

Master Thesis | Tesis de Maestría

submitted within the UNIGIS MSc programme

presentada para el Programa UNIGIS MSc

at/en

Interfaculty Department of Geoinformatics- Z_GIS

Departamento de Geomática – Z_GIS

University of Salzburg | Universidad de Salzburg

Estudio del Ordenamiento Territorial para una adecuada expansión urbana, ciudad de Riobamba, Ecuador

Study of the Territorial Organization for an adequate urban expansion, Riobamba, Ecuador

by/por

Paola Andrea Coello Brito

01633538

A thesis submitted in partial fulfilment of the requirements of
the degree of
Master of Science (Geographical Information Science & Systems) – MSc (GIS)

Advisor | Supervisor: Leonardo Zurita Arthos PhD

Riobamba-Ecuador, Julio del 2019

COMPROMISO DE CIENCIA

Por medio del presente documento, incluyendo mi firma personal certifico y aseguro que mi tesis es completamente el resultado de mi propio trabajo. He citado todas las fuentes que he usado en mi tesis y en todos los casos he indicado su origen.

(Riobamba, 11 de julio del 2019)



RESUMEN

El modelo de desarrollo urbano que presenta el Ecuador en los últimos años no ha sido sustentable en términos económicos, sociales ni ambientales formando ciudades inequitativas. La ciudad de Riobamba, ubicada en la zona centro del país, presenta similares características a la realidad nacional con un crecimiento urbano desordenado, sin regulación ni control. En tal perspectiva, mediante las técnicas de teledetección y evaluación multicriterio en combinación con los sistemas de información geográfica, la presente investigación evalúa el comportamiento del crecimiento urbano de la ciudad de Riobamba en los últimos 19 años y define sitios óptimos para su futuro crecimiento, con el propósito de generar insumos que permitan gestionar el territorio de manera eficiente y sostenible.

La metodología utilizada se basa en el análisis multitemporal de tres imágenes Landsat de los años 1998, 2008 y 2017 a través de las cuales se genera mapas que muestran las densidades urbanas de la ciudad para cada año. Posteriormente con los insumos generados sumados a cartografía recopilada, se desarrolla una evaluación multicriterio que define los sitios óptimos para el futuro crecimiento urbano de la ciudad de Riobamba.

Los resultados evidencian un crecimiento urbano que se produce de manera espontánea y desordenada, ocupando territorio considerado rural por fuera del límite establecido en la normativa vigente de la ciudad. Así mismo se identifica y definen los sitios óptimos para su futuro crecimiento, los que se ubican en la zona norte de la ciudad con una superficie de 224.37 ha. Estos insumos son herramientas importantes para los procesos de gestión territorial permitiendo contribuir en la toma de decisiones orientadas al uso equitativo y eficiente del suelo urbano.

Palabras claves: ordenamiento territorial, expansión urbana, sitio óptimo, estudio multitemporal, evaluación multicriterio

ABSTRACT

The urban development model implemented in Ecuador in the last few years hasn't been sustainable in terms of environment, social evolution and economics. This therefore has created unequitable cities. The city of Riobamba, located in the central zone of the country, is not an exception to those characteristics in connection to the national reality that results in a disorganized urban growth lacking both, regulation and control elements.

In such perspective and by means of remote sensing and multicriterial evaluation along with geographical information systems, the current investigation evaluates the behavior of the urban growth of Riobamba city for the last 19 years and define optimum sites for its future expansion, with the purpose of generating inputs that will allow to manage the territory in a more efficient and sustainable manner.

The utilized methodology is based in the multitemporal analysis of three Landsat images from 1998, 2008 and 2017 for generating maps that show urban densities of the city for each year. Consequently, with the generated supplies and the compiled cartography, a multicriterial evaluation was carried out to define optimum sites for the future urban growth of Riobamba.

Results evidence a spontaneous and disorganized urban growth that results in the occupation of the rural area outside the geographical limits established by the current city's normative. Likewise, optimum areas for future urban growth were identified; they are located on the northern zone of the city with an available area of 224.37 ha.

These provisions are important tools for the territorial logistic processes that contribute to the decision making oriented to an equitable and efficient use of the urban soil.

