en el entorno de agentes físicos, químicos o biológicos que alteran negativamente las condiciones naturales de los ecosistemas. Estos agentes, denominados contaminantes, pueden manifestarse en forma de sustancias químicas o energías como el sonido, el calor, la luz o la radiactividad, las cuales generan modificaciones adversas en el equilibrio ambiental. Tales alteraciones pueden provocar impactos perjudiciales tanto en la salud de los organismos vivos como en el funcionamiento de los ecosistemas. En consecuencia, se compromete la calidad del medio ambiente (Úbeda et al., 2017).
- **Sensores remotos. -** Los sensores remotos son una herramienta útil para entender y monitorear los procesos urbanos relacionados con el espacio físico, permitiendo construir bases de datos sobre el ambiente urbano (Weng, 2001) y a bajo coste. Adquieren información de forma continua en el espacio y con cierta frecuencia de tiempo, en distintas regiones del espectro y a diferentes escalas (Prihodko & Goward, 1997), ampliando las posibilidades de su utilización.
- **Análisis de componentes principales. -**

El Análisis de Componentes Principales (PCA, por sus siglas en inglés) es una metodología estadística utilizada para examinar la relación existente entre

variables que están correlacionadas, con el propósito de transformarlas en un conjunto reducido de variables no correlacionadas entre sí (Messer et al., 2014). Cuando se trabaja con bases de datos extensas y compuestas por múltiples variables, esta técnica permite simplificar la información al disminuir el número de variables, conservando la mayor cantidad posible de contenido informativo relevante como, por ejemplo, al construir un índice de calidad ambiental. Los nuevos componentes extraídos, también llamados factores, corresponden a combinaciones lineales de las variables originales. Estos factores, además de ser independientes entre sí (Gurrua, 2000), requieren interpretación en términos de magnitud y correlación para garantizar una correcta comprensión de los resultados.

2.3. ANTECEDENTES EMPÍRICO DE LA INVESTIGACIÓN (ESTADO DEL ARTE)

Luis Marino et al. (2010)**;** estimaron un índice de calidad ambiental urbano, a partir de imágenes de satélite en la ciudad de Cali – Colombia, propusieron un modelo para obtener un índice de calidad ambiental (ICA) urbano, a partir de imágenes satelitales, de una imagen Landsat ETM+ de Cali, Colombia se obtuvieron cinco indicadores ambientales: temperatura de superficie (TS), y los índices de vegetación normalizado (NDVI), de humedad en las hojas (LWCI), de suelos normalizado (NSI) y de vegetación ajustado al suelo (SAVI), con los que se estimó el ICA a nivel de barrio, usando análisis multivariado. Principalmente se obtuvo una alta correlación entre los indicadores; que los mayores valores del ICA ocurren en barrios con menor área construida y viceversa, y diferencias estadísticas significativas del ICA, según el uso del suelo. Los barrios fueron agrupados según el índice, destacando aquellos que demandan intervención prioritaria por las entidades de planificación.

Jimenez Perez (2018)**;** estimo la concentración del contaminante gaseoso NOx en el distrito metropolitano de Quito - Ecuador, mediante imágenes satelitales del Sensor Landsat 7 ETM / 8 OLI en tres años (2010, 2013 y 2015) y los datos medidos del contaminante NOx provenientes de las estaciones de monitoreo atmosférico de Quito. Para el procesamiento de las imágenes se aplicaron correcciones radiométricas y atmosféricas, se obtuvo el primer insumo que son imágenes con valores de reflectancia atmosférica, y un segundo insumo que correspondió a las imágenes resultantes del cálculo de cinco índices ambientales NDVI, LWCI, NSI, SAVI y TS. Ambos, fueron evaluados mediante regresiones que determinen la mejor correlación con respecto a mediciones de NOx, se obtuvo como resultado que el índice ambiental SAVI es mejor índice que se ajusta a los datos de campo y es apropiado para representar del contaminante NOx a través de un mapa que dispone de un ráster con valores espaciales de NOx, que permitió la comparación de la variación en los tres años estudiados.

Vieira de Oliverira, Segovia Materano, & Silva Brito (2018)**;** realizaron la estimación del indie de calidad ambiental de la ciudad de Uberlândia del estado de Minas Gerais – Brasil, a través de imágenes satelitales tuvieron como objetivo desarrollar y probar un método de estimación de calidad ambiental usando cuatro indicadores ambientales derivados de imágenes satelitales para la cuidad de Uberlândia/MG que fueron, TS (Temperatura superficial), NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada), SAVI (Índice de Vegetación Ajustado al Suelo) y NSI (Índice de Diferencia Normalizada de Suelo). Para esto fueron utilizados para determinar la TS una imagen del satélite Landsat 8, correlacionando con los Índices NDVI, SAVI y NSI obtenidos de una imagen del Sentinel-2A, procesados en el SIG ILWIS 3.4. Los resultados muestran que NDVI y SAVI están correlacionados uno con el otro, en tanto NSI y TS son correlacionados con las áreas de mayor proporción construcción antrópica. A pesar de que la

calidad ambiental sea determinada por un gran número de variables, los datos obtenidos mediante teledetección muestran potencialidad en la estimación de índices de calidad ambiental, siendo una herramienta de rápido acceso para obtener informaciones espaciotemporales de los factores ambientales urbanos, pudiendo contribuir a la planificación y aplicación de las políticas públicas.

Yengle Ruiz (2020)**;** determino la Calidad ambiental urbana en capitales de las provincias peruanas, el objetivo fue determinar los componentes principales e índices sintéticos de la calidad ambiental urbana (ISCAU) para las capitales de provincias peruanas, aplicando el análisis estadístico de componentes principales (ACP). Se identificaron nueve indicadores factibles de obtener de fuentes oficiales como el Ministerio del Ambiente (MINAM) y el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). Los componentes principales obtenidos son: (1) calidad ambiental dentro de la vivienda y (2) calidad ambiental fuera de la vivienda. Los indicadores del componente 1 son los porcentajes de: viviendas sin predominio de piso de tierra, viviendas con agua dentro, viviendas con servicios higiénicos, población urbana, familias que cocinan a gas, viviendas con alumbrado eléctrico. Los indicadores del componente 2 son: número de barredores por diez mil habitantes, áreas verdes conservadas per cápita y número de compactadoras, camiones o volquetes por 100 mil habitantes. Se obtuvieron los ISCAU para las ciudades estudiadas ubicándose en los tres primeros lugares: Arequipa (116,19), Trujillo (101,11), Chiclayo (94,03) y en los tres últimos lugares: Virú (48,78), Ilave (42,87) y Huamachuco (38,30). No se consideró un indicador de calidad del aire de las ciudades debido a que no se disponía de esta información para la gran mayoría de las ciudades estudiadas.

Tello-Cifuentes & Díaz-Paz (2021)**;** realizaron el Análisis de la contaminación ambiental usando técnicas de teledetección y análisis de componentes principales en la ciudad de Medellín - Colombia, con el objetivo de presentar una metodología para el análisis de la contaminación ambiental en Medellín, usando técnicas de percepción remota, imágenes Landsat 7 y 8 y variables de calidad del aire. La metodología estuvo compuesta por cuatro etapas: i. Preprocesamiento de imágenes, ii. Procesamiento de imágenes, cálculo de los índices de temperatura de la superficie *(TS)*, índice de vegetación normalizado *(NDVI)*, índice de vegetación ajustado al suelo transformado *(TSAVI)*, índice de diferencia normalizada del agua *(NDWI)* y el índice normalizado del suelo *(NSI)*, iii. Interpolación de variables de calidad del aire, Material Particulado *(PM_{10})*, Material Particulado *($PM_{2.5}$)*, Dióxido de Nitrógeno *(NO_2)* y Ozono *(O_3)*; y, iv. Análisis de componentes principales. A partir de las técnicas aplicadas combinadas se estimó el primer componente principal, el cual contenía el 90 % de variación de la información, se obtuvo un mapa de calidad ambiental que permitió identificar que los focos de contaminación se presentan en sectores con poca cobertura de vegetación, gran cantidad de construcciones y gran flujo vehicular. Por otro lado, las zonas con calidad de aire bueno fueron sectores que presentan una mayor cobertura de vegetación, por lo general ubicados en los extremos de la ciudad y de estrato socioeconómico 4, 5 y 6. Este mapa pudo ser insumo en la oportuna toma de decisiones en cuanto a la planificación urbana, permitiendo la pronta intervención en las zonas donde la calidad ambiental es deficiente.

Palaquibay et al., (2023); realizaron un estudio sobre los Indicadores de calidad ambiental urbana a partir de imágenes de satélite en la ciudad de Riobamba - Ecuador, con el objetivo de estimar el Índice de Calidad Ambiental Urbano utilizando técnicas de percepción remota e imágenes Landsat 8. La metodología empleada constó de cuatro etapas: i. Preprocesamiento de imágenes, incluyendo

correcciones geométricas y radiométricas; ii. Cálculo de índices ambientales, obteniendo el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), índice de diferencia normalizada de suelos (NSI), índice de diferencia normalizada del agua (NDWI), índice de vegetación ajustado al suelo transformado (TSAVI) y temperatura de superficie (TS); iii. Análisis estadístico, donde se aplicaron modelos como ANOVA y análisis de correlación para evaluar la relación entre los índices y el entorno urbano; y, iv. Clasificación del Índice de Calidad Ambiental Urbano, mediante escalas arbitrarias máximas y mínimas. Como resultado, se determinó que el Índice de Calidad Ambiental de Riobamba es de 2,78, categorizado como regular. Se identificó que las áreas con mayor cobertura vegetal presentaban mejores condiciones ambientales, mientras que las zonas con predominio de superficies construidas y escasa vegetación reflejaban una calidad ambiental más baja. Este índice puede servir como insumo para la planificación urbana, permitiendo intervenciones oportunas en zonas donde la calidad ambiental es deficiente.

2.4. HIPÓTESIS

a. HIPÓTESIS GENERAL

"La aplicación de técnicas de teledetección, mediante el cálculo del índice ambiental a partir de imágenes Sentinel-2 e integrados con análisis multivariante mejora significativamente la precisión y reduce los costos de la estimación y clasificación espacial de la calidad ambiental urbana en la ciudad del Cusco, constituyéndose en una herramienta indispensable para la gestión ambiental"

2.5. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES E INDICADORES

2.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE

- Índice de calidad ambiental de la ciudad del Cusco

2.5.2. VARIABLES INDEPENDIENTES

- Uso de suelo urbano
- Índices espectrales

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

La operacionalización de las variables en este estudio se diseñó siguiendo la estructura propuesta por (Hernández Sampieri & Mendoza Torres, 2023), que contempla la identificación de las variables clave del estudio, la definición de sus respectivos indicadores y la determinación de las unidades de medida correspondientes. La **Tabla 2** presenta la operacionalización aplicada en este trabajo.

Tabla 2. Operacionalización de variables

Variables	Indicadores	Unidad de medida
Índice de calidad ambiental	Escala categórica de calidad ambiental: - Muy deficiente - Deficiente - Regular - Buena - Muy buena	- Valor ponderado de análisis de componentes principales
Uso de suelo urbano	Clases de suelos urbanos: - Habitacional 1 - Habitacional 2 - Habitacional 3 - Vegetación 1 (Matorral, Cultivos y Pastizal) - Vegetación 2 (Bosques y Plantaciones)	- Categoría vectorial
Índices espectrales	NDVI, NSI, TSAVI, NDWI, LWCI, TS, BU	- Adimensional

Nota: Adaptado en base a Hernández Sampieri & Mendoza Torres (2023)

La variable *Índice de calidad ambiental urbano* (ICAU) se construyó como un índice sintético derivado de seis índices espectrales (NDVI, NSI, TSAVI, NDWI, LWCI y TS). Estos índices fueron calculados mediante técnicas de teledetección, normalizados y posteriormente sometidos a un **Análisis de Componentes Principales (PCA)**. A partir de los componentes obtenidos, se estableció una escala categórica de cinco niveles: muy deficiente, deficiente, regular, buena y muy buena. La unidad de medida asociada es un **valor ponderado** resultante del análisis multivariado, que expresa de manera integrada la calidad ambiental.

La variable *Uso de suelo urbano* se determinó mediante una **clasificación supervisada** sobre imágenes de alta resolución y cartografía catastral, complementada con controles de campo. Las clases de uso del suelo fueron codificadas como categorías vectoriales, empleadas para el análisis espacial y la evaluación de su relación con el ICAU.

Finalmente, los *índices espectrales* considerados en este estudio —NDVI, NSI, TSAVI, NDWI, LWCI y TS— se calcularon a partir de imágenes Sentinel-2, procesadas en software especializado de análisis geoespacial. Estos índices son variables **adimensionales**, expresadas en escalas normalizadas que permiten su comparación y combinación en el modelo sintético del ICAU.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO: LOCALIZACIÓN POLÍTICA Y GEOGRÁFICA

El ámbito de estudio correspondió a la **ciudad** del Cusco que **políticamente** se encuentra dentro de la provincia del Cusco, que a su vez tiene 8 distritos: Cusco, Santiago, San Sebastián, Wanchaq, San Jerónimo, Saylla, Ccorcca y Poroy, todo ello en el centro sur del país Perú. La ciudad del Cusco se representó con el polígono de color amarillo que se observa en el mapa siguiente, el cual delimitó el área urbana continúa caracterizada por la conectividad funcional entre actividades económicas, sociales y culturales. Esta conectividad se expresó en la integración espacial y en los flujos cotidianos que articulan la vida urbana. Por este motivo, el ámbito de estudio abarcó los distritos de **Cusco, Santiago, San Sebastián, Wanchaq, San Jerónimo**, así como una pequeña parte de **Saylla** y **Poroy**, en función de la continuidad urbana y de las dinámicas territoriales observadas.

Los limites políticos de la **ciudad** del Cusco fueron:

- Por el **norte** : Distritos de Cusco, San Sebastian y Saylla
- Por el **sur** : Distritos de Santiago, San Sebastian y Saylla
- Por el **este** : Distrito de Saylla
- Por el **oeste** : Distritos de Santiago y Poroy

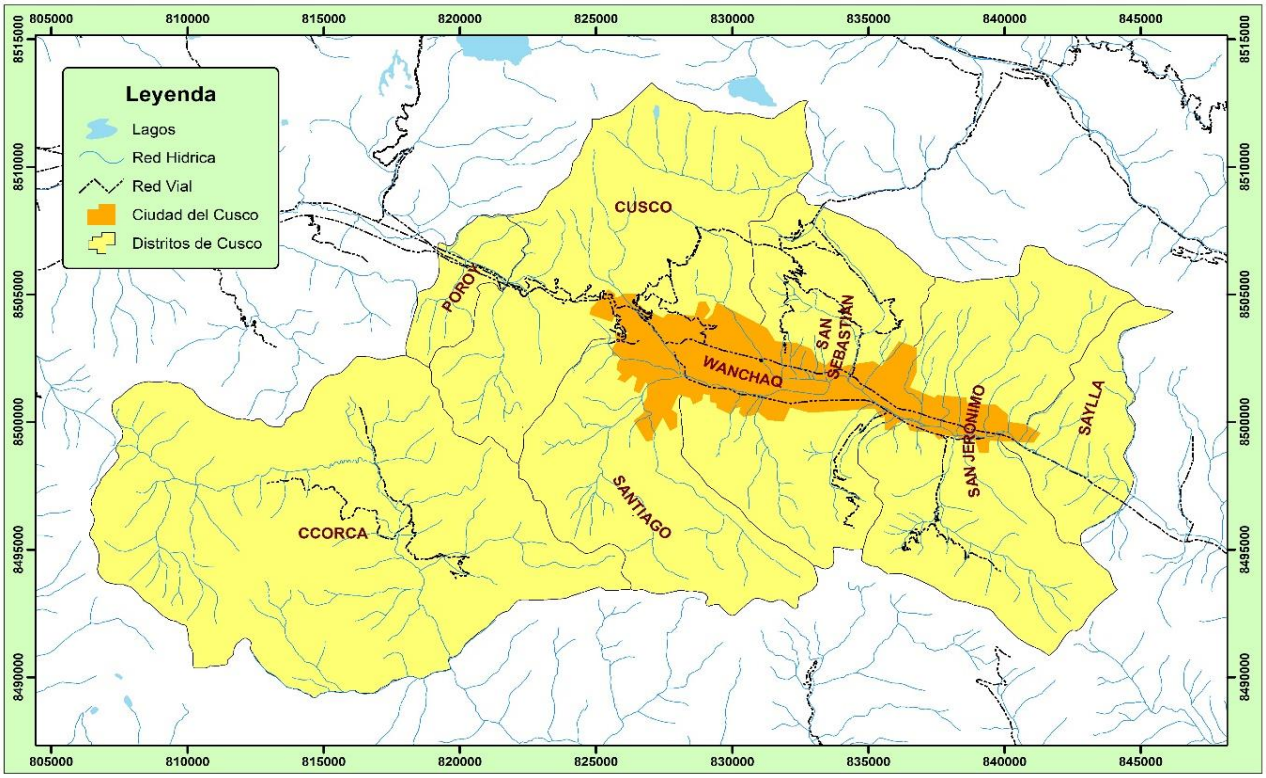
En cuanto a la ubicación **geográfica** se detalla en la siguiente tabla y mapa, el cual indica que el área de estudio se encuentra georreferenciada en el sistema de coordenadas **UTM**, utilizando como datum geodésico el **WGS 1984**, comprendida entre las zonas **18 y 19 Sur**, en la banda **L**; esta delimitación se ha realizado con base en la carta nacional del **INGEMMET**, garantizando precisión cartográfica. Al ser un polígono se utilizaron limites en los ejes de las abscisas y ordenas para describir la variación de la latitud y longitud, de la misma manera se colocó la variación de la altitud desde el punto mas bajo hasta el punto mas alto.

Tabla 3. Ubicación geográfica

Sistema de coordenadas UTM	
Datum	WGS 1984
Zona	18 y 19
Banda	L
Hemisferio	Sur
Intervalo latitud (coordenada X)	806409.75 - 846184.75 m
Intervalo longitud (coordenada Y)	8513300 - 8489199 m
Intervalo altitud (coordenada Z)	3138 – 3700 m

Nota: Elaboración propia en base a la carta nacional (INGEMMET)

Figura 3. Mapa de ubicación geográfica de la ciudad del Cusco



Nota: Elaboración propia en base a la carta nacional (INGEMMET)

En cuanto a la ubicación hidrográfica, El ámbito de estudio se sitúa en la cuenca del **río Huatanay**, sistema hidrográfico que estructura el drenaje natural de la ciudad del Cusco. Esta cuenca forma parte del sistema del **río Vilcanota-Urubamba**, el cual, a su vez, integra la gran cuenca del **Amazonas**, una de las más importantes del planeta (Autoridad Nacional del Agua, 2012).

El río Huatanay fluye en sentido general **sureste a noroeste** a través del valle del Cusco, recibiendo el aporte de diversos afluentes secundarios y configurando una red hidrográfica altamente condicionada por la geomorfología local y los procesos

de urbanización (Autoridad Nacional del Agua, 2012), en donde se desarrolló la ciudad del Cusco.

Desde una perspectiva hidrográfica, considerando la convención de observación de la corriente **aguas abajo** (Pfafstetter, 1989), se emplaza en la cuenca del **río Huatanay**, que estructura la red hidrográfica principal de la ciudad del Cusco. Esta cuenca, integrante del sistema del **río Vilcanota-Urubamba**, drena hacia la cuenca amazónica (Autoridad Nacional del Agua, 2012). El río Huatanay fluye en dirección **sureste a noroeste**, configurando un corredor fluvial urbano que recibe el aporte de numerosos afluentes menores. Su dinámica hidrográfica está condicionada por el relieve y la configuración geomorfológica del valle del Cusco.

El ámbito de estudio se emplaza en la cuenca del **río Huatanay**, que configura la red hidrográfica principal de la ciudad del Cusco. Esta cuenca pertenece al sistema del **río Vilcanota-Urubamba**, que a su vez integra la macrocuenca amazónica (Autoridad Nacional del Agua, 2012). El río Huatanay fluye predominantemente en dirección **sureste a noroeste**, articulando el drenaje urbano y recibiendo aportes de numerosos afluentes menores.

Desde la perspectiva hidrográfica, y siguiendo el sistema de observación aguas abajo (Pfafstetter, 1989), el valle del Cusco presenta laderas claramente diferenciadas que estructuran los procesos de escorrentía y modelado geomorfológico. La **ladera sur-sureste** corresponde a las **montañas de Vilcaconga**, parte de la **Cordillera Oriental de los Andes peruanos**, con altitudes que oscilan entre los 4 000 y 4 365 metros. Esta divisoria orográfica separa las cuencas del río Huatanay, Apurímac y Vilcanota, y da origen a tributarios como los ríos **Huancaro**, **Choco**, **Huamancharpa**, **Kayra** y **Rinconada** (IGN), s/f). La **ladera noroeste** está conformada por las estribaciones de las **montañas de Picchu** y el macizo del **Pachatusán**, que delimitan geomorfológicamente la cuenca del Huatanay respecto a cuencas vecinas. Desde estas laderas descienden tributarios

urbanos importantes como los ríos **Saphy** y **Tullumayu**, que drenan sectores densamente urbanizados del centro histórico de Cusco (Instituto Geológico, 2010).

Por último, el fondo del valle del Cusco muestra relieves de tipo **mesetas y penillanuras intravalle**, como la **meseta de Huaccoto**, las lomas de **Sacsayhuamán** y la zona de **Ocjopata**, con altitudes entre los 3 700 y 4 200 metros. Estas unidades geomorfológicas, de origen estructural y aluvial, juegan un rol importante en la dinámica sedimentaria y en la regulación temporal de las aguas pluviales (Pulgar Vidal, 1946; Ortiz, 2008).

De acuerdo con la **clasificación jerárquica de cuencas propuesta por Pfafstetter (1989)** — sistema adoptado oficialmente por la **Autoridad Nacional del Agua** en Perú —, la cuenca del río Huatanay corresponde a la **cuenca hidrográfica identificada con el código 8.1.1.1**, dentro de la unidad hidrográfica del río Vilcanota-Urubamba (Autoridad Nacional del Agua, 2012).

Tabla 4. Clasificación de la cuenca del Huatanay metodología O. Pfafstetter

Nivel Pfafstetter	Código ANA	Unidad hidrográfica	Descripción
Nivel 1	8	Cuenca del Amazonas	Macrocuenca que drena hacia el Océano Atlántico.
Nivel 2	8.1	Cuenca del Ucayali	Subcuenca del sistema amazónico peruano.
Nivel 3	8.1.1	Cuenca del río Vilcanota-Urubamba	Cuenca andina principal que forma parte del sistema del Ucayali.
Nivel 4	**8.1.1.1**	**Subcuenca del río Huatanay**	**Subcuenca que drena el valle de Cusco, corresponde al ámbito urbano del estudio.**
Nivel 5	8.1.1.1.1, 8.1.1.1.2, etc.	Microcuencas y subcuencas del río Huatanay	Microcuencas urbanas y periurbanas que alimentan directamente al río Huatanay, incluyendo afluentes como Saphy, Tullumayu, entre otros.

Nota: Elaboración propia en base al ANA 2015

La comprensión detallada de la configuración hidrográfica resulta clave en el contexto de esta investigación, pues la dinámica hídrica influye de manera directa sobre la calidad ambiental urbana, particularmente en aspectos como el manejo de aguas pluviales, los procesos erosivos, y la calidad del agua en los cuerpos receptores.

3.2. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

De acuerdo con el objetivo planteado en este estudio, la investigación se enmarca dentro del enfoque aplicado. Asimismo, el nivel de análisis adoptado fue de carácter descriptivo y explicativo, permitiendo interpretar fenómenos específicos a partir de la observación sistemática y el análisis de patrones espaciales.

3.3. UNIDAD DE ANÁLISIS

La presente investigación tomó como unidad de análisis los datos obtenidos a partir de imágenes satelitales que cubren la totalidad del área urbana de la ciudad del Cusco. Dichas imágenes fueron evaluadas en función de su resolución espacial y valores de reflectancia, utilizando como unidad de medida el píxel.

3.4. POBLACIÓN DE ESTUDIO

La población de estudio comprende todos los píxeles de 10 m contenidos en el perímetro urbano oficial de la ciudad del Cusco—distritos de Cusco, Santiago, San Sebastián, Wanchaq, San Jerónimo y las zonas urbanizadas de Saylla y Poroy. Dentro de esta superficie se distinguen **factores abióticos** (atmósfera, suelo, cuerpos de agua e infraestructura urbana, documentados con ráster Sentinel-2 y capas vectoriales de hidrografía, límites político-administrativos, topografía, catastro urbano 2025 y uso del suelo) y **factores bióticos** (cobertura vegetal y otros elementos de biodiversidad urbana, extraídos del mismo análisis de imágenes y de las capas de información ambiental).

3.5. TAMAÑO DE MUESTRA

El estudio consideró como muestra la totalidad del ámbito geográfico correspondiente a la ciudad del Cusco. Esto se debió a que se contó con acceso completo a los datos requeridos para el análisis, lo cual permitió examinar el conjunto del área sin restricciones, en consonancia con los lineamientos metodológicos establecidos.

3.6. TÉCNICAS DE SELECCIÓN DE MUESTRA

Dado que la investigación se basó en el análisis de datos de cobertura completa y no requirió una muestra representativa convencional, no se aplicó ninguna técnica de selección muestral específica. Esta decisión metodológica se justificó por la naturaleza del enfoque y la disponibilidad total de información.

3.7. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

La obtención de datos para este estudio se realizó principalmente a partir de fuentes abiertas de acceso libre, como las plataformas de datos de observación terrestre (por ejemplo, el USGS), complementadas con información obtenida mediante autorización institucional (gobiernos locales) y registros obtenidos mediante vuelos de dron para validación en campo.

- Se utilizaron imágenes satelitales del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) captados por sensores remotos espaciales en distintos tiempos, descargados digitalmente a un ordenar para su análisis respectivo.
- Se colecto y/o levanto información vectorial a través de un GPS de mano para complementar la información cartográfica base que se tiene del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico del Perú.
- Se utilizo información catastral de la ciudad del Cusco, obtenida de los gobiernos locales involucrados y otras instituciones que manejan esta información.
- Se levanto información fotogravimétrico a través de un vehículo aéreo no tripulado o sistema de aeronave piloteada a distancia (*RPAS*) comúnmente denominado "*Drone*" o "*Dron*", a fin de completar o tener mayor detalle sobre el catastro de la ciudad del Cusco.

3.7.1. EQUIPOS

Los equipos que se utilizaron en la presente tesis para la recolección de datos fueron:

- El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) *Garmin Montana 700*
- RPAS (*Drone) DJI Mavic 2 Pro*
- Contador de partículas (Pm2.5 y Pm10) *Hti modelo HT-9600*
- Binoculares *Vortex Prismáticos Crossfire HD CF-4311*
- Cámara fotográfica réflex *Nikon D5200, Nikon D7500, objetivo 10-20 mm*
- Grabadora de sonido *Sony*
- Laptop *Asus ROG Strix G16*
- Camioneta *Nissan Xtrail*

3.7.2. MATERIALES E INSUMOS

Los materiales e insumos que se utilizaron en la presente tesis para la recolección de datos fueron:

- Carta nacional escala 1:100 000 / 1:50 000 / 1:25 000
- Imágenes satelitales *Sentinel-2*
- Planos catastrales de los gobiernos locales
- Libreta de notas
- Mapas de campo
- Aerofotografías

3.7.3. SOFTWARES

Los softwares (paquetes informáticos) que se utilizaron en la presente tesis para para sistematización y análisis de la información fueron:

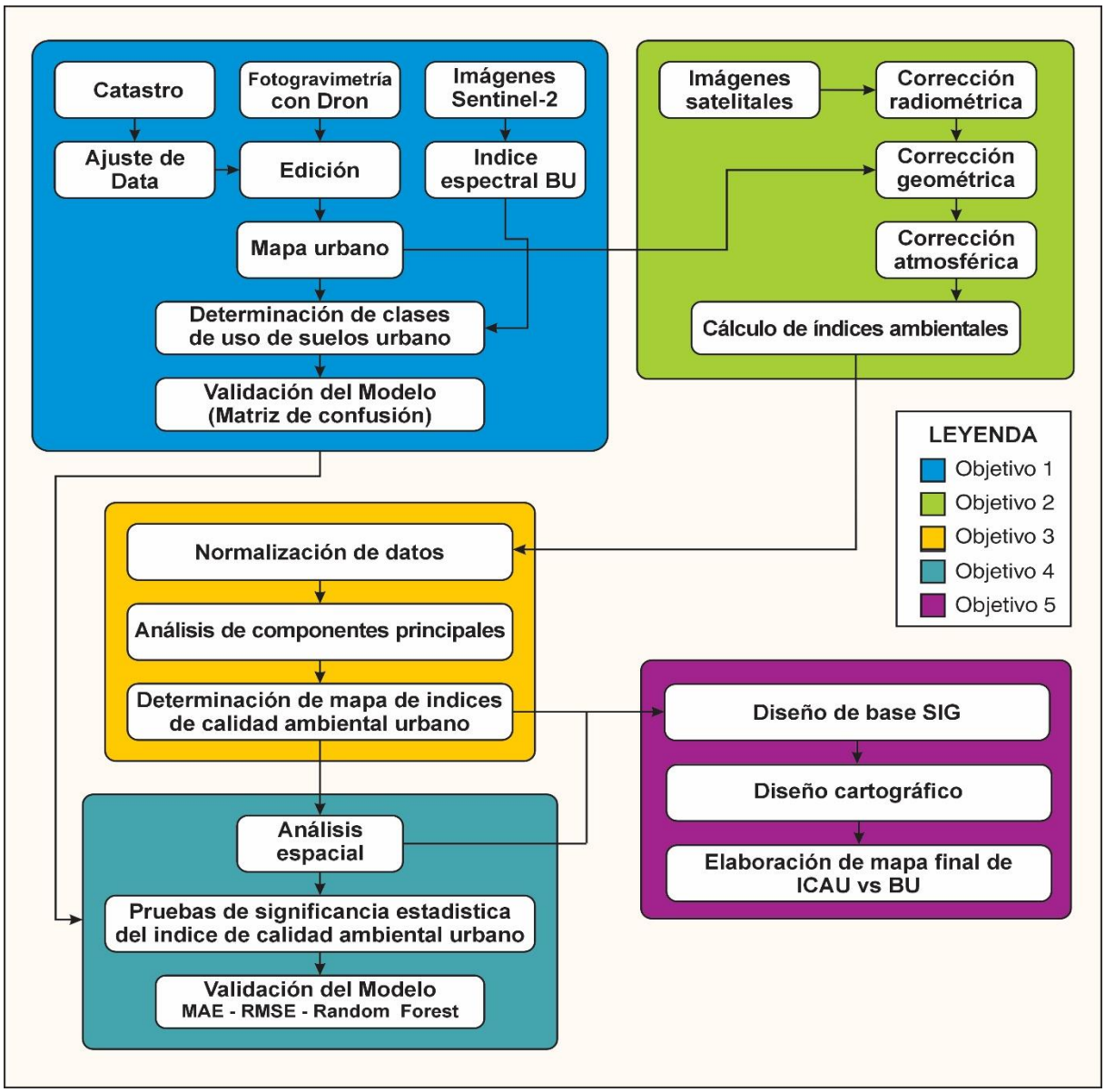
- ArcGIS Pro 3.1
- Envi
- GoogleEarth Pro y Studio
- Ms Office 360 LTSC
- Corel Draw 2024

- ❖ AutoCad 2024
- ❖ R & R - Studio
- ❖ InfoStat
- ❖ Drone Deploy
- ❖ Pix4D

3.8. TÉCNICAS DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Para alcanzar los objetivos propuestos se planteó la siguiente metodología.

Figura 4. Esquema del procedimiento metodológico



Nota: Elaboración propia

A continuación, se describe detalladamente cada una de las etapas que aparecen en la anterior figura.

3.8.1. DETERMINACIÓN DE LAS CLASES DE USO DE SUELO URBANO

Para la determinación de las clases de uso de suelo se procedió con la revisión y obtención de información primaria.

3.8.1.1. CATASTRO DE LA CIUDAD DEL CUSCO

Para la obtención del catastro se solicitó a la Municipalidad Provincial del Cusco, a la gerencia de Centro Histórico una versión actualizada para la ciudad del Cusco, luego al revisar esta información se identificaron sectores incompletos, entonces se recurrió a los municipios distritales a través de sus áreas competentes para requerir esta información y así completar esta información.

La información del catastro estuvo en formato *.dwg* (archivo vectorial de AutoCAD), el mismo que fue transformado a un vector de formato *.shp* (Shapefile) compatible con los *softwares* de análisis espacial que se utilizaron posteriormente, consecuentemente se definió el sistema de coordenadas UTM (Datum WSG 1984) en función de la base de datos de las cartas nacionales. Finalmente se obtuvo el primer mapa base que sirvió para la colecta de datos en campo.

3.8.1.2. COLECTA DE DATOS

En función del mapa base, se ejecutaron los trabajos de campo (*in-situ*) levantando información de algunos detalles cartográficos inexistentes en el catastro señalados en el mapa base, esta información fue necesaria para la clasificación de uso de suelo urbano. Para dicha actividad se utilizaron: un Sistema de Posicionamiento Geográfico (GPS) y un Sistema de aeronave piloteada a distancia (RPAS o *Drone*). En el caso del Sistema de Posicionamiento Geográfico (GPS) cada *waypoint*, o *route* colectado tuvo una descripción de datos necesarios que fueron tabulados en una tabla de atributos adjuntados a los vectores (*shapefiles*) mediante el uso del software ArcGIS.

En el caso del Sistema de aeronave piloteada a distancia (RPAS o *Drone*) voló sobre los sectores con información inexistente, programándose un vuelo planificado sobre el mismo con el uso de la aplicación Drone Deploy, las aerofotos obtenidas y los metadatos fueron importadas al *software* Pix4D, ahí se creó una nube de puntos y una malla sobre la cual las aerofotos se modelaron para obtener un mosaico 3D georreferenciado. Sobre este producto se vectorizo la información requerida para la clasificación de uso de suelo urbano. Toda la información generada fue compilada en una base de datos SIG.

3.8.1.3. IMÁGENES BING MAPS

Para tener una mejor descripción y detalle del catastro se construyó una base de una imagen satelital en composición real mediante un mosaico de imágenes satelitales a través del servidor de Bing Maps, la imagen cubrió todo el ámbito de estudio. Este insumo también fue de gran ayuda para poder contrastar la información recogida *in-situ*, el catastro ajustado y tener una mayor precisión de la base cartográfica obtenida.

3.8.1.4. MAPA URBANO

A partir de toda la base de datos SIG compilada se editó un mapa urbano, con el detalle manzanas, y distritos que circunscriben la ciudad del Cusco, así como también el área de influencia directa de la presente tesis todo ello fue con el uso del software del ArcGIS.

3.8.1.5. CLASES DE USO DEL SUELO URBANO

Para determinar las clases de uso de suelo se utilizó un índice espectral sobre la cual se realizó la clasificación supervisada para obtener el mapa de uso de suelo urbano.

3.8.1.5.1. INDICE DE ÁREA CONSTRUIDA – BU

Para el cálculo del índice de área construida se utilizó el índice BU (*Build-Up Index*) (He et al., 2010), que permitió analizar el área construida de la ciudad del Cusco. El mismo utiliza como datos de entrada el NDVI (Índice de Vegetación) Estandarizado y el NDBI (Índice de Áreas Construidas Estandarizado) siendo el primero de ellos determina la cantidad y la calidad de la vegetación y el segundo índice establece las áreas construidas según la proporción de construcción en cada píxel (F. León, 2016).

La estimación del índice BU se basa en el cálculo aritmético de tres bandas de las imágenes satelitales escogidas: Rojo (R), Infrarrojo Cercano (NIR), Infrarrojo Medio (MIR), a través de la diferencia entre el NDBI y el NDVI (Varshney & Rajesh, 2014). Dando como resultado un mapa continuo de áreas construidas en el que se representan las distintas proporciones de edificación y vegetación en cada píxel, es decir, a mayor valor de índice la construcción es más densa y posee menor proporción de área verde (F. León, 2016).

Ecuación 2. Cálculo del BU

$$BU = NDBI - NDVI$$

Donde:

- NDBI : Es el índice de Diferencia Normalizada Edificada
- NDVI : Es el índice de vegetación de diferencia normalizada

Para el cálculo del NDBI se utilizó la siguiente ecuación.

Ecuación 3. Cálculo del NDBI

$$NDBI = \frac{MIR - NIR}{MIR + NIR}$$

Donde:

- MIR : Es la reflectividad en el infrarrojo medio
- NIR : Es la reflectividad en el infrarrojo cercano

3.8.1.5.2. CLASIFICACIÓN SUPERVISADA

La clasificación de imágenes satelitales requiere la captura manual de "clases" que representan a cada uno de los posibles temas objeto de estudio en las imágenes, lo que requiere que el experto sea capaz de capturar y reconocer patrones e identifique píxeles que determinen dichas clases o áreas de entrenamiento (Chuvieco, 1996).

Para tal fin se utilizó la herramienta Máxima probabilidad (*maximun likelihood*) en el que se usa un algoritmo paramétrico que asume una distribución estadística particular para las clases consideradas; comúnmente se usa la distribución Gaussiana para formular las reglas de decisión en la categorización de los píxeles (F. León, 2016) la misma que se basa en el teorema de Bayes. Esta ecuación se utiliza en el contexto del análisis estadístico multivariado, particularmente en modelos de clasificación supervisada como el análisis discriminante o los clasificadores Bayesianos, donde se requiere estimar la verosimilitud de que un vector x pertenezca a una clase específica. El enfoque *Maximum Likelihood* (Máxima Verosimilitud) permite estimar parámetros del modelo que maximizan la probabilidad de observar los datos dados.

Ecuación 4. Maximum likelihood basado en el teorema de bayes

$$f_i(x) = ln\left|\sum i\right| - (x-m)^t \sum_{i}^{-1}(x-m_i)$$

Donde:

- $\boldsymbol{f_i(x)}$**:** Es la función de verosimilitud para la clase i, evaluada en el punto x representa cuán probable es que el vector x pertenezca a la clase i bajo el modelo propuesto.
- $\boldsymbol{x}$**:** Es el vector de características o variable de entrada que se está evaluando (puede representar un píxel, un individuo, una observación, etc.).

- $\boldsymbol{m}$**:** Es el vector de medias generales del conjunto de datos o del grupo de referencia, dependiendo del contexto.
- $\boldsymbol{m_i}$**:** Es el vector de medias correspondiente a la clase i, es decir, la media de todas las observaciones pertenecientes a dicha clase.
- $\boldsymbol{i}$**:** es el índice que recorre las distintas clases en el conjunto de datos. También podría referirse a la etiqueta o categoría que representa cada clase si el contexto está en clasificación supervisada.
- $\boldsymbol{t}$**:** Es la transposición del vector (x−m). Indica que este vector se reorienta para cumplir con las reglas del producto matricial.

Donde a cada píxel desconocido se le asigna a una clase, de acuerdo a un criterio Gaussiano de probabilidad, midiendo la probabilidad de que un píxel esté contenido en alguna de las clases, una para cada clase espectral (F. León, 2016).

Se utilizó el software QGIS junto con el plugin Semi-Automatic Classification (SCP), donde se generó un archivo vectorial de tipo *shapefile* para delinear polígonos correspondientes a las áreas de entrenamiento de cada clase visual identificada. Posteriormente, se solicitó a la aplicación que realizara la clasificación en toda la imagen de BU basada en estos polígonos.

Para el desarrollo de esta técnica en la presente investigación, se realizaron básicamente cuatro etapas (F. León, 2016)

i. Selección de las clases de entrenamiento, según el criterio y conocimiento del área.
ii. Evaluación de las clases de entrenamiento, para lo cual se realizó una verificación parcial en campo y se complementó con el uso de otros recursos de información que fueron ortofotos producto de levantamiento fotogravimétrico que se realizó con el *drone*.
iii. Determinación de las clases definitivas.

iv. Clasificación de la imagen del BU con las áreas de entrenamiento definitivas.

En cuanto al criterio para la determinación de las clases definitivas, se tomó como referencia la metodología planteada por (Luis Marino et al., 2010) quien indica construir polígonos catastrales agrupando los lotes por barrios o urbanizaciones de acuerdo a ciertas características, para así tener la clasificación de uso de suelo urbano, a este criterio se le incrementaron algunas clases de acuerdo al contexto de la ciudad del Cusco, las clases definitivas fueron.

Tabla 5. Clases de uso de suelo urbano

Código	Clase de Uso del Suelo	Descripción
H1	Habitacional 1	Alta densidad de construcciones.
H2	Habitacional 2	Media densidad de construcciones.
H3	Habitacional 3	Baja densidad de construcciones.
V1	Vegetación 1	Baja, media o escasa vegetación compuesto por matorral, área de cultivo, pastizal y áreas con vegetación escasa.
V2	Vegetación 2	Alta densidad de vegetación como Bosques y plantaciones

Nota: Modificado en base a lo propuestos por (Luis Marino et al., 2010)

(*) Estas clases fueron agregadas usando criterios propios para el presente proyecto de tesis de acuerdo al contexto de la ciudad del Cusco

Una vez clasificados la imagen de BU se pasó a formato vectorial a través de polígonos con el uso del software ArcGIS, luego se procedió a editar el mapa de Clases de Uso de Suelo Urbano para la ciudad del Cusco y calcular el porcentaje de ocupación para cada unidad resultante.

3.8.1.5.3. VALIDACION EN CAMPO

Para la validación del modelo, se seleccionaron 20 puntos de muestreo por cada categoría, sumando un total de 100 puntos. Esta cantidad se determinó siguiendo

recomendaciones que sugieren un mínimo de 20 a 30 puntos por categoría en estudios de áreas urbanas con categorías bien definidas (Congalton & Green, 2019). La selección de puntos se realizó mediante un muestreo aleatorio estratificado, asegurando una representación proporcional de cada categoría en función de su extensión en el área de estudio.

Se realizaron visitas in situ a cada uno de los puntos seleccionados, utilizando dispositivos GPS para una georreferenciación precisa. En cada punto, se empleó una ficha de campo diseñada para registrar:

- **Ubicación geográfica** (coordenadas UTM).
- **Categoría de uso del suelo** según el modelo inicial.
- **Categoría observada en campo**, basada en las características reales del sitio.

Además, se tomaron fotografías georreferenciadas para complementar las observaciones. Esta metodología permitió contrastar las categorías asignadas en el modelo con las observaciones directas en el terreno.

Los datos recolectados se compararon con el modelo inicial mediante una matriz de confusión, herramienta que permite evaluar la precisión de las clasificaciones al mostrar las concordancias y discrepancias entre las categorías predichas y las observadas (Stehman, 1997). Se calcularon métricas como la precisión global y los errores de omisión y comisión para cada categoría. Adicionalmente, se utilizó el índice Kappa de Cohen (Cohen, 1960) para medir el grado de concordancia entre el modelo y las observaciones de campo, ajustando por el acuerdo que podría ocurrir por azar (Olofsson et al., 2014). Este índice proporciona una evaluación más robusta de la precisión del modelo. En caso de discrepancias significativas, se realizaron ajustes al modelo para mejorar su exactitud y representatividad.

Una vez ajustado, el modelo validado se empleó para analizar los patrones espaciales del uso del suelo en la ciudad del Cusco, proporcionando una base sólida para la construcción de un índice de calidad ambiental a través de índices espectrales.

3.8.2. CÁLCULO DE LOS ÍNDICES AMBIENTALES A PARTIR DE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN

Para el cálculo de los índices ambientales a través de las técnicas de teledetección se realizaron los siguientes métodos.

3.8.2.1. IMÁGENES SATELITALES

La Agencia Espacial Europea (ESA) desarrolló un portal que brinda acceso gratuito a las imágenes del satélite Sentinel-2. Una vez que el usuario fue registrado en el portal Copernicus Open Access Hub de la ESA, se llevaron a cabo los siguientes pasos:

- Se definió el área de interés utilizando un archivo KML que mostró los límites de la ciudad de Cusco.
- A continuación, se procedió a la búsqueda de las imágenes en función de la fecha (2023), el porcentaje de nubosidad (ideal 10%), y se seleccionaron aquellas del nivel 2A.
- Posteriormente, se visualizó que las imágenes cumplían con los requerimientos, y luego se empaquetaron para su descarga, incluyendo todas las bandas ofrecidas por la ESA.
- Finalmente, las imágenes fueron almacenadas en formato comprimido, listas para su procesamiento posterior.

3.8.2.1.1. CORRECCIÓN DE IMÁGENES SATELITALES

Una vez obtenidas las imágenes satelitales se procedió a desempaquetar los archivos comprimidos para someterlos a los siguientes procesos fundamentales:

3.8.2.1.1.1. CORRECCIÓN RADIOMÉTRICA

- **PÍXELES O LINEAS PERDIDAS**

  En el proceso de corrección radiométrica, los valores digitales (ND) asignados a píxeles reubicados fueron determinados utilizando el algoritmo del vecino más próximo. Este método fue elegido por su capacidad para conservar, en gran medida, los valores originales, minimizando alteraciones en la información espectral. Los ND correspondientes a las bandas espectrales no térmicas fueron transformados a unidades de radiancia a nivel del sensor y, posteriormente, a valores de reflectancia, siguiendo los lineamientos establecidos por el *Sentinel Users Handbook* (U.S. Geological Survey, 2019).

- **BANDEADO**

  El fenómeno de bandeado, atribuido principalmente a discrepancias en la calibración entre los detectores de un sensor satelital, se manifiesta comúnmente en áreas con baja señal radiométrica. Para corregir este defecto, se ajustaron los histogramas parciales de cada detector, lo que permitió igualar tanto el valor medio como la desviación estándar a lo largo de toda la banda k. Inicialmente, se calcularon los coeficientes a_k y b_k, necesarios para aplicar una corrección lineal individualizada a cada detector involucrado. para una correlación lineal de cada uno de los detectores (U.S. Geological Survey, 2019).

Ecuación 5. Cálculo de coeficientes a_k y b_k

$$b_k = \frac{s}{s_k}$$

$$a_k = m - b_k m_k$$

Donde:

- s : Desviación estándar de la imagen satelital
- s_k : Desviación estándar del detector k
- m : Media de la imagen satelital
- m_k : Media de la imagen del detector k

Finalmente se procedió con el recalculo de los ND de la imagen a través de la siguiente ecuación.

Ecuación 6. Recálculo de los ND

$$ND'_{i.j} = a_k + b_k ND_{i.j}$$

Donde:

- $\boldsymbol{ND'_{i.j}}$: Es el nuevo valor normalizado o recalculado del índice en la posición (i,j) del raster (fila i, columna j).
- $\boldsymbol{ND_{i.j}}$**:** Es el valor original del índice (por ejemplo, NDVI) en la misma posición (i,j).
- $\boldsymbol{a_k}$**:** Es el término independiente de la recta de transformación lineal, propio del componente k. Representa un desplazamiento en el eje vertical.
- $\boldsymbol{b_k}$: Es el coeficiente de pendiente, también del componente k. Escala el valor original del índice según la magnitud del componente.

3.8.2.1.1.2. CORRECCIÓN GEOMÉTRICA

- **GEOREFERENCIACIÓN**

  En cuanto a la corrección geométrica de las imágenes, se realizó su proyección utilizando el sistema de coordenadas UTM bajo el datum WGS84, correspondiente a las zonas 18 y 19 Sur según la ubicación geográfica. Posteriormente, se efectuó un ajuste fino para reducir errores posicionales y lograr una adecuada alineación con el mapa

urbano de la ciudad del Cusco. Este proceso implicó la rectificación de la imagen mediante la comparación con una cartografía base (calles y vías), y el uso de puntos de control y verificación. La corrección se aplicó a través de una transformación polinómica de segundo orden, alcanzándose un error cuadrático medio (RMSE) que osciló entre 0,43 y 0,57 píxel en las coordenadas X e Y, lo cual se considera aceptable para este tipo de trabajos (Chuvieco, 2007).

- **EN BASE MODELOS DIGITALES DE ELEVACIÓN**

  Uno de los factores que mayor interferencia generan en la precisión del proceso de georreferenciación es la presencia de variaciones abruptas en la altitud del terreno. Para mitigar dichos efectos, se empleó un Modelo Digital de Elevación (MDE), el cual permitió mejorar los ajustes geométricos mediante una transformación más precisa basada en la estructura topográfica del área. (Chuvieco, 2007).

Ecuación 7. Ecuaciones de transformación para las coordenadas X, Y

$$X = a_0 + a_1 c + a_2 f + a_3 Z + a_4 Zc + a_5 Zf$$

$$Y = b_0 + b_1 c + b_2 f + b_3 Z + b_4 Zc + b_5 Zf$$

Donde

- **X, Y**: Son las coordenadas espaciales transformadas, generalmente en un sistema georreferenciado (por ejemplo, UTM Este y Norte respectivamente).
- **c**: Coordenada de columna en la imagen (posición horizontal del píxel).
- **f**: Coordenada de fila en la imagen (posición vertical del píxel).
- **Z**: Valor de elevación o altitud en el píxel correspondiente. Puede provenir de un modelo digital de elevación (MDE).
- **Zc, Zf**: Productos cruzados entre altitud y coordenadas de imagen:

- Zc: interacción entre altitud y columna.
- Zf: interacción entre altitud y fila.

- **a0, a, …, a5** y **b0, b1, …,**: Son los coeficientes de transformación que se determinan mediante métodos de ajuste (por ejemplo, mínimos cuadrados), a partir de puntos de control (GCP) y modelos de corrección geométrica.

3.8.2.1.1.3. CORRECCIÓN ATMOSFÉRICA

❖ **CONVERSIÓN DE LOS ND A VALORES DE RADIANCIA**

Las imágenes satelitales crudas presentan valores digitales (ND) que no representan directamente la energía radiada por la superficie terrestre. Para traducir estos valores a radiancia, se aplica una transformación lineal basada en parámetros de calibración específicos para cada sensor. Esta conversión implica el uso de una ecuación inversa que permite recuperar los niveles de radiancia original a partir de los ND registrados:

Ecuación 8. Relación lineal entre luminancia simulada y valores de ND

$$\boldsymbol{L_{sen,k} = a_{0k} + a_{1k} \cdot ND}$$

Donde:

- $\boldsymbol{L_{sen,k}}$: Es la luminancia simulada o valor espectral del sensor para la banda o componente
- $\boldsymbol{k}$**:** Puede interpretarse como un valor reconstruido a partir de una transformación lineal del índice ND.
- $\boldsymbol{a_{0k}}$: Es el término independiente de la regresión lineal para el componente o banda
- $\boldsymbol{k}$**:** Representa el valor base de luminancia cuando el ND es cero.
- $\boldsymbol{a_{1k}}$**:** Es la pendiente de la regresión, que indica cuánto varía la luminancia simulada por unidad de cambio en el ND para el componente

- **ND**: Es el valor del índice normalizado utilizado como predictor (por ejemplo, NDVI, NDWI, etc.).

Cabe destacar que la radiancia derivada no siempre corresponde a la energía emitida directamente desde el suelo, ya que puede estar atenuada por fenómenos de absorción atmosférica o, por el contrario, intensificada por efectos de dispersión generados por la atmósfera. Por ello, se recurre a métodos de corrección atmosférica, como el ajuste del histograma mínimo, con el fin de obtener la mayor fidelidad radiométrica posible (Chuvieco, 2007). En este estudio se aplicó el método FLAASH a través del software ENVI.

Todos los procedimientos fueron implementados en el entorno ENVI, utilizando la herramienta "Radiometric Calibration" del módulo Landsat_gapfill, junto con otros algoritmos diseñados para el procesamiento de imágenes satelitales.

3.8.2.2. CÁLCULO DE ÍNDICES AMBIENTALES

Para estimar los índices ambientales, se utilizaron productos espectrales derivados de las imágenes satelitales ya corregidas, seleccionando aquellos indicadores más apropiados para representar condiciones ecológicas y físico-ambientales del área de estudio.

3.8.2.2.1. ÍNDICE DE VEGETACIÓN DE DIFERENCIA NORMALIZADA (NDVI)

El índice de vegetación de diferencia normalizada - NDVI se calcula mediante la siguiente expresión. (Gilabert et al., 1997).

Ecuación 9. Cálculo del NDVI

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

Donde:

- NIR : Es la reflectividad en el infrarrojo cercano
- R : Es la reflectividad en el rojo visible

3.8.2.2.2. ÍNDICE NORMALIZADO DEL SUELO - NSI

El índice normalizado del suelo - NSI se calcula mediante la siguiente expresión. (Gonzaga Aguilar, 2014).

Ecuación 10. Cálculo del NSI

$$NSI = \frac{SWIR - NIR}{SWIR + NIR}$$

Donde:

- SWIR : Es la reflectividad en el infrarrojo de onda corta
- NIR : Es la reflectividad en el infrarrojo cercano

3.8.2.2.3. ÍNDICE DE VEGETACIÓN AJUSTADO AL SUELO TRANSFORMADO - TSAVI

El índice de vegetación ajustado al suelo transformado – TSAVI se calcula mediante la siguiente expresión (Rodriguez Perez et al., 2015).

Ecuación 11. Cálculo del TSAVI

$$TSAVI = \frac{NIR - (sR + a)}{\frac{1}{s}[(aNIR + R - (sa) + 0.08(1 + s^2)]}$$

Donde:

- NIR : Es la reflectividad en el infrarrojo cercano
- R : Es la reflectividad del rojo visible
- s : Pendiente
- a : Intercepto del suelo

3.8.2.2.4. ÍNDICE DE DIFERENCIA NORMALIZADA DEL AGUA - NDWI

El Índice de diferencia normalizada del agua - NDWI se calcula mediante la siguiente expresión (Gao, 1996).

Ecuación 12. Cálculo del NDWI

$$NDWI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$$

Donde:

- NIR : Es la reflectividad en el infrarrojo cercano
- R : Es la reflectividad en el infrarrojo medio

3.8.2.2.5. ÍNDICE DE HUMEDAD EN LAS HOJAS - LWCI

El Índice de humedad en las hojas - LWCI se calcula mediante la siguiente expresión (Raymond Hunt et al., 1987).

Ecuación 13. Cálculo del LWCI

$$LWCI = \frac{-\log\left(1 - (NIR - SWIR)\right)}{-\log\left(1 - (NIRFT - SWIRFT)\right)}$$

Donde:

- NIR : Es la reflectividad en el infrarrojo cercano
- SWIR : Es la reflectividad del infrarrojo de onda corta
- NIR FT : Valor máximo del infrarrojo cercano
- SWIRFT : Valor máximo del infrarrojo de onda corta

3.8.2.2.6. TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE – TS

Para obtener la temperatura de superficie - TS, la radiancia espectral a nivel de sensor, banda térmica, fue transformada a temperatura de brillo del satélite, usando la siguiente ecuación (U.S. Geological Survey, 2019).

Ecuación 14. Cálculo de temperatura de brillo para una radiancia L

$$T_L = \frac{K_2}{1n\left[\left(\frac{K_1}{L_\lambda}\right) + 1)\right]}$$

Donde:

- T_L : Temperatura de brillo en Kelvin, para una radiancia L
- K_1 : Constante de calibración 1 en W/(m^2*sr*um)

- K_2 : Constante de calibración 2 en Kelvin (adimensional)
- L_λ : Radiancia espectral del sensor

La temperatura de brillo obtenida corresponde teóricamente a la emitida por un cuerpo negro ideal; por ello, es indispensable incorporar el valor de emisividad específico de la superficie terrestre. Esta corrección debe considerar las distintas coberturas y usos del suelo con el fin de estimar de manera precisa la temperatura cinética superficial. El procedimiento de conversión se basa en la formulación propuesta por (Weng, 2001).

Ecuación 15. Cálculo de temperatura de la superficie

$$TS = \frac{T_L}{1} + \left(\lambda * \frac{T_L}{\rho}\right) * ln\varepsilon$$

Donde:

- TS : Temperatura de superficie corregida con la emisividad
- T_L : Temperatura de brillo del satélite
- λ : Longitud de onda media de la banda termal considerada
- $\rho = h*c/\sigma$: $1.438*10^{-2}$ mK, donde:
  - *h* : constante de Plank ($6.626*10^{-34}$ Js)
  - *c* : velocidad de la luz
  - *σ* : contante de Boltzman ($1.38*1^{-23}$ J/K)
  - *ε* : Emisividad de la superficie

Luego, la siguiente ecuación permitió calcular la emisividad de las coberturas (Li et al., 2004).

Ecuación 16. Cálculo de la emisividad de las coberturas

$$E = f_v\varepsilon_v + (1 - f_v)\varepsilon_s$$

Donde:

- ε_v y ε_S : Emisividades de las cubiertas de vegetación y de suelo, respectivamente.

- f_v : Fracción de vegetación, obtenida con la ecuación siguiente por medio del NDVI, uno de los índices de vegetación más utilizado (Choudhury et al., 1994).

Ecuación 17. Cálculo de la fracción de vegetación

$$f_v = 1 - \left[\frac{(NDVI_{MAX} - NDVI)}{(NDVI_{MAX} - NDVI_{MIN})}\right]^a$$

Donde:

- $NDVI_{MAX}$: Valor de NDVI máximo para la vegetación de mayor verdor
- $NDVI_{MIN}$: Valor de NDVI mínimo presente en el suelo desnudo

Finalmente, la estimación de la temperatura superficial corregida mediante el valor de emisividad (TS), expresada inicialmente en unidades Kelvin, fue transformada a grados Celsius mediante la sustracción uniforme de 273 a cada uno de los valores de píxel correspondientes en la imagen de TS.

3.8.3. DETERMINACIÓN DE LOS COMPONENTES PRINCIPALES DE LOS ÍNDICES AMBIENTALES QUE EXPLICAN EL ÍNDICE DE CALIDAD AMBIENTAL URBANO Y SU CLASIFICACIÓN

Con el objetivo de sintetizar la información contenida en múltiples índices ambientales previamente calculados (NDVI, NSI, TSAVI, NDWI, LWCI, TS, entre otros), y considerando la existencia de correlaciones significativas entre estos, se aplicará el Análisis de Componentes Principales (ACP). Esta técnica multivariante permite reducir la dimensionalidad del conjunto de datos, preservando la mayor proporción de la variabilidad total explicada, y facilitando la identificación de dimensiones latentes o componentes que estructuran el fenómeno de la calidad ambiental urbana.

