

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA TOPOGRÁFICA Y
AGRIMENSURA



ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CRECIMIENTO URBANO DE
LA CIUDAD DE PUNO MEDIANTE IMÁGENES SATELITALES,
ENTRE LOS AÑOS 1980 – 2017
TESIS

PRESENTADA POR:

ANGEL ENRIQUE CARRILLO HUARAHUARA

VIDAL EDWIN CHOQUEHUANCA ZAPANA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO TOPÓGRAFO Y AGRIMENSOR

PUNO – PERÚ

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA



ANALISIS MULTITEMPORAL DEL CRECIMIENTO URBANO DE LA
CIUDAD DE PUNO MEDIANTE IMÁGENES SATELITALES, ENTRE LOS
AÑOS 1980 – 2017.

TESIS PRESENTADA POR:

ANGEL ENRIQUE CARRILLO HUARAHUARA

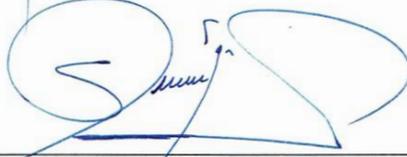
VIDAL EDWIN CHOQUEHUANCA ZAPANA

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

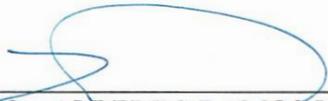
INGENIERO TOPÓGRAFO Y AGRIMENSOR

APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE : 
Dr. NESTOR QUISPE CONDORI

PRIMER MIEMBRO : 
Ing. SAUL SARDON FLORES

SEGUNDO MIEMBRO : 
Ing. WILLIAM FREDY CONDORI CANAHUA

DIRECTOR DE TESIS : 
Ing. MSc. ALBERTO RAMOS VILCA

ÁREA : Ciencias Naturales
TEMA : Sistema De Información Geográfica

FECHA DE SUSTENTACIÓN 17 DE OCTUBRE DE 2019

DEDICATORIA

La presente tesis está dedicado a mis padres Agustín y Juana por ser el pilar fundamental de mis logros y alegrías cuyo ejemplo y tesón me enseñaron a perseverar y alcanzar mis metas. También lo dedico a mis tres hermanos: Yeny, Ubaldo y Eduardo, quienes me acompañaron en todo este proceso y etapa de mi vida, transmitiendo así sus mejores energías y consejos.

Angel Enrique

A Dios por darme la fortaleza, inteligencia, sabiduría, paciencia, amor, y por confiar siempre en mí y no abandonarme nunca, para seguir adelante con mis metas y objetivos.

A mis padres, Fabián y Juana, por su incansable e incondicional apoyo durante mi formación profesional y por estar siempre presente y ayudándome en cada de mis logros.

A mis hermanos Flavio, Valerio, Elizabeth, Guido y Yudith por ser fuente de inspiración y apoyo incondicional en el logro de mis objetivos.

Vidal Edwin

AGRADECIMIENTOS

- A Dios por ser mi guía y fortaleza para sobresalir de los obstáculos de la vida.
- A mis padres y hermanos, por su apoyo incondicional en todo este trayecto de mi formación profesional y que han sentado toda su confianza en mí persona, sin más que decir gracias mi querida familia.
- A la Universidad Nacional del Altiplano, a la escuela profesional de Ingeniería Topográfica y Agrimensura, a mis docentes que me brindaron el aprendizaje necesario para mi desempeño profesional.
- Un agradecimiento especial a mi director de tesis el Ing. MSc. Alberto Ramos Vilca y como también a mi asesor de tesis el Ing. MSc. Yuri Efraín Turpo Cayo, por su valioso apoyo desinteresado, para así poder culminar la presente tesis.
- A los Ingenieros Omar Marca Flores, Jimmy Choque Huayhua y Yessica Gutiérrez Quenta, por sus instrucciones y orientaciones incondicionales, como también a las personas que de alguna forma u otra manera hicieron posible se realice esta presente tesis.

Angel Enrique

- A la Universidad Nacional del Altiplano, a la Escuela Profesional de Ingeniería Topográfica y Agrimensura, a mis docentes quienes supieron brindar el conocimiento adecuado para el desempeño profesional.
- A los profesionales Ing. Omar Marca Flores, Ing. Yessica Gutiérrez Quenta y al Ing. MSc. Yury Turpo Cayo, por brindarnos, sus apoyos, sus conocimientos y sus tiempos para hacer posible el objetivo de este trabajo.
- Al docente Ing. Alberto Ramos Vilca, director de la investigación, por la orientación, el seguimiento y por la disposición desinteresada para aclarar mis dudas.

Vidal Edwin

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	16
ABSTRACT.....	17
I. INTRODUCCIÓN	18
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	20
1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA.....	22
1.2.1. Problema General.....	22
1.2.2. Problemas Específicos.....	22
1.3. HIPOTESIS DE LA INVESTIGACION	22
1.3.1. Hipótesis General.....	22
1.3.2. Hipótesis Específicas.....	22
1.4. JUSTIFICACION DEL ESTUDIO.....	23
1.5. OBJETIVOS DE INVESTIGACION.....	23
1.5.1. Objetivo General	23
1.5.2. Objetivos Específicos.....	24
II. REVISIÓN DE LITERATURA	25
2.1. ANTECEDENTES DE INVESTIGACION	25
2.2. MARCO TEÓRICO	31
2.2.1. Análisis Multitemporal.....	31
2.2.2. Crecimiento Urbano	31
2.2.3. Plan de Ordenamiento Territorial	33
2.2.4. Plan de Acondicionamiento Territorial.....	34
2.2.5. Habilitación Urbana.....	34
2.2.5.1. Tipos de Habilitación Urbana.....	35
2.2.6. Principios que Rigen Competencias Municipales	37
2.2.7. Teledetección.....	41
2.2.7.1. Componentes de un Sistema de Teledetección	42

2.2.7.2. El Espectro Electromagnético	43
2.2.7.3. Firma Espectral.....	45
2.2.7.4. Tipos de Sensores.....	46
2.2.7.4.1. Sensores Pasivos	46
2.2.7.4.2. Sensores Activos.....	48
2.2.7.5. Resolución de un Sistema Sensor	49
2.2.7.6. Resolución Espacial.....	49
2.2.7.7. Resolución Espectral	50
2.2.7.8. Resolución Radiométrica	52
2.2.7.9. Resolución Temporal.....	54
2.2.7.10. Resolución Angular	55
2.2.8. Imágenes Satelitales	56
2.2.8.1. Tipos de Imágenes de Teledetección.....	57
2.2.9. Variable de Entrada	58
2.2.9.1. Programa Landsat	58
2.2.9.2. Tipo de Sensor.....	59
2.2.9.2.1. Satelite Landsat 1, 2 y 3 MSS.....	59
2.2.9.2.2. Satelite Landsat 4, 5 y 6 TM	63
2.2.9.2.3. Satelite Landsat 7 ETM+	65
2.2.9.2.4. Imagen Operacional de la Tierra (OLI) y el Sensor Térmico Infrarrojo (TIRS) – Landsat 8	67
2.2.9.3. USGS (United States Geological Survey)	69
2.2.9.3.1. Tipo de Producto Proporcionada por el USGS.....	69
2.2.10. Clasificación	71
2.2.10.1. Clasificación Máxima Verosimilitud o Probabilidad.....	75
2.2.10.2. Validación	75
2.2.10.3. Matriz de Confusión	75

2.3. MARCO CONCEPTUAL.....	76
2.3.1. Zona Urbano	76
2.3.2. Aglomeración Urbana	76
2.3.3. Zona Región Metropolitana.....	77
2.3.4. Crecimiento Urbano Incontrolado	77
2.3.5. Suelo Urbano	78
2.3.6. Suelo Urbanizable	78
2.3.7. Suelo no Urbanizable	78
III. MATERIALES Y MÉTODOS	80
3.1. UBICACIÓN GEOGRAFICA DEL ESTUDIO	80
3.1.1. Ubicación Geográfica.....	80
3.1.2. Ubicación por Coordenadas UTM (Datum WGS84).....	80
3.1.3. Ubicación Política.....	80
3.1.4. Extensión Superficial	82
3.1.5. Limite	82
3.2. MATERIALES E INSTRUMENTOS	83
3.2.1. Materiales:	83
3.2.2. Equipos.....	83
3.2.3. Software	83
3.3. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	84
3.3.1. Tipo de Investigación	84
3.4. METODOLOGÍA DE TRABAJO	84
3.4.1. Proceso Metodológico.....	84
3.4.2. Recopilación y Adquisición de Imágenes Satelitales.....	86
3.4.2.1. Ubicación De La Zona De Estudio de la Escena	86
3.5. PROCESAMIENTO	88
3.5.1. Corrección Radiométrica	88

3.5.2. Corrección Atmosférica	89
3.5.3. Combinación de Bandas.....	90
3.6. CLASIFICACION.....	90
3.6.1. Vectorización Visual de la Superficie Urbana.....	90
3.6.2. Región de Interés (ROIS)	91
3.6.3. Clasificación Máxima Verosimilitud o Probabilidad.....	93
3.7. PRUEBA ESTADISTICA	95
3.7.1. Validación	95
3.7.2. Matriz de Confusión	95
3.7.3. Coeficiente de Kappa	96
3.7.4. Método Muestreo	97
3.7.5. Tamaño de Muestra	98
3.7.6. Cálculo del Tamaño de la Muestra.....	98
3.7.7. Muestreo Aleatorio Estratificado.....	98
3.7.7.1. Selección de Puntos Para la Verificación	99
3.8. MÉTODO DE INTERPOLACIÓN	99
3.8.1. Interpolación Lineal.....	100
3.8.2. Datos de la Población.....	101
3.9. VARIABLES:	102
IV. RESULTADOS Y DISCUSION	103
4.1. ANALISIS TEMPORAL CRONOLOGICO DEL CRECIMIENTO URBANO MEDIANTE IMÁGENES SATELITALES	103
4.2. ANALISIS POR HIPOTESIS.....	110
4.2.1. Vectorización Visual	110
4.2.2. Clasificación Supervisada por Máxima Probabilidad	110
4.3. DISCUSION.....	126
V. CONCLUSIONES.	128



VI. RECOMENDACIONES	130
VII. BIBLIOGRAFIA	131
ANEXOS.....	135

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Componentes de un sistema de teledetección	43
Figura 2: Espectro electromagnético	45
Figura 3: Curvas de reflectancia espectral	45
Figura 4: Sensor Pasivo.	48
Figura 5: Sensor Activo.	49
Figura 6: Formato de una imagen digital (7 x 9 píxeles). Cada píxel representa un área de la superficie terrestre. Los tonos de gris de cada píxel hacen referencia a distintos niveles de energía detectada.	50
Figura 7: Bandas espectrales de diferentes sensores de teledetección.....	51
Figura 8: Bandas espectrales de diferentes sensores de teledetección.....	52
Figura 9: Imágenes con variaciones de intensidad de energía electromagnética, en los cuales en algunos niveles se nota la intensidad de discriminación del sensor.	53
Figura 10: Mayor resolución temporal gracias a la reorientación de sensores en pases consecutivos.	55
Figura 11: Componentes de una imagen digital	56
Figura 12: Rutas orbitales LANDSAT típicas para un sólo día.	60
Figura 13: Cámaras RBV	61
Figura 14: Plano de Ubicación Regional	81
Figura 15: Plano de Ubicación Provincial	81
Figura 16: Plano de localizacion.....	82
Figura 17: Esquema metodológico de la investigación	85
Figura 18: Cuadrícula WRS-2 de Landsat para el departamento de Puno	86
Figura 19: Imagen Satelital LandSat	87
Figura 20: Recorte de área de estudio en base a los datos de USGS	88
Figura 21: Corrección Atmosférica	89
Figura 22: Combinación de bandas	90
Figura 23: Vectorización visual.....	91
Figura 24: Región de interés (ROIS).	93
Figura 25: Imagen clasificada.....	94
Figura 26: Proceso de validación.....	95
Figura 27: Muestreo aleatorio estratificado	97

Figura 28: Puntos Generados de Random point	99
Figura 29: Crecimiento urbano porcentual	104
Figura 30: Area urbana del periodo 1980-1985	105
Figura 31: Area urbana del periodo 1985-1990.....	105
Figura 32: Area urbana del periodo 1990-1995	106
Figura 33: Area urbana del periodo 1995-2000.....	107
Figura 34: Area urbana del periodo 2000-2005	107
Figura 35: Area urbana del periodo 2005-2010.....	108
Figura 36: Area urbana del periodo 2010-2015.....	109
Figura 37: Area urbana del periodo 2015-2017	109
Figura 38: Comparación de métodos de mapeo.....	112
Figura 39: Compracion de mapeo del area urbana	116

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Incremento del área en el tiempo de estudio en el municipio de Santiago de Cali.	26
Tabla 2: Características de la región espectral.....	44
Tabla 3: Periodo de actividad de los satélites Landsat.	59
Tabla 4: Características de la región espectral.....	62
Tabla 5: Comparación entre las características de un sistema fotográfico y uno multiespectral.....	63
Tabla 6: Característica imagen Landsat 4 y 5.....	65
Tabla 7: Comparación entre las bandas del TM y ETM plus	67
Tabla 8: Característica imagen LandSat 8	68
Tabla 9: Características Técnicas del Sistema ETM.	68
Tabla 10: Taxonomía de los métodos de clasificación en teledetección.	73
Tabla 11: Lista de imágenes satelitales.....	88
Tabla 12: Areas de la superficie urbana vectorizacion visual	91
Tabla 13: Lista coordenadas de campo para Regiones de Interes	92
Tabla 14: Leyenda de región de interés (ROIS).	92
Tabla 15: Areas obtenidas de la clasificacion supervisadas	94
Tabla 16: Matriz de confusion	95
Tabla 17: Valoración de indice de Kappa.....	96
Tabla 18: Tabla de años censales.....	101
Tabla 19: Tabla de años censales calculados mediante la interpolación.	101
Tabla 20: Variables.....	102
Tabla 21: Resultados de crecimiento urbana del 1980 - 2017	104
Tabla 22: Areas urbanas obtenidad por vectorizacion visual	110
Tabla 23: Areas urbanas obtenidad por máxima probabilidad	111
Tabla 24: Comparación de métodos de mapeo.....	111
Tabla 25: Analisis de varianza.....	113
Tabla 26: Cuadro de comparacion	115
Tabla 27: Escala de valoración del nivel de correlación de Pearson	118
Tabla 28: Calculo de correlacion de Pearson.....	119

Tabla 29: Correlación entre el crecimiento espacial urbano y el crecimiento poblacional Pearson	119
Tabla 30: Interpretación del valor de Kendall	120
Tabla 31: Correlación entre el crecimiento espacial urbano y el crecimiento poblacional Kendall	121
Tabla 32: Interpretación del valor de rho de spearman:	122
Tabla 33: Correlación entre el crecimiento espacial urbano y el crecimiento poblacional Spearman	123
Tabla 34: Validación de la clasificación por año	124
Tabla 35: Error de Omisión y Comisión	125

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

ERTS	Earth Resources Technology Satellites
ETM+	Thematic Mapper Plus
GPS	Global Positioning System
INEI	Instituto Nacional de Estadística e Informática
IRC	Infrarrojo cercano
IRM	Infrarrojo medio
FIR	Infrarrojo lejano o térmico
INPE	Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales
LANDSAT	Land Remote Sensing Satellite
LIDAR	Light Detection and Ranging o Laser Imaging Detection and Ranging
METEOSAT	Satélites Meteorológicos Geoestacionarios
MVCS	Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento
MSS	Escáner Multi-Espectral
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NOAA	Administración Nacional Oceánica y Atmosférica
ND	Nivel Digital
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
PAN	Imagen Pancromática
PS	Imagen Fusionada

OLI	Operational Land Imager
RADAR	Radio Detection and Ranging
ROIs	Región de interés
RBV	La Cámara de Retorno de Rayos Vidicón
SIG	Sistema de Información Geográfica
SWIR	Short Wave Infrared
TIRS	Thermal Infrared Sensor
TM	Thematic Mapper
TOA	Reflectividad Top-of-Atmosphere
TRMM	Misión de Medición de Lluvias Tropicales
USGS / EROS	Centro de Observación y Ciencia de los Recursos Terrestres
UNICEF	Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia
UTM	Sistema de coordenadas Universal Transversal de Mercator
WRS	World Wide Reference System

RESUMEN

La presente investigación titulada “Análisis Multitemporal del Crecimiento Urbano de la Ciudad de Puno Mediante Imágenes Satelitales, Entre los Años 1980 – 2017” se realizó en la ciudad de Puno, ubicado entre las coordenadas Norte: 8248372.2977 Este: 389775.6983, Altitud: 3887.889 m.s.n.m., en el sistema de coordenadas UTM WGS-84, zona 19 L Sur. Cuyo objetivo fue analizar la dinámica de la expansión urbana de la ciudad de Puno entre los años 1980 y 2017, utilizando técnicas de teledetección mediante uso de imágenes de satélite y análisis multitemporal. La metodología consistió en determinar el crecimiento urbano de la ciudad de Puno, para ello se emplearon imágenes satelitales multiespectrales de Landsat 2, 5 y 8; Se aplicó el método de vectorización visual y la clasificación supervisada de máxima probabilidad basado en información espectral de la imagen satelital Landsat.

Seguidamente como resultados el crecimiento urbano entre el periodo de 1980 – 2017, en donde se obtuvo 1149.3881 hás que representa el 15.58 % del total del área urbana dando como promedio el 31.0645 hás/año. Conclusiones, se determinó que el proceso de crecimiento urbano por los dos métodos de clasificación en la prueba del t student con niveles de significación de $\alpha = 0.01$ y $\alpha = 0.05$, son estadísticamente iguales, correlacionando el crecimiento poblacional y crecimiento espacial urbano según el coeficiente de correlación Pearson se tiene un valor de 0.947 significa que existe una relación muy significativa y una correlación positiva muy alta y en los métodos Kendall y Spearman resultó 1.000** significa que existe una correlación positiva perfecta, la obtención de nivel de exactitud temática es casi perfecta, el coeficiente de Kappa se ha situado entre 0.87 a 0.99 y la precisión global entre 89.81% a 99.02% y en los errores de omisión y comisión resulta que en la clase de área urbana tiene en promedio de error de omisión de 7.02 % y el error de comisión es 2.15 % de la clase del área urbana.

Palabras Claves: Teledetección, análisis multitemporal, imágenes satelitales, crecimiento urbano.

ABSTRACT

The present search entitled “Multitemporal Analysis of the Urban Growth of the city of Puno Through Satellite Images, between 1980 and 2017” was carried out in the city of Puno, located between the North coordinates: 8248372.2977 East: 389775.6983, Altitude: 3887.889 masl, in the UTM WGS-84 coordinate system, zone 19 L South. Whose objective was to analyze the dynamics of the urban expansion of the city of Puno between 1980 and 2017, using remote sensing techniques using satellite images and multitemporal analysis. The methodology consisted in determining the urban growth of the city of Puno, for this purpose multispectral satellite images of Landsat 2, 5 and 8 were used; The method of visual vectorization and the supervised classification of maximum probability based on the spectral information of the Landsat satellite image were applied.

Then, as a result, urban growth between the period of 1980 - 2017, where 1149,3881 hectares was obtained, representing 15.58% of the total urban area, giving an average of 31.0645 hectares/year. Conclusions, it was determined that the urban growth process by the two classification methods in the t-student test with significance levels of $\alpha= 0.01$ and $\alpha= 0.05$, are statistically equal, correlating population growth and urban spatial growth according to the coefficient Pearson correlation has a value of 0.947 means that there is a very significant relationship and a very high positive correlation and in the Kendall and Spearman methods it turned out 1,000** means that there is a perfect positive correlation, obtaining thematic level of accuracy is almost perfect, the Kappa coefficient has been between 0.87 to 0.99 and the overall accuracy between 89.81% to 99.02% and in the errors of omission and commission it turns out that in the urban area class it has an average of omission error of 7.02% and The commission error is 2.15% of the urban area class.

Key words: Remote sensing, multitemporal analysis, satellite images, urban growth.

I. INTRODUCCIÓN

El crecimiento de las ciudades es un tema de gran importancia, en la medida como afecta el desarrollo de las mismas, por tal motivo una evaluación de su desarrollo debe hacerse tanto espacial como temporalmente, y una acertada planificación, permite organizar la expansión urbana, minimizando los efectos sobre el medio ambiente. En países como el Perú, en los últimos 40 años, se ha observado que la dinámica urbana se caracteriza por un debilitamiento de los criterios de planeamiento urbano y económico de las ciudades, y el proceso de construcción de la ciudad resulta como una suma de intereses privados y decisiones públicas que son las que moldean la forma física de una ciudad.

En la actualidad las Tecnologías de Información Geográfica (TIGs), ofrecen los Sistemas de Información Geográfica (SIG), que son “herramientas”, “tecnologías” o “sistemas” que sirven de apoyo en la toma de decisiones en diferentes escenarios de la sociedad, permiten estructurar y visualizar la información espacial dentro de un espacio geográfico, como características topográficas, uso del suelo, redes de servicios públicos, demografía entre otras, y es posible ubicarla y visualizarla de una manera fácil y rápida, la observación remota de superficies, análisis de patrones, entre otros, con ventajas en relación a costos, insumos y menor tiempo de preparación de los mismos.

Ejemplo de ello es la libre disponibilidad de imágenes satelitales Landsat de la agencia espacial NASA, que con apoyo de los (SIG), permiten analizar y establecer los cambios ocurridos en un territorio en un amplio período de tiempo, este análisis “multitemporal” permite identificar cambios en diferentes períodos, deduciendo la evolución del medio natural o las repercusiones de la acción humana sobre ese medio.

En el caso de la Región Puno, la mayoría de las provincias y distritos, como en el caso de la ciudad de Puno, presentan un crecimiento desordenado y no se cuenta con información sistematizada que permita a las entidades como gobiernos locales, funciones: técnicas, fiscales, jurídicas, etc., determinar políticas de manejo de recursos, políticas de desarrollo, gestión tributaria, fortalecimiento institucional, etc., por lo que surge la necesidad de realizar un trabajo de investigación que permita determinar la dinámica del crecimiento urbano en los últimos años, variaciones a través del tiempo, y represente un sistema de toma de decisiones y consulta.

El presente trabajo de investigación se centra en monitorear el comportamiento del crecimiento urbano, mediante el mapeo y procesamiento digital de imágenes satelitales con apoyo de software SIG (vector o ráster, libre o comercial), realizar un análisis multitemporal, que permitirá contar con información para la toma de decisiones por parte de las entidades ejecutoras como la municipalidad de Puno, con miras a planificación territorial para uso en forma sostenida.

Finalmente se analiza la metodología aplicada en lo referente a su impacto como importante herramienta de diagnóstico, prever una planeación y la tendencia de ocupación del espacio geográfico.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El crecimiento y comportamiento urbano acelerado en las ciudades, especialmente de los países en vías de desarrollo, provoca grandes cambios y efectos circundantes en los cambios de uso de suelos, generadas por una expansión rápida y no planificada, basada en la forma espontánea que se ocupa el territorio, ello provoca conflictos de uso de suelo como también aspectos de organización social de las poblaciones que las ocupan.

Los procesos del crecimiento urbano en el Perú, coinciden que las ciudades han experimentado cambios en determinados procesos económicos y sociales en los influyeron en la transformación del espacio urbano.

El crecimiento de Ciudad de Puno ha sido marcado por sucesivas transformaciones es así que en el período de 1980 a 2017, a consecuencia hay una expansión física y que también existen desigualdades en zonas y grupos; además de los nuevos usos de suelo promovidos por la construcción de viviendas como también el aumento de un problema en la planificación urbana.

Asimismo, durante los últimos años se ha hecho evidente el incremento de la población y el proceso de la expansión urbana de forma acelerada y aparentemente desordenada, esto debido a la ineficiente planificación urbana también al no cumplimiento de las ordenanzas municipales, falta de planes de parte del municipio.

Actualmente la ciudad de Puno cuenta con porciones de suelo urbano y rural que son afectados por el proceso de crecimiento poblacional, social, económico y urbano, esto implica una serie de transformaciones de forma negativa y no acorde a un crecimiento planificado.

Uno de los problemas de la Municipalidad Provincial de Puno – Sub Gerencia de Catastro es la dificultad de cartografiar los distintos tipos de usos urbanos, lo cual puede ser apoyado con las herramientas de teledetección disponibles para la planificación urbana.

La presente investigación se enmarca a evaluar el crecimiento urbano utilizando las técnicas de evaluación multitemporal con el uso de sistemas de información geográfica.

1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema General

- ✓ ¿Las técnicas de teledetección, con el uso de imágenes satelitales, análisis multitemporal y usando clasificación supervisada permiten identificar y analizar el crecimiento de la expansión urbana de la ciudad de Puno entre los años 1980 – 2017?

1.2.2. Problemas Específicos

- ✓ ¿En el análisis de imágenes satelitales por el método de clasificación supervisada identifica eficientemente el crecimiento urbano de la ciudad de Puno?
- ✓ ¿Existe una correlación significativa entre el crecimiento poblacional y la dinámica espacial urbana entre los años 1980 y 2017, en la ciudad de Puno?
- ✓ ¿Las técnicas de clasificación supervisada de las imágenes Landsat permite tener un nivel de exactitud temática aceptable en la cobertura urbana de la ciudad de Puno?

1.3. HIPOTESIS DE LA INVESTIGACION

1.3.1. Hipótesis General

- ✓ El crecimiento urbano de la ciudad de Puno entre los años 1980 – 2017, es identificable y analizable con las técnicas de teledetección espacial y análisis multitemporal, usando clasificación supervisada de imágenes satelitales.

1.3.2. Hipótesis Específicas

- ✓ El análisis de imágenes satelitales por el método de clasificación supervisada identifica eficientemente el crecimiento urbano de la ciudad de Puno.

- ✓ Existe correlación significativa entre el crecimiento espacial urbano y el crecimiento poblacional en los años 1980 y 2017, utilizando imágenes satélite y análisis multitemporal.
- ✓ La técnica de procesamiento por clasificación supervisada de imágenes Landsat en coberturas urbanas tiene un nivel de exactitud temática aceptable para cartografía de áreas urbanas.

1.4. JUSTIFICACION DEL ESTUDIO

El proyecto se considera de importancia porque permitirá contar con la información para la toma de decisiones, por parte de las entidades ejecutoras como el municipio de la ciudad de Puno y otros. Además, permitirá observar los cambios de cobertura comparando la cobertura original y actual que se ha dado en la ciudad de Puno en diferentes años y determinar en qué tiempo el crecimiento urbano empezó con el cambio de uso de suelo a una escala mayor.

Por lo tanto, es necesario analizar el crecimiento urbano y sus tendencias, lo cual servirá para prever una planeación y la tendencia de ocupación del espacio geográfico de la ciudad de Puno, con ayuda de herramientas que permitan tomar decisiones que beneficien a toda la población de la ciudad de Puno.

1.5. OBJETIVOS DE INVESTIGACION

1.5.1. Objetivo General

- ✓ Analizar la dinámica de la expansión urbana de la ciudad de Puno entre los años 1980 y 2017, utilizando técnicas de teledetección mediante uso de imágenes de satélite y análisis multitemporal.

1.5.2. Objetivos Específicos

- ✓ Evaluar la eficiencia de método de la clasificación supervisada y la vectorización visual en la identificación multitemporal del crecimiento urbano de la ciudad de Puno en el periodo 1980 – 2017.
- ✓ Determinar la correlación entre el crecimiento espacial urbano y el crecimiento poblacional en los años 1980 y 2017, utilizando imágenes satelitales y análisis multitemporal.
- ✓ Evaluar el nivel de exactitud temática de la clasificación supervisada de Imágenes Landsat en cobertura urbana de la ciudad Puno.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE INVESTIGACION

ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Según Tibaquira Castro (2016), en el trabajo titulado “análisis multitemporal del crecimiento urbano de la zona de expansión para el periodo de 1987 – 2015 en el municipio de Ibagué, Tolima” estudia el crecimiento urbano mediante el procesamiento de imágenes satelitales con el uso del software PCI Geomática y el proceso de clasificación supervisada con muestras propias de la zona urbana. Resultados: Obteniendo, para el año 1997, el crecimiento urbano tuviera mayor crecimiento y tan solo el 6,1% de pixeles corresponden a tejido urbano, mientras que la zona de expansión muestra un aumento significativo en relación a los cultivos con un 30,67%. Y Para el año 2015 se observa una disminución en el área de cultivos con la construcción de la variante que comunica los barrios el salado, el aeropuerto y Picaleña. Se concluye que el crecimiento urbano se convierte en un fenómeno de gran importancia para la ciudad de Ibagué, teniendo en cuenta que el área de crecimiento urbano para el año 1987 es de 941,2 hectáreas y para el año 2015 de 3633,9 hectáreas. sin embargo, analizando los patrones espaciales se observa que la zona rural pasó de tener pequeños minifundios en el año 1987 a ocupar grandes extensiones de cultivos en el año 1997.

Según Jaramillo Magaña (2016), en el trabajo titulado “Análisis multitemporal de la expansión urbana del municipio de Santiago de Cali, Colombia” estudia la transformación del uso del suelo urbano del municipio, mediante el análisis multitemporal de las dinámicas de cambios sobre las coberturas del suelo desde los años 1986-2014. La metodología empleada que se utilizó como insumo 3 imágenes de satélite de los sensores

Landsat 5 MSS de 1986, Landsat 5 TM de 1998 y Landsat 8 OLI_TIRS de 2014, a las cuales se les realizó el tratamiento digital, para la interpretación y clasificación supervisada de las coberturas del suelo clasificadas en 3 clases; Cobertura Vegetal, Urbano y Cuerpos de Agua. Los resultados obtenidos en el periodo de tiempo del año 1986 a 1998 muestran que hubo un incremento en el área de la cobertura Urbano de 1252.68 Ha y en el periodo de 1998 a 2014 fue de 1503.92 Ha, Donde la tasa anual de cambio correspondiente al total del área urbana es de 0.9845 Km/año indicando ganancia de área.

Tabla 1: Incremento del área en el tiempo de estudio en el municipio de Santiago de Cali.

PERIODO DE TIEMPO	AÑOS	ÁREA (Ha)	ÁREA (Km)	EXPANSIÓN (Km)	TASA ANUAL DE CAMBIO (Km/Año)
1986	0	7472.17	74.7217	0	0
1986 - 1998	12	8724.85	87.2485	12.5268	1.0439
1998 - 2014	16	10228.77	102.2877	15.0392	0.93995
1986 - 2014	28	2756.60	27.5660	27.5660	0.9845

Fuente: Jaramillo Magaña (2016)

Según Ramirez Zapata (2015), en el trabajo titulado “análisis multitemporal mediante sensores remotos de cobertura de la tierra para el periodo de tiempo 1999 - 2011 en el municipio de san jacinto, bolívar” estudia el análisis multitemporal de cambio de cobertura de la tierra a escala 1:25000. La metodología empleada es partir de imágenes satelitales (RapidEye y Spot) del año 1999 y 2011, se identificaron cambios en las coberturas terrestres entre estas dos épocas a una escala 1: 25 mil. Resultado y conclusión: Sufre un cambio neto del 29.56 % de su área, donde las principales transiciones se encuentran en relación con los bosques y áreas Seminaturales, es decir se evidencio que estos presentaron un cambio de 2845,96 Ha, las cuales en la transición se encuentran en los territorios agrícolas y los territorios artificializados, no muestran mayores diferencias

en su cobertura, permitiéndonos evidenciar que en vez de presentarse un crecimiento en la parte urbana del municipio, se presentó una pérdida de área de 2,95 Ha, mostrando que aunque la pérdida es mínima el crecimiento de la población y asentamiento urbano no se evidencia en la zona.

Según Cifuentes Ruiz & Londoño Linares (2010), en el trabajo titulado “Análisis Del Crecimiento Urbano: Una Aproximación al estudio de los factores de crecimiento de la ciudad de Manizales como aporte a la Planificación” identifica los factores que influyen en el crecimiento urbano desde los años 1854-2003. La metodología empleada, es el método de Análisis de Componentes Principales ACP para destacar los factores más influyentes en el proceso de urbanización en cada periodo, el cual además de ayudar a identificar dichos factores, demostró que los patrones de urbanización estimados se corresponden de una manera aproximada con los patrones de urbanización reales. Resultados: se espera poder avanzar hacia propuestas a escala local con nuevas alternativas para un crecimiento y desarrollo equilibrados de la ciudad de Manizales. A partir de los resultados del ACP se puede concluir que el factor VIAS y PARQ son determinantes para el crecimiento de la ciudad desde su fundación, esta influencia continúa a lo largo de todos los periodos estudiados influyendo de manera positiva al aumento de la urbanización de la ciudad de estudio.