Key words: Territorial organization, urban expansion, optimum site, multitemporal study, multicriterial evaluation.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	3
ABSTRACT.....	4
1. INTRODUCCIÓN	10
1.1. ANTECEDENTES	10
1.2. OBJETIVOS	12
1.2.1. Objetivo General	12
1.2.2. Objetivos Específicos	12
1.3. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	12
1.4. HIPOTESIS	12
1.5. JUSTIFICACIÓN.....	13
1.6. ALCANCE.....	14
2. MARCO TEORICO.....	17
2.1. CONCEPTOS BÁSICOS	17
2.1.1. Ordenamiento Territorial	17
2.1.2. Expansión urbana	18
2.1.3. Ordenamiento Territorial mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica	20
2.1.4. La teledetección y las técnicas de análisis multitemporal.	21
2.1.4.1. La Teledetección	22
2.1.4.2. El análisis multitemporal.....	25
2.1.5. Evaluación multicriterio EMC	27
2.1.5.1. Componentes:	28
2.1.5.2. Métodos de evaluación multicriterio.....	29
2.2. MARCO METODOLÓGICO	30
2.2.1. Experiencias de Análisis Multitemporal	30
2.2.2. Experiencias de Estudios Multicriterio.....	33
3. METODOLOGÍA.....	36
3.1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	36
3.2. JUSTIFICACION DE LA METODOLOGÍA	38
3.3. DESARROLLO METODOLÓGICO	40
3.3.1. Estudio Multitemporal.....	40
3.3.1.1. Procesamiento de imágenes satelitales	40

3.3.1.2.	Clasificación	46
3.3.1.3.	Validación	49
3.3.1.4.	Análisis.....	50
3.3.2.	Análisis Multicriterio.....	50
3.3.2.1.	Recopilación de información	50
3.3.2.2.	Análisis Multicriterio.....	52
3.3.2.3.	Resultados	59
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	60
4.1.	RESULTADOS	60
4.1.1.	Estudio Multitemporal.....	60
4.1.1.1.	Procesamiento de imágenes satelitales	60
4.1.1.2.	Clasificación	64
4.1.1.3.	Validación	65
4.1.1.4.	Resultados	66
4.1.2.	Análisis Multicriterio.....	70
4.1.2.1.	Recopilación de información	70
4.1.2.2.	Análisis Multicriterio.....	72
4.1.2.3.	Resultados	74
4.2.	DISCUSIÓN.....	76
4.2.1.	Análisis multitemporal.....	76
4.2.2.	Estudio multicriterio	78
5.	CONCLUSIONES	81
6.	REFERENCIAS BILIOGRÁFICAS.....	83

ABREVIATURAS

EMC: Evaluación Multicriterio

GADM: Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal

GPS: *Global Positioning System* (Sistema de posicionamiento global)

IGM: Instituto Geográfico Militar.

INEGI: Instituto Nacional de Estadística y Geografía

MAE: Ministerio del Ambiente.

MAGAP: Ministerio de Agricultura y Ganadería

MIDUVI: Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda

ND: Niveles digitales

PDUR: Plan de Desarrollo Urbano.

ROI: *Region of interest*

SENPLADES: Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo

SIG: Sistema de Información Geográfica

SNI: Sistema Nacional de Información.

TOA: *Top of atmosphere*.

USGS: *United States Geological Survey* (Servicio geológico de los Estados Unidos)

UTM: *Universal Transverse Mercator*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Proceso de teledetección	22
Figura 2: Espectro Electromagnético.....	23
Figura 3: Pasos para la clasificación Supervisada	24
Figura 4: Pasos para la clasificación no Supervisada	25
Figura 5: Procedimiento para desarrollar un análisis multicriterio	28
Figura 6: Ubicación de la zona de estudio	37
Figura 7: Diagrama Metodológico	40
Figura 8: Análisis de separabilidad espectral ROI 1998, 2008, 2017.....	48
Figura 9: Matriz de Confusión para cada año	50
Figura 10: Mapa de reclasificación de Factores Biofísicos.....	55
Figura 11: Mapa de reclasificación de Factores de Accesibilidad	56
Figura 12: Mapa de reclasificación de Factores de Antrópicos	58
Figura 13: Imagen Landsat 5 año 1998.....	60
Figura 14: Imagen Landsat 7 año 2008.....	60
Figura 15: Imagen Landsat 8 año 2017.....	61
Figura 16: Resultado corrección radiométrica imagen año 1998	61
Figura 17: Resultado corrección radiométrica imagen año 2008	62
Figura 18: Resultado corrección radiométrica imagen año 2017	62
Figura 19: Resultado corrección atmosférica imagen año 1998.....	63
Figura 20: Resultado corrección atmosférica imagen año 2008.....	63
Figura 21: Resultado imagen 2008 corrección GapFill.....	63
Figura 22: Resultado corrección atmosférica imagen año 2017.....	64
Figura 23: Imágenes recortadas años 1998, 2008, 2017	64
Figura 24: Selección de ROI imagen 1998	65
Figura 25: Selección de ROI imagen 2008	65
Figura 26: Selección de ROI imagen 2017	65
Figura 27: Mapa de expansión urbana año 1998	67
Figura 28: Mapa de expansión urbana año 2008	68
Figura 29: Mapa de expansión urbana año 2017	69
Figura 30: Mapa de ubicación de sitios adecuados para la expansión urbana de Riobamba	73
Figura 31: Mapa del ubicación de sitios óptimos para la expansión urbana de Riobamba	75