El ACP contribuirá a construir un índice sintético de calidad ambiental (ICAU) a partir de combinaciones lineales óptimas de los índices individuales, el cual será clasificado posteriormente en niveles cualitativos para su interpretación espacial.

3.8.3.1. NORMALIZACIÓN DE DATOS

Antes de aplicar el ACP, se realizará una evaluación de la normalidad de los datos mediante pruebas estadísticas (por ejemplo, Shapiro-Wilk o Kolmogorov-Smirnov), con el fin de verificar los supuestos de distribución normal aproximada, requerida para el adecuado desempeño del análisis multivariante.

Posteriormente, se procederá a la normalización de los índices ambientales, transformándolos a una escala común entre 0 y 1 mediante la técnica de escalamiento o normalización min-max (mínimos y máximos), utilizando la fórmula:

Ecuación 18. Escalamiento min-max

$$X_{norm} = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}}$$

Esta transformación garantiza la comparabilidad entre las variables, evitando sesgos por diferencias de magnitud y unidades.

3.8.3.2. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

El análisis de componentes principales (ACP) corresponde a una técnica estadística multivariada que permite identificar y sintetizar la estructura de correlaciones existentes entre múltiples variables, reduciendo la dimensionalidad del conjunto de datos. Este procedimiento transforma las variables originales correlacionadas en un nuevo conjunto de variables ortogonales (no correlacionadas), conocidas como componentes principales. Dichos componentes resultan de combinaciones lineales y se ordenan de acuerdo con su capacidad para explicar la varianza total presente en la muestra (León González et al., 2008).

El ACP se aplicará sobre la matriz de correlación de los índices ambientales normalizados. Se utilizará el criterio de Kaiser (Johnson, 2000), reteniendo únicamente aquellos componentes principales cuyo valor propio (*eigenvalue*) sea mayor a 1, lo que garantiza que cada componente retenido explique al menos la varianza de una variable original.

Cada componente principal se construye como una combinación lineal ponderada de las variables originales x_1, x_2, ..., x_p, donde los coeficientes asignados (cargas factoriales) se derivan de los autovectores obtenidos a partir de la matriz de correlación. Esta formulación permite identificar la estructura latente de los datos mediante la maximización de la varianza explicada por cada componente.

Ecuación 19. Análisis de componentes principales

$$\alpha'_x = \alpha_{11}x_1 + \alpha_{12}x_2 + \cdots + \alpha_{1p}x_p = \sum_{j=1}^{p} \alpha_{1j}x_j$$

Donde:

- α'_x : Es la función lineal de los elementos de x de máxima varianza
- α_1 : Es un vector de p constantes y denota la transpuesta

$$\alpha_{11}, \alpha_{12}, \ldots, X_{1p}.$$

Los siguientes componentes se calculan de forma que sean ortogonales (no correlacionados) con los anteriores, y explican progresivamente menor proporción de la varianza total (Chavez Chong et al., 2013).

3.8.3.3. CONSTRUCCIÓN DEL ÍNDICE Y CLASIFICACIÓN DEL ICAU

Con base en los componentes derivados del Análisis de Componentes Principales (ACP), se elaborará un índice compuesto que represente la calidad ambiental urbana (ICAU). Este indicador sintetizará la información procedente de diversos índices ambientales (como NDVI, NSI, TSAVI, NDWI, LWCI y TS), los cuales habrán sido previamente transformados mediante combinaciones lineales ponderadas

para reducir su dimensionalidad. Así, se genera una medida unificada capaz de resumir eficientemente la variabilidad ambiental del área de estudio. De este modo, se obtiene una única medida compuesta que resume de manera objetiva el estado ambiental de cada unidad territorial analizada. La estimación del ICAU se realizará para pixel, y será representada en un mapa temático continuo en formato ráster. Una vez obtenido el mapa del ICAU, se procederá a su clasificación cualitativa, segmentando los valores del índice en cinco clases ordinales, de acuerdo con la propuesta metodológica de (Escobar, 2006): Muy deficiente (0.00 – 0.20), Deficiente (0.21 – 0.40), Regular (0.41 – 0.60), Buena (0.61 – 0.80) y Muy buena (0.81 – 1.00), se empleó una escala normalizada de 0 a 1.

Cada clase representa un rango específico de valores del índice sintético, lo que facilita la identificación de zonas con mayor o menor calidad ambiental dentro del entorno urbano. Esta clasificación permitirá identificar patrones espaciales de calidad ambiental en la ciudad, identificar zonas críticas, y priorizar intervenciones urbanas desde una perspectiva ambiental integral.

3.8.4. DESCRIPCIÓN EL COMPORTAMIENTO DEL ÍNDICE DE CALIDAD AMBIENTAL URBANO RESPECTO A LAS CLASES DE USO DE SUELO URBANO

Para describir el comportamiento del índice de calidad ambiental urbano respecto a las clases de uso de suelo urbano se realizarán los siguientes pasos.

3.8.4.1. ANÁLISIS ESPACIAL

Se procedió a superponer el mapa de uso de suelo urbano, que clasifica las diferentes coberturas dentro de la ciudad del Cusco, con el mapa del índice de calidad ambiental urbana (ICAU). Utilizando el software ArcGIS, se calcularon estadísticas descriptivas para evaluar el comportamiento del índice dentro de cada clase de uso de suelo. Esto permitió identificar zonas con desviaciones respecto al promedio general del índice, así como aquellas que podrían

representar condiciones críticas o favorables en términos ambientales. La información generada a partir de este cruce espacial se plantea como una herramienta útil para la gestión territorial y la toma de decisiones ambientales en contextos urbanos (Chuvieco, 2007; Weng, 2001).

3.8.4.2. PRUEBAS DE SIGNIFICANCIA ESTADÍSTICA DEL ÍNDICE DE CALIDAD AMBIENTAL URBANO

Basándose en los promedios del ICAU agrupados por clases de uso de suelo (derivadas del ACP), se aplicaron análisis de varianza de tipo simple y múltiple (ANOVA y pruebas post-hoc) con el fin de determinar si existían diferencias estadísticamente significativas entre los grupos. Este procedimiento permitió evaluar la influencia del tipo de uso del suelo sobre los valores del índice y, en caso de hallar diferencias, identificar entre qué clases se presentaban dichas discrepancias. Para garantizar la validez del análisis, se verificó la homogeneidad de varianza mediante la prueba de Levene. Todos los análisis estadísticos fueron realizados empleando los entornos R y R-Studio (Weng, 2001).

3.8.4.3. VALIDACIÓN DEL MODELO

La validación del modelo del Índice de Calidad Ambiental Urbano (ICAU) se llevó a cabo mediante la comparación de las estimaciones del índice con mediciones in situ de material particulado ($PM_{2.5}$ y PM_{10}) y parámetros meteorológicos de temperatura y humedad relativa. Para ello, se empleó un equipo automático de Método de Referencia Federal (FRM), reconocido por su alta precisión según los criterios establecidos por la *Environmental Protection Agency* (Clements & Vanderpool, 2019). Además, se registraron variables ambientales como

temperatura y humedad relativa, factores que influyen en la dispersión y concentración de los contaminantes atmosféricos (Molina et al., 2022).

El muestreo se llevó a cabo durante una de las cuatro temporadas establecidas en la tesis para la evaluación ambiental del área de estudio, específicamente en el periodo LL1 (enero). Esta selección permitió evaluar el desempeño del modelo ICAU bajo condiciones climáticas particulares, asegurando que las mediciones se realizaran exclusivamente en días sin precipitaciones (Molina et al., 2022).

Para establecer el tamaño muestral, se tomó como referencia un área de estudio de 86,10 km². Se generó una grilla espacial con celdas de 1 km², lo que dio lugar a 86 unidades iniciales. No obstante, debido a la presencia de zonas con difícil acceso y a la complejidad del relieve, se lograron habilitar 84 puntos de muestreo efectivos. Esta cantidad superó el umbral mínimo requerido estadísticamente, que fue de 46 unidades, calculado para asegurar un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 10%. Cabe señalar que la utilización de una resolución espacial de 1 km² por celda ha sido validada en estudios internacionales sobre calidad del aire, como en el caso de Beijing, donde esta escala permitió estimar concentraciones de $PM_{2.5}$ mediante técnicas de aprendizaje automático, evidenciando su eficacia para modelar fenómenos de contaminación atmosférica (Song et al., 2020).

Cada uno de los 84 puntos de muestreo fue evaluado en dos ocasiones, utilizando un equipo automático de medición que registró las concentraciones de $PM_{2.5}$ y PM_{10} durante 15 minutos por muestra. Las mediciones se realizaron en dos turnos: mañana (07:00 - 12:00 h) y tarde (14:00 - 18:00 h), seleccionados estratégicamente para capturar las variaciones diurnas en la concentración de material particulado, influenciadas por la actividad humana y las condiciones meteorológicas (Melo Pacheco, 2018).

Los datos obtenidos durante el trabajo de campo fueron posteriormente georreferenciados y procesados con el fin de extraer los valores del índice de calidad ambiental urbana (ICAU) correspondientes a cada punto de muestreo del área LL1. A continuación, se procedió a verificar la distribución estadística de dichos valores aplicando la prueba de Anderson-Darling. Esta prueba, reconocida por su robustez metodológica, permite identificar si los datos se ajustan a una distribución normal. Su elección respondió a su alta sensibilidad para detectar desviaciones en los extremos de la distribución, lo que la convierte en una alternativa más adecuada que la prueba de *Kolmogorov-Smirnov*, especialmente en muestras moderadas (Tapia & Cevallos, 2021). Diversas investigaciones han evidenciado que la prueba de Anderson-Darling tiene mayor poder estadístico en muestras que superan las 50 observaciones, lo cual la hace particularmente apropiada para este análisis, considerando que se trabajó con 84 unidades muestrales (Razali & Wah, 2011). Además, se sugiere su uso en estudios con tamaños muestrales comprendidos entre 30 y 300 observaciones, rango en el cual se ha demostrado que proporciona resultados más confiables que otras pruebas de normalidad (Real Statistics, s/f).

Para evaluar la relación entre el Índice de Calidad Ambiental Urbano (ICAU) y las variables ambientales medidas en campo, como las concentraciones de material particulado ($PM_{2.5}$ y PM_{10}), la temperatura y la humedad, primero se verificó la normalidad de los datos mediante la prueba de Anderson-Darling. En función de los resultados obtenidos, se empleó la correlación de Pearson para los conjuntos de datos que presentaron distribución normal. En cambio, cuando este supuesto no se cumplió, se utilizó la correlación de Spearman, dado que este estadístico permite identificar asociaciones monótonas sin requerir normalidad en los datos. Posteriormente, se procedió a evaluar la precisión del modelo ICAU a través de indicadores estadísticos que permiten cuantificar la discrepancia entre los valores estimados y los valores observados. Para ello, se calcularon el Error Absoluto

Medio (MAE) y el Error Cuadrático Medio (RMSE), los cuales proporcionan una medida del grado de ajuste del modelo. Adicionalmente, se utilizó el coeficiente de determinación (R^2) con el fin de estimar la capacidad explicativa del modelo respecto al comportamiento de las variables ambientales consideradas (Willmott et al., 2012).

El MAE estimó la diferencia promedio entre los valores predichos y observados, proporcionando una medida clara del error medio del modelo. Por su parte, el RMSE evaluó la dispersión de los errores, penalizando en mayor medida aquellos de mayor magnitud. Ambos indicadores ofrecieron una visión complementaria de la precisión del modelo, siendo el RMSE particularmente útil para identificar desviaciones extremas en las predicciones (Chai & Draxler, 2014).

Para complementar la validación del modelo, se empleó el algoritmo de aprendizaje automático Random Forest, que combina múltiples árboles de decisión para mejorar la precisión de las predicciones; al ser no paramétrico es robusto ante la multicolinealidad y tiene una alta capacidad de generalización, por lo que es utilizado en problemas de predicción ambiental (Breiman, 2001). El algoritmo genera múltiples árboles de decisión a partir de subconjuntos aleatorios de datos y combina sus predicciones para obtener un resultado más estable y preciso (Liaw & Wiener, 2002) entonces permitió evaluar el desempeño del modelo ICAU desde una perspectiva diferente para la validación de su capacidad predictiva en la estimación de la calidad ambiental en Cusco.

3.8.5. ELABORACIÓN DE UN MAPA TEMÁTICO DEL ÍNDICE DE CALIDAD AMBIENTAL URBANO RESPECTO A LAS CLASES DE USO DE SUELO URBANO PARA LA CIUDAD DEL CUSCO

La elaboración del mapa temático que integró el Índice de Calidad Ambiental Urbano (ICAU) con las clases de uso de suelo urbano (BU) se estructuró en tres sub fases metodológicas: (i) construcción de la base SIG, (ii) diseño cartográfico y

(iii) generación del mapa final. Cada fase se desarrolló en el entorno ArcGIS Pro 3.x, aplicando principios técnicos de teledetección, análisis espacial y diseño cartográfico especializado.

3.8.5.1. CONSTRUCCIÓN DE LA BASE SIG

Durante el desarrollo de la tesis, se implementó una base SIG dentro de una *file geodatabase* principal (GIS.gdb). Esta geodatabase se estructuró en múltiples carpetas temáticas, organizadas según la naturaleza de los insumos geoespaciales y las fases del estudio. En total, se crearon al menos nueve carpetas principales:

- **1. APRX**: destinada al almacenamiento de los proyectos de ArcGIS Pro en sus diferentes etapas (por ejemplo, edición catastral, ubicación, índices ambientales, análisis de ICAU y mapas finales).
- **2. SHP**: utilizada para archivar los archivos vectoriales en formato shapefile, clasificados en subcarpetas como Fuentes y Temático.
- **3. RASTER**: incluyó todos los insumos ráster empleados en el análisis, tales como el índice ICAU, los índices ambientales normalizados (NDVI, NSI, TSAVI, NDWI, LWCI y TS) y las imágenes Sentinel-2 procesadas.
- **4. IMAGENES**, **5. DWG**, **6. PDF**, **7. JPG**, **8. KML** y **9. XLS**: reservadas para archivos de soporte, visualizaciones, documentos exportables y datos tabulados.

El ráster del ICAU, previamente normalizado a una escala de 0 a 1 y con resolución de 10 metros, se ubicó en la subcarpeta 3. RASTER\ICAU. Por su parte, los índices ambientales utilizados como insumos en el análisis (NDVI, NSI, TSAVI, NDWI, LWCI y temperatura superficial terrestre) se organizaron dentro de la subcarpeta 3. RASTER\Indexes. Todas las capas fueron definidas en el sistema de referencia geodésico WGS 84 / UTM zona 18S (EPSG: 32718), asegurando la compatibilidad con insumos municipales basados en el marco oficial SIRGAS.

Cada capa vectorial y ráster fue documentada con metadatos conforme al estándar **FGDC-CSDGM**, y se configuraron dominios de atributos en la geodatabase, como el dominio *ICAU_CLASE*, que agrupó los valores del índice en cinco clases cualitativas (muy buena, buena, regular, deficiente y muy deficiente). Esto permitió estandarizar la codificación, reducir errores y asegurar la trazabilidad del análisis geoespacial (Plassin et al., 2020).

La integración espacial se ejecutó mediante la herramienta *Spatial Join*, con el método de intersección (*Intersect*) entre la capa BU y el ráster del ICAU, asignando a cada unidad BU el valor medio del índice. El resultado se almacenó como *ICAU_BU_join*. Antes de esta operación, se realizó la validación topológica de la capa BU utilizando el módulo *Topology*, y se corrigieron geometrías erróneas mediante la herramienta *Repair Geometry*, con el fin de eliminar solapamientos (*overlaps*) y vacíos (*gaps*) que pudieran comprometer la precisión del análisis.

3.8.5.2. DISEÑO CARTOGRÁFICO

El diseño cartográfico del mapa temático final se realizó en el entorno ArcGIS Pro, aplicando principios técnicos de representación visual, jerarquía gráfica y lectura multivariable, con el objetivo de comunicar de manera clara y efectiva los patrones espaciales del Índice de Calidad Ambiental Urbano (ICAU) en relación con el área urbana de Cusco. El mapa fue elaborado en formato horizontal A3 (420 × 297 mm), con una resolución de salida de 300 dpi, adecuada tanto para impresión como para difusión digital.

Para representar el ICAU, se utilizó una rampa de color divergente compuesta por cinco clases cualitativas: muy deficiente (rojo), deficiente (naranja), regular (amarillo), buena (verde) y muy buena (azul). Esta escala permitió una rápida identificación de los niveles de calidad ambiental, en línea con las recomendaciones de Brewer (2017) y Roth (2021), quienes destacan el valor del color como herramienta de comunicación visual eficaz.

El diseño del mapa incorporó los elementos cartográficos convencionales, tales como:

- **Flecha de norte** orientada hacia el vértice superior.
- **Escala gráfica y numérica**, configurada a una relación de 1:40 000.
- **Retícula UTM** con divisiones ajustables a la escala.
- **Elementos lineales y superficiales** representados en la leyenda como: lagos, red hídrica, red vial, límite de la ciudad del Cusco, límite de los distritos, entre otros.

Además, se incluyeron gráficos de barras insertados en el cuerpo del mapa para mostrar la distribución porcentual de las cinco clases del ICAU. Estos elementos fortalecieron la narrativa cuantitativa, aportando claridad al análisis espacial (Roth, 2021).

En el margen derecho del mapa se colocaron tres elementos gráficos complementarios para la contextualización del área de estudio:

- **Mapa de ubicación nacional, regional y provincial**, que mostró progresivamente la ubicación del Perú, la región Cusco, y la provincia del Cusco, resaltando los distritos involucrados en el análisis (Cusco, Santiago, San Sebastián, Wanchaq, San Jerónimo, y parte de Saylla y Poroy).
- **Cuadro de empalmes a escala 1:25 000**, donde se identificaron las hojas cartográficas oficiales del Instituto Geográfico Nacional (IGN) correspondientes al área urbana de Cusco: 27q-II-SE, 27q-II-SO, 27q-II-NE y 27q-II-NO.
- **Etiqueta informativa** en la parte inferior derecha, que incluyó los logotipos institucionales, título del mapa, datos del autor y asesor, código del índice

(ICAU-1), sistema de coordenadas (WGS 84 / UTM zona 18S), y una barra de escala de 5 km.

3.8.5.3. GENERACIÓN Y EDICIÓN DEL MAPA FINAL (ICAU)

Todos los componentes visuales del mapa fueron organizados atendiendo a los principios de contraste figura-fondo, balance visual y economía gráfica. La simbología y el uso del color fueron evaluados bajo los lineamientos propuestos por Brewer (2017), mientras que la composición general se alineó con las recomendaciones de Roth (2021) y Nichol & Wong (2009) para mapas temáticos urbanos. El mapa temático final del ICAU se generó a partir de la capa *ICAU_BU_join*, resultado del cruce entre el índice ambiental y la cobertura urbana. Se priorizó la visualización de zonas críticas aplicando *Feature Display Order* en ArcGIS Pro.

El diseño fue ajustado cuidadosamente para su disposición en una hoja tamaño A3 en orientación horizontal, con una resolución de salida de 300 dpi. Se garantizó una impresión nítida y precisa, manteniendo la escala nominal de trabajo establecida en 1:40 000, la cual resultó adecuada para representar el entorno urbano con el nivel de detalle requerido por el estudio.

El mapa se exportó en formatos PDF y TIFF. El archivo PDF fue optimizado para su difusión digital, incluyendo etiquetas cartográficas accesibles compatibles con lectores de pantalla, de acuerdo con los estándares internacionales de accesibilidad. A su vez, el archivo TIFF fue generado con compresión sin pérdida (*LZW*), conservando la calidad de la imagen y permitiendo su eventual uso en impresión a gran formato o repositorios digitales institucionales.

Se implementó una revisión técnica colegiada bajo el enfoque de *check-plot*, en la que se evaluaron criterios de legibilidad, uso del color, jerarquía visual y densidad informativa. Esta revisión se basó en la guía técnica *Designing Better Maps* de

Brewer (2017), empleada como referencia metodológica para la evaluación tipográfica, simbólica y compositiva del producto final.

Finalmente, el mapa temático fue integrado como figura principal dentro del cuerpo del manuscrito de tesis, así como anexado digitalmente en formatos georreferenciados (.mpk). Esto último con el objetivo de facilitar su reproducción técnica por parte de entidades públicas, como las municipalidades distritales o provinciales, asegurando su aplicabilidad como herramienta de apoyo en la planificación urbana y la gestión ambiental local.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

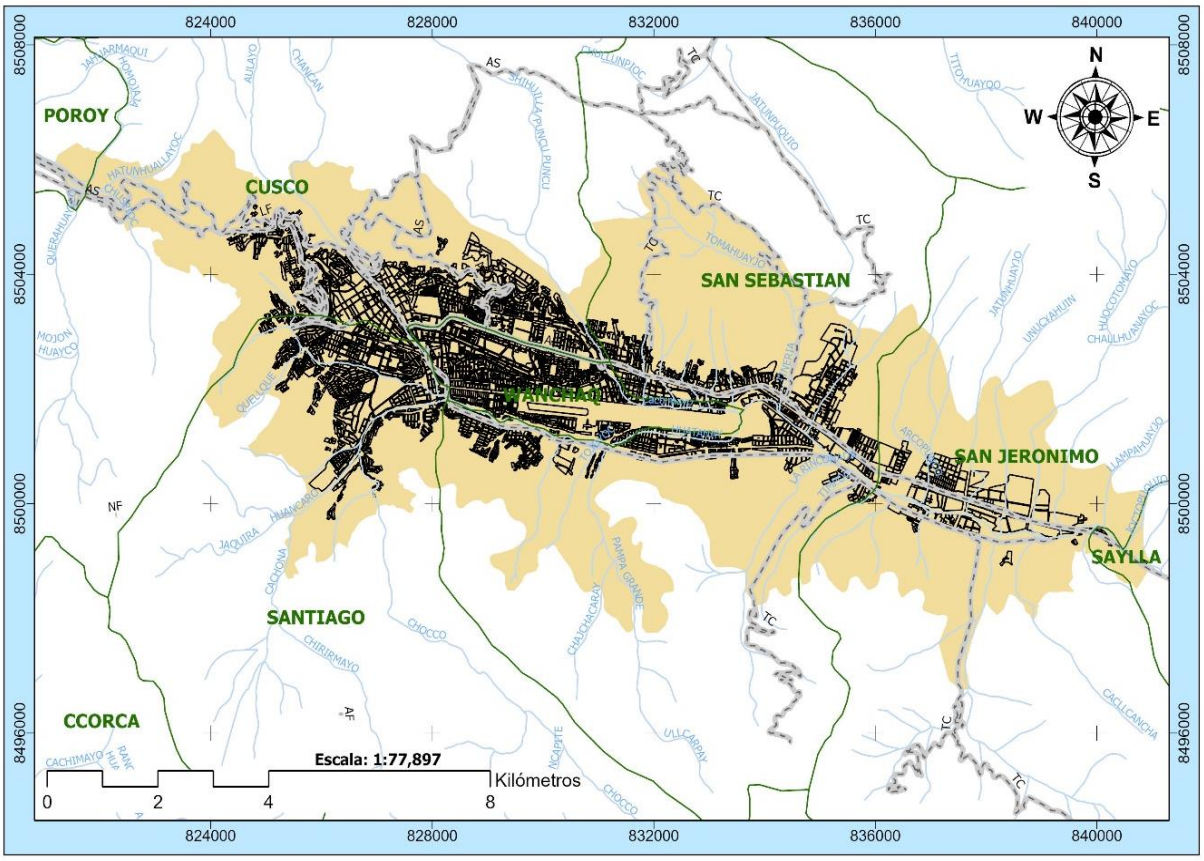
4.1. PROCESAMIENTO, ANÁLISIS, INTERPRETACIÓN Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1.1. CLASES DE USO DE SUELO URBANO

4.1.1.1. CATASTRO DE LA CIUDAD DEL CUSCO

Los catastros obtenidos de la Municipalidad Provincial del Cusco (Oficina del Centro Histórico) y de otros distritos, como Santiago y San Jerónimo, se encontraban originalmente en formato AutoCAD (.dwg). Sin embargo, al ser convertidos a formato *shapefile*, se evidenció un desfase de varios metros. Debido a esta discrepancia, fue necesario digitalizar el catastro de toda la ciudad del Cusco a nivel de manzanas para garantizar su precisión.

Figura 5. Mapa del catastro a nivel de manzanas de la ciudad del Cusco



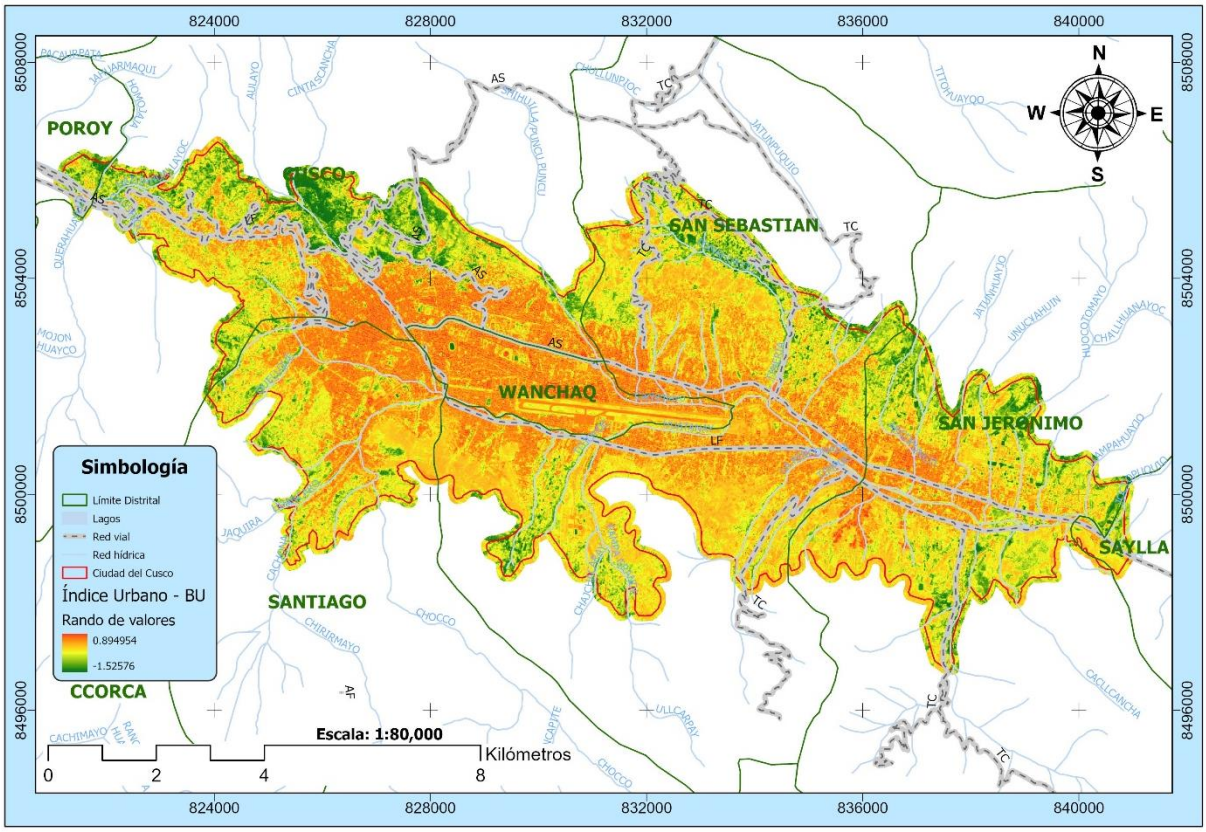
Nota: Elaboración propia

Se obtuvo el catastro a escala 1:5000 a nivel de manzanas actualizado al año 2024, con más de 10 000 polígonos registrados.

4.1.1.2. INDICE DE ÁREA CONSTRUIDA – BU

Después de aplicar las fórmulas para el cálculo del índice de área construida se obtuvo el siguiente resultado.

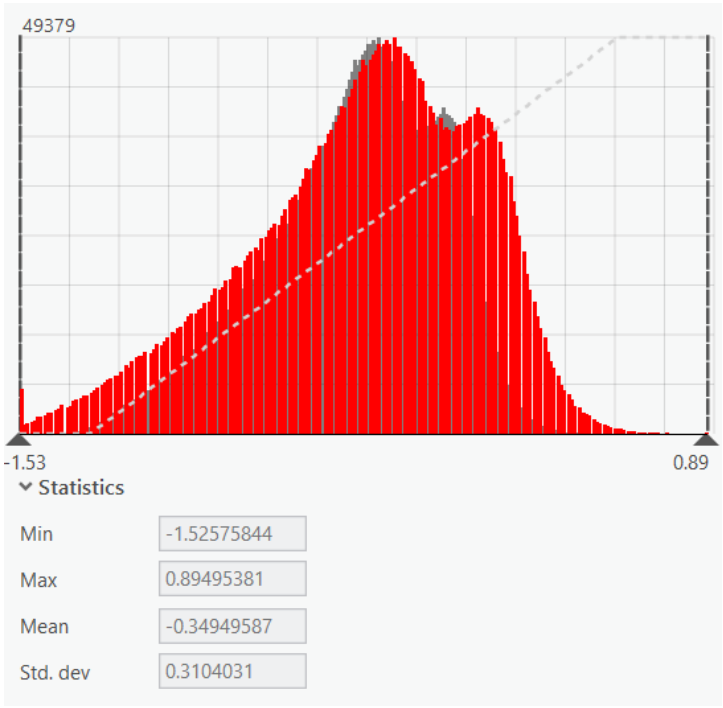
Figura 6. Mapa del Índice de área construida – BU



Nota: Elaboración propia

En el mapa anterior se observa una distribución de valores que varía entre -1.5 y 0.89 aproximadamente. Los valores más cercanos a la unidad indican zonas con una alta densidad constructiva, mientras que los valores negativos o más alejados reflejan áreas con una densidad constructiva muy baja o nula, según el índice espectral: Índice de área construida (BU) utilizado en este análisis.

Figura 7. Histograma de la distribución de valores del índice BU



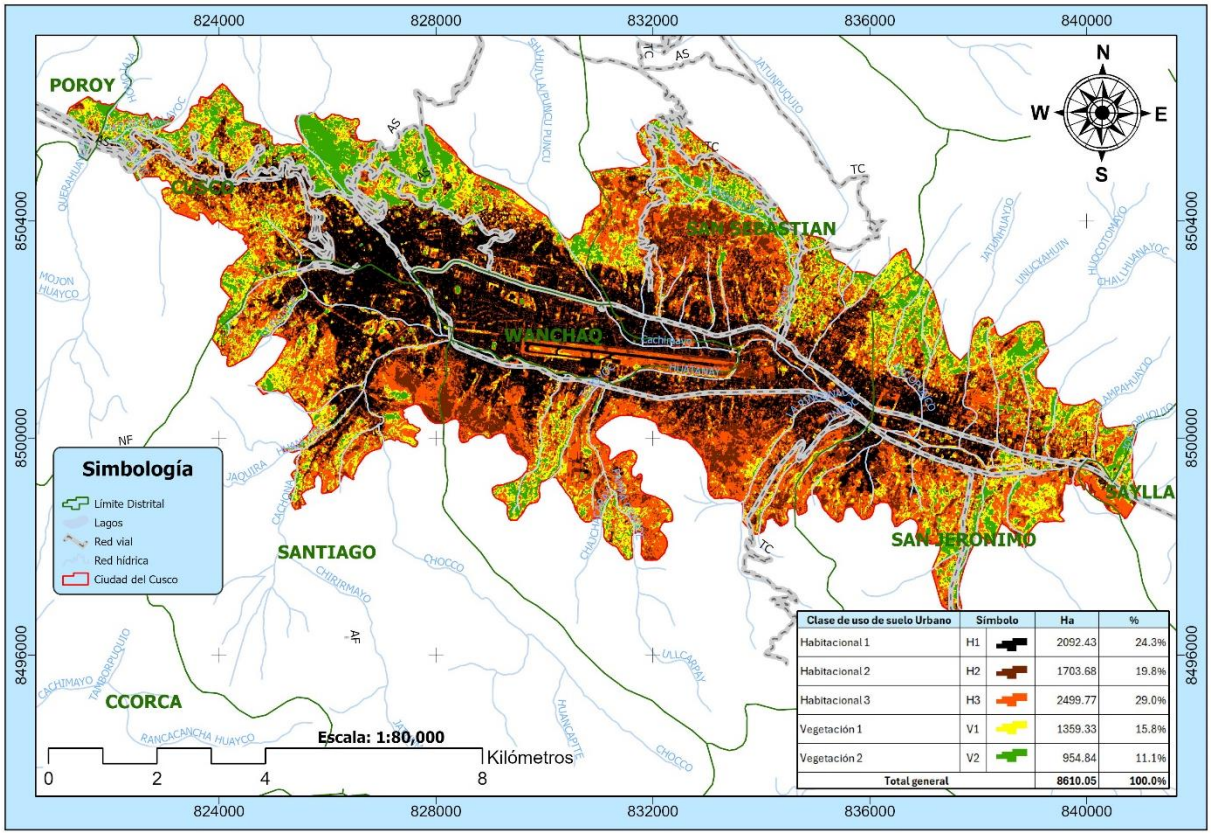
Nota: Elaboración propia

Del gráfico de distribución de frecuencias se observó que los valores del índice BU presentaron una asimetría positiva (sesgo hacia la derecha), lo que indica que la mayoría de los píxeles del área de estudio se agrupan en valores bajos del índice. El valor promedio fue de -0.3495, lo que refuerza la presencia predominante de zonas con baja o media densidad constructiva dentro de la imagen ráster. El valor máximo del índice fue 0.8949, aunque con muy baja frecuencia, lo que sugiere que solo una pequeña proporción del territorio presenta una alta densidad edificada. Por su parte, el valor mínimo fue de -1.5257, aunque estas observaciones extremas también fueron poco frecuentes. La desviación estándar de 0.3104 indica una dispersión moderada en los datos, lo que implica que existen diferencias significativas entre áreas con mayor y menor densidad, pero sin que se evidencien fluctuaciones extremas ni valores atípicos que distorsionen la distribución general. Esta homogeneidad relativa permite concluir que una buena parte del área urbana analizada presenta condiciones constructivas similares, especialmente en el rango bajo del índice BU.

4.1.1.3. MAPA URBANO

Después de realizar una clasificación supervisada de la imagen ráster del BU, en base a los datos recogidos en campo, se obtuvo el siguiente resultado.

Figura 8. Mapa urbano de la ciudad del Cusco



Nota: Elaboración propia

Del mapa anterior se obtuvieron las clases de uso de suelo urbano, los cuales se describen a continuación.

Tabla 6. Clases de uso de Suelo Urbano

Clase de uso de Suelo Urbano	Símbolo	Ha	%
Habitacional 1	H1	2092.43	24.3%
Habitacional 2	H2	1703.68	19.8%
Habitacional 3	H3	2499.77	29.0%
Vegetación 1	V1	1359.33	15.8%
Vegetación 2	V2	954.84	11.1%
Total general		**8610.05**	**100.0%**

Nota: Elaboración propia

De acuerdo a la densidad constructiva y habitacional se tiene:

- **Habitacional 1 (Alta densidad de construcciones)**: Ocupó el 24.3% del área total analizada (2,092.43 Ha), estas áreas correspondieron a zonas de alta densidad, ubicadas principalmente en el centro de la ciudad del Cusco y en zonas urbanas consolidadas reflejando la concentración de la población en el núcleo urbano principal.
- **Habitacional 2 (Media densidad de construcciones):** Representó el 19.8% del área total (1,703.68 hectáreas), estas áreas residenciales con densidad media de construcciones se distribuyeron en torno a las áreas más densamente pobladas, evidenciando la expansión urbana hacia zonas menos densas.
- **Habitacional 3 (Baja densidad de construcciones):** Ocupó el 29% del área total (2,499.77 hectáreas), estas áreas correspondieron a zonas con baja densidad de construcciones, ubicadas principalmente en las periferias de la ciudad. Reflejaron el crecimiento urbano hacia áreas menos desarrolladas, donde las construcciones son más dispersas y la urbanización es menos intensa.

De acuerdo a las áreas de transición y conservación:

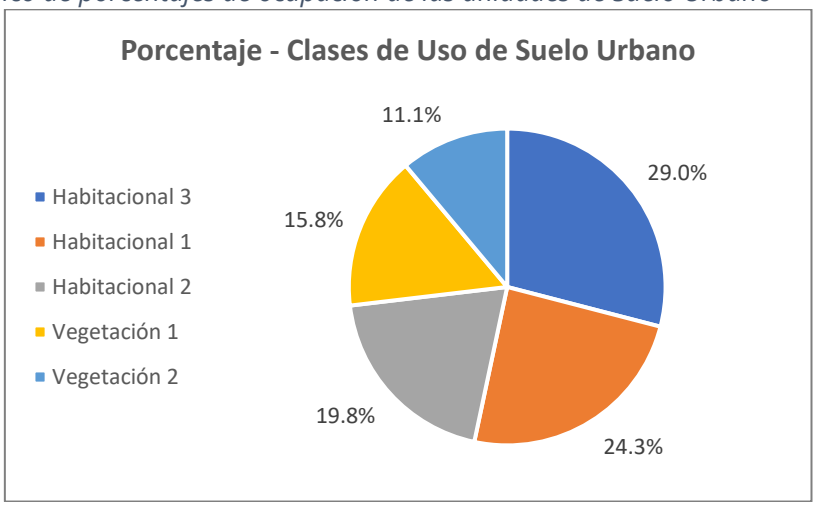
- **Vegetación 1 (Baja, media o escasa vegetación):** Estas áreas representaron el 15.8% del total (1,359.33 hectáreas) y se ubicaron mayormente en las zonas periféricas. Incluyeron matorrales, áreas de cultivo, pastizales y áreas con vegetación escasa. Actuaron como una zona de transición entre el área urbana y rural, mostrando que aún existía una proporción significativa de suelo dedicado a la pequeña agricultura y la vegetación natural, lo cual es crucial para mantener un equilibrio ecológico en la ciudad del Cusco.
- **Vegetación 2 (Alta densidad de vegetación):** Constituyó el 11.1% del área total (554.84 hectáreas), estas áreas fueron cruciales para la conservación ambiental dentro de la región, ubicándose en zonas con alta

densidad de vegetación, como bosques y plantaciones. Estas áreas estuvieron mayormente localizadas en terrenos más elevados o alejados del centro urbano.

Se observa además el siguiente patrón de crecimiento urbano:

- El crecimiento urbano se concentró principalmente a lo largo de las vías principales y en el núcleo urbano de la ciudad del Cusco. Las áreas de alta densidad de construcciones (H1) estuvieron bien conectadas por la infraestructura vial existente, lo que facilitó el acceso y la expansión.
- Las áreas con media densidad de construcción (H2) se encuentra en las áreas de transición entre H1 y H3.
- Las áreas con baja densidad de construcciones (H3) se ubicaron en los bordes del área de estudio, lo que indicó un proceso de urbanización que avanzaba hacia las zonas rurales, siguiendo la expansión natural de la ciudad hacia áreas menos desarrolladas.
- La vegetación 1 (áreas de matorrales y cultivos) se encuentran predominantemente en la periferia, especialmente al sur y suroeste, en zonas de transición entre lo urbano y lo rural.
- La vegetación 2 (los bosques y plantaciones) están distribuidos en parches, mayormente en áreas más elevadas o alejadas del centro urbano, indicando un enfoque en la conservación de ciertas áreas naturales dentro del contexto urbano.

Figura 9. Gráfico de porcentajes de ocupación de las unidades de Suelo Urbano



Nota: Elaboración propia

Del gráfico anterior se observó que la distribución del uso del suelo urbano en la ciudad del Cusco mostró un predominio de áreas residenciales de baja densidad de construcciones (H3) con un 29%, seguido por áreas de alta densidad de construcciones (H1) con un 24.3%, lo que indicaba una mezcla entre zonas de expansión urbana menos densas y sectores urbanos consolidados. Sin embargo, las áreas con alta densidad de vegetación (V2), como bosques y plantaciones, ocuparon solo el 11.1%, lo que sugirió una limitada presencia de espacios naturales dentro del área urbana.

4.1.1.3.1. VALIDACIÓN DEL MODELO

El desempeño del modelo fue evaluado mediante la construcción de una matriz de confusión y el cálculo de métricas de validación, como la precisión y el índice Kappa, los mismos que se presentan a las tablas a continuación.

Tabla 7. Matriz de Confusión para el mapa Urbano

Predicho \ Observado	H1	H2	H3	V1	V2
H1	19	1	0	0	0
H2	1	19	0	0	0
H3	0	0	20	0	0
V1	0	0	0	20	0
V2	0	0	0	3	17

Nota: Elaboración propia

Tabla 8. Métricas generales de la validación del mapa urbano

Métrica	Valor
Precisión (*Accuracy*)	95.0%
Intervalo Inferior (IC)	88.7%
Intervalo Superior (IC)	98.4%
Precisión Nula	23.0%
Valor-p Precisión	<0.001
Índice Kappa	93.8%

Nota: Elaboración propia

La precisión obtenida fue del 95%, con un índice Kappa de 0.9375, lo que evidencia una concordancia casi perfecta entre las predicciones y los valores observados. La baja incidencia de errores en las clases H2 y V2 indica que el modelo capturó adecuadamente la estructura del conjunto de datos. Estos resultados confirman que el modelo fue válido para predecir la clasificación de las categorías evaluadas, con alta precisión y concordancia ajustada.

4.1.2. ÍNDICES AMBIENTALES

Las imágenes satelitales utilizadas en el presente trabajo de investigación fueron SENTINEL-2 que se describen a continuación.

Tabla 9. Imágenes satelitales utilizadas

Época	Fecha	Mes	Observación	Elección	Código
Lluvias	14/01/2023	1	Cumple con los requerimientos	x	LL1
Lluvias		2	Nubosidad excesiva		
Lluvias		3	No hay datos		
Lluvias		4	Bandeado		
Secas	14/05/2023	5	Cumple con los requerimientos	x	SE1
Secas		6	Cumple con los requerimientos		
Secas		7	Cumple con los requerimientos		
Secas	2/08/2023	8	Cumple con los requerimientos	x	SE2
Secas		9	Bandeado		
Lluvias	6/10/2023	10	Cumple con los requerimientos	x	LL2
Lluvias		11	Nubosidad excesiva		
Lluvias		12	Nubosidad excesiva		

Nota: Elaboración propia

La tabla anterior muestra la selección de cuatro imágenes satelitales SENTINEL-2A, correspondientes a dos de la época de lluvias (14/01/2023 y 06/10/2023) y dos de la época seca (14/05/2023 y 02/08/2023). La selección de estas fechas respondió a la necesidad de capturar las variaciones estacionales en la ciudad del Cusco. Las imágenes obtenidas durante la época seca (mayo y agosto) permitieron analizar las condiciones de estrés hídrico en la vegetación y la infraestructura

urbana, las cuales podrían influir negativamente en el índice de calidad ambiental urbana. Por otro lado, las imágenes correspondientes a la época de lluvias (enero y octubre) proporcionaron información sobre cómo las condiciones de alta humedad y las precipitaciones afectaron el entorno urbano, posiblemente mejorando o alterando dicho índice. Además, estas fechas fueron seleccionadas considerando la nubosidad, lo que aseguró que las imágenes fueran lo más claras posibles para un análisis preciso.

Se obtuvieron datos de temperatura, precipitación y humedad de SENAMHI para relacionar las épocas de secas y lluvias.

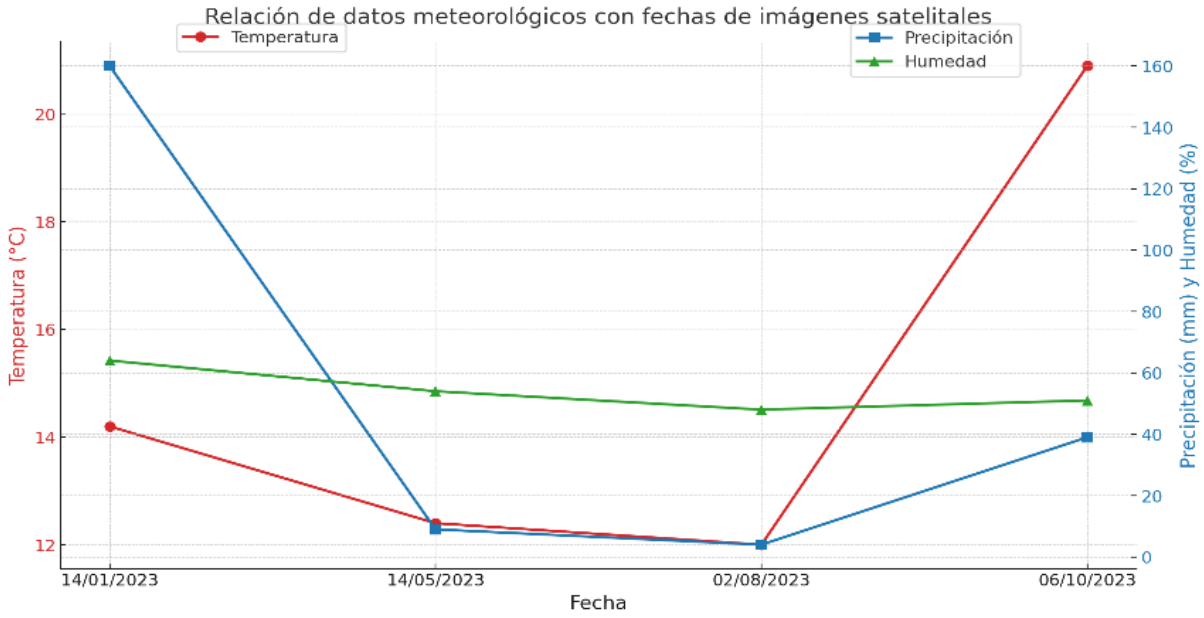
Tabla 10. Imágenes satelitales utilizadas

Fecha	Temperatura (°C)	Precipitación (mm)	Humedad (%)
14/01/2023	14.2	160	64
14/05/2023	12.4	9	54
02/08/2023	12	4	48
06/10/2023	20.9	39	51

Nota: Elaboración propia en base a los datos de SENAMHI (2023)

A partir de estos resultados se obtuvo el siguiente gráfico.

Figura 10. Gráfico de la relación de datos meteorológicos con fechas de imágenes satelitales



Nota: Elaboración propia en base a los datos de SENAMHI (2023)

Del gráfico anterior, se observaron las tendencias de temperatura, precipitación y humedad en las fechas correspondientes a las imágenes satelitales seleccionadas. La temperatura presentó un comportamiento variable, alcanzando su valor

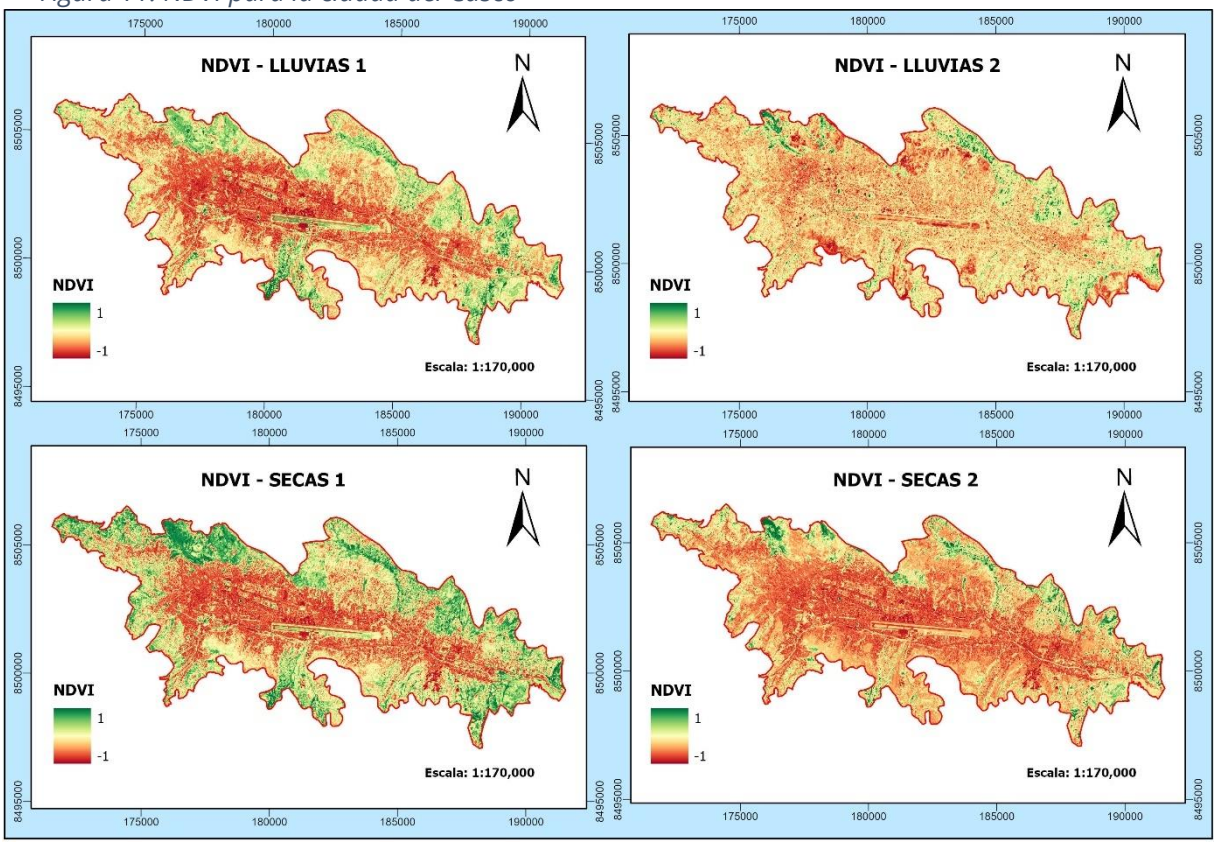
mínimo en agosto (época seca tardía) y aumentando significativamente en octubre (inicio de la temporada de lluvias). La precipitación fue alta en enero, disminuyó drásticamente en mayo y agosto, y volvió a incrementarse en octubre. Finalmente, la humedad siguió una tendencia similar a la precipitación, alcanzando su punto más alto en enero, disminuyendo durante la época seca, y aumentando nuevamente en octubre. En consecuencia, se corroboró la relación entre las épocas de seca y lluvias con las condiciones climáticas de las fechas seleccionadas de las imágenes satelitales.

Después de corregir las imágenes satelitales mediante procesos de corrección radiométrica, geométrica y atmosférica, utilizando las herramientas previamente mencionadas, se realizó el cálculo de los índices ambientales, cuyos resultados fueron los siguientes.

4.1.2.1. ÍNDICE DE VEGETACIÓN DE DIFERENCIA NORMALIZADA (NDVI)

En relación con el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), los mapas reflejaron la variabilidad estacional de la cobertura vegetal en Cusco. Durante la temporada de lluvias, predominó el color verde en zonas específicas, indicando una mayor actividad fotosintética mientras que, en la época seca, el color rojo y amarillo se intensificó, evidenciando una reducción en la vegetación y un aumento del suelo expuesto. Las áreas con mayor verdor se localizaron en los límites de la ciudad y algunos sectores internos, mientras que el centro urbano presentó valores bajos en ambas estaciones. Se observaron diferencias sutiles, posiblemente relacionadas con la fenología de la vegetación, es decir, la respuesta de las plantas a las condiciones estacionales, cambios en la humedad del suelo o la influencia de áreas urbanas y agrícolas. La comparación intraestacional mostró ligeras variaciones en la distribución del NDVI, sugiriendo fluctuaciones en la humedad disponible. Estos patrones confirmaron el impacto de la estacionalidad en la vegetación urbana.

Figura 11. NDVI para la ciudad del Cusco



Nota: Elaboración propia

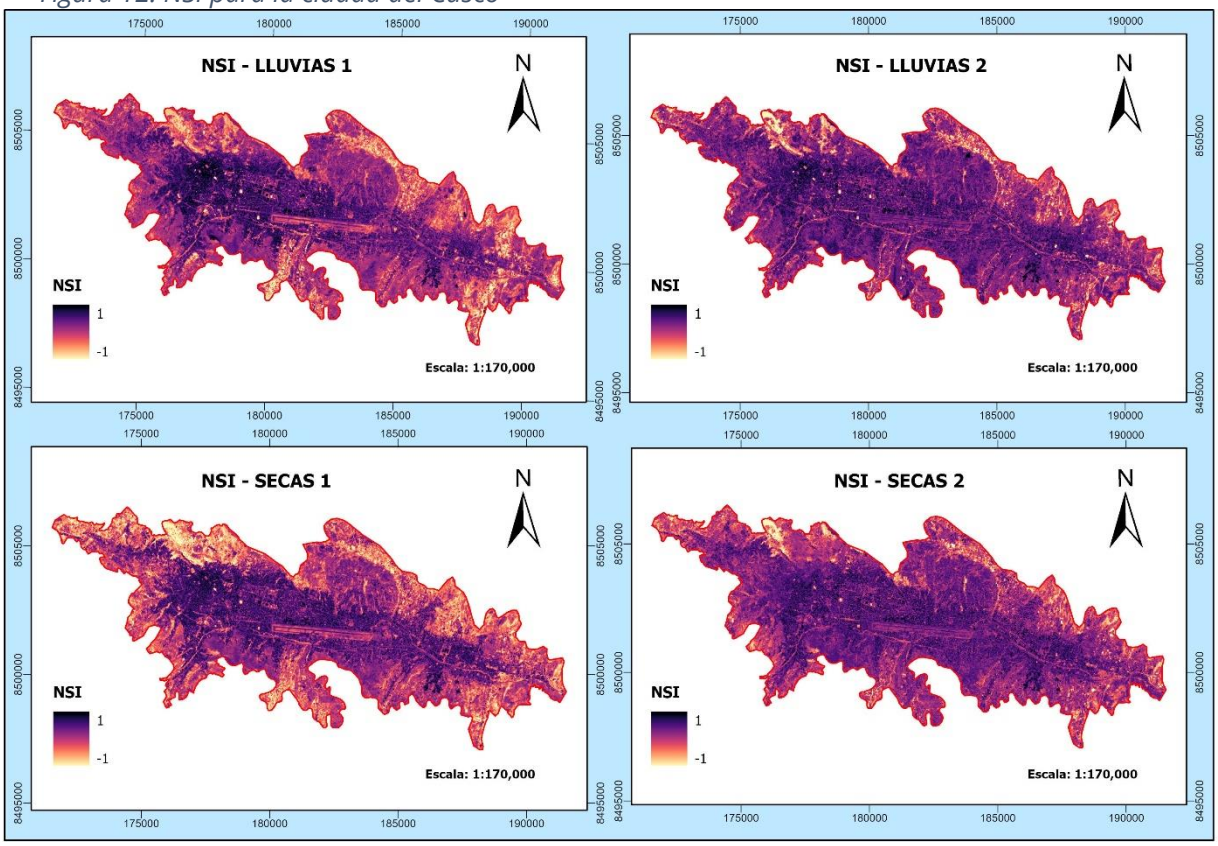
4.1.2.2. ÍNDICE NORMALIZADO DEL SUELO – NSI

En relación con el Índice Normalizado del Suelo (NSI) mostró una alta impermeabilización en la zona urbana de Cusco, con valores elevados en el centro y áreas consolidadas, mientras que los valores más bajos se localizaron en los márgenes de la ciudad y en espacios abiertos con menor intervención antrópica. Durante la temporada de lluvias, LL1 y LL2 presentaron una leve reducción en el NSI en algunas áreas periféricas, lo que sugiere la acumulación de humedad en el suelo o la presencia temporal de vegetación. En la época seca, SE1 y SE2 reflejaron un aumento en el NSI en estos mismos sectores, indicando mayor exposición del suelo desnudo y posiblemente un incremento en la compactación debido a la falta de humedad. La comparación entre imágenes intraestacionales mostró que LL1 y LL2 fueron similares, aunque LL1 presentó valores ligeramente menores en algunos sectores, lo que podría estar relacionado con diferencias en la humedad del suelo o cambios en la reflectancia de las superficies. Por otro lado, SE1 y SE2

presentaron patrones consistentes, aunque SE2 mostró una mayor extensión de áreas con alto NSI, lo que sugiere que ciertas superficies se hicieron más impermeables o compactas hacia el final de la estación seca.

El centro urbano mantuvo una distribución estable de NSI, mientras que los límites de la ciudad mostraron variaciones moderadas. Estas diferencias estuvieron influenciadas por factores climáticos y antrópicos, como la retención de humedad en la época de lluvias y el incremento de suelos expuestos y compactados en la época seca, reflejando la dinámica del uso del suelo y su respuesta a las condiciones ambientales.