Según Rafael Navarro, Perez Mendez, Camilo, & Aguasvivas Santana (2009), en el trabajo titulado “análisis del crecimiento urbano en el área metropolitana de santo domingo a través de las imágenes multiespectrales del satelitales Landsat TM” estudia cuantitativamente los cambios en el crecimiento urbano y los factores de localización de las áreas más vulnerables a través del satélite LANDSAT TM. La metodología empleada en la elaboración de la investigación se basa en tres enfoques que son: el enfoque

sistemático relativo al funcionamiento de la ciudad, el enfoque normativo para entender la Pertinencia o adecuación de sus estructuras y el sentido que tienen para sus habitantes y el enfoque morfológico que nos guío en el análisis de la estructura construida. resultados: Los procesos técnicos de análisis multitemporal permitieron realizar análisis estadísticos englobando los cambios en cuanto al área urbana con la densidad de construcción. Es muy interesante observar como el cambio más abrupto se detecta en el año 2000 y 2002, la cual muestra un incremento del 522.87% del área (correspondiente a 112,526.00 hectáreas), y un incremento marginal de 1.83% del 2000 al 1985 para 21,893.14 de las cuales hablan de áreas que comenzaron a consolidarse en la década del 80 y que, en este momento evidencian una notable consolidación. Concluyendo que el desarrollo de modelos de estimación del crecimiento urbano sobre la base de la integración de imágenes de satélites.

ANTECEDENTES NACIONALES

Según Loayza Basan, Mercedes Chirito, Mestas Valero, & Quiliche Duran (2017), en el trabajo titulado “Estudio del crecimiento urbano y modificación de cobertura vegetal mediante teledetección del Distrito de Végueta” estudia la expansión urbana y las alteraciones de la cobertura vegetal, en el distrito de Végueta. La metodología empleada utilizó imágenes satelitales provenientes de los sensores del satélite Landsat de los años 1986, 2001, 2005 y 2014; con ayuda del programa informático Leo Works v3, se procesaron las imágenes satelitales de los años estudiados se lograron imágenes de color verdadero, imágenes de falso color (COLOR NIR 4-3-2), clasificación supervisada de imágenes e índice de vegetación (NDVI) de la zona. Con esta información se evaluaron; el desarrollo de expansión urbana y la variación de la cobertura vegetal de forma visual y estadística, utilizando las tonalidades y colores y cantidad de pixeles obtenidas en las

imágenes procesadas. Resultados: Durante los años 1986, 2001, 2005 y 2014, valores para NIR 4-3-2 de 18, 12, 8.0 y 8,2 en porcentaje de cobertura vegetal y valores de 0.9, 1.5, 3.4 y 7.7 en porcentaje de área urbana respectivamente. Conclusión: En los años estudiados tuvimos un incremento de la expansión urbana de 0.9% hasta 7.7% desde el 1986 al 2014 y la cobertura vegetal analizada mediante del índice vegetal fue desde 18% hasta 8,2%.

ANTECEDENTES LOCALES

Según Ccama Condori (2011), en el trabajo titulado “Crecimiento poblacional y cambios territoriales en el centro poblado de salcedo” estudia los cambios territoriales que se han producido por efecto del crecimiento poblacional en el centro poblado de salcedo. Metodológicamente, el estudio se basó primeramente en describir la realidad (diagnostico), posteriormente se realizó el análisis territorial con apoyo cartografía temática, identificando unidades de integración, con la finalidad de conocer y encontrar los cambios territoriales, que permitió conocer las tendencias proyectuales y proponer estrategias dentro del área fáctica a la cual se refiere el modelo. Resultados obtenidos se concluye un acelerado crecimiento poblacional, lo cual ha incidido directamente en el incremento de sus superficies urbana en 319.00 Ha. Y reduciéndose las áreas rurales a 302.40 Ha. Parte de este incremento de su superficie urbana, ha generado efecto negativo sobre el espacio territorial, ocupando áreas protegidos, ecosistemas altamente frágiles, que han sido transformados por los procesos desencadenados de la expansión urbana incontrolada. Tras haber desarrollado el modelo de análisis territorial propuesto, se puede afirmar que la valoración cuantitativa a través de cartografía temática con la identificación de unidades de integración y la percepción de la población.

Según Alata Mollo (2018), en el trabajo titulado “Análisis multitemporal de la explotación minera con aplicación de percepción remota y SIG en los distritos de Ananea y Cuyo cuyo-Puno, entre 1975-2017” estudia con las técnicas de percepción remota y Sistemas de Información Geográfica (SIG) del degradamiento del uso de suelo por la actividad minera ilegal-informal en los distritos de Ananea y Cuyo cuyo entre los años 1975 y 2017. Para ello la metodología se emplearon imágenes satelitales multiespectrales de nueve fechas temporales de Landsat 2, 5, 7, 8 y Sentinel-2. Se utilizó el método de clasificación supervisada basado en información espectral de la imagen satelital, modelo de regresión lineal y operaciones a partir de los valores reflectividad de la banda roja e infrarroja cercana. La superficie degradada por la actividad minería ilegal-informal asciende a 8064.32 has que representa el 5.47% de la extensión total del territorio, con un avance de cambio promedio de 131.1 has por cada año, la obtención de mapas temáticos alcanzó niveles altamente aceptables, el coeficiente de Kappa obtenido fue de 0.91 a 0.98 y la precisión global entre 94.67% a 97.48%, la obtención de imágenes del MSAVI con Landsat 8 fue de: (-0.26 a 0.69) y con Sentinel 2 (-0.16 a 0.57) respectivamente, éstos coeficientes indican desde áreas sin vegetación hasta coberturas de vegetación óptima.

Según Ochochoque Condori (2017), en el trabajo titulado “Aplicación de la teledetección en el avance de la explotación minera, centro poblado de malenowski, distrito de Mazuco, región de madre de dios” se centra en el monitoreo de avance espacial de la explotación minera, mediante el mapeo y procesamiento digital multi-temporal de imágenes de satélite con principios de Teledetección espacial. La metodología empleada utilizó las imágenes de satelitales Landsat y Sentinel. Se logró identificar de manera indirecta las zonas de laboreo en la explotación minera. Para la clasificación de coberturas se utilizó el algoritmo “Random Forest” con la cual se obtuvo el mapa de cobertura de uso de tierras. los resultados muestran que las técnicas aplicadas son muy efectivas y

aplicables en estudios multi-temporales. Según el mapa de cobertura de uso de tierras elaborado, la pérdida de bosque amazónico por causa de la minería es más de 33 km² en el periodo de 1990 a 2016. Se validó y calculo la precisión del clasificador mediante la matriz de confusión, indica que el análisis estadístico tiene una exactitud mayor al 95 %.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Análisis Multitemporal

Según Chuvieco Salinero E. (1996), el análisis multitemporal permite detectar cambios entre diferentes fechas de referencia, deduciendo la evolución del medio natural o las repercusiones de la acción humana sobre el medio.

Según Palacios (2015), el análisis de tipo espacial que se realiza mediante la comparación de las coberturas interpretadas en dos o más imágenes de satélite o mapas de un mismo lugar en diferentes fechas y permite evaluar los cambios en la situación de las coberturas que han sido clasificadas. Como los meses del año y los años entre si difieren en sus características climáticas, un análisis multitemporal es mucho más amplio que el análisis de una sola imagen.

Según Sobrino (2000), el análisis multitemporal permite detectar cambios entre diferentes fechas de referencia, deduciendo la evolución del medio natural o las repercusiones de la acción humana sobre el medio.

2.2.2. Crecimiento Urbano

Según UNICEF (2012), el aumento (relativo o absoluto) en el número de personas que viven en los pueblos y las ciudades. El ritmo de crecimiento de la población urbana depende del aumento natural de dicha población y de los nuevos habitantes que adquieren

estas zonas debido, por una parte, a la migración neta del campo a las ciudades y, por otra parte, a la reclasificación de los asentamientos rurales en ciudades y pueblos.

Según Capel (1971), la definición de la ciudad y la determinación del límite inferior de lo urbano, en ocasiones, de la existencia de un continuo rural-urbano- han sido cuestiones ampliamente debatidas por los investigadores y por los organismos oficiales de estadística y que ha tenido muy diversas soluciones. En realidad, el problema presenta dos vertientes muy distintas. Por un lado, está la cuestión de la definición teórica del hecho urbano en contraposición a lo rural, y la enumeración de los rasgos esenciales de la ciudad. Por otro, la definición concreta utilizada en cada país para determinar con fines estadísticos lo urbano, y fijar el límite a partir del cual puede empezar a hablarse de ciudad como entidad distinta de los núcleos rurales o semi rurales.

Para fines del presente estudio, entendemos por crecimiento urbano a lo manifestado por Capel (1971), en términos que es el aumento físico del tamaño de la ciudad, es decir es el incremento del área urbana o urbanizada, debido a factores como el crecimiento sociodemográfico (aumento de la población que demanda un espacio en el ciudad) y esta a su vez depende del movimiento o crecimiento económico de la ciudad, ya sea en industria, comercio, servicios u otros (en condición de atractivo de la mano de obra y/u oportunidades de superación).

“Ello lleva a discutir el problema de qué significa “crecimiento” y qué, “urbano”. Respecto a lo primero, señala Ledrut que el crecimiento no se reduce a un fenómeno cuantitativo global, sino que implica también cambios de forma, es decir, transformación de cierto número de relaciones internas y externas del objeto estudiado. Por ello Ledrut propone denominar crecimiento urbano a “un proceso en el curso del cual existen una serie de cambios que se refieren tanto al aumento del tamaño (tamaño del objeto urbano

o de la urbanización) como a las variaciones en ciertas relaciones y en el sistema de estas relaciones, propias de un objeto designado provisionalmente como objeto urbano”. En realidad, el concepto que se posea del objeto urbano determinará directamente los elementos y las relaciones estructurales que se considerarán.

Según Capel (1971), los enfoques “societales” ponen el acento “en la realidad social de la ciudad y de lo urbano, concebidos como modalidades de la existencia social”; estos enfoques consideran fundamentalmente las variables de tamaño, las sociales (entre ellas el tamaño demográfico) y las económicas (la producción), aunque a veces estas últimas son tratadas como variables independientes y exógenas. Los enfoques sistémicos “definen la ciudad y el crecimiento urbano en relación al sistema de la acción social”.

2.2.3. Plan de Ordenamiento Territorial

Según Ministerio del Ambiente (2015), es un proceso técnico, administrativo y político de toma de decisiones concertadas con los actores sociales, económicos, políticos y técnicos para la ocupación ordenada y uso sostenible del territorio. Considera las condiciones sociales, ambientales y económicas para la ocupación del territorio, así como el uso y aprovechamiento de los recursos naturales para garantizar un desarrollo equilibrado y en condiciones de sostenibilidad. El Ordenamiento Territorial busca gestionar y minimizar los impactos negativos que podrían ocasionar las diversas actividades y procesos de desarrollo que se llevan a cabo en el territorio, con lo que se garantiza el derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado para el desarrollo de vida.

2.2.4. Plan de Acondicionamiento Territorial

Según Ley N° 30156, D.S. N° 022-2016-VIVIENDA (2016), es el instrumento técnico - normativo de planificación física integral en el ámbito provincial que orienta y regula la organización físico - espacial de las actividades humanas en cuanto a la distribución, categoría, rango jerárquico y rol de los centros poblados en los ámbitos urbano y rural; la conservación y protección del recurso y patrimonio natural y cultural; el desarrollo de la inversión pública y privada en los ámbitos urbano y rural del territorio provincial; y, la ocupación y uso planificado del territorio, para lograr el mejoramiento de los niveles y calidad de vida de la población urbana y rural, bajo el enfoque territorial prospectivo, competitivo y de sostenibilidad, en concordancia con el Plan de Ordenamiento Territorial Regional, las Políticas, las Regulaciones Regionales y Nacionales y, el SINCEP.

2.2.5. Habilitación Urbana

Según Ley N° 29090 (2012), el proceso de convertir un terreno rústico o eriazos en urbano, mediante la ejecución de obras de accesibilidad, de distribución de agua y recolección de desagüe, de distribución de energía e iluminación pública. Adicionalmente, el terreno puede contar con redes para la distribución de gas y redes de comunicaciones. Este proceso requiere de aportes gratuitos y obligatorios para fines de recreación pública, que son áreas de uso público irrestricto; así como para servicios públicos complementarios, para educación, salud y otros fines, en lotes regulares edificables que constituyen bienes de dominio público del Estado, susceptibles de inscripción en el Registro de Predios de la Superintendencia Nacional de los Registros Públicos. El reglamento establece la extensión mínima de la habilitación en la que aplica el aporte para salud, así como el porcentaje respectivo." "Están exonerados de realizar

aportes reglamentarios los proyectos de inversión pública, de asociación público-privada o de concesión que se realicen para la prestación de servicios públicos esenciales o para la ejecución de infraestructura pública.

2.2.5.1. Tipos de Habilitación Urbana

Habilitaciones Residenciales

Según Ministerio de Vivienda & Saneamiento (2006), constituyen habilitaciones residenciales aquellos procesos de habilitación urbana que están destinados predominantemente a la edificación de viviendas y que se realizan sobre terrenos calificados con una Zonificación afín.

Las Habilitaciones Residenciales se clasifican en:

- a) Habilitaciones para uso de vivienda o Urbanizaciones
- b) Habilitaciones para uso de Vivienda Taller
- c) Habilitaciones para uso de Vivienda Tipo Club
- d) Habilitación y construcción urbana especial

Habilitaciones Para Uso Comercial

Según Ministerio de Vivienda & Saneamiento (2006), son habilitaciones para uso comercial, aquellas destinadas predominantemente a la edificación de locales donde se comercializan bienes y/o servicios y que se realizan sobre terrenos calificados con una Zonificación afín o compatible.

Las Habilitaciones para uso Comercial se clasifican en:

- a) Habilitaciones para uso de Comercio Exclusivo
- b) Habilitaciones para uso de Comercio y otros usos.

Habilitaciones Para Uso Industrial

Según Ministerio de Vivienda & Saneamiento (2006), son habilitaciones para uso industrial aquellas destinadas predominantemente a la edificación de locales industriales y que se realizan sobre terrenos calificados con una Zonificación afín o compatible.

Las Habilitaciones para uso Industrial pueden ser de diferentes tipos, los cuales se establecen en función a tres factores concurrentes:

- a) Usos permisibles.
- b) Calidad mínima de obras.
- b) Modalidad de ejecución.

Habilitaciones Para Usos Especiales

Según Ministerio de Vivienda & Saneamiento (2006), constituyen habilitaciones para usos especiales aquellos procesos de habilitación urbana que están destinados a la edificación de locales educativos, religiosos, de salud, institucionales, deportivos, recreacionales y campos feriales.

Las Habilitaciones para Usos Especiales, de acuerdo a su finalidad, podrán llevarse a cabo sobre terrenos ubicados en sectores de Expansión Urbana o que constituyan islas rústicas, con sujeción a los parámetros establecidos en el Cuadro Resumen de Zonificación y las disposiciones del Plan de Desarrollo Urbano.

Habilitaciones en Riberas y Laderas

Según Ministerio de Vivienda & Saneamiento (2006), son habilitaciones en riberas aquellas que se realizan en terrenos colindantes a las franjas reservadas de los ríos, playas

o lagos, las cuales se regirán por las normas técnicas correspondientes a la naturaleza de la habilitación urbana a realizarse, las disposiciones contenidas en la presente norma técnica y a las normas emitidas por los organismos competentes.

Son Habilitaciones en Laderas aquellas que se realizan en terrenos con pendientes mayores a 20% de pendiente, las cuales se regirán por las normas técnicas correspondientes a la naturaleza de la habilitación urbana a realizarse y las disposiciones contenidas en la presente norma técnica.

Reurbanización

Según Ministerio de Vivienda & Saneamiento (2006), la reurbanización constituye el proceso de recomposición de la trama urbana existente mediante la reubicación o redimensionamiento de las vías, y que puede incluir la acumulación y nueva subdivisión de lotes, la demolición de edificaciones y cambios en la infraestructura de servicios.

Los casos de acumulación y/o subdivisión de lotes, que no incluyan la reubicación o redimensionamiento de vías, no constituyen procesos de reurbanización.

2.2.6. Principios que Rigen Competencias Municipales

Según Ley N° 27972 (2003), Indica: Las normas y disposiciones municipales se rigen por los principios de exclusividad, territorialidad, legalidad y simplificación administrativa, sin perjuicio de la vigencia de otros principios generales del derecho administrativo.

Ninguna autoridad puede avocarse a conocer o normar las materias que la presente ley orgánica establece como competencia exclusiva de las municipalidades.

Normas Expedidas por Diferentes Instancias Municipales

Los concejos municipales ejercen sus funciones de gobierno mediante la aprobación de ordenanzas y acuerdos. Los asuntos administrativos concernientes a su organización interna, los resuelven a través de resoluciones de concejo. Normas expedidas por diferentes instancias municipales resoluciones de concejo. El alcalde ejerce las funciones ejecutivas de gobierno señaladas en la presente ley mediante decretos de alcaldía. Por resoluciones de alcaldía resuelve los asuntos administrativos a su cargo. Las gerencias resuelven los aspectos administrativos su cargo a través de resoluciones y directivas.

De las Competencias Municipales

La Ley de Bases de la Descentralización establece la condición de exclusiva o compartida de una competencia.

Competencias Exclusivas o Compartidas

Las funciones específicas municipales que se derivan de las competencias se ejercen con carácter exclusivo o compartido entre las municipalidades provinciales y distritales, con arreglo a lo dispuesto en la presente ley orgánica.

Competencias y Funciones Específicas de las Municipalidades Provinciales:

Dentro del marco de las competencias y funciones específicas establecidas en la presente ley, el rol de las municipalidades provinciales comprende:

Planificación del Desarrollo local y Ordenamiento Territorial Provincial

Planificar integralmente el desarrollo local y el ordenamiento territorial, en el nivel provincial.

Las municipalidades provinciales son responsables de promover e impulsar el proceso de planeamiento para el desarrollo integral correspondiente al ámbito de su provincia, recogiendo las prioridades propuestas en los procesos de planeación de desarrollo local de carácter distrital.

Coordinación Estratégica de Planes de Desarrollo Distritales

Promover, permanentemente la coordinación estratégica de los planes integrales de desarrollo distrital.

Los planes referidos a la organización del espacio físico y uso del suelo que emitan las municipalidades distritales deberán sujetarse a los planes y las normas municipales provinciales generales sobre la materia.

Proyectos de Inversión y Servicios Públicos Municipales con Economía de Escala Provincial

Promover, apoyar y ejecutar proyectos de inversión y servicios públicos municipales que presenten, objetivamente, externalidades o economías de escala de ámbito provincial; para cuyo efecto, suscriben los convenios pertinentes con las respectivas municipalidades distritales.

Organización de Espacio y Uso del Suelo, Protección y Conservación del Ambiente

Emitir las normas técnicas generales, en materia de organización del espacio físico y uso del suelo, así como sobre protección y conservación del ambiente.

Servicios Públicos en Municipalidades Conurbadas, Mecanismos de Coordinación

Cuando se trate del caso de municipalidades conurbadas, los servicios públicos locales que, por sus características, sirven al conjunto de la aglomeración urbana, deberán contar con mecanismos de coordinación en el ámbito de la planificación y prestación de dichos servicios entre las municipalidades vinculadas, de modo que se asegure la máxima eficiencia en el uso de los recursos públicos y una adecuada provisión a los vecinos.

Materias de Competencia Municipal:

Las municipalidades, tomando en cuenta su condición de municipalidad provincial o distrital, asumen las competencias y ejercen las funciones específicas señaladas en el Capítulo II del presente Título, con carácter exclusivo o compartido, en las materias siguientes:

1. Organización del espacio físico-Uso del suelo
 - 1.1. Zonificación.
 - 1.2. Catastro urbano y rural.
 - 1.3. Habilitación urbana.
 - 1.4. Saneamiento físico legal de asentamientos humanos
 - 1.5. Acondicionamiento territorial.
 - 1.6. Renovación urbana.
 - 1.7. Infraestructura urbana o rural básica.
 - 1.8. Vialidad.
 - 1.9. Patrimonio histórico, cultural y paisajístico.

2.2.7. Teledetección

Según Sobrino (2000), la teledetección es el vocablo usado por los hispanoparlantes para referirse al término inglés “remote sensing”, que se traduce literalmente como percepción remota. Se refiere a la ciencia, técnica o, incluso “arte” para algunos, de obtener información (imágenes) de la superficie de nuestro planeta a distancia, sin entrar en contacto directo con él. Pero la teledetección también incluye todo el trabajo realizado a posteriori con esas imágenes, es decir, su procesamiento e interpretación. La teledetección más utilizada se refiere a la captura de imágenes desde satélites o plataformas aéreas (aviones, helicópteros o vehículos aéreos no tripulados). Sin embargo, las ventajas que ofrece la observación espacial desde satélites, esto es, la cobertura global y exhaustiva de la superficie terrestre, la observación multi escala y no destructiva y la cobertura repetitiva, han propiciado el desarrollo y utilización de este tipo de productos de manera sistemática.

Según JARS (1993), “la ciencia y la tecnología por la cual se pueden identificar las características de los objetos de interés, medir o analizar las características sin contacto directo”.

Según Perez Gutierrez & Muñoz Nieto (2006), la teledetección es entendida como una técnica que tiene por objeto la captura, tratamiento y análisis de las imágenes digitales tomadas desde satélites artificiales.

Según Chuvieco Salinero E. (1996), la teledetección espacial es una técnica que permite adquirir imágenes de la superficie terrestre o marina y la atmósfera desde sensores instalados en plataformas espaciales. Por ser una técnica que no está en contacto directo con el objeto requiere que entre el sensor y el objeto haya un flujo de información, el cual es conocido como radiación electromagnética la cual puede ser emitida por el objeto o

proceder de otro cuerpo y haber sido reflejada por este. Todos los cuerpos u objetos (seres vivos, planetas u objetos inanimados) emiten radiación electromagnética. La cantidad y tipo de radiación que emiten depende básicamente de su temperatura. El mayor emisor de esta radiación en el sistema solar es el Sol, y la radiación que refleja la Tierra y los objetos situados en ella es la que se utiliza comúnmente en Teledetección. Otro tipo de emisión puede provenir del mismo sensor, el cual incorpora en su sistema un rayo emisor de radiación.

2.2.7.1. Componentes de un Sistema de Teledetección

Según Chuvieco Salinero E. (1996), un sistema de teledetección incluye los siguientes elementos:

- **Fuente de Energía:** Es originado de la radiación electromagnética que el sensor va a captar. Puede tratarse de una fuente pasiva como la luz solar o activa cuando es emitida por el sensor que luego capta el reflejo (como el radar).
- **Cubierta terrestre:** Son los rasgos naturales o realizados por el hombre (vegetación, suelo, rocas, construcción, etc.) que refleja la señal hacia el sensor.
- **Sistema sensor:** Compuesto por el sensor propiamente dicho (cámaras, radar, etc.) y la plataforma que lo alberga (satélite, avión, globo). Tiene la misión de captar la energía proveniente de la cubierta terrestre y almacenarla o enviarla directamente al sistema de recepción.
- **Sistema de recepción-comercialización:** Es el que recibe la información del sistema sensor, la guarda en formato apropiado y la distribuye a los usuarios.
- **Interprete:** quien convierte los datos en información temática de interés (agricultura, forestal, geografía, catastro, medio ambiente, militar, etc.) ya sea mediante procedimientos y técnicas visuales o digitales.

- Usuario final: Es el beneficiario del documento fruto de la interpretación, así como de decidir sobre las consecuencias que de él deriven.

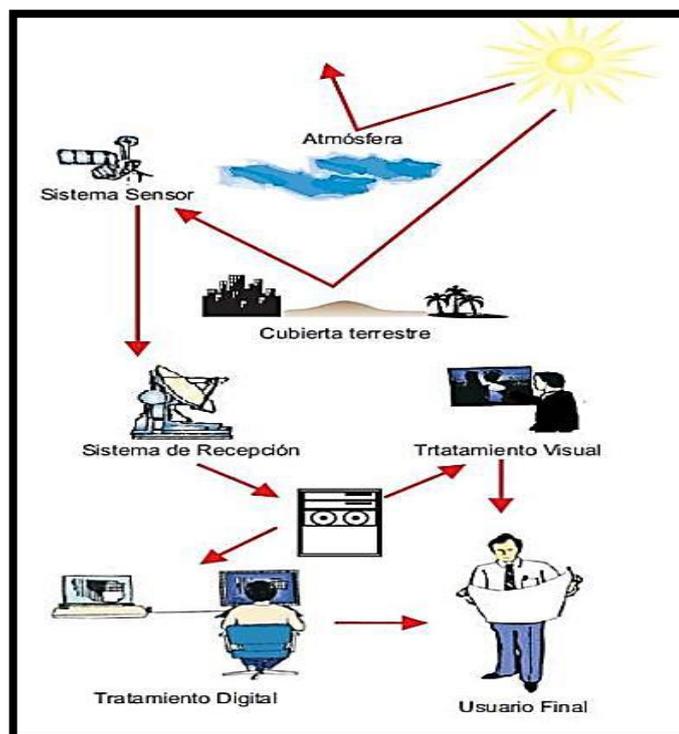


Figura 1: Componentes de un sistema de teledetección

Fuente: Chuvieco Salinero E. (2008)

2.2.7.2. El Espectro Electromagnético

Según García Labrador, Evora Brondo, & Arbelo Perez (2012), los ojos de los seres humanos se pueden considerar como sensores remotos ya que detectan la luz reflejada por los objetos de nuestro entorno.

Sin embargo, la visión humana sólo es capaz de percibir una pequeña parte del espectro electromagnético, el visible. La luz visible es sólo una de las muchas formas de radiación electromagnética que existen. Así, las ondas de radio, el calor, los rayos ultravioletas o los rayos X son otras formas comunes. En teledetección, lo normal es caracterizar a las ondas electromagnéticas por su longitud de onda en micrómetros (μm , 10 m) o nanómetros (nm, 10 m), es decir, por la posición que ocupan dentro del espectro

electromagnético. De esta forma quedan definidas varias regiones del espectro. Aunque por conveniencia se les asignan diferentes nombres a estas regiones (ultravioleta, visible, infrarrojo, microondas, etc.), no existen divisiones exactas entre unas y otras (Figura 2).

Los sensores montados a bordo de los satélites de teledetección son capaces de detectar y grabar radiaciones de las regiones no visibles del espectro electromagnético, desde el ultravioleta hasta las microondas.

Según NASA (2007), el espectro electromagnético es “el sistema que clasifica, de acuerdo con la longitud de onda, toda la energía (de corto cósmica a largo radio) que se mueve, armónicamente, a la velocidad constante de la luz”.

Tabla 2: Características de la región espectral.

Región Espectral (bandas)	Longitud de onda (λ)	Características
Rayos Gamma	< 0,03 nm	Radiación completamente absorbida por las capas superiores de la atmósfera. No se usa en teledetección
Rayos X	0,03 - 30 nm	Radiación completamente absorbida por la atmósfera. No se usa en teledetección
Ultravioleta	0,03 - 04 μ m	La radiación con $\lambda < 0,3 \mu$ m es completamente absorbida por la capa de ozono
Visible (azul, verde y rojo)	0,4 - 0,7 μ m	Se puede detectar a través de fotodetectores y películas fotosensibles normales (color y B/N).
Infrarrojo Próximo	0,7 - 1,3 μ m	Discrimina masas vegetales y concentraciones de humedad.
Infrarrojo Medio	1,3 - 8 μ m	Estimación del contenido de humedad en la vegetación y detección de focos de alta temperatura.
Infrarrojo Térmico	8 - 14 μ m	Detecta el calor proveniente de la mayor parte de la cubierta terrestre.
Micro-Ondas	0,1 - 100 cm	Radiación de grandes longitudes de onda, capaces de penetrar nubes, nieblas y lluvia.
Ondas de Radio	> 100 cm	Radiación con las mayores longitudes de onda del espectro. Usadas en telecomunicaciones

Fuente: Bravo Morales (2017).

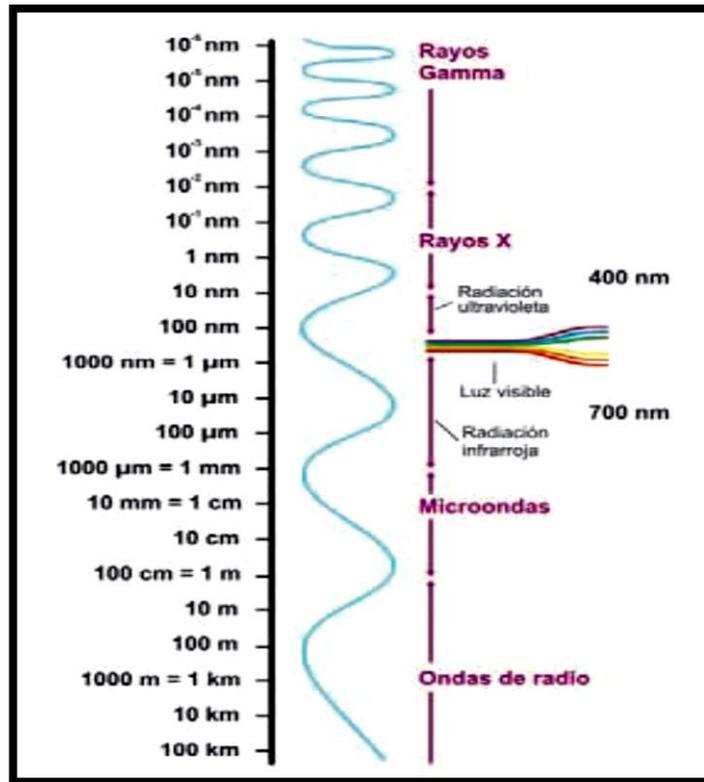


Figura 2: Espectro electromagnético

Fuente: Garcia Labrador, Evora Brondo, & Arbelo Perez (2012)

2.2.7.3. Firma Espectral

Según NASA (2007), la firma espectral es la reflectancia como una función de longitud de o (véase la Figura curvas espectrales de reflectancia de cuatro diferentes Targets); cada material tiene una firma única, por lo tanto, se puede utilizar para la clasificación de materiales.

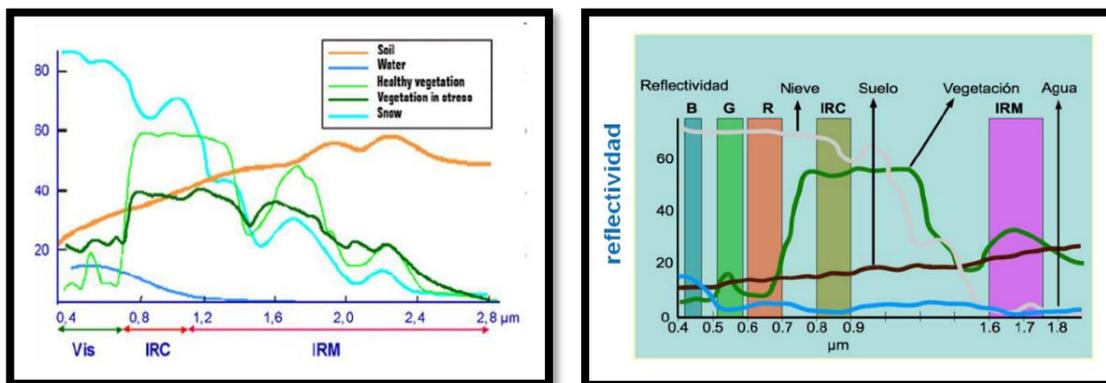


Figura 3: Curvas de reflectancia espectral

Fuente: Gonzalez (2013)

2.2.7.4. Tipos de Sensores

Según Chuvieco Salinero E. (2008), los sensores se pueden clasificar dependiendo del origen de la señal captada. Los Sensores Pasivos se basan en la detección de las características reflectantes del sistema observado (objeto), es decir el sensor cumple la función de registrar la radiación emitida por el sistema observado o la radiación solar reflejada. Ejemplos de este tipo de sensor son las cámaras fotográficas, los radiómetros, los sistemas de video.