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Proyección de crecimiento poblacional del cantón Riobamba	38
Tabla 2: Imágenes seleccionadas satélite LANDSAT	41
Tabla 3: Parámetros para conversión de reflectividad imágenes Landsat 5.....	42
Tabla 4: Parámetros para conversión de reflectividad imágenes Landsat 7.....	42
Tabla 5: Tabla de valores para el cálculo de radiancias imagen 2017	43
Tabla 6: Tabla de valores para el cálculo de reflectancia imagen 2017	44
Tabla 7: Clasificación de cobertura de la tierra.	47
Tabla 8: Combinación de bandas usada para definición de ROI	47
Tabla 9: Escala de valorización del índice de Kappa	49
Tabla 10: Criterios definidos para el área de estudio	51
Tabla 11: Ponderación y normalización de criterios.....	53
Tabla 12: Resultado del proceso de validación de la clasificación.....	66
Tabla 13: Resumen de los cambios experimentados en el territorio en el periodo 1998-2017	70
Tabla 14: Información recopilada para el desarrollo del estudio	71
Tabla 15: Superficies de sitios adecuados según su idoneidad	79

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

La dinámica de poblaciones es uno de los temas de mayor importancia para entender el desarrollo temporal y espacial de las ciudades. El desarrollo territorial es la estrategia con la que se busca el crecimiento del territorio expresado en mejores infraestructuras y condiciones de producción que contribuyen a la generación de una mayor productividad y competitividad territorial (Arango y Chilito, 2016).

A principios del siglo XX, América Latina inició un proceso acelerado de urbanización, consolidando actualmente a esta región como la más urbanizada del planeta con casi el 80% de su población habitando en ciudades. El informe nacional del Ecuador para la tercera Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Vivienda y el Desarrollo Urbano Sostenible HABITAT III realizado por el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI, 2015) indica que el rápido crecimiento demográfico en las áreas urbanas de la región ha sido un factor determinante para la calidad de vida de la población, influyendo de manera sustancial en sus procesos de desarrollo territorial.

El Ecuador inicia un proceso de expansión urbana a partir de los años 60. Esto deriva en que más de dos tercios de la población habite en zonas urbanas a finales del 2015. Para ese año, el país se transformó en predominantemente urbano, invirtiéndose la distribución entre la población urbana y la rural, que en 1970 era de 39,5% y 60,5% respectivamente e intensificándose en los últimos 30 años (MIDUVI, 2016).

El artículo 415 de la Constitución de la República del Ecuador (2008) dispone que el Estado Central y los Gobiernos Autónomos Descentralizados deberán adoptar políticas integrales y participativas de ordenamiento territorial urbano y de uso de suelo, que permitan regular el crecimiento urbano, el manejo de la fauna urbana e incentiven el establecimiento de zonas verdes. Sin embargo el Informe Nacional del Ecuador realizado por el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda para la Tercera Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Vivienda y el Desarrollo Urbano Sostenible HÁBITAT III concluye

que el modelo de desarrollo urbano en el Ecuador no ha sido sustentable en términos económicos, sociales y ambientales, generando ciudades inequitativas y excluyentes resultado de la poca capacidad de regular, gestionar y planificar el suelo en cada uno de los cantones.

El cantón Riobamba, ubicado en la Sierra central del país, corresponde a una zona diversa con magníficos paisajes que constituyen un gran potencial para impulsar la actividad económica y el desarrollo adecuado de la población. La ciudad alberga a un número creciente de pobladores indígenas y campesinos, como consecuencia de la alta migración del campo hacia la ciudad, que se produce fundamentalmente por la necesidad personal de buscar un futuro mejor. Además, la presencia de dos centros de educación superior desde los años 90s, provoca migraciones significativas de estudiantes provenientes de diversas provincias del país (GADM Riobamba, 2015).