Figura 12. NSI para la ciudad del Cusco



Nota: Elaboración propia

4.1.2.3. ÍNDICE DE VEGETACIÓN AJUSTADO AL SUELO TRANSFORMADO - TSAVI

Para el cálculo del Índice de Vegetación Ajustado al Suelo Transformado (TSAVI), se determinaron previamente la pendiente y la intersección para cada época del año seleccionada, utilizando la Banda 4 (Red) como variable x y la Banda 8 (NIR) como variable y. Posteriormente, se seleccionaron puntos representativos de distintos tipos de cobertura, como vegetación densa y suelo desnudo, y se extrajeron sus valores de reflectancia correspondientes en ambas bandas. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 11. Regresiones lineales Red vs NIR

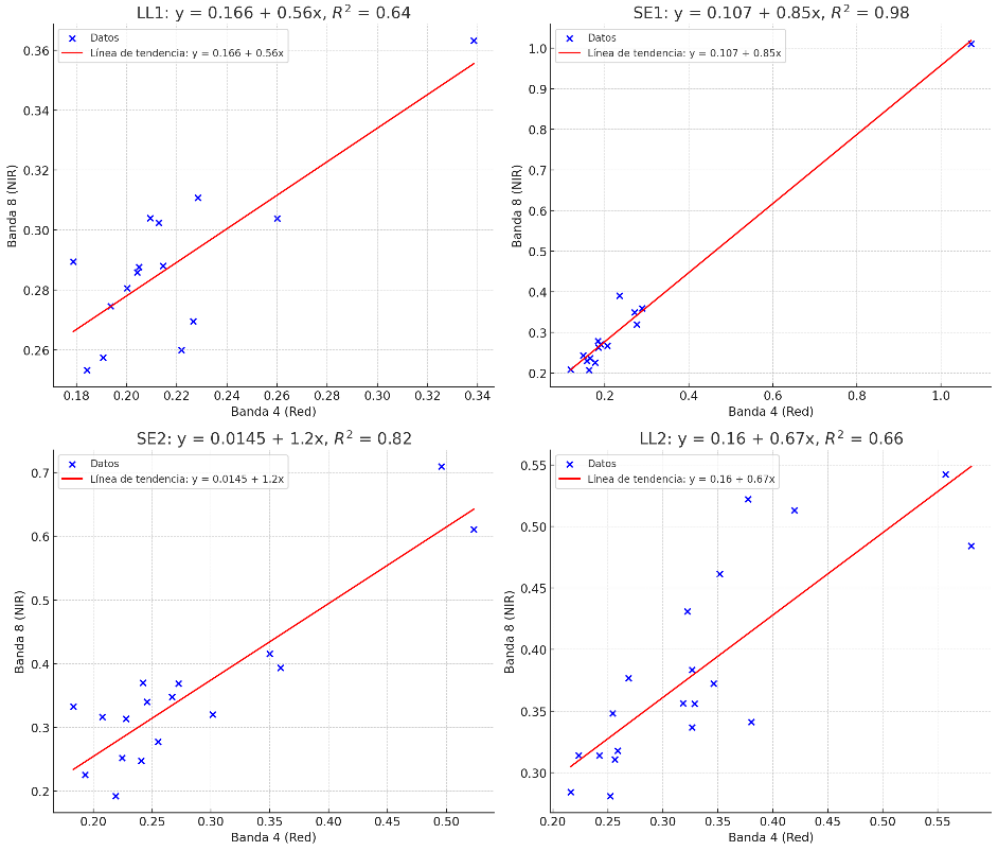
Época	Ecuación	r^2
LL1	y=0.166+0.56x	0.64
SE1	y=0.107+0.85x	0.98
SE2	y=0.0145+1.2x	0.82
LL2	y=0.16+0.67x	0.66

Nota: Elaboración propia

Los valores de r^2 indican un buen ajuste en las épocas SE1 y SE2, sugiriendo que las ecuaciones capturan adecuadamente la relación entre la Banda 4 (Red) y la Banda 8 (NIR) durante esas estaciones.

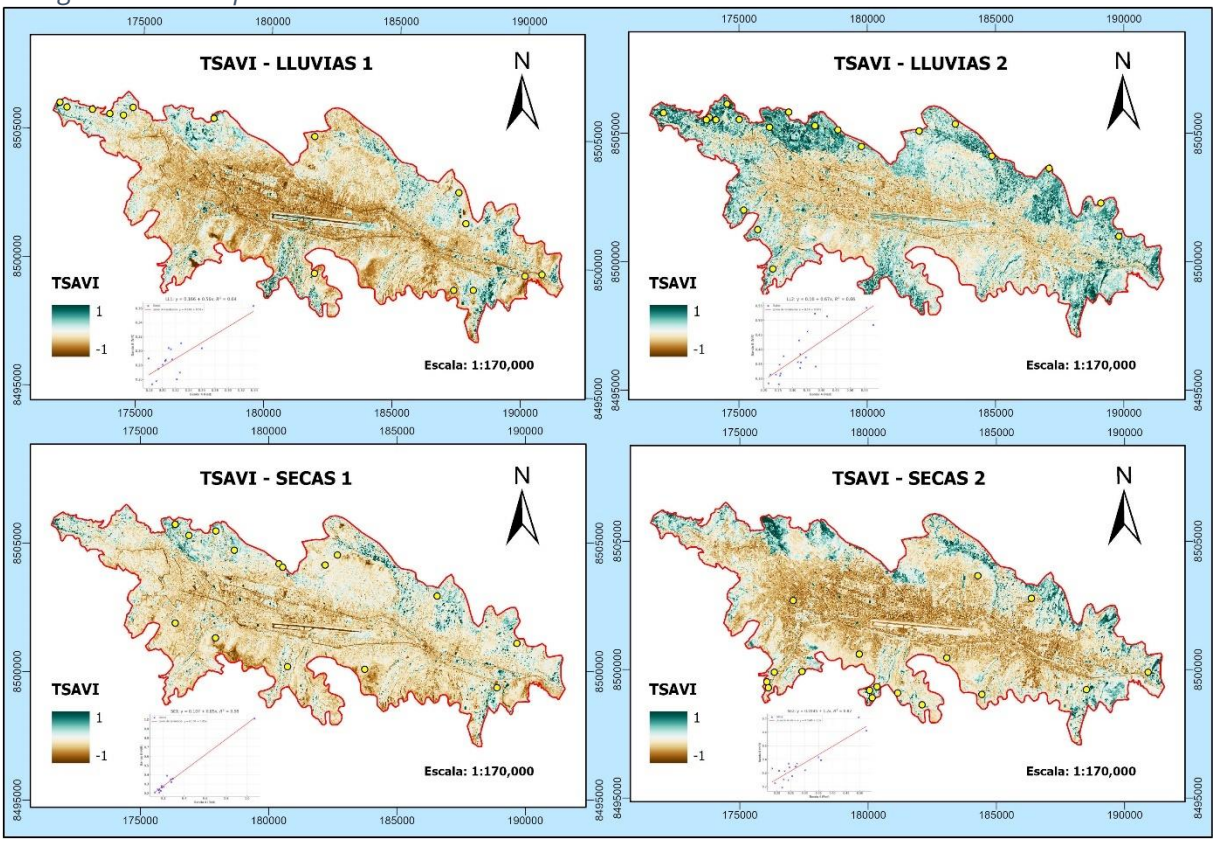
En LL1 y LL2, aunque el ajuste es menor, sigue siendo aceptable, reflejando una variabilidad moderada en la relación entre las bandas. Estos resultados sugieren que el índice TSAVI puede diferir según la estación, con un mayor ajuste en las épocas secas. Gráficamente, la tendencia se representa de la siguiente manera.

Figura 13. Gráfico de regresión lineal para cálculo de TSAVI



Nota: Elaboración propia

Figura 14. TSAVI para la ciudad del Cusco



Nota: Elaboración propia

Del mapa anterior, el TSAVI permitió evaluar la influencia del suelo en la reflectancia de la cobertura vegetal en la ciudad del Cusco. Este índice se diseñó para reducir la interferencia del brillo del suelo en la estimación de la vegetación, especialmente en áreas donde la proporción de suelo desnudo podía afectar la medición de los índices espectrales tradicionales, como el NDVI.

Los valores obtenidos en los mapas mostraron diferencias marcadas entre las temporadas de lluvias y secas, organizadas en cuatro momentos de análisis: LL1 y LL2 para la época lluviosa, y SE1 y SE2 para la época seca. En LL1 y LL2, los valores positivos del TSAVI, representados en tonos verde-azulados oscuros, predominaron en las zonas de mayor cobertura vegetal, lo que indicó una respuesta positiva de la vegetación a la disponibilidad de agua. En estas imágenes, las áreas con valores negativos, asociadas a suelos desnudos o vegetación escasa, se redujeron en comparación con la temporada seca.

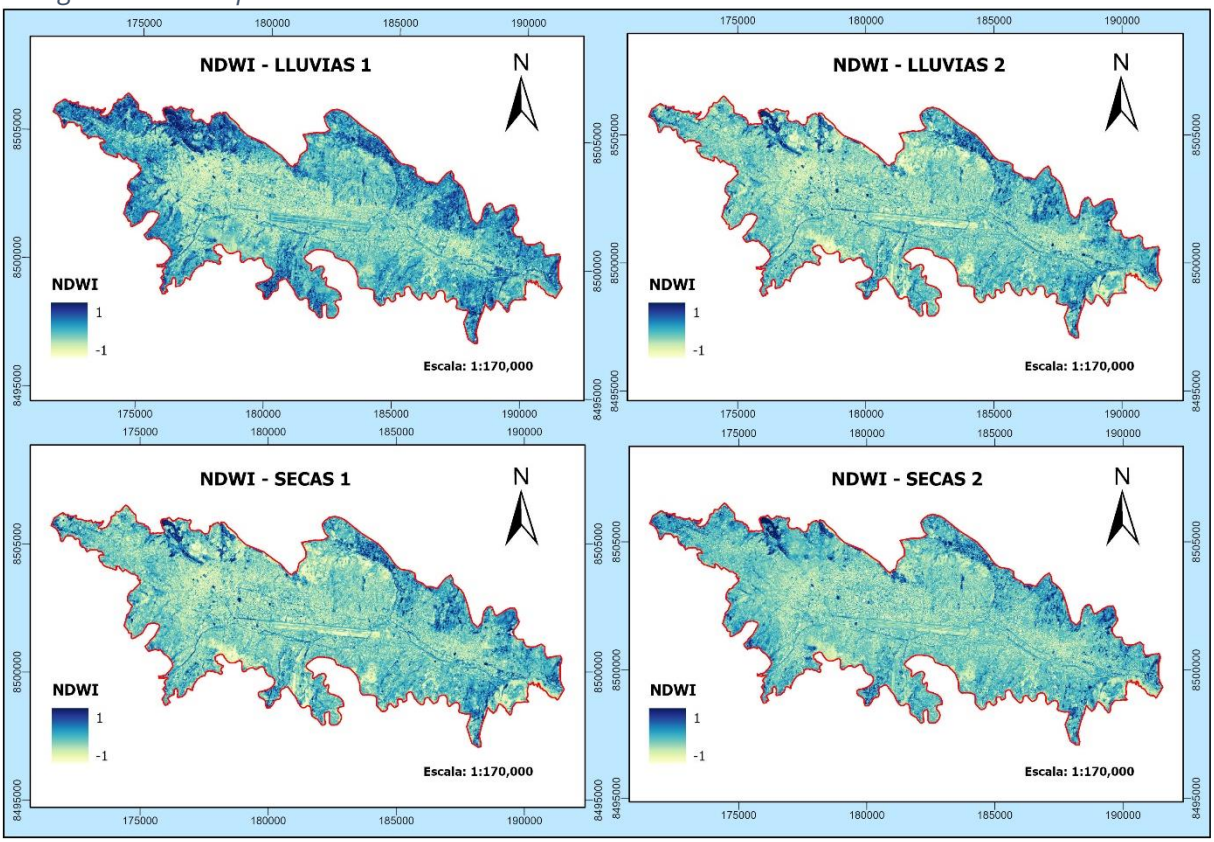
En contraste, durante SE1 y SE2, la cobertura vegetal disminuyó y la reflectancia del suelo cobró mayor relevancia, lo que generó un incremento en las áreas con valores negativos del TSAVI, representadas en tonos marrón claro a beige. Esto se observó principalmente en terrenos agrícolas en descanso, zonas urbanas y áreas degradadas, donde la ausencia de vegetación permitió una mayor influencia del suelo en la reflectancia registrada por los sensores.

La comparación entre estos períodos confirmó un patrón estacional en la respuesta espectral de la vegetación. En los meses de lluvias, la disponibilidad de humedad favoreció un aumento en la actividad fotosintética, reduciendo la influencia del suelo en los valores de TSAVI. Por el contrario, en la temporada seca, la disminución del agua disponible limitó el desarrollo de la vegetación, exponiendo mayores superficies de suelo y acentuando la variabilidad del índice en función de las características del sustrato.

4.1.2.4. ÍNDICE DE DIFERENCIA NORMALIZADA DEL AGUA - NDWI

El Índice de diferencia normalizada del agua – NDWI resultado para las dos épocas del año se muestra a continuación.

Figura 15. NDWI para la ciudad del Cusco



Nota: Elaboración propia

Los resultados obtenidos del anterior mapa Los resultados obtenidos evidenciaron la variación estacional de la humedad superficial en la ciudad del Cusco, permitiendo distinguir con claridad los cuerpos de agua, los suelos saturados y las áreas secas. El Índice Diferencial Normalizado de Agua (NDWI) mostró estos cambios a través de una escala cromática en la que los valores más altos, representados en azul oscuro, indicaron la presencia de cuerpos de agua y suelos con alta humedad. En contraste, los valores más bajos, visualizados en tonos amarillo y verde claro, señalaron superficies áridas o con baja capacidad de retención hídrica. Durante la temporada de lluvias (LL1 y LL2), se identificó una mayor extensión de zonas con altos valores de NDWI, reflejando un incremento en la disponibilidad de agua superficial. Las áreas ribereñas y los cuerpos de agua

permanentes presentaron una mayor saturación hídrica, mientras que las superficies agrícolas y la vegetación natural registraron un aumento en la retención de humedad, favorecido por la precipitación.

En la temporada seca (SE1 y SE2), la disminución de la humedad superficial fue notoria. Las áreas con valores elevados del índice se redujeron considerablemente, evidenciando la retracción de cuerpos de agua temporales y la pérdida de humedad en el suelo. Se observó un incremento en las zonas con valores negativos, asociadas a suelos áridos, superficies urbanas y vegetación con menor capacidad de retención hídrica. El comportamiento del NDWI en la ciudad del Cusco confirmó la influencia del régimen de precipitaciones en la distribución de la humedad. La variabilidad espacial observada resaltó la importancia de este análisis para la planificación territorial, la gestión del recurso hídrico y el monitoreo ambiental en la región.

4.1.2.5. ÍNDICE DE HUMEDAD EN LAS HOJAS - LWCI

El Índice de humedad en las hojas - LWCI fue representado en el mapa siguiente donde, se mostró una distribución clara del contenido de agua en la vegetación en la ciudad del Cusco, diferenciando las variaciones entre las temporadas de lluvias (LL1 y LL2) y secas (SE1 y SE2). La escala cromática utilizada, con tonos verdes para valores altos y rojos para valores bajos, permitió visualizar los cambios en la humedad foliar.

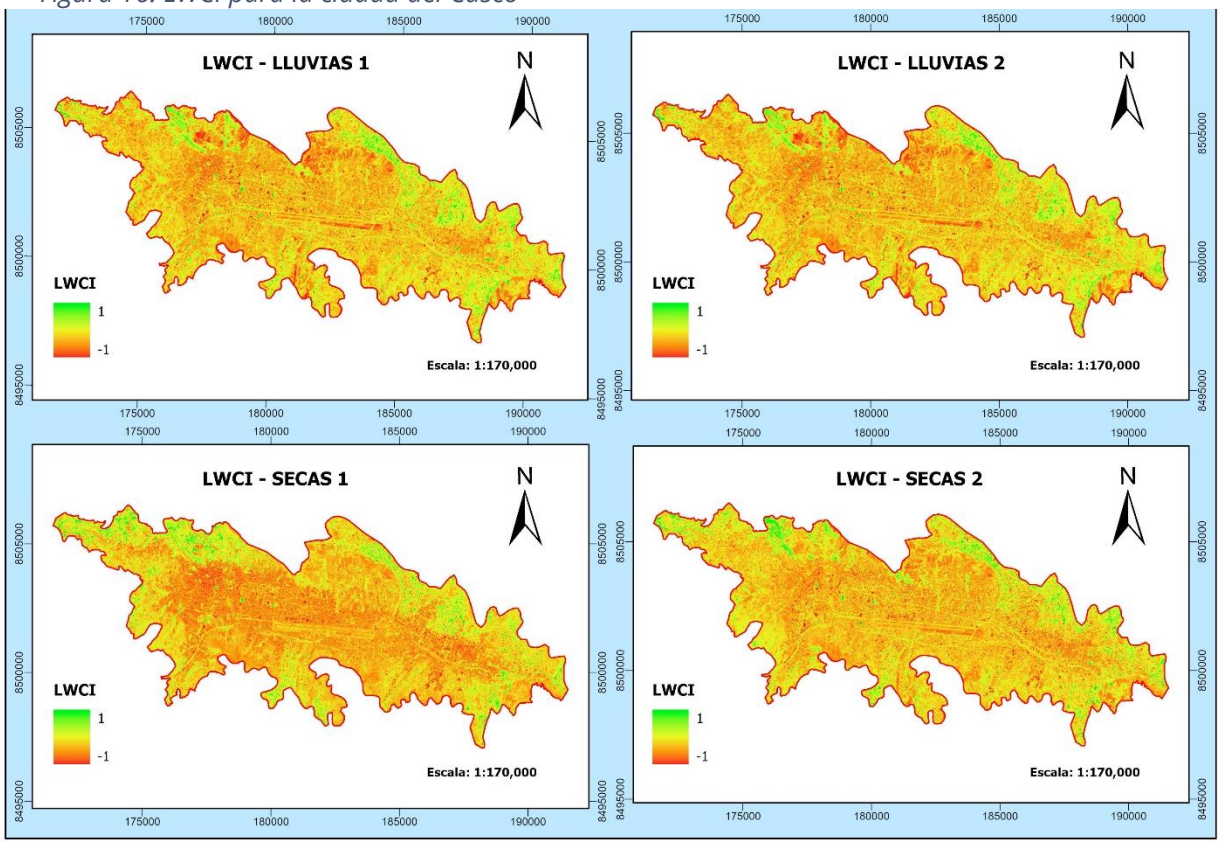
En LL1 y LL2, predominó un patrón con extensas áreas en tonos amarillo y naranja, lo que indicó que, a pesar de la temporada de lluvias, la vegetación presentó un contenido de agua moderado, con solo pequeñas áreas verdes dispersas que reflejaron una mayor hidratación. Estas zonas se concentraron en sectores específicos, posiblemente vinculados a cuerpos de agua, vegetación densa o terrenos con mayor retención hídrica. En SE1 y SE2, la distribución cromática se mantuvo similar, con una ligera reducción en las áreas verdes y un predominio

más marcado de los tonos naranja y rojo, lo que evidenció una disminución general del contenido de agua en la vegetación. Sin embargo, no se observó una diferencia drástica entre ambas estaciones, lo que sugiere que la vegetación en la región presentó una capacidad de retención de humedad relativamente estable, aunque con signos de estrés en ciertas áreas.

Las zonas con valores más bajos del índice, representadas en rojo, se localizaron en sectores urbanos, suelos expuestos o áreas con vegetación degradada, donde la baja disponibilidad de agua afectó la capacidad de hidratación de la cobertura vegetal.

El análisis mostró una humedad vegetal homogénea, con ligeras variaciones estacionales y una reducción de valores altos en la temporada seca.

Figura 16. LWCI para la ciudad del Cusco

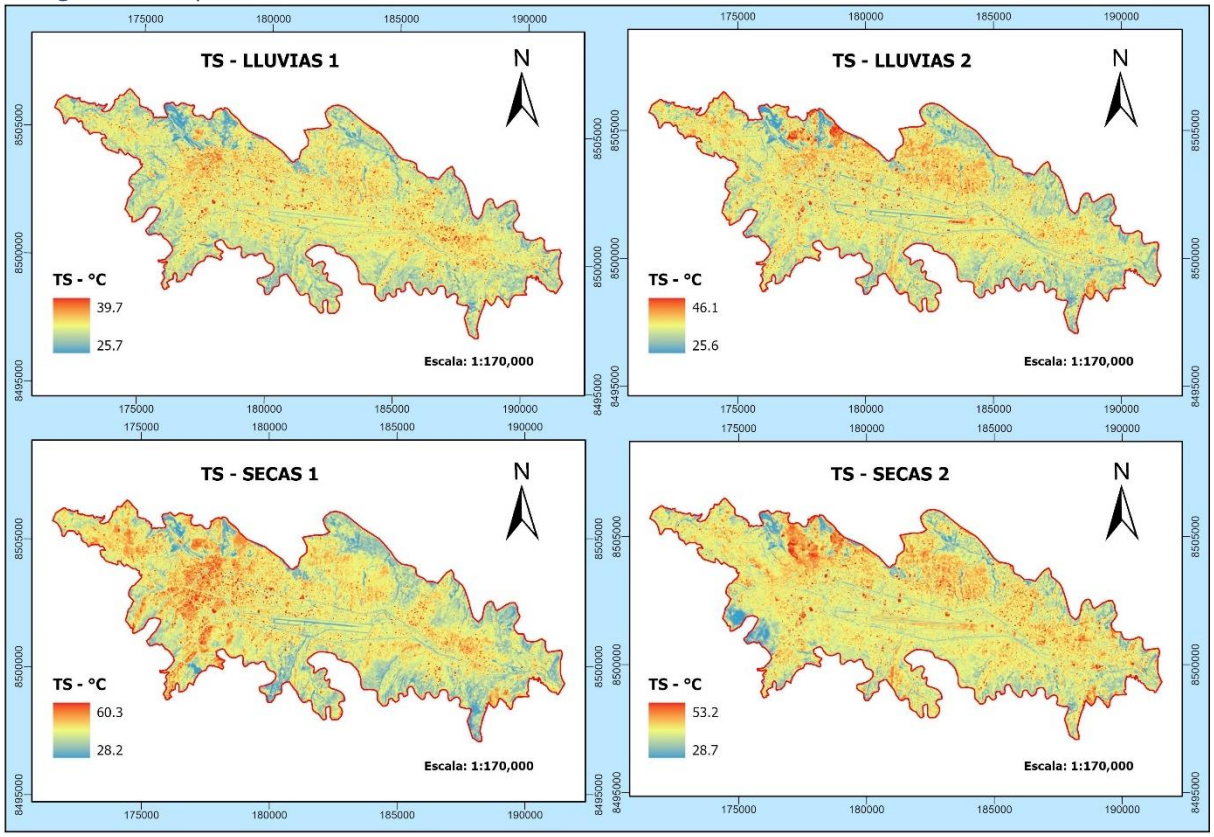


Nota: Elaboración propia

4.1.2.6. TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE – TS

En cuanto a la temperatura de la superficie se obtuvo el siguiente resultado.

Figura 17. TS para la ciudad del Cusco



Nota: Elaboración propia

Los mapas de temperatura superficial (TS) mostraron diferencias térmicas notables entre las épocas de lluvias y secas, reflejando la influencia estacional en la dinámica térmica del área urbana. Para la temporada de lluvias, las temperaturas variaron entre 25.6 °C y 46.1 °C, observándose una distribución relativamente uniforme con predominio de valores intermedios. Esta homogeneidad se asoció a la presencia de mayor humedad ambiental y cobertura vegetal activa, factores que amortiguaron la acumulación de calor superficial. Incluso en zonas urbanizadas, donde se esperaría mayor retención térmica, las temperaturas se mantuvieron dentro de un rango moderado, sugiriendo un efecto atenuante de las condiciones húmedas sobre el calentamiento superficial.

Durante la época seca, se registraron temperaturas significativamente más elevadas, alcanzando un máximo de 60.3 °C. Este incremento fue más evidente en

las áreas densamente construidas, donde los materiales como concreto y asfalto, con alta capacidad de absorción térmica, intensificaron el calentamiento superficial. Las zonas urbanas destacaron por concentrar los valores más altos, en contraste con sectores vegetados que actuaron como reguladores térmicos. Esta diferencia marcó la aparición del efecto de isla de calor urbana, en el cual la pérdida de vegetación y el aumento de superficies artificiales alteraron el equilibrio térmico natural, generando focos de calor persistente. La comparación entre ambas estaciones evidenció que la variabilidad térmica responde no solo a factores climáticos estacionales, sino también al tipo de cobertura del suelo, reforzando la relación entre urbanización y aumento de temperatura superficial.

Al observar los mapas, se identificaron patrones térmicos recurrentes. En ambas épocas, las zonas con cuerpos de agua y cobertura vegetal densa, especialmente hacia el noreste y sureste del área de estudio, mostraron temperaturas consistentemente bajas, representadas por tonalidades azules. En contraste, las áreas céntricas y occidentales, donde predominan estructuras artificiales y mayor densidad urbana, registraron temperaturas más altas, visibles en tonos anaranjados y rojos. En SE1 se evidenció el valor máximo absoluto de toda la serie (60.3 °C), distribuyéndose en núcleos urbanos compactos: islas de calor. Además, el incremento térmico no fue homogéneo: mientras algunas zonas se mantuvieron térmicamente estables entre estaciones, otras, especialmente urbanas, experimentaron saltos térmicos abruptos entre lluvias y secas, lo que sugiere vulnerabilidad térmica localizada.

Estos resultados no solo evidencian el efecto amplificador del desarrollo urbano sobre la temperatura superficial, sino que también resaltan la necesidad de estrategias de planificación urbana que consideren la incorporación de infraestructura verde como mecanismo de mitigación térmica. La variabilidad espacial y estacional del TS observada a través de los mapas sugiere que las

decisiones sobre el uso del suelo pueden tener un impacto directo en la regulación térmica del entorno urbano.

4.1.3. ÍNDICE DE CALIDAD AMBIENTAL URBANO

4.1.3.1. NORMALIZACIÓN DE DATOS Y PRUEBA DE BOOTSTRAP

Los índices en ambas épocas del año fueron normalizados utilizando el método de mínimos y máximos con valores entre 0 y 1, y posteriormente se sometieron a un análisis no paramétrico mediante la técnica *bootstrap* para evaluar la robustez y estabilidad de los resultados obtenidos. De tal manera que se midió la variabilidad de los índices, mejorando la precisión y confiabilidad de los resultados, asegurando que las conclusiones no fueran afectadas por fluctuaciones en los datos.

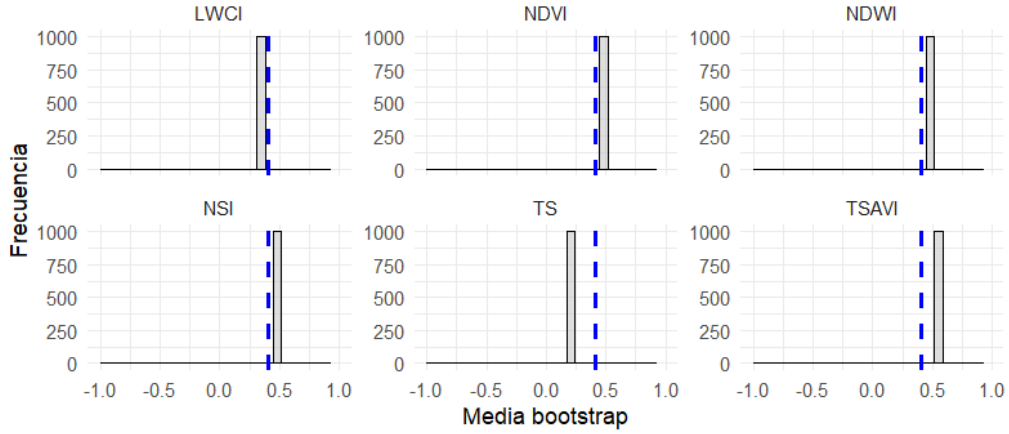
Tabla 12. Resultados del Bootstrapping para LL1

Índice	Media	Bias	Error Estándar	IC_95_Lower	IC_95_Upper
NDVI	0.4674199	-4.10E-06	0.00016578	0.4670675	0.4677165
NSI	0.4718975	8.92E-08	0.0001401	0.4716158	0.4721745
TSAVI	0.519744	-4.01E-06	9.5995E-05	0.5195572	0.5199328
NDWI	0.4678721	1.71E-06	9.9319E-05	0.4676801	0.4680584
LWCI	0.3127557	-2.39E-07	3.1652E-05	0.3126962	0.3128181
TS	0.1949592	6.47E-07	7.0525E-05	0.1948156	0.195093

Nota: Elaboración propia

De la tabla anterior, para la época de lluvias 1 (LL1) se observó una alta precisión en las estimaciones de los índices evaluados (NDVI, NSI, TSAVI, NDWI, LWCI y TS). Las medias estuvieron bien definidas, destacando valores como TSAVI (0.5197) y LWCI (0.3128). El bias fue prácticamente inexistente, siendo el sesgo más alto observado en NDVI (-4.097e-06), lo que aseguró que las estimaciones fueran confiables. Los errores estándar fueron muy bajos, resaltando LWCI con 0.00003165, lo que reflejó una variabilidad mínima en las estimaciones. Los intervalos de confianza resultaron ser estrechos, lo que reforzó la consistencia de los resultados, con LWCI presentando el intervalo más ajustado [0.3126962, 0.3128181]. En consecuencia, los datos se consideraron sólidos y las estimaciones, extremadamente precisas. Gráficamente se precisa a continuación.

Figura 18. Gráfico de la distribución Bootstrap de las medias para cada índice – LL1



Nota: Elaboración propia

En cuanto a la época de lluvias 2 (LL2) se tuvieron los siguientes resultados.

Tabla 13. Resultados del Bootstrapping para LL2

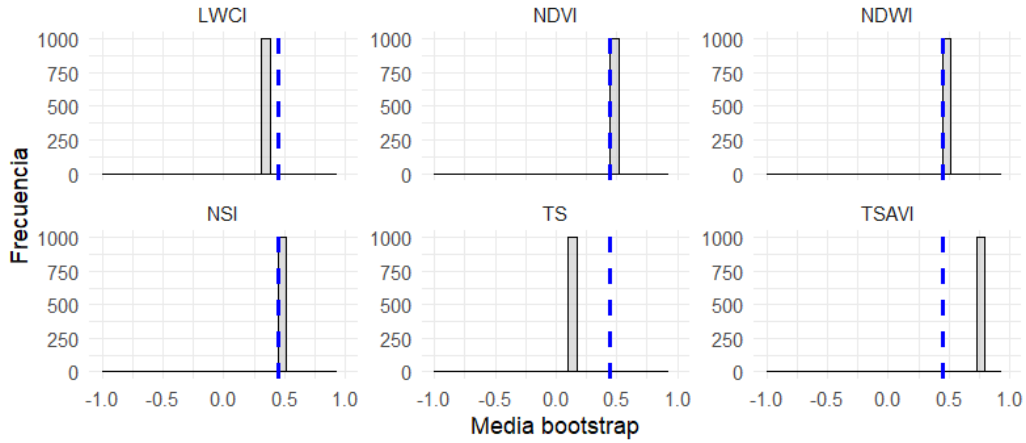
Índice	Media	Bias	Error Estándar	IC_95_Lower	IC_95_Upper
NDVI	0.467872	-5.68E-06	0.000101553	0.467666	0.4680694
NSI	0.497785	1.49E-06	0.000124599	0.4975277	0.4980302
TSAVI	0.757068	-1.42E-06	4.7254E-05	0.7569748	0.7571687
NDWI	0.467872	1.63E-06	9.96279E-05	0.4676817	0.4680712
LWCI	0.312756	7.01E-08	3.20259E-05	0.3126899	0.3128184
TS	0.167613	4.63E-06	6.74272E-05	0.1674886	0.1677409

Nota: Elaboración propia

De la tabla anterior, para la época de lluvias 1 (LL1) se observó una alta precisión en las estimaciones de los índices evaluados (NDVI, NSI, TSAVI, NDWI, LWCI y TS). Las medias estuvieron claramente definidas, destacando los valores de TSAVI (0.7571) y LWCI (0.3128), lo que reflejó una notable consistencia en los datos. El bias fue prácticamente inexistente en todos los casos, con el mayor sesgo registrado en TS (4.627e-06), lo que aseguró que las estimaciones fueran confiables y no estuvieran afectadas por distorsiones significativas. Los errores estándar fueron muy bajos, destacándose LWCI con un error de 0.00003203, lo que indicó una variabilidad mínima en las estimaciones y reforzó la precisión de los resultados. Los intervalos de confianza resultaron ser estrechos en todos los índices, lo que subrayó aún más la consistencia de las estimaciones. LWCI presentó el intervalo más ajustado [0.3126899, 0.3128184], lo que garantizó una alta fiabilidad en la estimación. La estrechez de los intervalos de confianza indicó

que las medias estimadas fueron altamente representativas de los valores reales, sin grandes variaciones entre las muestras. Gráficamente, se presenta a continuación.

Figura 19. Gráfico de la distribución Bootstrap de las medias para cada índice – LL2



Nota: Elaboración propia

En cuanto a la época de secas 1 (SE1) se tuvieron los siguientes resultados.

Tabla 14. Resultados del Bootstrapping para SE1

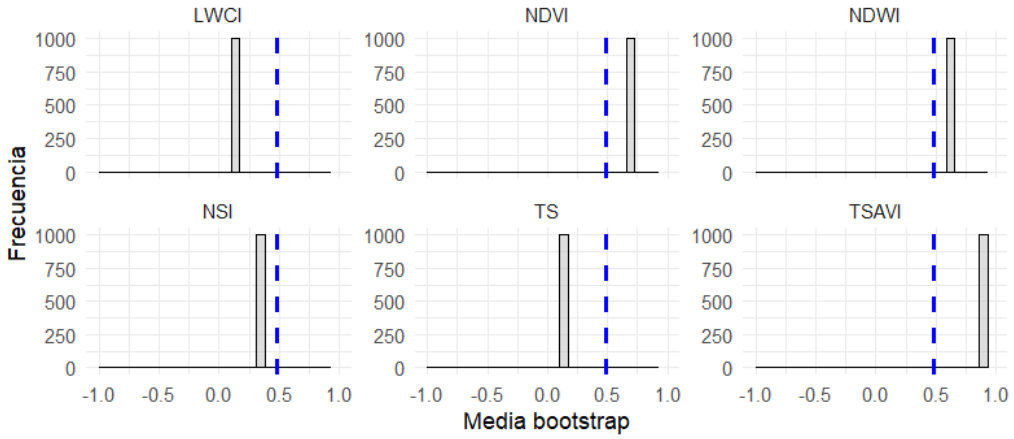
Índice	Media	Bias	Error Estándar	IC_95_Lower	IC_95_Upper
NDVI	0.684678	4.33E-06	0.000164208	0.6843534	0.6849849
NSI	0.359438	-2.06E-06	0.000166156	0.3591043	0.359782
TSAVI	0.924531	1.24E-06	3.33166E-05	0.9244666	0.9245996
NDWI	0.649347	-8.23E-06	0.000142485	0.649052	0.6496144
LWCI	0.161394	-7.05E-07	2.24012E-05	0.1613514	0.1614365
TS	0.115704	4.90E-07	5.07274E-05	0.1156015	0.1158038

Nota: Elaboración propia

En la época de secas 1 (SE1), las estimaciones de los índices NDVI, NSI, TSAVI, NDWI, LWCI y TS mostraron alta precisión y consistencia. Las medias estuvieron bien definidas, destacándose TSAVI (0.9245) y NDVI (0.6847). El bias fue prácticamente inexistente, siendo el mayor en NDWI (-8.225e-06), lo que garantizó la confiabilidad de las estimaciones. Los errores estándar fueron bajos, especialmente en LWCI (0.00002240), lo que reflejó una variabilidad mínima. Los intervalos de confianza fueron estrechos, reforzando la precisión de las estimaciones, con LWCI presentando el intervalo más ajustado [0.1613514, 0.1614365]. Por tanto, los resultados reflejaron estimaciones precisas, con baja

variabilidad y sesgo insignificante. Gráficamente se observó de la siguiente manera.

Figura 20. Gráfico de la distribución Bootstrap de las medias para cada índice – SE1



Nota: Elaboración propia

En cuanto a la época de secas 2 (SE2) se tuvieron los siguientes resultados.

Tabla 15. Resultados del Bootstrapping para SE2

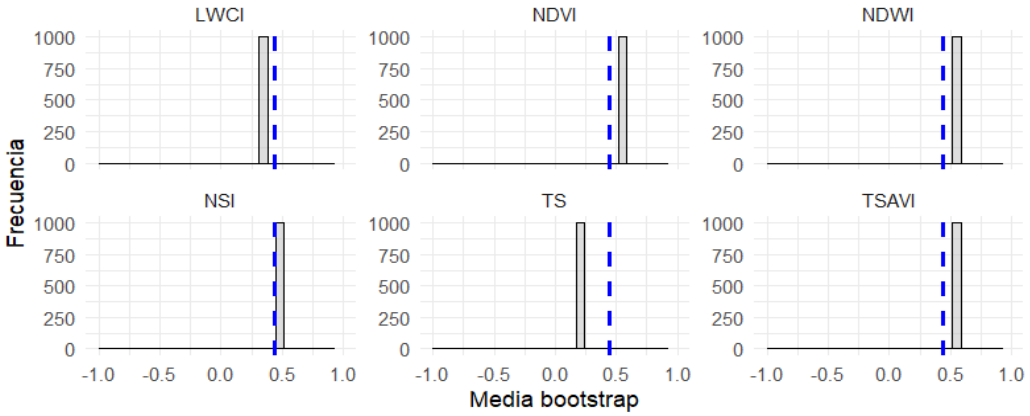
Índice	Media	Bias	Error Estándar	IC_95_Lower	IC_95_Upper
NDVI	0.554989	-5.57E-06	0.000131821	0.5547216	0.5552483
NSI	0.470692	-3.53E-06	0.000210648	0.4702853	0.4711309
TSAVI	0.584443	6.26E-06	0.000169854	0.5841404	0.5848
NDWI	0.541073	2.26E-06	0.000165773	0.5407379	0.5414081
LWCI	0.317359	3.33E-06	5.07561E-05	0.3172638	0.3174679
TS	0.176551	-5.62E-06	0.000103909	0.1763428	0.1767521

Nota: Elaboración propia

En la época de secas 2 (SE2), las estimaciones de los índices NDVI, NSI, TSAVI, NDWI, LWCI y TS se caracterizaron por una alta precisión y consistencia. Las medias estuvieron claramente definidas, destacándose TSAVI (0.5844) y NDVI (0.5550) como los valores más relevantes. El bias fue prácticamente inexistente en todos los casos, siendo el mayor registrado en TS (-5.618e-06), lo que garantizó la confiabilidad de las estimaciones al no presentar distorsiones significativas. Los errores estándar fueron bajos, en particular en LWCI (0.00005076), lo que reflejó una variabilidad mínima en las estimaciones. Asimismo, los intervalos de confianza fueron estrechos, reforzando la precisión de los resultados, con LWCI presentando el intervalo más ajustado [0.3172638, 0.3174679]. En consecuencia,

las estimaciones mostraron una alta precisión, con baja variabilidad y sesgo insignificante en todos los índices. Gráficamente se tuvieron los resultados se expresaron de la siguiente manera.

Figura 21. Gráfico de la distribución Bootstrap de las medias para cada índice – SE2



Nota: Elaboración propia

4.1.3.2. RELACIÓN ENTRE LOS ÍNDICES AMBIENTALES

A través de la prueba de correlación de Pearson, se determinaron las siguientes relaciones entre los índices ambientales evaluados. Para la época de lluvias 1 (LL1) se tuvo la siguiente relación.

Tabla 16. Matriz de correlación de Pearson para LL1

Índice	NDVI_LL1	NSI_LL1	TSAVI_LL1	NDWI_LL1	LWCI_LL1	TS_LL1
NDVI_LL1	1	-8.68E-01	0.7905407	0.405026	0.395093	-0.5006936
NSI_LL1	-	1.00E+00	-0.7711375	-0.6244615	-0.6055405	0.6145739
TSAVI_LL1	-	-	1	0.3915455	0.3501875	-0.0550445
NDWI_LL1	-	-	-	1	0.9697999	-0.5055459
LWCI_LL1	-	-	-	-	1	-0.5394064
TS_LL1	-	-	-	-	-	1

Nota: Elaboración propia

Tabla 17. Matriz de p-valores para LL1

Índice	NDVI_LL1	NSI_LL1	TSAVI_LL1	NDWI_LL1	LWCI_LL1	TS_LL1
NDVI_LL1	NA	0.00E+00	0	0	0	0
NSI_LL1	-	NA	0	0	0	0
TSAVI_LL1	-	-	NA	0	0	0
NDWI_LL1	-	-	-	NA	0	0
LWCI_LL1	-	-	-	-	NA	0
TS_LL1	-	-	-	-	-	NA

Nota: Elaboración propia

En las tablas anteriores se mostraron correlaciones significativas entre los índices ambientales del conjunto de datos para la estación de lluvias 1 (LL1). Se observó una fuerte correlación negativa entre NDVI_LL1 y NSI_LL1 (-0.868), lo que indicó que a medida que uno de estos índices aumentaba, el otro tendía a disminuir considerablemente. Asimismo, la relación entre NDVI_LL1 y TSAVI_LL1 fue positiva y fuerte (0.790), lo que sugirió una tendencia conjunta en su variación.

En contraste, NDWI_LL1 y LWCI_LL1 presentaron una correlación positiva muy alta (0.969), reflejando una relación lineal casi perfecta. Los p-valores asociados, todos cercanos a 0, confirmaron que estas correlaciones fueron estadísticamente significativas, lo que reforzó la importancia de las interacciones entre los índices en la evaluación ambiental del área estudiada.

Para la época de lluvias 1 (LL2) se tuvo la siguiente relación.

Tabla 18. Matriz de correlación de Pearson para LL2

Índice	NDVI_LL2	NSI_LL2	TSAVI_LL2	NDWI_LL2	LWCI_LL2	TS_LL2
NDVI_LL2	1	-9.02E-01	0.65793262	1	0.9697999	-0.50881155
NSI_LL2	-	1	-0.71101715	-0.9019775	-0.8768619	0.52426
TSAVI_LL2	-	-	1	0.6579326	0.594491	0.09086826
NDWI_LL2	-	-	-	1	0.9697999	-0.50881155
LWCI_LL2	-	-	-	-	1	-0.56943665
TS_LL2	-	-	-	-	-	1

Nota: Elaboración propia

Tabla 19. Matriz de p-valores para LL2

Índice	NDVI_LL2	NSI_LL2	TSAVI_LL2	NDWI_LL2	LWCI_LL2	TS_LL2
NDVI_LL2	NA	0	0	0	0	0
NSI_LL2	-	NA	0	0	0	0
TSAVI_LL2	-	-	NA	0	0	0
NDWI_LL2	-	-	-	NA	0	0
LWCI_LL2	-	-	-	-	NA	0
TS_LL2	-	-	-	-	-	NA

Nota: Elaboración propia

En las tablas anteriores se mostraron correlaciones significativas entre los índices ambientales del conjunto de datos para la estación de lluvias 2 (LL2). Los resultados en LL2 muestran correlaciones similares a las de LL1 en muchas relaciones, pero con algunas diferencias en la fuerza de las correlaciones. La

relación inversa entre NDVI y NSI fue más fuerte en LL2 (-0.902 en comparación con -0.868 en LL1), mientras que la relación positiva entre NDVI y TSAVI fue menos marcada en LL2 (0.658 en comparación con 0.790 en LL1). Sin embargo, la correlación entre NDWI y LWCI se mantuvo consistentemente alta en ambas estaciones (0.970 en LL2 y 0.969 en LL1), lo que indica que estas variables tienen una relación lineal robusta a lo largo de las dos estaciones de lluvias. Se infiere que, durante la época de lluvias, los índices muestran relaciones que destacan la influencia del aumento de humedad y la vegetación en el paisaje. La fuerte correlación negativa entre NDVI y NSI sugiere que, en esta estación, el crecimiento de la vegetación desplaza significativamente las áreas no vegetadas.

Para la época de secas 1 (SE1) se tuvo la siguiente relación.

Tabla 20. Matriz de correlación de Pearson para SE1

Índice	NDVI_SE1	NSI_SE1	TSAVI_SE1	NDWI_SE1	LWCI_SE1	TS_SE1
NDVI_SE1	1	-8.77E-01	0.8422689	0.7763727	0.7271838	-0.5893836
NSI_SE1	-	1	-0.8602597	-0.9620658	-0.9020545	0.6115674
TSAVI_SE1	-	-	1	0.8476714	0.8270099	-0.2730881
NDWI_SE1	-	-	-	1	0.9452192	-0.5440483
LWCI_SE1	-	-	-	-	1	-0.448235
TS_SE1	-	-	-	-	-	1

Nota: Elaboración propia

Tabla 21. Matriz de p-valores para SE1

Índice	NDVI_SE1	NSI_SE1	TSAVI_SE1	NDWI_SE1	LWCI_SE1	TS_SE1
NDVI_SE1	NA	0	0	0	0	0
NSI_SE1	-	NA	0	0	0	0
TSAVI_SE1	-	-	NA	0	0	0
NDWI_SE1	-	-	-	NA	0	0
LWCI_SE1	-	-	-	-	NA	0
TS_SE1	-	-	-	-	-	NA

Nota: Elaboración propia

En las tablas anteriores se mostraron correlaciones significativas entre los índices ambientales del conjunto de datos para la estación seca 1 (SE1). Se observó una fuerte correlación negativa entre NDVI_SE1 y NSI_SE1 (-0.877), lo que indicó que a medida que uno de estos índices aumentaba, el otro tendía a disminuir considerablemente, sugiriendo una marcada sustitución de áreas no vegetadas

por vegetación durante la estación seca. Asimismo, la relación entre NDVI_SE1 y TSAVI_SE1 fue positiva y fuerte (0.842), lo que reflejó que las zonas con mayor vegetación también exhibieron características estructurales más complejas, posiblemente debido a la resiliencia de la vegetación en condiciones secas. En contraste, NDWI_SE1 y LWCI_SE1 presentaron una correlación positiva muy alta (0.945), lo que sugirió que la capacidad de retener agua en el paisaje continuó siendo un factor clave en la configuración del entorno, incluso en épocas de baja disponibilidad hídrica. Los p-valores asociados, todos cercanos a 0, confirmaron que estas correlaciones fueron estadísticamente significativas, lo que reforzó la importancia de las interacciones entre los índices en la evaluación ambiental del área estudiada.

Para la época de lluvias 1 (SE2) se tuvo la siguiente relación.

Tabla 22. Matriz de correlación de Pearson para SE2

Índice	NDVI_SE2	NSI_SE2	TSAVI_SE2	NDWI_SE2	LWCI_SE2	TS_SE2
NDVI_SE2	1	-8.05E-01	0.8962075	0.6576195	0.6446109	-0.4339103
NSI_SE2	-	1	-0.9079347	-0.9113306	-0.8789188	0.4248294
TSAVI_SE2	-	-	1	0.7866967	0.7635915	-0.3623449
NDWI_SE2	-	-	-	1	0.9610296	-0.4360859
LWCI_SE2	-	-	-	-	1	-0.4942856
TS_SE2	-	-	-	-	-	1

Nota: Elaboración propia

Tabla 23. Matriz de p-valores para SE2

Índice	NDVI_SE2	NSI_SE2	TSAVI_SE2	NDWI_SE2	LWCI_SE2	TS_SE2
NDVI_SE2	NA	0	0	0	0	0
NSI_SE2	-	NA	0	0	0	0
TSAVI_SE2	-	-	NA	0	0	0
NDWI_SE2	-	-	-	NA	0	0
LWCI_SE2	-	-	-	-	NA	0
TS_SE2	-	-	-	-	-	NA

Nota: Elaboración propia

En las tablas anteriores se mostraron correlaciones significativas entre los índices ambientales del conjunto de datos para la estación seca 2 (SE2), la cual mostró relaciones más fuertes tanto en la vegetación como en la retención de humedad. La correlación entre NDVI y TSAVI fue de 0.896 en SE2, comparada con 0.842 en SE1, lo que indicó que en SE2 las áreas con mayor cobertura vegetal estuvieron

más asociadas con la productividad fotosintética y el uso eficiente de los recursos en el ecosistema. Adicionalmente, la correlación entre NDWI y LWCI fue más alta en SE2 (0.961 frente a 0.945 en SE1), lo que sugirió que el paisaje en SE2 fue más eficiente en la retención de humedad, un factor clave para la estabilidad del ecosistema en condiciones de sequía.

En contraste, SE1 se destacó por una mayor disminución de las áreas no vegetadas a medida que la vegetación aumentaba, como lo reflejó la correlación negativa más fuerte entre NDVI y NSI (-0.877 en SE1 frente a -0.805 en SE2). Esto indicó que en SE1 el crecimiento de la vegetación fue más efectivo para desplazar áreas no vegetadas. Asimismo, la correlación negativa entre NDVI y TS fue más fuerte en SE1 (-0.589 en comparación con -0.434 en SE2), lo que sugirió que en SE1 la vegetación contribuyó en mayor medida a la reducción de la temperatura superficial.

4.1.3.3. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES – PCA

Los índices correspondientes a cada época seleccionada fueron sometidos a un análisis de componentes principales antes de la construcción del índice de calidad ambiental urbano, obteniéndose los siguientes resultados. Para el caso de la época de lluvias 1 (LL1) los componentes principales fueron los siguientes.

Tabla 24. Análisis de componentes principales para LL1

Autovalor	Autovalor	Porcentaje de varianza	Porcentaje acumulado
PC1	3.84247185	6.40E+01	6.40E+01
PC2	1.24650273	20.7750455	84.81624
PC3	0.74775399	12.4625665	97.27881
PC4	0.10104699	1.6841165	98.96293
PC5	0.03472183	0.5786971	99.54162
PC6	0.02750261	0.4583769	100

**Componentes retenidos con autovalor mayor a 1*

Nota: Elaboración propia

La tabla anterior presentó el análisis de componentes principales (ACP) para los índices de la variable LL1, indicando los autovalores y el porcentaje de varianza explicado por cada componente principal (PC). El primer componente principal

(PC1) obtuvo un autovalor de 3.84 y explicó el 64.04% de la varianza total, mientras que el segundo componente (PC2) alcanzó un autovalor de 1.25, explicando un 20.78% adicional, lo que llevó el porcentaje acumulado de varianza explicada al 84.82%. Estos dos primeros componentes retuvieron más del 84% de la información, lo que sugirió que la mayor parte de la varianza de los datos podía explicarse con solo dos componentes. Los demás componentes (PC3 a PC6) explicaron proporciones mucho menores de la varianza, lo que significó que su contribución fue relativamente baja.

Tabla 25. Pesos de los componentes en función del ACP para LL1

Indicador	Peso PC1	Peso PC2	Peso Total	Peso Normalizado	Comunalidad
NDVI_LL1	0.532	0.094	0.626	0.205	0.894
NSI_LL1	-0.603	-0.045	-0.648	-0.213	0.934
TSAVI_LL1	0.456	0.13	0.586	0.192	0.901
NDWI_LL1	0.523	-0.094	0.429	0.141	0.87
LWCI_LL1	0.518	-0.102	0.416	0.136	0.893
TS_LL1	-0.424	0.082	-0.342	-0.112	0.596

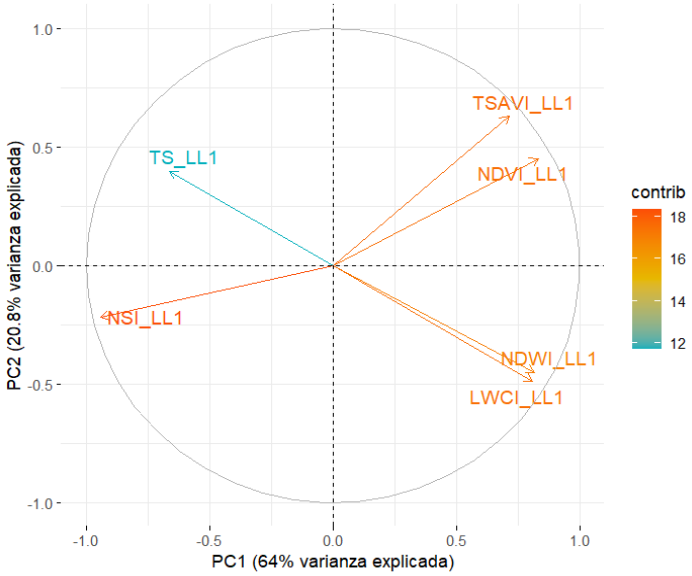
*Autovalor **P1=3.842 y PC2=1.247***
*Porcentaje de varianza **84.8%***
**Comunalidad: % de información compartida con los otros indicadores*
*Método de extracción: **Regresión, con rotacion Varimax***
*Determinante **4.068e-06***
*KMO **0.865***

Nota: Elaboración propia

De la tabla anterior se obtuvo que los componentes principales PC1 y PC2 explicaron el 84.8% de la varianza total de los datos, lo que sugirió que la mayor parte de la información relevante fue capturada por estos dos componentes, proporcionando una base sólida y confiable para la interpretación de las relaciones entre los índices en la construcción del índice de calidad urbana para la época de lluvias 1 (LL1). Los índices NDVI_LL1 y TSAVI_LL1 fueron los más influyentes, destacándose NDVI_LL1 por su alto peso total (0.626) y elevada comunalidad (0.894), lo que indicó que este índice estuvo bien representado en el modelo. Aunque NSI_LL1 presentó una relación inversa con un peso total de -0.648, también mostró una alta comunalidad (0.934), lo que sugirió que ambos componentes capturaron casi toda su variabilidad. PC1 explicó la mayor parte de la varianza (64%), mientras que PC2 añadió un 20.8% adicional. La comunalidad

general mostró que una alta proporción de la varianza de cada indicador fue explicada por estos componentes. El determinante de la matriz de correlación fue 4.068e-06, lo que indicó que no hubo problemas de multicolinealidad grave entre los indicadores, ya que el determinante no fue cercano a cero. Además, el índice KMO de 0.865 confirmó que el conjunto de datos fue adecuado para el análisis de componentes principales.

Figura 22. Gráfico de la contribución de las variables a los componentes principales – LL1



Nota: Elaboración propia

Para el caso de la época de lluvias 2 (LL2) los componentes principales fueron los siguientes.

Tabla 26. Análisis de componentes principales para LL2

Autovalor	Autovalor	Porcentaje de varianza	Porcentaje acumulado
PC1	4.582499	7.64E+01	7.64E+01
PC2	1.09608	18.26799	94.64298
PC3	0.216615	3.61025	98.25323
PC4	0.070937	1.18229	99.43551
PC5	0.033869	0.56449	100
PC6	0	0	100

**Componentes retenidos con autovalor mayor a 1*

Nota: Elaboración propia

La tabla anterior presentó el análisis de componentes principales (ACP) para los índices de la variable LL2, indicando los autovalores y el porcentaje de varianza explicado por cada componente principal (PC). El primer componente principal (PC1) obtuvo un autovalor de 4.58 y explicó el 76.4% de la varianza total, mientras

que el segundo componente (PC2) alcanzó un autovalor de 1.10, explicando un 18.27% adicional, lo que llevó el porcentaje acumulado de varianza explicada al 94.64%. Estos dos primeros componentes retuvieron más del 94% de la información, lo que sugiere que la mayor parte de la varianza de los datos puede explicarse con solo dos componentes. Los demás componentes (PC3 a PC6) explicaron proporciones mucho menores de la varianza, lo que significa que su contribución fue relativamente baja.

Tabla 27. Pesos de los componentes en función del ACP para LL2

Indicador	Peso PC1	Peso PC2	Peso Total	Peso Normalizado	Comunalidad
NDVI_LL2	0.752	0.002	0.753	0.193	0.969
NSI_LL2	-0.728	-0.007	-0.735	-0.188	0.909
TSAVI_LL2	0.533	0.122	0.655	0.168	0.935
NDWI_LL2	0.752	0.002	0.753	0.193	0.969
LWCI_LL2	0.741	-0.014	0.727	0.186	0.947
TS_LL2	-0.424	0.146	-0.278	-0.071	0.948

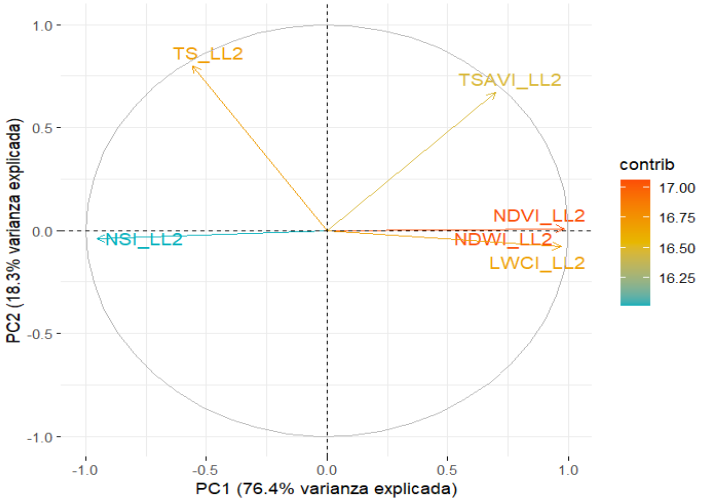
*Autovalor **P1=4.582 y PC2=1.096***
*Porcentaje de varianza **94.6 %***
**Comunalidad: % de información compartida con los otros indicadores*
*Método de extracción: **Regresión, con rotacion Varimax***
*Determinante **4.068e-06***
*KMO **0.865***

Nota: Elaboración propia

De la tabla anterior se obtuvo que los componentes principales PC1 y PC2 explicaron el 94.6% de la varianza total de los datos, lo que sugirió que la mayor parte de la información relevante fue capturada por estos dos componentes, proporcionando una base sólida y confiable para la interpretación de las relaciones entre los índices en la construcción del índice de calidad urbana para la época de lluvias 2 (LL2). Los índices NDVI_LL2 y NDWI_LL2 fueron los más influyentes, destacándose NDVI_LL2 por su alto peso total (0.753) y elevada comunalidad (0.969), lo que indicó que este índice estuvo bien representado en el modelo. Aunque NSI_LL2 presentó una relación inversa con un peso total de -0.735, también mostró una alta comunalidad (0.909), lo que sugirió que ambos componentes capturaron casi toda su variabilidad. PC1 explicó la mayor parte de la varianza (76.4%), mientras que PC2 añadió un 18.27% adicional. La comunalidad

general mostró que una alta proporción de la varianza de cada indicador fue explicada por estos componentes. El determinante de la matriz de correlación fue 4.068e-06, lo que indicó que no hubo problemas de multicolinealidad grave entre los indicadores, ya que el determinante no fue cercano a cero. Además, el índice KMO de 0.865 confirmó que el conjunto de datos fue adecuado para el análisis de componentes principales. Gráficamente, se observó una distribución clara de los pesos de los indicadores, destacando aquellos con mayores contribuciones.