2.2.7.4.1. Sensores Pasivos

Según Mora (2007), los sensores pasivos se limitan a recoger la energía electromagnética procedente de las cubiertas terrestres, ya sea ésta reflejada de los rayos solares, ya emitida en virtud de su propia temperatura. Este tipo de sensor suele clasificarse dependiendo del procedimiento que emplean para recibir la radiación procedente de los objetos. El primer grupo está constituido por sensores fotográficos (por ejemplo, las cámaras fotográficas), el segundo grupo están los sensores óptico electrónico (exploradores de barrido y empuje y las cámaras de vidicón) y en el tercer grupo los sensores de antena (Radiómetros de micro-ondas).

Las Cámaras Fotográficas todavía siguen siendo el medio más utilizado en teledetección aérea, pero tienen una importancia limitada en plataformas espaciales, al estar restringida la adquisición a la carga de película que puede incluirse en el satélite.

Los sensores óptico-electrónicos combinan una óptica similar a la fotografía con un sistema de detección electrónica, que evita la dependencia de una superficie sólida de grabación. Los exploradores de barrido (scanner) son los más habituales en teledetección espacial. Están constituidos por un espejo móvil, que oscila perpendicularmente a la

dirección de trayectoria del satélite y les permite explorar una franja de terreno a ambos lados de la traza del satélite y generalmente son escáner multiespectrales, lo que permite medir el brillo simultáneamente para diferentes longitudes de onda. Este tipo de sensor, convierte una señal analógica, la radiancia recibida, en un valor digital, por lo que no puede hablarse de fotografías (aunque en algunas ocasiones se presente la información en formato fotográfico) sino de imágenes digitales, debido a su estructura interna. Los valores numéricos (ND) pueden traducirse, de nuevo, en niveles de reflectividad o temperatura, conociendo los coeficientes de calibrado del sensor y las condiciones de adquisición. Estos sensores facilitan una representación gráfica y además permiten una medición física de la superficie que observan.

Los exploradores de empuje (pushroom) no poseen el espejo oscilante debido a que estos poseen una cadena de detectores que cubren todo el campo de visión del sensor. La tecnología de este tipo de sensor permite mejorar la resolución espacial respecto a los barredores convencionales debido a que se elimina la parte móvil (el espejo). Las ventajas en cuanto a que la información es digital y que trabaja en distintas bandas del espectro se mantienen para este tipo de sensor. Las cámaras de video, las cuales pueden trabajar en forma pancromática o multibanda, son mayormente utilizadas en estudios de recursos naturales.

La videografía se define como una nueva técnica de teledetección, que permite obtener información calibrada con gran nivel de detalle y bajo costo. Este tipo de sensor fue incluido en algunas misiones espaciales como Apollo, TIROS y Nimbus, así como en los tres primeros satélites del Landsat.

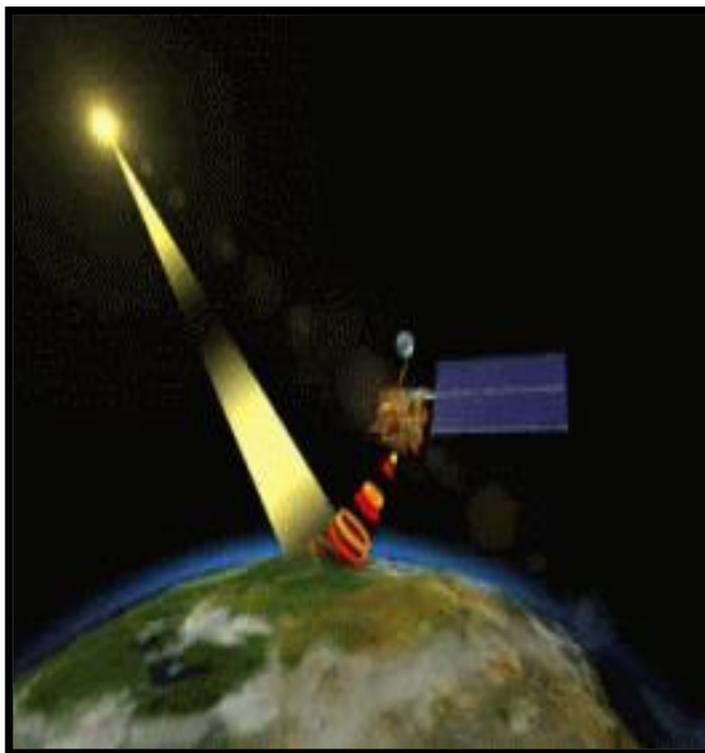


Figura 4: Sensor Pasivo.

Fuente: Gonzalez (2013)

2.2.7.4.2. Sensores Activos

Según Mora (2007), estos sensores son capaces de emitir un haz energético que, posteriormente, recogen tras su reflexión sobre la superficie que se pretende observar. El más conocido es el RADAR, radiómetro activo de micro-ondas, que trabaja en una banda comprendida entre 0.1 cm y 1 m. El LIDAR emite pulsos de luz polarizada entre el ultravioleta y el infrarrojo cercano. Hasta hace pocos años, los sensores Lidar más utilizados se dirigían a explorar las condiciones atmosféricas: detección de aerosoles y partículas contaminantes del aire, medición de humedad, presión y temperatura del aire, y la estimación de la velocidad del viento.

La principal desventaja de este tipo de sensores (activos) es su baja resolución espacial.

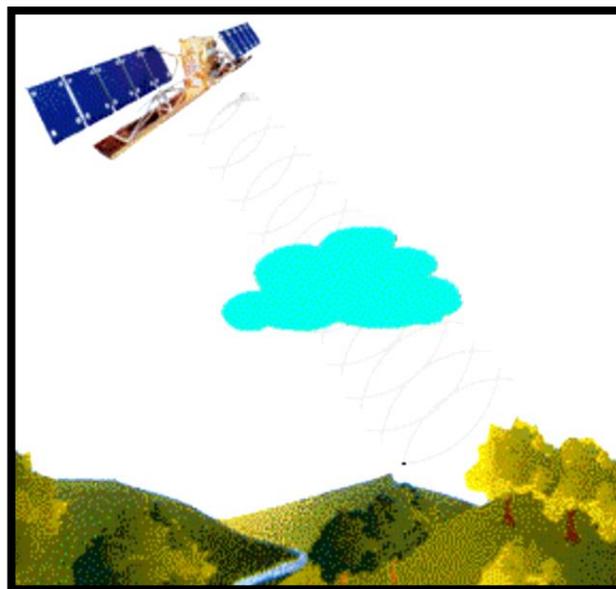


Figura 5: Sensor Activo.

Fuente: Gonzalez (2013)

2.2.7.5. Resolución de un Sistema Sensor

Según Lillesand (2000), la resolución de un sensor es su habilidad para registrar información en detalle de las distintas cubiertas. La resolución depende de la capacidad de los sensores para distinguir variaciones de la energía electromagnética, del detalle espacial que captura y del número y ancho de las bandas que alberga.

2.2.7.6. Resolución Espacial

Según Lillesand (2000), es el mínimo detalle espacial (píxel) que registra un sensor. Depende del sistema óptico del sensor y de la altitud de la plataforma.

Según Garcia Labrador, Evora Brondo, & Arbelo Perez (2012), la resolución espacial es una medida de la distancia angular o lineal más pequeña que puede captar un sensor remoto de la superficie de la Tierra, y viene representada por un píxel. Un píxel es la unidad mínima que conforma una imagen digital. El píxel es generalmente de forma cuadrada, por lo que la longitud medida sobre el terreno de un lado del píxel define la

resolución espacial del sensor. La resolución espacial de un sensor se suele expresar en metros o metros/píxel.

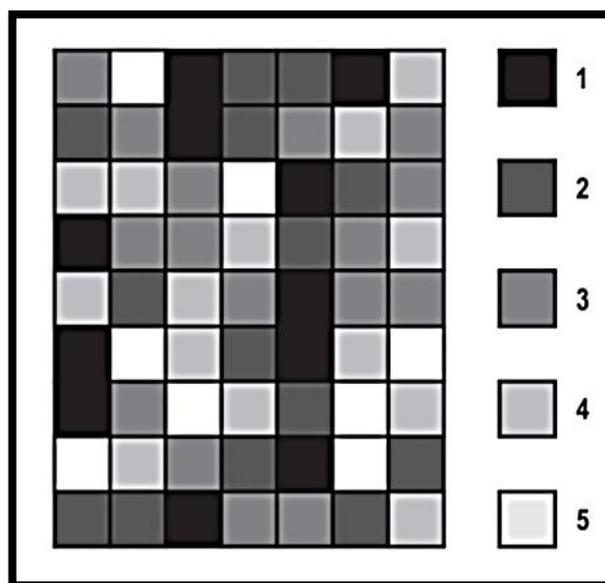


Figura 6: Formato de una imagen digital (7 x 9 píxeles). Cada píxel representa un área de la superficie terrestre. Los tonos de gris de cada píxel hacen referencia a distintos niveles de energía detectada.

Fuente: García Labrador, Evora Brondo, & Arbelo Perez (2012)

2.2.7.7. Resolución Espectral

Según Lillesand (2000), el número y anchura de bandas espectrales que puede discriminar el sensor. Entre mayor sea esta resolución se tendrá información del comportamiento de una misma cobertura en diferentes bandas espectrales. Esta resolución facilita la caracterización espectral de las diferentes cubiertas y entre más estrechas sean estas bandas más coherentes es la información capturada. Bandas muy anchas suponen registrar un valor promedio, que puede encubrir la diferenciación espectral entre cubiertas de interés.

Según García Labrador, Evora Brondo, & Arbelo Perez (2012), como se comentó previamente, las distintas superficies responden de manera diferente a la radiación electromagnética. Esto significa que se puede obtener una firma espectral específica para

cada superficie. Así, los diferentes tipos de superficie, naturales o no, se pueden identificar en base a sus firmas espectrales, pero será necesario que el espectro sea suficientemente detallado en términos de intervalos de longitud de onda y que cubra un rango espectral ancho.

Los dispositivos de teledetección generalmente sólo muestrean el espectro electromagnético detectando la radiación en determinados intervalos de longitudes de onda. Por ejemplo, un sensor que es sensible a las longitudes de onda entre 0.4 y 0.5 μm detectaría la luz azul.

Este intervalo se conoce con el nombre de banda espectral o canal de los datos de una imagen. Se define la resolución espectral de un sensor como el número y anchura de las bandas espectrales que puede discriminar.

Un incremento en la resolución espectral resultará en un número mayor de canales o bandas espectrales. Sin embargo, esta resolución adicional supone también un costo en términos de volumen de datos e incremento del costo de procesamiento.

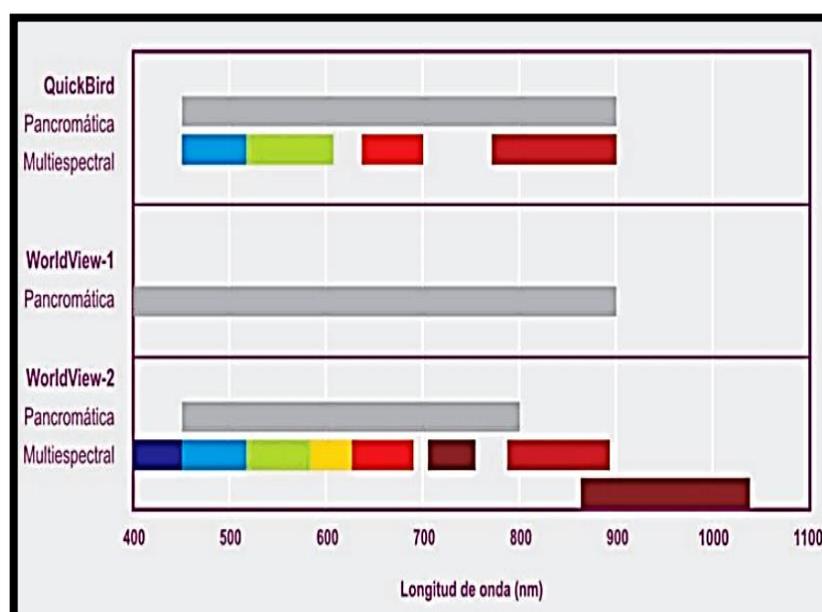


Figura 7: Bandas espectrales de diferentes sensores de teledetección

Fuente: Garcia Labrador, Evora Brondo, & Arbelo Perez (2012)

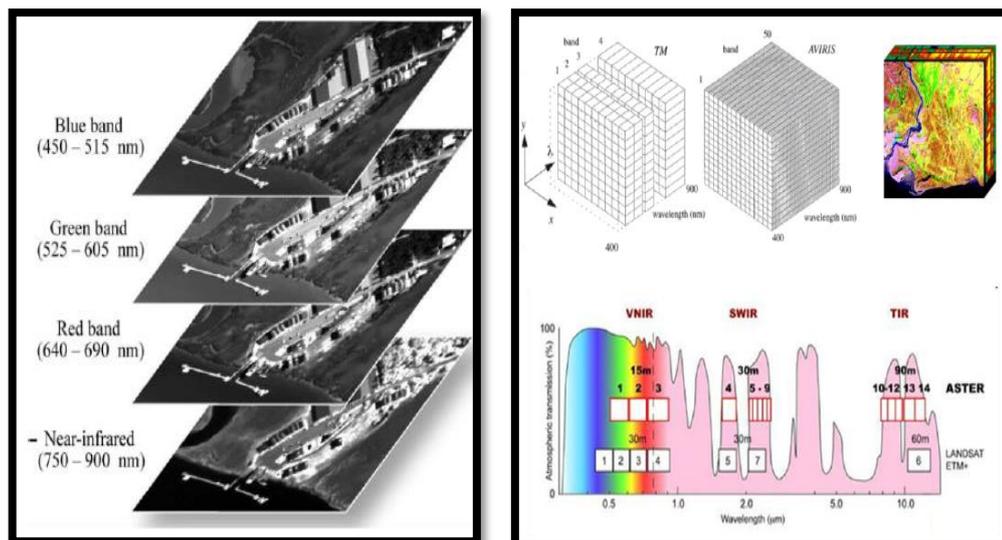


Figura 8: Bandas espectrales de diferentes sensores de teledetección

Fuente: Gonzalez (2013)

2.2.7.8. Resolución Radiométrica

Según Garcia Labrador, Evora Brondo, & Arbelo Perez (2012), la resolución radiométrica de los datos de teledetección se define como la cantidad mínima de energía requerida para incrementar el valor de un píxel en un nivel digital (ND).

Asimismo, se define la amplitud o extensión radiométrica como el intervalo dinámico, o máximo número de niveles digitales, que pueden ser detectados por un sensor particular. En los sensores más recientes lo habitual suele ser que los niveles vayan de 0 a 2047. En este caso hablaríamos de 11 bits de resolución radiométrica, ya que todos los valores de ese intervalo se pueden representar mediante 11 bits (dígitos binarios) en un sistema digital.

La resolución radiométrica en imágenes digitales es comparable al número de tonos de gris en una fotografía en blanco y negro, ya que ambos se relacionan con el contraste. El ojo humano solo es capaz de percibir aproximadamente 30 tonos de gris diferentes, lo

que implica que normalmente la información visual en las imágenes digitales es menor a la que realmente contienen.

Aunque la resolución radiométrica define el máximo número de niveles digitales detectables por un sensor, normalmente una imagen real no los contiene todos y, además, no suele haber máximos y mínimos simultáneamente. En estos casos se pueden aplicar técnicas de tratamiento de imágenes para mejorar su apariencia visual, pero nunca la resolución radiométrica propia del sensor.

La dispersión y absorción que provoca la atmósfera en la radiación que alcanza el sensor reducen el número de ND en las imágenes, especialmente en las longitudes de onda más cortas. A efectos visuales esto se traduciría en una pérdida de contraste.

Existen procedimientos que permiten obtener medidas de reflectancia relativas a los objetos de la superficie eliminando o reduciendo el efecto de la atmósfera (Figura 9).

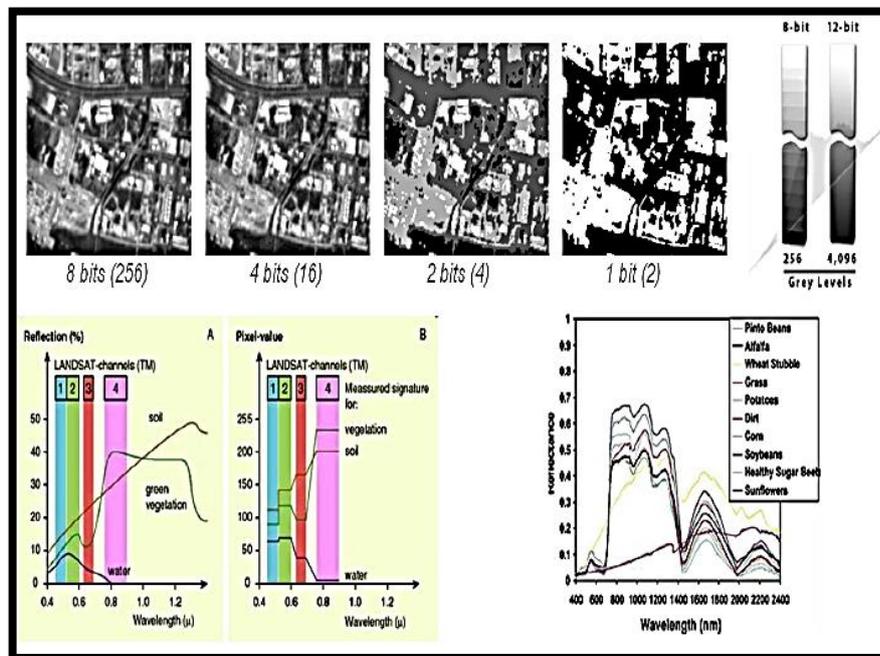


Figura 9: Imágenes con variaciones de intensidad de energía electromagnética, en los cuales en algunos niveles se nota la intensidad de discriminación del sensor.

Fuente: Gonzalez (2013).

El cálculo de radiancia espectral es el paso fundamental para convertir los valores de una imagen de distintos sensores y plataformas a una escala radiométrica común físicamente significativa (Chander et al., 2009). La calibración radiométrica de los sensores (e.g., TM, ETM+ y OLI) consiste en ajustar los números digitales sin procesar (Q), transmitidos desde el satélite, a números digitales calibrados (Qcal). Esto implica que todas las escenas de un mismo sensor tengan una misma escala radiométrica en un periodo específico de toma de la imagen. Para imágenes de tipo Landsat adquiridos por el Operational Land Imager (OLI) y el Thermal Infrared Sensor (TIRS) la siguiente ecuación se usa para realizar la conversión a radiancia (L_λ):

$$L_\lambda = M_L Q_{cal} + A_L$$

Donde,

- L_λ = radiancia espectral TOA ($W \text{ atts}/m^2 * \text{srad} * \mu m$)
- M_L = Factor de reescalamiento multiplicativo específico de banda de los metadatos (RADIANCE_MULT_BAND_x, donde x es el número de banda)
- A_L = Factor de reescalamiento aditivo específico de banda de los metadatos (RADIANCE_ADD_BAND_x, donde x es el número de banda)
- Q_{cal} = Valores de píxel del producto estándar cuantificados y calibrados (DN)

2.2.7.9. Resolución Temporal

Según Garcia Labrador, Evora Brondo, & Arbelo Perez (2012); la resolución temporal es el ciclo de repetición, o intervalo de tiempo, entre dos adquisiciones de imágenes sucesivas de una misma porción de la superficie y depende, en gran medida, de las características orbitales del satélite. Muchas veces también se la denomina periodo de

revisita. Normalmente los satélites meteorológicos tienen una frecuencia diaria (NOAA) o incluso menor (METEOSAT), mientras que la de los satélites de recursos naturales (tipo LANDSAT) es de 16 a 18 días. Sin embargo, muchos satélites actuales tienen la capacidad de reorientar el sensor (Figura 10), lo que les permite aumentar su frecuencia de revisita para una zona determinada, muy importante en el seguimiento de desastres naturales o para detectar procesos que tienen poca perdurabilidad en el tiempo.

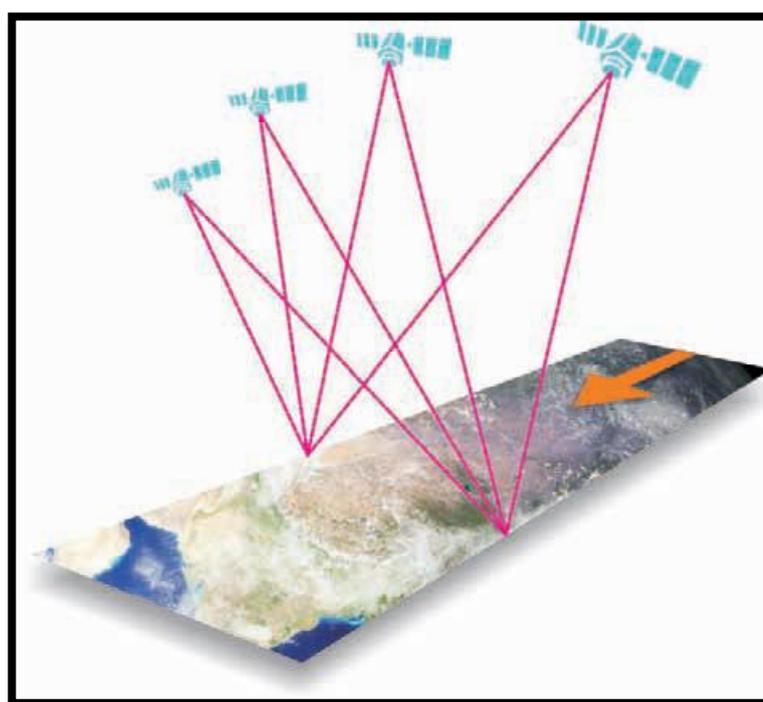


Figura 10: Mayor resolución temporal gracias a la reorientación de sensores en pases consecutivos.

Fuente: García Labrador, Evora Brondo, & Arbelo Perez (2012)

2.2.7.10. Resolución Angular

Según Chuvieco Salinero E. (2006), esta resolución se refiere a la capacidad de un sensor para observar la misma zona desde distintos ángulos. La observación multiangular resulta de gran interés para estimar algunas variables atmosféricas, ya que al variar el ángulo de mira se está observando la superficie con distinto espesor atmosférico, variando en consecuencia los procesos de absorción y dispersión.

2.2.8. Imágenes Satelitales

Según Bravo Morales (2017), las imágenes Satelitales están confeccionadas por matrices, en las que cada celda representa un píxel, las dimensiones de este píxel dependerá de la Resolución espacial del sensor. Los sensores registran la radiación electromagnética que proviene de las distintas coberturas y las almacena en cada píxel, de acuerdo a los intervalos de longitudes de onda, en las que este programado el sensor para captar.

Esta energía electromagnética es representada en cada píxel por un valor digital al cual se le agrega una tonalidad, este valor es llamado Nivel Digital (ND), la cantidad de niveles digitales que se podrá representar dependerá de la Resolución Radiométrica del sensor, para un sensor con Resolución Radiométrica de 8 bit los niveles digitales varían entre 0 y 255, siendo en la escala de grises el cero igual al color negro y el 255 igual al color blanco.

La posición de cada píxel en la imagen satelital está determinada por un eje de coordenadas XYZ.

X: N° de columna de la matriz.

Y: N° de fila de la matriz.

Z: Nivel digital (valor de intensidad de la escala de grises).

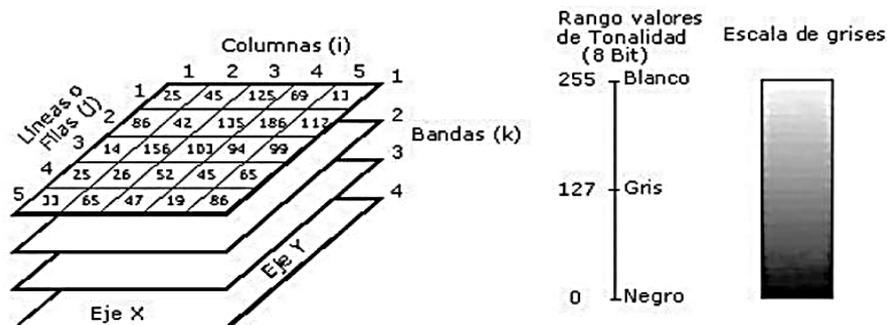


Figura 11: Componentes de una imagen digital

Fuente: Gonzalez (2013)

La asignación de colores más conocida por los usuarios es la del falso color convencional (R=Red (rojo); G=Green (verde); B=Blue (azul)), la cual asigna el color azul a la banda del verde, el color verde a la banda del rojo y el color rojo a la banda del infrarrojo cercano.

2.2.8.1. Tipos de Imágenes de Teledetección

Según García Labrador, Evora Brondo, & Arbelo Perez (2012), el tipo de producto más común que suministran los satélites de teledetección es una imagen digital tipo ráster (ver figura 11), donde cada píxel tiene asignado uno o varios valores numéricos (niveles digitales) que hacen referencia a la energía media recibida dentro de una determinada banda espectral. Teniendo esto en cuenta, se pueden adquirir los siguientes tipos de imágenes:

Imagen multiespectral (MS). Imagen que lleva asociados varios valores numéricos a cada píxel, tantos como bandas espectrales sea capaz de detectar el sensor. A priori, es el tipo de producto más útil ya que nos proporciona, en cierto modo, la firma espectral de los distintos elementos presentes en la imagen. Así, por ejemplo, el satélite *IKONOS* proporciona una imagen multiespectral con 4 bandas, que cubren las regiones espectrales correspondientes al azul, verde, rojo e infrarrojo próximo. Cuanto mayor sea el número de bandas que proporciona el sensor, mayor será la capacidad de análisis de los elementos presentes en la imagen.

Aparte de las multiespectrales también existen las denominadas imágenes hiperespectrales, menos habituales. Vienen caracterizadas por poseer información en un gran número de bandas. Se requieren para estudios de identificación y clasificación muy precisos, principalmente en mineralogía.

A día de hoy provienen de algunos satélites de tipo experimental, como es el caso del sensor HYPERION (220 bandas), a bordo del satélite EO-1, por lo que su disponibilidad es bastante limitada.

Imagen pancromática (PAN). Dispone de una sola banda espectral que abarca comúnmente gran parte del visible y comienzo del infrarrojo, obteniendo como resultado una imagen que habitualmente se representa en una escala de grises (imagen en blanco y negro). Como contrapartida, tienen la ventaja de poseer mayor resolución espacial que las multiespectrales que proporciona el mismo satélite. Es por ello que son muy interesantes para la detección de pequeños elementos de la superficie terrestre que no son distinguibles en la imagen multiespectral.

En aquellos satélites donde existe la posibilidad de obtener imágenes multiespectrales y pancromáticas de forma simultánea es habitual la opción de suministrar, bajo pedido, ambas imágenes en lo que se conoce como opción *Bundle*.

2.2.9. Variable de Entrada

2.2.9.1. Programa Landsat

Según Bravo Morales (2017), el programa Landsat es una serie de misiones de observación de la Tierra por satélite administrado conjuntamente por la NASA y el Servicio Geológico de los EE.UU.

En 1972, el lanzamiento de ERTS-1 (Tierra Recursos Tecnología por Satélite, más tarde renombrado Landsat 1) comenzó la era de la una serie de satélites que tienen desde que adquirida forma continua de tierras datos obtenidos por detección remota basados en el espacio.

Según Bravo Morales (2017), el último satélite de la serie Landsat, la Misión de Continuidad de Datos de Landsat (LDCM), se puso en marcha el 11 de febrero de 2013. Ahora renombrado Landsat 8, los datos adquiridos por el satélite continúan para expandir archivos para los usuarios de en todo el mundo.

Tabla 3: Periodo de actividad de los satélites Landsat.

SATELITE	FECHA DE LANZAMIENTO	FIN DE OPERACION
LANDSAT 1	23-07-1972	05-01-1978
LANDSAT 2	22-01-1975	27-07-1983
LANDSAT 3	05-03-1978	07-09-1993
LANDSAT 4	16-06-1982	14-12-1993
LANDSAT 5	01-03-1984	30-11-2011
LANDSAT 6	03-10-1993	LANZAMIENTO FALLIDO
LANDSAT 7	15-04-1999	ACTIVO
LANDSAT 8	11-02-2013	ACTIVO

Fuente: NASA (2007)

2.2.9.2. Tipo de Sensor

2.2.9.2.1. Satelite Landsat 1, 2 y 3 MSS

Según Reuter (2009) los LANDSAT-1, 2, y 3 fueron lanzados respectivamente en 1972, 1975 y 1978. LANDSAT-1 fue puesto fuera de comisión en 1978 después del mal funcionamiento de un sensor y los LANDSAT-2 y 3 fueron puestos fuera de comunicación en 1983. Estos satélites tienen básicamente los mismos parámetros orbitales y transportan los mismos sensores. Ambos vehículos espaciales están en órbitas heliosincrónicas en polar cercano (ángulo de inclinación de cerca de 99°) con períodos de 103 minutos. Los satélites realizan 14 revoluciones por día con distancias de 2875 Km. entre las rutas. Cada satélite proporciona cobertura de casi toda la tierra cada 18 días, esto es, sobrepone las mismas rutas cada 18 días.

El satélite siempre pasa a la misma hora local (entre 9:30 y las 10:30 según latitudes).

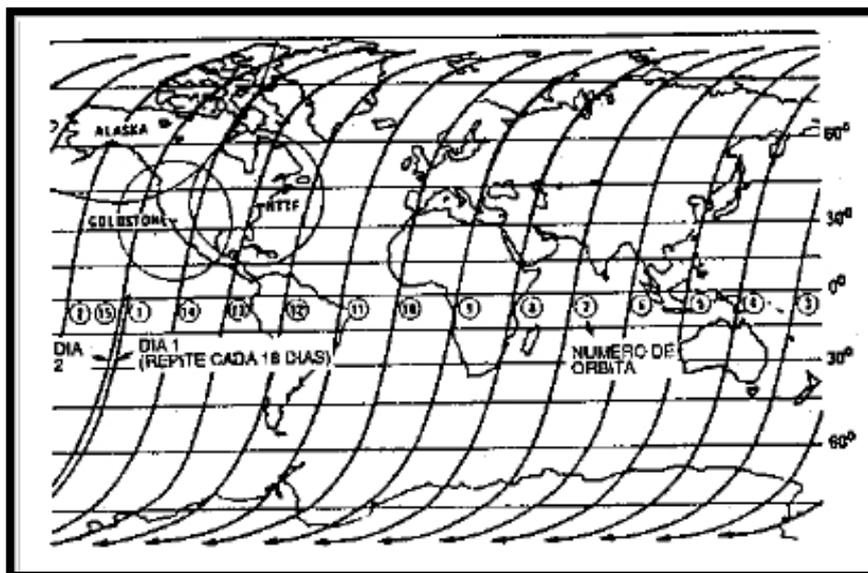


Figura 12: Rutas orbitales LANDSAT típicas para un sólo día.

Fuente: Reuter (2009)

Cada día las rutas cambian hacia el oeste 160 Km. (Ver figura superior), a la altura del ecuador de tal manera que cada 18 días las rutas son repetidas. Las imágenes son adquiridas entre las 9:30 y 10:00 de la mañana hora local solar, excepto para altas latitudes LANDSAT 2 y 3 transportaban dos tipos de sensores de imágenes:

1. El Barredor Multiespectral (MSS);
2. La Cámara de Retorno de Rayos Vidicón (RBV).

Cámara Vidicón de haz de Retorno RBV (return beam vidicon)

Según Menendez & Nuñez (2012), la RBV ha sido utilizada raramente para estudios ambientales. El subsistema RBV contiene tres cámaras individuales que operan en tres bandas espectrales mencionadas anteriormente en el ítem Sensores.

El principio básico de operación de una cámara vidicón es similar a la de una cámara de televisión.

Cada cámara posee una lente óptica, un obturador, el sensor RBV, un enfocador termoeléctrico, bobinas de deflexión y de foco, lámparas de barrido y sensores electrónicos. Las cámaras son similares excepto respecto de los filtros espectrales de las lentes. Los sensores electrónicos contienen los circuitos que programan y coordinan la operación de las tres cámaras en forma de un sistema completamente integrado y las interrelacionan con los restantes subsistemas de la nave espacial.

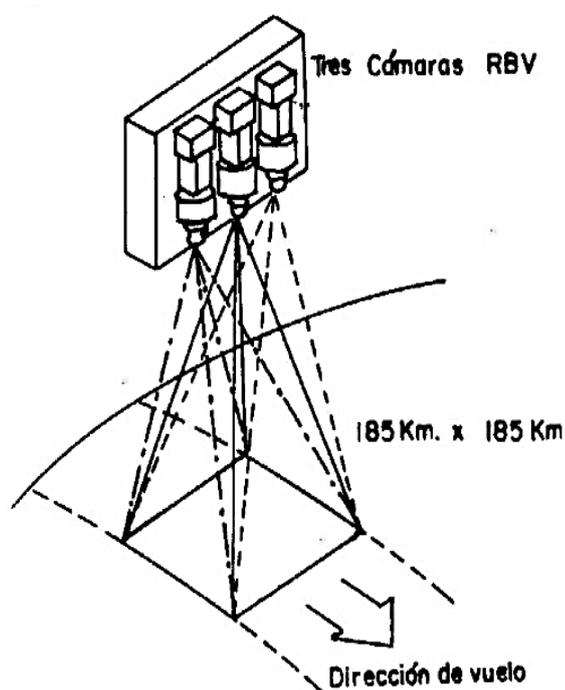


Figura 13: Cámaras RBV
Fuente: Menendez & Nuñez (2012)

Barredor Multiespectral (MSS)

El MSS es un dispositivo barredor de líneas tanto de aviones como de naves espaciales, el cual produce un número específico de imágenes sincrónicas cada una con una banda de onda diferente. La escena individual de una imagen de un MSS cubre aproximadamente 185×185 Km. y se superpone a su vecino aproximadamente un 10% a lo largo de la ruta terrestre del vehículo espacial. En la estación terrestre las imágenes son usualmente convertidas de señales electrónicas a imágenes positivas en blanco y

negro en películas de 7 mm, por un grabador de rayos de electrones. Las imágenes originales tienen una escala de aproximadamente de 1:3,369,000.

El MSS del LANDSAT-2 opera en cuatro diferentes bandas de onda. Las características del sensor son dadas en la Tabla a continuación.

Tabla 4: Características de la región espectral.

Longitudes de onda:	BANDA 4: 0.5 – 0.6 μm (verde)
	BANDA 5: 0.6 – 0.7 μm (rojo)
	BANDA 6: 0.7 – 0.8 μm (IR cercano)
	BANDA 7: 0.8 – 1.1 μm (IR Cercano)
IFOV:	0.086 mrad
Ancho de barrido	185 Km.
Resolución Espacial	80 m \times 80 m

Fuente: Reuter (2009)

La carga del LANDSAT-3 incluye un MSS de cinco bandas y dos cámaras RBV.

EL MSS tiene cuatro bandas idénticas a las del LANDSAT-2 y una quinta banda (IR térmico) la cual fue diseñada para operar a cualquier hora durante la órbita, incluyendo operaciones nocturnas, y para todos los ángulos de elevación solar, pero no se hizo operacional.

Existen seis detectores para cada una de las cuatro bandas espectrales del MSS. Una escena de MSS comprende 2340 líneas de barrido y 3240 columnas, cada píxel corresponde a una superficie real de 79 metros de lado. La radiancia recibida (resolución radiométrica), por esa parcela del terreno, en los primeros MSS estaba comprendida entre 0 y 127 para las bandas del visible y de 0 a 63 para la del infrarrojo.

Tabla 5: Comparación entre las características de un sistema fotográfico y uno multiespectral

Sistema Fotográfico	Barredor Multiespectral
Resolución espacial limitado a 0.3-0.9 μm y un reducido número de bandas.	Resolución de sensores multiespectrales es muy amplia 0.3-14 μm y con un mayor número de bandas.
Las cámaras multiespectrales utilizan lentes independientes para cada una de las bandas. Esto genera problemas en el registro radiométrico y geométrico.	Los sensores multiespectrales utilizan un solo sistema óptico para captar la energía y lo hacen en forma simultánea. Esto elimina problemas de registro radiométrico y geométrico.
Los datos son difíciles de calibrar desde el punto de vista radiométrico como consecuencia del proceso de revelado	Los datos son generados en forma electrónica y por lo tanto son más fáciles de calibrar. El registro de los datos en forma electrónica permite una mayor amplitud radiométrica en las imágenes digitales.
La información es registrada en película que debe cambiarse y revelarse para ser utilizada. No es posible la transmisión de datos por medio electrónicos	Los datos son registrados electrónicamente por lo tanto puede enviarse desde satélites a estaciones Terrestres. En caso de sensores a bordo de aviones la imagen puede visualizar en tiempo real.

Fuente: Reuter, (2009).

2.2.9.2.2. Satellite Landsat 4, 5 y 6 TM

Según Reuter (2009), en los EE.UU., le ha sido asignada a la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA) la tarea de establecer un sistema de percepción remota operacional. LANDSAT-4 y 5 son el resultado del mandato de NOAA. El desarrollo de los sistemas en sí mismos ha sido la responsabilidad de la NASA.

LANDSAT-4 y 5 fueron lanzados respectivamente en 1982 y 1984. Tienen un ángulo de inclinación de 98.3° y un período de 98.5 minutos. Los satélites realizan de 14 a 15 revoluciones por día con distancias entre rutas de 2,752 Km. Se sobreponen la misma ruta cada 16 días.

La principal diferencia entre LANDSAT-4 y 5 respecto a los LANDSAT previos, es que los RBV han sido removidos y reemplazados con una nueva generación de MSS llamados Mapeadores Temáticos (TM). Este sensor proporciona más bandas espectrales y ofrece una resolución terrestre mejorada.

Mapeador Temático tm (THEMATIC MAPPER)

Según Reuter (2009), el TM tiene tres bandas visibles, una infrarroja cercana y dos medianas con una resolución Terrestre de 30 metros de tamaño de celda y una banda IR térmica con un tamaño de celda de 120 metros de resolución Terrestre.

El TM proporciona una resolución global de 30 metros. Esta alta resolución es lograda por detectores sensitivos y por una cuantización de 8 bits en el proceso de conversión analógico a la digital (256 niveles de gris). En contraste, la MSS tiene únicamente 6 bits de cuantización (64 niveles de gris). Esto significa que las escenas del TM contienen mayor número de píxeles con mayor rango radiométrico. Esto resulta También es una alta tasa de datos de bits de 84.9 megabits por Segundo.

El Landsat 6 se lanzó en 1993 pero por fallos de comunicación con la plataforma no se ubicó en la órbita precisa y se perdió.

Tabla 6: Característica imagen Landsat 4 y 5

	Banda	Longitud de onda (micrómetros)	Resolución (metros)
Landsat 4-5 Thematic Mapper (TM)	1 - Azul	0.45 - 0.52	30
	2 - Verde	0.52 - 0.60	30
	3 - Rojo	0.63 - 0.69	30
	4 - Infrarrojo Cercano (NIR)	0.76 - 0.90	30
	5 - onda corta infrarroja (SWIR) 1	1.55 - 1.75	30
	6 - Thermal	10.40 - 12.50	120 * (30)
	7 - onda corta infrarroja (SWIR) 2	2.08 - 2.35	30

Fuente: Bravo Morales (2017).

2.2.9.2.3. Satellite Landsat 7 ETM+

El Landsat 7 es el satélite operacional más reciente del programa Landsat, financiado por el gobierno de los Estados Unidos.

El último satélite fue lanzado en abril de 1999 con un nuevo sensor denominado ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus). Su operación es administrada por la NASA (National Space and Space Administration) y la producción y comercialización de imágenes depende de la USGS (United States Geological Survey).

Una imagen LANDSAT 7 ETM+ está compuesta por 8 bandas espectrales que pueden ser combinadas de distintas formas para obtener variadas composiciones de color u opciones de procesamiento. Entre las principales mejoras técnicas respecto de su antecesor, el satélite Landsat 5, se destaca la adición de una banda espectral (Banda Pancromática) con resolución de 15 metros. También, cuenta con mejoras en las características geométricas y radiométricas y una mayor resolución espacial de la banda térmica para 60m. Estos avances tecnológicos permiten calificar al LANDSAT 7 como el satélite más interesante para la generación de imágenes con aplicaciones directas hasta

una escala de 1:25.000, principalmente, en áreas rurales o territorios de grandes extensiones.

Las imágenes generadas por el Landsat 7 adquiridas mediante el sensor ETM+ presentan una mejor relación costo-beneficio que los datos generados por satélites de resolución media (15 a 30 metros) actualmente ofrecidos en el mercado.

La Órbita del Landsat 7

El Landsat 7 puede adquirir imágenes en un área que se extiende desde los 81° de latitud norte hasta los 81° de latitud sur y, obviamente, en todas las longitudes del globo terrestre. Una órbita del Landsat 7 es realizada en aproximadamente 99 minutos, permitiendo al satélite dar 14 vueltas a la Tierra por día, y cubrir la totalidad del planeta en 16 días. La órbita es descendente, o sea de norte a sur, el satélite cruza la línea del Ecuador entre las 10:00 y 10:15 (hora local) en cada pasaje. El Landsat7 está "heliosincronizado", o sea que siempre pasa a la misma hora por un determinado lugar.

Un factor importante es que el período de revolución del LANDSAT 7 es igual que el del Landsat 5 (16 días), y una imagen cubre igual área (185 x 185 Km. por escena).

La conservación de estos parámetros técnicos facilita que el proceso de captura de imágenes se pueda realizar con la misma grilla de referencia (WRS2) lo que permite una perfecta integración entre el procesamiento de las imágenes del LANDSAT 7 con datos históricos del LANDSAT 5 existentes desde 1984. Esto es especialmente útil cuando es necesario utilizar los dos tipos de datos de un mismo lugar en forma simultánea, por ejemplo, para un estudio multitemporal.

El siguiente cuadro comparativo, ilustra las diferencias de resolución espectral entre el sensor TM del landsat 5 y el sensor ETM+ del landsat 7.

Tabla 7: Comparación entre las bandas del TM y ETM plus

BANDAS ESPECTRALES del TM y ETM +								
Anchura de banda (µm) Anchura mínima – Anchura máxima								
Sensor	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Banda 6	Banda 7	Banda 8
TM	0.45-0.52	0.52-0.60	0.63-0.69	0.76-0.90	1.55-1.75	10.4-12.5	2.08-2.35	No existe
Resolución (metros)	30	30	30	30	30	30	30	---
ETM +	0.45-0.52	0.53-0.61	0.63-0.69	0.78-0.90	1.55-1.75	10.4-12.5	2.09-2.35	.52 - .90
Región	Visible Azul	Visible Verde	Visible Rojo	Infrarrojo Cercano	Infrarrojo Medio	Infrarrojo Lejano	Infrarrojo Medio	Visible Pancromático
Resolución (metros)	30	30	30	30	30	60	30	15

Fuente: (Menendez & Nuñez, 2012).

2.2.9.2.4. Imagen Operacional de la Tierra (OLI) y el Sensor Térmico Infrarrojo (TIRS) – Landsat 8

Según Bravo Morales (2017), este tipo de sensor presenta el satélite de LandSat 8 y las imágenes se componen de nueve bandas espectrales con una espacial de 30 metros de Bandas 1 a 7 y 9. La banda ultra azul 1 es útil para estudios costeros y aerosoles. Banda 9 es útil para la detección de nubes cirrus. La resolución de la banda 8 (pancromática) es de 15 metros. Bandas térmicas 10 y 11 son útiles para proporcionar temperaturas de la superficie más precisa y se recogen a 100 metros. El tamaño aproximado es de 170 km escena de norte a sur por 183 km de este a oeste.

Tabla 8: Característica imagen LandSat 8

Landsat 8 Operativa Imager Tierra (OLI) y térmica infrarroja del sensor (SITR)	Banda	Longitud de onda (micrómetros)	Resolución (metros)
	1 - ultra azul (costero / aerosol)	0.43 - 0.45	30
	2 - Azul	0.45 - 0.51	30
	3 - Verde	0.53 - 0.59	30
	4 - Rojo	0.64 - 0.67	30
	5 - Infrarrojo Cercano (NIR)	0.85 - 0.88	30
	6 - onda corta infrarroja (SWIR) 1	1.57 - 1.65	30
	7 - onda corta infrarroja (SWIR) 2	02.11 - 02.29	30
	8 - Pancromática	0.50 - 0.68	15
	9 - Cirrus	1.36 - 1.38	30
	10 - infrarrojo térmico (SITR) 1	10.60 - 11.19	100 * (30)
	11 - infrarrojo térmico (SITR) 2	11.50 - 12.51	100 * (30)

*Bandas TIRS se adquieren a una resolución de 100 metros, pero se vuelven a muestrear a 30 metros de producto entregado datos.

Fuente: Bravo Morales (2017)

Tabla 9: Características Técnicas del Sistema ETM.

BANDA	LONGITUD DE ONDA	APLICACIONES
1	0,45 – 0,52 (azul)	<ul style="list-style-type: none"> • Mapeo de aguas costeras. • Diferenciación entre suelo y vegetación.
2	0,52 – 0,60 (verde)	<ul style="list-style-type: none"> • Calidad de agua. • Mapeo de vegetación.
3	0,63 – 0,90 (rojo)	<ul style="list-style-type: none"> • Agricultura. • Calidad de agua. • Absorción de clorofila. • Áreas urbanas y uso de suelos. • Diferenciación de especies vegetales.
4	0,76 – 0,90 (infrarrojo cercano)	<ul style="list-style-type: none"> • Agricultura y vegetación. • Delimitación de cuerpos de agua. • Mapeo geomorfológico y geológico.
5	1,55 – 1,75 (infrarrojo medio)	<ul style="list-style-type: none"> • Vegetación. • Agricultura. • Uso de suelo. • Diferenciación entre nubes y nieve. • Medición de humedad en la vegetación.

6	10,40 – 12,50 (infrarrojo térmico lejano)	<ul style="list-style-type: none"> • Corrientes marinas. • Propiedades termales del suelo. • Mapeo de stress térmico en plantas.
7	2,08 – 2,35 (infrarrojo térmico cercano)	<ul style="list-style-type: none"> • Mapeo hidrotermal. • Identificación de minerales.
8	0,52 – 0,90 (pancromático)	<ul style="list-style-type: none"> • Catastro rural. • Infraestructuras.

Fuente: NASA (2007)

2.2.9.3. USGS (United States Geological Survey)

Según USGS (2001), el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés), creado por una ley aprobada por el Congreso de los Estados Unidos en 1879, ha evolucionado en el transcurso de los subsiguientes 120 años, igualando su talento y sus conocimientos al progreso de la ciencia y la tecnología. Hoy, el USGS se destaca como la única agencia científica del Departamento del Interior de los EE.UU. Miles de agencias y clientes confían en esta agencia, debido a su pericia en las ciencias naturales y al vasto banco de datos en el campo geológico y biológico. El USGS es la agencia científica de preferencia para obtener información sobre cómo ayudar a solucionar problemas complejos relacionados a los recursos naturales a través de los Estados Unidos y alrededor del mundo.

2.2.9.3.1. Tipo de Producto Proporcionada por el USGS

Según Ariza (2013), A continuación, se describen algunas de las definiciones de tipo de producto proporcionadas por el USGS. Estas definiciones nos dan una idea de la nomenclatura utilizada y una referencia para las relaciones entre los tipos de productos:

- **Productos de Nivel 0 (L0):** Los productos del tipo L0 son imágenes digitales con todas las transmisiones de datos y objetos sin formato. Estos productos están al

mismo tiempo ordenados de manera proporcional, espacial y secuencialmente por bandas multispectrales. (LDCM-DFCB-002. 2013).

- **Productos de Nivel 1 Radiometric (L1R):** Los productos del tipo L1R consisten en datos de imágenes radiométricamente corregidas. Estos se encuentran derivados de datos L0 y son escalados a valores de radiancia espectral o reflectancia.
- **Productos de Nivel 1 Systematic (L1G):** Los productos del tipo L1G consisten en productos de datos del tipo L1R con correcciones geométricas sistemáticas aplicadas y muestreos para el registro en una proyección cartográfica, estos datos se encuentran referenciados al Sistema Geodésico Mundial de 1984 (WGS84), G873, o a su versión actual.
- **Productos de Nivel 1 Systematic Terrain Corrected o (L1Gt):** Los productos del tipo L1Gt consisten en datos del tipo L1R con correcciones geométricas sistemáticas aplicadas y muestreos para el registro a una proyección cartográfica referenciada a WGS84, G873, o a su versión actual. Este tipo de datos (L1Gt) utilizan la información de posición a bordo o efemérides definitivas, así como el uso de los datos controlados de elevación para corregir los errores de paralaje.
- **Productos de Nivel 1 Terrain (L1T):** Los productos de datos L1T consisten en productos de datos L1R con correcciones geométricas sistemáticas aplicadas, utilizando para ello puntos de control terrestre (GCP) o información de posición integrada a bordo para entregar una imagen registrada a una proyección cartográfica, referenciada a WGS84, G873, o a su versión actual. Adicionalmente los datos también contienen una corrección topográfica por el desplazamiento del terreno debido al relieve quiere decir, con precisión corregida.

2.2.10. Clasificación

Según Quiros Rosado (2009), la clasificación en el contexto de la teledetección es un proceso que asigna a cada píxel de la imagen original una etiqueta correspondiente a una de las clases que, o bien predefinimos con anterioridad al proceso de clasificación o bien, por semejanza de características de los píxeles de la imagen a clasificar, se agrupan automáticamente en el proceso. La imagen resultante es un mapa en el que las variables continuas contenidas en la imagen original son agrupadas en variables discontinuas según clases.

El problema consiste en establecer si un píxel pertenece a una u otra clase de los “ i ” posibles casos establecidos. Son muchos los autores que distinguen entre clases informacionales y clases espectrales. Se entiende por clases informacionales aquellas que se refieren a los elementos que se quieren discriminar con el proceso de clasificación. Las clases espectrales sin embargo están relacionadas con los grupos en los que separamos las variables continuas para transformarlas en discontinuas. Su nombre se debe a que, como la información contenida en las imágenes de teledetección es básicamente espectral, la variable continua hace referencia a dicha información espectral.

Teóricamente la correspondencia entre las clases espectrales y las informacionales debiera ser biunívoca una a una, pero la realidad es bien distinta. Lo usual es encontrarnos en uno de los tres siguientes casos:

- Más de una clase espectral se corresponda con una única clase informacional.
- Una única clase espectral se corresponde con varias clases informacionales.
- Varias clases espectrales se corresponden con varias clases informacionales.

En función del tipo de clase elegido para realizar la clasificación podemos distinguir dos tipos de clasificación:

- **Clasificación supervisada**, que se basa en las clases informacionales.
- **Clasificación no supervisada**, en la que, analizando valores espectrales similares, establece grupos de píxeles con características espectrales similares.

Podríamos asumir que el problema de la clasificación implica la construcción de un procedimiento que será aplicado a una secuencia continua de casos, en la cual, cada nuevo caso deberá ser asignado a otro del conjunto de clases predefinidas con anterioridad a partir de atributos o características detectadas en los mismos (Michie *et al.* 1994). Esta definición de clasificación se refiere a la denominada clasificación supervisada, ya que, en la no supervisada, como se ha indicado anteriormente, las clases en las que se englobará el conjunto de datos serán deducidas automáticamente de los propios datos, según el procedimiento de clasificación que adoptemos (por ejemplo, técnicas de mínima distancia euclídea en los clasificadores Isodata o K-means).

Además, dentro de los métodos supervisados podemos distinguir dos sub grupos en función de si se presupone o no la distribución de probabilidad de las clases de tal manera que podemos resumir los distintos tipos de clasificación según la siguiente tabla:

Tabla 10: Taxonomía de los métodos de clasificación en teledetección.

Clasificación	No Supervisada: La clasificación se basa en clases espectrales (los píxeles de una misma clase deben tener valores espectrales similares).	
	Supervisada: Los clasificadores se construyen basándose en las clases informacionales. Se especifican ejemplos de las distintas clases de interés (áreas de entrenamiento o regiones de interés), de forma que los patrones que caracterizan las diferentes clases se obtienen de estas áreas.	Paramétrica: Suponen una distribución de probabilidad de las clases conocida (normalmente Distribución normal). Si la dimensionalidad de los datos es alta se necesitan muchas muestras de aprendizaje.
	No Paramétrica: No presuponen la forma de la distribución de las probabilidades Estiman la densidad de probabilidad de cada observación usando muestras de entrenamiento.	

Fuente: Turpo Cayo (2018)

La taxonomía reflejada en la Figura 10, es la más habitual y simple, pero hay autores como Jensen (2005), que distinguirían un tercer grupo de clasificación supervisada denominado “no métrica” en el que engloba al clasificador de árbol de decisión (CART) basándose en su posibilidad de trabajar tanto con datos numéricos como nominales. En trabajos como el de Duda *et al.* (2000), se introduce un cuarto tipo de clasificador supervisado que es el denominado “estocástico” en los que el azar juega una parte crucial en la búsqueda y el entrenamiento. Desde un punto de vista general, estos métodos encauzan la búsqueda hacia las regiones en las que se espera encontrar la solución y dejar al azar encontrar buenos parámetros de entrenamiento.

En Lu & Weng (2007), Indica: La taxonomía de los algoritmos de clasificación se realiza en función del criterio que elijamos y además de los tipos de clasificación

indicados en Figura 10, distingue varios tipos grupos de clasificación como: clasificadores por píxel o clasificadores por sub-píxel si se tiene en cuenta o no los problemas de los píxeles no puros, clasificadores duros o blandos en función de si realizan una clasificación tajante de si un píxel pertenece o no a una clase o si proporcionan una medida del grado de similitud con la clase en cuestión.

Objetivos de las Operaciones de Clasificación

Como se indicó en el apartado anterior, podemos abordar la clasificación de dos maneras, o bien tratando de agrupar los datos dados en una serie de clases o grupos de datos según las características propias de los mismos, o bien, sabiendo con anterioridad las clases existentes en nuestros datos, establecer las reglas mediante las cuales podríamos clasificar una nueva fuente de datos según esas clases predefinidas. La primera operación es conocida como clasificación no supervisada y la segunda es la denominada clasificación supervisada. Una cuestión muy importante es la definición de las clases y su naturaleza. Henery (1994), distingue tres casos claros:

- Las clases corresponden a etiquetas de distintos subgrupos de la población. La pertenencia a una clase es una variable independiente ya que la membresía de los elementos de la población a las clases existentes es determinada por una entidad o sujeto externo.
- Las clases son el resultado de un proceso predictivo. La clase ha de ser deducida del conocimiento de sus atributos, con lo que será una variable aleatoria.
- Las clases son predefinidas mediante la partición del espacio de la muestra. En este caso la clase es una variable dependiente de los atributos.

2.2.10.1. Clasificación Máxima Verosimilitud o Probabilidad

Según Chuvieco Salinero E. (2006) y TSO & MATHER (2009), el método de clasificación por Máxima Verosimilitud (ML) o máxima probabilidad parte del supuesto de que los valores de reflectividad en cada una de las clases siguen una distribución de probabilidad normal multivariante. Se utiliza entonces el vector de medias y la matriz de varianzas-covarianzas para estimar la probabilidad de que un pixel dado pertenezca a cada una de las clases. El pixel se asignará finalmente a la clase cuya probabilidad de pertenencia sea mayor.

2.2.10.2. Validación

Según Chuvieco (1995), el trabajo consiste en seleccionar, con posterioridad la clasificación, una serie de áreas test, que permitan obtener una medida independiente del acuerdo entre mapa y verdad terreno. Este procedimiento pasa por realizar un muestreo del área de estudio, a fin de obtener las medidas de campo necesaria para verificar los resultados de la clasificación.

2.2.10.3. Matriz de Confusión

Según Quiros Rosado (2009), la clásica técnica de comparación de las matrices de confusión generadas a partir de las regiones de interés y de los correspondientes valores de los mapas de clasificación.

Una matriz de error es un camino muy efectivo para representar la exactitud del mapa en el que las precisiones individuales de cada categoría son claramente descritas, tanto con los errores de inclusión (errores de comisión) como con los errores de exclusión (errores de omisión) presentes en la clasificación.

Según Quiros Rosado (2009), un error de comisión es definido simplemente como la inclusión de un área en una categoría cuando ésta no pertenece a dicha categoría. Un error de omisión es la exclusión de un área en una categoría cuando ésta pertenece a ella. Cada error es una omisión de la categoría correcta y una comisión de una categoría incorrecta.

2.3. MARCO CONCEPTUAL

2.3.1. Zona Urbano

Según UNICEF (2012), la definición de “urbano” cambia de un país a otro y, con las reclasificaciones periódicas, también puede variar a lo largo del tiempo dentro de un mismo país, lo que dificulta las comparaciones directas. Una zona urbana se puede definir por medio de uno o más de los siguientes factores: criterios administrativos o fronteras políticas (como formar parte de la jurisdicción de un municipio o comité de la ciudad); el tamaño de la población (cuando el número mínimo de habitantes en los asentamientos urbanos de la región es de 2.000, aunque puede oscilar entre 200 y 50.000); la densidad demográfica; la función económica (por ejemplo, cuando la actividad primordial de una gran mayoría de los habitantes no es la agricultura, o cuando existe empleo de sobra); y la existencia de características urbanas (como calles pavimentadas, alumbrado público o alcantarillado). En 2010 vivían en zonas clasificadas como urbanas 3.500 millones de personas.

2.3.2. Aglomeración Urbana

Según UNICEF (2012), que la población de una zona totalmente construida o densamente habitada, en la cual se encuentran la ciudad propiamente dicha, suburbios y zonas donde vive gente que todos los días viaja desde sus hogares hasta sus trabajos, o un

territorio adyacente con una densidad residencial propia del medio urbano.

2.3.3. Zona Región Metropolitana

Según UNICEF (2012), que es una zona del gobierno local que comprende el conjunto de la zona urbana y los principales sectores donde viven personas que todos los días viajan desde sus hogares hasta sus trabajos. Habitualmente se forman alrededor de ciudades con una alta concentración demográfica (por ejemplo, 100.000 habitantes como mínimo). Además de la ciudad propiamente dicha, una zona metropolitana incluye tanto el territorio circundante con un nivel urbano de densidad residencial, como algunas zonas adicionales de menor densidad adyacentes a la ciudad y unidas a ella (por ejemplo, mediante sistemas de transporte frecuente, enlaces por carretera o instalaciones para el desplazamiento diario al lugar de trabajo).

2.3.4. Crecimiento Urbano Incontrolado

Según UNICEF (2012), que la expansión desproporcionada y sin control de una zona urbana hacia la zona rural circundante, lo que desemboca en esquemas de desarrollo mal planificados y de baja densidad. Este tipo de crecimiento urbano –también conocido como “extensión horizontal” o “urbanización dispersa”– es común tanto en los países de altos ingresos como en los de bajos ingresos. Se caracteriza por la dispersión de la población en zonas residenciales separadas, con manzanas largas y acceso deficiente, una excesiva dependencia del transporte motorizado y la ausencia de ejes bien definidos de actividad comercial.

2.3.5. Suelo Urbano

Según Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2008), que corresponde a las áreas ocupadas por usos e instalaciones urbanas en las que se desarrollan actividades propias de un centro urbano.

Comprende las áreas urbanas actuales cuyo emplazamiento no presenta niveles de riesgo alto ante la incidencia de desastres naturales y las áreas habilitadas formalmente o no, que cuentan con ciertos niveles de accesibilidad y servicios de agua, desagüe y energía eléctrica, y que se encuentran ocupadas.

2.3.6. Suelo Urbanizable

Según Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2008), que se califican como Suelo Urbanizable aquellas tierras declaradas por el plan como aptas para ser urbanizadas y comprenden las áreas programadas para expansión urbana de corto, mediano y largo plazo; así como, las áreas para reserva urbana.

Estas áreas comprenderán predominantemente tierras eriazas, cualquiera sea el régimen de tenencia y uso actual, incluidas tierras sin uso, reservas para fines militares sin instalaciones, denuncios mineros no metálicos, y excepcionalmente, tierras agrícolas de menor valor agrológico.

2.3.7. Suelo no Urbanizable

Según Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2008), que constituyen suelo no urbanizable las tierras declaradas por el plan como no aptas para urbanizar, las cuales estarán sujetas a un tratamiento especial y de protección, en razón de su valor agrológico, de las posibilidades de explotación de sus recursos naturales, de

sus valores paisajísticos, históricos o culturales, o para la defensa de la fauna, flora y el equilibrio ecológico. Esta clasificación incluye también terrenos con limitaciones físicas para el desarrollo de actividades urbanas.

El suelo no urbanizable puede comprender tierras agrícolas, cerros, playas, márgenes de ríos y quebradas, zonas de riesgo ecológico, reservas ecológicas y para la defensa nacional. Están destinadas a la protección de los recursos naturales y a la preservación del medio ambiente, en general.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN GEOGRAFICA DEL ESTUDIO

3.1.1. Ubicación Geográfica

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en la ciudad de Puno capital del distrito y departamento del mismo nombre, ubicado a orillas del lago Titicaca con una altura de 3827 m.s.n.m. el cuál es el lago navegable más alto del mundo, se encuentra en la región de la sierra cuyas coordenadas geográficas son 15° 50' 23" de latitud sur, 70° 01' 18" de longitud oeste del meridiano de Greenwich.

3.1.2. Ubicación por Coordenadas UTM (Datum WGS84)

- Norte : 8248372.2977
- Este : 389775.6983
- Altura : 3887.889

3.1.3. Ubicación Política

- Departamento : Puno
- Provincia : Puno
- Distrito : Puno
- Ciudad : Puno

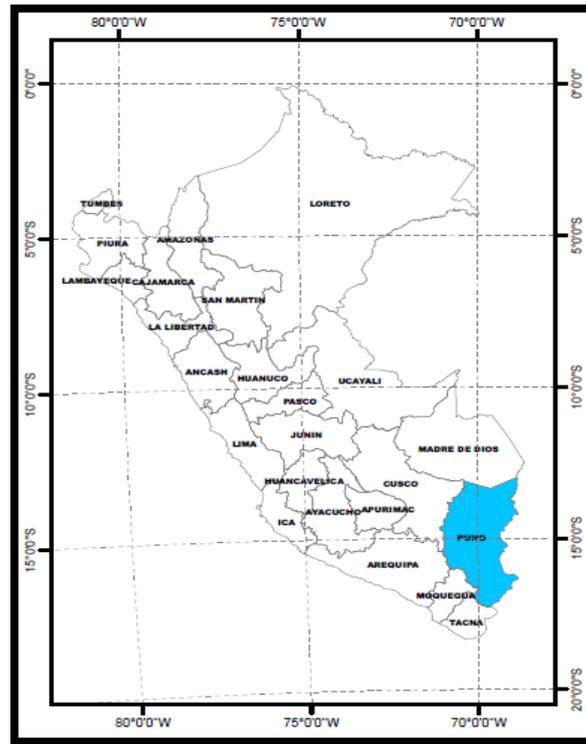


Figura 14: Mapa de Ubicación Regional
Fuente: Elaboración propia.

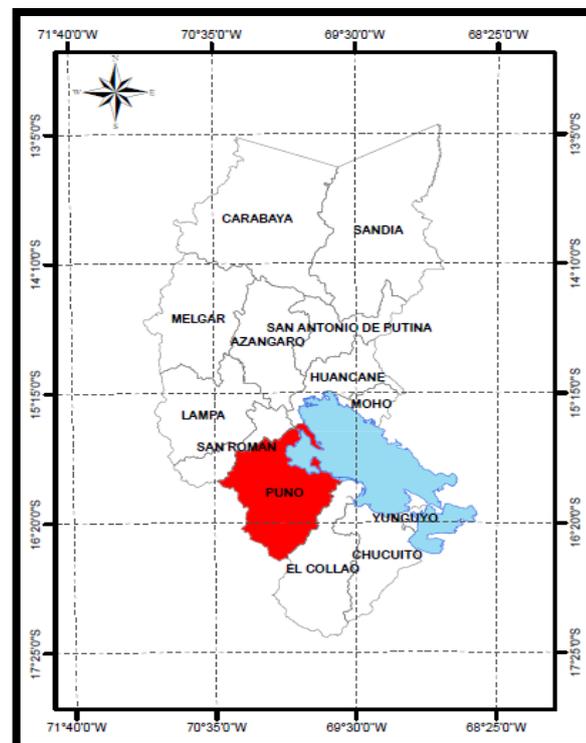


Figura 15: Mapa de Ubicación Provincial
Fuente: Elaboración propia.