Figura 23. Gráfico de la contribución de las variables a los componentes principales – LL2



Nota: Elaboración propia

Para el caso de la época de secas 2 (SE1) los componentes principales fueron los siguientes.

Tabla 28. Análisis de componentes principales para SE1

Autovalor	Autovalor	Porcentaje de varianza	Porcentaje acumulado
PC1	4.75709125	7.93E+01	7.93E+01
PC2	0.78370648	13.0617746	92.34663
PC3	0.32688702	5.448117	97.79475
PC4	0.06520816	1.0868027	98.88155
PC5	0.05162878	0.8604797	99.74203
PC6	0.01547831	0.2579718	100

**Componentes retenidos con autovalor mayor a 1*

Nota: Elaboración propia

La tabla anterior presentó el análisis de componentes principales (ACP) para los índices de la variable SE1, detallando los autovalores y el porcentaje de varianza explicado por cada componente principal (PC). El primer componente principal (PC1) obtuvo un autovalor de 4.76, explicando el 79.3% de la varianza total. Este

componente retuvo la mayor parte de la varianza, lo que indicó que el comportamiento de los datos podía explicarse principalmente a partir de este único componente. Los demás componentes (PC2 a PC6) presentaron autovalores inferiores a 1 y explicaron proporciones significativamente menores de la varianza, lo que sugirió que su contribución fue escasa y, por tanto, no debían ser retenidos, conforme a la regla comúnmente aplicada de autovalores mayores a 1.

Tabla 29. Pesos de los componentes en función del ACP para SE1

Indicador	Peso PC1	Peso Total	Peso Normalizado	Comunalidad
NDVI_SE1	0.718	0.718	0.171	0.82
NSI_SE1	-0.781	-0.781	-0.186	0.972
TSAVI_SE1	0.709	0.709	0.169	0.8
NDWI_SE1	0.764	0.764	0.182	0.928
LWCI_SE1	0.733	0.733	0.175	0.855
TS_SE1	-0.49	-0.49	-0.117	0.381

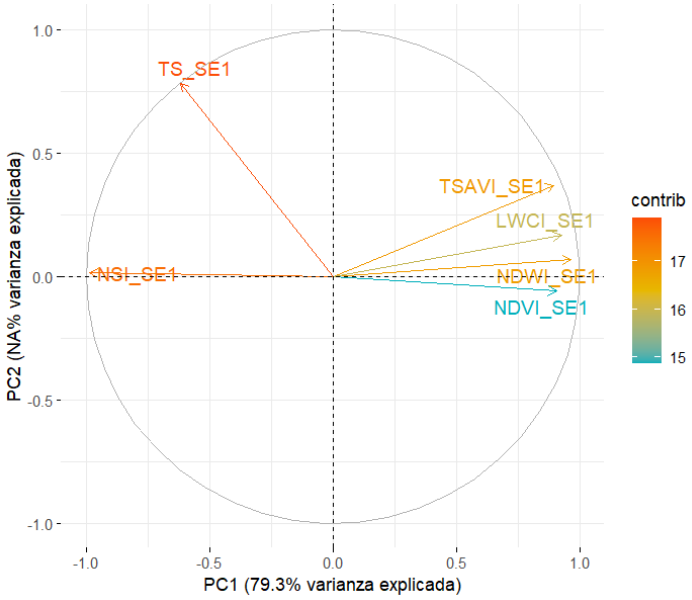
*Autovalor **P1=4.757***
*Porcentaje de varianza **79.3 %***
**Comunalidad: % de información compartida con los otros indicadores*
*Método de extracción: **Regresión, con rotacion Varimax***
*Determinante **4.068e-06***
*KMO **0.865***

Nota: Elaboración propia

De la tabla anterior se observó que el primer componente principal (PC1), con un autovalor mayor a uno, explicó el 79.3% de la varianza total de los datos, lo que indicó que la mayor parte de la información relevante fue capturada por este componente, proporcionando una base sólida para interpretar las relaciones entre los índices en la construcción del índice de calidad ambiental urbana para la época de lluvias 1 (SE1). Los índices NDWI_SE1 y LWCI_SE1 resultaron ser los más influyentes, destacándose NDWI_SE1 con el mayor peso total (0.764) y una comunalidad de 0.928, lo que sugirió que este índice estuvo bien representado en el modelo. Aunque TS_SE1 presentó una relación inversa con un peso de -0.49, su baja comunalidad (0.381) indicó que su variabilidad no fue adecuadamente capturada. El determinante de la matriz de correlación fue de 4.068e-06, lo que confirmó la ausencia de problemas graves de multicolinealidad, mientras que el índice KMO de 0.865 validó que los datos eran adecuados para el análisis de

componentes principales. Gráficamente, se observó una distribución clara de los pesos de los indicadores, destacándose aquellos con mayores contribuciones.

Figura 24. Gráfico de la contribución de las variables a los componentes principales – SE1



Nota: Elaboración propia

Para el caso de la época de secas 2 (SE2) los componentes principales fueron los siguientes.

Tabla 30. Análisis de componentes principales para SE2

Autovalor	Autovalor	Porcentaje de varianza	Porcentaje acumulado
PC1	4.55119215	7.59E+01	7.59E+01
PC2	0.76047708	12.6746179	88.52782
PC3	0.51582723	8.5971205	97.12494
PC4	0.08524565	1.4207609	98.5457
PC5	0.05658459	0.9430764	99.48878
PC6	0.0306733	0.5112217	100

**Componentes retenidos con autovalor mayor a 1*

Nota: Elaboración propia

La tabla anterior muestra el análisis de componentes principales (ACP) para los índices de la variable SE2. En este caso, el primer componente principal (PC1) obtuvo un autovalor de 4.55, explicando el 75.9% de la varianza total. Dado que este es el único componente con un autovalor mayor a 1, fue el único retenido para la interpretación. Esto sugiere que la mayor parte de la información relevante de los datos fue capturada por PC1, proporcionando una base sólida para el análisis. Los demás componentes (PC2 a PC6) presentaron autovalores inferiores

a 1 y explicaron proporciones significativamente menores de la varianza, por lo que no fueron considerados para el modelo.

Tabla 31. Pesos de los componentes en función del ACP para SE2

Indicador	Peso PC1	Peso Total	Peso Normalizado	Comunalidad
NDVI_SE1	0.8596184	0.8596184	0.4029425	0.7389438
NSI_SE1	-0.964685	-0.964685	-0.4521921	0.9306172
TSAVI_SE1	0.9247885	0.9247885	0.4334908	0.8552338
NDWI_SE1	0.9297484	0.9297484	0.4358157	0.864432
LWCI_SE1	0.9227094	0.9227094	0.4325162	0.8513927
TS_SE1	-0.5572904	-0.5572904	-0.2612276	0.3105726

*Autovalor **P1=4.551***

*Porcentaje de varianza **75.9 %***

**Comunalidad: % de información compartida con los otros indicadores*

*Método de extracción: **Regresión, con rotacion Varimax***

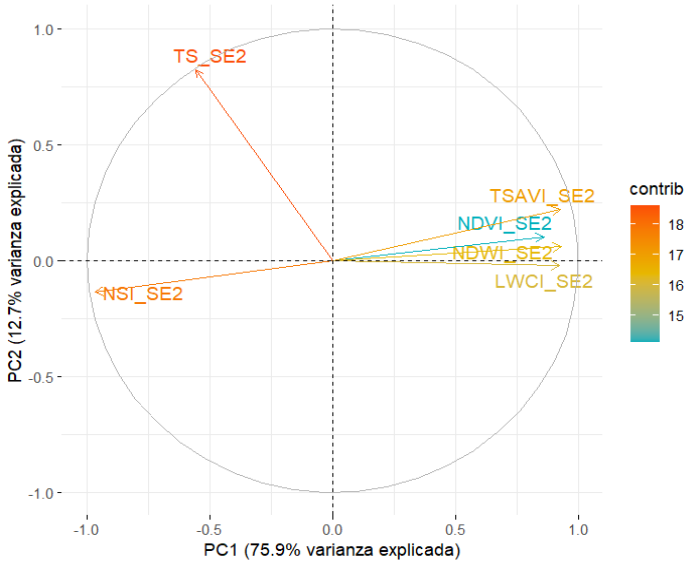
*Determinante **4.068e-06***

*KMO **0.865***

Nota: Elaboración propia

De la tabla presentada se obtuvo que el primer componente principal (PC1) explicó el 75.9% de la varianza total de los datos, lo que indicó que la mayor parte de la información relevante fue capturada por este único componente, proporcionando una base sólida para la interpretación de las relaciones entre los índices en la construcción del índice de calidad urbana para la época de lluvias 2 (SE2). Los índices NDWI_SE1 y TSAVI_SE1 resultaron ser los más influyentes, destacándose NDWI_SE1 por su alto peso total (0.929) y elevada comunalidad (0.864), lo que sugirió que este índice estuvo bien representado en el modelo. Por otro lado, NSI_SE1 presentó una relación inversa con un peso total de -0.965, aunque también mostró una alta comunalidad (0.930), lo que indicó que su variabilidad fue adecuadamente capturada. El determinante de la matriz de correlación fue 4.068e-06, lo que confirmó que no hubo problemas de multicolinealidad grave entre los indicadores, mientras que el índice KMO de 0.865 validó que los datos fueron adecuados para el análisis de componentes principales. Gráficamente, se observó una distribución clara de los pesos de los indicadores, destacando aquellos con mayores contribuciones.

Figura 25. Gráfico de la contribución de las variables a los componentes principales – SE2



Nota: Elaboración propia

4.1.3.4. INDICES DE CALIDAD AMBIENTAL URBANO (ICAU)

En función de los pesos normalizados obtenidos del análisis de componentes principales, se construyeron los índices de calidad ambiental urbana para las dos épocas (lluvias y secas) y para dos momentos en cada una.

Tabla 32. Resumen de pesos normalizados para el índice de calidad urbano

Indicador	Peso normalizado			
	LL1	LL2	SE1	SE2
NDVI	0.205	0.193	0.171	0.403
NSI	-0.213	-0.188	-0.186	-0.452
TSAVI	0.192	0.168	0.169	0.433
NDWI	0.141	0.193	0.182	0.436
LWCI	0.136	0.186	0.175	0.433
TS	-0.112	-0.071	-0.117	-0.261

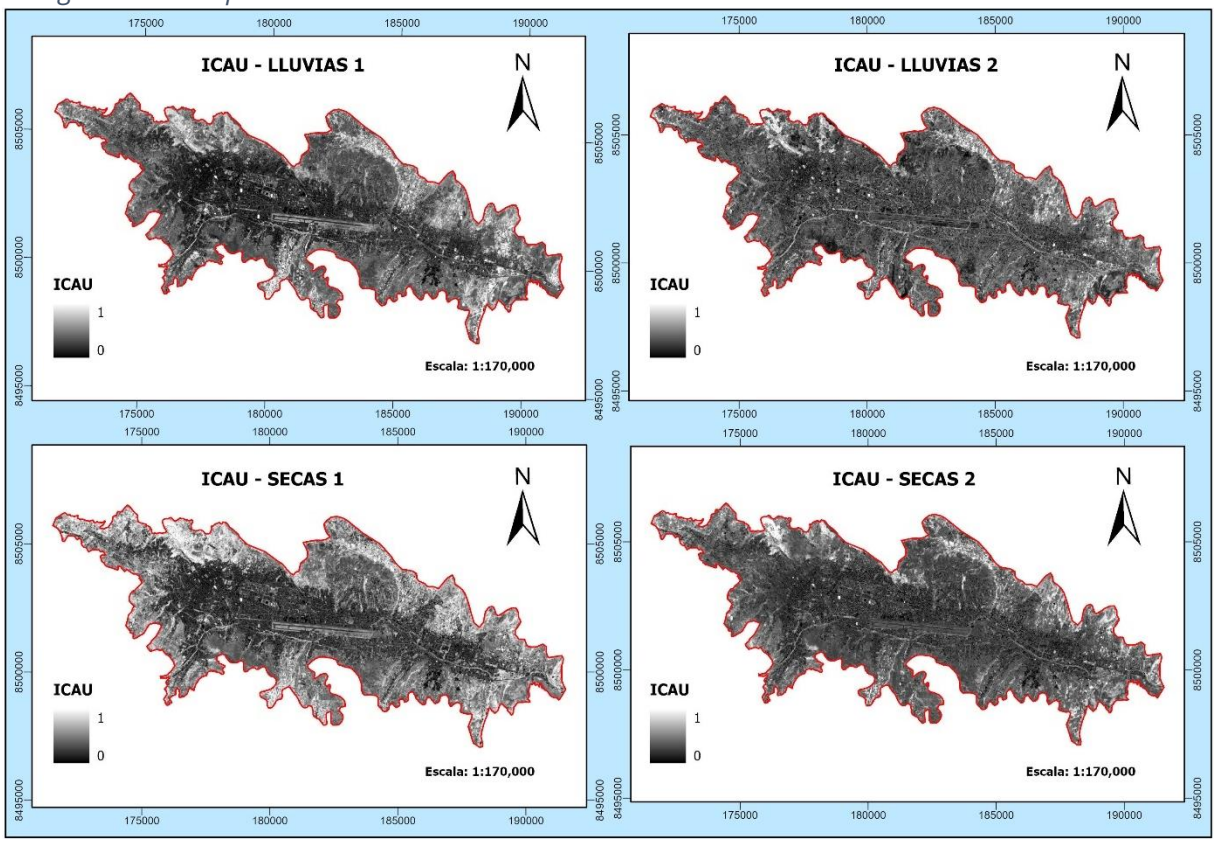
Nota: Elaboración propia

En la tabla anterior, los valores positivos indicaron que el aumento en esos indicadores reforzaba la calidad ambiental. Es decir, a medida que los valores de estos indicadores crecían, también mejoraba la percepción de la calidad ambiental. Por el contrario, los valores negativos mostraron que un incremento

en dichos indicadores estaba asociado con un deterioro en la calidad ambiental. Esto significa que cuando los indicadores con pesos negativos aumentaban, la calidad ambiental disminuía.

Se obtuvieron los mapas de los índices de calidad ambiental urbano para la ciudad del Cusco, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 26. ICAU para la ciudad del Cusco



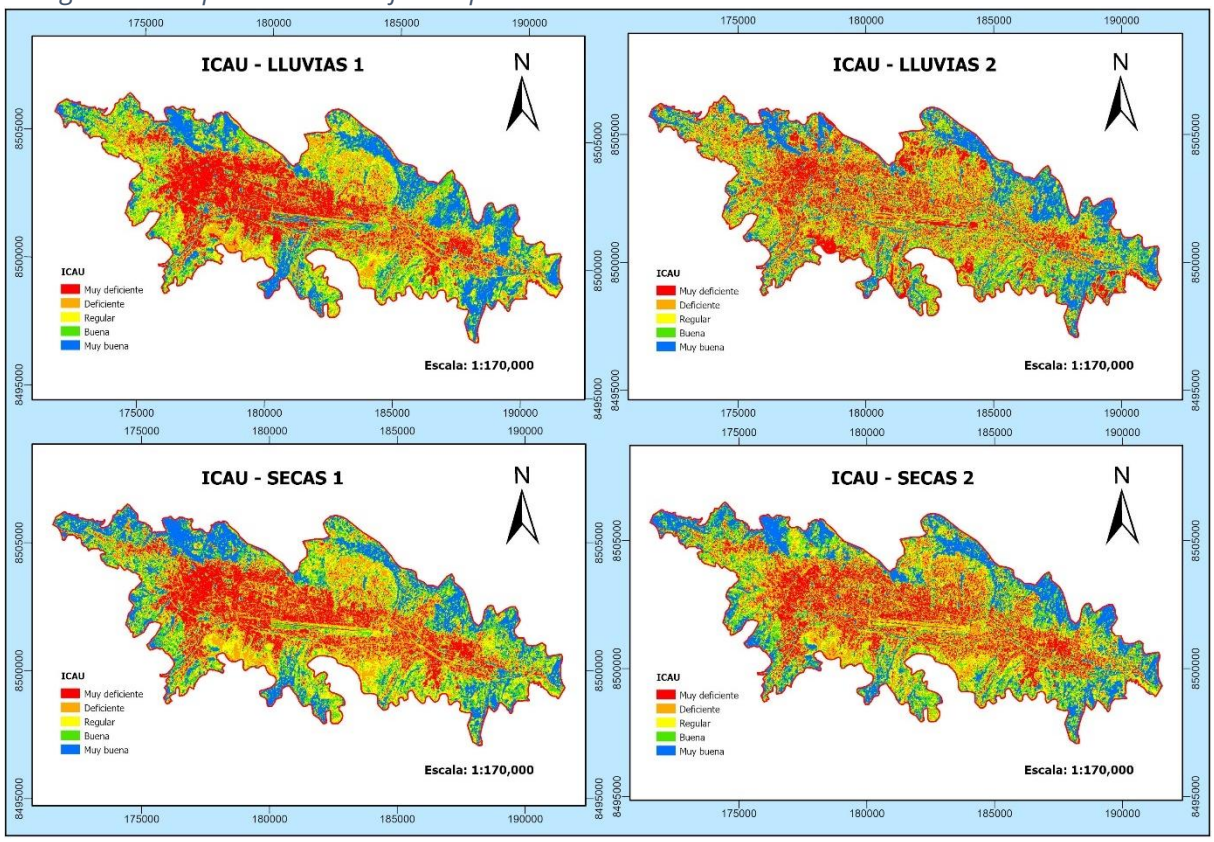
Nota: Elaboración propia

Una vez normalizados los datos de los índices ambientales, se procedió a clasificar los resultados en cinco categorías cualitativas: muy deficiente (0.00–0.20), deficiente (0.21–0.40), regular (0.41–0.60), buena (0.61–0.80) y muy buena (0.81–1.00), siguiendo la propuesta metodológica establecida. Esta clasificación permitió representar espacialmente la calidad ambiental urbana en la ciudad del Cusco para cuatro momentos distintos: Lluvias 1, Lluvias 2, Secas 1 y Secas 2. Los mapas obtenidos evidenciaron una marcada disparidad espacial, donde las zonas urbanas de mayor densidad -*particularmente el centro histórico y las áreas con alta concentración de infraestructura*- presentaron una calidad ambiental urbana

inferior. En contraste, las zonas periféricas, con menor presencia de estructuras construidas y mayor cobertura vegetal, mostraron condiciones ambientales más favorables, concentrándose en las categorías de calidad "buena" y "muy buena".

Asimismo, se identificaron diferencias entre las estaciones analizadas. Durante los periodos de lluvias, predominó la categoría "regular", lo que sugiere una atenuación de las condiciones adversas gracias a la mayor humedad, la actividad vegetativa y la menor acumulación de contaminantes en el ambiente. Por otro lado, en las temporadas secas se observó un deterioro en la calidad ambiental, con una mayor proporción de áreas clasificadas como "deficiente" e incluso algunas zonas catalogadas como "muy deficiente". Este patrón podría estar vinculado al aumento de la temperatura superficial, la reducción de cobertura vegetal activa y la acumulación de partículas contaminantes propias de la actividad urbana, especialmente en zonas con tráfico vehicular intenso o baja ventilación.

Figura 27. Mapa de ICAU clasificado para la ciudad del Cusco



Nota: Elaboración propia. Para mayor detalle ver ***anexo***

4.1.3.5. PRUEBAS DE VARIABILIDAD ENTRE EPOCAS PARA EL ICAU

Se compararon ambas épocas tanto lluvias como secas para ver si existía diferencia significativa.

Tabla 33. Medianas de los Valores en Lluvias y Secas

Grupo	Mediana
Lluvias	0.487
Secas	0.570

Nota: Elaboración propia

La mediana, que representa el valor central de los datos, fue de 0.4865 en la época de lluvias y de 0.5704 en la época de secas, lo que indicó que los valores durante las secas fueron más altos. La diferencia entre las medianas (0.0839) sugirió una tendencia hacia valores mayores en la época de secas. Dado que la mediana no se vio afectada por valores extremos, este resultado resultó robusto y podría reflejar variaciones en factores ambientales, como la temperatura o la humedad, entre las estaciones.

Tabla 34. Resultado de la Prueba de Mann-Whitney U

Estadístico U	p-valor	Hipótesis	Interpretación
198960000000.000	< 2.2e-16	H_0=No hay diferencia significativa entre lluvias y secas	Dado que el p-valor (< 2.2e-16) es muy bajo (menor que el nivel de significancia de 0.05), se rechazó la hipótesis nula (H_0). Esto significa que existe suficiente evidencia para concluir que hay una diferencia estadísticamente significativa entre los valores de lluvias y secas.
		H_a=Sí hay diferencia significativa entre lluvias y secas	

Nota: Elaboración propia

La tabla anterior muestra la prueba indicó Mann-Whitney U en donde hubo evidencia suficiente para concluir que los valores en la época de lluvias fueron significativamente diferentes de los de la época de secas. Este resultado podría haber sido consecuencia de cambios en las condiciones ambientales que afectaron las mediciones de los índices entre ambas épocas. Factores como la disponibilidad de agua, el tipo de cobertura del suelo o la radiación solar pudieron haber variado considerablemente entre lluvias y secas, explicando la diferencia significativa observada.

Dado que los resultados mostraron una diferencia significativa entre ambas épocas, se procedió a estimar la existencia de diferencias significativas entre los cuatro momentos del estudio (LL1, LL2, SE1 y SE2).

Tabla 35. Resultado de la Prueba de Friedman

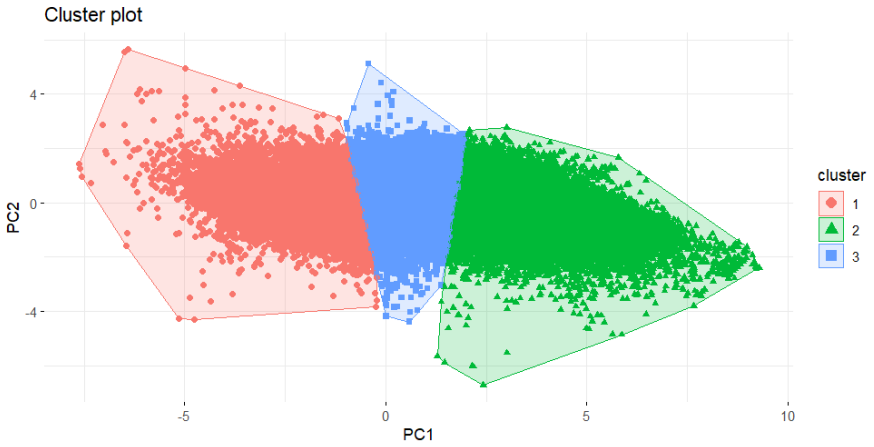
Estadístico Chi-cuadrado	p-valor	Hipótesis	Interpretación
1084117.000	< 2.2e-16	H_0 = No hay diferencias significativas entre LL1, LL2, SE1 y SE2	Dado que el p-valor (< 2.2e-16) es extremadamente bajo (menor que el nivel de significancia de 0.05), se rechazó la hipótesis nula (H_0). Esto significa que hay suficiente evidencia para concluir que existen diferencias estadísticamente significativas entre los cuatro momentos del estudio (LL1, LL2, SE1 y SE2).
		H_a = Si hay diferencias significativas entre LL1, LL2, SE1 y SE2	

Nota: Elaboración propia

De la tabla anterior se mostró que el resultado de la prueba de Friedman arrojó un estadístico chi-cuadrado de 1,084,117 con un p-valor extremadamente bajo (< 2.2e-16). Este resultado indicó que existieron diferencias significativas entre los cuatro momentos del estudio (LL1, LL2, SE1 y SE2). Estas diferencias podrían haber reflejado variaciones en las condiciones ambientales entre los diferentes momentos analizados, tales como cambios en la vegetación, la radiación solar o la humedad, especialmente entre las épocas de lluvias y secas.

Por consiguiente, se llevó a cabo un análisis de *K-means clustering* utilizando los dos primeros componentes principales (PC1 y PC2) del análisis de componentes principales para visualizar la agrupación de los datos. El análisis reveló tres grupos claramente diferenciados, tal como se observa en el gráfico presentado.

Figura 28. Agrupación de Datos mediante K-means en los Componentes Principales (PC1 y PC2)



Nota: Elaboración propia

Además, el gráfico mostró que cada cluster presentó una diferenciación clara en el espacio bidimensional, lo que permitió identificar patrones en los datos y diferencias significativas entre las distintas agrupaciones. Estas diferencias podrían haber estado relacionadas con las condiciones ambientales o los momentos del estudio (LL1, LL2, SE1, SE2), reflejando comportamientos o características específicas en cada grupo. Por lo que se caracterizaron los estadísticos descriptivos de cada *clúster* para entender mejor las agrupaciones.

Tabla 36. Estadísticas descriptivas por clúster y ráster

Clúster	Ráster	Media	Mediana	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	n
1	LL1	0.339	0.340	0.049	0.000	0.611	185141.000
	LL2	0.483	0.485	0.040	0.000	0.740	185141.000
	SE1	0.566	0.566	0.047	0.000	0.803	185141.000
	SE2	0.464	0.467	0.032	0.090	0.642	185141.000
2	LL1	0.594	0.585	0.075	0.360	1.000	72489.000
	LL2	0.632	0.621	0.062	0.446	1.000	72489.000
	SE1	0.804	0.805	0.059	0.478	1.000	72489.000
	SE2	0.651	0.643	0.076	0.358	0.999	72489.000
3	LL1	0.456	0.448	0.053	0.219	0.837	202396.000
	LL2	0.532	0.534	0.038	0.252	0.798	202396.000
	SE1	0.695	0.689	0.058	0.451	0.972	202396.000
	SE2	0.537	0.532	0.039	0.343	0.793	202396.000

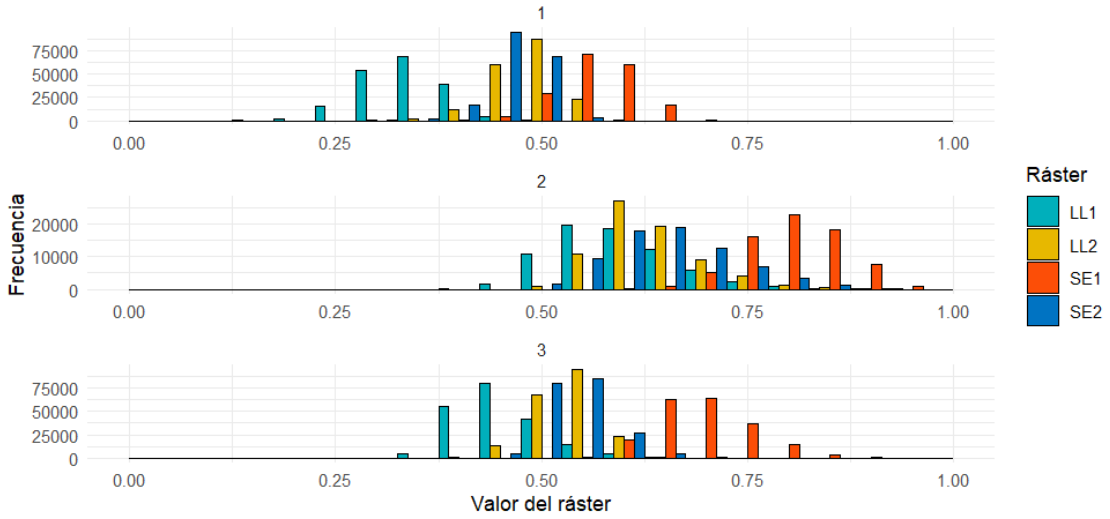
Nota: Elaboración propia

Los tres clústeres presentaron diferencias claras en los valores de los rásteres correspondientes a las épocas de lluvias y secas, lo que sugiere que cada clúster representa diferentes condiciones ambientales.

El clúster 2 mostró los valores promedio más altos, con medias que varían entre 0.594 (LL1) y 0.804 (SE1), y alcanzando valores máximos de 1.000 en varios rásteres, lo que indica que agrupa las zonas con las mejores condiciones en ambas épocas. En contraste, el clúster 1 presentó las medias más bajas, con valores que van desde 0.339 (LL1) hasta 0.566 (SE1), y un valor mínimo cercano a 0 en algunos rásteres, lo que sugiere que agrupa las áreas con condiciones más desfavorables. El clúster 3 se ubicó en una posición intermedia, con medias entre 0.456 (LL1) y 0.695 (SE1), y una menor variabilidad que el clúster 2, lo que indica que las

condiciones en este grupo son moderadas. Estas diferencias en los valores de los rásteres pueden estar relacionadas con cambios en la vegetación, la cobertura del suelo y la humedad entre las épocas de lluvias y secas. Gráficamente se observó la siguiente distribución de los clústeres en relación con los rásteres estudiados.

Figura 29. Histograma de valores por clúster y ráster (LL1, LL2, SE1 y SE2)



Nota: Elaboración propia

Finalmente, la estadística demostró que la distribución de los valores de los rásteres en cada uno de los clústeres reflejó claramente las diferencias observadas en las estadísticas descriptivas. Cada clúster mostró una variabilidad significativa en los valores de los rásteres, lo que confirmó que los índices ambientales analizados presentaron comportamientos diferenciados entre los momentos del estudio (LL1, LL2, SE1 y SE2). Estas diferencias justificaron el análisis individual de cada índice ICAU, ya que su comportamiento varió considerablemente según las condiciones ambientales y las épocas del año.

4.1.4. COMPORTAMIENTO DEL ÍNDICE DE CALIDAD AMBIENTAL URBANO RESPECTO A LAS CLASES DE USO DE SUELO URBANO

4.1.4.1. RELACION ENTRE EL USO DE SUELO URBANO CON EL INDICE DE CALIDAD AMBIENTAL URBANO

La relación entre el uso de suelo urbano (BU) y el índice de calidad ambiental urbano (ICAU) se evaluó mediante un análisis de correlación de Spearman,

utilizando datos categóricos para el BU y datos continuos para el ICAU en los cuatro momentos correspondientes a las épocas de secas y lluvias.

Tabla 37. Prueba de correlación de Spearman

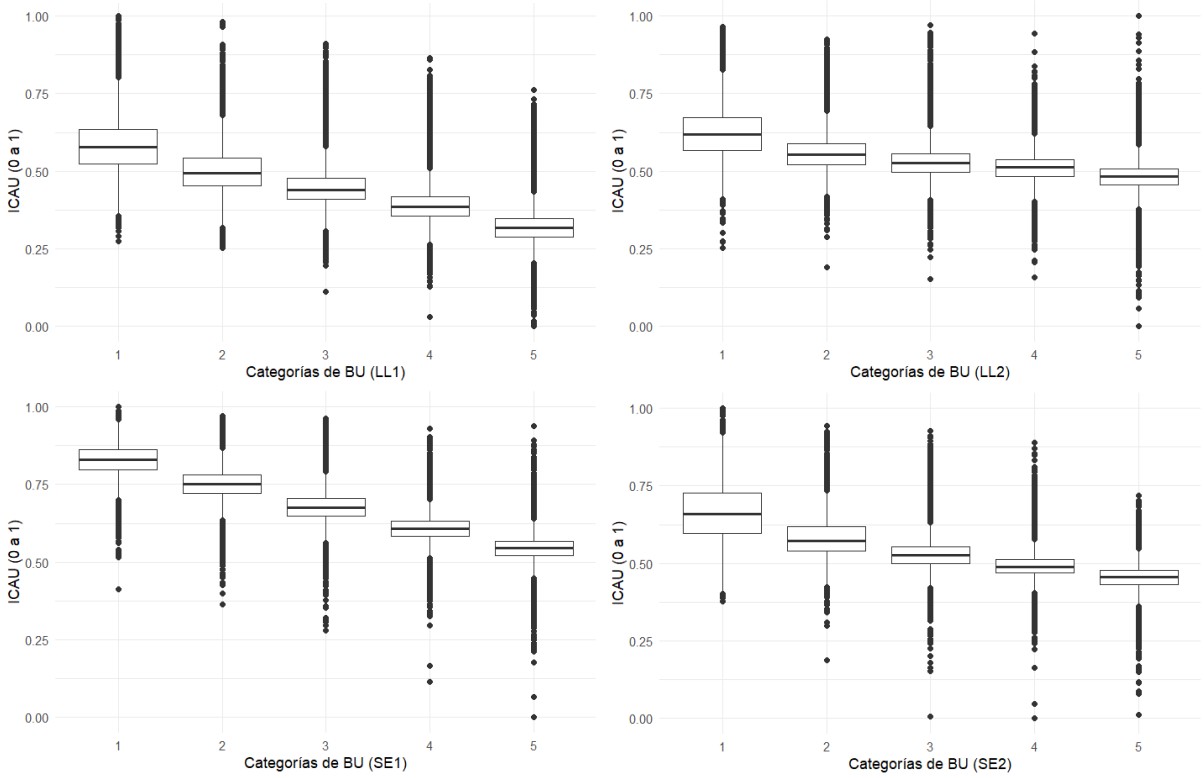
Época	S	p-valor	rho (ρ)	Hipótesis	Interpretación
Lluvias 1 - LL1	2.955E+16	< 2.2e-16	-0.814	H_0: Si ρ = 0 entonces no existe correlación significativa entre BU e ICAU H_a: ρ ≠ 0 entonces existe una correlación significativa entre BU e ICAU	La prueba de correlación de Spearman mostró una correlación negativa fuerte (rho = -0.8140609) entre el uso de suelo urbano (BU) y el índice de calidad ambiental urbano (ICAU) en la temporada de lluvias (LL1), con un p-valor menor a 0.05. Esto indica que a medida que aumenta el uso de suelo urbano, la calidad ambiental urbana tiende a disminuir de manera significativa.
Lluvias 2 - LL2	2.5725e+16	< 2.2e-16	-0.579	H_0: Si ρ = 0 entonces no existe correlación significativa entre BU e ICAU H_a: ρ ≠ 0 entonces existe una correlación significativa entre BU e ICAU	La prueba de correlación de Spearman mostró una correlación negativa moderada (rho = -0.579) entre el uso de suelo urbano (BU) y el índice de calidad ambiental urbano (ICAU) en la temporada de lluvias (LL2), con un p-valor extremadamente bajo (< 2.2e-16). Esto indica que existe una correlación significativa y que a medida que aumenta el uso de suelo urbano, la calidad ambiental urbana tiende a disminuir.
Secas 1 - SE1	3.1032e+16	< 2.2e-16	-0.905	H_0: Si ρ = 0 entonces no existe correlación significativa entre BU e ICAU H_a: ρ ≠ 0 entonces existe una correlación significativa entre BU e ICAU	La prueba de correlación de Spearman para la temporada de secas (SE1) mostró una correlación negativa muy fuerte (rho = -0.905) entre el uso de suelo urbano (BU) y el índice de calidad ambiental urbano (ICAU), con un p-valor extremadamente bajo (< 2.2e-16). Esto indica que existe una correlación significativa y que a medida que aumenta el uso de suelo urbano, la calidad ambiental urbana tiende a disminuir de manera considerable.
Secas 2 - SE2	3.1232e+15	< 2.2e-16	-0.784	H_0: Si ρ = 0 entonces no existe correlación significativa entre BU e ICAU H_a: ρ ≠ 0 entonces existe una correlación significativa entre BU e ICAU	La prueba de correlación de Spearman para la temporada de secas (SE2) mostró una correlación negativa fuerte (rho = -0.784) entre el uso de suelo urbano (BU) y el índice de calidad ambiental urbano (ICAU), con un p-valor extremadamente bajo (< 2.2e-16). Esto indica que existe una correlación significativa y que el incremento en el uso de suelo urbano se asocia con una disminución en la calidad ambiental urbana.

Nota: Elaboración propia

De la tabla anterior se observó una correlación negativa significativa entre el uso de suelo urbano (BU) y el índice de calidad ambiental urbano (ICAU) en todas las épocas analizadas. Las correlaciones variaron de moderadas a muy fuertes,

siendo más notables en las temporadas de secas (rho = -0.905 en SE1 y -0.784 en SE2) y lluvias (rho = -0.814 en LL1 y -0.579 en LL2). A medida que aumentaba el uso de suelo urbano, la calidad ambiental urbana tendía a disminuir. Estas correlaciones se representan gráficamente en la figura a continuación.

Figura 30. Distribución del ICAU en cada categoría del BU (Spearman)



Nota: Elaboración propia

Como consecuencia del resultado anterior, que evidenció una correlación entre las variables, se midió la relación entre las categorías del uso de suelo urbano (BU) y el índice de calidad ambiental urbano (ICAU) mediante la prueba de Chi-cuadrado de *Pearson*.

Tabla 38. Tabla de contingencia - Prueba de Chi-cuadrado de Pearson

LL1	1	2	3	4	5
1	16	558	1797	7929	39902
2	163	2702	11471	30349	29135
3	1998	19603	48475	43118	19050
4	13850	42805	26022	9440	3704
5	76095	26453	4357	1285	331

LL2	1	2	3	4	5
1	762	1996	3576	7454	36414
2	4404	8176	13268	21329	26643
3	18650	25128	32667	35593	20206
4	19712	24392	25123	19808	6786
5	48594	32429	17488	7937	2073

SE1	1	2	3	4	5
1	7	24	240	2531	47400
2	76	451	3657	33301	36335
3	1167	11243	59702	52230	7901
4	11962	53497	26225	3708	429
5	78910	26907	2298	352	57

SE2	1	2	3	4	5
1	52	230	932	3236	19357
2	402	1322	4644	12135	16174
3	2921	10415	20866	21781	7277
4	9186	17076	12646	5325	821
5	31243	14760	4715	1326	175

Nota: Elaboración propia

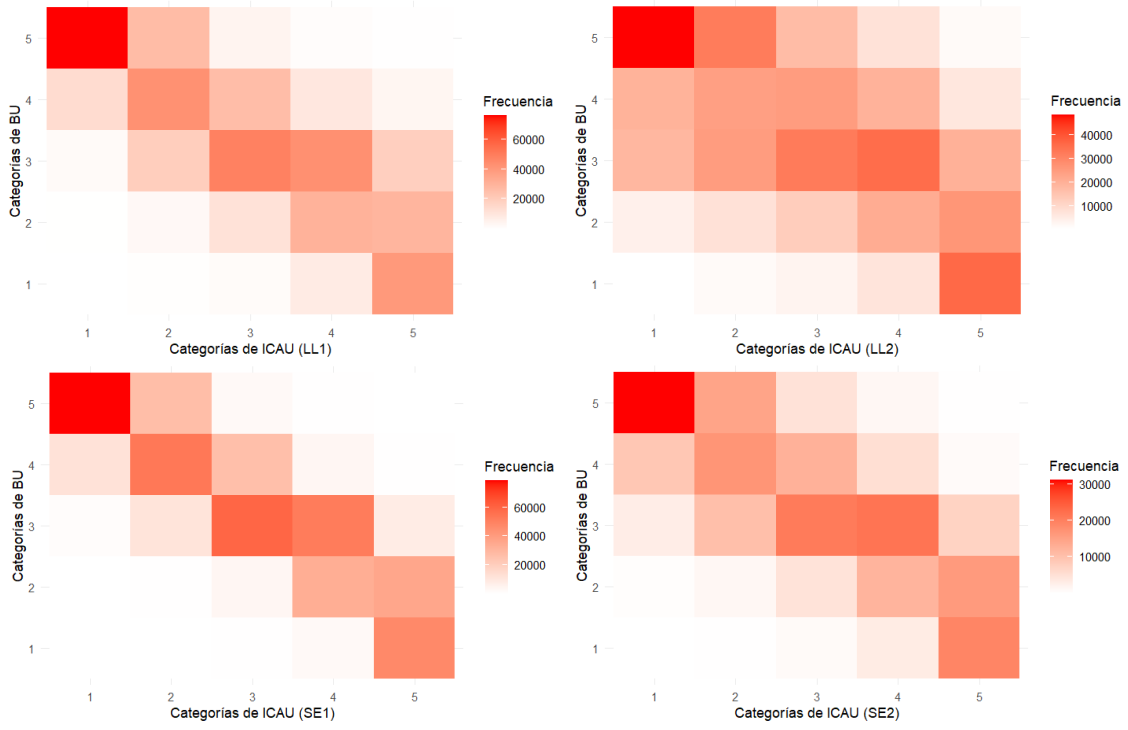
Tabla 39. Prueba de Chi-cuadrado de Pearson de la relación entre BU e ICAU

Época	χ^2	p-valor	Grados de Libertad (df)	Hipótesis	Interpretación
Lluvias 1 - LL1	467713	< 2.2e-16	16	H_0: Si ρ = 0 entonces No existe una relación significativa entre BU e ICAU H_a: ρ ≠ 0 entonces Existe una relación significativa entre BU e ICAU	Para LL1, se obtuvo un valor de χ^2=467713 y un p-valor inferior a 2.2e-16, lo que evidenció una significancia estadística muy elevada. Dado que el p-valor fue extremadamente bajo (menor que 0.05 o 0.01), se rechazó la hipótesis nula H_0 y, en consecuencia, se aceptó la hipótesis alternativa H_a, por tanto, existía una relación significativa entre BU e ICAU.
Lluvias 2 - LL2	197657	< 2.2e-16	16	H_0: Si ρ = 0 entonces No existe una relación significativa entre BU e ICAU H_a: ρ ≠ 0 entonces Existe una relación significativa entre BU e ICAU	Para LL2, se obtuvo un valor de χ^2=197657 y un p-valor inferior a 2.2e-16, lo que evidenció una significancia estadística muy elevada. Dado que el p-valor fue extremadamente bajo (menor que 0.05 o 0.01), se rechazó la hipótesis nula H_0 y, en consecuencia, se aceptó la hipótesis alternativa H_a, por tanto, existía una relación significativa entre BU e ICAU.
Secas 1 - SE1	688267	< 2.2e-16	16	H_0: Si ρ = 0 entonces No existe una relación significativa entre BU e ICAU H_a: ρ ≠ 0 entonces Existe una relación significativa entre BU e ICAU	Para SE1, se obtuvo un valor de χ^2=688267 y un p-valor inferior a 2.2e-16, lo que evidenció una significancia estadística muy elevada. Dado que el p-valor fue extremadamente bajo (menor que 0.05 o 0.01), se rechazó la hipótesis nula H_0 y, en consecuencia, se aceptó la hipótesis alternativa H_a, por tanto, existía una relación significativa entre BU e ICAU.
Secas 2 - SE2	189068	< 2.2e-16	16	H_0: Si ρ = 0 entonces No existe una relación significativa entre BU e ICAU H_a: ρ ≠ 0 entonces Existe una relación significativa entre BU e ICAU	Para SE2, se obtuvo un valor de χ^2=189068 y un p-valor inferior a 2.2e-16, lo que evidenció una significancia estadística muy elevada. Dado que el p-valor fue extremadamente bajo (menor que 0.05 o 0.01), se rechazó la hipótesis nula H_0 y, en consecuencia, se aceptó la hipótesis alternativa H_a, por tanto, existía una relación significativa entre BU e ICAU.

Nota: Elaboración propia

De la tabla anterior, se observó que los análisis realizados mediante pruebas de chi-cuadrado para las cuatro épocas (Lluvias 1 - LL1, Lluvias 2 - LL2, Secas 1 - SE1 y Secas 2 - SE2) evidenciaron una relación significativa entre el Índice de Construcción (BU) y el Índice de Calidad Ambiental Urbano (ICAU). En todos los casos, los valores de χ2 fueron considerablemente altos, acompañados de p-valores extremadamente bajos (inferiores a 2.2e-16), lo que indicó una significancia estadística sólida. Esto implicó que las categorías de BU estaban altamente asociadas con las fluctuaciones en el ICAU, sugiriendo una correlación sustancial entre el grado de urbanización o construcción y la calidad ambiental en los entornos urbanos. En particular, se observó que en áreas con mayor construcción (alto BU), los impactos ambientales eran más notables, afectando indicadores como la cobertura vegetal, la impermeabilidad del suelo, la temperatura superficial y la disponibilidad de recursos hídricos, lo que repercutía en el ICAU. Gráficamente, se mostró la relación a continuación, destacando la influencia de la urbanización sobre la calidad ambiental.

Figura 31. Gráfico de matriz de frecuencias (Heatmap) de la relación de BU e ICAU



Nota: Elaboración propia

4.1.4.2. VALIDACIÓN DEL MODELO

Se estableció la distribución de 84 puntos de muestreo de la siguiente manera.

Tabla 40. Puntos de medición para la validación del modelo ICAU

Categoría ICAU	Puntos medidos
Muy buena	29
Buena	25
Regular	14
Deficiente	8
Muy deficiente	8
TOTAL	**84**

Nota: Elaboración propia

Los resultados obtenidos a partir de la medición en campo fueron los siguientes.

Tabla 41. Resultados de $PM_{2.5}$ y PM_{10} para la validación del modelo ICAU

Punto	TURNO MAÑANA				TURNO TARDE			
	$PM_{2.5}$ µg/m³	PM_{10} µg/m³	T °C	HUM %	$PM_{2.5}$ µg/m³	PM_{10} µg/m³	T °C	HUM %
PM-01	3	7	15.6	32.5	2	0	8.1	49.4
PM-02	0	4	15.6	32.5	0	17	7	43.7
PM-03	2	17	15.6	32.5	0	0	3.6	60.7
PM-04	0	0	6.1	62.8	0	11	8.1	43
PM-05	2	11	6.5	61.3	4	12	8.1	43
PM-06	6	10	15.6	32.5	3	13	8.1	46.9
PM-07	5	11	15.6	32.5	2	0	12.5	42
PM-08	2	27	15.5	34.8	6	15	8.1	43
PM-09	4	0	15.4	28.3	1	0	8.1	43
PM-10	0	21	13	27	3	1	8.1	43
PM-11	7	25	14.6	29.8	4	11	8.1	43
PM-12	0	14	17.9	28.6	7	16	8.1	43
PM-13	4	9	17.9	30.6	0	21	8.1	43
PM-14	1	21	17.1	28.5	0	21	8.1	43
PM-15	0	22	15.6	32.5	2	24	14.5	27.6
PM-16	5	45	9.2	52.7	17	34	8.1	43
PM-17	0	15	15.6	32.5	1	9	6.2	45.4
PM-18	1	0	15.6	32.5	7	1	4.5	51.2
PM-19	2	19	15.6	32.5	1	0	12.1	32.9
PM-20	8	22	15.2	31.9	4	3	8.1	43
PM-21	5	11	15.8	33	8	28	8.1	43
PM-22	11	1	12.7	32	11	40	8.1	43
PM-23	8	20	16.2	30.3	6	35	8.1	43
PM-24	8	47	12.3	27.4	16	38	8.1	43
PM-25	1	8	25.5	20	1	21	8.1	43
PM-26	3	0	25.3	19.3	6	3	8.1	43

PM-27	1	6	15.6	32.5	1	0	15.4	25.9
PM-28	9	0	15.6	32.5	9	0	16.2	28.8
PM-29	4	1	15.6	32.5	5	2	14.7	28.9
PM-30	7	11	20.5	28	0	5	8.1	43
PM-31	2	13	10.5	52.5	10	12	8.1	43
PM-32	0	7	12	46.2	1	0	8.1	43
PM-33	9	36	15.6	32.5	8	47	18.2	42
PM-34	5	25	15.6	32.5	14	35	6.9	43.1
PM-35	0	30	15.6	32.5	6	26	6.3	44.2
PM-36	0	13	15.6	32.5	0	12	10.7	32.4
PM-37	0	2	15.6	32.5	0	5	10.1	33.2
PM-38	1	30	15.3	18.2	4	2	8.1	43
PM-39	4	7	15.6	32.5	0	33	7.7	50.2
PM-40	13	32	20.3	22.9	11	41	8.1	43
PM-41	2	5	25.2	17.9	0	0	8.1	43
PM-42	9	8	26.7	18.1	12	25	8.1	43
PM-43	0	22	22.2	24.2	0	0	8.1	43
PM-44	9	4	16.8	34.8	4	24	8.1	43
PM-45	1	0	16.3	35.4	6	7	8.1	43
PM-46	15	39	15.6	32.5	11	43	6.6	39.9
PM-47	7	42	15.6	32.5	6	47	11.1	29.7
PM-48	7	39	15.6	32.5	17	44	11.8	16
PM-49	6	20	10.7	40.1	12	44	8.1	43
PM-50	6	20	11.9	41.4	5	23	8.1	43
PM-51	11	0	14.3	31.7	8	7	8.1	43
PM-52	3	50	10.5	32.4	13	30	8.1	43
PM-53	1	0	19.1	18.1	5	28	8.1	43
PM-54	5	18	21	14.7	0	0	8.1	43
PM-55	10	9	10.2	43.9	1	13	8.1	43
PM-56	1	16	23.9	18.3	0	13	8.1	43
PM-57	5	0	15.4	33.5	5	14	8.1	43
PM-58	12	31	10.9	42.2	12	27	8.1	43
PM-59	9	42	15.6	32.5	6	22	6.6	39.9
PM-60	16	57	15.6	32.5	8	66	4.5	44.7
PM-61	11	45	15.6	32.5	5	12	7	40.7
PM-62	5	0	11.8	39.2	7	0	8.1	43
PM-63	0	0	14.9	38.9	0	16	8.1	43
PM-64	0	0	18.2	26.3	0	0	8.1	43
PM-65	0	23	15.6	32.5	10	37	3.6	67.9
PM-66	10	20	16.6	18.5	0	24	8.1	43
PM-67	6	19	15.9	16.6	0	3	8.1	43
PM-68	2	18	20.4	25.2	6	25	8.1	43
PM-69	0	7	15.6	32.5	6	21	5	49.9
PM-70	12	41	15.6	32.5	11	36	1.8	58.6
PM-71	0	8	15.6	32.5	0	23	2.1	53.3
PM-72	6	12	8.4	40.6	5	9	8.1	43

PM-73	1	27	12.3	47.4	0	0	8.1	43
PM-74	5	0	11.3	37.4	0	13	8.1	43
PM-75	0	12	15.6	32.5	3	0	7.2	41.6
PM-76	0	13	15.6	32.5	0	13	5.1	60.1
PM-77	0	0	15.6	32.5	0	15	4.8	52.1
PM-78	6	28	15.6	32.5	7	21	5.2	59.5
PM-79	5	13	15.6	32.5	0	0	4.6	48.2
PM-80	0	7	15.6	32.5	9	26	3	51.5
PM-81	5	2	15.6	32.5	0	12	1.9	52.8
PM-82	5	32	15.6	32.5	1	13	1.8	52.5
PM-83	0	16	11.3	44.4	1	41	8.1	43
PM-84	6	17	15.6	32.5	1	1	7.7	39.1

Nota: Elaboración propia

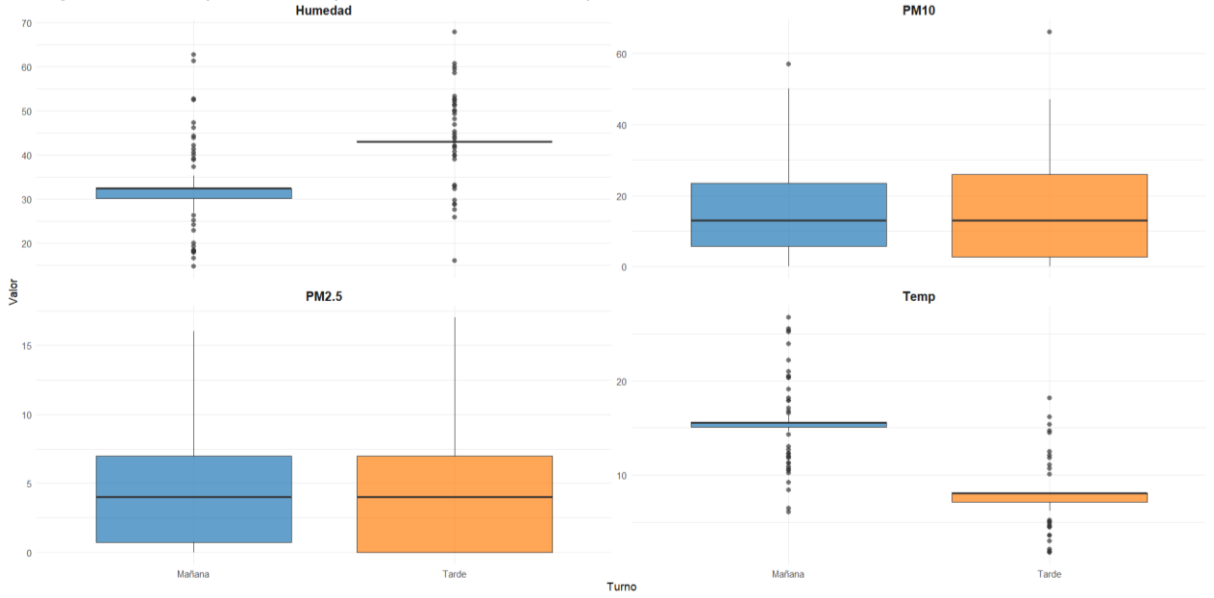
Luego, se confecciono calcularon los valores que describen el comportamiento de estos parámetros medidos como se aprecia en la tabla a continuación.

Tabla 42. Estadística descriptiva de los parámetros medidos para la validación del modelo ICAU

Parámetro	Media (Mañana)	Máximo (Mañana)	Mínimo (Mañana)	Desv. Est. (Mañana)	Media (Tarde)	Máximo (Tarde)	Mínimo (Tarde)	Desv. Est. (Tarde)
PM10 (µg/m^3)	16.45	57	0	14.19	17.05	66	0	15.09
PM2.5 (µg/m^3)	4.32	16	0	4.08	4.57	17	0	4.63
Temperatura (°C)	15.57	26.7	6.1	3.75	7.92	18.2	1.8	2.87
Humedad (%)	32.5	62.8	14.7	8.64	43.42	67.9	16	7.46

Nota: Elaboración propia

Figura 32. Boxplot de los parámetros medidos para la validación del modelo ICAU



Nota: Elaboración propia

De la tabla y gráfico anterior se observa que los valores de PM_{10} presentan una distribución similar entre los turnos de la mañana y la tarde, con medias de 16.45

µg/m³ y 17.05 µg/m³, respectivamente. No obstante, la dispersión es elevada, con desviaciones estándar de 14.19 µg/m³ en la mañana y 15.09 µg/m³ en la tarde, lo que evidencia una variabilidad significativa en las concentraciones de material particulado grueso. Además, se registraron valores máximos de 57.00 µg/m³ en la mañana y 66.00 µg/m³ en la tarde, los cuales pueden exceder los estándares de calidad del aire en determinadas ubicaciones.

En cuanto a $PM_{2.5}$, las concentraciones promedio son relativamente bajas en ambos turnos (4.32 µg/m³ en la mañana y 4.57 µg/m³ en la tarde). Sin embargo, se registraron valores máximos de 16.00 µg/m³ en la mañana y 17.00 µg/m³ en la tarde, lo que sugiere la presencia de episodios puntuales de alta concentración de partículas finas, posiblemente influenciados por la actividad vehicular, fuentes de emisión locales o condiciones meteorológicas. La desviación estándar (4.08 µg/m³ en la mañana y 4.63 µg/m³ en la tarde) confirma la variabilidad en las mediciones.

La temperatura experimenta una variación significativa entre los turnos. En la mañana, la temperatura media es de 15.57°C, alcanzando un máximo de 26.70°C, mientras que en la tarde desciende a 7.92°C, con un mínimo de 1.80°C. La desviación estándar más baja en la tarde (2.87°C) en comparación con la mañana (3.75°C) indica una mayor estabilidad térmica en el turno vespertino, posiblemente influenciada por la disminución de la radiación solar y la presencia de cobertura nubosa.

Por otro lado, la humedad relativa exhibe un patrón inverso a la temperatura. En la mañana, la humedad media es de 32.50%, mientras que en la tarde aumenta hasta 43.42%, con valores máximos de 62.80% y 67.90%, respectivamente. Este comportamiento podría atribuirse al enfriamiento atmosférico en la tarde, que favorece la condensación del vapor de agua en la atmósfera, generando un incremento en la humedad relativa.

Luego, se extrajeron los valores del ICAU correspondientes a cada punto de muestreo y se evaluó su relación con los valores obtenidos para cada parámetro medido. Para garantizar la selección del método inferencial más adecuado, se realizó un análisis de normalidad de los datos, cuyos resultados se detallan a continuación.

Tabla 43. Prueba de normalidad de Anderson-Darling para datos evaluados

Variable	p-valor	Hipótesis	Interpretación (α = 0.05)
ICAU LL1	0.1774	**H_0** = Los datos siguen una distribución normal. **H_a** = Los datos no siguen una distribución normal.	**No se rechaza H_0** → Los datos siguen una distribución normal.
PM2.5 µg/m^3	2.39E-05	**H_0** = Los datos siguen una distribución normal. **H_a** = Los datos no siguen una distribución normal.	**Se rechaza H_0** → Los datos no siguen una distribución normal.
PM10 µg/m^3	3.39E-05	**H_0** = Los datos siguen una distribución normal. **H_a** = Los datos no siguen una distribución normal.	**Se rechaza H_0** → Los datos no siguen una distribución normal.
Temperatura °C	0.01184	**H_0** = Los datos siguen una distribución normal. **H_a** = Los datos no siguen una distribución normal.	**Se rechaza H_0** → Los datos no siguen una distribución normal.
Humedad %	0.3497	**H_0** = Los datos siguen una distribución normal. **H_a** = Los datos no siguen una distribución normal.	**No se rechaza H_0** → Los datos siguen una distribución normal.

Nota: Elaboración propia

De la anterior tabla, se determinó que las variables ICAU y Humedad % siguen una distribución normal, lo que permite su análisis mediante pruebas paramétricas, como la correlación de *Pearson*. En contraste, las variables $PM_{2.5}$, PM_{10} y Temperatura no cumplen con el supuesto de normalidad, por lo que su relación con el modelo ICAU debe evaluarse a través de pruebas no paramétricas, como la correlación de *Spearman*, la cual es adecuada para datos que no siguen una distribución normal.

Los resultados del análisis de correlación entre los parámetros medidos y los valores estimados del ICAU en el modelo desarrollado en la presente investigación fueron los siguientes.