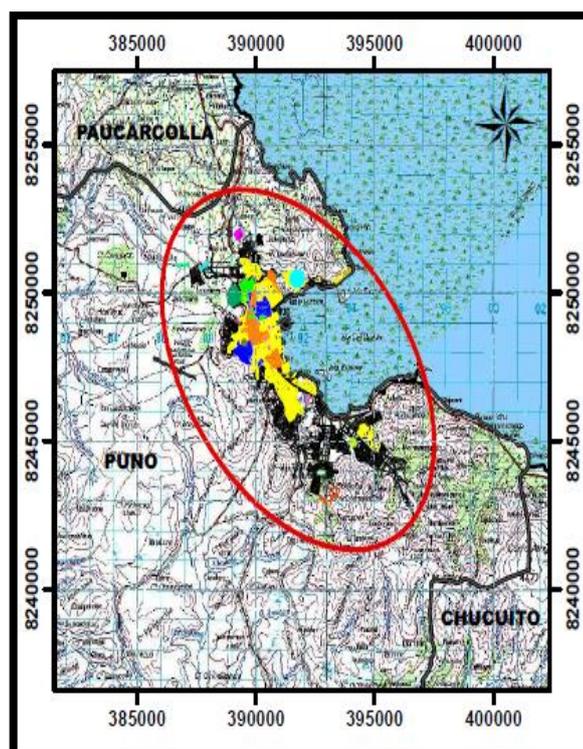


Figura 16: Mapa de localización

Fuente: Elaboración propia.

3.1.4. Extensión Superficial

La extensión superficial del trabajo es la ciudad de Puno, en donde tiene una extensión urbana actual de 17.4 Km² y que representa el 0.27% de la superficie provincial de 6,492.60 km².

3.1.5. Limite

La ciudad de Puno se encuentra ubicado en la provincia y región de Puno, en donde colinda con los siguientes limites correspondientes al área de estudio:

- Norte** : Distrito de Paucarcolla
- Sur** : Centro Poblado de Ichu
- Este** : Lago Titicaca
- Oeste** : Sector Ventilla

3.2. MATERIALES E INSTRUMENTOS

3.2.1. Materiales:

- Imágenes satelitales LANDSAT (INPE Y USGS) de los años 1980,1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 y 2017.
- Disco Duro de 1 TB marca Toshiba
- Papel Bond Xerox A4 75 gr.
- Libreta Topográfico
- Bolígrafos
- Correctores
- Pintura látex

3.2.2. Equipos

- GPS Navegador Garmin: GPSmap 76CSx
- Computadora: Procesador: Intel (R) core (TM) i7 – 3630QM CPU @ 2.40GHz 2.40 GHz, Memoria (RAM) 8.00 GB, Tipo de sistema operativo: 64 bits.
- Impresora HP Deskjet 2520 series.
- Cámara Fotográfica: Marca SONY Cybershot 20.1MP, DSC – W800 Black, 5X Zoom Óptico, Tamaño (LxPxAcmm) 10 x 4 x 7, Barrido Panorámico 360.

3.2.3. Software

- ArcGIS 10.5
- ENVI 5.3
- SPSS Statistics versión 25
- Corel Draw x5

- AutoCAD Civil 3D 2016
- Microsoft Excel 2016
- Microsoft Office 2016

3.3. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.3.1. Tipo de Investigación

La presente investigación es de tipo descriptivo y relacional, este método trata de la aplicación de la teledetección en el avance de la expansión urbana y análisis multitemporal.

3.4. METODOLOGÍA DE TRABAJO

3.4.1. Proceso Metodológico

La secuencia y los métodos que se emplearon en el proceso de investigación se detallan a continuación:

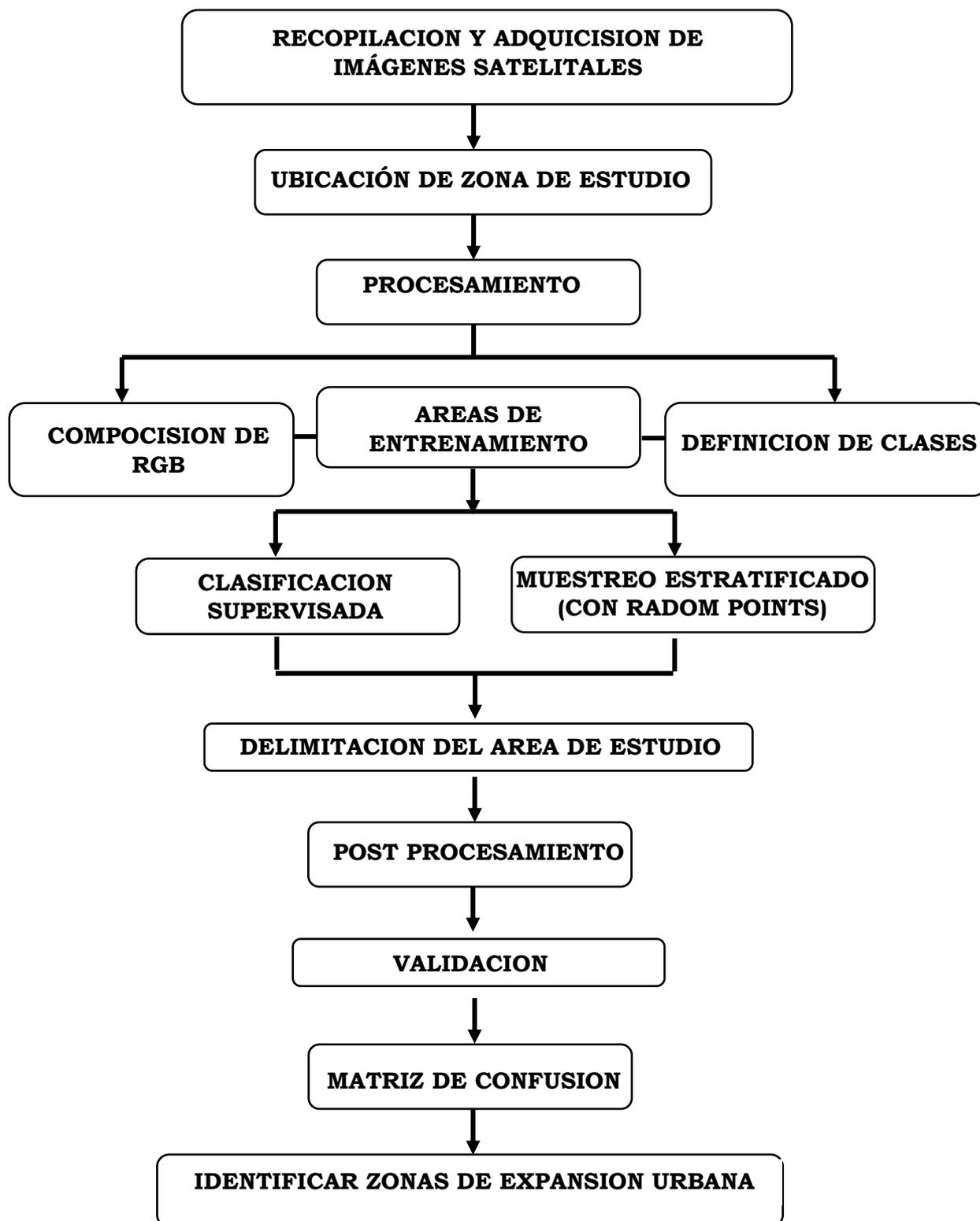


Figura 17: Esquema metodológico de la investigación

Fuente: Elaboración Propia

En el post procesamiento se ha realizado la aplicación de los filtros espaciales de las imágenes clasificadas corregidas manualmente y visualmente, en donde se ha obtenido

regiones con definiciones y construcciones más claras en lo cual se pretende suavizar y reforzar los contrastes de la imagen clasificada.

3.4.2. Recopilación y Adquisición de Imágenes Satelitales

La búsqueda de imágenes de satélite se hizo a través de la plataforma de **USGS (United States Geological Survey)**, de la Agencia Espacial de los Estados Unidos, siendo la más adecuada para el análisis y evaluación los sensores Landsat (MMS, ETM y OLI).

3.4.2.1. Ubicación De La Zona De Estudio de la Escena

La zona de estudio corresponde a la escena Path 02 y Row 71 de la colección Landsat según World Wide Reference System-2 (WRS-2), en el cual predomina la imagen satelital establecida en los rangos de todo el departamento de Puno en su totalidad y toda la extensión del Lago Titicaca.



Figura 18: Cuadrícula WRS-2 de Landsat para el Departamento de Puno

Fuente: Elaboración propia en base a los datos de USGS

A partir de este conjunto de datos se realizó un recorte de la zona de estudio, con su respectiva combinación de bandas del espectro visible la decisión de utilizar estos sensores se tomó debido a que básicamente fueron creados para la investigación en este caso el análisis de expansión urbana y que cuenta con sus características espaciales, espectrales, radiométricas y temporales poseen cierta particularidad que hace posible observar características de la superficie en cierto rango del espectro.

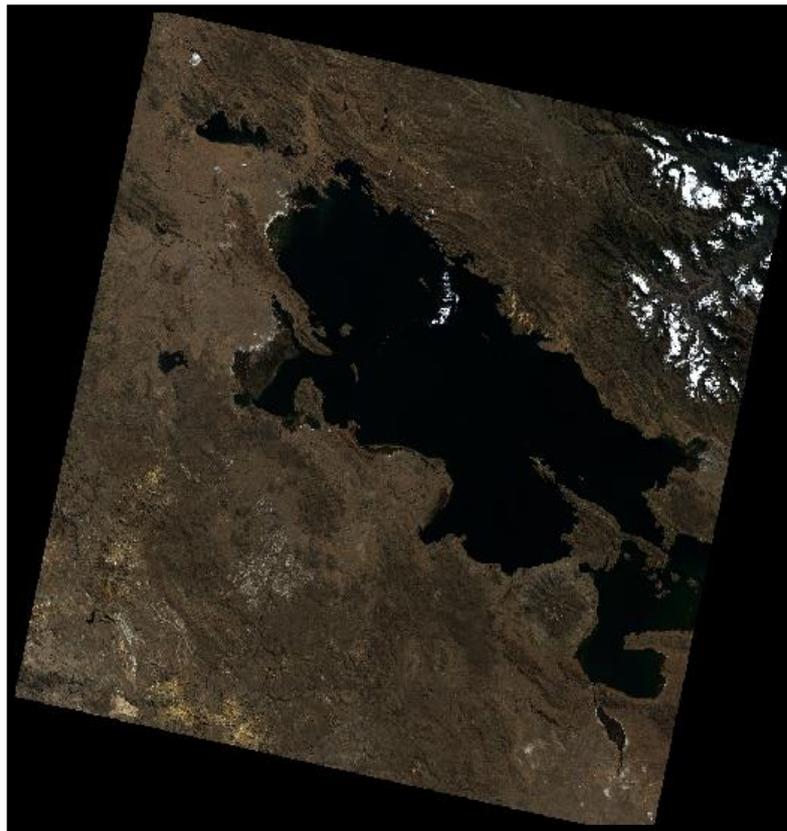


Figura 19: Imagen Satelital LandSat

Fuente: Elaboración propia

El criterio de descarga y de selección de las imágenes fue el de que no presentasen errores ni distorsiones de tipo radio métrica, geométrica o atmosférica y que tengan un máximo de 15% de nubes y sombras en el área de estudio. Descarga de imágenes

Tabla 11: Lista de imágenes satelitales.

AÑO	NOMBRE	FECHA	DESCRIPCION Y/O ESCENA
1980	LANDSAT 2	1980-11-05	"LM20020711980310AAA05"
1985	LANDSAT 5	1985-08-03	"LT50020711985215CUB10"
1990	LANDSAT 5	1990-07-16	"LT50020711990197CUB00"
1995	LANDSAT 5	1995-05-27	"LT50020711995147CUB00"
2000	LANDSAT 5	2000-07-11	"LT50020712000193XXX02"
2005	LANDSAT 5	2005-06-23	"LT50020712005174COA00"
2010	LANDSAT 5	2010-08-08	"LT50020712010220CUB00"
2015	LANDSAT 8	2015-05-02	"LC80020712015122LGN01"
2017	LANDSAT 8	2017-07-26	"LC80020712017207LGN00"

Fuente: Elaboración Propia.

En consecuencia, el área de interés será solo la ciudad de puno haciendo el recorte de área con sus anexos para la visibilidad del trabajo realizado.

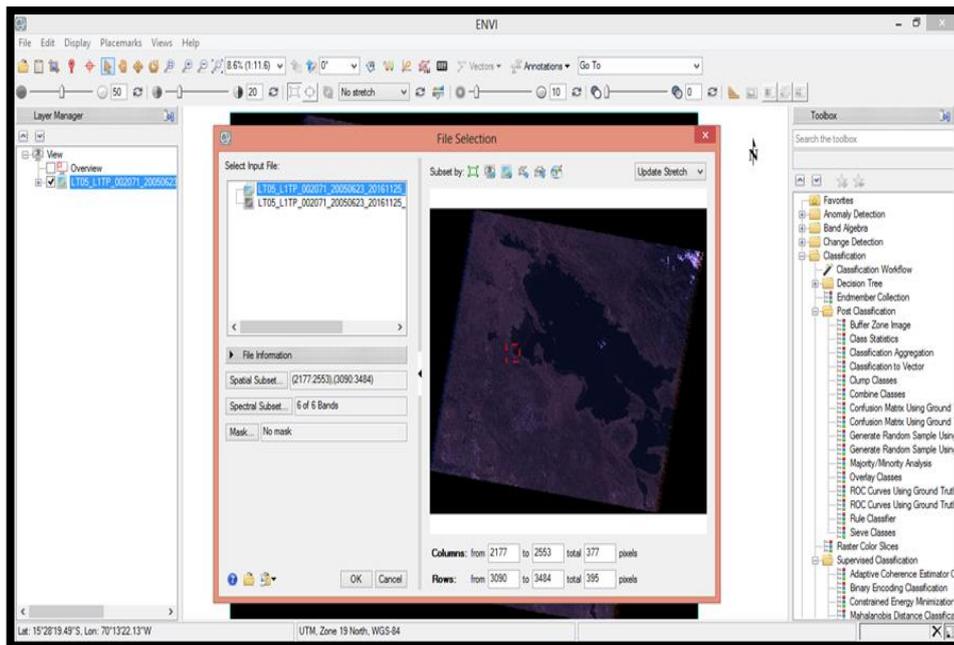


Figura 20: Recorte de área de estudio en base a los datos de USGS

Fuente: Elaboración propia

3.5. PROCESAMIENTO

3.5.1. Corrección Radiométrica

El paso siguiente de la descarga de las imágenes es pasarlas a un software en donde se realizará las correcciones pertinentes y ajustar los números digitales (ND) de las

imágenes satelitales para que todas las escenas de un mismo sensor tengan una misma escala radiométrica en un periodo específico de toma de la imagen. Así podamos visualizarlas y trabajar con ellas el formato inicial en el que se encuentran las imágenes en formato TIFF u otros, presentadas en tantos archivos como bandas espectrales.

3.5.2. Corrección Atmosférica

Seguidamente se efectúa a realizar la siguiente conversión de radiancia a reflectancia el cual podemos decir el cálculo de reflectancia al sensor. Este cálculo permitirá aplicar otra técnica de la parte de la irradiancia solar que alcanza la superficie terrestre que refleja en la atmosfera.

En ese sentido es necesario para minimizar la contribución de la atmósfera a los valores de cada píxel en la imagen de satélite. que minimiza el efecto del vapor de agua (humedad), aerosoles (del polvo, volcanes, etc.)

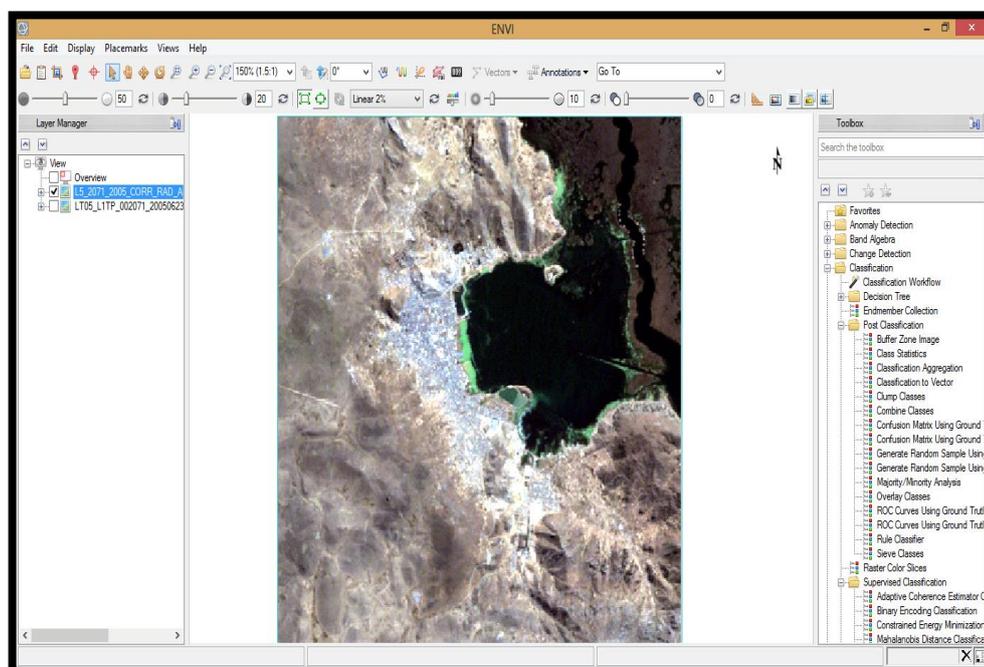


Figura 21: Corrección Atmosférica
Fuente: Elaboración propia

3.5.3. Combinación de Bandas

Para los años respectivos de estudio se seleccionaron bandas que estén correlativamente similar a la superficie terrestre en mención a los colores establecidos respectivamente (correspondiente a las escenas de Landsat 2 MSS Landsat 5 ETM Landsat 8 OLI).

Cuando se trata de combinar, la selección de bandas más adecuada depende del tipo de sensor usado y la aplicación del proyecto. Entre las combinaciones más comunes tenemos la 321 (color verdadero, RGB), 432 (falso color infrarrojo), la 543 (falso color, NRG), la 453 (falso color, NSR) y la 753; entre otras.

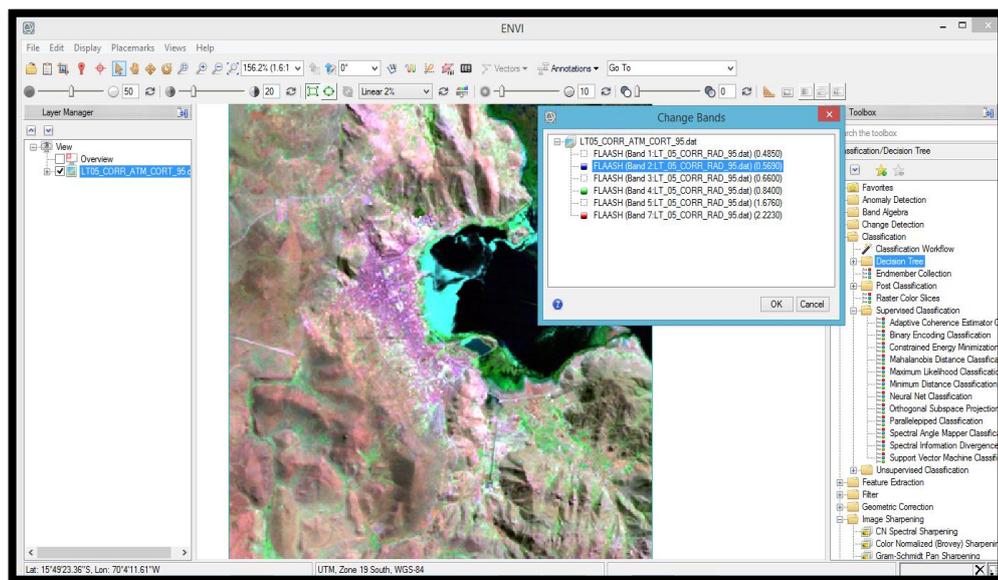


Figura 22: Combinación de bandas

Fuente: Elaboración propia

3.6. CLASIFICACION

3.6.1. Vectorización Visual de la Superficie Urbana

En esta etapa consiste en la creación de un shaperfile de tipo polígono en ArcGIS para luego vectorizar la superficie urbana de la imagen landsat seguidamente se obtuvieron las superficies del área urbana.

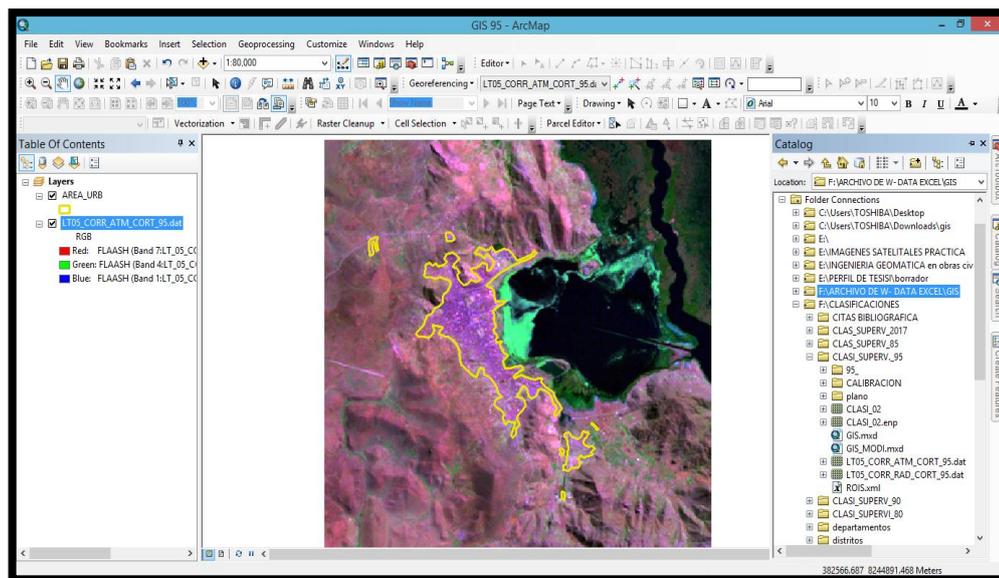


Figura 23: Vectorización visual

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12: Áreas de la superficie urbana vectorización visual

AÑO	AREA URBANA (hás)
1980	359.5452
1985	404.1865
1990	609.1712
1995	697.9568
2000	819.5240
2005	974.0230
2010	1041.6520
2015	1330.3560
2017	1409.6550

Fuente: Elaboración Propia

3.6.2. Región de Interés (ROIS)

Seguidamente en esta etapa se identifican áreas de entrenamiento o región de interés representativas y que genera una descripción numérica de los atributos espectrales de cada categoría de cobertura de la tierra por escena.

obteniendo así los 24 puntos de campo para generar el área de interés (Rois) y que se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 13: Lista coordenadas de campo para Regiones de Interés

N ^{ro}	COORDENADAS UTM WGS 84			LUGAR	DESCRIPCION
	ESTE	NORTE	ALTURA		
1	387453.0000	8250309.0000	4065.000	TOTORANI	AREA URBANA
2	387357.0000	8250831.0000	4066.000	TOTORANI	AREA URBANA
3	389869.0000	8251929.0000	4026.000	YANAMAYO	AREA URBANA
4	389850.0000	8247679.0000	3955.000	MIRADOR KUNTUR WASI	SUELO (CERRO)
5	389809.0000	8247655.0000	3967.000	BARRIO RICARDO PALMA	CULTIVOS
6	389804.0000	8247609.0000	3974.000	BARRIO RICARDO PALMA	BOSQUES
7	391986.0000	8245014.0000	3986.000	CANCHARANI	SUELO (CERRO)
8	392043.0000	8245044.0000	3980.000	CANCHARANI	CULTIVOS
9	392057.0000	8245067.0000	3979.000	CANCHARANI	CULTIVOS
10	392678.0000	8243159.0000	3895.000	RINCONADA	SUELO (CERRO)
11	392817.0000	8243190.0000	3870.000	RINCONADA	CULTIVOS
12	392845.0000	8243259.0000	3868.000	RINCONADA	CULTIVOS
13	393914.0000	8244703.0000	3836.000	TEPRO SALCEDO	AREA URBANA
14	394006.0000	8244676.0000	3856.000	TEPRO SALCEDO	SUELO (CERRO)
15	394006.0000	8244734.0000	3865.000	TEPRO SALCEDO	SUELO (CERRO)
16	394191.0000	8244903.0000	3834.000	TEPRO SALCEDO	CULTIVOS
17	396002.0000	8244024.0000	3858.000	JALLIHUAYA	AREA URBANA
18	395974.0000	8243977.0000	3856.000	JALLIHUAYA	CULTIVOS
19	395960.0000	8243916.0000	3859.000	JALLIHUAYA	AREA URBANA
20	395949.0000	8243822.0000	3861.000	JALLIHUAYA	AREA URBANA
21	395848.0000	8243010.0000	3868.000	JALLIHUAYA	AREA URBANA
22	391253.0000	8249717.0000	3818.000	UNIVERSIDAD	TOTAL
23	391234.0000	8249156.0000	3821.000	UNIVERSIDAD	TOTAL
24	391412.0000	8249055.0000	3820.000	UNIVERSIDAD	TOTAL

Fuente: Elaboración propia

Descripción de ROIS**Tabla 14: Leyenda de región de interés (ROIS).**

NUMERO	CODIGO	DESCRIPCION
1	AU	AREA URBANA
2	LAG	LAGO
3	SUE	SUELO
4	TOT	TOTAL
5	BOF	BOFEDAL

Fuente: Elaboración propia

Se inserto las regiones de interés (ROIS), de acuerdo a las categorías establecidas en la imagen para la clasificación de correspondencia y así estableciendo líneas en espacios de referencia en los píxeles.

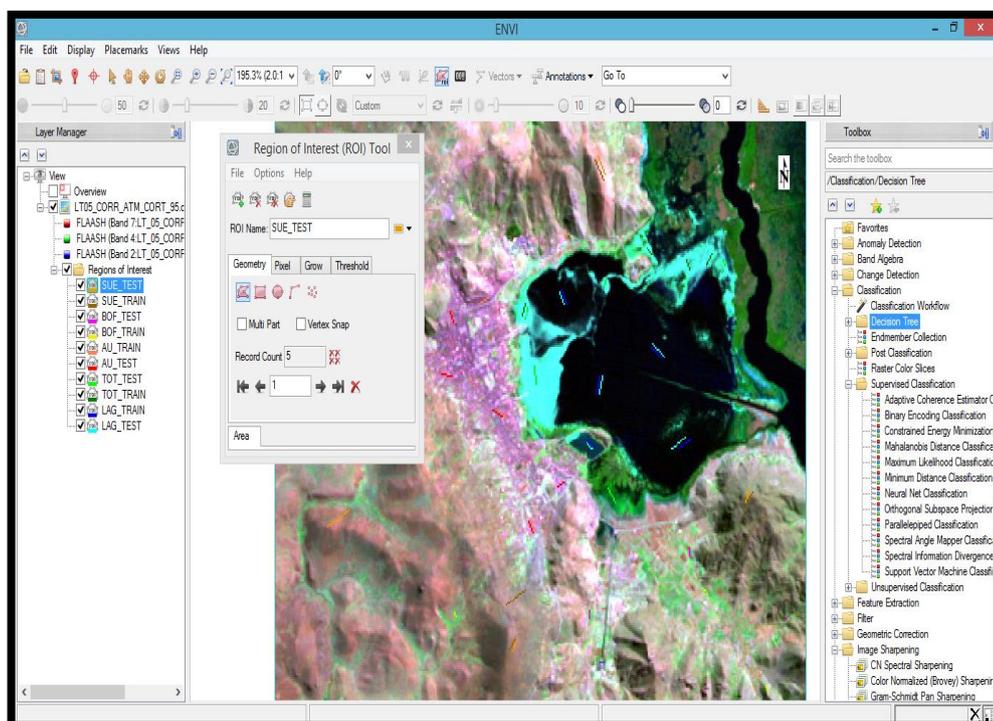


Figura 24: Región de interés (ROIS).

Fuente: Elaboración propia

3.6.3. Clasificación Máxima Verosimilitud o Probabilidad

Una vez terminada la asignación de píxeles a las distintas clases, se pueden establecer unos umbrales de probabilidad para cada categoría, rechazando los píxeles con una probabilidad muy baja, evitando de esta manera que se clasifiquen píxeles en clases en las que realmente no pertenecen. De esta manera tendremos un número de píxeles sin clasificar, y en el caso de ser muy grande se debe retornar la fase de entrenamiento para deducir así nuevas categorías o perfeccionar las ya existentes. En todo caso el valor de probabilidad máxima puede utilizarse como indicador de la certeza en la clasificación.

Seguidamente usando las áreas de interés prosigue a la clasificación de los mismos a partir de las líneas representadas en la imagen obteniendo una representación de la zona de estudio.

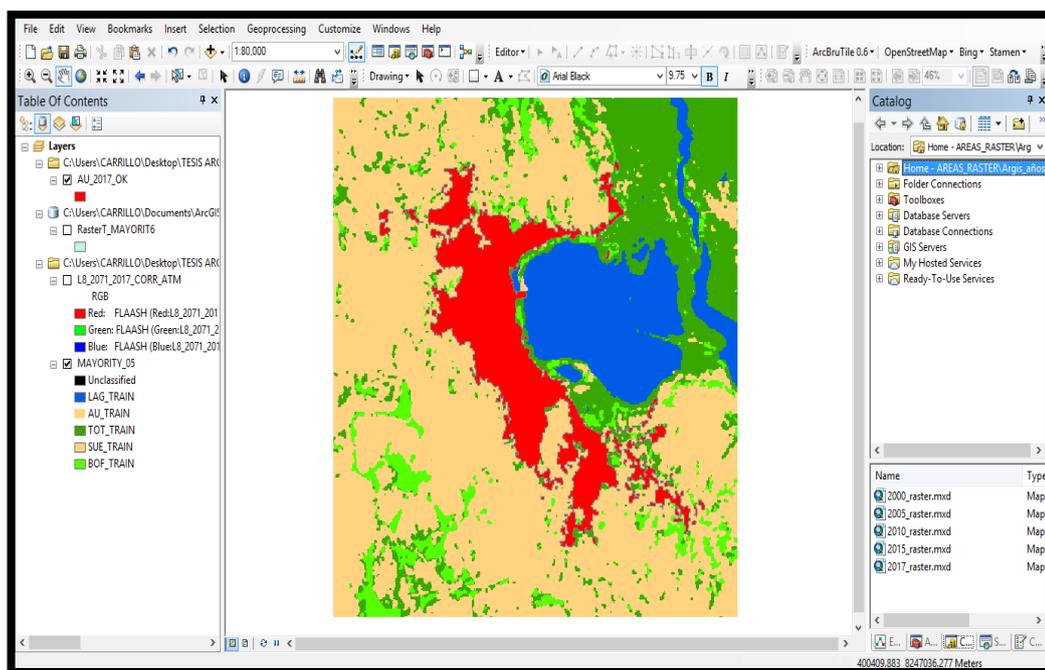


Figura 25: Imagen clasificada
Fuente: Elaboración propia

Tabla 15: Áreas obtenidas de la clasificación supervisadas

AÑO	AREA CLASIFICADA SUPERVISADA (hás)
1980	362.8800
1985	380.1529
1990	465.4981
1995	627.2871
2000	761.5620
2005	889.6512
2010	1126.3461
2015	1250.8060
2017	1512.2681

Fuente: Elaboración Propia

3.7. PRUEBA ESTADISTICA

3.7.1. Validación

En esta etapa se validó las clasificaciones obtenidas construyendo las correspondientes matrices de confusión y calculando los porcentajes de píxeles correctamente clasificados y los valores del índice kappa, así como sus intervalos de confianza.

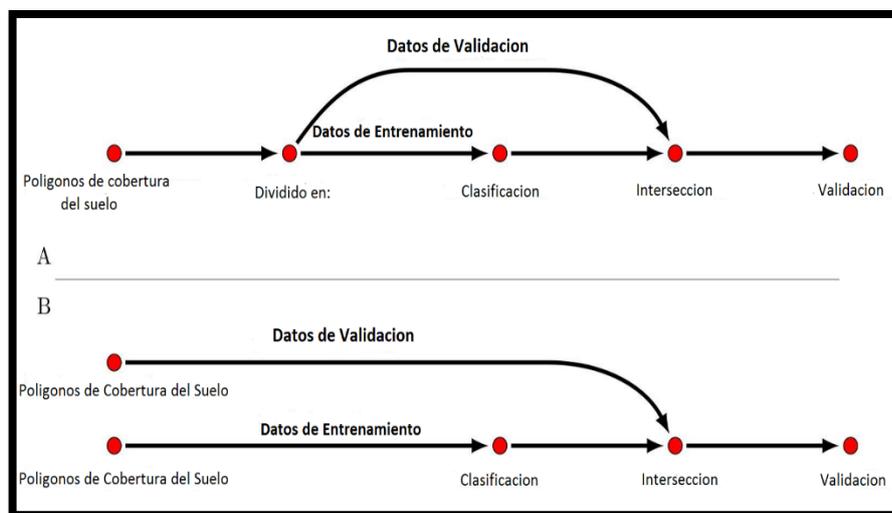


Figura 26: Proceso de validación

Fuente: (Turpo Cayo, 2018).

3.7.2. Matriz de Confusión

Seguidamente se construyó las muestras de puntos de los datos de referencia, verificando los valores verdaderos de campo que son representados en columnas y que son comparados con la interpretación representada en las filas dentro de la matriz.

Tabla 16: Matriz de confusión

		Clasificación	
		Positivo	Negativo
Verdad terreno	Positivo	Positivos Ciertos	Negativos Falsos
	Negativo	Positivos Falsos	Negativos Ciertos

Fuente: Montes (2013)

3.7.3. Coeficiente de Kappa

Refleja el grado de concordancia entre dos matrices. Es definido por la siguiente ecuación; varia de 0 hasta 1.

$$IK = \frac{P_0 - P_E}{1 - P_E}$$

P_0 = Es la Proporción de Simultaneidades Observadas

A	B
C	D

T_{AB}
 T_{CD}

 \longrightarrow

$$P_0 = \frac{A + D}{A + B + C + D}$$

T_{AC} T_{BD}

P_E = Es la Proporción de Simultaneidades esperadas en la Hipótesis de Independencia entre los Observadores.

$$P_E = \frac{T_{AB} * T_{AC} + T_{BD} * T_{CD}}{(A + B + C + D)^2}$$

Según Chuvieco Salinero E. (2008), los valores del coeficiente Kappa oscila de 0 a 1, si los valores de CK, están más cercano al valor 1, indican que el proceso de clasificación es mejor, decir que la concordancia de los dos métodos es muy alta o por el contrario si están más cercanos a 0, los resultados de la clasificación son diferente o inadecuada en relación a la fuente de referencia.

Tabla 17: Valoración de índice de Kappa

INDICE KAPPA	FUERZA DE CONCORDANCIA
0.00	Pobre
0.01 - 0.20	Leve
0.21 - 0.40	Aceptable
0.41 - 0.60	Moderada
0.61 - 0.80	Considerable
0.81 - 1.00	Casi perfecta

Fuente: Landis & Koch (1977)

ERROR DE OMISIÓN: error de la no interpretación de categorías existentes en el área.

ERROR DE COMISIÓN: error de la interpretación de categorías que no existen en el área.

$$\text{Precisión Total} = \frac{\text{Suma diagonal}}{\text{Total}}$$

Interpretación:

1. El **error de omisión** varía entre 0 (cero) y 1 (un). Cuanto más cerca de 0 (cero) más próxima es la correspondencia entre la interpretación y tierra realidad.
2. El **error de comisión** varía entre 0 (cero) y 1 (un). Cuanto más cercano de 0 (cero) menor son los desvíos de la interpretación.
3. Una **precisión total** varía entre 0 (cero) y 1 (un). Cuanto más cercano de 0 (cero) menor precisión, cuanto más cercano de 1 mayor precisión.

3.7.4. Método Muestreo

Las técnicas de muestreo más empleadas en el proceso de evaluación de la confiabilidad temática son: aleatorio simple, aleatorio estratificado, sistemático, sistemático no alineado y por conglomerados.

Se utilizo el **muestreo aleatorio estratificado** (*Stratified random sampling*)

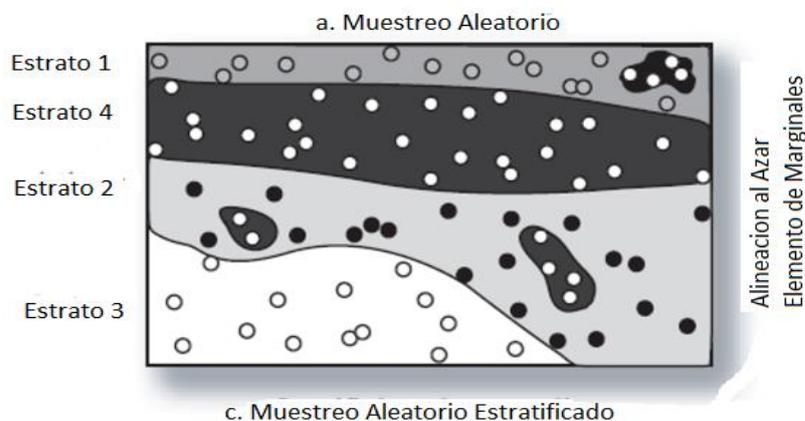


Figura 27: Muestreo aleatorio estratificado
Fuente: Turpo Cayo, (2018).

3.7.5. Tamaño de Muestra

Distribución binomial

$$n = \frac{z_{(\alpha/2)}^2 * p * q}{e^2}$$

$z_{(\alpha/2)}^2$ = Se define según nivel de confianza de 97% = 1.96

p = % de población que tiene el atributo deseado o características de interés.

(probabilidad de éxito, o **proporción esperada**).

q = Probabilidad fracaso (100-p).

e = Error máximo tolerable en términos de proporción (**precisión**).

3.7.6. Cálculo del Tamaño de la Muestra

Para una muestra para la cual la proporción esperada (p) es del 95% con un error máximo permisible del 3 % es decir tiene un 97 % de precisión, la cantidad de puntos necesarios para obtener resultados confiables es:

$$n = \frac{1.96_{(\alpha/2)}^2 * 95 * 5}{3^2}$$

$$n = 202.75$$

El resultado es **203** muestra o puntos.

3.7.7. Muestreo Aleatorio Estratificado

Es la técnica de muestreo aleatorio estratificado es una metodología que consta de distribuir los puntos aleatorios al azar sobre una imagen clasificada para poder abordar un análisis de la confiabilidad de la clasificación.

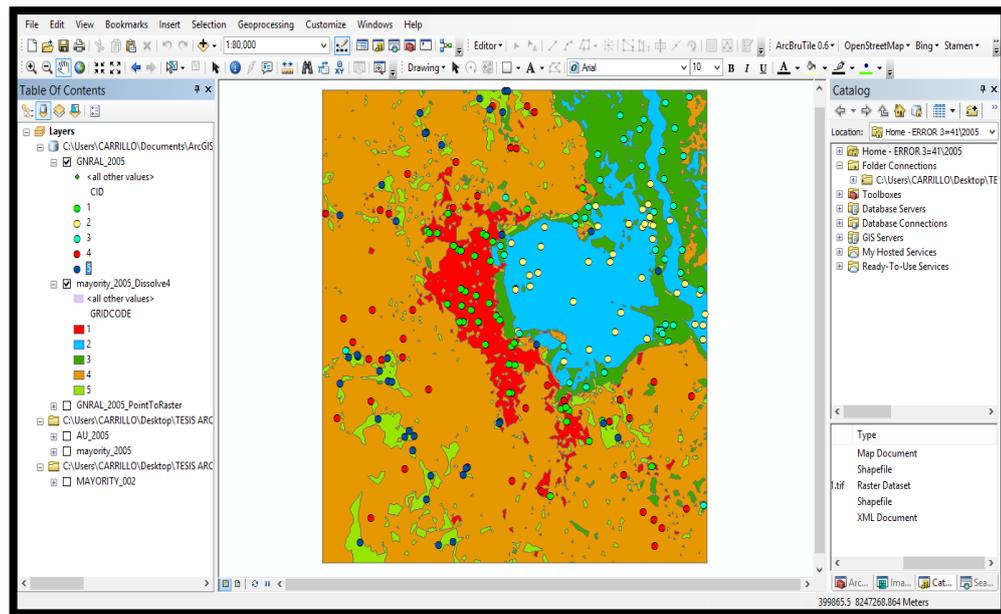


Figura 28: Puntos Generados de Random Point

Fuente: elaboración propia

3.7.7.1. Selección de Puntos Para la Verificación

En esta selección de puntos el tamaño de la muestra o el número de puntos a seleccionar para realizar las comparaciones dependerá del nivel de probabilidad o confianza al cual se somete la verificación, (error tolerable) y de acuerdo a la heterogeneidad de los datos. El número de puntos aleatorios será tan grande cuanto mayor sea el nivel de confianza, menor el margen de error, mayor la variabilidad y el tamaño de la población.

3.8. MÉTODO DE INTERPOLACIÓN

La interpolación es un proceso por el cual se define un valor en un punto cualquiera a partir de los valores conocidos en algunos puntos dados.

Tenemos un conjunto finito de puntos (nodos o puntos fijos) con un valor (nodal) asociado a cada uno de ellos: $\{(x_i, v_i)\}$, donde $x_i = \{x_i, y_i, z_i\}$ es la posición del i -ésimo punto y v_i es el valor asociado, se pretende encontrar el valor v asociado a un punto de coordenadas x cualquiera.

El proceso de interpolación define el valor asociado al punto variable. Podría, por ejemplo, asignarse el valor del punto más cercano o una combinación de valores cercanos. En una sola dimensión es muy sencillo encontrar el punto más cercano o los dos nodos que “encierran” el punto buscado, pero en más dimensiones resulta más complicado.

3.8.1. Interpolación Lineal

Según Seminario Vasquez (2009), interpolar significa encontrar un valor intermedio entre dos o más puntos base conocidos, los cuales se pueden aproximar mediante polinomios.

$$y = y_1 + \left[\left(\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \right) (y_2 - y_1) \right]$$

x = Año que se quiere encontrar

x₁ = Año Anterior a "x"

x₂ = Año Posterior a "x"

y₁ = Poblacion de "x₁"

y₂ = Poblacion de "x₂"

Reemplazando Datos:

x = 2000

x₁ = 1993

x₂ = 2007

y₁ = 91877 Hab.

y₂ = 120229 Hab.

$$y = y_1 + \left[\left(\frac{2000 - 1993}{2007 - 1993} \right) (y_2 - y_1) \right]$$

$$y = y_1 + [(0.5)(y_2 - y_1)]$$

$$y = y_1 + [(0.5)(120229 - 91877)]$$

$$y = y_1 + [14176]$$

$$y = 91877 + [14176]$$

$$y = 106053 \text{ Hab.}$$

3.8.2. Datos de la Población

Tabla 18: Tabla de años censales.

AÑO	POBLACION URBANA (Hab)
1961	24459
1972	40453
1981	67628
1993	91877
2007	120229
2017	129922

Fuente: INEI (2016)

Tabla 19: Tabla de años censales calculados mediante la interpolación.

AÑO	POBLACION (Hab)
1980	64609
1985	75711
1990	85815
1995	95927
2000	106053
2005	116179
2010	123137
2015	127983
2017	129922

Fuente: Elaboración propia

3.9. VARIABLES:

La variable dependiente es el comportamiento de la dinámica espacial urbana, y las variables independientes, es la población.

Y= Dinámica espacial urbana

X= Población

Tabla 20: Variables

VARIABLES			
DEPENDIENTE	Unidad	INDEPENDIENTE	Unidad
Superficie Urbana	has	Población	hab.

Fuente: Elaboración propia

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados obtenidos del presente trabajo de investigación, utilizando técnicas de procesamiento de imágenes de satélite, que involucra trabajo de campo y gabinete, así como el uso de software especializado, técnicas cartográficas los mismos han sido integrados para obtener finalmente el análisis del crecimiento urbano de la ciudad de Puno mediante un Sistema de Información Geográfica y Teledetección espacial.

Debido a que existe la tendencia de un crecimiento de la población urbana incontrolada, generado por la falta de cumplimiento del plan de desarrollo urbano y otros instrumentos de gestión territorial, a lo largo de los años transcurridos en los últimos decenios, como consecuencia de ello es que se presenta un crecimiento de forma acelerada y desordenada y esto implica una serie de transformaciones de forma negativa y no acorde a un crecimiento planificado.

4.1. ANALISIS TEMPORAL CRONOLOGICO DEL CRECIMIENTO URBANO MEDIANTE IMÁGENES SATELITALES

A continuación, se muestran los resultados de las clasificaciones de las coberturas de expansión urbana a nivel multitemporal cada 5 años y el ultimo año 2017, empezando de los años 1980 – 2017, se realizó la comparación cada 2 clasificaciones en cada temporada, esto para obtener cambios generados en relación a cada año respectivo. Se puede apreciar en las áreas de crecimiento urbano, se utilizó una leyenda ver tabla 14 única para las coberturas establecidas, con las etiquetas y/o regiones de interés ya mencionados en el procedimiento.

Tabla 21: Temporalidad de Cronología de crecimiento urbana del 1980 - 2017

AÑO	AREA URBANA (hás)	CRECIMIENTO (hás)	CRECIMIENTO %
1980	362.8800		
1985	380.1529	17.2729	2
1990	465.4981	85.3451	7
1995	627.2871	161.7891	14
2000	761.5620	134.2749	12
2005	889.6512	128.0892	11
2010	1126.3461	236.6949	21
2015	1250.8060	124.4599	11
2017	1512.2681	261.4621	23
TOTAL	7376.4515	1149.3881	100

Fuente: Elaboración propia

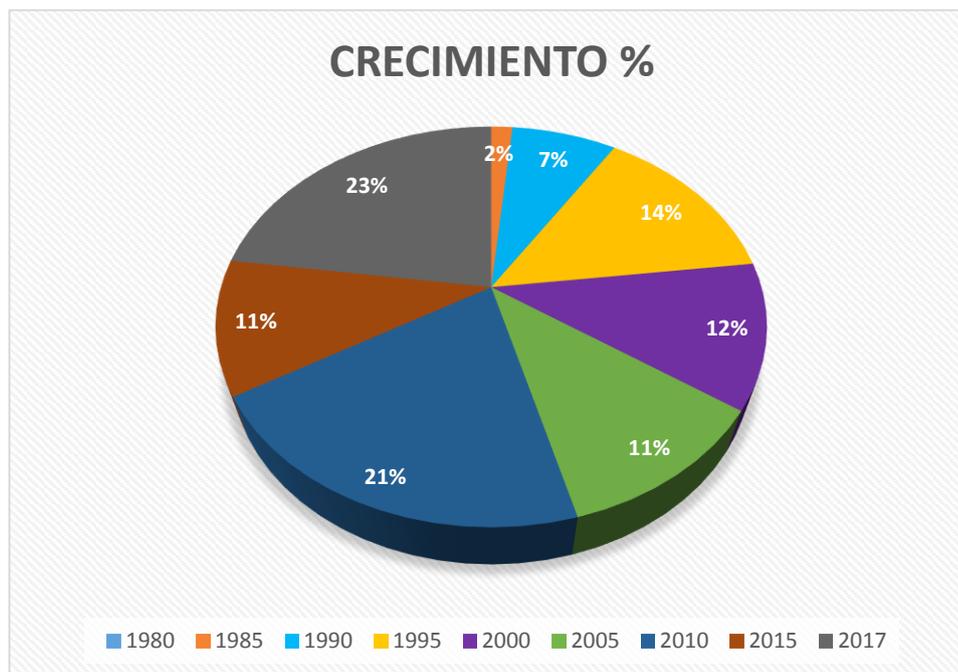


Figura 29: Crecimiento urbano porcentual

Fuente: Elaboración propia

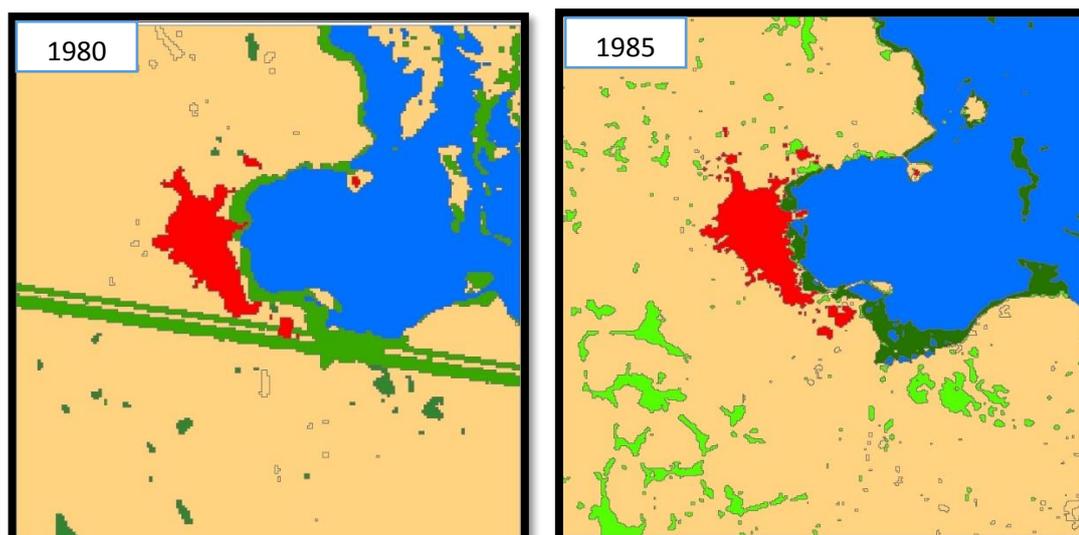


Figura 30: Área urbana del periodo 1980-1985

Fuente: Elaboración propia

En el primer periodo (1980-1985), el crecimiento del área urbano fue de 17.2729 hács (3.4545 hács /año), el área del crecimiento urbano en el año 1985 aumento en un 2 % respecto al año 1980, y en este periodo se considera que la población estuvo en crecimiento 11102 hab. Representa el 17 % de la población en el periodo 1980 – 1985. En relación al crecimiento urbano espacial y poblacional, el crecimiento poblacional genero cambios del uso y cobertura del suelo, específicamente de la expansión urbana.

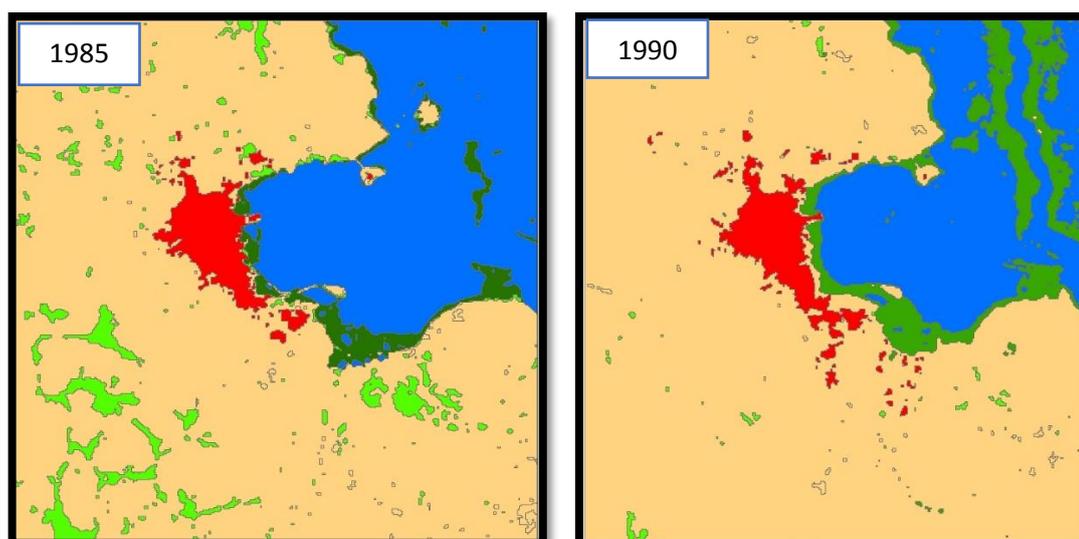


Figura 31: Área urbana del periodo 1985-1990

Fuente: Elaboración propia

En el segundo periodo (1985-1990), el crecimiento del área urbano fue de 85.3451 hás (17.0690 hás/año), el área del crecimiento urbano en el año 1990 aumento en un 7 % respecto al año 1985, y en este periodo se considera que la población estuvo en crecimiento 10104 hab. Representa el 15 % de la población en el periodo 1985 – 1990. En relación al crecimiento urbano espacial y poblacional, el crecimiento poblacional genero cambios del uso y cobertura del suelo, específicamente de la expansión urbana.

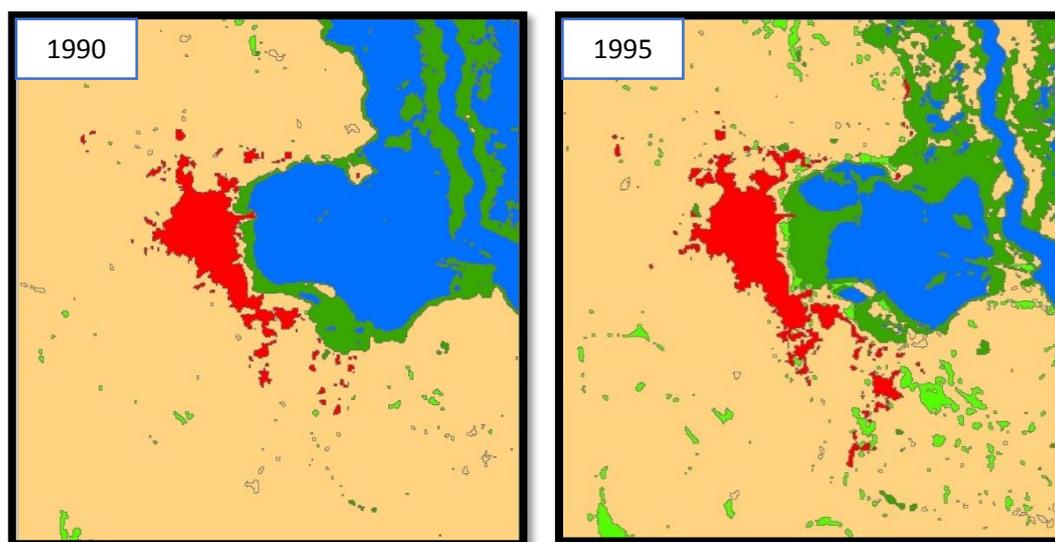


Figura 32: Área urbana del periodo 1990-1995

Fuente: Elaboración propia

En el tercer periodo (1990-1995), el crecimiento del área urbano fue de 161.7891 hás (32.3578 hás/año), el área del crecimiento urbano en el año 1995 aumento en un 14 % respecto al año 1990, y en este periodo se considera que la población estuvo en crecimiento 10112 hab. Representa el 15 % de la población en el periodo 1990 – 1995. En relación al crecimiento urbano espacial y poblacional, el crecimiento poblacional genero cambios del uso y cobertura del suelo, específicamente de la expansión urbana.

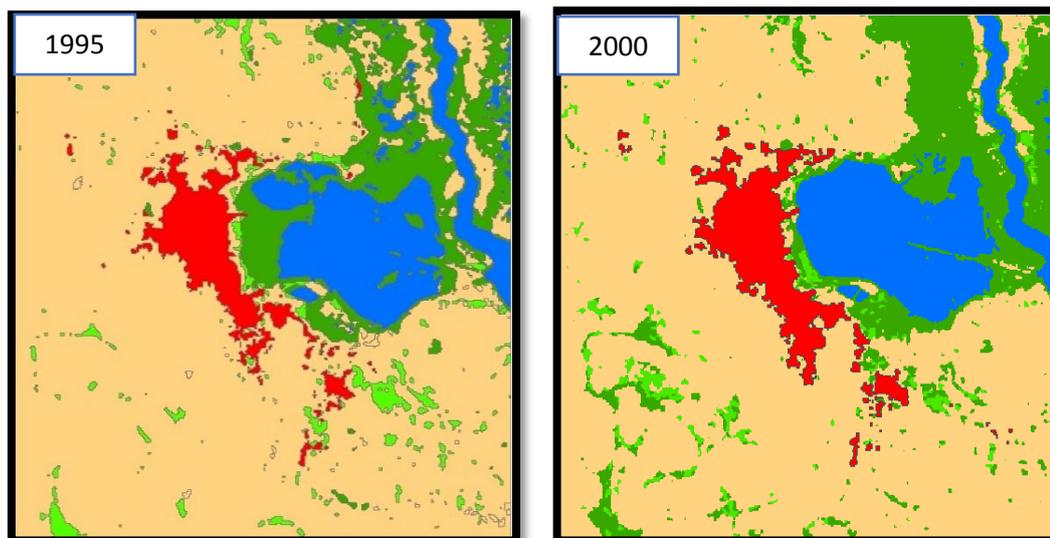


Figura 33: Área urbana del periodo 1995-2000

Fuente: Elaboración propia

En el cuarto periodo (1995-2000), el crecimiento del área urbano fue de 134.2749 hás (26.8550 hás/año), el área del crecimiento urbano en el año 2000 aumento en un 12% respecto al año 1995, en este periodo se considera que la población estuvo en crecimiento 10126 hab. Representa el 16 % de la población en el periodo 1995 – 2000. En relación al crecimiento urbano espacial y poblacional, el crecimiento poblacional genero cambios del uso y cobertura del suelo, específicamente de la expansión urbana.

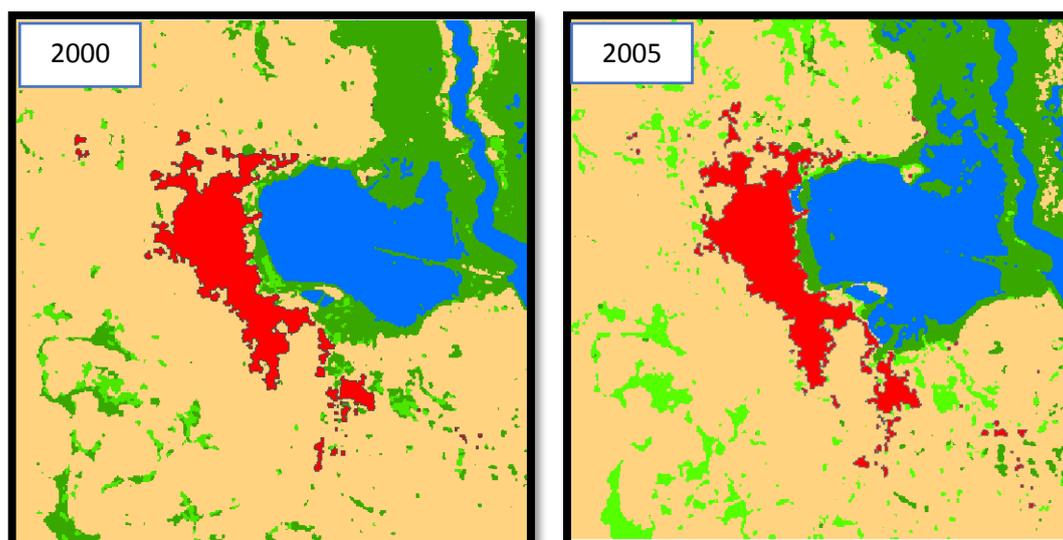


Figura 34: Área urbana del periodo 2000-2005

Fuente: Elaboración propia

En el quinto periodo (2000-2005), el crecimiento del área urbano fue de 128.0892 hás (25.6178 hás/año), el área del crecimiento urbano en el año 2005 aumento en un 11% respecto al año 2000, en este periodo se considera que la población estuvo en crecimiento 10126 hab. Representa el 16 % de la población en el periodo 2000 – 2005. En relación al crecimiento urbano espacial y poblacional, el crecimiento poblacional genero cambios del uso y cobertura del suelo, específicamente de la expansión urbana.

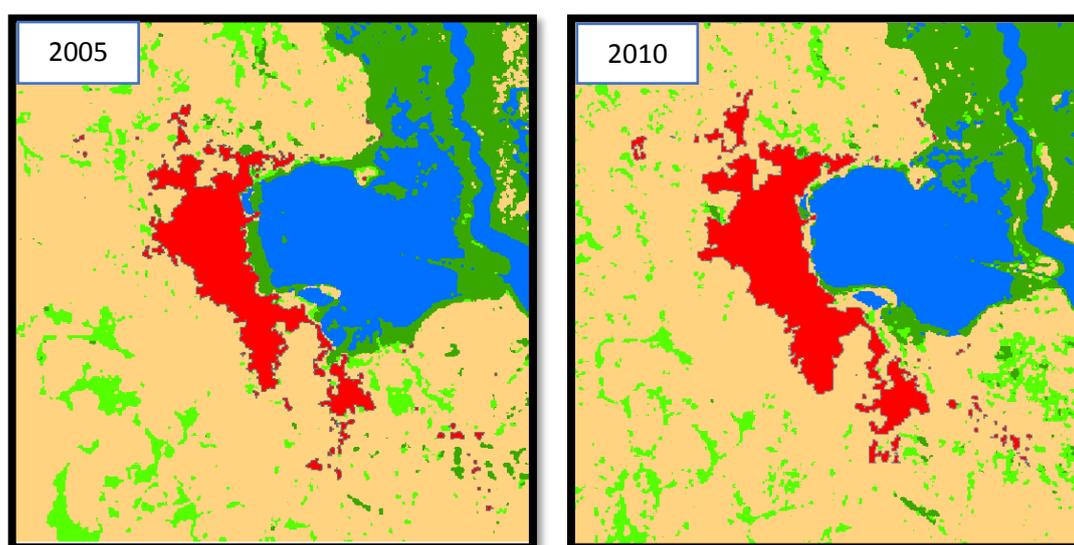


Figura 35: Área urbana del periodo 2005-2010

Fuente: Elaboración propia

En el sexto periodo (2005-2010), el crecimiento del área urbano fue de 236.6949 hás (47.3390 hás/año), el área del crecimiento urbano en el año 2010 aumento en un 21% respecto al año 2005, en este periodo se considera que la población estuvo en crecimiento 6958 hab. Representa el 11 % de la población en el periodo 2005 – 2010. En relación al crecimiento urbano espacial y poblacional, el crecimiento poblacional genero cambios del uso y cobertura del suelo, específicamente de la expansión urbana.

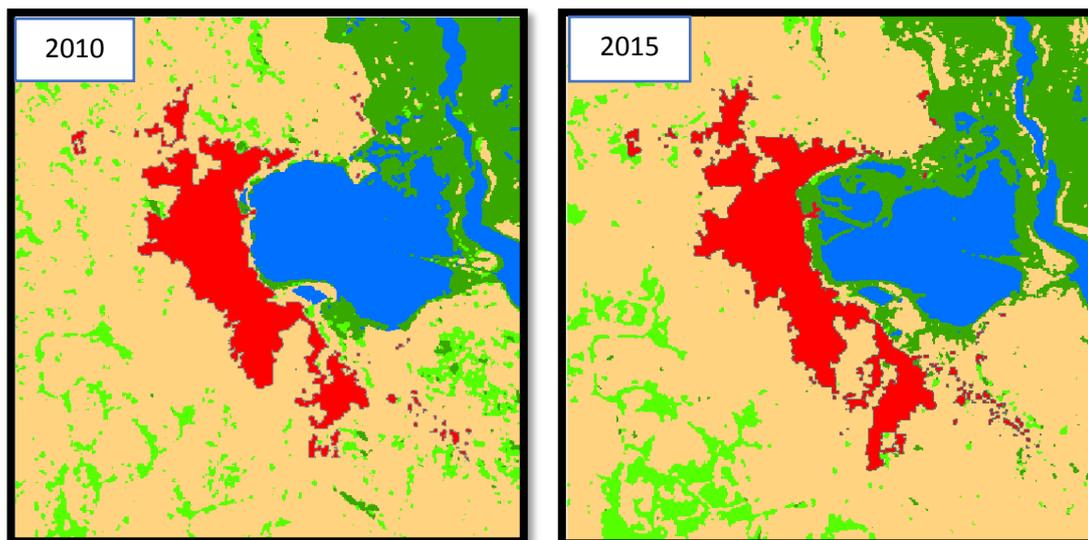


Figura 36: Área urbana del periodo 2010-2015

Fuente: Elaboración propia

En el séptimo periodo (2010-2015), el crecimiento del área urbano fue de 124.4599 hás (24.8920 hás/año), el área del crecimiento urbano en el año 2015 aumento en un 11% respecto al año 2010, en este periodo se considera que la población estuvo en crecimiento 4846 hab. Representa el 7 % de la población en el periodo 2010 – 2015. En relación al crecimiento urbano espacial y poblacional, el crecimiento poblacional genero cambios del uso y cobertura del suelo, específicamente de la expansión urbana.