Tabla 44. Análisis de correlación de ICAU versus los parámetros medidos en campo

Relación entre variables	Prueba estadística	Coeficiente de correlación (r o ρ)	p-valor	Hipótesis	Interpretación (α = 0.05)
ICAU vs. $PM_{2.5}$	Spearman	-0.753	1.37E-16	H_0 = No existe correlación entre ICAU y $PM_{2.5.}$ H_a = Existe correlación entre ICAU y PM2.5.	**Se rechaza H_0** → Existe una correlación negativa fuerte y significativa.
ICAU vs. PM_{10}	Spearman	-0.651	2.01E-11	H_0 = No existe correlación entre ICAU y PM_{10}. H_a = Existe correlación entre ICAU y PM10.	**Se rechaza H_0** → Existe una correlación negativa moderada-fuerte y significativa.
ICAU vs. Temperatura	Spearman	0.254	0.0193	H_0 = No existe correlación entre ICAU y Temperatura. H_a = Existe correlación entre ICAU y Temperatura.	**Se rechaza H_0** → Existe una correlación positiva débil pero significativa.
ICAU vs. Humedad	Pearson	-0.106	0.3355	H_0 = No existe correlación entre ICAU y Humedad %. H_a = Existe correlación entre ICAU y Humedad %.	**No se rechaza H_0** → No hay correlación significativa.

Nota: Elaboración propia

De la tabla anterior, los resultados del análisis de correlación evidenciaron que la concentración de $PM_{2.5}$ y PM_{10} presentó una relación negativa y significativa con los valores estimados del ICAU, lo que indica que, a mayor calidad ambiental, menor es la presencia de material particulado en el aire. En particular, la correlación con $PM_{2.5}$ fue fuerte (-0.753, $p < 0.05$), mientras que con PM_{10} fue moderada-fuerte (-0.651, $p < 0.05$), reflejando la sensibilidad del modelo ICAU a la contaminación por partículas. Asimismo, la temperatura mostró una correlación positiva débil pero significativa (0.254, $p < 0.05$), sugiriendo que áreas con mejor calidad ambiental pueden estar asociadas con temperaturas ligeramente más elevadas. Por otro lado, la humedad no presentó una relación significativa con el

ICAU (p = 0.3355), indicando que este factor no tuvo un impacto claro en la estimación del índice.

Posteriormente, se evaluó la precisión del modelo ICAU mediante la comparación con los valores medidos en campo de $PM_{2.5}$, PM_{10}, Temperatura y Humedad. Para ello, se calcularon el Error Absoluto Medio (MAE), el Error Cuadrático Medio (RMSE) y el Coeficiente de Determinación (R^2), con el propósito de cuantificar la discrepancia entre los valores estimados por el modelo y las mediciones reales.

Tabla 45. Análisis de precisión del Modelo ICAU

Variable	MAE	RMSE	R^2	Interpretación
PM2.5	4.14	5.5	0.52	El modelo explica **52%** de la variabilidad de PM2.5. Tiene un error moderado.
PM10	16.36	20.76	0.46	El modelo explica **46%** de la variabilidad de PM10, con un error más elevado.
Temperatura	11.31	11.55	0.07	**Muy baja relación** con el modelo ICAU, el índice no predice bien la temperatura.
Humedad	37.53	37.96	0.01	**Sin relación significativa**, el modelo no explica la variabilidad de humedad.

Nota: Elaboración propia

De la tabla anterior, se muestra el análisis de precisión del modelo ICAU LL1 evidenció una capacidad moderada para predecir la contaminación por material particulado, con un coeficiente de determinación de 0.52 para PM2.5 y 0.46 para PM10, lo que indicó que el modelo explicó aproximadamente el 52% y 46% de la variabilidad de estas variables, respectivamente. No obstante, los valores de MAE (4.14 para PM2.5 y 16.36 para PM10) y RMSE (5.50 y 20.76, respectivamente) reflejaron una discrepancia significativa entre las mediciones reales y los valores estimados, sugiriendo la influencia de otros factores ambientales no considerados en la modelación. En contraste, la precisión del modelo fue muy baja para temperatura (R^2 = 0.07) y humedad (R^2 = 0.01), lo que indicó que el ICAU no fue un predictor adecuado de estas variables meteorológicas. Estos resultados sugieren que, si bien el modelo mostró cierta capacidad para representar la calidad ambiental en función del material particulado, su desempeño podría mejorarse mediante la inclusión de la medición de otros parámetros explicativos.

Finalmente, se empleó un algoritmo de aprendizaje automático "*Random Forest*" para validar el modelo ICAU. Para ello, el entrenamiento del modelo se realizó exclusivamente con PM2.5 y PM10, dado que estos parámetros presentaron una fuerte correlación con el índice y demostraron ser los principales predictores de la calidad ambiental urbana. Los resultados obtenidos se presentan a continuación.

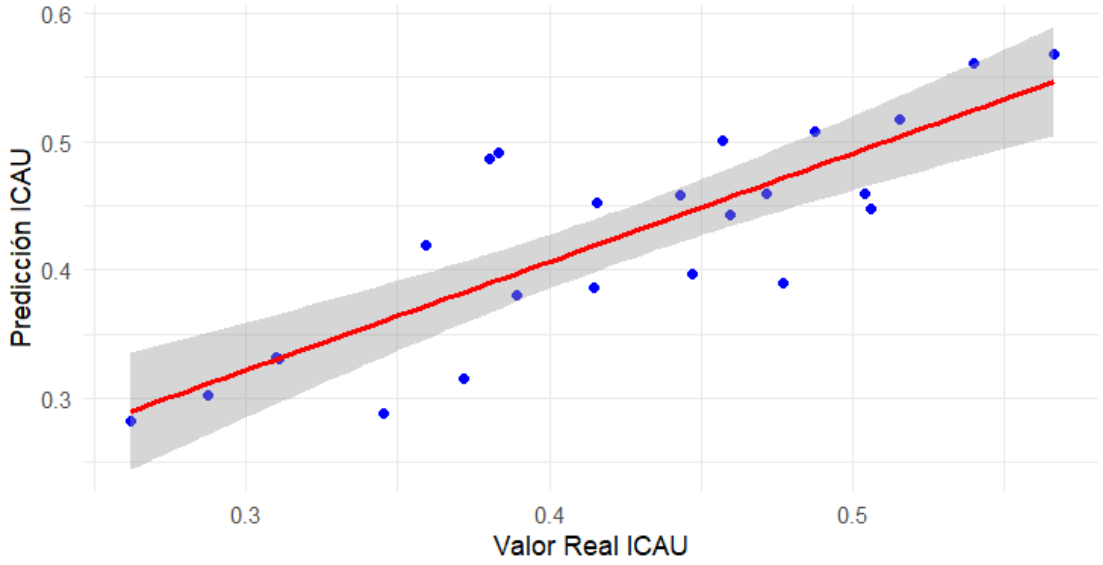
Tabla 46. Resultados de aprendizaje automática Random Forest para la validación el modelo ICAU

Métrica	Valor	Interpretación
MAE	**0.038**	En promedio, el modelo presentó un error de **0.038 unidades** en la estimación del ICAU, lo que indica una buena precisión en las predicciones.
RMSE	**0.0481**	La desviación estándar de los errores de predicción es de **±0.0481 unidades**, reflejando una baja dispersión en los errores y un modelo estable.
R^2	**0.6828**	El modelo explica el **68.3% de la variabilidad** en los valores del ICAU LL1, lo que sugiere una buena capacidad predictiva.

Nota: Elaboración propia

De la tabla anterior se tiene que el modelo *Random Forest*, entrenado con $PM_{2.5}$ y PM_{10} como variables predictoras, mostró un buen desempeño en la estimación del ICAU. El error absoluto medio (MAE) de 0.0380 indicó que, en promedio, las predicciones del modelo se desviaron en 0.038 unidades del valor real, lo que refleja una alta precisión en la estimación. Asimismo, el error cuadrático medio (RMSE) de 0.0481 evidenció una baja dispersión en los errores de predicción, lo que sugiere un modelo estable y confiable. Por otro lado, el coeficiente de determinación (R^2) de 0.6828 reveló que el modelo es capaz de explicar el 68.3% de la variabilidad en los valores de ICAU, lo que confirma su capacidad predictiva.

Figura 33. Entrenamiento a través de Randon forest para validación de modelo ICAU



Nota: Elaboración propia

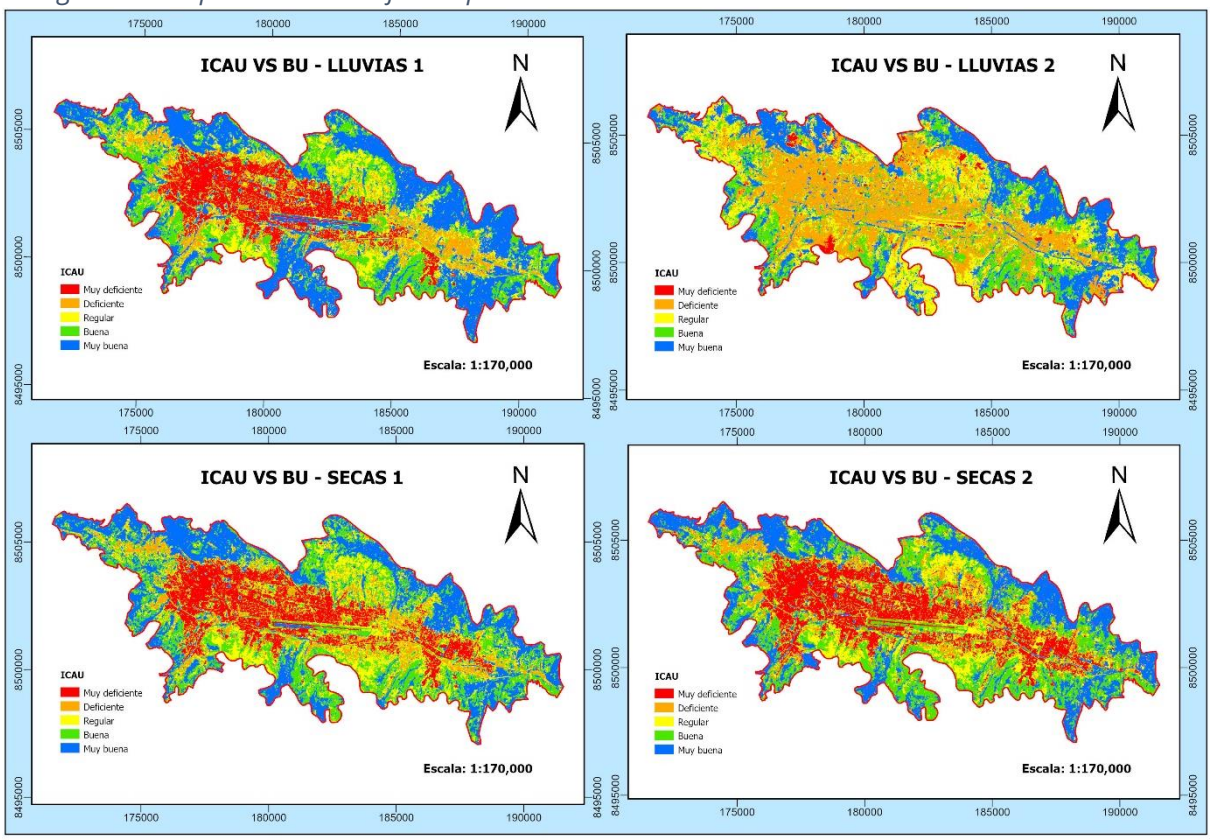
El gráfico anterior de dispersión muestra la relación entre los valores reales del ICAU y las predicciones obtenidas mediante el modelo *Random Forest*, se observa que los puntos de datos (en azul) siguen una tendencia positiva, alineándose en gran medida con la línea de regresión (en rojo), lo que sugiere una buena concordancia entre los valores predichos y los reales. Además, el sombreado gris alrededor de la línea indica el intervalo de confianza, reflejando la estabilidad del modelo en la estimación del ICAU. Aunque existen algunas desviaciones individuales, en términos generales, el modelo captura adecuadamente la variabilidad de los datos y proporciona predicciones confiables. Con este análisis, se demuestra que la validación del modelo ha sido satisfactoria.

4.1.5. MAPA TEMÁTICO DEL ÍNDICE DE CALIDAD AMBIENTAL URBANO RESPECTO A LAS CLASES DE USO DE SUELO URBANO PARA LA CIUDAD DEL CUSCO

4.1.5.1. INDICE DE CALIDAD AMBIENTAL URBANO POR CATEGORIA DE SUELO URBANO

Finalmente, se elaboraron los mapas que representaron la calidad ambiental urbana para cada categoría de uso de suelo en las diferentes épocas evaluadas. Las unidades del índice BU fueron reclasificadas conforme a las categorías del ICAU, y los resultados se presentan a continuación.

Figura 34. Mapa de ICAU clasificado para la ciudad del Cusco



Nota: Elaboración propia. Para mayor detalle ver ***anexo***

El mapa mostrado anteriormente representa la relación entre el Índice de Calidad Ambiental Urbana (ICAU) y el índice de áreas construidas (BU) en distintas épocas del año en la ciudad de Cusco. Se evidenciaron variaciones en las categorías de calidad ambiental en cuatro escenarios específicos: dos correspondientes a la temporada de lluvias (Lluvias 1 y Lluvias 2) y dos a la temporada seca (Secas 1 y Secas 2). Para analizar la dinámica de las categorías en cada periodo, se elaboró el cuadro que se presenta a continuación, proporcionando una visión comparativa de la distribución espacial de la calidad ambiental urbana en función de la temporalidad estudiada.

Tabla 47. Distribución de las categorías del ICAU en función del BU para cada época del año

Categoría ICAU	LL1-Feb		SE1-May		SE2-Ago		LL2-Nov	
	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%
Muy deficiente	1439.42	16.72%	1665.99	19.35%	2060.44	23.93%	311.75	3.62%
Deficiente	825.83	9.59%	748.94	8.70%	672.61	7.81%	2585.82	30.03%
Regular	1295.56	15.05%	1400.29	16.26%	1192.62	13.85%	1773.15	20.59%
Buena	1947.02	22.61%	2321.55	26.96%	2436.36	28.30%	1819.15	21.13%
Muy buena	3102.22	36.03%	2473.28	28.73%	2248.02	26.11%	2120.18	24.62%
TOTAL	**8610.05**	**100.00%**	**8610.05**	**100.00%**	**8610.05**	**100.00%**	**8610.05**	**100.00%**

Nota: Elaboración propia

La tabla anterior mostró la distribución de las categorías del Índice de Calidad Ambiental Urbana (ICAU) en función del índice de áreas construidas (BU) para diferentes épocas del año en la ciudad de Cusco, revelando patrones de variación que sugieren una influencia significativa de los factores estacionales en la calidad ambiental urbana.

En **febrero (LL1)**, se destacó la predominancia de la categoría "Muy buena", que abarcó el 36.03% del área evaluada, lo cual podría estar relacionado con el efecto positivo de la temporada de lluvias, que mejora la calidad del aire y la vegetación urbana. A pesar de ello, un 16.72% del área fue clasificado como "Muy deficiente", lo que podría ser atribuible a áreas con una alta densidad construida o limitada capacidad de regeneración ambiental durante la temporada húmeda.

En **mayo (SE1)**, la categoría "Buena" mostró un aumento significativo, alcanzando el 26.96%, mientras que las áreas "Muy buena" representaron el 28.73%. Este resultado sugiere una transición estacional, donde las condiciones favorables de la temporada de lluvias aún perduran, pero comienzan a observarse indicios de disminución en la calidad ambiental. En este periodo, el aumento en la categoría "Muy deficiente" hasta el 19.35% podría estar relacionado con factores como la sequedad del suelo o el incremento de la actividad urbana que podría haber afectado negativamente ciertas zonas.

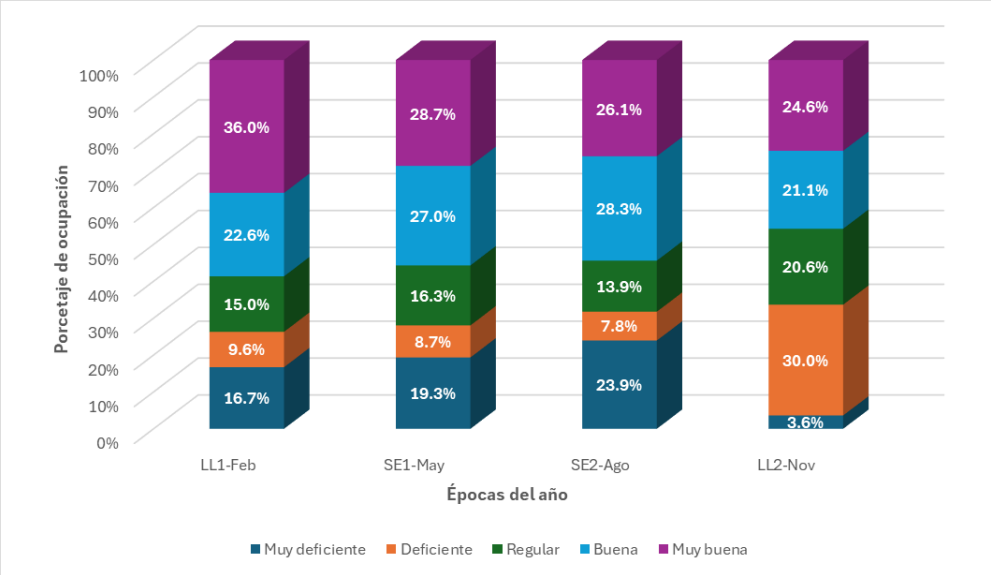
En **agosto (SE2)**, durante la estación seca, se observó un claro deterioro en la calidad ambiental, con la categoría "Muy deficiente" alcanzando su máximo del

23.93%. Este aumento es coherente con las condiciones áridas típicas de esta época, donde la falta de lluvias, la acumulación de partículas en el aire, y la disminución de la cobertura vegetal contribuyen a una disminución generalizada de la calidad ambiental. A pesar de esto, la categoría "Buena" continuó siendo significativa, abarcando el 28.30%, lo que sugiere que ciertos sectores del área urbana mantuvieron condiciones favorables.

En **noviembre (LL2)**, se registró una notable recuperación en la categoría "Muy deficiente", que descendió al 3.62%, coincidiendo con el inicio de la temporada de lluvias, lo que favorece la regeneración de la vegetación y la mejora de las condiciones ambientales. Sin embargo, la categoría "Deficiente" aumentó considerablemente, alcanzando el 30.03%, lo que podría estar relacionado con la persistencia de zonas con problemas estructurales o áreas con alta concentración de construcciones, que no experimentaron una recuperación inmediata pese a las mejoras climáticas.

De forma gráfica se mostró a continuación la variación de este cambio expresado en porcentaje.

Figura 35. Distribución del porcentaje de variación del ICAU vs BU para cada época del año



Nota: Elaboración propia

4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Una comparación entre los hallazgos de este estudio y los de **Marino et al. (2010)** revela tanto coincidencias sustanciales como diferencias metodológicas y contextuales que enriquecen la comprensión de la calidad ambiental urbana en ciudades andinas y tropicales de América Latina. Ambos trabajos comparten el uso de imágenes satelitales de media resolución (Landsat ETM+ y Sentinel-2) y la estimación de índices ambientales como el NDVI, NSI, SAVI, LWCI y TS, los cuales han demostrado ser altamente sensibles a los contrastes urbanos entre áreas vegetadas y construidas. En términos metodológicos, **Marino et al. (2010)** implementaron un análisis de componentes principales (ACP) a nivel de barrio para sintetizar cinco indicadores ambientales en un índice de calidad ambiental urbana (ICA), reteniendo un solo componente que explicaba el 95.4 % de la varianza. Este enfoque es comparable con el de la presente tesis, en la que también se aplicó un ACP para sintetizar seis índices ambientales normalizados, obteniendo un componente dominante que explica un porcentaje elevado de la varianza total que fue del 89.16%. Sin embargo, una diferencia clave radica en la estacionalidad: mientras Marino et al. utilizaron una única imagen (enero de 2003), el presente estudio considera imágenes de dos épocas climáticas (seca y lluviosa) y en cada una 2 más, permitiendo observar variaciones intraanuales que afectan la calidad ambiental percibida. En cuanto a los resultados, ambos estudios encuentran que las áreas con mayor cobertura vegetal (expresada en valores altos de NDVI, SAVI y LWCI) presentan mejores condiciones ambientales, mientras que las zonas densamente construidas (altos valores de NSI y TS) muestran condiciones degradadas. Esta coherencia respalda la hipótesis común de que el grado de urbanización afecta negativamente la calidad ambiental. No obstante, se identifican diferencias importantes. En el caso de Cali, **Marino et al. (2010)** reportaron una correlación negativa más fuerte entre NDVI y TS (-0.896) que la observada en Cusco, lo que podría explicarse por diferencias en altitud, clima y

tipo de urbanismo. Cali, ubicada en un valle tropical a 1,000 m s.n.m., experimenta condiciones térmicas distintas a las de Cusco, ciudad andina ubicada a más de 3,300 m s.n.m., donde la radiación solar y la evapotranspiración operan bajo parámetros distintos, lo cual influye en la sensibilidad espectral de los índices y en la relación con la temperatura superficial. Adicionalmente, Marino et al. (2010) aplicaron una clasificación funcional del uso del suelo fundamentada en criterios estructurales, socioeconómicos y de funcionalidad urbana, lo cual les permitió evaluar diferencias en el ICA mediante análisis de varianza (ANOVA), identificando contrastes estadísticamente significativos entre las distintas clases urbanas. En el presente estudio, aunque se contempló la relación entre el índice sintético de calidad ambiental urbana (ICAU) y categorías generales de uso del suelo —como H1 a H5 y áreas verdes—, no se implementó una clasificación funcional equivalente ni se aplicó un ANOVA por clase. Esta decisión metodológica respondió a las limitaciones propias del contexto urbano de la ciudad del Cusco, caracterizado por una elevada heterogeneidad espacial y la ausencia de un ordenamiento territorial claramente definido, lo que dificulta la delimitación homogénea de clases urbanas. En consecuencia, el análisis se orientó a una escala más específica, trabajando inicialmente a nivel de píxel y, posteriormente, mediante polígonos derivados del modelo de área construida (BU). Este enfoque permitió identificar relaciones espaciales detalladas entre las condiciones del entorno construido y la calidad ambiental urbana, y validar el modelo mediante campañas de muestreo en campo para ambos modelos y entrenamiento supervisado a través de algoritmos de aprendizaje automático para el ICAU final, como fue el *Random Forest*.

Las diferencias entre ambos estudios no deben interpretarse como inconsistencias, sino como expresiones de la variabilidad ambiental urbana en función del contexto físico, social y metodológico. A pesar de ello, ambos trabajos coinciden en que la calidad ambiental urbana puede evaluarse eficazmente

mediante indicadores satelitales y métodos multivariados, lo cual representa una ventaja para las ciudades que carecen de monitoreo ambiental directo y continuo. En suma, la comparación entre ambos estudios refuerza la validez del uso de índices espectrales y ACP para estimar la calidad ambiental urbana, pero también destaca la necesidad de ajustar modelos y umbrales según el contexto local. Las diferencias observadas deben entenderse a la luz de las características biofísicas, la dinámica urbana, la época de adquisición de imágenes y las limitaciones de los datos disponibles.

El estudio realizado por **Jiménez Pérez (2018)** se centró en la estimación de la concentración del contaminante gaseoso NOx en el Distrito Metropolitano de Quito, mediante el uso de imágenes Landsat 7 ETM+ y 8 OLI, y su correlación con datos de estaciones de monitoreo ambiental. Ambos trabajos comparten una base metodológica común en cuanto al uso de teledetección satelital y el cálculo de índices espectrales como NDVI, SAVI, NSI, LWCI y temperatura de superficie (TS); sin embargo, difieren notablemente en sus enfoques analíticos, escalas de análisis y objetivos específicos.

Mientras que Jiménez Pérez empleó modelos de regresión simples y polinomiales para establecer relaciones directas entre índices espectrales y mediciones puntuales de NOx, priorizando la validación empírica con datos in situ, el presente estudio adoptó un enfoque multivariado mediante análisis de componentes principales (ACP), que permitió sintetizar seis indicadores ambientales normalizados y diferenciados por estación climática (seca y lluviosa) en un índice sintético continuo de calidad ambiental urbana (ICAU). Esta diferencia metodológica se traduce en una mayor capacidad del ICAU para representar de manera integral la variabilidad espacial del entorno urbano, mientras que el enfoque de Jiménez fue más específico respecto a un solo contaminante atmosférico.

En cuanto a los resultados, el estudio de Quito identificó al índice SAVI como el mejor predictor de NOx, seguido de LWCI y NSI, con coeficientes de determinación (R^2) que en algunos casos alcanzaron valores cercanos a 0.99 en modelos polinomiales. Estos hallazgos coinciden parcialmente con la presente investigación, en la que SAVI y NSI mostraron altas cargas en el primer componente principal del ICAU, especialmente en zonas con elevada densidad edificada y baja cobertura vegetal. No obstante, mientras el estudio de Jiménez se concentró exclusivamente en la contaminación del aire, el ICAU integra múltiples dimensiones ambientales (vegetación, suelo, agua y temperatura), lo cual ofrece una visión más amplia de la calidad ambiental urbana.

Una diferencia sustantiva radica en la escala espacial de análisis. Jiménez Pérez trabajó con valores extraídos sobre estaciones de monitoreo puntuales, lo que permitió estimaciones precisas, pero con escasa generalización territorial. En contraste, este estudio se centró en la caracterización continua del territorio urbano, primero a nivel de píxel y posteriormente mediante polígonos derivados del índice de área construida (BU), lo que permitió generar un modelo espacialmente detallado y útil para la planificación territorial.

Además, este trabajo incluyó una fase de validación rigurosa. El modelo BU fue evaluado mediante una matriz de confusión construida a partir de 100 puntos de control en campo, alcanzando una precisión global del 95 % y un índice Kappa de 0.9375, indicadores de una alta fiabilidad cartográfica. En cuanto al ICAU, se validó para la época lluviosa (LL1) mediante el muestreo in situ de material particulado PM1, PM2.5 y PM10 en 84 puntos, distribuidos en función de las categorías del índice. Los resultados mostraron una correlación inversa y estadísticamente significativa entre el ICAU y los niveles de PM2.5 ($r^2 = 0.52$) y PM10 ($r^2 = 0.46$), lo cual respalda la utilidad del índice como proxy de las condiciones ambientales urbanas.

Para mejorar la capacidad explicativa del modelo, se integró un algoritmo de aprendizaje automático *Random Forest*, lo que permitió captar relaciones no lineales entre variables y aumentó el R^2 ajustado hasta 0.68, reduciendo simultáneamente los errores RMSE y MAE. Esta aproximación representa un avance metodológico en relación con el uso exclusivo de regresiones lineales como en **Jiménez Pérez (2018)**, y demuestra la potencialidad de los modelos híbridos en el análisis ambiental urbano. En conjunto, ambas investigaciones coinciden en destacar el valor de la teledetección para el monitoreo ambiental urbano, aunque difieren en sus escalas, enfoques y niveles de integración. Mientras Jiménez Pérez aporta evidencia específica sobre la contaminación del aire mediante análisis directo de NOx, el presente trabajo propone un modelo multicomponente de calidad ambiental urbana, validado tanto con técnicas estadísticas como con datos de campo. La complementariedad de enfoques abre oportunidades para el desarrollo futuro de modelos integrados que combinen monitoreo de contaminantes atmosféricos con evaluación espacial de la calidad ambiental en su conjunto.

El estudio realizado por **Vieira de Oliveira et al. (2018)** en la ciudad de Uberlândia (Brasil) propuso un método para estimar la calidad ambiental urbana a partir de cuatro indicadores derivados de imágenes satelitales: NDVI, SAVI, NSI y temperatura superficial (TS). Al igual que el presente trabajo, se emplearon imágenes de Sentinel-2A y Landsat 8, combinando las fortalezas de resolución espectral y térmica respectivamente. Ambos estudios coincidieron en aplicar técnicas de normalización para los índices ambientales, con el objetivo de integrarlos en un único índice sintético que represente las condiciones ambientales urbanas. Desde el punto de vista metodológico, Vieira de Oliveira et al. utilizaron una suma ponderada simple (sobreposición multicriterio) para integrar las capas normalizadas, incluyendo adicionalmente una capa de distancia a parques urbanos como variable espacial de referencia. En contraste, el presente

estudio optó por el análisis de componentes principales (ACP) para identificar las dimensiones latentes en los índices ambientales y sintetizar dicha información en un índice de calidad ambiental urbana (ICAU), lo que ofrece una base estadística más robusta en la asignación de pesos y la reducción de redundancias entre variables correlacionadas. En cuanto a los resultados, ambos trabajos concluyen que valores altos de NDVI y SAVI indican mejor calidad ambiental, mientras que valores elevados de NSI y TS se asocian a zonas con mayor densidad constructiva y, por tanto, menor calidad ambiental. Esta consistencia entre estudios refuerza la validez de los índices espectrales como aproximaciones confiables al entorno urbano. Sin embargo, la inclusión de la distancia a áreas verdes en el modelo brasileño representa una diferencia importante, ya que se introduce una variable contextual con alto valor ecológico, no considerada explícitamente en el presente estudio. Otra diferencia significativa reside en la escala de análisis. El trabajo en Uberlândia realizó una representación a nivel de barrios, categorizando el índice final en clases cualitativas como “óptima”, “buena” y “deficiente”. En cambio, el presente estudio se estructuró inicialmente a nivel de píxel y posteriormente se integró en polígonos derivados del índice BU (área construida), lo que permitió una mayor precisión espacial en el diagnóstico ambiental. Además, el ICAU fue validado mediante mediciones directas de PM1, PM2.5 y PM10, lo que no se realizó en el estudio brasileño, donde el modelo no fue contrastado con datos de campo.

Desde el punto de vista de la validación, la matriz de confusión aplicada al índice BU en esta tesis arrojó una precisión del 95 % y un índice Kappa de 0.9375, lo que confirma la fiabilidad del modelo de cobertura urbana. Por su parte, la validación del ICAU durante la época de lluvias (LL1) mediante monitoreo in situ de material particulado evidenció una correlación inversa significativa, complementada con un modelo de regresión por *Random Forest*, el cual aumentó la capacidad predictiva del índice (R^2 ajustado = 0.68). Estas etapas de validación no estuvieron presentes en el estudio de Uberlândia, lo que limita su capacidad de

generalización operativa. Aunque ambos trabajos evidencian el potencial de la teledetección en la estimación de la calidad ambiental urbana, la integración de técnicas estadísticas multivariadas, validación empírica con contaminantes atmosféricos y algoritmos de aprendizaje automático en el presente estudio representa un avance metodológico relevante respecto a las técnicas clásicas de superposición empleadas por **Vieira de Oliveira et al. (2018)**. Esto sugiere que, para contextos urbanos complejos como el Cusco, es necesaria una aproximación más integral y dinámica para captar adecuadamente las condiciones ambientales heterogéneas.

El estudio desarrollado por **Yengle Ruiz (2020)** constituye un valioso antecedente metodológico en el contexto peruano, al proponer un índice sintético de calidad ambiental urbana (ISCAU) para 47 capitales de provincias a partir de nueve indicadores obtenidos de fuentes oficiales como el INEI y el MINAM. Al igual que en la presente investigación, se aplicó el análisis de componentes principales (ACP) para reducir la dimensionalidad de las variables y sintetizar la calidad ambiental urbana en dos componentes principales: una asociada a las condiciones dentro de la vivienda (como acceso a agua, saneamiento, electricidad, cocina a gas, etc.) y otra a las condiciones del entorno urbano (áreas verdes, barredores y compactadoras por habitante).

La comparación metodológica revela similitudes significativas. Ambos trabajos parten de la premisa de que la calidad ambiental urbana es una variable latente que debe ser abordada mediante múltiples indicadores. Asimismo, comparten el uso del ACP como técnica multivariante para construir índices compuestos a partir de datos normalizados. No obstante, existen diferencias clave en el tipo de datos utilizados. Mientras Yengle trabajó con variables de tipo censal y administrativo (estadísticas socioambientales), este estudio se basa en variables biofísicas derivadas de percepción remota, como NDVI, NSI, SAVI, NDWI, TSAVI y temperatura superficial, procesadas a partir de imágenes Sentinel-2.

Otra diferencia metodológica relevante radica en la resolución espacial. Yengle aplicó su modelo a escala de ciudad, generando un ISCAU por capital provincial, con una clasificación general en niveles alto, medio y bajo. En cambio, el presente estudio adopta una escala intraurbana más detallada, evaluando la calidad ambiental a nivel de píxel y luego mediante polígonos definidos por clases de área construida (BU), lo que permite un análisis espacial más preciso y operativo para la planificación urbana local.

En cuanto a los resultados, el modelo de Yengle explicó el 76,57 % de la varianza total con dos componentes, de los cuales el primero, centrado en condiciones habitacionales, explicó el 58,5 %. En el presente trabajo, el primer componente explicó el 89,16 % de la varianza, lo cual refleja una mayor homogeneidad interna de los índices espectrales empleados y una fuerte correlación entre ellos, facilitando su reducción a un único índice representativo (ICAU). A pesar de esta diferencia numérica, ambos modelos permiten clasificar y jerarquizar áreas urbanas según su desempeño ambiental, con el fin de identificar zonas prioritarias de intervención.

Cabe señalar que, si bien Yengle reconoce la necesidad de incorporar indicadores como la calidad del aire, este tipo de variables no fue considerado en su modelo debido a la falta de datos disponibles. En contraste, esta investigación sí incluyó una etapa de validación directa mediante muestreo en campo de material particulado (PM1, PM2.5 y PM10) y correlación con el ICAU, complementada con un modelo predictivo *Random Forest*, lo cual refuerza la solidez empírica del índice propuesto.

La estimación de la calidad ambiental urbana (CAU) mediante herramientas de teledetección ha avanzado notablemente en los últimos años. Una expresión de esta evolución se observa en el estudio de **Tello-Cifuentes y Díaz-Paz (2021)**, quienes desarrollaron una metodología para el análisis de la contaminación

ambiental en Medellín utilizando imágenes satelitales Landsat, interpolación de contaminantes atmosféricos (PM10, PM2.5, NO_2 y O_3) y análisis de componentes principales (ACP) para sintetizar un índice espacial continuo de calidad ambiental.

El estudio mencionado y la tesis presente comparten un enfoque multivariado basado en la construcción de un componente principal a partir de variables biofísicas derivadas de sensores remotos como NDVI, TSAVI, NSI, NDWI y temperatura superficial (TS), normalizadas y procesadas sobre una base ráster. En el caso del estudio en Medellín, este componente principal explicó aproximadamente el 90 % de la varianza total, mientras que en el modelo ICAU de la presente tesis, el primer componente explicó el 89.16 %, lo cual evidencia una alta coherencia estructural de los datos en ambos modelos.

Sin embargo, existen diferencias sustanciales que marcan una progresión metodológica. En el modelo de **Tello-Cifuentes**, las variables de calidad del aire fueron obtenidas mediante interpolación espacial (IDW y *Kriging* simple) a partir de estaciones del SIATA, lo que permitió generar superficies continuas de PM y gases para su incorporación al ACP. Aunque esto otorga precisión en la estimación de contaminantes, introduce también una fuerte dependencia de la red de estaciones y posibles sesgos en áreas sin cobertura. En contraste, el ICAU desarrollado en esta tesis fue validado directamente mediante monitoreo de campo en 84 puntos de muestreo, integrando mediciones reales de PM1, PM2.5 y PM10, lo cual representa un avance en términos de independencia, confiabilidad y replicabilidad en ciudades con baja densidad de estaciones.

Además, mientras **Tello-Cifuentes** utilizó el componente principal para construir un mapa categorizado por clases de calidad ambiental (muy deficiente, deficiente, moderada, buena, muy buena), las clasificaciones se basaron en estadísticos internos como la desviación estándar, lo que puede dificultar la interpretación territorial homogénea entre estudios. En cambio, el presente estudio adoptó la

clasificación de Escobar (2006), adaptada a contextos urbanos andinos, lo cual permite comparar los resultados en términos cualitativos más universales, sin perder representatividad local.

En cuanto a los resultados, **Tello-Cifuentes y Díaz-Paz** identificaron como zonas críticas los sectores con alta densidad de construcciones, escasa cobertura vegetal y alto flujo vehicular, como el centro de Medellín y áreas cercanas al aeropuerto. Estas conclusiones son consistentes con los hallazgos en Cusco, donde las zonas clasificadas como de calidad ambiental muy deficiente se concentran en áreas urbanizadas de alta densidad, representadas por altos valores de NSI y TS, y bajos valores de NDVI, NDWI y TSAVI. En ambas investigaciones se confirma que la estructura urbana densa, la baja proporción de áreas verdes y la elevada actividad antrópica se correlacionan negativamente con la calidad ambiental urbana.

Sin embargo, el presente estudio ofrece una mayor generalización y aplicabilidad operativa, ya que el índice ICAU no solo identifica espacialmente zonas críticas, sino que ha sido entrenado mediante modelos Random Forest, lo que permitió aumentar su poder explicativo (R^2 ajustado = 0.68) y reducir los errores (RMSE y MAE), fortaleciendo su potencial predictivo. Esta integración de modelos de aprendizaje automático no está presente en el trabajo de Medellín, y constituye un paso adelante hacia la construcción de modelos replicables y adaptativos.

En términos de aplicación práctica, ambos estudios proponen el uso de sus mapas como insumos para la planificación urbana. Sin embargo, la tesis desarrollada en Cusco va más allá al incorporar el índice BU como una capa clave de análisis y validarlo con una matriz de confusión (precisión global del 95 %, índice Kappa de 0.9375), reforzando su utilidad en procesos de ordenamiento territorial y evaluación de cobertura construida. En cambio, el estudio de Medellín se apoya en un enfoque más centrado en la contaminación atmosférica sin incluir una evaluación de la cobertura construida ni análisis de precisión del modelo espacial.

En síntesis, si bien el estudio de Tello-Cifuentes y Díaz-Paz representa un aporte relevante al demostrar el uso del ACP en el análisis de contaminación atmosférica urbana con base en imágenes satelitales y datos interpolados de calidad del aire, el modelo ICAU desarrollado en esta tesis avanza en la construcción de un índice robusto, validado en campo y aplicado sobre una base multitemporal y espacialmente continua. Ambos modelos son complementarios: el primero enfatiza la contaminación atmosférica como variable crítica, y el segundo integra múltiples dimensiones biofísicas, validación empírica y modelamiento inteligente, consolidando un índice más versátil y aplicable a entornos urbanos complejos con limitada infraestructura de monitoreo.

El estudio desarrollado por **Palaquibay et al. (2023)** en la ciudad de Riobamba constituye un esfuerzo relevante en el contexto latinoamericano por integrar información satelital en la estimación de la calidad ambiental urbana (CAU). Basándose en imágenes Landsat 8, el equipo calculó cinco índices espectrales NDVI, SAVI, NSI, NDWI y temperatura superficial (TS) como insumos para la elaboración de un Índice de Calidad Ambiental (ICA) aplicado a escala parroquial. Este enfoque comparte varias similitudes con el modelo ICAU desarrollado en esta tesis, pero también muestra diferencias importantes tanto en lo técnico como en lo conceptual.

En términos metodológicos, ambos trabajos parten de la generación de variables espectrales para representar dimensiones claves del ambiente urbano: vegetación, humedad, suelo desnudo y temperatura. En el caso de Riobamba, el procesamiento se complementó con correcciones geométricas y radiométricas, y los valores obtenidos fueron transformados a polígonos con el fin de estimar áreas representativas por variable (en hectáreas), como una forma de caracterización espacial por parroquia. En contraste, el presente estudio trabajó sobre datos ráster a escala de píxel, lo cual permite una lectura más detallada y

continua del comportamiento espacial de los índices, sin depender de divisiones administrativas.

Un aspecto interesante del estudio ecuatoriano es la consideración de tres fechas multitemporales (2014, 2015 y 2016), lo que permitió observar la influencia de la precipitación sobre la cobertura vegetal y otros índices, estableciendo relaciones con fenómenos climáticos como años secos. En esta tesis también se introdujo el enfoque multitemporal, diferenciando entre época seca y época de lluvias, lo cual permite comparar escenarios ambientales contrastantes, algo fundamental para ciudades andinas con marcada estacionalidad.

Para la construcción del ICA en Riobamba, se recurrió al análisis de varianza (ANOVA) y a escalas arbitrarias asignadas a cada variable, que luego se integraron en un promedio ponderado por parroquia. Esto dio como resultado un valor global de ICA = 2.78, clasificado como “Regular”, e identificó a Lizarzaburu como la parroquia con mejores condiciones ambientales por su alta cobertura vegetal. Sin embargo, este sistema de clasificación presenta un grado importante de subjetividad al depender de escalas definidas de forma discrecional. En cambio, el ICAU propuesto en esta tesis se construye mediante análisis de componentes principales (ACP), lo cual permite determinar empíricamente las cargas de cada índice y construir un componente sintético con fundamento estadístico, que explica el 89.16 % de la varianza en los datos normalizados.

Otra diferencia fundamental radica en la validación de resultados. En el estudio de Riobamba, los autores no realizaron validación cruzada ni contrastaron el índice con datos de calidad del aire ni otras mediciones ambientales directas. Por el contrario, esta tesis incorpora una doble validación. Por un lado, el modelo de área construida (BU) fue validado mediante una matriz de confusión con una precisión global del 95 % e índice Kappa de 0.9375. Por otro lado, el ICAU fue validado mediante muestreo en campo de PM1, PM2.5 y PM10, correlacionado

con el índice mediante regresión lineal y entrenamiento con un modelo Random Forest, alcanzando un R^2 ajustado de 0.68 y reduciendo significativamente los errores RMSE y MAE. Esta validación empírica fortalece no solo la confianza en el modelo, sino su aplicabilidad en escenarios reales de gestión ambiental.

Ambos estudios coinciden en señalar que la mayor cobertura vegetal y humedad del suelo se asocian a una mejor calidad ambiental, mientras que las zonas con más construcciones, mayor temperatura y menor vegetación tienden a registrar condiciones más críticas. No obstante, mientras el estudio de Riobamba se enfoca en describir estas relaciones de forma descriptiva y categórica, el modelo ICAU establece relaciones continuas y espacialmente precisas, facilitando la incorporación del índice en sistemas de información geográfica (SIG) para fines de planificación urbana, monitoreo ambiental y priorización de intervenciones.

Finalmente, más allá de las particularidades metodológicas de cada uno de los antecedentes revisados, se observa una clara tendencia compartida hacia el uso de índices espectrales derivados de imágenes satelitales como herramientas confiables y replicables para evaluar la calidad ambiental urbana (CAU). Tanto en los trabajos de **Marino et al. (2010)**, **Jiménez Pérez (2018)**, **Vieira de Oliveira et al. (2018)**, **Yengle Ruiz (2020)**, **Tello-Cifuentes y Díaz-Paz (2021)**, como en el estudio de **Palaquibay et al. (2023)**, se recurrió a indicadores como el NDVI, NSI, SAVI o TS, con resultados que confirman la utilidad de la percepción remota para discriminar áreas con condiciones ambientales diferenciadas. En todos los casos, se reporta una relación inversa entre la densidad constructiva y la cobertura vegetal, y una correlación positiva entre vegetación y condiciones ambientales favorables, lo cual coincide con los hallazgos del modelo ICAU desarrollado en esta tesis. Un elemento común relevante es la aplicación del análisis de componentes principales (ACP) como técnica de reducción de la dimensionalidad, que permite construir índices sintéticos robustos, aunque con diferentes niveles de profundidad en su implementación. Esta convergencia metodológica refuerza la

validez de los enfoques multivariados basados en teledetección y posiciona al ACP como una herramienta clave en el análisis ambiental urbano. No obstante, un aspecto interesante que emerge del análisis transversal es que, si bien la mayoría de los estudios se limita a la caracterización descriptiva o categórica de la CAU, la presente tesis incorpora validación empírica con contaminantes atmosféricos reales y modelos de aprendizaje automático, proponiendo una evolución del enfoque tradicional hacia un modelo híbrido, integral y predictivo, que podría marcar una nueva etapa en la construcción de índices ambientales urbanos aplicables a ciudades andinas, donde las limitaciones de monitoreo convencional son frecuentes. Esta tesis, por tanto, no solo se alinea con las prácticas internacionales, sino que también aporta un modelo validado y replicable que responde a las exigencias actuales de planificación territorial basada en evidencia geoespacial.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. La clasificación supervisada discrimina **cinco clases de uso de suelo (H1 24,3 %; H2 19,8 %; H3 29,0 %; V1 15,8 %; V2 11,1 %)** con un desempeño validado por una **precisión global de 95 %** y un **índice Kappa de 0,94**, lo que refleja una concordancia casi perfecta entre predicción y realidad. Los errores se concentran mínimamente en H2 y V2, confirmando la solidez del modelo ($\kappa \approx 0{,}94$; IC 95 % = 0,887–0,984; $p < 0{,}001$). El patrón espacial resultante muestra un crecimiento centrífugo: el núcleo **alto–media densidad (H1–H2)** se expande hacia periferias **H3**, mientras las coberturas vegetales **V1–V2** quedan relegadas a laderas y cumbres, evidenciando presión urbana y riesgo de pérdida de servicios ecosistémicos.
2. Los índices ambientales revelan contrastes estacionales marcados. En la estación seca el **NDVI permanece en 0,6847**, el **TSAVI se eleva a 0,9245** y la temperatura superficial sube (**TS = 0,1157**), mientras el **NDWI (0,6493)** y el **LWCI (0,1614)** registran baja humedad. Durante las lluvias, el **NSI llega a 0,4719**, y la mayor humedad y cobertura vegetal moderan la temperatura y mejoran los índices hídricos, demostrando la influencia directa de la estacionalidad sobre los procesos biofísicos urbanos.
3. El Análisis de Componentes Principales sintetiza la información ambiental: el primer componente explica **75,9 % de la varianza en SE2** y **64,0 % en LL1**. En seca dominan los aportes positivos de **NDWI (0,436)** y **TSAVI (0,433)** frente a los efectos reductores de **NSI (-0,452)** y **TS (-0,360)**; en lluvias aumentan los pesos de **NDVI (0,205)**, **TSAVI (0,308)** y **LWCI (0,192)**, si bien la densidad construida y la temperatura siguen afectando negativamente la calidad ambiental.
4. La relación ICAU–BU es inversa y altamente significativa, con **Spearman ρ de -0,579 a -0,905 (p < 0,01)**, intensificándose en la estación seca. En

febrero (LL1), la categoría **"Muy buena" cubre 36,03 %** del área urbana, mientras en **agosto (SE2) "Muy deficiente" alcanza 23,93 %**. La prueba **χ^2 (SE1 = 688 267)** confirma que la densidad constructiva deteriora la calidad ambiental, subrayando la urgencia de estrategias de contención del crecimiento urbano.

5. El mapa temático final a **escala 1:5 000**, construido con la capa *ICAU_BU_join* y la herramienta *Feature Display Order*, evidencia que en la temporada lluviosa predominan **"Buena" y "Muy buena"** en sectores con vegetación, mientras en seca se expanden **"Deficiente" y "Muy deficiente"** sobre **H1** y, sobre todo, **H3**. Este producto cartográfico ofrece una base rigurosa para priorizar intervenciones en la gestión ambiental y la planificación territorial.
6. El ICAU exhibe diferencias estacionales significativas (**medianas: seca = 0,570; lluvias = 0,487; U de Mann-Whitney $p < 2{,}2 \times 10^{-16}$**) y valida su pertinencia con **84 mediciones de campo**, mostrando correlaciones inversas con **$PM_{2.5}$ (R^2 = 0,52)** y **PM_{10} (R^2 = 0,46)**. La aplicación de **Random Forest eleva la capacidad predictiva a R^2 = 0,68**, consolidando al ICAU como indicador multitemporal robusto para el monitoreo ambiental y la toma de decisiones en contextos urbanos complejos como el Cusco.

RECOMENDACIONES

1. Los índices calculados, como el **NDVI**, **NSI**, **TSAVI**, **NDWI**, **LWCI** y **TS**, han demostrado variaciones significativas entre épocas, por lo que se debería establecer un monitoreo continuo que permita detectar cambios en la cobertura vegetal, calidad del suelo y temperatura superficial. Esto facilitaría la identificación temprana de áreas en deterioro ambiental, especialmente durante las épocas secas, cuando la calidad ambiental tiende a disminuir debido a la falta de vegetación y el aumento de la temperatura superficial.

2. El análisis del **ICAU** sugiere que las políticas de gestión ambiental deben ajustarse a las condiciones estacionales. Se sugiere reforzar las medidas de conservación de la vegetación durante las épocas lluviosas, cuando el **NDVI** juega un papel más relevante en la mejora de la calidad ambiental. Durante las épocas secas, se debe prestar especial atención a la reducción del impacto del **NSI** y el **TS**, aplicando medidas que mitiguen los efectos negativos del calor y la urbanización en las áreas más vulnerables.
3. Dado que el **ICAU** muestra una relación negativa con el **BU**, especialmente en las épocas secas, se deben implementar regulaciones más estrictas en las áreas de alta densidad constructiva (parámetros urbanos) para reducir el impacto negativo en la calidad ambiental. Se sugiere priorizar el desarrollo de infraestructura verde en estas zonas para contrarrestar el deterioro ambiental observado en periodos secos. Además, se deberían diseñar estrategias específicas para mejorar la calidad ambiental en las épocas de mayor impacto, como **SE2**, donde el **ICAU** refleja un aumento significativo en la categoría "Muy deficiente".
4. Debido a las diferencias estadísticas significativas entre las épocas evaluadas, se debe tratar cada periodo por separado en los análisis de calidad ambiental y no promediar los resultados. Esto permitirá captar la variabilidad estacional y desarrollar políticas más específicas que respondan a las dinámicas de cada estación, mejorando la precisión en la gestión ambiental de la ciudad, sería bueno realizar el estudio para cada mes del año. Además de se debe evaluar la dinámica de cambios en la calidad ambiental a lo largo de varios años, utilizando la cartografía generada en este estudio como base. Esto permitiría analizar cómo ha evolucionado la calidad ambiental en Cusco y detectar tendencias a largo plazo, identificando las áreas que han mejorado o empeorado a lo largo del tiempo.

5. Se recomienda replicar la metodología utilizada en este estudio en otras áreas urbanas con características similares a Cusco, para comparar la calidad ambiental de dichos lugares. Esto permitiría evaluar si existen diferencias significativas entre estas zonas o si siguen patrones comunes, facilitando la generalización de los resultados y mejorando las estrategias de planificación y gestión ambiental en contextos similares.
6. Es fundamental que los resultados obtenidos a partir del índice de calidad ambiental urbana (ICAU) no solo se interpreten desde el ámbito académico, sino que sirvan como insumo estratégico para la gestión ambiental urbana. En ese sentido, se recomienda que las municipalidades focalicen sus intervenciones en aquellas zonas que presentan los valores más bajos del ICAU, priorizando la implementación de áreas verdes, espacios de amortiguación ecológica y mejoras en infraestructura ambiental. Paralelamente, en las zonas que presentan valores elevados del índice, se sugiere fortalecer acciones de conservación, mantenimiento y mejora continua, con el objetivo de preservar las condiciones favorables existentes y evitar su deterioro. Esta diferenciación de estrategias permitirá una gestión más eficiente y adaptativa del territorio urbano.
7. Se debe realizar un estudio comparativo entre el monitoreo de calidad del aire mediante estaciones fijas y puntuales y los resultados obtenidos a través del método de índices sintéticos, como el **ICAU**. Esta comparación permitiría validar la precisión y efectividad de ambos enfoques, así como determinar si existe una correlación significativa entre los resultados de los índices ambientales y los datos de las estaciones de monitoreo de calidad del aire, proporcionando un enfoque más integrado para la gestión de la calidad ambiental.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍCAS

Autoridad Nacional del Agua. (2012). Delimitación y codificación de unidades hidrográficas del Perú: Memoria descriptiva. *Autoridad Nacional del Agua*. https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/597

Banco de Desarrollo de América Latina. (2017). *Crecimiento urbano y acceso a oportunidades:*

Benavides, R., & Scheuren, G. (2012). La calidad ambiental urbana y la sustentabilidad como principios organizadores del espacio urbano. Caso de estudio Pedregosa Alta, parroquia Lasso de la Vega, Municipio Libertador del Estado Mérida. *Provincia*, *28*, 87–113.

Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine learning*, *45*, 5–32.

Brewer, C. A. (2017). Designing better maps: A guide for GIS users. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, *44*(2), 384–384. https://doi.org/10.1177/0265813516661076

Castaño, S., Reyes, J., & Vela, A. (1996). La Teledeteccion: sus bases. En *Teledeteccion y Sistemas de Informacion Geografica.* (pp. 183–194).

Chai, T., & Draxler, R. R. (2014). Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)?–Arguments against avoiding RMSE in the literature. *Geoscientific model development*, *7*(3), 1247–1250.

Chavez Chong, C., Sanchez Garcia, J., & De la Cerda Gastelum, J. (2013). Análisis de componentes principales funcionales en series de tiempo económicas. *GECONTEC: Revista Internacional de Gestión del Conocimiento y la Tecnología*, *7*(2), 20–42.

Chen, J., Jönsson, P., Tamura, M., Gu, Z., Matsushita, B., & Eklundh, L. (2004). A simple method for reconstructing a high-quality NDVI time-series data set

based on the Savitzky–Golay filter. *Remote Sensing of Environment*, *91*(3–4), 332–344. https://doi.org/10.1016/J.RSE.2004.03.014

Choudhury, B. J., Ahmed, N. U., Idso, S. B., Reginato, R. J., & Daughtry, C. S. T. (1994). Relations between evaporation coefficients and vegetation indices studied by model simulations. *Remote Sensing of Environment*, *50*(1), 1–17. https://doi.org/10.1016/0034-4257(94)90090-6

Chuvieco, E. (1996a). Fundamentos de teledetección espacial. En *Ediciones Rialp, S.A.* (Vol. 3, Número 9788432131271).

Chuvieco, E. (1996b). Fundamentos de teledetección espacial. En *Ediciones Rialp, S.A.* (Vol. 3, Número 9788432131271). https://search.proquest.com/openview/fa0851b2def4bc35d8ac1287bd08d7d0/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1818083

Chuvieco, E. (2007). Mirar desde el espacio o mirar hacia otro lado : tendencias en teledetección y su situación en la geografía española. *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, *0*(50), 75–85. https://doi.org/10.1234/no.disponible.a.RACO.86622

Clements, A., & Vanderpool, R. (2019). *FRM/FEM y sensores: Estrategias complementarias para determinar la calidad del aire ambiental*. Environmental Protection Agency (EPA). https://espanol.epa.gov/system/files/documents/2021-10/102821-05p_10-15-2021-spanish-y1010-082521-frm-and-air-sensors_dec-2019-tools-webinar_508-tagged-1.pdf

Cohen, J. (1960). A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and psychological measurement*, *20*(1), 37–46.

Congalton, R. G., & Green, K. (2019). Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data : Principles and Practices, Third Edition. *Assessing the*

Accuracy of Remotely Sensed Data. https://doi.org/10.1201/9780429052729

DIGESA. (2019). *Programa Nacional de Vigilancia Sanitaria de Calidad Del Aire | DIGESA*. http://www.digesa.minsa.gob.pe/DCOVI/Programa_nacional_vigilancia_calidad_aire.asp

Escobar, L. (2006). Tema central Indicadores sintéticos de calidad ambiental: un modelo general para grandes zonas urbanas * *. *Revista eure*, *XXXII*, 73–98.

Escobar Lopez, I. (1997). Contaminación Ambiental. *Academia*, *1*, 7.

Gao, B.-C. (1996). NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote sensing of environment*, *58*(3), 257–266.

Gilabert, M. A., Gonzalez-Piqueras, J., & García-Haro, J. (1997). Acerca de los índices de vegetación View project. *Revista de Teledetección*.

Gonzaga Aguilar, C. (2014). Aplicación de Índices de Vegetación Derivados de Imágenes Satelitales Landsat 7 ETM + y ASTER para la Caracterización de la Cobertura Vegetal en la Zona Centro de la Provincia De Loja, Ecuador. *Univerisidad Nacional de la Plata*, 103. https://doi.org/10.35537/10915/34487

GORE AREQUIPA. (2020). *Vigilancia de la Calidad del Aire*. *20*, 1–13.

Gurrua, M. (2000). Ánalisis de componentes principales, esquema de contenidos. *Academía - MECD*.

Handbook, S. U., & Tools, E. (2015). Sentinel-2 user handbook. *ESA Standard Document Date*, *1*, 1–64.

He, C., Shi, P., Xie, D., & Zhao, Y. (2010). Improving the normalized difference built-up index to map urban built-up areas using a semiautomatic segmentation approach. *Remote Sensing Letters*, *1*(4), 213–221.

Hernández Sampieri, Roberto., & Mendoza Torres, C. Paulina. (2023). *Metodología de la investigación : las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. 752. https://libromar.cl/varios-y-diccionarios/4903-metodologia-de-la-investigacion-las-rutas-cuantitativa-cualitativa-y-mixta.html

Huete, A. R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, *25*(3), 295–309. https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90106-X

(IGN), I. G. N. del P. (s/f). *Carta topográfica Cusco (27-q), escala 1:50,000*. https://www.ign.gob.pe/

INEI. (2017). *Censos Nacionales 2017: Centros Poblados*. 644.

INEI. (2020). Población Peruana 2020. *Estado de la Población Peruana 2020*, 1–50.

Instituto Geológico, M. y M. del P. (INGEMMET). (2010). *Mapa geológico del cuadrángulo de Cusco (27-q), escala 1:100,000*. https://geoportal.ingemmet.gob.pe/

Jimenez Perez, L. L. (2018). *Estimación de la concentración del contaminantes gaseoso NOx en el distrito metropolitano de Quito, a partir de imágenes de satélite Landsat 7 / Landsat 8 de los años 2010,2013 y 2015 considerando modelos estadísticos a partir de correlación entre estacio*. Universidad de las Fuerzas Armadas.