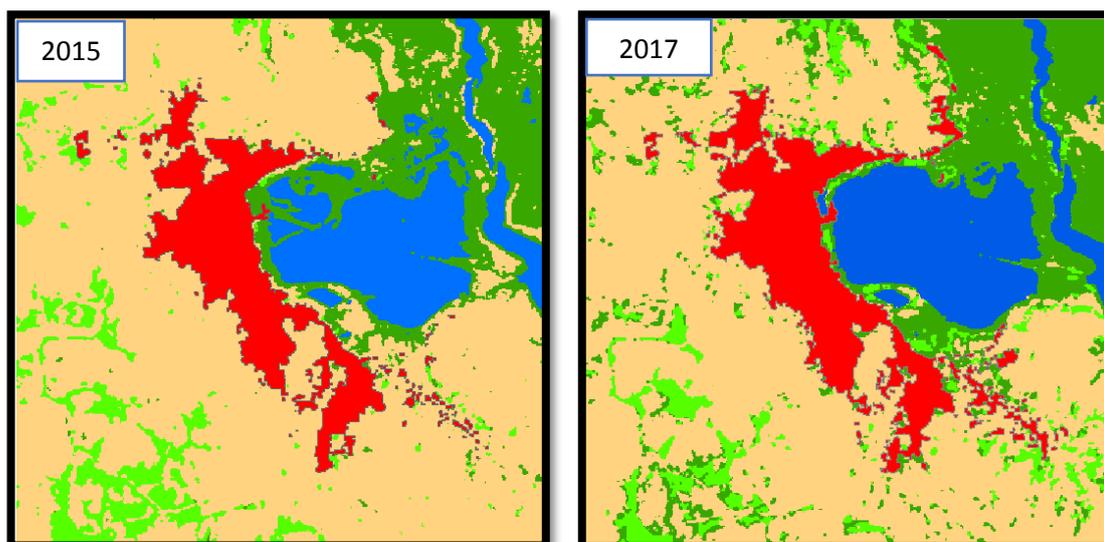


Figura 37: Área urbana del periodo 2015-2017

Fuente: Elaboración propia

En el octavo periodo (2015-2017), el crecimiento del área urbano fue de 261.4621 hás (130.7311 hás/año), el área del crecimiento urbano en el año 2017 aumento en un 23% respecto al año 2015, en este periodo se considera que la población estuvo en crecimiento 1939 hab. Representa el 3 % de la población en el periodo 2015 – 2017. En relación al crecimiento urbano espacial y poblacional, el crecimiento poblacional genero cambios del uso y cobertura del suelo, específicamente de la expansión urbana.

4.2. ANALISIS POR HIPOTESIS

Para el análisis de la hipótesis específica 1: Es comparar la eficiencia de método de la clasificación supervisada y la vectorización visual en la determinación de análisis multitemporal del crecimiento urbano de la ciudad de Puno en el periodo 1980 – 2017 llegando a calcular las siguientes áreas.

4.2.1. Vectorización Visual

En la vectorización visual de las áreas obtenidos:

Tabla 22: Áreas urbanas obtenidas por vectorización visual

AÑO	AREA URBANA (hás)
1980	359.5452
1985	404.1865
1990	609.1712
1995	697.9568
2000	819.5240
2005	974.0230
2010	1041.6520
2015	1330.3560
2017	1409.6550

Fuente: Elaboración Propia

4.2.2. Clasificación Supervisada por Máxima Probabilidad

La clasificación supervisada por el método de máxima probabilidad o verosimilitud nos dan las siguientes áreas:

Tabla 23: Áreas urbanas obtenidas por máxima probabilidad

AÑO	AREA CLASIFICADA SUPERVISADA (hás)
1980	362.8800
1985	380.1529
1990	465.4981
1995	627.2871
2000	761.5620
2005	889.6512
2010	1126.3461
2015	1250.8060
2017	1512.2681

Fuente: Elaboración propia

PRUEBA ESTADISTICA

El proceso de general áreas en modo visual y clasificación supervisada se obtuvieron áreas representadas en hectáreas para luego representarlas a manera de una comparación para luego determinar el grado de diferencia que existen en el periodo 1980 – 2017 a prueba de ello se efectuó el método T-STUDENT siendo así los resultados:

Tabla 24: Comparación de métodos de mapeo.

Nº	AÑO	AREA VISUAL (hás)	AREA CLASIFICADA SUPERVISADA (hás)
1	1980	359.5452	362.8800
2	1985	404.1865	380.1529
3	1990	609.1712	465.4981
4	1995	697.9568	627.2871
5	2000	819.5240	761.5620
6	2005	974.0230	889.6512
7	2010	1041.6520	1126.3461
8	2015	1330.3560	1250.8060
9	2017	1409.6550	1512.2681
TOTAL		7646.0697	7376.4515
		TOTAL	15022.5212

Fuente: Elaboración propia.

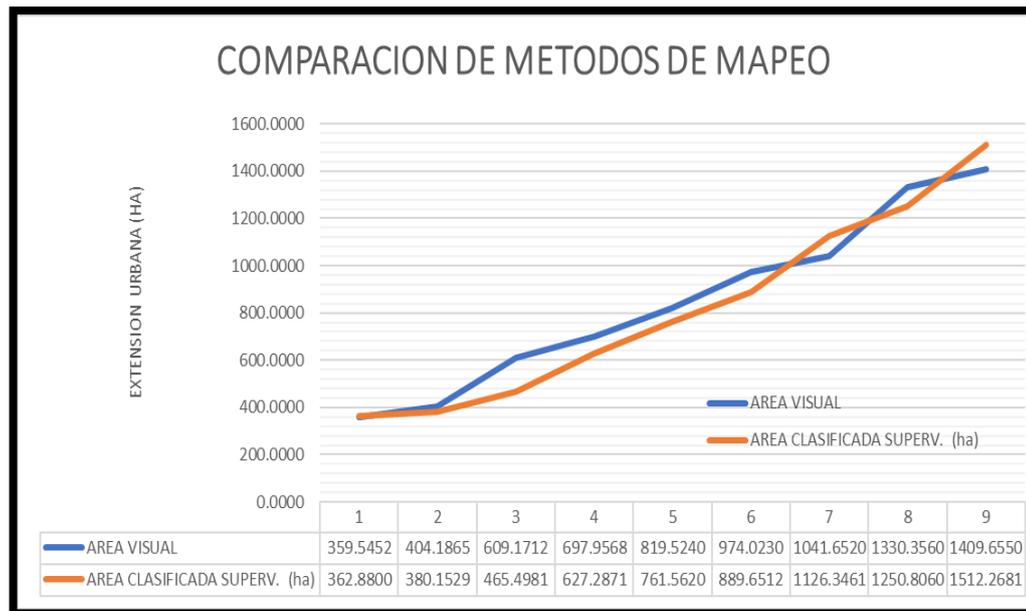


Figura 38: Comparación de métodos de mapeo.

Fuente: Elaboración propia.

REALIZANDO CALCULOS:

a) Grados de libertad:

$$GL_{trat} = t - 1 = 2 - 1 = 1$$

$$GL_{error} = t (r - 1) = 2 (9 - 1) = 16$$

$$GL_{total} = t r - 1 = 2 * 9 - 1 = 17$$

b) Suma de cuadrados:

$$TC = \frac{Y^2}{tr} = \frac{15022.5212^2}{2 * 9} = 12537563.51$$

$$i. \quad SC_{Trat} = \sum_{z=1}^z \frac{Y_1^2}{r} - TC = \frac{7646.0697^2 + 7376.4515^2}{9} - 12537563.51$$

$$= 4038.5554$$

$$ii. \quad \sum Y_{1j}^2 - TC = 359.5552^2 + 404.1865^2 + \dots + 1512.2681^2 - 12537563.51$$

$$= 2453620.438$$

$$iii. \quad SC_{Error\ Espiral} = SC_{Total} - SC_{Trat} = 2453620.438 - 4038.5554$$

$$iv. \quad = 2449581.883$$

$$v. \quad CM_{Trat} = \frac{SC_{trat}}{t-1} = \frac{4038.5554}{1} = \mathbf{4038.5554}$$

$$vi. \quad CM_{error \text{ exp}} = \frac{SC_{error \text{ exp}}}{t(r-1)} = \frac{2449581.883}{16} = \mathbf{153098.8677}$$

$$vii. \quad FC = \frac{CM_{trat}}{CM_{Error \text{ Exp}}} = \frac{4038.5554}{153098.8677} = \mathbf{0.02637}$$

ANALISIS DE VARIANZA:

Tabla 25: Análisis de varianza ANOVA

F. DE V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc.	F critico
Métodos	1	4038.5554	4038.5554	0.02637	4.49
Dentro de los métodos	16	2449581.883	153098.8677		
Total	17	2453620.438			

Fuente: Elaboración propia.

1. Planteamiento de Hipótesis

- ✓ Vectorización visual con Clasificación supervisada.

Bilateral:

$$H_0 : \mu_j = \mu_j$$

Ha: Vectorización visual = Clasificación Supervisada.

$$H_0 : \mu_j \neq \mu_j$$

Ha: Vectorización visual \neq Clasificación Supervisada.

2. Nivel de Significación: $\alpha= 0.01$ y $\alpha= 0.05$

3. Prueba Estadística (Prueba de t)

$$|t_c| = \frac{\bar{d}}{s_{\bar{d}}}$$

4. Regla de Decisión

Si $-t_{(tabla)} \leq t_c \leq t_{(tabla)}$, se acepta H_o

Si $|t_c| > t_{(tabla)}$ o $|t_c| \leq t_{(tabla)}$, se rechaza H_o

5. Cálculos

Prueba de t para vectorización visual y clasificación supervisada.

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n} = \frac{269.62}{9} = 29.958$$

$$s_{\bar{d}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n d_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n d_i)^2}{n}}{n - 1} = \frac{60733.8364 - \frac{(269.62)^2}{9}}{8} = 6582.091$$

$$s_{\bar{d}} = \sqrt{\frac{6582.091}{9}} = 27.0433$$

$$|t_c| = \frac{\bar{d}}{s_{\bar{d}}} = \frac{29.958}{27.0433} = 1.10776074$$

RESULTADO PRUEBA T- STUDENT

PRUEBA DE T PARA MEDIAS DE DOS MUESTRAS EMPAREJADAS

Nivel se Significancia	a= 0.01	
	Variable 1	Variable 2
Media	849.5633033	819.6057218
Varianza	139675.7634	166521.9719
Observaciones	9	9
Coefficiente de correlación de Pearson	0.982286526	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	8	
Estadístico t	1.107760746	
P(T<=t) una cola	0.150078254	
Valor crítico de t (una cola)	2.896459448	
P(T<=t) dos colas	0.300156508	
Valor crítico de t (dos colas)	3.355387331	

Fuente: Elaboración propia

PRUEBA DE T PARA MEDIAS DE DOS MUESTRAS EMPAREJADAS

Nivel de Significancia	a= 0.05	
	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	849.5633033	819.6057218
Varianza	139675.7634	166521.9719
Observaciones	9	9
Coefficiente de correlación de Pearson	0.982286526	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	8	
Estadístico t	1.107760746	
P(T<=t) una cola	0.150078254	
Valor crítico de t (una cola)	1.859548038	
P(T<=t) dos colas	0.300156508	
Valor crítico de t (dos colas)	2.306004135	

Fuente: Elaboración propia

❖ Si $t_{(0.01,8)} \leq t_c \leq t_{(0.01,8)}$,

Como $- 3.355 \leq \mathbf{1.107} \leq 3.355$ se acepta la H_o

❖ Si $t_{(0.05,8)} \leq t_c \leq t_{(0.05,8)}$,

Como $- 2.306 \leq \mathbf{1.107} \leq 2.306$ se acepta la H_o

Tabla 26: Cuadro de comparación

COMPARACION	Ho:	Ha:	t: 0.01 - 8	t: 0.05 - 8	Significa
Vectorización Visual vs Clasificación Supervisada	Acepta	Rechaza	3.355	2.306	**

** regla de decisión de aceptación de los dos hipótesis nula y alterna

Fuente: Elaboración propia.

INTERPRETACION

Con los valores t critico son $t_{(0.01,8)} = 3.355$ mayor a $t_{(c)} = 1.107$ y $t_{(0.05,8)} = 2.306$

mayor a $t_{(c)} = 1.107$; siendo así que al 99% y 95% de confianza se acepta la

Hipótesis Nula, esto indica que estadísticamente la vectorización visual es igual a la clasificación supervisada basándonos por el criterio del t student.

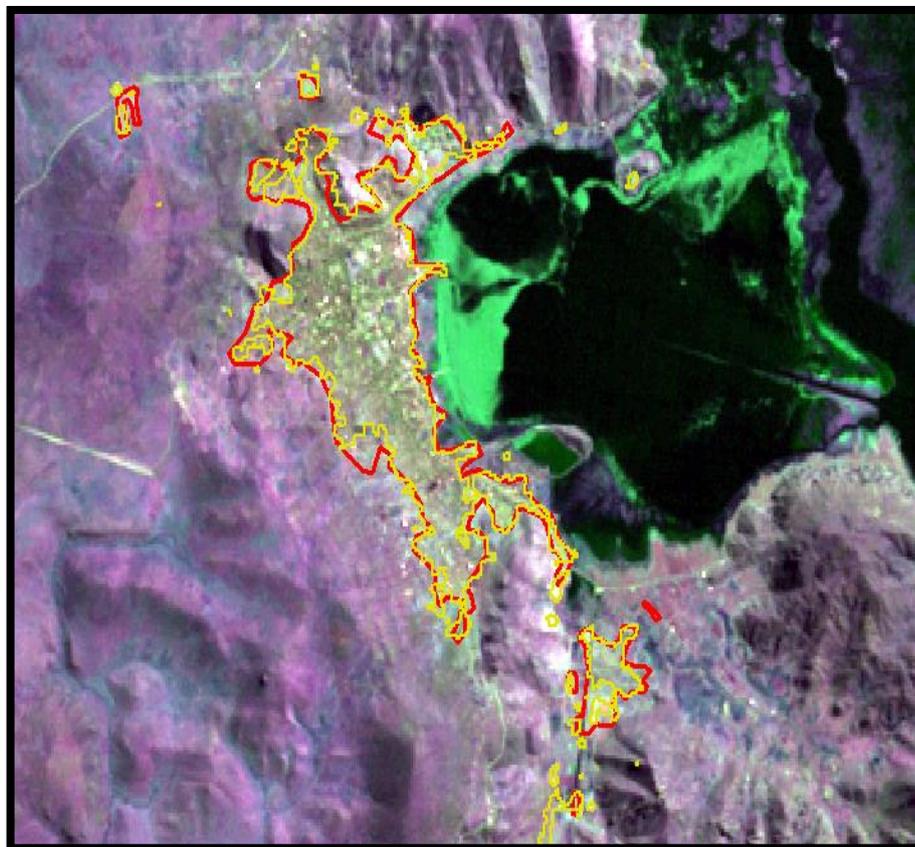


Figura 39: Comparación de mapeo del área urbana
Fuente: elaboración propia

Comparando el método de mapeo se puede apreciar la vectorización visual en la imagen es un vector de color rojo y la clasificación supervisada por máxima verosimilitud con el vector amarillo.

Para el análisis de la hipótesis específica 2:

El análisis de las correlaciones es una de las metodologías aplicadas en las investigaciones las cuales comúnmente se usan para estimar el nivel de asociación lineal entre las variables de objeto de estudio.

En la segunda hipótesis de la investigación realizada se estableció variables que están correlacionadas asimismo se tomó análisis de correlación con los métodos de

coeficiente de correlación de Pearson, coeficiente de correlación de Kendall y coeficiente de correlación de Spearson, todos estos métodos proporcionan características de comportamiento de las variables investigadas, tal es así ideal para la toma de decisiones con los coeficientes dados y dar un apropiado acuerdo de las variables. Por tal motivo es presentar una adecuada aplicación con los coeficientes de correlación.

COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE PEARSON (r)

El valor del coeficiente de correlación de Pearson (r) determinar si existe una relación lineal entre las variables de estudio. Sin embargo, no indica si esta relación es estadísticamente significativa. Para ello se aplica la prueba de hipótesis del parámetro ρ (rho). Como en toda prueba de hipótesis, la prueba nula (H_0) establece que no existe una relación, es decir, que el coeficiente de correlación (ρ) es igual a 0. Mientras que la hipótesis alterna (H_1), propone que existe una relación significativa por lo que ρ debe ser diferente a cero.

$$r = \frac{N \sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{[N \sum X^2 - (\sum X)^2][N \sum Y^2 - (\sum Y)^2]}}$$

Interpretación:

- El coeficiente de correlación, r , presenta valores entre -1 y $+1$.
- Cuando r es próximo a 0, no hay correlación lineal entre las variables. La nube de puntos está muy dispersa o bien no forma una línea recta. No se puede trazar una recta de regresión.
- Cuando r es cercano a $+1$, hay una buena correlación positiva entre las variables según un modelo lineal y la recta de regresión que se determine tendrá pendiente positiva, será creciente.
- Cuando r es cercano a -1 , hay una buena correlación negativa entre las variables según un modelo lineal y la recta de regresión que se determine tendrá pendiente negativa: es decreciente.

Escala de valoración del nivel de correlación de Pearson

Para interpretar el coeficiente de correlación utilizamos la siguiente escala:

Tabla 27: Escala de valoración del nivel de correlación de Pearson

Valor	Significado
-1	Correlación negativa grande y perfecta
-0.9 a -0.99	Correlación negativa muy alta
-0.7 a -0.89	Correlación negativa alta
-0.4 a -0.69	Correlación negativa moderada
-0.2 a -0.39	Correlación negativa baja
-0.01 a -0.19	Correlación negativa muy baja
0	Correlación nula
0.01 a 0.19	Correlación positiva muy baja
0.2 a 0.39	Correlación positiva baja
0.4 a 0.69	Correlación positiva moderado
0.7 a 0.89	Correlación positiva alta
0.9 a 0.99	Correlación positiva muy alta
1	Correlación positiva grande y perfecta

Fuente: Hernandez Sampieri, Fernandez Collado, & Pilar (2014)

Asimismo Hernandez Sampieri, Fernandez Collado, & Pilar (2014), nos explica que el signo indica la dirección de la correlación (positiva o negativa); y el valor numérico, la magnitud de la correlación. En programas como SPSS el nivel de significancia se señala con asteriscos (*) donde: un asterisco (*) implica una significancia menor a 0.05 (la probabilidad de error es menor al 5%) y dos asteriscos (**) una significancia menor a 0.01 (la probabilidad de error es menor de 1%). realizado en el programa estadístico SPSS versión 25.

Tabla 28: Calculo de correlación de Pearson

Nº	AÑO	AREA URBANA (hás)	POBLACION (hab.)	x ²	y ²	xy
1	1980	362.8800	64609	131681.8944	4174322881	23445313.9200
2	1985	380.1529	75711	144516.2624	5732155521	28781759.6946
3	1990	465.4981	85815	216688.4346	7364214225	39946715.1608
4	1995	627.2871	95927	393489.1058	9201989329	60173769.6417
5	2000	761.5620	106053	579976.6798	11247238809	80765934.7860
6	2005	889.6512	116179	791479.2577	13497560041	103358786.7648
7	2010	1126.3461	123137	1268655.5370	15162720769	138694879.7157
8	2015	1250.8060	127983	1564515.6496	16379648289	160081904.2980
9	2017	1512.2681	129922	2286954.8063	16879726084	196476896.0882
TOTAL		7376.4515	925336.0000	7377957.6275	99639575948.0000	831725960.0698

Fuente: Elaboración Propia

$$r = \frac{9 \cdot 831725960.0698 - 7376.4515 \cdot 925336.0000}{\sqrt{[9 \cdot 7377957.6275^2 - (7376.4515)^2] \cdot [9 \cdot 99639575948.0000^2 - (925336.0000)^2]}}$$

r = 0.947

Tabla 29: Correlación entre el crecimiento espacial urbano y el crecimiento poblacional Pearson

Correlaciones			
Descripción		AREA (hás)	POBLACION (hab.)
AREA (hás)	Correlación de Pearson	1	,947**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	9	9
POBLACION (hab.)	Correlación de Pearson	,947**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	9	9

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a los resultados de la investigación, Según la prueba de hipótesis de Pearson podemos indicar que existe una relación muy significativa entre las variables; el

crecimiento espacial urbano y el crecimiento poblacional es de 0,947** de las imágenes satelitales y análisis multitemporal. Debido a que el grado de significancia es igual a 0.000 mucho menor a un error o significancia de 0.05 o 5%. Lo que significa que el grado de confianza para ambas variables es mayor a un 95%. Lo que nos indica que es una correlación positiva muy alta entre las dos variables estudiados.

COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE KENDALL

La fórmula para explicar el procedimiento estadístico de la Correlación de Kendall, donde no existen empates entre las variables es la siguiente:

$$\tau = \frac{S}{\frac{1}{2}N(N - 1)}$$

Dónde:

τ (Tau): Es el coeficiente de correlación de Kendall

S : Es la puntuación efectiva de los rangos

N : Es el tamaño de la muestra en parejas variables

Interpretación

Los valores oscilan en el rango de -1 a 1.

Tabla 30: Interpretación del valor de Kendall

Coeficiente cualitativo	Coeficiente cuantitativo
(+, -) Correlación nula o inexistente	$0,00 \leq r \leq 0,00$
(+, -) Correlación positiva o negativa muy baja	$0,01 \leq r \leq 0,20$
(+, -) Correlación positiva o negativa baja	$0,21 \leq r \leq 0,40$

(+, -) Correlación positiva o negativa moderada	$0,41 \leq r \leq 0,60$
(+, -) Correlación positiva o negativa alta	$0,61 \leq r \leq 0,80$
(+, -) Correlación positiva o negativa muy alta	$0,81 \leq r \leq 0,99$
(+, -) Correlación positiva o negativa perfecta	$1,00 \leq r \leq 1,00$

Fuente: Hernandez Sampieri, Fernandez Collado, & Pilar (2014)

Tabla 31: Correlación entre el crecimiento espacial urbano y el crecimiento poblacional Kendall

Correlaciones				
Descripción			AREA (hás)	POBLACION (hab.)
Tau_b de Kendall	AREA (hás)	Coefficiente de correlación	1,000	1,000**
		Sig. (bilateral)	.	.
		N	9	9
	POBLACION (hab.)	Coefficiente de correlación	1,000**	1,000
		Sig. (bilateral)	.	.
		N	9	9

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: Elaboración Propia

El coeficiente de relación Kendall, donde resulta que existe una correlación entre las dos variables crecimiento espacial urbano y el crecimiento poblacional, se logra obtener un 1,000** que significa que existe una Correlación positiva perfecta. Sin margen de error de significancia de 0.05 o 5%, por lo cual podemos concluir que existe una relación significativa entre la dimensión crecimiento espacial urbano y el crecimiento poblacional.

COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE SPEARMAN

Cuando las variables, siendo cuantitativas, no tienen una distribución semejante a la de la curva normal, o cuando una o ambas son de tipo discreto el coeficiente idóneo para evaluar la intensidad de la asociación es el descrito por spearman.

$$p = 1 - \frac{6 \sum d^2}{n(n^2 - 1)}$$

Dónde:

p = Coeficiente de correlación de Spearman.

n = Población.

d^2 = Diferencia de los valores de las variables elevado al cuadrado.

$$p = 1 - \frac{6 \sum d^2}{925336(925336^2 - 1)}$$

$$p = 1 - \frac{6 \sum d^2}{925336(8562467129 \times 10^{11})}$$

$$p = 1 - \frac{6 * (97983501984)}{925336(8562467129 \times 10^{11})}$$

$$p = 1 - \frac{5.879010119 \times 10^{11}}{925336(8562467129 \times 10^{11})}$$

$$p = 1 - \frac{5.879010119 \times 10^{11}}{925336(8562467129 \times 10^{11})}$$

$$p = 1 - \frac{5.879010119 \times 10^{11}}{7.923158698 \times 10^{27}}$$

$$p = 1 - 7.420033276 \times 10^{-17}$$

$$p = 1.00$$

Interpretación:

Según Tafur Portilla (1995), los valores del coeficiente oscilan entre 1 y -1. El valor 1 indica una correlación perfecta, en tanto que -1 expresa una correlación nula. (Tafur, 1995) pág. 314.

Tabla 32: Interpretación del valor de rho de spearman:

Valor	Significado
-1.00	Correlación negativa perfecta
-0.90	Correlación negativa muy fuerte
-0.75	Correlación negativa considerable
-0.50	Correlación negativa media
-0.25	Correlación negativa débil
-0.10	Correlación negativa muy débil
0	No existe correlación alguna

0.10	Correlación positiva muy débil
0.25	Correlación positiva débil
0.50	Correlación positiva media
0.75	Correlación positiva considerable
0.90	Correlación positiva muy fuerte
1	Correlación positiva perfecta

Fuente: Hernandez Sampieri, Fernandez Collado, & Pilar (2014)

Si p es menor del valor 0.05, se dice que el coeficiente es significativo en el nivel de 0.05 (95% de confianza en que la correlación sea verdadera y 5 % de probabilidad de error). Si es menor a 0.01, el coeficiente es significativo al nivel de 0.01 (99% de confianza de que la correlación sea verdadera y 1 % de probabilidad de error).

Tabla 33: Correlación entre el crecimiento espacial urbano y el crecimiento poblacional Spearman

Correlaciones				
Descripción			AREA (hás)	POBLACION (hab.)
Rho de Spearman	AREA (hás)	Coeficiente de correlación	1,000	1,000**
		Sig. (bilateral)	.	.
		N	9	9
	POBLACION (hab.)	Coeficiente de correlación	1,000**	1,000
		Sig. (bilateral)	.	.
		N	9	9

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: Elaboración Propia

El coeficiente de relación Spearman, donde resulta que existe una correlación entre las dos variables crecimiento espacial urbano y el crecimiento poblacional, siendo el coeficiente de correlación $Rho = 1,000^{**}$ que significa que existe una Correlación positiva perfecta. Sin margen de error de significancia de 0.05 o 5%, por ello se rechaza la Hipótesis nula y se acepta la Hipótesis alterna con lo cual podemos concluir que existe

una relación significativa entre la dimensión crecimiento espacial urbano y el crecimiento poblacional.

Para el análisis de la hipótesis específica 3:

Resultado de la validación de la clasificación supervisada de la precisión temática, con el empleo de método muestreo aleatorio estratificado, el coeficiente de Kappa entre 0.87 – 0.99 y la precisión global entre 89.81% - 99.02%. En este sentido se valida la clasificación de imágenes satelitales landsat y por ende estos valores se encuentran en un rango **casi perfecta** de acuerdo a la tabla 17.

Tabla 34: Validación de la clasificación por año

Año	Coefficiente Kappa	Precisión Global (%)
1980	0.91	93.17
1985	0.94	95.59
1990	0.99	99.02
1995	0.92	93.20
2000	0.93	94.20
2005	0.88	90.78
2010	0.87	89.81
2015	0.94	95.15
2017	0.88	90.78

Fuente: Elaboración propia

En los anexos A al I se muestra el resumen, el nivel de la exactitud temática de las clasificaciones.

Tabla 35: Error de Omisión y Comisión

CLASE	ERROR	AÑOS									PROMEDIO %
		1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2017	
Suelo	Omisión	2.44	0.00	0.00	0.00	2.44	7.32	2.38	2.44	2.88	2.21
	Comisión	21.57	14.29	2.38	21.15	16.67	24.00	25.45	16.67	20.41	18.07
Bofedal	Omisión	9.76	9.76	4.88	19.51	16.67	17.07	24.39	14.63	17.07	14.86
	Comisión	0.00	0.00	0.00	2.94	0.00	8.11	8.82	0.00	8.11	3.11
Total	Omisión	9.76	7.50	0.00	2.44	2.44	9.76	9.76	4.88	17.07	7.07
	Comisión	2.63	0.00	2.38	2.44	6.98	5.13	2.63	2.50	5.56	3.36
Lago	Omisión	4.88	0.00	0.00	2.38	0.00	0.00	2.44	0.00	0.00	1.08
	Comisión	2.50	4.65	0.00	0.00	0.00	4.55	6.98	0.00	0.00	2.08
Area Urbana	Omisión	7.32	5.00	0.00	9.76	7.14	12.20	12.20	2.38	7.14	7.02
	Comisión	2.56	0.00	0.00	2.63	2.50	0.00	0.00	2.38	9.30	2.15

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 35, se muestran los errores omisión y comisión de la validación en los años 1980-2017 (cada 5 años), en los resultados de la clasificación de la clase suelo en promedio se tiene un error de omisión de 2.21 %, significando que está más próxima en la correspondencia entre la clasificación y la realidad en campo, indicado que la mayor parte de los suelos existentes fueron identificados por el clasificador; mientras que en el error de comisión en 18.07 % de la clase Suelo se tiene desvíos de interpretación, esto significa que hay pixeles clasificados como suelo sin corresponder a esta en el área de estudio.

En el caso de la clase bofedal en promedio se tiene un error de omisión de 14.86 %, significando que está más próxima en la correspondencia entre la clasificación y la realidad en campo, indicado que la mayor parte de las bofedales existentes fueron identificados por el clasificador; mientras que en el error de comisión en 3.11 % de la

clase bofedal se tiene desvíos de interpretación, esto significa que hay pixeles clasificados como bofedal sin corresponder a esta en el área de estudio.

En la clase totoral en promedio se tiene un error de omisión de 7.07 %, significando que está más próxima en la correspondencia entre la clasificación y la realidad en campo, indicado que la mayor parte de los totorales existentes fueron identificados por el clasificador; mientras que en el error de comisión en 3.36 % de la clase totoral se tiene desvíos de interpretación, esto significa que hay pixeles clasificados como totoral sin corresponder a esta en el área de estudio.

En la clase Lago en promedio se tiene un error de omisión de 1.08 %, significando que está más próxima en la correspondencia entre la clasificación y la realidad en campo, indicado que la mayor parte del lago existente fueron identificados por el clasificador; mientras que en el error de comisión en 2.08 % de la clase lago se tiene desvíos de interpretación, esto significa que hay pixeles clasificados como lago sin corresponder a esta en el área de estudio.

En la clase de área urbana en promedio se tiene un error de omisión de 7.02 %, significando que está más próxima en la correspondencia entre la clasificación y la realidad en campo, indicando que la mayor parte del área urbana existente fueron identificados por el clasificador; mientras que en el error de comisión en 2.15 % de la clase de área urbana se tiene desvíos de interpretación, esto significa que hay pixeles clasificados como área urbana sin corresponder a esta en el área de estudio.

4.3. DISCUSION

La discusión que se describe está de acuerdo al marco teórico que procede en la presente investigación.

Según Ochochoque Condori (2017), nos indica que mediante la aplicación de las técnicas de Teledetección espacial utilizando imagen satelital landsat, se identificó el avance la de explotación minera en el periodo de 1990 a 2016 cada 5 años, en el centro poblado de Malenowski, Distrito de Mazuco, Región Madre de Dios.

Al cual respondemos que el análisis multitemporal del crecimiento urbano de la ciudad de Puno se dice que, en la metodología usada también se pudo identificar en contraste en la expansión urbana en el periodo de 1980 a 2017. Siendo así en los dos casos que las utilizations de imágenes de satélite landsat son muy efectivas y aplicables en los estudios multitemporales de cambios de cobertura de uso.

Según Alata Mollo (2018), nos indica que el análisis multitemporal con técnicas de percepción remota y Sistemas de Información Geográfica (SIG) del degradamiento del uso de suelo por la actividad minera ilegal-informal en los distritos de Ananea y Cuyo cuyo entre los años 1975 y 2017. La exactitud de los mapas temáticos alcanzó niveles altamente aceptables, con muestreo aleatoriamente estratificado y el coeficiente de Kappa obtenido fue de 0.91 a 0.98 y la precisión global entre 94.67% a 97.48%,

Al cual respondemos que, en el crecimiento urbano de la ciudad de Puno mediante la aplicación de la técnica de teledetección con muestras aleatoriamente estratificadas para cada tipo de cubierta, se utilizó el algoritmo “Random Point” y estos alcanzaron un nivel de exactitud casi perfecta, el coeficiente de Kappa se ha situado entre 0.87 a 0.99 y la precisión global entre 89.81% a 99.02%. En ese sentido, que los algoritmos espectrales al utilizar muestras aleatoriamente estratificada son efectivos en la validación de las clasificaciones de imagen satelital o también para comprobar el nivel de exactitud de los mapas temáticos.

V. CONCLUSIONES.

De acuerdo a los objetivos planteados se tienen las siguientes conclusiones:

- La metodología usada se pudo evaluar el proceso de crecimiento urbano por el método de mapeo visual con método de clasificación supervisada usando la prueba del t Student con niveles de significación de $\alpha=0.01$ y $\alpha=0.05$, deduciendo que la prueba es aceptable para sus dos casos, los cuales se llega al cuadro de comparación con áreas correlacionales establecidas de acuerdo a las imágenes satelitales. Por ende, es eficiente la clasificación supervisada como alternativa a la vectorización visual.
- Los métodos realizados para el análisis multitemporal han presentado cambios en el crecimiento urbano entre el periodo de 1980 - 2017 en donde se obtuvo 1149.3881 has que representa el 15.58 %, del total del crecimiento urbano dando como promedio el 31.0645 has por cada año, sin embargo, se puede decir que en la correlación de Pearson existe una relación muy significativa entre las variables de estudio. Siendo el resultado como correlación positiva muy alta. Lo que significa que el grado de confianza para ambas variables es mayor a un 95%, logrando obtener así el 0.947** debido a que el grado de significaciones igual 0.000 mucho menor a un error o significancia de 0.05 o 5%. Y también en la tendencia de dos métodos se tuvo como resultado que los coeficientes de correlación denominados Kendall y Spearman se obtuvieron de las variables de crecimiento espacial urbano y el crecimiento poblacional logrando obtener un 1,00 lo cual significa que es una correlación positiva perfecta. Sin margen de error de significancia de 0.05 o 5%. Lo que indica que el crecimiento poblacional explica el crecimiento urbano.

- El nivel de exactitud temática clasificada con muestras aleatoriamente estratificadas para cada tipo de cubierta, los mapas temáticos alcanzaron un nivel de precisión casi perfecta, el coeficiente de Kappa se ha situado entre 0.87 a 0.99 y la precisión global entre 89.81% a 99.02%, siendo en el caso de los errores de omisión y comisión, resulta que en la clase de área urbana tiene en promedio de error de omisión un 7.02 %, significando que está más próxima en la correspondencia entre la clasificación y la realidad en campo, indicando que la mayor parte del área urbana existente fueron identificados por el clasificador; mientras que en el error de comisión el 2.15 % de la clase de área urbana tiene desvíos de interpretación, que significa que hay pixeles clasificados como área urbana sin corresponder a esta en el área de estudio.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda usar la metodología de la clasificación visual y supervisada para la identificación de áreas urbanas y hacer el mismo estudio en otras ciudades de la región de Puno.
- Se recomienda realizar un análisis de cada año, porque hay una tendencia de observar al detalle el crecimiento urbano de la ciudad de Puno.
- Se recomienda contar con imágenes corregidas, ya que en algunas temporadas presentan dificultad en la alta resolución para identificar zonas de estudio y así dar un análisis más detallado.
- Se recomienda usar el Plan de Desarrollo Urbano (PDU), para futuros trabajos de investigación como una fuente de información para identificar zonas de riesgo o zonas vulnerables de la ciudad de Puno.

VII. BIBLIOGRAFIA

- Aguilar Arias, H., Mora Zamora, R., & Vargas Bolaños, C. (2015). Atmospheric Correction Methodology for Aster, Rapideye, Spot 2 and Landsat 8 Images With Envi Flaash Module Software. *Revista Geográfica de América Central*, 2(53). Obtenido de <https://doi.org/10.15359/rgac.2-53.2>
- Aimara Reyes, P. (2018). *Aplicacion de las Geotecnologia Para el Analisis del Paisaje e Influencia de la Infraestructura Viaria*. EIDO - Escuela Internacional de Doutoramento.
- Alata Mollo, A. (2018). *Analisis Multitemporal de la Explotacion Minera con Aplicacion de Percepcion Remota y SIG en los Distritos de Ananea y Cuyocuyo - Puno, Entre 1975 - 2017*. Puno.
- Ariza, A. (2013). *Descripcion y Correcion de Productos Landsat 8 LDCM (Landsat Data Continuity Mission)*. Bogota, Colombia.
- Bravo Morales, N. F. (2017). *Teledeteccion Espacial Landzat, Sentinel 2, Aster LI; Modis*. Huanuco: Copyright 2017 Geomatica Ambiental S.R.L.
- Calvo, N. (2008). *Computacion Grafica - FICH*.
- Capel, H. (1971). Las Difilcultades del Analisis Interdisciplinar del Crecimiento Urbano. *Revista Geografica.*, P. 124.
- Ccama Condori, H. A. (2011). *Crecimiento Poblacional y Cambios Territoriales en el Centro Poblado de Salcedo*. Puno - Peru.
- Chuvieco Salinero, E. (1996). *Fundamentos de Teledeteccion Espacial* (Tercera ed.). España: Rialp .
- Chuvieco Salinero, E. (2006). *Teledetección ambiental. La observación de la Tierra*. Barcelona: Ariel.
- Chuvieco Salinero, E. (2008). *Teledeteccion Ambiental: La Observacion de la Tierra Desde el Espacio* (Tercera ed.). Barcelona - España: Ariel, S.A.
- Chuvieco, E. (1995). *Fundamentos de teledetección espacial*. Madrid-España: 2a ed. Editorial Rialp.
- Cifuentes Ruiz, P. A., & Londoño Linares, J. P. (30 de Abril de 2010). Análisis Del Crecimiento Urbano: Una Aproximación al estudio de los factores de crecimiento de la ciudad de Manizales como aporte a la Planificación. *Revista Gestion y Ambiente, Vol. 13*, 53-66.
- Congalton, R. G., & Kass, G. (2009). *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data* (Vol. Second Edition). New york, Estados Unidos.
- Del Toro Espin, N., Gomariz Castillo, F., Canovas Garcia, F., & Francisco, A. S. (01 de Diciembre de 2013). Comparacion De Metodos De Clasificacion De Imagenes De Satelite En La Cuenca del Rio Argos. págs. 327-347.

- Francois Mas, J., Diaz Gallegos, J. R., & Perez Vega, A. (11 de Febrero de 2003). Evaluacion de la Confiabilidad Tematica de Mapas o de Imagenes Clasificadas: Una revision. *Investigaciones Geograficas, Boletin del Instituto de Geografia, UNAM*, 53-72.
- Garcia Labrador, M., Evora Brondo, J., & Arbelo Perez, M. (2012). *Satelites de Teledeteccion para la gestion del territorio*. Canarias: Litografía Romero.
- García, E. M. (1987). *Análisis visual de imágenes*. Universidad de León, España.
- Gonzalez, F. R. (2013). *Programa para el Desarrollo de Redes Tecnológicas y de Aplicación de Datos de Teledetección en África Occidental*. Las Palmas.
- Guerra Cerezo, E. A. (2006). *Análisis Multitemporal de la cobertura y uso de la tierra*. Cochabamba.
- Guerrero, J. (2011). *Combinación de Bandas Landsat con ERDAS (en línea)*. Recuperado el 25 de 01 de 2017, de <https://joseguerreroa.wordpress.com/2011/08/30/2404/>
- Hernandez Sampieri, R., Fernandez Collado, C., & Pilar, B. L. (2014). *Metodologia de la Investigacion* (Vol. Quinta Edicion). (J. Mares Chacon, Ed.) Mexico.
- INEI, I. N. (2016). *Series Estadísticas Tomo I*. Puno: Sistema Estadístico Regional.
- Jaramillo Magaña, D. (2016). *Análisis Multitemporal de la Expansión Urbana del Municipio De Santiago De Cali, Colombia*. Santiago de Cali - Colombia.
- JARS. (1993). *Remote Sensing Note. Japan Association on Remote Sensing*.
- Landis, R. J., & Koch, G. G. (1977). The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics* 33, 159-174.
- Ley N° 27972. (2003). *Ley Organica de Municipalidades*. Lima - Peru.
- Ley N° 29090. (2012). Ley de Regulacion de Habilitaciones Urbanas y Edificaciones., (págs. 3-4). Lima - Peru.
- Ley N° 30156, D.S. N° 022-2016-VIVIENDA. (2016). *Plan de Acondicionamiento Territorial*. Lima.
- Lillesand, T. (2000). *Remote Sensing and Image Interpretation*. (Cuarta ed.). Ralph W. Kiefer.
- Loayza Basan, K. J., Mercedes Chirito, G. M., Mestas Valero, R., & Quiliche Duran, J. P. (2017). *Estudio Del Crecimiento Urbano y Modificación De Cobertura Vegetal Mediante Teledetección Del Distrito De Végueta*. Lima - Peru.
- Menendez, M. A., & Nuñez, V. (2012). *El Uso de los Sensores Remotos en los Recursos Naturales* (Vol. Segunda Edicion). Salta, Argentina: IRNED.
- Ministerio de Vivienda, C., & Saneamiento. (2006). *Reglamento Nacional de Edificaciones* (Primera ed.). Lima, Peru.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2008). *Manual Parea La Elaboracion De Planes De Desarrollo Urbano*. Lima, Peru.

- Ministerio del Ambiente. (2015). *Orientaciones Basicas sobre el Ordenamiento Territorial en el Peru*. (Segunda ed.). Lima - Peru: Mercedes Group S.A.C.
- Montes, A. (2013). *Matriz de Confusión de un Clasificador Estándar*. España.
- Mora, H. (2007). *Sensores Remotos. En: Modulo Geomática y Demografía*. Manizales, Colombia.
- NASA. (2007). *Landsat 7 Science Data Users Handbook Landsat Project Science Office at NASA's Goddard Space Flight Center in Greenbelt.*
- Ochochoque Condori, J. P. (2017). *Aplicacion de la Teledeteccion en la Avance de la Explotacion Minera, Centro Poblado de Malenowski, Distrito de Mazuco, Region de Madre de Dios*. Puno - Peru.
- Ochochoque Condori, J. P. (2017). *Aplicacion de la Teledeteccion en el Avance de la Explotacion Minera, Centro Poblado de Malenowski, Distrito de Mazuco, Region de Madre de Dios*. Puno , Peru.
- Osorio Bautista, S. (2005). *La formacion del espacio urbano y la constitucion de una clase media emergente. El casodel distrito de los olivos ene el cono norte de lima*. LIMA.
- Palacios, E. (2015). *Anlasis multitemporal en la cobertura boscosa de la zona norte del deprtamento de choco*. Choco, Colombia.
- Perdome Reyes, J. (2017). *Estudio Multitemporal de la Dinamica de Transformacion de la Cobertura Por Crecimiento Urbano, de la Localidad de Suba, Bogota – COLOMBIA, Periodo 1998 - 2014*. Bogota, Colombia.
- Perez Gutierrez, C., & Muñoz Nieto, A. L. (2006). *Teledeteccion: Nociones y Aplicaciones*. España: Universidad de Salamanca.
- Quiros Rosado, E. M. (2009). *Clasificacion de Imagenes Multiespectrales ASTER Mediante Funciones Adaptativas*. Caceres , España: Universidad de Extremadura. Servicio de Publicaciones.
- Rafael Navarro, S., Perez Mendez, L., Camilo, W., & Aguasvivas Santana, J. J. (2009). *Analisis Del Crecimiento Urbano en el Area Metropolitana De Santo Domingo a Traves De Las Imágenes Multiespectrales Del Satelitale Landsat TM. 7th Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology WEI-1*. San Cristobal - Venezuela.
- Ramirez Zapata, A. (2015). *Análisis Multitemporal Mediante Sensores Remotos De Cobertura De La Tierra Para el Periodo De Tiempo 1999 - 2011 en el Municipio De San Jacinto, Bolívar*. Bogota.
- Reuter, A. F. (2009). *Plataformas Orbitales y Sensores*. Santiago del Estero, Argentina.
- Sanchez Ramos, A. A. (2009). *Analisis Multitemporal de la Cobertura de la Tierra en la Cuenca Del Valle de Jesus de Otoro Entre los Años 2000 - 2006 Aplicando Tecnicas de Teledeteccion*. Tegucigalpa M. D. C., Honduras.
- Seminario Vasquez, R. (2009). *Metodos Numericos Para Ingenieria* . España: eumed.net.

- Sobrino, A. J. (2000). *Teledeteccion*. España: Guada Imp.
- SRGIS, (. R. (2010). *Guía básica sobre Imágenes Satelitales y sus Productos (en línea)*. Recuperado el 20 de 01 de 2017, de <http://.sig.a.cna.gob.mx/SIGA/Percepcion/Fundamentos%20de%20teledetec>
- Tafur Portilla, R. (1995). *La Tesis Universitaria*. Lima: Mantaro, Peru.
- Tibaquirá Castro, H. G. (2016). *Análisis Multitemporal Del Crecimiento Urbano De La Zona De Expansión Para el Periodo de 1987 – 2015 en el Municipio de Ibagué, Tolima*. Bogota-Colombia.
- TSO, B., & MATHER, P. (2009). *Classification Methods for Remotely Sensed Data CRC*. Press Taylor & Francis Group.
- Turpo Cayo, E. Y. (2018). Analisis Cuantitativo Espacial en Percepcion Remota. *II Congreso Internacional En Sistemas de Informacion Geografica y Teledeteccion*, (págs. 18-23). Puno.
- UNICEF. (2012). Estado Mundial de la Infancia. p.10.
- USGS, S. f. (2001). Ciencia, Sociedad, Soluciones: Una Intrudccion al USGS. *U.S. Geological Survey*, 107-01.

ANEXOS

PANEL FOTOGRAFICO



Toma de datos 01, para identificar Regiones de Interés



Toma de datos 02, para identificar Regiones de Interés



Toma de datos 03, para identificar Regiones de Interés



Toma de datos 04, para identificar Regiones de Interés

Anexo A: Matriz de confusión del Año 1980

Overall Accuracy = (191/205) 93.1707%
Kappa Coefficient = 0.9146

Class	Ground Truth (Pixels)				Total
	SUE_TRUE	BOF_TRUE	TOT_TRUE	AU_TRUE	
SUE_TRAIN	40	4	3	3	51
BOF_TRAIN	0	37	0	0	37
TOT_TRAIN	0	0	37	1	38
LAG_TRAIN	0	0	1	39	40
UB_TRAIN	1	0	0	0	39
Total	41	41	41	41	205

Class	Ground Truth (Percent)				Total
	SUE_TRUE	BOF_TRUE	TOT_TRUE	AU_TRUE	
SUE_TRAIN	97.56	9.76	7.32	2.44	24.88
BOF_TRAIN	0.00	90.24	0.00	0.00	18.05
TOT_TRAIN	0.00	0.00	90.24	2.44	18.54
LAG_TRAIN	0.00	0.00	2.44	95.12	19.51
UB_TRAIN	2.44	0.00	0.00	0.00	19.02
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Class	Commission (Percent)		Omission (Pixels)	
	(Percent)	(Percent)	(Pixels)	(Pixels)
SUE_TRAIN	21.57	2.44	11/51	1/41
BOF_TRAIN	0.00	9.76	0/37	4/41
TOT_TRAIN	2.63	9.76	1/38	4/41
LAG_TRAIN	2.50	4.88	1/40	2/41
UB_TRAIN	2.56	7.32	1/39	3/41

Class	Prod. Acc. (Percent)		User Acc. (Pixels)	
	(Percent)	(Percent)	(Pixels)	(Pixels)
SUE_TRAIN	97.56	78.43	40/41	40/51
BOF_TRAIN	90.24	100.00	37/41	37/37
TOT_TRAIN	90.24	97.37	37/41	37/38
LAG_TRAIN	95.12	97.50	39/41	39/40
UB_TRAIN	92.68	97.44	38/41	38/39

Anexo B: Matriz de confusión del Año 1985

Overall Accuracy = (195/204) 95.5882%
Kappa Coefficient = 0.9448

Class	Ground Truth (Pixels)				Total
	LAG_TRUE	SUE_TRUE	BOF_TRUE	TOT_TRUE	
LAG_TRAIN	41	0	0	2	43
SUE_TRAIN	0	42	4	1	49
BOF_TRAIN	0	0	37	0	37
TOT_TRAIN	0	0	0	37	37
AU_TRAIN	0	0	0	0	38
Total	41	42	41	40	204

Class	Ground Truth (Percent)				Total
	LAG_TRUE	SUE_TRUE	BOF_TRUE	TOT_TRUE	
LAG_TRAIN	100.00	0.00	0.00	5.00	21.08
SUE_TRAIN	0.00	100.00	9.76	2.50	24.02
BOF_TRAIN	0.00	0.00	90.24	0.00	18.14
TOT_TRAIN	0.00	0.00	0.00	92.50	18.14
AU_TRAIN	0.00	0.00	0.00	0.00	18.63
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Class	Commission (Percent)		Omission (Pixels)	
	(Percent)	(Percent)	(Pixels)	(Pixels)
LAG_TRAIN	4.65	0.00	2/43	0/41
SUE_TRAIN	14.29	0.00	7/49	0/42
BOF_TRAIN	0.00	9.76	0/37	4/41
TOT_TRAIN	0.00	7.50	0/37	3/40
AU_TRAIN	0.00	5.00	0/38	2/40

Class	Prod. Acc. (Percent)		User Acc. (Pixels)	
	(Percent)	(Percent)	(Pixels)	(Pixels)
LAG_TRAIN	100.00	95.35	41/41	41/43
SUE_TRAIN	100.00	85.71	42/42	42/49
BOF_TRAIN	90.24	100.00	37/41	37/37
TOT_TRAIN	92.50	100.00	37/40	37/37
AU_TRAIN	95.00	100.00	38/40	38/38

Anexo C: Matriz de confusión del Año 1990

Overall Accuracy = (203/205) 99.0244%
Kappa Coefficient = 0.9878

Ground Truth (Pixels)						
Class	SUE_TRUE	BOF_TRUE	TOT_TRUE	LAG_TRUE	AU_TRUE	Total
SUE_TRAIN	41	1	0	0	0	42
BOF_TRAIN	0	39	0	0	0	39
TOT_TRAIN	0	1	41	0	0	42
LAG_TRAIN	0	0	0	41	0	41
AU_TRAIN	0	0	0	0	41	41
Total	41	41	41	41	41	205

Ground Truth (Percent)						
Class	SUE_TRUE	BOF_TRUE	TOT_TRUE	LAG_TRUE	AU_TRUE	Total
SUE_TRAIN	100.00	2.44	0.00	0.00	0.00	20.49
BOF_TRAIN	0.00	95.12	0.00	0.00	0.00	19.02
TOT_TRAIN	0.00	2.44	100.00	0.00	0.00	20.49
LAG_TRAIN	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	20.00
AU_TRAIN	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	20.00
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Class	Commission (Percent)	Omission (Percent)	Commission (Pixels)	Omission (Pixels)
SUE_TRAIN	2.38	0.00	1/42	0/41
BOF_TRAIN	0.00	4.88	0/39	2/41
TOT_TRAIN	2.38	0.00	1/42	0/41
LAG_TRAIN	0.00	0.00	0/41	0/41
AU_TRAIN	0.00	0.00	0/41	0/41

Class	Prod. Acc. (Percent)	User Acc. (Percent)	Prod. Acc. (Pixels)	User Acc. (Pixels)
SUE_TRAIN	100.00	97.62	41/41	41/42
BOF_TRAIN	95.12	100.00	39/41	39/39
TOT_TRAIN	100.00	97.62	41/41	41/42
LAG_TRAIN	100.00	100.00	41/41	41/41
AU_TRAIN	100.00	100.00	41/41	41/41

Anexo D: Matriz de confusión del Año 1995

Overall Accuracy = (192/206) 93.2039%
Kappa Coefficient = 0.9150

Ground Truth (Pixels)						
Class	BOF_TRUE	SUE_TRUE	TOT_TRUE	LAG_TRUE	AU_TRUE	Total
BOF_TRAIN	33	0	0	0	1	34
SUE_TRAIN	7	41	1	0	3	52
TOT_TRAIN	0	0	40	1	0	41
LAG_TRAIN	0	0	0	41	0	41
AU_TRAIN	1	0	0	0	37	38
Total	41	41	41	42	41	206

Ground Truth (Percent)						
Class	BOF_TRUE	SUE_TRUE	TOT_TRUE	LAG_TRUE	AU_TRUE	Total
BOF_TRAIN	80.49	0.00	0.00	0.00	2.44	16.50
SUE_TRAIN	17.07	100.00	2.44	0.00	7.32	25.24
TOT_TRAIN	0.00	0.00	97.56	2.38	0.00	19.90
LAG_TRAIN	0.00	0.00	0.00	97.62	0.00	19.90
AU_TRAIN	2.44	0.00	0.00	0.00	90.24	18.45
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Class	Commission (Percent)	Omission (Percent)	Commission (Pixels)	Omission (Pixels)
BOF_TRAIN	2.94	19.51	1/34	8/41
SUE_TRAIN	21.15	0.00	11/52	0/41
TOT_TRAIN	2.44	2.44	1/41	1/41
LAG_TRAIN	0.00	2.38	0/41	1/42
AU_TRAIN	2.63	9.76	1/38	4/41

Class	Prod. Acc. (Percent)	User Acc. (Percent)	Prod. Acc. (Pixels)	User Acc. (Pixels)
BOF_TRAIN	80.49	97.06	33/41	33/34
SUE_TRAIN	100.00	78.85	41/41	41/52
TOT_TRAIN	97.56	97.56	40/41	40/41
LAG_TRAIN	97.62	100.00	41/42	41/41
AU_TRAIN	90.24	97.37	37/41	37/38

Anexo E: Matriz de Confusion del Año 2000

Overall Accuracy = (195/207) 94.2029%
Kappa Coefficient = 0.9276

Class	Ground Truth (Pixels)				Total
	BOF_TRUE	TOT_TRUE	SUE_TRUE	LAG_TRUE	
BOF_TRAIN	35	0	0	0	35
TOT_TRAIN	3	40	0	0	43
SUE_TRAIN	4	1	40	0	45
LAG_TRAIN	0	0	0	41	41
AU_TRAIN	0	0	1	0	1
Total	42	41	41	42	207

Class	Ground Truth (Percent)				Total
	BOF_TRUE	TOT_TRUE	SUE_TRUE	LAG_TRUE	
BOF_TRAIN	83.33	0.00	0.00	0.00	16.91
TOT_TRAIN	7.14	97.56	0.00	0.00	20.77
SUE_TRAIN	9.52	2.44	97.56	0.00	23.19
LAG_TRAIN	0.00	0.00	0.00	100.00	19.81
AU_TRAIN	0.00	0.00	2.44	0.00	19.32
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Class	Commission (Percent)		Omission (Pixels)	
	Commission (Percent)	Omission (Percent)	Commission (Pixels)	Omission (Pixels)
BOF_TRAIN	0.00	16.67	0/35	7/42
TOT_TRAIN	6.98	2.44	3/43	1/41
SUE_TRAIN	16.67	2.44	8/48	1/41
LAG_TRAIN	0.00	0.00	0/41	0/41
AU_TRAIN	2.50	7.14	1/40	3/42

Class	Prod. Acc. (Percent)		User Acc. (Pixels)	
	Prod. Acc. (Percent)	User Acc. (Percent)	Prod. Acc. (Pixels)	User Acc. (Pixels)
BOF_TRAIN	83.33	100.00	35/42	35/35
TOT_TRAIN	97.56	93.02	40/41	40/43
SUE_TRAIN	97.56	83.33	40/41	40/48
LAG_TRAIN	100.00	100.00	41/41	41/41
AU_TRAIN	92.86	97.50	39/42	39/40

Anexo F: Matriz de Confusion del Año 2005

Overall Accuracy = (187/206) 90.7767%
Kappa Coefficient = 0.8847

Class	Ground Truth (Pixels)				Total
	BOF_TRUE	SUE_TRUE	TOT_TRUE	LAG_TRUE	
BOF_TRAIN	34	3	0	0	37
SUE_TRAIN	5	38	2	0	50
TOT_TRAIN	2	0	37	0	39
LAG_TRAIN	0	0	2	42	44
AU_TRAIN	0	0	0	0	0
Total	41	41	41	42	206

Class	Ground Truth (Percent)				Total
	BOF_TRUE	SUE_TRUE	TOT_TRUE	LAG_TRUE	
BOF_TRAIN	82.93	7.32	0.00	0.00	17.96
SUE_TRAIN	12.20	92.68	4.88	0.00	24.27
TOT_TRAIN	4.88	0.00	90.24	0.00	18.93
LAG_TRAIN	0.00	0.00	4.88	100.00	21.36
AU_TRAIN	0.00	0.00	0.00	0.00	17.48
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Class	Commission (Percent)		Omission (Pixels)	
	Commission (Percent)	Omission (Percent)	Commission (Pixels)	Omission (Pixels)
BOF_TRAIN	8.11	17.07	3/37	7/41
SUE_TRAIN	24.00	7.32	12/50	3/41
TOT_TRAIN	5.13	9.76	2/39	4/41
LAG_TRAIN	4.55	0.00	2/44	0/42
AU_TRAIN	0.00	12.20	0/36	5/41

Class	Prod. Acc. (Percent)		User Acc. (Pixels)	
	Prod. Acc. (Percent)	User Acc. (Percent)	Prod. Acc. (Pixels)	User Acc. (Pixels)
BOF_TRAIN	82.93	91.89	34/41	34/37
SUE_TRAIN	92.68	76.00	38/41	38/50
TOT_TRAIN	90.24	94.87	37/41	37/39
LAG_TRAIN	100.00	95.45	42/42	42/44
AU_TRAIN	87.80	100.00	36/41	36/36

Anexo G: Matriz de Confusion del Año 2010

Overall Accuracy = (185/206) 89.8058%
Kappa Coefficient = 0.8725

Class	Ground Truth (Pixels)				Total
	BOF_TRUE	SUE_TRUE	TOT_TRUE	AU_TRUE	
BOF_TRAIN	31	1	1	0	34
SUE_TRAIN	10	41	0	4	55
TOT_TRAIN	0	0	37	1	38
AU_TRAIN	0	0	0	36	36
LAG_TRAIN	0	0	3	0	43
Total	41	42	41	41	206

Class	Ground Truth (Percent)				Total
	BOF_TRUE	SUE_TRUE	TOT_TRUE	AU_TRUE	
BOF_TRAIN	75.61	2.38	2.44	2.44	16.50
SUE_TRAIN	24.39	97.62	0.00	9.76	26.70
TOT_TRAIN	0.00	0.00	90.24	0.00	18.45
AU_TRAIN	0.00	0.00	0.00	87.80	17.48
LAG_TRAIN	0.00	0.00	7.32	0.00	20.87
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Class	Commission (Percent)			Omission (Pixels)
	Prod. Acc. (Percent)	User Acc. (Percent)	Prod. Acc. (Pixels)	
BOF_TRAIN	8.82	24.39	3/34	10/41
SUE_TRAIN	25.45	2.38	14/55	1/42
TOT_TRAIN	2.63	9.76	1/38	4/41
AU_TRAIN	0.00	12.20	0/36	5/41
LAG_TRAIN	6.98	2.44	3/43	1/41

Class	Prod. Acc. (Percent)			User Acc. (Pixels)
	Prod. Acc. (Percent)	User Acc. (Percent)	Prod. Acc. (Pixels)	
BOF_TRAIN	75.61	91.18	31/41	31/34
SUE_TRAIN	97.62	74.55	41/42	41/55
TOT_TRAIN	90.24	97.37	37/41	37/38
AU_TRAIN	87.80	100.00	36/41	36/36
LAG_TRAIN	97.56	93.02	40/41	40/43

Anexo H: Matriz de Confusion del Año 2015

Overall Accuracy = (196/206) 95.1456%
Kappa Coefficient = 0.9393

Class	Ground Truth (Pixels)				Total
	TOT_TRUE	LAG_TRUE	BOF_TRUE	SUE_TRUE	
TOT_TRAIN	39	0	0	1	40
LAG_TRAIN	0	41	0	0	41
BOF_TRAIN	0	0	35	0	35
SUE_TRAIN	2	0	5	40	48
AU_TRAIN	0	0	0	1	42
Total	41	41	41	41	206

Class	Ground Truth (Percent)				Total
	TOT_TRUE	LAG_TRUE	BOF_TRUE	SUE_TRUE	
TOT_TRAIN	95.12	0.00	2.44	0.00	19.42
LAG_TRAIN	0.00	100.00	0.00	0.00	19.90
BOF_TRAIN	0.00	0.00	85.37	0.00	16.99
SUE_TRAIN	4.88	0.00	12.20	97.56	23.30
AU_TRAIN	0.00	0.00	0.00	2.44	20.39
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Class	Commission (Percent)			Omission (Pixels)
	Prod. Acc. (Percent)	User Acc. (Percent)	Prod. Acc. (Pixels)	
TOT_TRAIN	2.50	4.88	1/40	2/41
LAG_TRAIN	0.00	0.00	0/41	0/41
BOF_TRAIN	0.00	14.63	0/35	6/41
SUE_TRAIN	16.67	2.44	8/48	1/41
AU_TRAIN	2.38	2.38	1/42	1/42

Class	Prod. Acc. (Percent)			User Acc. (Pixels)
	Prod. Acc. (Percent)	User Acc. (Percent)	Prod. Acc. (Pixels)	
TOT_TRAIN	95.12	97.50	39/41	39/40
LAG_TRAIN	100.00	100.00	41/41	41/41
BOF_TRAIN	85.37	100.00	35/41	35/35
SUE_TRAIN	97.56	83.33	40/41	40/48
AU_TRAIN	97.62	97.62	41/42	41/42

Anexo I: Matriz de Confusion del Año 2017

Overall Accuracy = (187/206) 90.7767%
 Kappa Coefficient = 0.8847

Class	Ground Truth (Pixels)				Total
	BOF_TRUE	SUE_TRUE	TOT_TRUE	AU_TRUE	
BOF_TRAIN	34	0	3	0	37
SUE_TRAIN	6	39	2	2	49
TOT_TRAIN	1	0	34	1	36
AU_TRAIN	0	2	2	39	43
LAG_TRAIN	0	0	0	0	41
Total	41	41	41	42	206

Class	Ground Truth (Percent)				Total
	BOF_TRUE	SUE_TRUE	TOT_TRUE	AU_TRUE	
BOF_TRAIN	82.93	0.00	7.32	0.00	17.96
SUE_TRAIN	14.63	95.12	4.88	4.76	23.79
TOT_TRAIN	2.44	0.00	82.93	2.38	17.48
AU_TRAIN	0.00	4.88	4.88	92.86	20.87
LAG_TRAIN	0.00	0.00	0.00	0.00	19.90
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Class	Commission (Percent)		Omission (Percent)		Prod. Acc. (Percent)	User Acc. (Percent)	Prod. Acc. (Pixels)	User Acc. (Pixels)
	Commission (Percent)	Omission (Percent)	Commission (Pixels)	Omission (Pixels)				
BOF_TRAIN	8.11	17.07	3/37	7/41			34/37	39/49
SUE_TRAIN	20.41	4.88	10/49	2/41			39/41	34/36
TOT_TRAIN	5.56	17.07	2/36	7/41			34/41	39/43
AU_TRAIN	9.30	7.14	4/43	3/42			39/42	41/41
LAG_TRAIN	0.00	0.00	0/41	0/41				

Class	Prod. Acc. (Percent)		User Acc. (Percent)		Prod. Acc. (Pixels)	User Acc. (Pixels)
	Prod. Acc. (Percent)	User Acc. (Percent)	Prod. Acc. (Percent)	User Acc. (Percent)		
BOF_TRAIN	82.93	91.89	34/41	34/37		
SUE_TRAIN	95.12	79.59	39/41	39/49		
TOT_TRAIN	82.93	94.44	34/41	34/36		
AU_TRAIN	92.86	90.70	39/42	39/43		
LAG_TRAIN	100.00	100.00	41/41	41/41		

INDICE DE MAPAS

	N ^{ro}
Mapa de Ubicación de la Ciudad de Puno.....	01
Mapa de Imagen Satelital L2 del año 1980.....	02
Mapa de Clasificación del año 1980.....	03
Mapa de Imagen Satelital L5 del año 1985.....	04
Mapa de Clasificación del año 1985.....	05
Mapa de Imagen Satelital L5 del año 1990.....	06
Mapa de Clasificación del año 1990.....	07
Mapa de Imagen Satelital L5 del año 1995.....	08
Mapa de Clasificación del año 1995.....	09
Mapa de Imagen Satelital L5 del año 2000.....	10
Mapa de Clasificación del año 2000.....	11
Mapa de Imagen Satelital L5 del año 2005.....	12
Mapa de Clasificación del año 2005.....	13
Mapa de Imagen Satelital L5 del año 2010.....	14
Mapa de Clasificación del año 2010.....	15
Mapa de Imagen Satelital L8 del año 2015.....	16

Mapa de Clasificación del año 2015.....	17
Mapa de Imagen Satelital L8 del año 2017.....	18
Mapa de Clasificación del año 2017.....	19
Mapa Fotoíndice de la ciudad de Puno IGN.....	20
Mapa Mosaico Fotográfico de la ciudad de Puno IGN.....	21
Mapa de Plan de Desarrollo Urbano Puno 2012 - 2022.....	22