Johnson, D. E. (2000). *Métodos multivariados aplicados al análisis de datos*. https://www.researchgate.net/publication/321274983_Metodos_multivariados_aplicados_al_analisis_de_datos

León, F. (2016). Aplicación De Imágenes Satelitales En Procesos Físico–Urbanos. Caso De Estudio: Crecimiento Urbanístico De Quito (Ecuador) Año 1991 A 2000. *Revista Geociencias y Geodatos*, *7*, 1–6.

León González, Á., Solano, H. L., & Tilano, J. (2008). Análisis multivariado aplicando componentes principales al caso de los desplazados. *Revista Científica Ingeniería y Desarrollo*, *23*(23), 119-142–142.

León, Y. (2002). Introducción a las Imágenes Satelitales. *Programa de Modernización de la Jurisdicción de Tierras*, *1*, 23.

Li, F., Jackson, T. J., Kustas, W. P., Schmugge, T. J., French, A. N., Cosh, M. H., & Bindlish, R. (2004). Deriving land surface temperature from Landsat 5 and 7 during SMEX02/SMACEX. *Remote Sensing of Environment*, *92*(4), 521–534. https://doi.org/10.1016/J.RSE.2004.02.018

Liaw, A., & Wiener, M. (2002). *Classification and regression by randomForest. R News 2 (3): 18–22*.

Lira Chávez, Jorge. (2002). *Introducción al tratamiento digital de imágenes*.

Luengo Federico, G., & Rangle Mora, M. (2009). Elementos para la medición de la calidad ambiental urbana. *Grupo de investigaciones en Calidad Ambiental Urbana*, *1*, 130–187.

Luis Marino, S. R., Escobar Jaramilo, L. A., & Capote, P. A. (2010). Estimación de un índice de calidad ambiental urbano, a partir de imágenes de satélite. *Revista de Geografia Norte Grande*, *95*(45), 77–95. https://doi.org/10.4067/s0718-34022010000100006

Martínez, J., & Martin, M. del P. (2010). *Guía Didáctica de Teledetección y Medio Ambiente: Red Nacional de Teledetección Ambiental* (1a ed.). Red Nacional de Teledetección Ambiental.

Mayr, J. (2011). dossier Ciudades y contaminación ambiental. *Dossier*, 1–8.

Melo Pacheco, D. F. (2018). *Evaluación de la concentración de material particulado atmosférico fracciones gruesas y finas, en el paso del tren de carbón por el municipio de Aracataca Magdalena.* Universidad de la Costa.

Messer, L. C., Jagai, J. S., Rappazzo, K. M., & Lobdell, D. T. (2014). Construction of an environmental quality index for public health research. *Environmental Health: A Global Access Science Source*, *13*(1), 1–22. https://doi.org/10.1186/1476-069X-13-39

Molina, A. Z., Lira, V. M. V., Guzmán, M. O. C., Vargas, J. G., & Corral, S. T. (2022). *Efecto de los parámetros meteorológicos sobre la concentración de partículas PM2. 5 en ciudades del estado de Guanajuato*.

Nichol, J., & Wong, M. S. (2005). Modeling urban environmental quality in a tropical city. *Landscape and Urban Planning*, *73*, 49–58. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2004.08.004

Nichol, J., & Wong, M. S. (2009). Mapping urban environmental quality using satellite data and multiple parameters. *Environment and Planning B: Planning and Design*, *36*(1), 170–185. https://doi.org/10.1068/B34034;CTYPE:STRING:JOURNAL

Olofsson, P., Foody, G. M., Herold, M., Stehman, S. V, Woodcock, C. E., & Wulder, M. A. (2014). Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. *Remote sensing of Environment*, *148*, 42–57.

Palaquibay, L. F. L., Moreno, F. I. H., Parra, J. F. E., López, D. C. C., Román, J. F. C., & Pilco, A. M. S. (2023). Indicadores de calidad ambiental urbana, a partir de imágenes de satélite en la ciudad de Riobamba–Ecuador. *Dominio de las Ciencias*, *9*(1), 1207–1239.

Pérez, C., & Muñoz, A. L. (2006). *Teledetección: nociones y aplicaciones*. Universidad de Salamanca.

Pfafstetter, O. (1989). Classification of hydrographic basins: coding methodology. *unpublished manuscript, Departamento Nacional de Obras de Saneamento, August*, *18*(1989), 1–2.

Picone, N. (2017). Comparación de imágenes satelitales Sentinel 2 y Landsat 8 en el estudio de áreas urbanas. *Congreso Nacional de Geografía de Universidades Nacionales, At Resistencia, Chaco, Argentina*.

Plassin, S., Koch, J., Paladino, S., Friedman, J. R., Spencer, K., & Vaché, K. B. (2020). A socio-environmental geodatabase for integrative research in the transboundary Rio Grande/Río Bravo basin. *Scientific Data*, *7*(1), 1–14. https://doi.org/10.1038/S41597-020-0410-1;SUBJMETA=172,242,4081,704,844;KWRD=ENVIRONMENTAL+IMPACT,HYDROLOGY

Prihodko, L., & Goward, S. N. (1997). Estimation of air temperature from remotely sensed surface observations. *Remote Sensing of Environment*, *60*(3), 335–346. https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00216-7

Raymond Hunt, E., Rock, B. N., & Nobel, P. S. (1987). Measurement of leaf relative water content by infrared reflectance. *Remote Sensing of Environment*, *22*(3), 429–435. https://doi.org/10.1016/0034-4257(87)90094-0

Razali, N. M., & Wah, Y. B. (2011). Power comparisons of shapiro-wilk, kolmogorov-smirnov, lilliefors and anderson-darling tests. *Journal of statistical modeling and analytics*, *2*(1), 21–33.

Real Statistics. (s/f). *Anderson-Darling Test | Real Statistics Using Excel*. Recuperado el 19 de febrero de 2025, de https://real-statistics.com/non-parametric-tests/goodness-of-fit-tests/anderson-darling-test/

Rodríguez, J., & Villa, M. (1998). Distribución espacial de la población, urbanización y ciudades intermedias: Hechos en su contexto. En *Ciudades intermedias de América Latinay el Caribe: Propuestas para la gestión urbana* (Número LC/L.1117, pp. 27–68).

Rodriguez Perez, D., Sanchez Carnero, N., Dominguez Gomez, J. A., & Santa Marta Pastrana, C. (2015). *Cuestiones de Teledetección*.

Rojas, C., Rojas, V., & David, C. (2020). *Evaluación y comparación de índices de vegetación obtenido con imágenes satelitales Landsat 8.*

Roth, R. E. (2021). Cartographic Design as Visual Storytelling: Synthesis and Review of Map-Based Narratives, Genres, and Tropes. *Cartographic Journal*, *58*(1), 83–114. https://doi.org/10.1080/00087041.2019.1633103;WEBSITE:WEBSITE:TFOPB;PAGEGROUP:STRING:PUBLICATION

Sadik, N. (1991). World population continues to rise. *Futurist*, *25*(2), 9–14.

Sobrino, J. A., Raissouni, N., Kerr, Y., Olioso, A., López-Garcia, M., Belaid, A., El Karraz, M., Cuenca, J., & Dempere, L. (2001). Teledetección. En J. A. Sobrino (Ed.), *Universitat de Valencia*.

Song, J., Han, K., & Stettler, M. E. J. (2020). Deep-MAPS: Machine-learning-based mobile air pollution sensing. *IEEE Internet of Things Journal*, *8*(9), 7649–7660.

Stehman, S. V. (1997). Selecting and interpreting measures of thematic classification accuracy. *Remote Sensing of Environment*, *62*(1), 77–89. https://doi.org/10.1016/S0034-4257(97)00083-7

Tapia, C. E. F., & Cevallos, K. L. F. (2021). Pruebas para comprobar la normalidad de datos en procesos productivos:: Anderson-darling, ryan-joiner, shapiro-wilk y kolmogórov-smirnov. *Societas*, *23*(2), 83–106.

Tello-Cifuentes, L., & Díaz-Paz, J. P. (2021a). Análisis de la contaminación ambiental usando técnicas de teledetección y análisis de componentes principales. *TecnoLógicas*, *24*(50), e1710. https://doi.org/10.22430/22565337.1710

Tello-Cifuentes, L., & Díaz-Paz, J. P. (2021b). Análisis de la contaminación ambiental usando técnicas de teledetección y análisis de componentes principales. *TecnoLógicas*, *24*(50), e1710. https://doi.org/10.22430/22565337.1710

Tessy, I. I., & Sánchez, T. (2019). Orientación Para El Planefa. *MINAM*.

Úbeda, J. M. C., Úbeda, J. M. C., Boix, F. V., López, F. G., Navarro, J. Á. P., Peña, A. M., Sánchez, I. T., & Tarí, E. J. (2017). *Educación medioambiental* (J. M. Casas, F. Gea, E. Javaloyes, A. Martín, J. Á. Pérez, I. Triguero, & F. Vives, Eds.). Editorial Club Universitario.

U.S. Geological Survey. (2019). Landsat 8 Data Users Handbook. *Nasa*, *8*(November), 114.

Varshney, A., & Rajesh, E. (2014). A comparative study of built-up index approaches for automated extraction of built-up regions from remote sensing data. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, *42*(3), 659–663.

Vieira de Oliverira, D., Segovia Materano, L., & Silva Brito, J. L. (2018). Estimation of the environmental quality index of the city of Uberlândia using remote sensing. *Revista Cerrados*, *16*(2448–2692), 59–74.

Warthon-Ascarza, J. L. (2017). *Energía limpia y cero emisión*.

Weng, Q. (2001). A remote sensing?GIS evaluation of urban expansion and its impact on surface temperature in the Zhujiang Delta, China. *International Journal of Remote Sensing*, *22*(10), 1999–2014. https://doi.org/10.1080/713860788

Willmott, C. J., Robeson, S. M., & Matsuura, K. (2012). A refined index of model performance. *International Journal of climatology*, *32*(13), 2088–2094.

Wilson, J. S., Clay, M., Martin, E., Stuckey, D., & Vedder-Risch, K. (2003). Evaluating environmental influences of zoning in urban ecosystems with remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, *86*(3), 303–321. https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00084-1

Yengle Ruiz, C. (2020). Calidad ambiental urbana en capitales de provincias peruanas. *Revista CIENCIA Y TECNOLOGÏA*, *16*(ISSN 1810-6781), 111–121.

ANEXOS

ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA

Tabla 48. Matriz de consistencia

TÍTULO: EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD AMBIENTAL URBANO MEDIANTE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN EN LA CIUDAD DEL CUSCO			
PROBLEMA	**OBJETIVO**	**HIPÓTESIS**	**VARIABLES**
General ¿Cuál es el índice de calidad ambiental urbano para la ciudad del Cusco? **Específicos** 1. ¿Cuáles son las clases de uso de suelo urbano para la ciudad del Cusco? 2. ¿Cuáles son los índices ambientales que se podrían calcular a partir de técnicas de teledetección para la ciudad del Cusco? 3. ¿Cuáles son los componentes principales derivados de los índices ambientales que explican el Índice de Calidad Ambiental Urbano en Cusco y cómo pueden clasificarse cualitativamente? 4. ¿Cómo es el comportamiento espacial del índice de calidad ambiental urbana respecto a las clases de uso de suelo urbano para la ciudad del Cusco?	**General** Evaluar un índice de calidad ambiental urbano mediante técnicas de teledetección para la ciudad del Cusco **Específicos** 1. Determinar las clases de uso de suelo urbano para la ciudad del Cusco 2. Calcular los índices ambientales a partir de técnicas de teledetección para la ciudad del Cusco 3. Determinar los componentes principales de los índices ambientales que explican el Índice de Calidad Ambiental Urbano para la ciudad Cusco y clasificarlos cualitativamente 4. Describir el comportamiento espacial del índice de calidad ambiental urbano respecto a las clases de uso de suelo urbano para la ciudad del Cusco	**General** El Índice de Calidad Ambiental Urbano en la ciudad del Cusco se determina a partir del análisis de componentes principales de los índices ambientales obtenidos mediante imágenes satelitales, permitiendo su clasificación espacial de manera eficiente y a bajo costo para una mejor gestión ambiental.	**Variables Independiente** - Uso de suelo urbano - Índices espectrales (NDVI, NSI, TSAVI, NDWI, LWCI, TS) **Variables Dependiente** - Índice de calidad ambiental de la ciudad del Cusco
TIPO DE ESTUDIO	**POBLACIÓN Y MUESTRA**	**RECOLECCIÓN DE DATOS**	**PRUEBAS ESTADÍSTICAS**
Tipo de investigación Investigación aplicada **Nivel de investigación** Descriptivo y explicativo	**Población** Ciudad del Cusco **Muestra** Por el tipo de estudio la muestra será integra toda la ciudad del Cusco	- Observación directa *in-situ* - Plataformas remotas de imágenes satélite	- Análisis de componentes principales (ACP). - Bootstrap - Prueba de Chi-cuadrado - Prueba de Levene - ANOVA - Chi cuadrado - *Random forest*

Nota: Elaboración propia

ANEXO 2: INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Tabla 49. Instrumentos de recolección de información

N°	Variable	Tipo de variable	Indicador	Instrumento de medición	Técnica utilizada
1	Uso de suelo urbano	Cualitativa nominal	Categorías de uso (H1, H2, H3, V1, V2)	RPAS (dron), GPS Garmin 700, ortofoto	Clasificación supervisada + verificación in situ
2	Índices espectrales	Cuantitativa continua	NDVI	Imágenes satelitales Sentinel-2 MSI	Teledetección: bandas 8 y 4 (NIR/Red)
3	Índices espectrales	Cuantitativa continua	NSI	Imágenes Sentinel-2 + fórmula NSI	Teledetección + análisis espectral
4	Índices espectrales	Cuantitativa continua	TSAVI	Imágenes Sentinel-2	Teledetección: fórmula con bandas Red y NIR
5	Índices espectrales	Cuantitativa continua	NDWI (Gao, 1996)	Sentinel-2 (bandas 8 y 11)	Cálculo de humedad superficial
6	Índices espectrales	Cuantitativa continua	LWCI	Sentinel-2 + MDT (pendiente)	Análisis de pendiente + cobertura vegetal
7	Índices espectrales	Cuantitativa continua	TS (temperatura superficial)	Sentinel-2 + NDVI + emisividad estimada	Estimación indirecta de temperatura mediante NDVI y fórmula TS
8	Índice de calidad ambiental urbano (ICAU)	Cuantitativa continua	Valor compuesto del índice	Todos los anteriores	Análisis de Componentes Principales (ACP)
9	Validación del ICAU	Cuantitativa continua	Concentraciones de PM2.5 y PM10	Equipo FRM (medidor automático)	Muestreo in situ en puntos sistemáticos con metodología validada

Nota: Elaboración propia

ANEXO 3: MEDIOS DE VERIFICACIÓN

Tabla 50. Medios de verificación

Nº	Variable	Tipo de Variable	Indicador	Medio de Verificación	Prueba estadística aplicada / Validación
1	Uso de suelo urbano	Cualitativa nominal	Categorías H1, H2, H3, V1, V2	Ficha de campo + ortofoto + shapefile clasificado	Matriz de confusión e índice Kappa (0.9375)Tesis Hora y Fecha Rev3...
2	Índices espectrales (NDVI, NSI, TSAVI, NDWI, LWCI, TS)	Cuantitativa continua	Valores normalizados de cada índice	Raster Sentinel-2 procesados y normalizados	Análisis de Componentes Principales (ACP): PC1 explica 89.16% de la varianzaTesis Hora y Fecha Rev3...
3	Calidad ambiental urbana (ICAU)	Cuantitativa continua	Valor compuesto del índice (0 a 1)	Resultados del ACP + raster final ICAU	Prueba de Friedman para diferencias entre momentos LL1, LL2, SE1, SE2Tesis Hora y Fecha Rev3...
4	Validación del ICAU	Cuantitativa continua	Concentración de PM2.5 y PM10	84 puntos de muestreo con equipo FRM certificado	Correlación de Spearman (PM2.5: ρ = –0.753; PM10: ρ = –0.651)Tesis Hora y Fecha Rev3...
5	Validación del ICAU	Cuantitativa continua	Predicción del índice	Dataset de campo y raster ICAU	Random Forest: R^2 ajustado = 0.6828; reducción de RMSE y MAETesis Hora y Fecha Rev3...
6	Temperatura superficial	Cuantitativa continua	Grados Celsius estimados por modelo	Raster estimado (TS)	Comparación contra campo: R^2 = 0.07 (baja asociación) Tesis Hora y Fecha Rev3...
7	Humedad superficial	Cuantitativa continua	Porcentaje de humedad	Raster derivado + datos de campo	Correlación de Pearson: p = 0.3355 (sin correlación significativa)Tesis Hora y Fecha Rev3...
8	Relación ICAU - BU	Cualitativa y Cuantitativa	BU (categórico), ICAU (continuo)	Superposición espacial entre capas BU e ICAU	Correlación de Spearman por épocas (LL1: ρ = –0.814)Tesis Hora y Fecha Rev3...
9	Reproducibilidad del análisis	Cualitativa nominal	Scripts ejecutados en R y ArcGIS	Anexo B: Códigos, rutas y funciones	Documentación metodológica (RStudio y ArcGIS Pro)Tesis Hora y Fecha Rev3...
10	Consistencia metodológica	Cualitativa nominal	Relación entre objetivos e instrumentos	Matriz de consistencia (Anexo A)	Revisión documental estructurada

Nota: Elaboración propia

ANEXO 4: CÓDIGOS UTILIZADOS EN R

Se emplearon scripts específicos para desarrollar las siguientes pruebas estadísticas, las cuales se detallan a continuación.

B.1. Análisis de Bootstrap

B.2. Correlación de Pearson

B.3. Análisis de Componentes Principales (ACP)

B.4. Evaluación de diferencias significativas en el ICAU

B.5. Correlación entre ICAU y BU

B.6. Prueba de Chi-cuadrado para la correlación entre ICAU y BU

B.7. Valores del mapa final del ICAU

B.8. Matriz de confusión e índice Kappa para la validación del índice BU

B.9. Estadística descriptiva de las mediciones de material particulado (PM)

B.10. Relación entre ICAU y los valores de PM

B.11. Entrenamiento del modelo ICAU mediante Random Forest

Para acceder o utilizar los códigos desarrollados, puede descargarlos desde el siguiente enlace o escanear el código qR:

https://drive.google.com/drive/folders/1dLy_s-B4ZfwN4LH1KIpaMi-ypl0uMQK9?usp=sharing

ANEXO 5: COMPROBACIÓN EN CAMPO DEL MODELO DEL INDICE DE BU

CÓDIGO DEL PUNTO: 001	Fecha: 20/11/2024	Hora: 11:45

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 188620	Longitud: 8501853	3384

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 ( )		V1 (X)
	V2 (X)		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



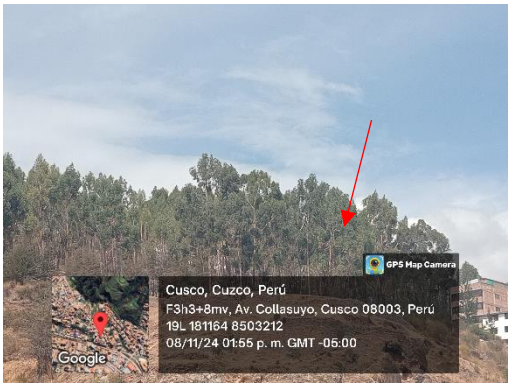
Observaciones: Se suelo desnudo

CÓDIGO DEL PUNTO: 002	Fecha: 08/11/2024	Hora: 13:55

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 8503212	Longitud: 181164	3400

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 (X)		V2 (X)

Fotografía del punto de monitoreo:



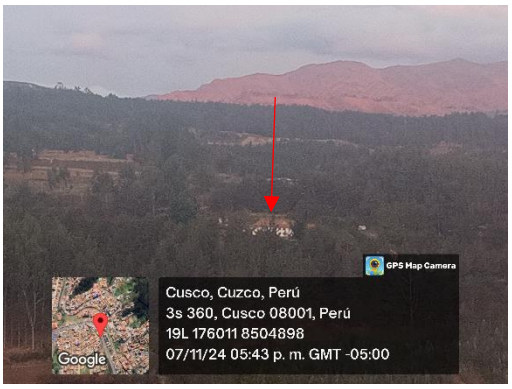
Observaciones: Se observa alta densidad de vegetación como bosques y plantaciones.

CÓDIGO DEL PUNTO: 003	Fecha: 07/11/2024	Hora: 05:43

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 176011	Longitud: 8504898	3582

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 (X)		V2 (X)

Fotografía del punto de monitoreo:



Observaciones: Se observa bosques y plantaciones

CÓDIGO DEL PUNTO: 004	Fecha: 05/11/2024	Hora: 14:45

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 182377	Longitud: 8504792	3514

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 (X)		V2 (X)

Fotografía del punto de monitoreo:



Observaciones: Se observa bosque y plantaciones de eucalipto.

CÓDIGO DEL PUNTO: 005	Fecha: 04/11/2024	Hora: 11:41

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 188372	Longitud: 8501889	3386

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 (X)		V2 (X)

Fotografía del punto de monitoreo:



Observaciones: Se observa bosque y plantaciones.

CÓDIGO DEL PUNTO: 006	Fecha: 08/11/2024	Hora: 13:53

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 180840	Longitud: 8503479	3387

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 (X)		V2 (X)

Fotografía del punto de monitoreo:



Observaciones: Se observa plantaciones de Eucalipto.

CÓDIGO DEL PUNTO: 007	Fecha: 13/11/2024	Hora: 13:59

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 186161	Longitud: 8500620	3238

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 (X)		V2 (X)

Fotografía del punto de monitoreo:



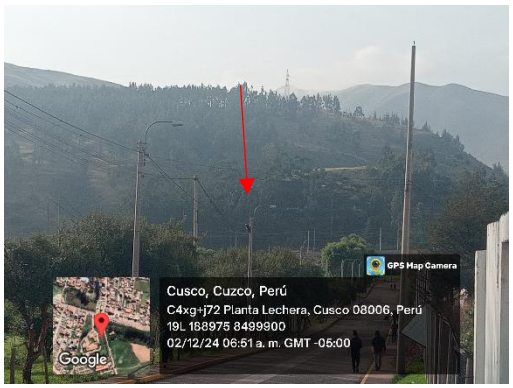
Observaciones: Se observa plantaciones de Eucalipto.

CÓDIGO DEL PUNTO: 008	Fecha: 02/12/2024	Hora: 06:51

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 188975	Longitud: 8499900	3203

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 (X)		V2 (X)

Fotografía del punto de monitoreo:



Observaciones: Se observa y plantaciones de Eucalipto.

CÓDIGO DEL PUNTO: 009	Fecha: 07/11/2024	Hora: 16:17

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 822788	Longitud: 8505223	3625

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 (X)		V2 (X)

Fotografía del punto de monitoreo:



Observaciones: Se observa y plantaciones de Eucalipto.

CÓDIGO DEL PUNTO: 010	Fecha: 04/11/2024	Hora: 12:51

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 188775	Longitud: 8499243	3228

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 ( )		V1 (X)
	V2 (X)		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



Observaciones: Se observa escasa vegetación y área de cultivo.

CÓDIGO DEL PUNTO: 011	Fecha: 05/11/2024	Hora: 14:48

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 183542	Longitud: 8504393	3493

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 (X)		V2 (X)

Fotografía del punto de monitoreo:



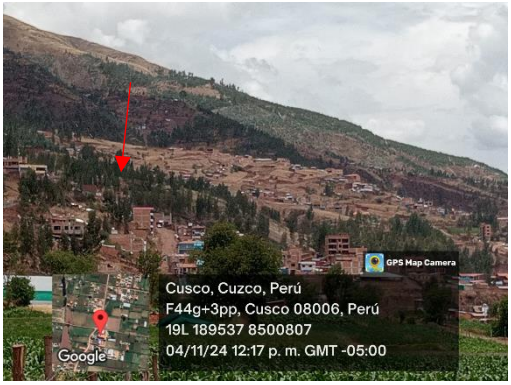
Observaciones: Se observa y plantaciones de Eucalipto.

CÓDIGO DEL PUNTO: 012	Fecha: 04/11/2024	Hora: 12:17

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 189537	Longitud: 8500807	3254

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 (X)		V2 (X)

Fotografía del punto de monitoreo:



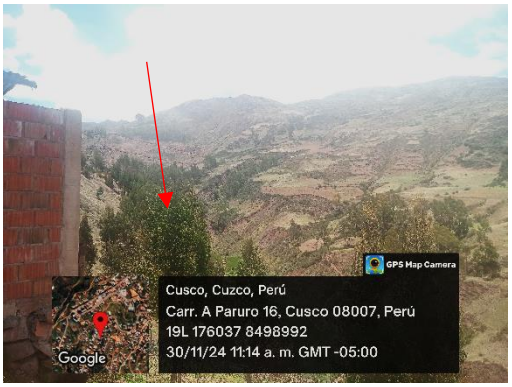
Observaciones: Se observa y plantaciones de Eucalipto.

CÓDIGO DEL PUNTO: 013	Fecha: 30/11/2024	Hora: 11:14

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 176037	Longitud: 8498992	3550

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 (X)		V2 (X)

Fotografía del punto de monitoreo:



Observaciones: Se observa y plantaciones de Eucalipto.

CÓDIGO DEL PUNTO: 014	Fecha: 20/11/2024	Hora: 14:59

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 176070	Longitud: 8502516	3525

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 (X)		V2 (X)

Fotografía del punto de monitoreo:



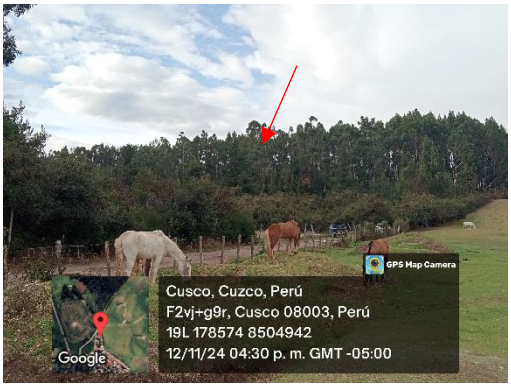
Observaciones: Se observa y plantaciones de Eucalipto.

CÓDIGO DEL PUNTO: 015	Fecha: 12/11/2024	Hora: 16:30

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 178574	Longitud: 178574	3642

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 (X)		V2 (X)

Fotografía del punto de monitoreo:



Observaciones: Se observa plantaciones de eucaliptos.

CÓDIGO DEL PUNTO: 016	Fecha: 30/11/2024	Hora: 11:25

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 176122	Longitud: 8499308	3537

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 (X)		V2 (X)

Fotografía del punto de monitoreo:



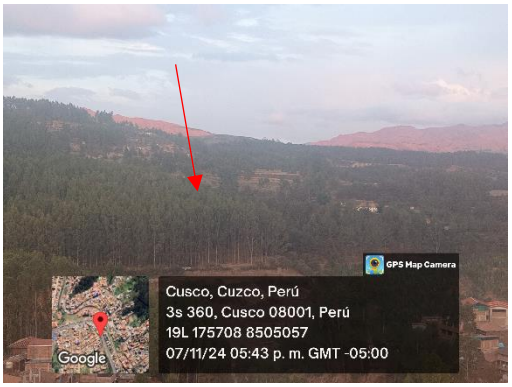
Observaciones: Se observa plantaciones de eucaliptos.

CÓDIGO DEL PUNTO: 017	Fecha: 07/11/2024	Hora: 17:43

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 175708	Longitud: 8505057	3608

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 (X)		V2 (X)

Fotografía del punto de monitoreo:



Observaciones: Se observa plantaciones de eucaliptos.

CÓDIGO DEL PUNTO: 018	Fecha: 05/11/2024	Hora: 13:57

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 184741	Longitud: 8503346	3428

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 ( )		V1 (X)
	V2 (X)		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



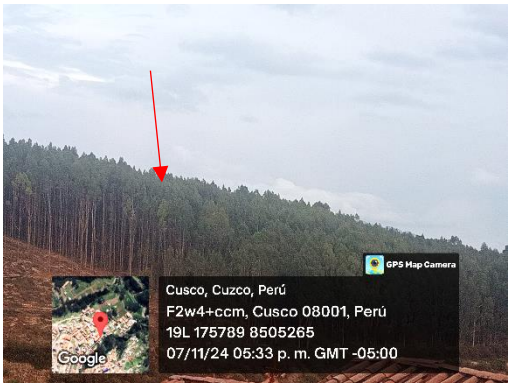
Observaciones: Escasa vegetación, área de cultivo.

CÓDIGO DEL PUNTO: 019	Fecha: 07/11/2024	Hora: 17:33

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 175789	Longitud: 175789	3566

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 (X)		V2 (X)

Fotografía del punto de monitoreo:



Observaciones: Se observa plantaciones de eucaliptos.

CÓDIGO DEL PUNTO: 020	Fecha: 04/11/2024	Hora: 11:51

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 188338	Longitud: 8498311	3278

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 (X)		V2 (X)

Fotografía del punto de monitoreo:



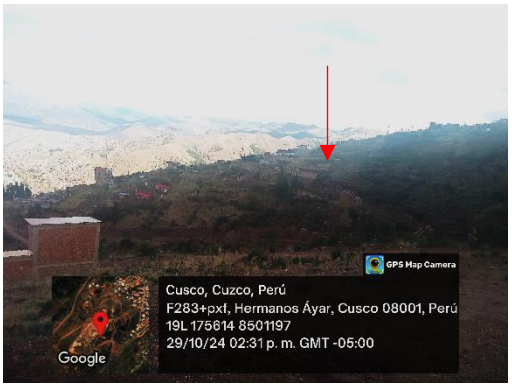
Observaciones: Se observa plantaciones de eucaliptos.

CÓDIGO DEL PUNTO: 021	Fecha: 29/11/2024	Hora: 14:31

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 175614	Longitud: 8501197	3753

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 (X)		V1 (X)
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



Observaciones: Se observa matorral, área de cultivos y pastizales.

CÓDIGO DEL PUNTO: 022	Fecha: 04/11/2024	Hora: 12:05

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 189175	Longitud: 8501443	3305

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 (X)		V1 (X)
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



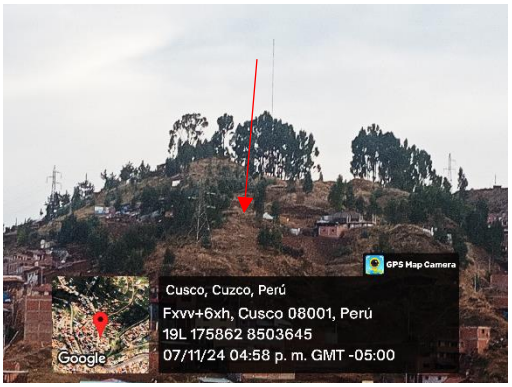
Observaciones: Se observa matorral, área de cultivos y pastizales.

CÓDIGO DEL PUNTO: 023	Fecha: 07/11/2024	Hora: 16:58

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 175862	Longitud: 175862	3552

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 (X)		V1 (X)
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



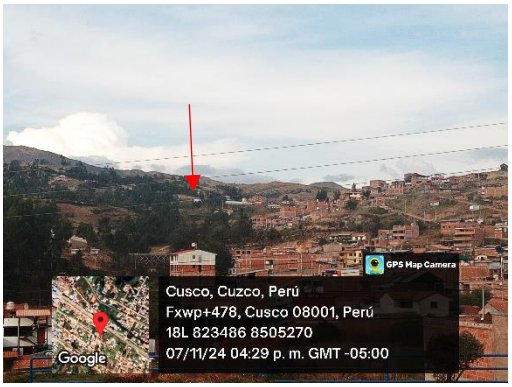
Observaciones: Se observa matorral, área de cultivos y pastizales.

CÓDIGO DEL PUNTO: 024	Fecha: 07/11/2024	Hora: 16:29

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 823486	Longitud: 8505270	3631

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 (X)		H1 (X)
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 (X)		V1 (X)
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



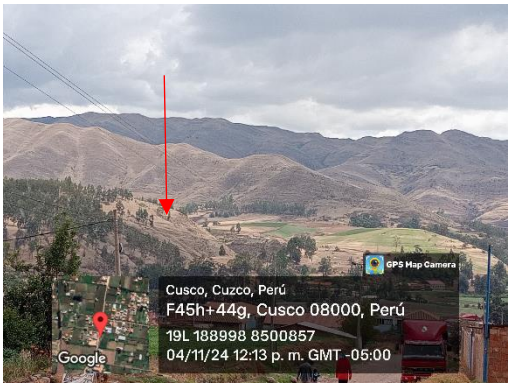
Observaciones: Se observa matorral, área de cultivos y pastizales.

CÓDIGO DEL PUNTO: 025	Fecha: 07/11/2024	Hora: 16:29

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 188998	Longitud: 8500857	3253

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 (X)		V1 (X)
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



Observaciones: Se observa matorral, área de cultivos y pastizales.

CÓDIGO DEL PUNTO: 026	Fecha: 05/11/2024	Hora: 14:48

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 182742	Longitud: 8504892	3494

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 (X)		V1 (X)
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



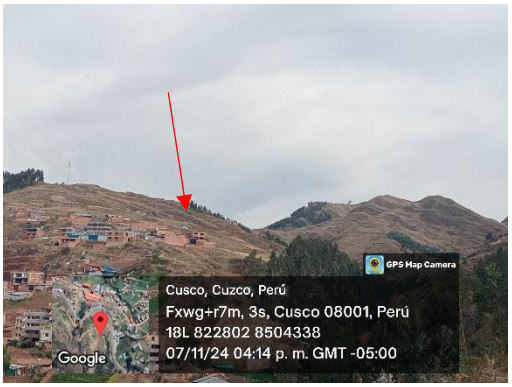
Observaciones: Se observa matorral, área de cultivos y pastizales.

CÓDIGO DEL PUNTO: 027	Fecha: 07/11/2024	Hora: 16:14

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 822802	Longitud: 8504338	3749

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 (X)		V1 (X)
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



Observaciones: Se observa matorral, área de cultivos y pastizales.

CÓDIGO DEL PUNTO: 028	Fecha: 04/11/2024	Hora: 12:14

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 188939	Longitud: 8500233	3219

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 (X)		V1 (X)
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



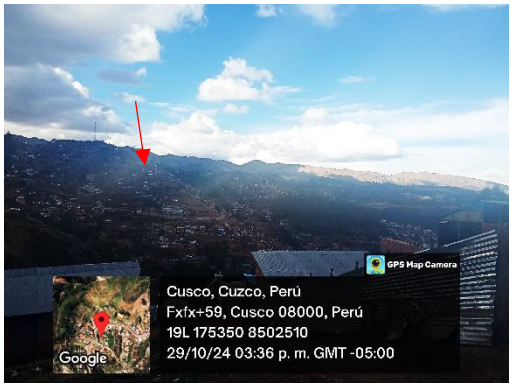
Observaciones: Se observa matorral, área de cultivos y pastizales.

CÓDIGO DEL PUNTO: 029	Fecha: 29/10/2024	Hora: 15:36

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 175350	Longitud: 8502510	3670

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 (X)		V1 (X)
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



Observaciones: Se observa matorral, área de cultivos y pastizales.

CÓDIGO DEL PUNTO: 030	Fecha: 12/11/2024	Hora: 16:32

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 178941	Longitud: 8504994	3642

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 (X)		V1 (X)
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



Observaciones: Se observa matorral, área de cultivos y pastizales.

CÓDIGO DEL PUNTO: 031	Fecha: 04/11/2024	Hora: 12:41

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 189115	Longitud: 189115	3206

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 (X)		V1 (X)
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



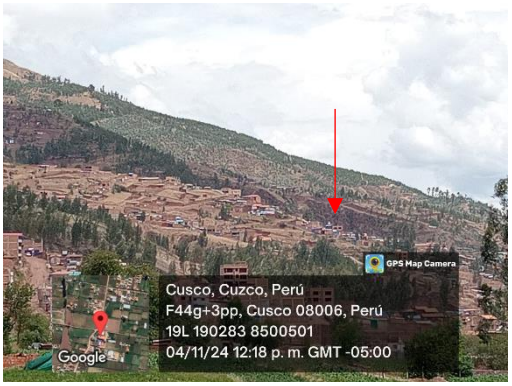
Observaciones: Se observa matorral, área de cultivos y pastizales.

CÓDIGO DEL PUNTO: 032	Fecha: 04/11/2024	Hora: 12:18

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 190283	Longitud: 8500501	3276

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 (X)		V1 (X)
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



Observaciones: Se observa matorral, área de cultivos y pastizales.

CÓDIGO DEL PUNTO: 033	Fecha: 04/11/2024	Hora: 12:24

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 188920	Longitud: 8500659	3240

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 (X)		V1 (X)
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



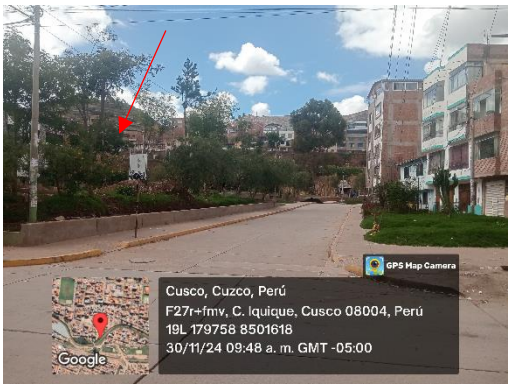
Observaciones: Se observa cultivos y pastizales.

CÓDIGO DEL PUNTO: 034	Fecha: 30/11/2024	Hora: 09:48

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 179758	Longitud: 8501618	3314

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 (X)		V1 (X)
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



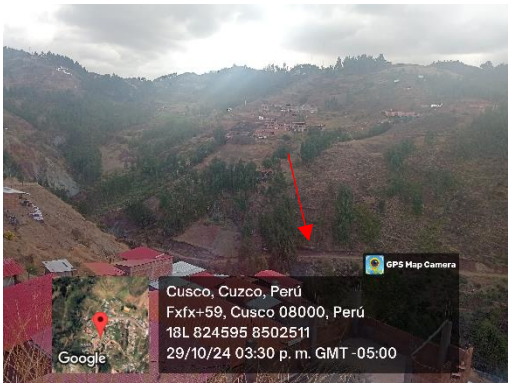
Observaciones: Se observa baja media o escasa vegetación.

CÓDIGO DEL PUNTO: 035	Fecha: 29/10/2024	Hora: 15:30

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 824595	Longitud: 8502511	3685

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 (X)		H1 (X)
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 (X)		V1 (X)
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



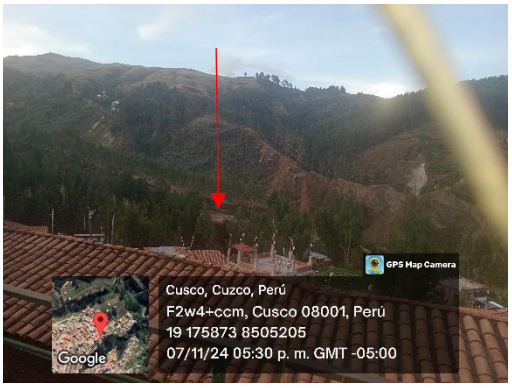
Observaciones: Se observa matorral y pastizales.

CÓDIGO DEL PUNTO: 036	Fecha: 07/11/2024	Hora: 17:30

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 175873	Longitud: 8505205	3582

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 (X)		V1 (X)
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



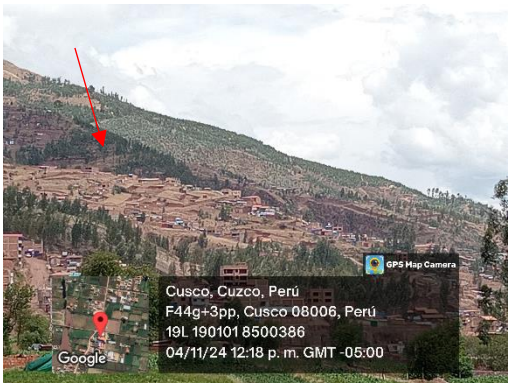
Observaciones: Se observa matorral y pastizales.

CÓDIGO DEL PUNTO: 037	Fecha: 04/11/2024	Hora: 12:18

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 190101	Longitud: 8500386	3246

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 (X)		V1 (X)
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



Observaciones: Se observa matorral cultivos y pastizales.

CÓDIGO DEL PUNTO: 038	Fecha: 04/11/2024	Hora: 11:52

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 8499522	Longitud: 188440	3224

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 (X)		V1 (X)
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



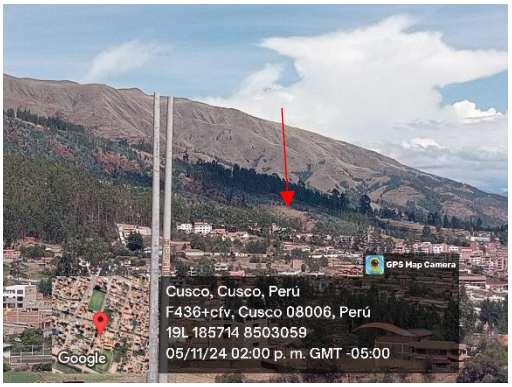
Observaciones: Se observa matorral cultivos y pastizales.

CÓDIGO DEL PUNTO: 039	Fecha: 05/11/2024	Hora: 14:00

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 185714	Longitud: 8503059	3356

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 (X)		V1 (X)
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



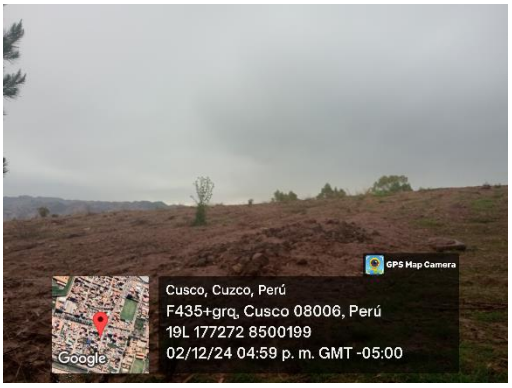
Observaciones: Se observa matorral cultivos y pastizales.

CÓDIGO DEL PUNTO: 040	Fecha: 02/12/2024	Hora: 16:59

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 177272	Longitud: 8500199	3409

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 (X)		H1 (X)
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 (X)		V1 (X)
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



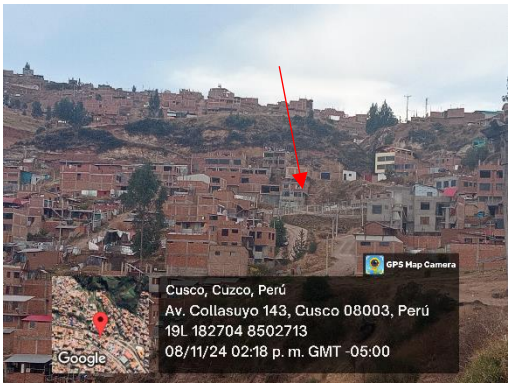
Observaciones: Se observa matorral cultivos y pastizales.

CÓDIGO DEL PUNTO: 041	Fecha: 08/11/2024	Hora: 14:18

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 182704	Longitud: 8502713	3353

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 (X)		H3 (X)
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



Observaciones: Baja densidad de construcciones.

CÓDIGO DEL PUNTO: 042	Fecha: 30/11/2024	Hora: 12:34

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 181707	Longitud: 8500798	3238

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 (X)		H3 (X)
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



Observaciones: Se observa baja densidad de construcciones.

CÓDIGO DEL PUNTO: 043	Fecha: 04/11/2024	Hora: 11:31

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 188427	Longitud: 8501205	3287

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 (X)		V1 (X)
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



Observaciones: Baja densidad de construcciones.

CÓDIGO DEL PUNTO: 044	Fecha: 20/11/2024	Hora: 14:59

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 184784	Longitud: 8502664	3336

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 (X)		H3 (X)
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



Observaciones: Baja densidad de construcciones.

CÓDIGO DEL PUNTO: 045	Fecha: 29/10/2024	Hora: 15:05

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 824446	Longitud: 8502161	3760

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 (X)		H3 (X)
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



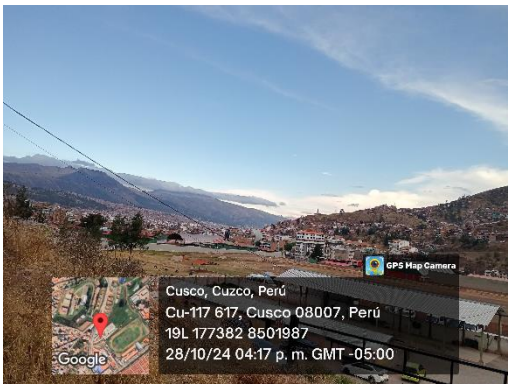
Observaciones: Baja densidad de construcciones.

CÓDIGO DEL PUNTO: 046	Fecha: 28/10/2024	Hora: 16:17

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 177382	Longitud: 8501987	3389

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 (X)		H3 (X)
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



Observaciones: Baja densidad de construcciones.

CÓDIGO DEL PUNTO: 047	Fecha: 11/11/2024	Hora: 16:37

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 184822	Longitud: 8499541	3334

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 (X)		H3 (X)
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



Observaciones: Se observa área de cultivo,matortral

CÓDIGO DEL PUNTO: 048	Fecha: 30/11/2024	Hora: 12:39

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 182239	Longitud: 8498477	3408

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 (X)		H3 (X)
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



Observaciones: Se observa baja densidad de construcciones.

CÓDIGO DEL PUNTO: 049	Fecha: 07/11/2024	Hora: 16:08

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 822138	Longitud: 822138	3579

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 (X)		H3 (X)
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



Observaciones: Se observa baja densidad de construcciones.

CÓDIGO DEL PUNTO: 050	Fecha: 09/11/2024	Hora: 09:29

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 184271	Longitud: 8502606	3359

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 (X)		H3 (X)
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



Observaciones: Se observa baja densidad de construcciones.

CÓDIGO DEL PUNTO: 051	Fecha: 11/11/2024	Hora: 16:31

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 185388	Longitud: 8500059	3274

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 (X)		H3 (X)
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



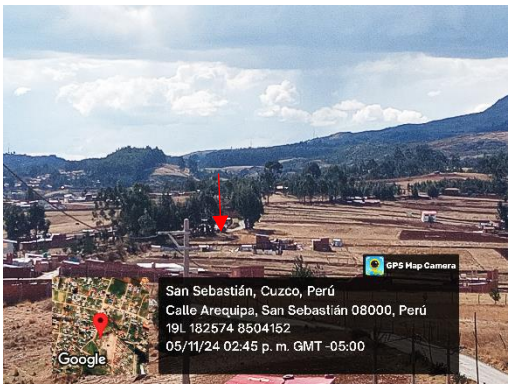
Observaciones: Se observa baja densidad de construcciones.

CÓDIGO DEL PUNTO: 052	Fecha: 05/11/2024	Hora: 14:45

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 182574	Longitud: 8504152	3582

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 (X)		H3 (X)
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



Observaciones: Se observa baja densidad de construcciones.

CÓDIGO DEL PUNTO: 053	Fecha: 08/11/2024	Hora: 13:55

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 181115	Longitud: 8503288	3344

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 (X)		H3 (X)
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



Observaciones: Se observa baja densidad de construcciones.

CÓDIGO DEL PUNTO: 054	Fecha: 05/11/2024	Hora: 13:53

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 184764	Longitud: 8503363	3435

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 (X)		H3 (X)
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



Observaciones: Se observa baja densidad de construcciones.

CÓDIGO DEL PUNTO: 055	Fecha: 30/11/2024	Hora: 11:06

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 176678	Longitud: 8500166	3436

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 (X)		H3 (X)
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



Observaciones: Se observa baja densidad de construcciones.

CÓDIGO DEL PUNTO: 056	Fecha: 04/11/2024	Hora: 12:21

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 188961	Longitud: 8500784	3248

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 (X)		H3 (X)
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



Observaciones: Se observa baja densidad de construcciones.

CÓDIGO DEL PUNTO: 057	Fecha: 30/11/2024	Hora: 09:53

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 179622	Longitud:8501630	3330

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 (X)		H3 (X)
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



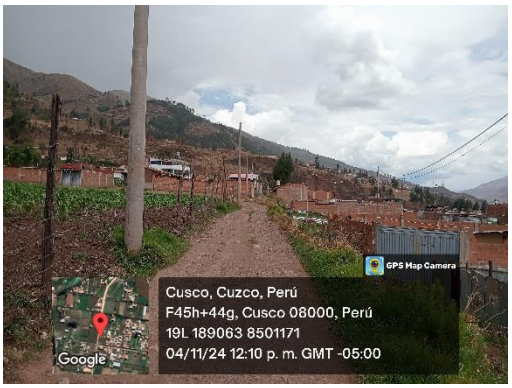
Observaciones: Se observa baja densidad de construcciones.

CÓDIGO DEL PUNTO: 058	Fecha: 04/11/2024	Hora: 12:21

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 189063	Longitud: 8501171	3277

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 (X)		H3 (X)
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



Observaciones: Se observa baja densidad de construcciones.

CÓDIGO DEL PUNTO: 059	Fecha: 04/11/2024	Hora: 12:51

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 188785	Longitud: 8499248	3229

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 (X)		H3 (X)
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



Observaciones: Se observa baja densidad de construcciones.

CÓDIGO DEL PUNTO: 060	Fecha: 04/11/2024	Hora: 12:03

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 189106	Longitud: 8501497	3306

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 (X)		H3 (X)
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



Observaciones: Se observa baja densidad de construcciones.

CÓDIGO DEL PUNTO: 061	Fecha: 04/11/2024	Hora: 11:19

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 186957	Longitud: 8501152	3263

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 (X)		H2 (X)
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



Observaciones: Se observa media densidad de construcciones.

CÓDIGO DEL PUNTO: 062	Fecha: 04/11/2024	Hora: 10:56

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 180808	Longitud: 8502683	3331

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 (X)
	H2 (X)		H2 ( )
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



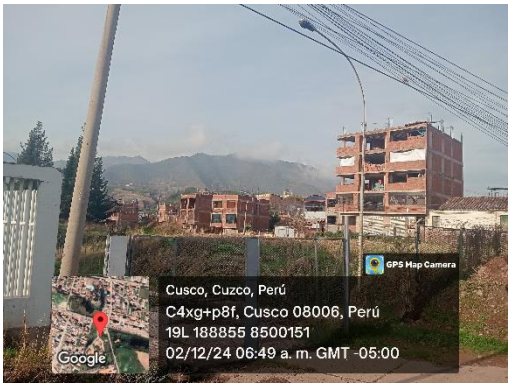
Observaciones: Se observa alta densidad de construcciones.

CÓDIGO DEL PUNTO: 063	Fecha: 02/12/2024	Hora: 06:49

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 188855	Longitud: 8500151	3211

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 (X)		H2 (X)
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



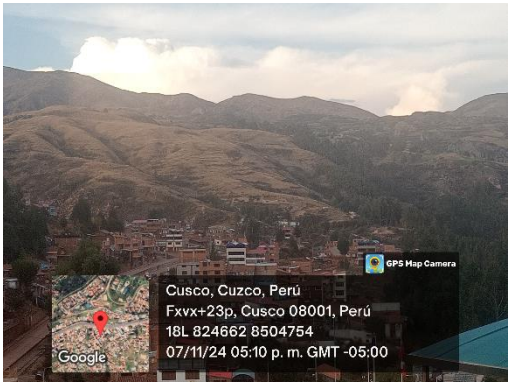
Observaciones: Se observa media densidad de construcciones.

CÓDIGO DEL PUNTO: 064	Fecha: 07/11/2024	Hora: 17:10

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 824662	Longitud: 8504754	3663

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 (X)		H2 (X)
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



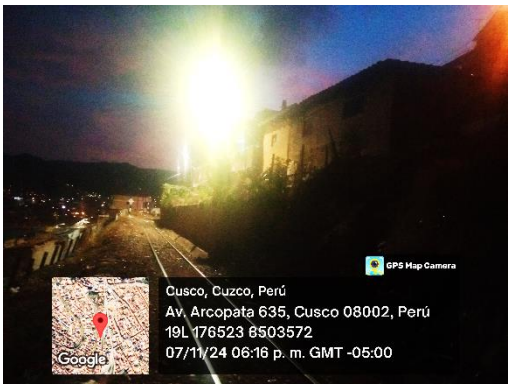
Observaciones: Se observa media densidad de construcciones.

CÓDIGO DEL PUNTO: 065	Fecha: 07/11/2024	Hora: 18:16

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 176523	Longitud: 8503572	3386

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 (X)		H2 (X)
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



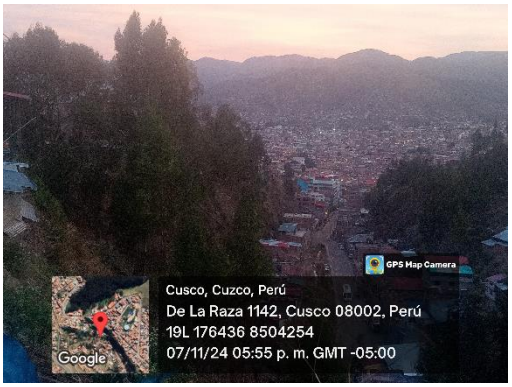
Observaciones: Se observa media densidad de construcciones.

CÓDIGO DEL PUNTO: 066	Fecha: 07/11/2024	Hora: 17:55

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 176436	Longitud: 8504254	3519

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 (X)		H2 (X)
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



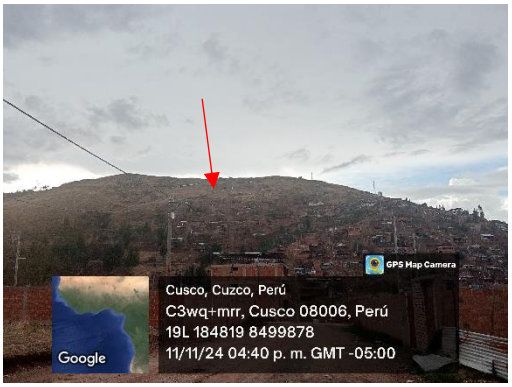
Observaciones: Se observa media densidad de construcciones.

CÓDIGO DEL PUNTO: 067	Fecha: 11/11/2024	Hora: 16:40

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 184819	Longitud: 8499878	3316

Clase de uso de suelo		Clase de uso de suelo	
Según Modelo BU	H1 ( )	Según Campo	H1 ( )
	H2 (X)		H2 (X)
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



Observaciones: Se observa media densidad de construcciones.

CÓDIGO DEL PUNTO: 068	Fecha: 08/11/2024	Hora: 14:43

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 182912	Longitud: 8502014	3280

Clase de uso de suelo		Clase de uso de suelo	
Según Modelo BU	H1 ( )	Según Campo	H1 ( )
	H2 (X)		H2 (X)
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



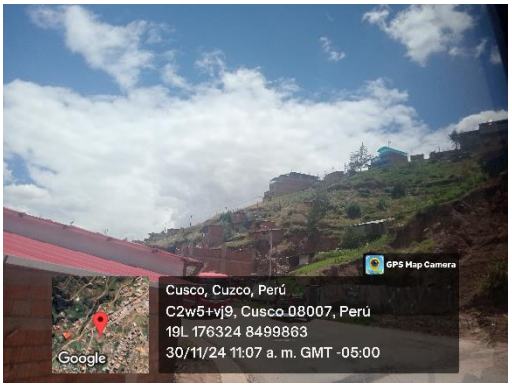
Observaciones: Se observa media densidad de construcciones.

CÓDIGO DEL PUNTO: 069	Fecha: 30/11/2024	Hora: 11:07

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 176324	Longitud: 8499863	3468

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 (X)		H2 (X)
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



Observaciones: Se observa media densidad de construcciones.

CÓDIGO DEL PUNTO: 070	Fecha: 11/11/2024	Hora: 16:39

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 184711	Longitud: 8499413	3335

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 (X)		H2 (X)
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



Observaciones: Se observa media densidad de construcciones.

CÓDIGO DEL PUNTO: 071	Fecha: 05/11/2024	Hora: 14:38

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 182722	Longitud: 8504017	3587

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 (X)		H2 (X)
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



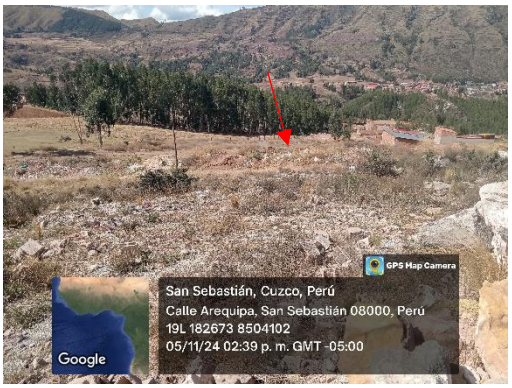
Observaciones: Se observa media densidad de construcciones.

CÓDIGO DEL PUNTO: 072	Fecha: 05/11/2024	Hora: 14:39

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 182673	Longitud: 8504102	3586

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 (X)		H2 (X)
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



Observaciones: Se observa media densidad de construcciones.

CÓDIGO DEL PUNTO: 073	Fecha: 09/11/2024	Hora: 09:29

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 184708	Longitud: 8502673	3271

Clase de uso de suelo		Clase de uso de suelo	
Según Modelo BU	H1 ( )	Según Campo	H1 ( )
	H2 (X)		H2 (X)
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



Observaciones: Se observa media densidad de construcciones.

CÓDIGO DEL PUNTO: 074	Fecha: 04/11/2024	Hora: 13:33

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 188006	Longitud: 8500121	3212

Clase de uso de suelo		Clase de uso de suelo	
Según Modelo BU	H1 ( )	Según Campo	H1 ( )
	H2 (X)		H2 (X)
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



Observaciones: Se observa media densidad de construcciones.

CÓDIGO DEL PUNTO: 075	Fecha: 30/11/2024	Hora: 09:21

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 187186	Longitud: 8500256	3221

Clase de uso de suelo		Clase de uso de suelo	
Según Modelo BU	H1 ( )	Según Campo	H1 ( )
	H2 (X)		H2 (X)
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



Observaciones: Se observa media densidad de construcciones.

CÓDIGO DEL PUNTO: 076	Fecha: 03/12/2024	Hora: 07:24

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 181013	Longitud: 8502501	3326

Clase de uso de suelo		Clase de uso de suelo	
Según Modelo BU	H1 ( )	Según Campo	H1 ( )
	H2 (X)		H2 (X)
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



Se observa media densidad de construcciones.

CÓDIGO DEL PUNTO: 077	Fecha: 04/11/2024	Hora: 12:49

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 188797	Longitud: 8499246	3261

Clase de uso de suelo	H1 ( )	Clase de uso de suelo	H1 ( )
Según Modelo BU	H2 (X)	Según Campo	H2 (X)
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



Observaciones: Se observa media densidad de construcciones.

CÓDIGO DEL PUNTO: 078	Fecha: 28/10/2024	Hora: 15:52

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 177750	Longitud: 8502880	3379

Clase de uso de suelo	H1 ( )	Clase de uso de suelo	H1 ( )
Según Modelo BU	H2 (X)	Según Campo	H2 (X)
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



Observaciones: Se observa media densidad de construcciones.

CÓDIGO DEL PUNTO: 079	Fecha: 30/11/2024	Hora: 09:54

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 179374	Longitud: 8500955	3394

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 (X)		H2 (X)
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



Observaciones: Se observa media densidad de construcciones.

CÓDIGO DEL PUNTO: 080	Fecha: 28/10/2024	Hora: 15:24

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 178842	Longitud: 8503115	3368

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 ( )		H1 ( )
	H2 (X)		H2 (X)
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



Observaciones: Se observa media densidad de construcciones.

CÓDIGO DEL PUNTO: 081	Fecha: 28/10/2024	Hora: 17:01

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 177990	Longitud: 8503676	3398

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 (X)		H1 (X)
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



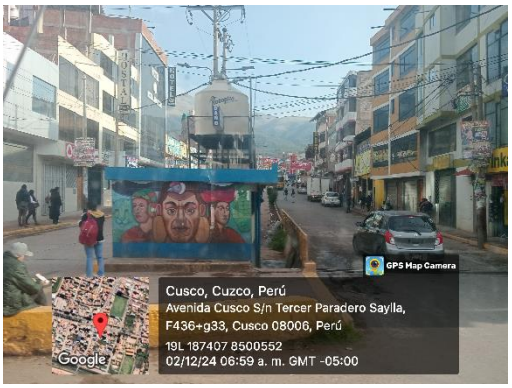
Observaciones: Se observa alta densidad de construcciones.

CÓDIGO DEL PUNTO: 082	Fecha: 02/12/2024	Hora: 06:59

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 187407	Longitud: 8500552	3227

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 (X)		H1 (X)
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



Observaciones: Se observa alta densidad de construcciones.

CÓDIGO DEL PUNTO: 083	Fecha: 20/11/2024	Hora: 14:59

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 187265	Longitud: 8501032	3265

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 (X)		H1 (X)
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



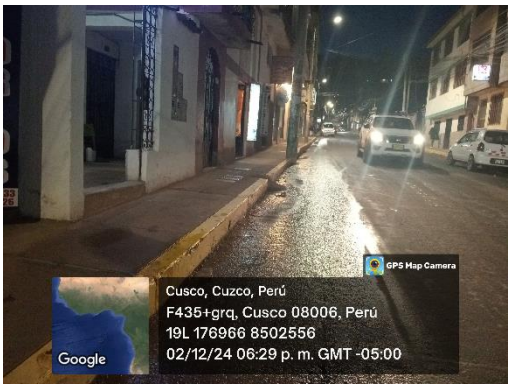
Observaciones: Se observa alta densidad de construcciones.

CÓDIGO DEL PUNTO: 084	Fecha: 02/12/2024	Hora: 18:29

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 176966	Longitud: 8502556	3425

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 (X)		H1 (X)
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



Observaciones: Se observa alta densidad de construcciones.

CÓDIGO DEL PUNTO: 085	Fecha: 30/11/2024	Hora: 10:07

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 179470	Longitud: 8502368	3330

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 (X)		H1 (X)
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



Observaciones: Se observa alta densidad de construcciones.

CÓDIGO DEL PUNTO: 086	Fecha: 04/11/2024	Hora: 11:07

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 184024	Longitud: 8502103	3274

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 (X)		H1 (X)
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



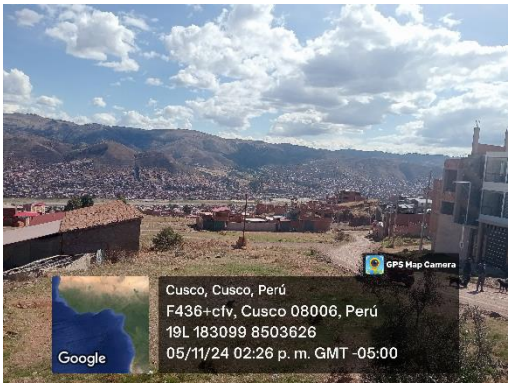
Observaciones: Se observa alta densidad de construcciones.

CÓDIGO DEL PUNTO: 087	Fecha: 05/11/2024	Hora: 14:26

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 183099	Longitud: 8503626	3525

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 (X)		H1 (X)
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



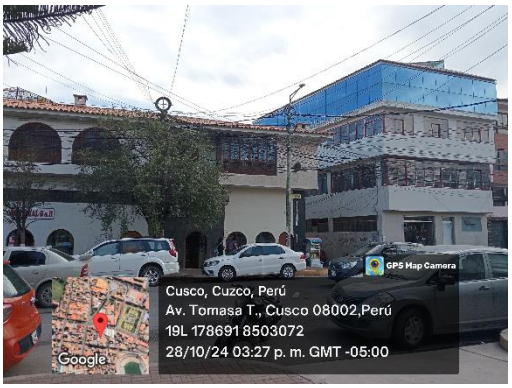
Observaciones: Se observa alta densidad de construcciones.

CÓDIGO DEL PUNTO: 088	Fecha: 28/10/2024	Hora: 15:27

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 178691	Longitud: 8503072	3372

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 (X)		H1 (X)
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



Observaciones: Se observa alta densidad de construcciones.

CÓDIGO DEL PUNTO: 089	Fecha: 20/11/2024	Hora: 14:59

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 179200	Longitud: 8503465	3376

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 (X)		H1 (X)
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



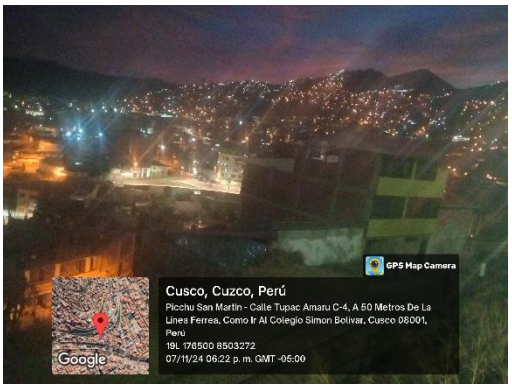
Observaciones: Se observa alta densidad de construcciones.

CÓDIGO DEL PUNTO: 090	Fecha: 07/11/2024	Hora: 18:22

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 176500	Longitud: 8503272	3457

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 (X)		H1 (X)
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



Observaciones: Se observa alta densidad de construcciones.

CÓDIGO DEL PUNTO: 091	Fecha: 12/11/2024	Hora: 15:10

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 177421	Longitud: 8504011	3434

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 (X)		H1 (X)
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



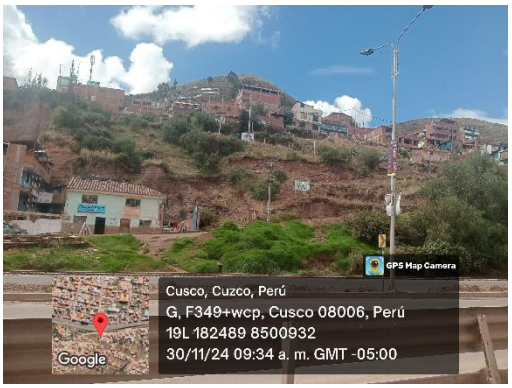
Observaciones: Se observa alta densidad de construcciones.

CÓDIGO DEL PUNTO: 092	Fecha: 30/11/2024	Hora: 09:34

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 182489	Longitud: 8500932	3292

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 (X)		H1 (X)
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



Observaciones: Se observa alta densidad de construcciones.

CÓDIGO DEL PUNTO: 093	Fecha: 04/11/2024	Hora: 10:59

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 181748	Longitud: 8502551	3305

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 (X)		H1 (X)
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



Observaciones: Se observa alta densidad de construcciones.

CÓDIGO DEL PUNTO: 094	Fecha: 30/11/2024	Hora: 09:33

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 183391	Longitud: 8501035	3271

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 (X)		H1 (X)
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



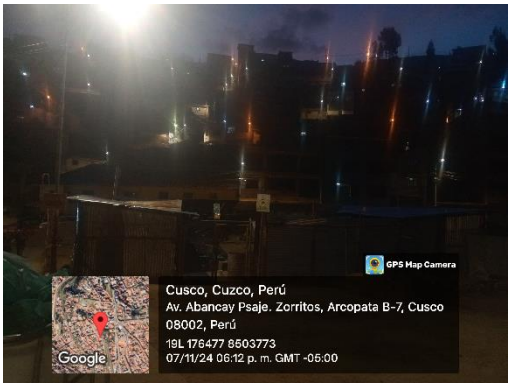
Observaciones: Se observa alta densidad de construcciones.

CÓDIGO DEL PUNTO: 095	Fecha: 07/11/2024	Hora: 18:12

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 176477	Longitud: 8503773	3479

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 (X)		H1 (X)
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



Observaciones: Se observa alta densidad de construcciones.

CÓDIGO DEL PUNTO: 096	Fecha: 07/11/2024	Hora: 16:21

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 822750	Longitud: 8505027	3653

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 (X)		H1 (X)
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



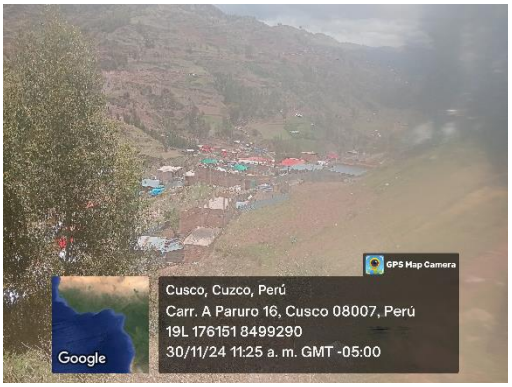
Observaciones: Se observa alta densidad de construcciones.

CÓDIGO DEL PUNTO: 097	Fecha: 30/11/2024	Hora: 11:25

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 176151	Longitud: 8499290	3538

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 (X)		H1 (X)
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



Observaciones: Se observa alta densidad de construcciones.

CÓDIGO DEL PUNTO: 098	Fecha: 08/11/2024	Hora: 13:42

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 180204	Longitud: 8503340	3364

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 (X)		H1 (X)
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



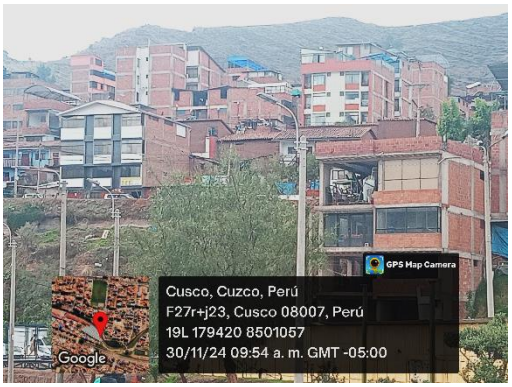
Observaciones: Se observa alta densidad de construcciones.

CÓDIGO DEL PUNTO: 099	Fecha: 30/11/2024	Hora: 09:54

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 179420	Longitud: 8501057	3261

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 (X)		H1 (X)
	H2 ( )		H2 ( )
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



Observaciones: Se observa alta densidad de construcciones.

CÓDIGO DEL PUNTO: 100	Fecha: 04/11/2024	Hora: 13:30

Coordenadas UTM (WGS 1984)		Altitud(m):
Latitud: 188070	Longitud: 8500134	3211

Clase de uso de suelo Según Modelo BU		Clase de uso de suelo Según Campo	
	H1 (X)		H1 ( )
	H2 ( )		H2 (X)
	H3 ( )		H3 ( )
	V1 ( )		V1 ( )
	V2 ( )		V2 ( )

Fotografía del punto de monitoreo:



Observaciones: Se observa baja densidad de construcciones.

ANEXO 6: FICHA DE CAMPO MEDICION DE MATERIAL PARCITULADO

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-01

Coordenadas UTM (WGS 1984):

Latitud: 188151 Longitud: 8497673 Zona: 19L

Altitud (m): 3318

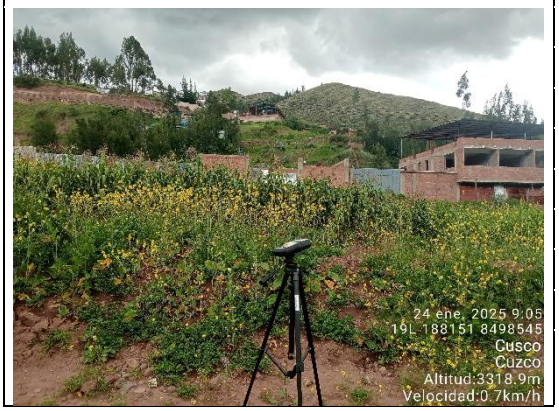
ICAU (Según el modelo)

(X) Muy bueno
( ) Bueno
( ) Regular
( ) Deficiente
( ) Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	3	µg/m^3
PM 10:	7	µg/m^3
Temperatura:	15.6	°C
Humedad:	32.5	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	2	µg/m^3
PM 10:	0	µg/m^3
Temperatura:	8.1	°C
Humedad:	49.4	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-02

Coordenadas UTM (WGS 1984):

Latitud: 182267 Longitud: 8498545 Zona: 19L

Altitud (m): 3454

ICAU (Según el modelo)

(X) Muy bueno
( ) Bueno
( ) Regular
( ) Deficiente
( ) Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	0	µg/m^3
PM 10:	4	µg/m^3
Temperatura:	16.6	°C
Humedad:	32.5	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	2	µg/m^3
PM 10:	13	µg/m^3
Temperatura:	8.1	°C
Humedad:	49.4	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-03

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 188170	Longitud: 8498598	Zona: 19L	3292

ICAU (Según el modelo)	
(X)	Muy bueno
( )	Bueno
( )	Regular
( )	Deficiente
( )	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	2	µg/m³
PM 10:	17	µg/m³
Temperatura:	15.6	°C
Humedad:	32.5	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	0	µg/m³
PM 10:	0	µg/m³
Temperatura:	3.6	°C
Humedad:	60.7	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-04

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 176162	Longitud: 8499724	Zona: 19L	3493

ICAU (Según el modelo)	
( )	Muy bueno
(X)	Bueno
( )	Regular
( )	Deficiente
( )	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	0	µg/m³
PM 10:	0	µg/m³
Temperatura:	6.1	°C
Humedad:	62.8	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	0	µg/m³
PM 10:	11	µg/m³
Temperatura:	8.1	°C
Humedad:	43	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-05

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 176922	Longitud: 8499586	Zona: 19L	3502

ICAU (Según el modelo)	
(X)	Muy bueno
( )	Bueno
( )	Regular
( )	Deficiente
( )	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	2	µg/m³
PM 10:	11	µg/m³
Temperatura:	6.5	°C
Humedad:	61.3	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	4	µg/m³
PM 10:	12	µg/m³
Temperatura:	8.1	°C
Humedad:	43	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-06

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 180917	Longitud: 8499548	Zona: 19L	3442

ICAU (Según el modelo)	
( )	Muy bueno
(X)	Bueno
( )	Regular
( )	Deficiente
( )	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	6	µg/m³
PM 10:	10	µg/m³
Temperatura:	15.6	°C
Humedad:	32.5	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	3	µg/m³
PM 10:	13	µg/m³
Temperatura:	8.1	°C
Humedad:	46.9	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-07

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 182033	Longitud: 8499475	Zona: 19L	3419

ICAU (Según el modelo)	
(X)	Muy bueno
( )	Bueno
( )	Regular
( )	Deficiente
( )	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	5	µg/m^3
PM 10:	11	µg/m^3
Temperatura:	15.6	°C
Humedad:	32.5	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	2	µg/m^3
PM 10:	0	µg/m^3
Temperatura:	12.5	°C
Humedad:	42	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-08

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 184038	Longitud: 8499507	Zona: 19L	3335

ICAU (Según el modelo)	
(X)	Muy bueno
( )	Bueno
( )	Regular
( )	Deficiente
( )	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	2	µg/m^3
PM 10:	27	µg/m^3
Temperatura:	15.5	°C
Humedad:	34.8	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	6	µg/m^3
PM 10:	15	µg/m^3
Temperatura:	8.1	°C
Humedad:	43	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-09

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 184995	Longitud: 8499754	Zona: 19L	3322

ICAU (Según el modelo)	
( )	Muy bueno
( )	Bueno
(X)	Regular
( )	Deficiente
( )	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	4	µg/m³
PM 10:	0	µg/m³
Temperatura:	15.4	°C
Humedad:	28.3	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	1	µg/m³
PM 10:	0	µg/m³
Temperatura:	8.1	°C
Humedad:	43	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-10

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 185771	Longitud: 8499715	Zona: 19L	3329

ICAU (Según el modelo)	
(X)	Muy bueno
( )	Bueno
( )	Regular
( )	Deficiente
( )	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	0	µg/m³
PM 10:	21	µg/m³
Temperatura:	13	°C
Humedad:	27	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	3	µg/m³
PM 10:	1	µg/m³
Temperatura:	8.1	°C
Humedad:	43	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-11

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 187041	Longitud: 8499592	Zona: 19L	3268

ICAU (Según el modelo)	
( )	Muy bueno
(X)	Bueno
( )	Regular
( )	Deficiente
( )	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	7	µg/m^3
PM 10:	25	µg/m^3
Temperatura:	14.6	°C
Humedad:	29.8	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	4	µg/m^3
PM 10:	11	µg/m^3
Temperatura:	8.1	°C
Humedad:	43	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-12

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 188100	Longitud: 8499669	Zona: 19L	3270

ICAU (Según el modelo)	
( )	Muy bueno
(X)	Bueno
( )	Regular
( )	Deficiente
( )	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	0	µg/m^3
PM 10:	14	µg/m^3
Temperatura:	17.9	°C
Humedad:	28.6	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	7	µg/m^3
PM 10:	16	µg/m^3
Temperatura:	8.1	°C
Humedad:	43	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-13

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 188970	Longitud: 8499566	Zona: 19L	3249

ICAU (Según el modelo)	
(X)	Muy bueno
( )	Bueno
( )	Regular
( )	Deficiente
( )	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	4	µg/m³
PM 10:	9	µg/m³
Temperatura:	17.9	°C
Humedad:	30.6	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	0	µg/m³
PM 10:	21	µg/m³
Temperatura:	8.6	°C
Humedad:	43	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-14

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 189920	Longitud: 8499737	Zona: 19L	3243

ICAU (Según el modelo)	
(X)	Muy bueno
( )	Bueno
( )	Regular
( )	Deficiente
( )	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	1	µg/m³
PM 10:	21	µg/m³
Temperatura:	17.1	°C
Humedad:	28.5	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	0	µg/m³
PM 10:	21	µg/m³
Temperatura:	8.1	°C
Humedad:	43	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-15

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 191010	Longitud: 8499584	Zona: 19L	3225

ICAU (Según el modelo)	
(X)	Muy bueno
( )	Bueno
( )	Regular
( )	Deficiente
( )	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	0	µg/m^3
PM 10:	22	µg/m^3
Temperatura:	15.6	°C
Humedad:	32.5	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	2	µg/m^3
PM 10:	24	µg/m^3
Temperatura:	14.5	°C
Humedad:	27.6	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-16

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 177016	Longitud: 8500551	Zona: 19L	3495

ICAU (Según el modelo)	
(X)	Muy bueno
( )	Bueno
( )	Regular
( )	Deficiente
( )	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	5	µg/m^3
PM 10:	45	µg/m^3
Temperatura:	9.2	°C
Humedad:	52.7	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	17	µg/m^3
PM 10:	34	µg/m^3
Temperatura:	8.1	°C
Humedad:	43	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-17

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 179213	Longitud: 8500706	Zona: 19L	3411

ICAU (Según el modelo)	
( )	Muy bueno
( )	Bueno
( )	Regular
( )	Deficiente
(X)	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	0	µg/m³
PM 10:	15	µg/m³
Temperatura:	15.6	°C
Humedad:	32.5	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	1	µg/m³
PM 10:	9	µg/m³
Temperatura:	6.2	°C
Humedad:	45.4	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-18

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 180077	Longitud: 8500709	Zona: 19L	3412

ICAU (Según el modelo)	
( )	Muy bueno
(X)	Bueno
( )	Regular
( )	Deficiente
( )	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	1	µg/m³
PM 10:	0	µg/m³
Temperatura:	15.6	°C
Humedad:	31.9	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	7	µg/m³
PM 10:	1	µg/m³
Temperatura:	4.5	°C
Humedad:	51.2	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-19

Coordenadas UTM (WGS 1984):				Altitud (m):
Latitud:	181237	Longitud: 8500729	Zona: 19L	3346

ICAU (Según el modelo)	
( )	Muy bueno
(X)	Bueno
( )	Regular
( )	Deficiente
( )	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	2	µg/m³
PM 10:	19	µg/m³
Temperatura:	25.6	°C
Humedad:	32.5	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	1	µg/m³
PM 10:	0	µg/m³
Temperatura:	12.1	°C
Humedad:	32.9	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-20

Coordenadas UTM (WGS 1984):				Altitud (m):
Latitud:	183204	Longitud: 8500535	Zona: 19L	3313

ICAU (Según el modelo)	
(X)	Muy bueno
( )	Bueno
( )	Regular
( )	Deficiente
( )	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	8	µg/m³
PM 10:	22	µg/m³
Temperatura:	15.2	°C
Humedad:	31.9	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	4	µg/m³
PM 10:	3	µg/m³
Temperatura:	8.1	°C
Humedad:	43	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-21

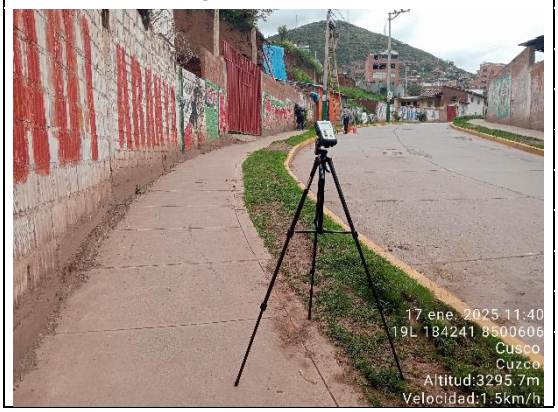
Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 184241	Longitud: 8500606	Zona: 19L	3295

ICAU (Según el modelo)	
( )	Muy bueno
(X)	Bueno
( )	Regular
( )	Deficiente
( )	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	5	µg/m^3
PM 10:	11	µg/m^3
Temperatura:	15.8	°C
Humedad:	33	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	8	µg/m^3
PM 10:	28	µg/m^3
Temperatura:	8.1	°C
Humedad:	43	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-22

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 185181	Longitud: 8500507	Zona: 19L	3336

ICAU (Según el modelo)	
( )	Muy bueno
( )	Bueno
(X)	Regular
( )	Deficiente
( )	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	11	µg/m^3
PM 10:	1	µg/m^3
Temperatura:	12.7	°C
Humedad:	32	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	11	µg/m^3
PM 10:	40	µg/m^3
Temperatura:	8.1	°C
Humedad:	43	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-23

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 185860	Longitud: 8500566	Zona: 19L	3330

ICAU (Según el modelo)	
( )	Muy bueno
( )	Bueno
(X)	Regular
( )	Deficiente
( )	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	8	µg/m^3
PM 10:	20	µg/m^3
Temperatura:	16.2	°C
Humedad:	30.3	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	6	µg/m^3
PM 10:	35	µg/m^3
Temperatura:	8.1	°C
Humedad:	43	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-24

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 187011	Longitud: 8500519	Zona: 19L	3207

ICAU (Según el modelo)	
( )	Muy bueno
( )	Bueno
( )	Regular
( )	Deficiente
(X)	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	8	µg/m^3
PM 10:	47	µg/m^3
Temperatura:	12.3	°C
Humedad:	27.4	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	16	µg/m^3
PM 10:	38	µg/m^3
Temperatura:	8.1	°C
Humedad:	43	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-25

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 177368	Longitud: 8602897	Zona: 19L	3454

ICAU (Según el modelo)

( ) Muy bueno
( ) Bueno
( ) Regular
( ) Deficiente
(X) Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	1	µg/m³
PM 10:	13	µg/m³
Temperatura:	22.3	°C
Humedad:	34	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	1	µg/m³
PM 10:	13	µg/m³
Temperatura:	22.3	°C
Humedad:	34	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-26

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 188963	Longitud: 8500663	Zona: 19L	3310

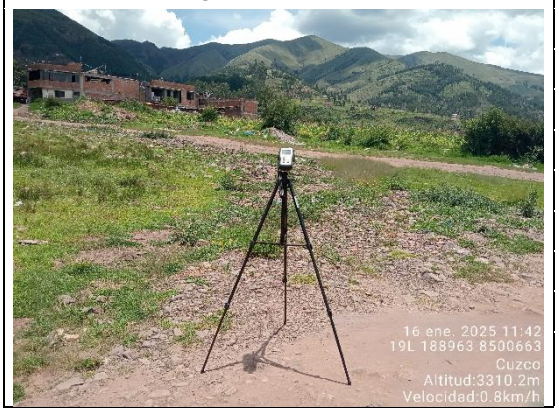
ICAU (Según el modelo)

( ) Muy bueno
( ) Bueno
(X) Regular
( ) Deficiente
( ) Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	3	µg/m³
PM 10:	0	µg/m³
Temperatura:	25.3	°C
Humedad:	19.3	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	6	µg/m³
PM 10:	3	µg/m³
Temperatura:	8.1	°C
Humedad:	43	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-27

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 189845	Longitud: 8500600	Zona: 19L	3296

ICAU (Según el modelo)	
(X)	Muy bueno
( )	Bueno
( )	Regular
( )	Deficiente
( )	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	1	µg/m^3
PM 10:	6	µg/m^3
Temperatura:	15.6	°C
Humedad:	32.5	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	1	µg/m^3
PM 10:	0	µg/m^3
Temperatura:	15.4	°C
Humedad:	25.9	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-28

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 190676	Longitud: 8500352	Zona: 19L	3230

ICAU (Según el modelo)	
( )	Muy bueno
(X)	Bueno
( )	Regular
( )	Deficiente
( )	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	9	µg/m^3
PM 10:	0	µg/m^3
Temperatura:	15.6	°C
Humedad:	32.5	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	9	µg/m^3
PM 10:	0	µg/m^3
Temperatura:	16.2	°C
Humedad:	28.8	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-29

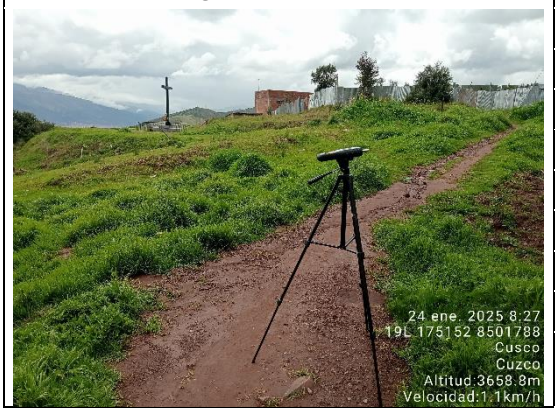
Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 175152	Longitud: 8501788	Zona: 19L	3658

ICAU (Según el modelo)	
( )	Muy bueno
(X)	Bueno
( )	Regular
( )	Deficiente
( )	Muy deficiente

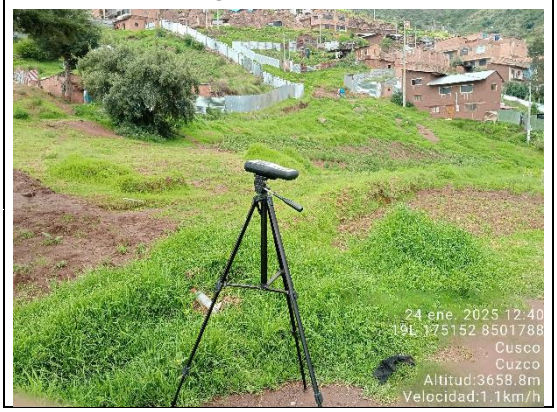
Turno Mañana		
PM 2.5:	4	µg/m^3
PM 10:	1	µg/m^3
Temperatura:	15.6	°C
Humedad:	32.5	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	5	µg/m^3
PM 10:	2	µg/m^3
Temperatura:	14.7	°C
Humedad:	28.9	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-30

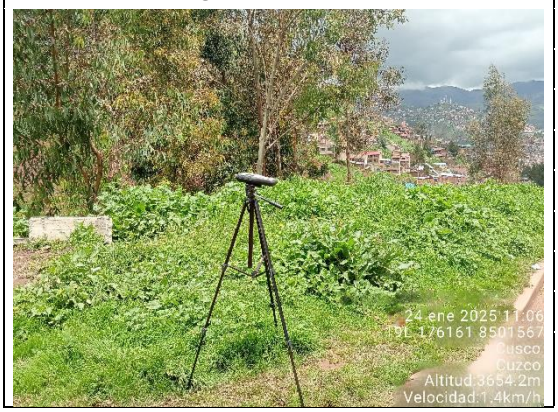
Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 176161	Longitud: 8501567	Zona: 19L	3654

ICAU (Según el modelo)	
(X)	Muy bueno
( )	Bueno
( )	Regular
( )	Deficiente
( )	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	7	µg/m^3
PM 10:	11	µg/m^3
Temperatura:	20.5	°C
Humedad:	28	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	0	µg/m^3
PM 10:	5	µg/m^3
Temperatura:	8.1	°C
Humedad:	43	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-31

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 177123	Longitud: 8501587	Zona: 19L	3416

ICAU (Según el modelo)	
( )	Muy bueno
(X)	Bueno
( )	Regular
( )	Deficiente
( )	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	2	µg/m^3
PM 10:	13	µg/m^3
Temperatura:	10.5	°C
Humedad:	52.5	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	10	µg/m^3
PM 10:	12	µg/m^3
Temperatura:	8.1	°C
Humedad:	43	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, bastante tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-32

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 177851	Longitud: 8501737	Zona: 19L	3419

ICAU (Según el modelo)	
( )	Muy bueno
( )	Bueno
(X)	Regular
( )	Deficiente
( )	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	0	µg/m^3
PM 10:	7	µg/m^3
Temperatura:	12	°C
Humedad:	46.2	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	1	µg/m^3
PM 10:	0	µg/m^3
Temperatura:	8.1	°C
Humedad:	43	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-33

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 179071	Longitud: 8501690	Zona: 19L	3376

ICAU (Según el modelo)	
(X)	Muy bueno
( )	Bueno
( )	Regular
( )	Deficiente
( )	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	9	µg/m³
PM 10:	36	µg/m³
Temperatura:	15.6	°C
Humedad:	32.5	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	8	µg/m³
PM 10:	47	µg/m³
Temperatura:	18.2	°C
Humedad:	42	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia nublado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-34

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 180032	Longitud: 8501427	Zona: 19L	3379

ICAU (Según el modelo)	
( )	Muy bueno
( )	Bueno
( )	Regular
( )	Deficiente
(X)	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	5	µg/m³
PM 10:	25	µg/m³
Temperatura:	15.6	°C
Humedad:	32.5	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	14	µg/m³
PM 10:	35	µg/m³
Temperatura:	6.9	°C
Humedad:	43.3	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, tráfico moderado*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-35

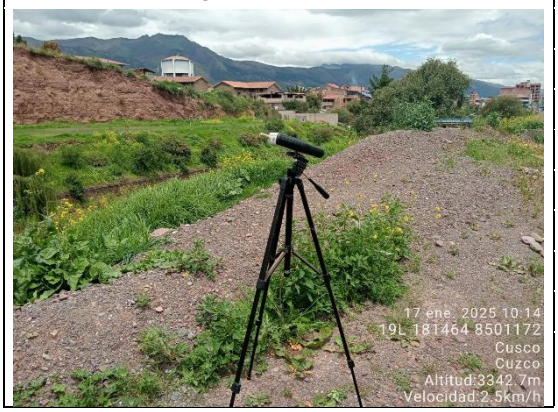
Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 181464	Longitud: 8501172	Zona: 19L	3342

ICAU (Según el modelo)	
( )	Muy bueno
( )	Bueno
( )	Regular
(X)	Deficiente
( )	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	0	µg/m^3
PM 10:	30	µg/m^3
Temperatura:	15.6	°C
Humedad:	32.5	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	6	µg/m^3
PM 10:	26	µg/m^3
Temperatura:	6.3	°C
Humedad:	44.2	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-36

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 181861	Longitud: 8501223	Zona: 19L	3326

ICAU (Según el modelo)	
( )	Muy bueno
(X)	Bueno
( )	Regular
( )	Deficiente
( )	Muy deficiente

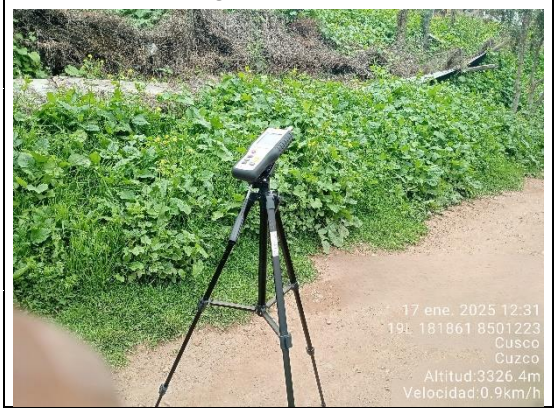
Turno Mañana		
PM 2.5:	0	µg/m^3
PM 10:	13	µg/m^3
Temperatura:	15.6	°C
Humedad:	32.5	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	0	µg/m^3
PM 10:	12	µg/m^3
Temperatura:	10.7	°C
Humedad:	32.4	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-37

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 182622	Longitud: 8501205	Zona: 19L	3322

ICAU (Según el modelo)	
(X)	Muy bueno
( )	Bueno
( )	Regular
( )	Deficiente
( )	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	0	µg/m³
PM 10:	2	µg/m³
Temperatura:	15.6	°C
Humedad:	32.5	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	0	µg/m³
PM 10:	5	µg/m³
Temperatura:	10.1	°C
Humedad:	33.2	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-38

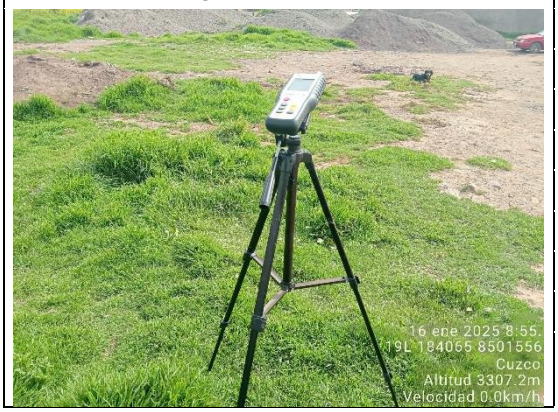
Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 184065	Longitud: 8501556	Zona: 19L	3307

ICAU (Según el modelo)	
(X)	Muy bueno
( )	Bueno
( )	Regular
( )	Deficiente
( )	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	1	µg/m³
PM 10:	30	µg/m³
Temperatura:	15.3	°C
Humedad:	18.2	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	4	µg/m³
PM 10:	2	µg/m³
Temperatura:	8.1	°C
Humedad:	43	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-39

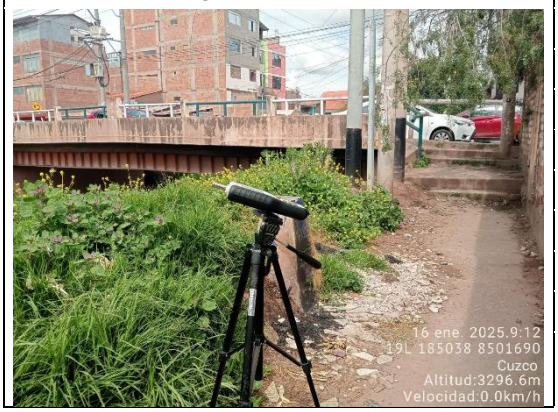
Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 185038	Longitud: 8501690	Zona: 19L	3296

ICAU (Según el modelo)	
( )	Muy bueno
(X)	Bueno
( )	Regular
( )	Deficiente
( )	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	4	µg/m^3
PM 10:	7	µg/m^3
Temperatura:	15.6	°C
Humedad:	32.5	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	0	µg/m^3
PM 10:	33	µg/m^3
Temperatura:	7.7	°C
Humedad:	50.2	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-40

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 186061	Longitud: 8501605	Zona: 19L	3343

ICAU (Según el modelo)	
( )	Muy bueno
(X)	Bueno
( )	Regular
( )	Deficiente
( )	Muy deficiente

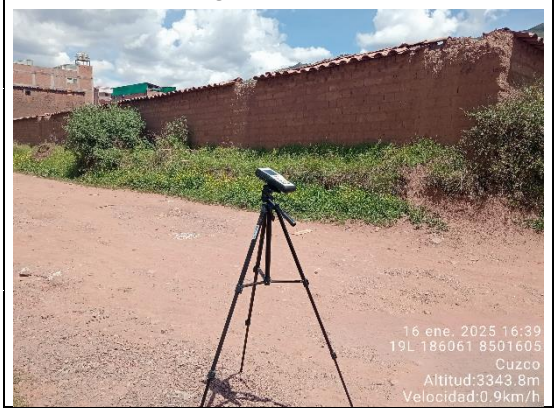
Turno Mañana		
PM 2.5:	13	µg/m^3
PM 10:	32	µg/m^3
Temperatura:	20.3	°C
Humedad:	22.9	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	11	µg/m^3
PM 10:	41	µg/m^3
Temperatura:	8.1	°C
Humedad:	43	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-41

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 187070	Longitud: 8501594	Zona: 19L	3351

ICAU (Según el modelo)	
( )	Muy bueno
( )	Bueno
( )	Regular
(X)	Deficiente
( )	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	2	µg/m^3
PM 10:	5	µg/m^3
Temperatura:	25.2	°C
Humedad:	17.9	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	0	µg/m^3
PM 10:	0	µg/m^3
Temperatura:	8.1	°C
Humedad:	43	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-42

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 187734	Longitud: 8501640	Zona: 19L	3340

ICAU (Según el modelo)	
(X)	Muy bueno
( )	Bueno
( )	Regular
( )	Deficiente
( )	Muy deficiente

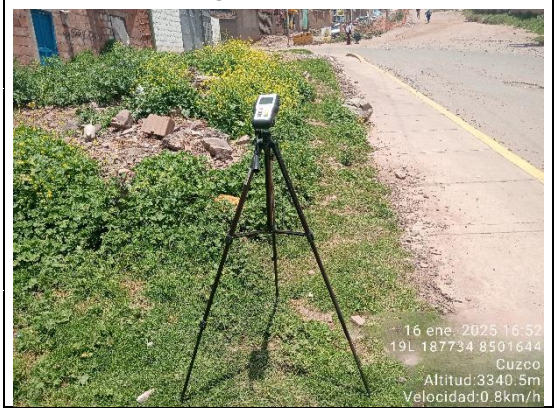
Turno Mañana		
PM 2.5:	9	µg/m^3
PM 10:	8	µg/m^3
Temperatura:	26.7	°C
Humedad:	18.1	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	12	µg/m^3
PM 10:	25	µg/m^3
Temperatura:	8.1	°C
Humedad:	43	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-43

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 189008	Longitud: 8501335	Zona: 19L	3325

ICAU (Según el modelo)	
( )	Muy bueno
( )	Bueno
(X)	Regular
( )	Deficiente
( )	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	0	µg/m^3
PM 10:	22	µg/m^3
Temperatura:	22.2	°C
Humedad:	24.2	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	0	µg/m^3
PM 10:	0	µg/m^3
Temperatura:	8.1	°C
Humedad:	43	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-44

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 175093	Longitud: 8502495	Zona: 19L	3429

ICAU (Según el modelo)	
(X)	Muy bueno
( )	Bueno
( )	Regular
( )	Deficiente
( )	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	9	µg/m^3
PM 10:	4	µg/m^3
Temperatura:	16.8	°C
Humedad:	34.8	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	4	µg/m^3
PM 10:	24	µg/m^3
Temperatura:	8.1	°C
Humedad:	43	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-45

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 176105	Longitud: 8502787	Zona: 19L	3579

ICAU (Según el modelo)	
( )	Muy bueno
( )	Bueno
(X)	Regular
( )	Deficiente
( )	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	1	µg/m^3
PM 10:	0	µg/m^3
Temperatura:	16.3	°C
Humedad:	35.4	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	6	µg/m^3
PM 10:	7	µg/m^3
Temperatura:	8.1	°C
Humedad:	43	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-46

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 177368	Longitud: 8502897	Zona: 19L	3454

ICAU (Según el modelo)	
(X)	Muy bueno
( )	Bueno
( )	Regular
( )	Deficiente
( )	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	15	µg/m^3
PM 10:	39	µg/m^3
Temperatura:	15.6	°C
Humedad:	32.5	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	11	µg/m^3
PM 10:	43	µg/m^3
Temperatura:	6.6	°C
Humedad:	39.9	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-47

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 178147	Longitud: 8502812	Zona: 19L	3412

ICAU (Según el modelo)	
( )	Muy bueno
( )	Bueno
( )	Regular
( )	Deficiente
(X)	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	7	µg/m^3
PM 10:	42	µg/m^3
Temperatura:	15.6	°C
Humedad:	32.5	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	6	µg/m^3
PM 10:	47	µg/m^3
Temperatura:	11.1	°C
Humedad:	29.7	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-48

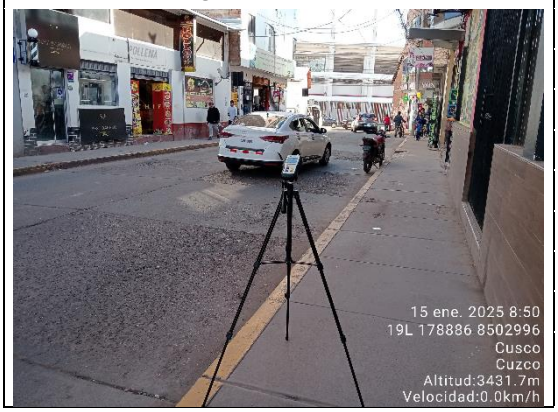
Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 178886	Longitud: 8502996	Zona: 19L	3431

ICAU (Según el modelo)	
( )	Muy bueno
( )	Bueno
( )	Regular
(X)	Deficiente
( )	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	7	µg/m^3
PM 10:	39	µg/m^3
Temperatura:	15.6	°C
Humedad:	32.5	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	17	µg/m^3
PM 10:	44	µg/m^3
Temperatura:	11.8	°C
Humedad:	16	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-49

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 180251	Longitud: 8502913	Zona: 19L	3397

ICAU (Según el modelo)	
( )	Muy bueno
( )	Bueno
( )	Regular
( )	Deficiente
(X)	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	6	µg/m^3
PM 10:	20	µg/m^3
Temperatura:	10.7	°C
Humedad:	40.1	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	12	µg/m^3
PM 10:	44	µg/m^3
Temperatura:	8.1	°C
Humedad:	43	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-50

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 180710	Longitud: 8502830	Zona: 19L	3377

ICAU (Según el modelo)	
( )	Muy bueno
( )	Bueno
( )	Regular
(X)	Deficiente
( )	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	6	µg/m^3
PM 10:	20	µg/m^3
Temperatura:	11.9	°C
Humedad:	41.4	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	5	µg/m^3
PM 10:	23	µg/m^3
Temperatura:	8.1	°C
Humedad:	43	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-51

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 182060	Longitud: 8502445	Zona: 19L	3446

ICAU (Según el modelo)	
( )	Muy bueno
( )	Bueno
( )	Regular
(X)	Deficiente
( )	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	11	µg/m^3
PM 10:	0	µg/m^3
Temperatura:	14.3	°C
Humedad:	31.7	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	8	µg/m^3
PM 10:	7	µg/m^3
Temperatura:	8.1	°C
Humedad:	43	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-52

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 182874	Longitud: 8502328	Zona: 19L	3488

ICAU (Según el modelo)	
( )	Muy bueno
( )	Bueno
(X)	Regular
( )	Deficiente
( )	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	3	µg/m^3
PM 10:	50	µg/m^3
Temperatura:	10.5	°C
Humedad:	32.4	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	13	µg/m^3
PM 10:	30	µg/m^3
Temperatura:	8.1	°C
Humedad:	43	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-53

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 184202	Longitud: 8502852	Zona: 19L	3496

ICAU (Según el modelo)	
( )	Muy bueno
( )	Bueno
( )	Regular
(X)	Deficiente
( )	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	1	µg/m^3
PM 10:	0	µg/m^3
Temperatura:	19.1	°C
Humedad:	18.1	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	5	µg/m^3
PM 10:	28	µg/m^3
Temperatura:	8.1	°C
Humedad:	43	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-54

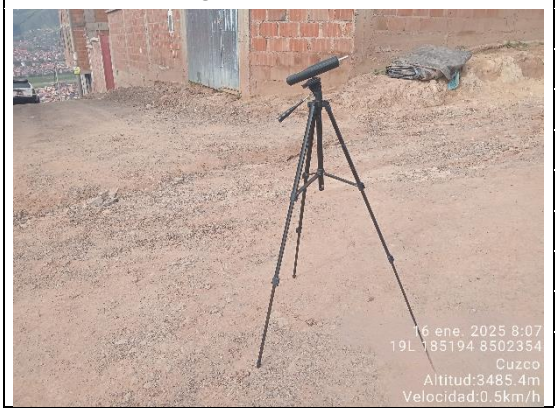
Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 185194	Longitud: 8502354	Zona: 19L	3484

ICAU (Según el modelo)	
( )	Muy bueno
(X)	Bueno
( )	Regular
( )	Deficiente
( )	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	5	µg/m^3
PM 10:	18	µg/m^3
Temperatura:	21	°C
Humedad:	14.7	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	0	µg/m^3
PM 10:	0	µg/m^3
Temperatura:	8.1	°C
Humedad:	43	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-55

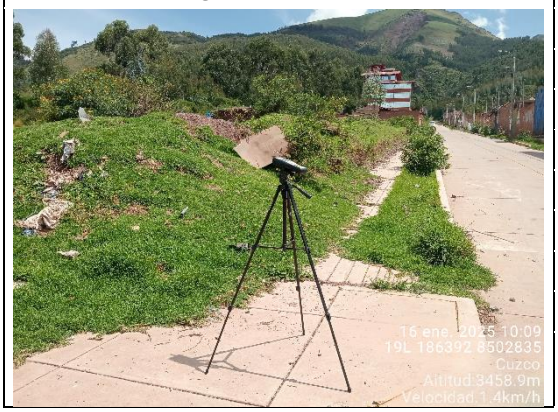
Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 186392	Longitud: 8502835	Zona: 19L	3458

ICAU (Según el modelo)	
(X)	Muy bueno
( )	Bueno
( )	Regular
( )	Deficiente
( )	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	10	µg/m^3
PM 10:	9	µg/m^3
Temperatura:	10.2	°C
Humedad:	43.9	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	1	µg/m^3
PM 10:	13	µg/m^3
Temperatura:	8.1	°C
Humedad:	43	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-56

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 186903	Longitud: 8502495	Zona: 19L	3455

ICAU (Según el modelo)	
( )	Muy bueno
( )	Bueno
(X)	Regular
( )	Deficiente
( )	Muy deficiente

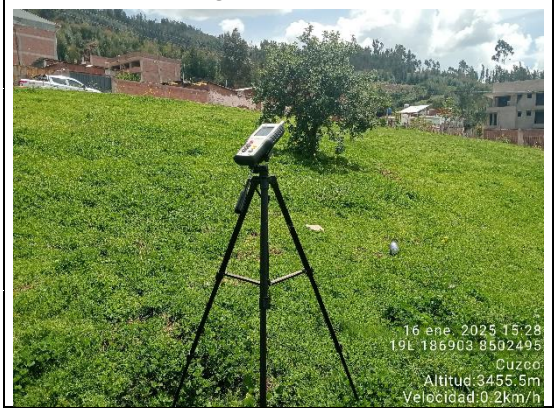
Turno Mañana		
PM 2.5:	1	µg/m^3
PM 10:	16	µg/m^3
Temperatura:	23.9	°C
Humedad:	18.3	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	0	µg/m^3
PM 10:	13	µg/m^3
Temperatura:	8.1	°C
Humedad:	43	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-57

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 175258	Longitud: 8503381	Zona: 19L	3582

ICAU (Según el modelo)	
(X)	Muy bueno
( )	Bueno
( )	Regular
( )	Deficiente
( )	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	5	µg/m^3
PM 10:	0	µg/m^3
Temperatura:	15.4	°C
Humedad:	33.5	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	5	µg/m^3
PM 10:	14	µg/m^3
Temperatura:	8.1	°C
Humedad:	43	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-58

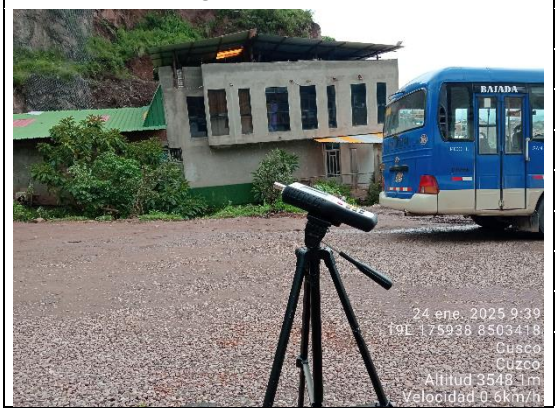
Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 175938	Longitud: 8503418	Zona: 19L	3548

ICAU (Según el modelo)	
( )	Muy bueno
(X)	Bueno
( )	Regular
( )	Deficiente
( )	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	12	µg/m^3
PM 10:	31	µg/m^3
Temperatura:	10.9	°C
Humedad:	42.2	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	12	µg/m^3
PM 10:	27	µg/m^3
Temperatura:	8.1	°C
Humedad:	43	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-59

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 177182	Longitud: 8503450	Zona: 19L	3454

ICAU (Según el modelo)	
( )	Muy bueno
( )	Bueno
(X)	Regular
( )	Deficiente
( )	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	9	µg/m^3
PM 10:	42	µg/m^3
Temperatura:	15.6	°C
Humedad:	32.5	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	6	µg/m^3
PM 10:	22	µg/m^3
Temperatura:	6.2	°C
Humedad:	39.9	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-60

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 178002	Longitud: 8503663	Zona: 19L	3453

ICAU (Según el modelo)	
( )	Muy bueno
( )	Bueno
( )	Regular
(X)	Deficiente
( )	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	16	µg/m^3
PM 10:	57	µg/m^3
Temperatura:	15.6	°C
Humedad:	32.5	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	8	µg/m^3
PM 10:	66	µg/m^3
Temperatura:	4.5	°C
Humedad:	44.7	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-61

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 178639	Longitud: 8503375	Zona: 19L	3433

ICAU (Según el modelo)	
( )	Muy bueno
( )	Bueno
( )	Regular
( )	Deficiente
(X)	Muy deficiente

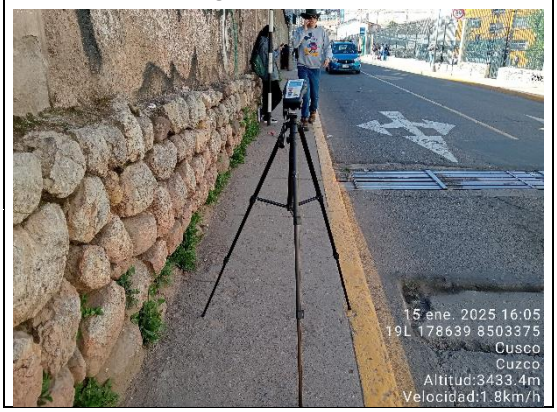
Turno Mañana		
PM 2.5:	11	µg/m^3
PM 10:	45	µg/m^3
Temperatura:	15.6	°C
Humedad:	32.5	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	5	µg/m^3
PM 10:	12	µg/m^3
Temperatura:	7	°C
Humedad:	40.7	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-62

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 180331	Longitud: 8503287	Zona: 19L	3401

ICAU (Según el modelo)	
( )	Muy bueno
( )	Bueno
( )	Regular
(X)	Deficiente
( )	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	5	µg/m^3
PM 10:	0	µg/m^3
Temperatura:	11.8	°C
Humedad:	39.2	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	7	µg/m^3
PM 10:	0	µg/m^3
Temperatura:	8.1	°C
Humedad:	43	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-63

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 180952	Longitud: 8503474	Zona: 19L	3454

ICAU (Según el modelo)	
( )	Muy bueno
(X)	Bueno
( )	Regular
( )	Deficiente
( )	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	0	µg/m^3
PM 10:	0	µg/m^3
Temperatura:	14.9	°C
Humedad:	38.9	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	0	µg/m^3
PM 10:	16	µg/m^3
Temperatura:	8.1	°C
Humedad:	43	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-64

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 182023	Longitud: 8503356	Zona: 19L	3384

ICAU (Según el modelo)	
( )	Muy bueno
(X)	Bueno
( )	Regular
( )	Deficiente
( )	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	0	µg/m^3
PM 10:	0	µg/m^3
Temperatura:	18.2	°C
Humedad:	26.3	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	0	µg/m^3
PM 10:	0	µg/m^3
Temperatura:	8.1	°C
Humedad:	43	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-65

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 183024	Longitud: 8503686	Zona: 19L	3597

ICAU (Según el modelo)	
(X)	Muy bueno
( )	Bueno
( )	Regular
( )	Deficiente
( )	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	0	µg/m³
PM 10:	23	µg/m³
Temperatura:	15.6	°C
Humedad:	32.5	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	10	µg/m³
PM 10:	37	µg/m³
Temperatura:	3.6	°C
Humedad:	67.9	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-66

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 184167	Longitud: 8503559	Zona: 19L	3514

ICAU (Según el modelo)	
( )	Muy bueno
( )	Bueno
(X)	Regular
( )	Deficiente
( )	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	10	µg/m³
PM 10:	20	µg/m³
Temperatura:	16.6	°C
Humedad:	18.5	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	0	µg/m³
PM 10:	24	µg/m³
Temperatura:	8.1	°C
Humedad:	43	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-67

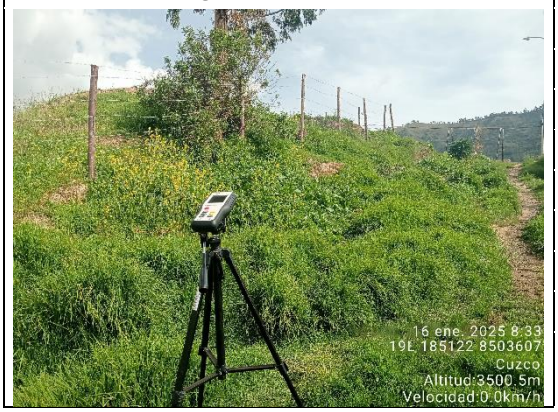
Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 185122	Longitud: 8503607	Zona: 19L	3500

ICAU (Según el modelo)	
( )	Muy bueno
( )	Bueno
(X)	Regular
( )	Deficiente
( )	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	6	µg/m^3
PM 10:	19	µg/m^3
Temperatura:	15.9	°C
Humedad:	16.6	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	0	µg/m^3
PM 10:	3	µg/m^3
Temperatura:	8.1	°C
Humedad:	43	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-68

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 187017	Longitud: 8503335	Zona: 19L	3487

ICAU (Según el modelo)	
( )	Muy bueno
(X)	Bueno
( )	Regular
( )	Deficiente
( )	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	2	µg/m^3
PM 10:	18	µg/m^3
Temperatura:	20.4	°C
Humedad:	25.2	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	6	µg/m^3
PM 10:	25	µg/m^3
Temperatura:	8.1	°C
Humedad:	43	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-69

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 823454	Longitud: 8504724	Zona: 19L	3679

ICAU (Según el modelo)	
( )	Muy bueno
(X)	Bueno
( )	Regular
( )	Deficiente
( )	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	0	µg/m^3
PM 10:	7	µg/m^3
Temperatura:	15.6	°C
Humedad:	32.5	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	6	µg/m^3
PM 10:	21	µg/m^3
Temperatura:	5	°C
Humedad:	49.9	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-70

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 174987	Longitud: 8504608	Zona: 19L	3687

ICAU (Según el modelo)	
(X)	Muy bueno
( )	Bueno
( )	Regular
( )	Deficiente
( )	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	12	µg/m^3
PM 10:	41	µg/m^3
Temperatura:	15.6	°C
Humedad:	32.5	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	11	µg/m^3
PM 10:	36	µg/m^3
Temperatura:	1.8	°C
Humedad:	58.6	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-71

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 177368	Longitud: 8602897	Zona: 19L	3454

ICAU (Según el modelo)	
( )	Muy bueno
( )	Bueno
( )	Regular
( )	Deficiente
(X)	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	1	µg/m^3
PM 10:	13	µg/m^3
Temperatura:	22.3	°C
Humedad:	34	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	1	µg/m^3
PM 10:	13	µg/m^3
Temperatura:	22.3	°C
Humedad:	34	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-72

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 176842	Longitud: 8504743	Zona: 19L	3616

ICAU (Según el modelo)	
(X)	Muy bueno
( )	Bueno
( )	Regular
( )	Deficiente
( )	Muy deficiente

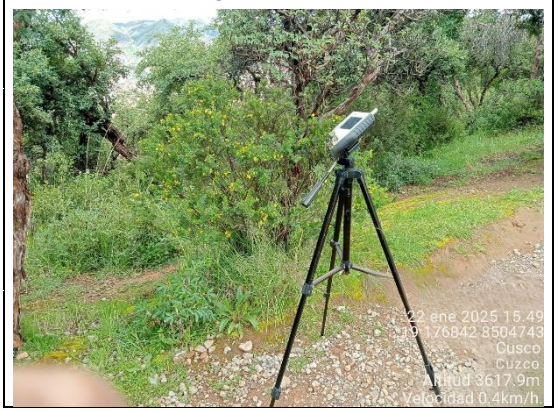
Turno Mañana		
PM 2.5:	6	µg/m^3
PM 10:	12	µg/m^3
Temperatura:	8.4	°C
Humedad:	40.6	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	5	µg/m^3
PM 10:	9	µg/m^3
Temperatura:	8.1	°C
Humedad:	43	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-73

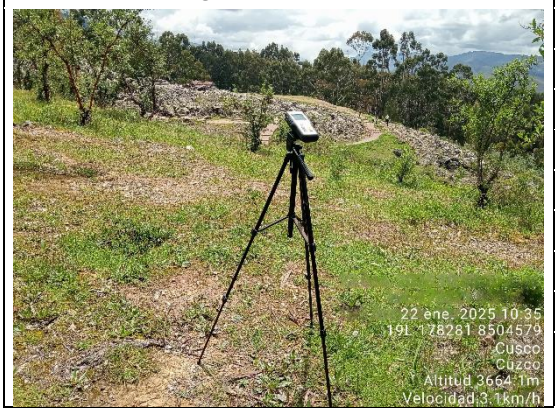
Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 178281	Longitud: 8504579	Zona: 19L	3664

ICAU (Según el modelo)	
(X)	Muy bueno
( )	Bueno
( )	Regular
( )	Deficiente
( )	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	1	µg/m^3
PM 10:	27	µg/m^3
Temperatura:	12.3	°C
Humedad:	47.4	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	0	µg/m^3
PM 10:	0	µg/m^3
Temperatura:	8.1	°C
Humedad:	43	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-74

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 178777	Longitud: 8504807	Zona: 19L	3687

ICAU (Según el modelo)	
( )	Muy bueno
(X)	Bueno
( )	Regular
( )	Deficiente
( )	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	5	µg/m^3
PM 10:	0	µg/m^3
Temperatura:	11.3	°C
Humedad:	37.4	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	0	µg/m^3
PM 10:	13	µg/m^3
Temperatura:	8.1	°C
Humedad:	43	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-75

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 182349	Longitud: 8504487	Zona: 19L	3601

ICAU (Según el modelo)	
( )	Muy bueno
(X)	Bueno
( )	Regular
( )	Deficiente
( )	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	0	µg/m^3
PM 10:	12	µg/m^3
Temperatura:	15.6	°C
Humedad:	32.5	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	3	µg/m^3
PM 10:	0	µg/m^3
Temperatura:	7.2	°C
Humedad:	46.1	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-76

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 183013	Longitud: 8504237	Zona: 19L	3596

ICAU (Según el modelo)	
( )	Muy bueno
(X)	Bueno
( )	Regular
( )	Deficiente
( )	Muy deficiente

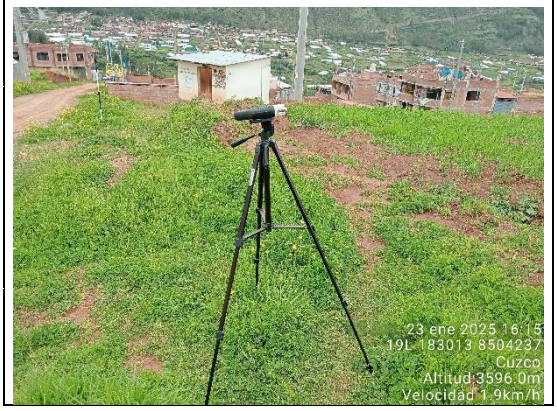
Turno Mañana		
PM 2.5:	0	µg/m^3
PM 10:	13	µg/m^3
Temperatura:	15.6	°C
Humedad:	32.5	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	0	µg/m^3
PM 10:	13	µg/m^3
Temperatura:	5.1	°C
Humedad:	60.1	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-77

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 184364	Longitud: 8504564	Zona: 19L	3579

ICAU (Según el modelo)	
(X)	Muy bueno
( )	Bueno
( )	Regular
( )	Deficiente
( )	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	0	µg/m³
PM 10:	0	µg/m³
Temperatura:	15.6	°C
Humedad:	32.5	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	0	µg/m³
PM 10:	15	µg/m³
Temperatura:	4.8	°C
Humedad:	52.1	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-78

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 821786	Longitud: 8505747	Zona: 18L	3624

ICAU (Según el modelo)	
(X)	Muy bueno
( )	Bueno
( )	Regular
( )	Deficiente
( )	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	6	µg/m³
PM 10:	28	µg/m³
Temperatura:	15.6	°C
Humedad:	32.5	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	7	µg/m³
PM 10:	21	µg/m³
Temperatura:	5.2	°C
Humedad:	59.5	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-79

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 822228	Longitud: 8505320	Zona: 18L	3624

ICAU (Según el modelo)	
( )	Muy bueno
(X)	Bueno
( )	Regular
( )	Deficiente
( )	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	5	µg/m³
PM 10:	13	µg/m³
Temperatura:	15.6	°C
Humedad:	32.5	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	0	µg/m³
PM 10:	0	µg/m³
Temperatura:	4.6	°C
Humedad:	48.2	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-80

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 823487	Longitud: 8505403	Zona: 18L	3679

ICAU (Según el modelo)	
( )	Muy bueno
(X)	Bueno
( )	Regular
( )	Deficiente
( )	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	0	µg/m³
PM 10:	7	µg/m³
Temperatura:	15.6	°C
Humedad:	32.5	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	9	µg/m³
PM 10:	26	µg/m³
Temperatura:	3	°C
Humedad:	51.5	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-81

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 175008	Longitud: 8505397	Zona: 19L	3687

ICAU (Según el modelo)	
( )	Muy bueno
( )	Bueno
(X)	Regular
( )	Deficiente
( )	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	5	µg/m³
PM 10:	2	µg/m³
Temperatura:	15.6	°C
Humedad:	32.5	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	0	µg/m³
PM 10:	12	µg/m³
Temperatura:	1.9	°C
Humedad:	52.8	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-82

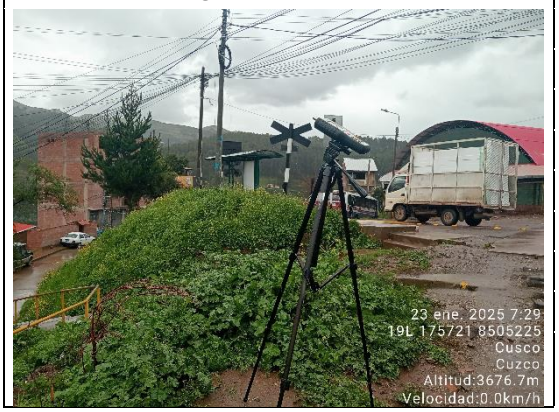
Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 175721	Longitud: 8505225	Zona: 19L	3676

ICAU (Según el modelo)	
(X)	Muy bueno
( )	Bueno
( )	Regular
( )	Deficiente
( )	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	5	µg/m³
PM 10:	32	µg/m³
Temperatura:	15.6	°C
Humedad:	32.5	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	1	µg/m³
PM 10:	13	µg/m³
Temperatura:	1.8	°C
Humedad:	52.5	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-83

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 178112	Longitud: 8505610	Zona: 19L	3688

ICAU (Según el modelo)	
( )	Muy bueno
(X)	Bueno
( )	Regular
( )	Deficiente
( )	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	0	µg/m^3
PM 10:	16	µg/m^3
Temperatura:	11.3	°C
Humedad:	44.4	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	1	µg/m^3
PM 10:	41	µg/m^3
Temperatura:	8.1	°C
Humedad:	43	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

FICHA DE CAMPO: MEDICIÓN MATERIAL PARTICULADO	CÓDIGO: PM-84

Coordenadas UTM (WGS 1984):			Altitud (m):
Latitud: 182848	Longitud: 8505635	Zona: 19L	3672

ICAU (Según el modelo)	
( )	Muy bueno
( )	Bueno
(X)	Regular
( )	Deficiente
( )	Muy deficiente

Turno Mañana		
PM 2.5:	6	µg/m^3
PM 10:	17	µg/m^3
Temperatura:	15.6	°C
Humedad:	32.5	%

Turno Tarde		
PM 2.5:	1	µg/m^3
PM 10:	1	µg/m^3
Temperatura:	7.7	°C
Humedad:	39.1	%

Fotografía turno mañana



Fotografía turno tarde



Observaciones: *Dia soleado, poco tráfico*

ANEXO 7: REGISTRO FOTOGRÁFICO

Fotografía 1. Mapa base para muestreo de campo



Fotografía 2. Trabajo de campo en la Av. Circunvalación



Fotografía 3. Avistamiento de Lepus europaeus durante trabajos de campo



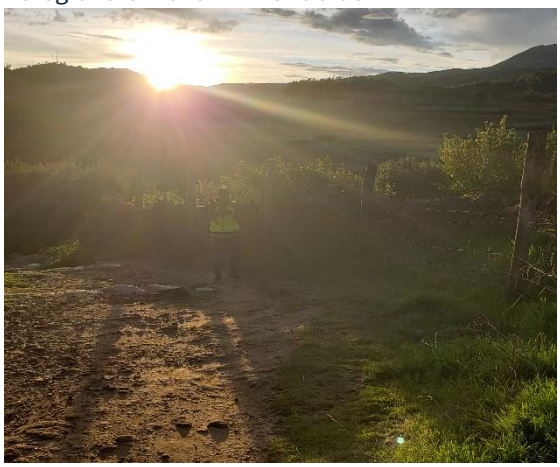
Fotografía 4. Avistamiento de Falco sparverius en la Urb. Larapa Grande



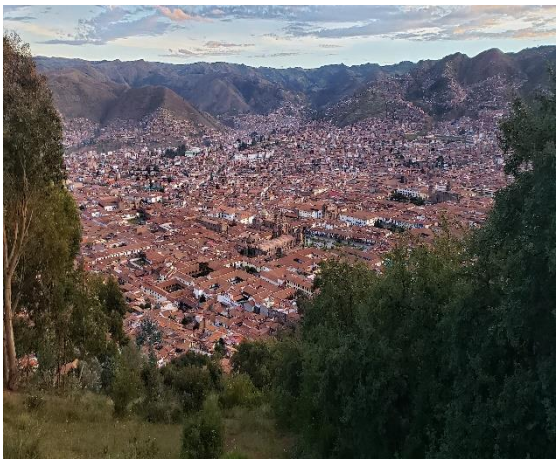
Fotografía 5. Plantación de Eucalipto globulus



Fotografía 6. Zona V2: "Chacras"



Fotografía 7. Vista al centro histórico de la ciudad del Cusco desde Cristo Blanco



Fotografía 8. Plantaciones de Eucalipto globulus - Saqsaywaman



Fotografía 9. Plantaciones de Eucalipto globulus



Fotografía 10. Vista nocturna de la ciudad del Cusco



Fotografía 11. Matorral mixto



Fotografía 12. Matorral y plantaciones de Eucalipto globulus



Fotografía 13. Microcuenca de Choquechaca en la ciudad del Cusco



Fotografía 14. Plantaciones de Eucalipto globulus en la Ciudad del Cusco



Fotografía 15. Calibración del RPAs antes de toma de aerofotografías



Fotografía 16. Verificación in-situ de unidades de BU



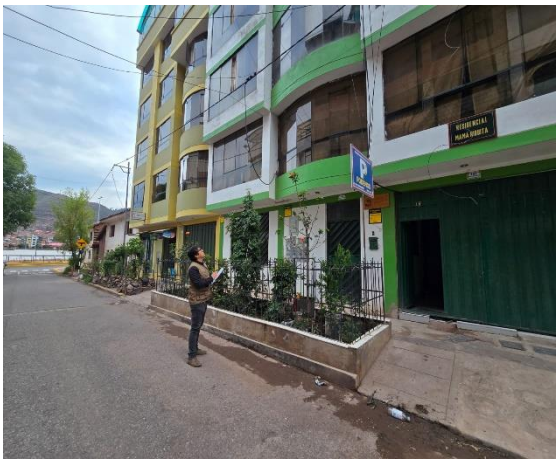
Fotografía 17. Verificación in-situ de unidades de BU



Fotografía 18. Microcuenca de Choquechaca – Ciudad del Cusco



Fotografía 19. Verificación in-situ de unidades de BU: H1



Fotografía 20. Verificación in-situ de unidades de BU: H2



Fotografía 21. Calibración del RPAs antes de toma de aerofotografías



Fotografía 22. Checklist previo al vuelo del RPAs, en ciudad del Cusco



Fotografía 23. Pastizal, Roquedal y plantación de Eucalipto globulus



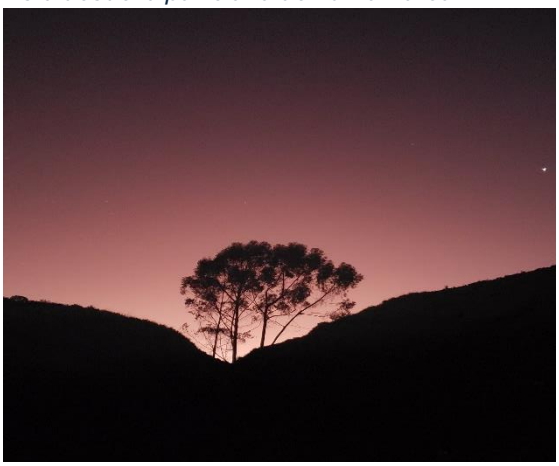
Fotografía 24. Recorrido de verificación para levantamiento fotogravimétrico



Fotografía 25. Ensamble de RPAs antes de vuelo



Fotografía 26. Atardecer en la ciudad del Cusco, vista desde la parte alta de Pumamarca



Fotografía 27. Extremo norte de la ciudad del Cusco



Fotografía 28. Cima de las montañas cubiertas por casas de edificación noble



Fotografía 29. Entrada de la ciudad por Poroy



Fotografía 30. Hacia las cimas de las montañas se muestra el avance de las edificaciones



Fotografía 31. Plantación de Eucalipto, además nótese vuelo de RPAs (drone) para fotogravimetría



Fotografía 32. RPAs piloteado por tesista, levantamiento fotogravimétrico



Fotografía 33. Durante el vuelo del RPAs en sobre puntos estratégicos de la ciudad



Fotografía 34. Área verde por la la Urb. Manahuañunca etapa II



Fotografía 35. "Chilca" Baccharis latifolia como flora nativa dentro de un barrio del noroeste del Cusco



Fotografía 36. Gran árbol de Queuña (Polylepis incana) conservado en una urbanización del distrito de Santiago del Cusco



Fotografía 37. Cambio de uso: plantación de eucalipto (agroforestería) por ocupacioón de viviendas



Fotografía 38. Corte urbano, vista de noche desde la parte alta de la zona noroccidental del Cusco



Fotografía 39. Vista hacia el rio Huancaro, y como creció la población Ref. Barrio del Dios



Fotografía 40. Urb. Manahuañunca etapa II de noche



Fotografía 41. Volando RPAs en la "hora dorada"



Fotografía 42. Expansión urbana hacia las cimas de las montañas



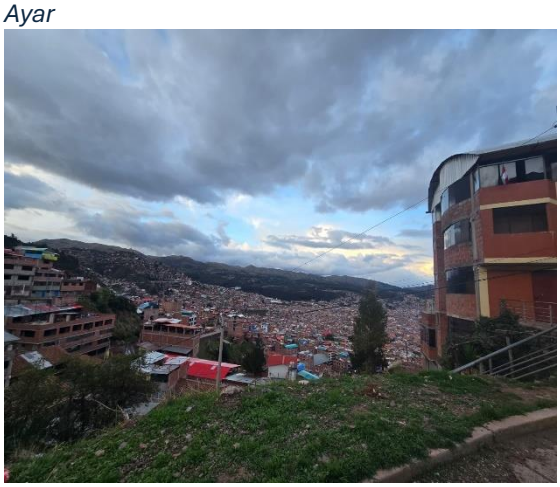
Fotografía 43. Pasivo ambiental en la parte alta de Hilario Mendivil – Santiago del Cusco



Fotografía 44. Parte alta de Zarzuela, área verde y viviendas tradicionales (adobe)



Fotografía 45. Parte alta en la zona de Hermano Ayar



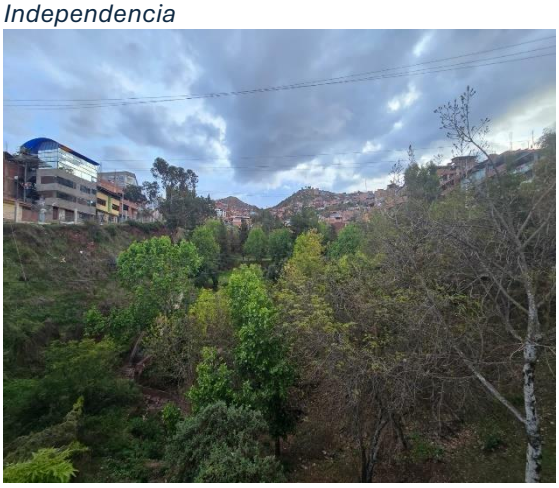
Fotografía 46. Árbol desprovisto de vitalidad



Fotografía 47. Laderas con molle (Schinus molle)



Fotografía 48. Microcuenca de Saqramayo – Urb. Independencia



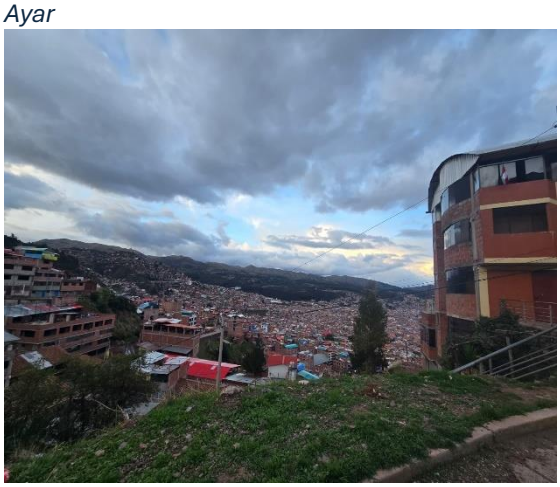
Fotografía 49. Pasivo ambiental en la parte alta de Hilario Mendivil – Santiago del Cusco



Fotografía 50. Parte alta de Zarzuela, área verde y viviendas tradicionales (adobe)



Fotografía 51. Parte alta en la zona de Hermano Ayar



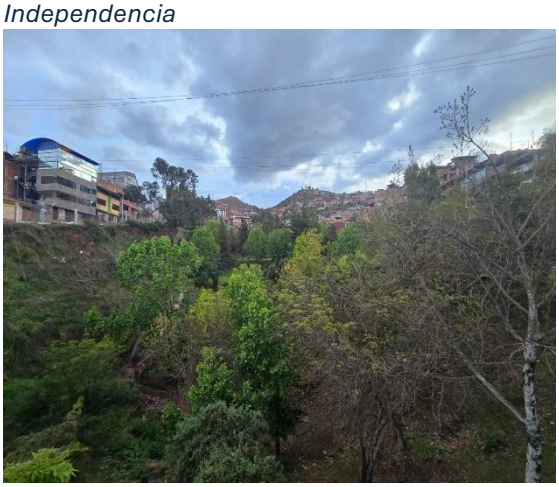
Fotografía 52. Árbol desprovisto de vitalidad



Fotografía 53. Laderas con molle (Schinus molle)



Fotografía 54. Microcuenca de Saqramayo – Urb. Independencia



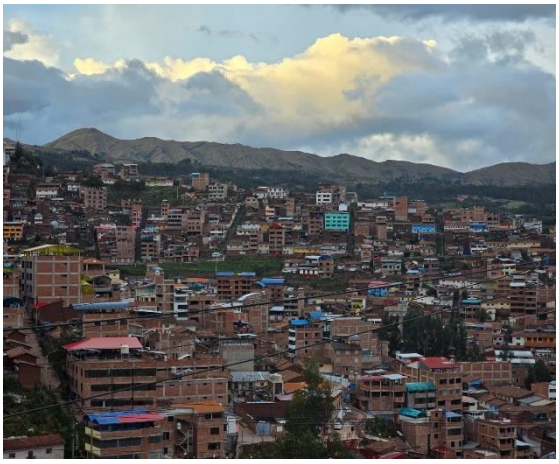
Fotografía 55. Cambio de uso de suelos: Pastizal a Plantación de Eucalipto



Fotografía 56. Zonas de "Las antenas" y "Sabado baratillo", notese edificación de 4-5 pisos en ladera



Fotografía 57. Zona de Simon Bolivar – Cusco, edificaciones de hasta 8 pisos



Fotografía 58. Vista de la ciudad del Cusco rodeando el Aeropuerto Alejandro Velasco Astete



Fotografía 59. Vuelo del RPAs (drone) por el tesista



Fotografía 60. Plaza de armas, en la parte superior alta concentración constructiva H1



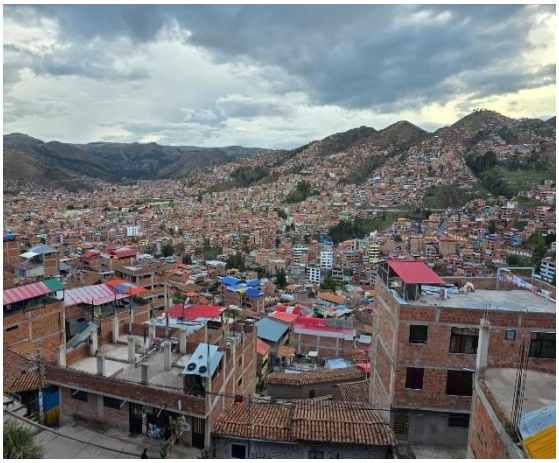
Fotografía 61. Aterrizaje manual de RPAs por registros de altos vientos en la zona de vuelo



Fotografía 62. Vista de la Urb. Larapa – San Jerónimo calificado como H1



Fotografía 63. Vista de la ciudad desde San Isidro – Cusco



Fotografía 64. Área verde con varias especies (mixta)



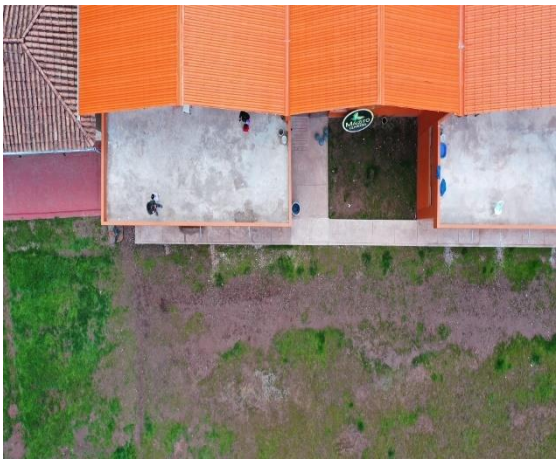
Fotografía 65. Plantaciones de eucalipto y de fondo Parque arqueológico de Sacsayhuamán



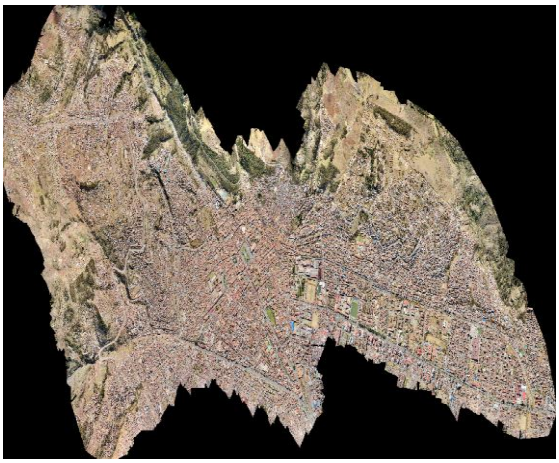
Fotografía 66. Plantaciones de eucalipto por el Parque arqueológico de Sacsayhuamán



Fotografía 67. Detalle de aerofotos tomadas por el RPAs



Fotografía 68. Detalle de aerofotos tomadas por el RPAs



Fotografía 69. Detalle de aerofotos tomadas por el RPAs



Fotografía 70. Detalle de aerofotos tomadas por el RPAs- UNSAAC



Fotografía 71. Detalle de aerofotos tomadas por el RPAs



Fotografía 72. Detalle de aerofotos tomadas por el RPAs – Plaza de armas Cusco



Fotografía 73. Calle Mantas en el Centro Histórico del Cusco



Fotografía 74. Av. El Sol según el modelo es H1 del índice del BU



Fotografía 75. Levantamiento fotogravimétrico sector de Huilcarpay



Fotografía 76. Medición de material particulado sector de Huilcarpay



Fotografía 77. Vista de la ciudad del Cusco del sector Sur – Cuenca de Huilcarpay



Fotografía 78. Levantamiento fotogravimétrico sector de Huilcarpay II



Fotografía 79. Medición de material particulado APV Huilcarpay



Fotografía 80. Medición de material particulado Agua buena carretera CU-1291



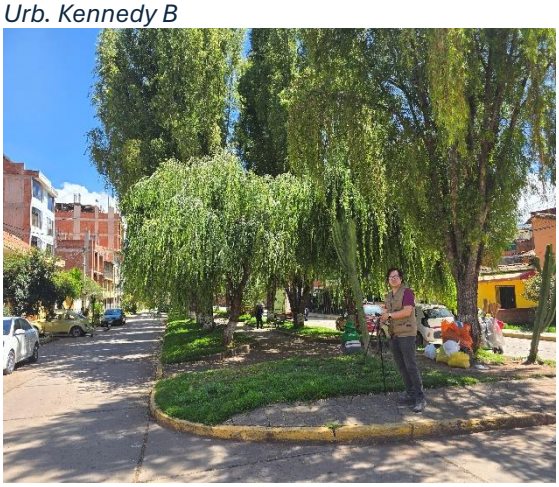
Fotografía 81. Medición de material particulado Agua buena carretera CU-1294



Fotografía 82. Medición de material particulado Av. Velasco Astete frente ref. Aeropuerto



Fotografía 83. Medición de material particulado Urb. Kennedy B



Fotografía 84. Medición de material particulado Calle Qosqo – Ref. Parque Pukllaycancha



Fotografía 85. Medición de material particulado Psje Urpicha - Santiago



Fotografía 86. Medición de material particulado Av. Del Ejercito – Frente Villa Militar



Fotografía 87. Medición de material particulado Prol. Av. Del Ejercito - Sipacpujio



Fotografía 88. Medición de material particulado Calle Nueva Alta cerca Av. Apurimac



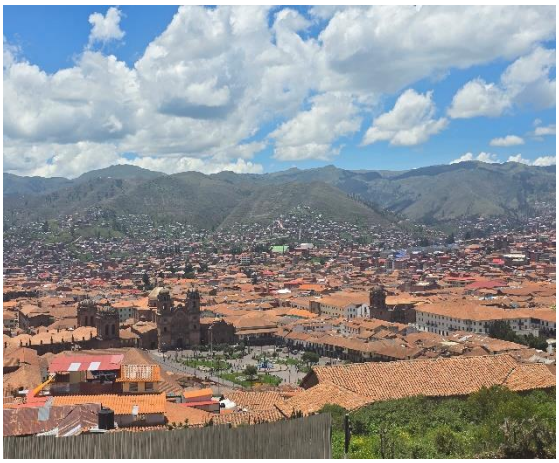
Fotografía 89. Medición de material particulado Calle Saphy



Fotografía 90. Medición de material particulado Mirador San Cristóbal



Fotografía 91. Vista de la ciudad desde el mirador de San Cristóbal



Fotografía 92. Zona agrícola Parque arqueológico del Sacsayhuaman



Fotografía 93. Medición de material particulado Katucancha - Saqsayhuaman



Fotografía 94. Plantación forestal Eucaliptus globulus - Saqsayhuaman



Fotografía 95. Medición de material particulado Carretera 28G – Ref. Humedal Wayllarcocha



Fotografía 96. Levantamiento fotogravimétrico sector Tambomachay



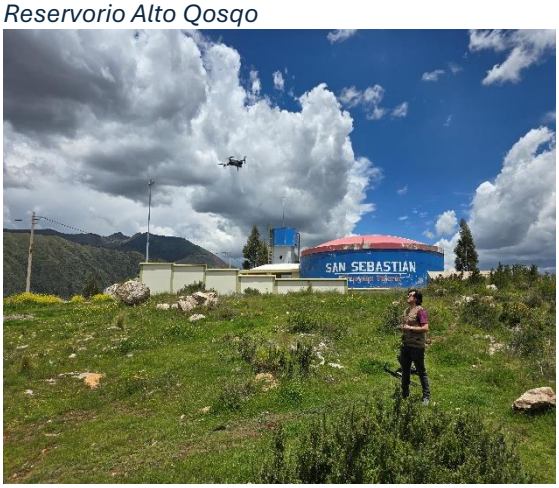
Fotografía 97. Medición de material particulado APV La portado de Alto Qosqo



Fotografía 98. Vista a la ciudad desde APV Alto Qosqo



Fotografía 99. Levantamiento fotogravimétrico Reservorio Alto Qosqo



Fotografía 100. Medición de material particulado APV Maranniyoc



Fotografía 101. Medición de material particulado APV Claveles Dorados



Fotografía 102. Vista Urb Larapa – Santa Maria - Ticapata desde Cementerio de San Sebastián



ANEXO 8: CERTIFICADO DE CALIDAD Y ALCANCE DEL EQUIPO MEDIDOR DE MATERIAL PARTICULADO

BST | A RELIABLE TESTING FOR TRUST

GLOBAL TESTING AND CERTIFICATION PRECISION SERVICE CLOUD FACTORY

Certificate of Compliance

Certificate No	:	**BSTXD190712274001EC**
Applicant	:	**DONGGUAN XINTAI INSTRUMENT CO.,LTD** Building F, NO. 13-16, Hongye Industrial Zone, Tangxia Community, Tangxia Town, Dongguan City, Guangdong Province, China
Manufacturer	:	**DONGGUAN XINTAI INSTRUMENT CO.,LTD** Building F, NO. 13-16, Hongye Industrial Zone, Tangxia Community, Tangxia Town, Dongguan City, Guangdong Province, China
Product Name:	:	**AIR QUALITY DETECTOR**
Trade Name	:	**Htl**
Main Test Model	:	**HT-9600**
Test Standard	:	**EN61326-1:2013** **EN61000-3-2:2014** **EN61000-3-3:2013**
As shown in the Test Report No.	:	**BSTXD190712274001ER**

The EUT described above has been tested by us with the listed standards and found in compliance with the council EMC directive 2014/30/EU. It is possible to use CE marking to demonstrate the compliance with this EMC Directive.
The certificate applies to the tested sample above mentioned only and shall not imply an assessment of the whole production.

APPROVED

Christina Deng
Manager
Jul. 08, 2019

BST Testing (Shenzhen) Co.,Ltd.
Add: No.7, New Era Industrial Zone, Guantian, Bao'an District, Shenzhen, Guangdong, China
Certificate Search: http://www.bst-lab.com. Tel:400-882-9628, 8009990305, E-mail:christina@bst-lab.com

Test Report

Report No: BST1907122740001CR Date: Jul.09, 2019 Page 1 of 8

Applicant : DONGGUAN XINTAI INSTRUMENT CO.,LTD

Address : Building F, No. 13-16, Hongye Industrial Zone, Tangxia Community, Tangxia Town, Dongguan City, Guangdong Province, China

The following sample(s) was /were submitted and identified on behalf of the clients as:

Sample Name	: AIR QUALITY DETECTOR
Trade Name	: Hti
Sample Model	: HT-9600
Sample Received Date	: Jul.05, 2019
Testing Period	: Jul.05, 2019 To Jul.09, 2019
Test Requested	: Selected test (s) in the selected parts as requested by client with the RoHS 2 Directive 2011/65/EU Annex II (EU) 2015/863 as last amended by Directive (EU) 2017/2102.
Test Method	: Please refer to next page(s).
Test Result	: Please refer to next page(s).

Signed for and on behalf of

Tony Qian/ Approved Signatory

This report shall not be altered, increased or deleted. The results shown in this test report refer only to the sample(s) tested. Without written approval of BST, this test report shall not be copied except in full and published as advertisement. BST Chemical Lab.

Dongguan BST Testing Co., Ltd. A1201-1204 Xinsanqi of Dongbao Road, Dongcheng District, Dongguan, Guangdong, China Tel: 400-8829628/ 800-9990305 Http://www.bst-lab.com E-mail: christina@bst-lab.com

Test Content:

Test Item(s)	Test Method	Reference	Unit	Limit	MDL
Cadmium(Cd)	IEC 62321-5:2013	ICP-OES	mg/kg	100	2
Lead(Pb)	IEC 62321-5:2013	ICP-OES	mg/kg	1000	2
Mercury(Hg)	IEC 62321-4:2013+AMD1:2017	ICP-OES	mg/kg	1000	2
Hexavalent Chromium(CrVI) (Metal)	IEC 62321-7-1:2015	UV-Vis	$\mu g/cm^2$	0.13	0.1
Hexavalent Chromium(CrVI) (Nonmetal)	IEC 62321-7-2:2017	UV-Vis	mg/kg	1000	8
PBBs (Next form)	IEC 62321-6:2015	GC-MS	mg/kg	1000	5
PBDEs (Next form)	IEC 62321-6:2015	GC-MS	mg/kg	1000	5
Dibutyl Phthalate(DBP)	IEC 62321-8:2017	GC-MS	mg/kg	1000	30
Butyl benzyl phthalate (BBP)	IEC 62321-8:2017	GC-MS	mg/kg	1000	30
Di-(2-ethylhexyl) Phthalate(DEHP)	IEC 62321-8:2017	GC-MS	mg/kg	1000	30
Diisobutyl phthalate (DIBP)	IEC 62321-8:2017	GC-MS	mg/kg	1000	30

PBBs		PBDEs	
Monobromobiphenyl	Hexabromobiphenyl	Monobromodiphenyl ether	Hexabromodiphenyl ether
Dibromobiphenyl	Heptabromobiphenyl	Dibromodiphenyl ether	Heptabromodiphenyl ether
Tribromobiphenyl	Octabromobiphenyl	Tribromodiphenyl ether	Octabromodiphenyl ether
Tetrabromobiphenyl	Nonabromobiphenyl	Tetrabromodiphenyl ether	Nonabromodiphenyl ether
Pentabromobiphenyl	Decabromobiphenyl	Pentabromodiphenyl ether	Decabromodiphenyl ether

This report shall not be altered, increased or deleted. The results shown in this test report refer only to the sample(s) tested. Without written approval of BST, this test report shall not be copied except in full and published as advertisement. BST Chemical Lab.

Sample Description:

No.	Description	Name
1	Metal	Heat Sinks
2	Plastic	Shell
3	Inductance	Inductance
4	Bridge Pile	Bridge Pile
5	Metal	Wire Core
6	PCB	PCB
7	Resistance	Resistance
8	Capacitance	Capacitance
9	IC	IC
10	Diode	Diode
11	Bridge Pile	Bridge Pile
12	Transformer	Transformer
13	Metal	Screw
14	Plastic	Terminal
15	Plastic	Screen

This report shall not be altered, increased or deleted. The results shown in this test report refer only to the sample(s) tested. Without written approval of BST, this test report shall not be copied except in full and published as advertisement. BST Chemical Lab.

Test Report

Test Result:

Test Item(s)	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5
Cadmium (Cd)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Lead (Pb)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Mercury (Hg)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Hexavalent Chromium (CrVI)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
PBBs	--	N.D.	--	N.D.	--
PBDEs	--	N.D.	--	N.D.	--
Dibutyl Phthalate (DBP)	--	N.D.	--	N.D.	--
Butyl benzyl phthalate (BBP)	--	N.D.	--	N.D.	--
Di-(2-ethylhexyl) Phthalate(DEHP)	--	N.D.	--	N.D.	--
Diisobutyl phthalate (DIBP)	--	N.D.	--	N.D.	--
Test Item(s)	**No.6**	**No.7**	**No.8**	**No.9**	**No.10**
Cadmium (Cd)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Lead (Pb)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Mercury (Hg)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Hexavalent Chromium (CrVI)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
PBBs	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
PBDEs	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Dibutyl Phthalate (DBP)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Butyl benzyl phthalate (BBP)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Di-(2-ethylhexyl) Phthalate(DEHP)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Diisobutyl phthalate (DIBP)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

This report shall not be altered, increased or deleted. The results shown in this test report refer only to the sample(s) tested. Without written approval of BST, this test report shall not be copied except in full and published as advertisement. BST Chemical Lab.

Test Report

Test Item(s)	No.11	No.12	No.13	No.14	No.15
Cadmium (Cd)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Lead (Pb)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Mercury (Hg)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Hexavalent Chromium (CrVI)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
PBBs	N.D.	--	--	N.D.	N.D.
PBDEs	N.D.	--	--	N.D.	N.D.
Dibutyl Phthalate (DBP)	N.D.	--	--	N.D.	N.D.
Butyl benzyl phthalate (BBP)	N.D.	--	--	N.D.	N.D.
Di-(2-ethylhexyl) Phthalate(DEHP)	N.D.	--	--	N.D.	N.D.
Diisobutyl phthalate (DIBP)	N.D.	--	--	N.D.	N.D.

Note:

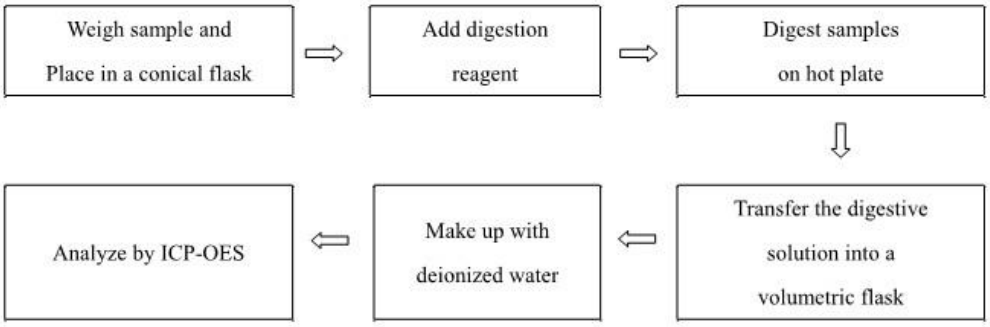
1. mg/kg= ppm
2. N.D.= Not Detected(<MDL)
3. MDL = Method Detection Limit
4. -- = No Testing
5. when Cr(VI) in a sample is detected below the 0.10 $\mu g/cm^2$ LOQ (limit of quantification), the sample is considered to be negative for Cr(VI). Since Cr(VI) may not be uniformly distributed in the coating even within the same sample batch, a "grey zone" between 0.10 $\mu g/cm^2$ and 0.13 $\mu g/cm^2$ has been established as "inconclusive" to reduce inconsistent results due to unavoidable coating variations. In this case, additional testing may be necessary to confirm the presence of Cr(VI). When Cr(VI) is detected above 0.13 $\mu g/cm^2$, the sample is considered to be positive for the presence of Cr(VI) in the coating layer. unavoidable coating variations may influence the determination Information on storage conditions and production date of the tested sample is unavailable and thus Cr(VI) results represent status of the sample at the time of testing.

This report shall not be altered, increased or deleted. The results shown in this test report refer only to the sample(s) tested. Without written approval of BST, this test report shall not be copied except in full and published as advertisement. BST Chemical Lab.

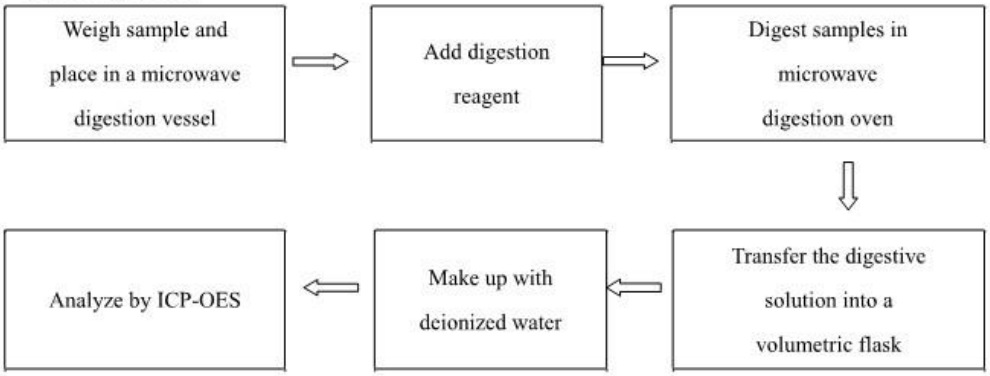
Dongguan BST Testing Co., Ltd. A1201-1204 Xinsanqi of Dongbao Road, Dongcheng District, Dongguan, Guangdong, China Tel: 400-8829628/ 800-9990305 Http://www.bst-lab.com E-mail: christina@bst-lab.com

Test Process:

1. Test for Cd/Pb Content

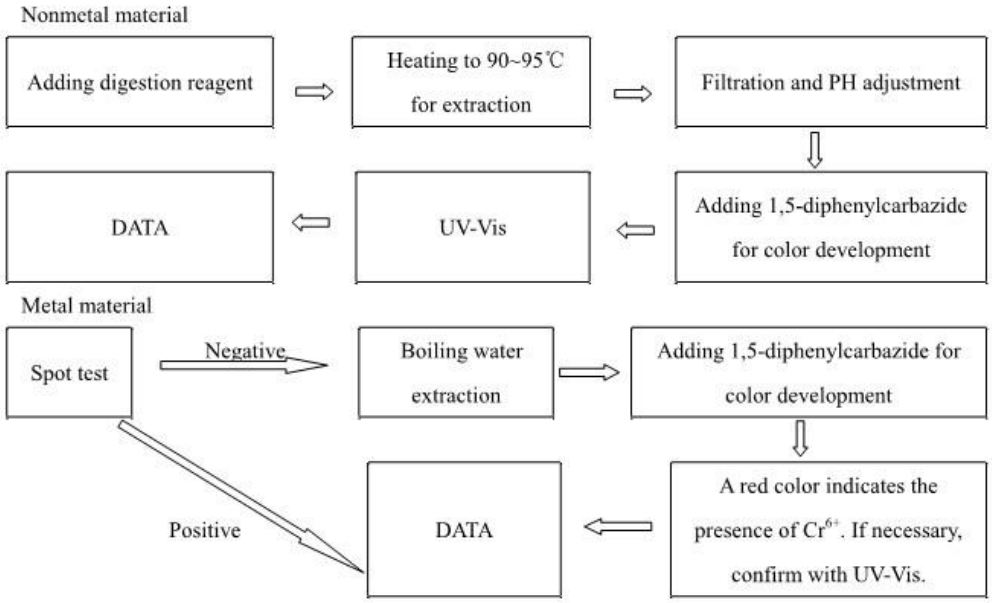


2. Test for Hg Content

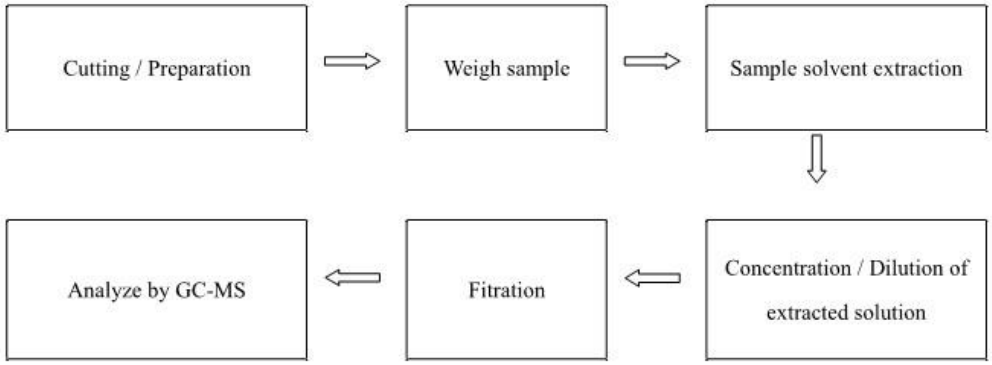


This report shall not be altered, increased or deleted. The results shown in this test report refer only to the sample(s) tested. Without written approval of BST, this test report shall not be copied except in full and published as advertisement. BST Chemical Lab.

3. Test for Chromium (VI) Content



4. Test for DBP, BBP, DEHP, DIBP, PBB, PBDE Content



This report shall not be altered, increased or deleted. The results shown in this test report refer only to the sample(s) tested. Without written approval of BST, this test report shall not be copied except in full and published as advertisement. BST Chemical Lab.

Sample Photo:





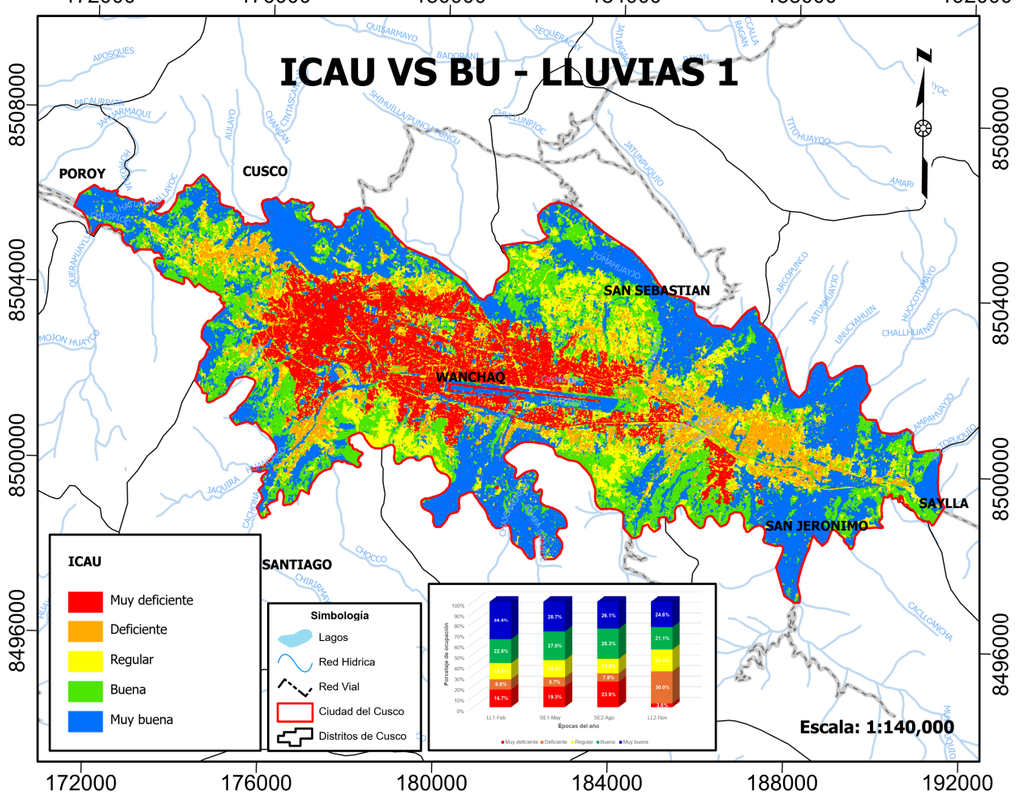
*** End of Report ***

This report shall not be altered, increased or deleted. The results shown in this test report refer only to the sample(s) tested. Without written approval of BST, this test report shall not be copied except in full and published as advertisement. BST Chemical Lab.

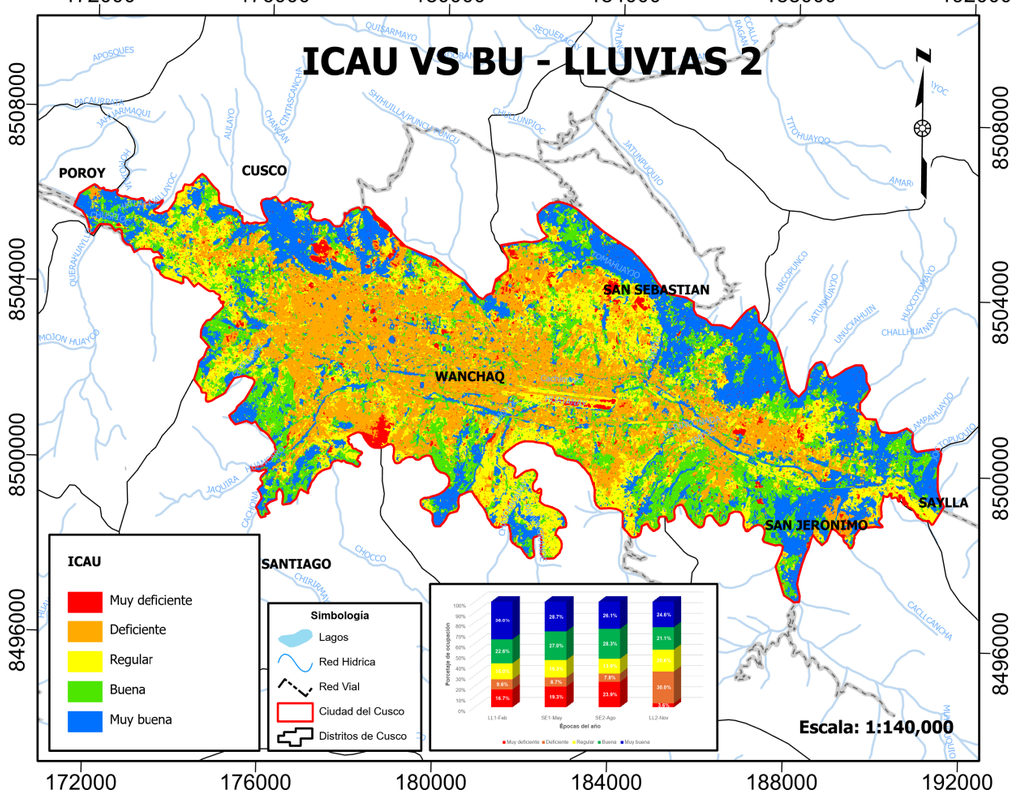
Dongguan BST Testing Co., Ltd. A1201-1204 Xinsanqi of Dongbao Road, Dongcheng District, Dongguan, Guangdong, China Tel: 400-8829628/ 800-9990305 Http://www.bst-lab.com E-mail: christina@bst-lab.com

ANEXO 9: MAPA FINAL ICAU VS BU

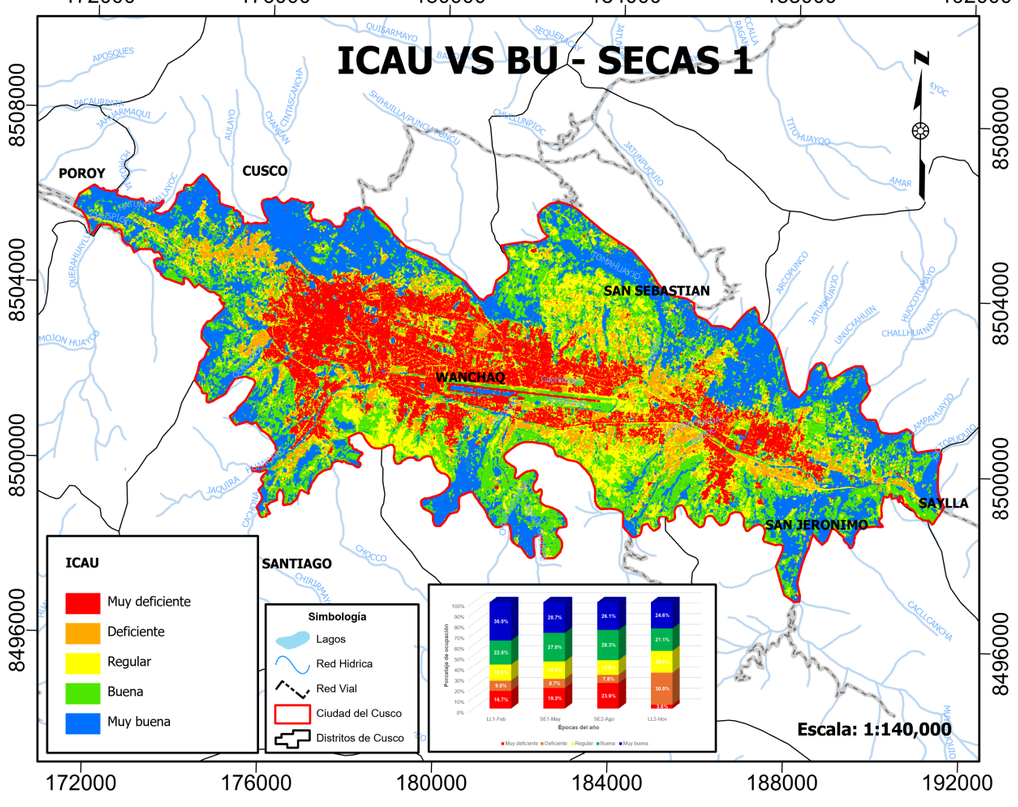
ICAU VS BU - LLUVIAS 1



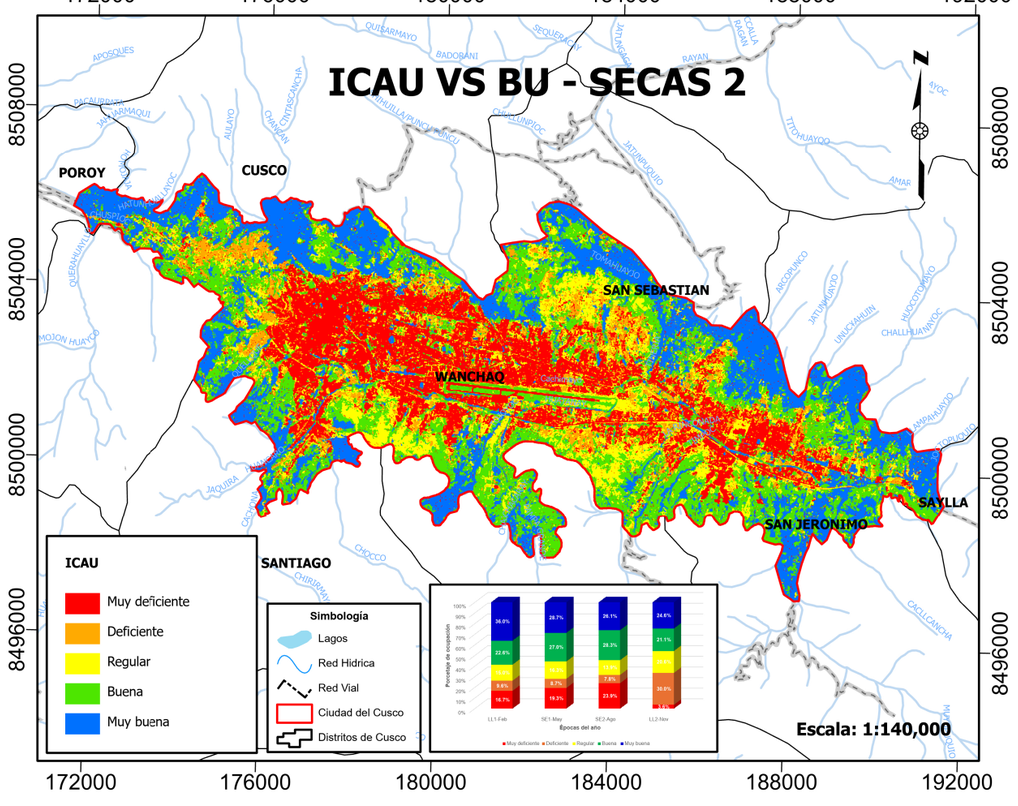
ICAU VS BU - LLUVIAS 2



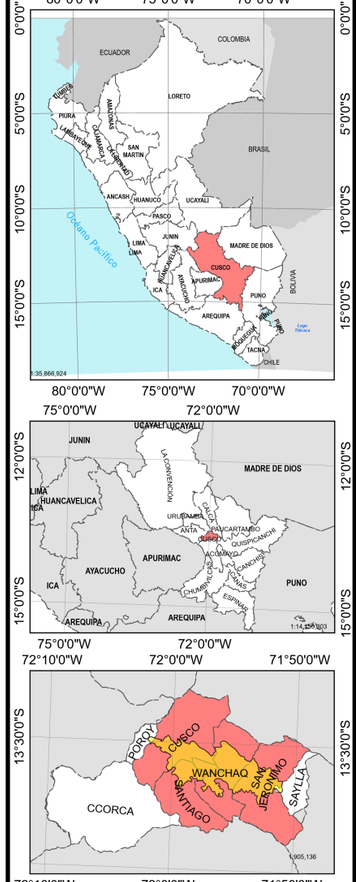
ICAU VS BU - SECAS 1



ICAU VS BU - SECAS 2



MAPA DE UBICACIÓN



CUADRO DE EMPALMES 1:25 000



CIUDAD DEL CUSCO

UNSAAC
Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

ESCUELA DE POSGRADO UNSAAC

TESIS:

EVALUACIÓN DE UN ÍNDICE DE CALIDAD AMBIENTAL URBANO MEDIANTE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN EN LA CIUDAD DEL CUSCO

ELABORADO POR:
Br. Alvaro Christiam Silva Espejo

ASESOR:
M.Sc. Wilian Nazario Cardenas Enriquez

MAPA:
ÍNDICE CALIDAD AMBIENTAL URBANO

PROYECCIÓN / DATUM / ZONA:
Sistema de Coordenadas : UTM
Datum Horizontal : WGS 1984
Zona o Huso Horario : 18 y 19 Sur

FUENTE:
- INGEMMET
- INEI (2017)
- FUENTE PROPIA (2025)

ESCALA DE PRESENTACIÓN: 1 : 140,000

NOTA:

FECHA: Mayo - 2025

LÁMINA: ICAU-1

1 0.5 0 1 2 3 4 Kilometros