Estos factores han provocado que en los últimos años el desarrollo urbano de la ciudad sea desordenado, sin planificación, regulación, ni control, generado un crecimiento acelerado y desorganizado de asentamientos, con falta de prestaciones de servicios básicos y profundas inequidades territoriales (GADM Riobamba, 2015).

El Plan de Desarrollo Urbano establece el límite urbano sin referirse a un estudio o análisis de las características del territorio, añadiendo que por el tiempo transcurrido desde su aprobación, resulta obsoleto y desconectado de las realidades territoriales actuales así como de las normativas nacionales vigentes. Un estudio que permita realizar un análisis del territorio evidenciando el comportamiento de su crecimiento urbano y defina los sitios óptimos para una futura expansión, es inédito en la ciudad de Riobamba (GADM Riobamba, 1998).

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo General

Establecer los sitios óptimos para el crecimiento urbano planificado de la ciudad de Riobamba, Ecuador; analizando el proceso de expansión desarrollado durante los últimos 19 años.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Analizar temporalmente el proceso de expansión urbana de la ciudad de Riobamba en el periodo de 1998 – 2017.
- Definir sitios óptimos para la futura expansión urbana de la ciudad de Riobamba apoyando un ordenamiento territorial planificado.

1.3. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

- ¿Cual ha sido el comportamiento del proceso de expansión urbana en la ciudad de Riobamba durante los ultimos 19 años?
- ¿Cuáles son los sitios optimos para una futura expansión urbana de la ciudad de Riobamba?

1.4. HIPOTESIS

Entre los años 1998 y 2017, el incremento de la zona urbana en la ciudad de Riobamba, Ecuador se ha desarrollado por fuera de la delimitación aprobada en la normativa vigente por lo que el sitio optimo para su futura expansión urbana se ubica en la zona norte de la ciudad abarcando una superficie mayor a 200 ha.

1.5. JUSTIFICACIÓN

Una planificación territorial implica un conjunto de actividades que permiten establecer políticas que deben ser aplicadas por la población en cuanto al uso de los recursos, protección del medio ambiente, localización óptima de diferentes actividades, entre otras, es decir la determinación de los usos más adecuados para cada porción del territorio (Bosque y García, 2000).

En este sentido, la planificación del territorio concebida como un instrumento para alcanzar mejores condiciones en la calidad de vida de las poblaciones, contribuye a la protección del ser humano y del medio ambiente a través de la distribución armónica de recursos promoviendo un desarrollo social y económico, teniendo como base las características del territorio y los patrones culturales de su población (Hernández, 2010).

Un estudio y posterior ordenamiento de territorial contribuye a mejorar las condiciones de vida de las personas, proteger y conservar los recursos naturales promoviendo un desarrollo equilibrado y sostenible, regulando y controlando las actividades que se desarrollan en el territorio.

Una de las características de la expansión urbana, es que no se desarrolla de manera equilibrada y homogénea sobre el territorio. La ciudad de Riobamba no es la excepción ya que presenta un evidente crecimiento desordenado, evidenciado en la proliferación de asentamientos, muchos de ellos ubicados en zonas de riesgos, y causado por escasez de suelo asequible, falta de control y falta de reglamentación y normativa urbana clara y apropiada, dificultando asegurar dotaciones adecuadas de servicios y equipamientos urbanos. Esta realidad ha generado que el cantón Riobamba sufra una importante transformación en el uso de suelo generada en los últimos 30 años (GADM Riobamba, 2015).

El rápido crecimiento en las áreas urbanas ha sido un factor determinante para la calidad de vida de la población, influyendo además de manera importante en sus procesos de

desarrollo. La normativa para el ordenamiento del territorio que se encuentra vigente en el cantón Riobamba, es la desarrollada en el año 1998 denominada Plan de Desarrollo Urbano (PDUR), en la cual se definen tanto los usos de suelo como el límite urbano del cantón, además de otros aspectos normativos.

El límite establecido en el PDUR de 1998 lleva 19 años de vigencia (GADM Riobamba, 1998). En este tiempo no ha sufrido modificación alguna mientras que la dinámica poblacional, económica y de vivienda ha evidenciado modificaciones importantes. Además, los nuevos marcos normativos y de planificación exigen nuevas consideraciones a tomarse en cuenta en la definición del límite urbano (GADM Riobamba, 2015).

Tras haber transcurrido casi 20 años, es evidente la necesidad de actualizar este instrumento normativo a fin de contar con una herramienta clara que establezca el campo de acción de los actores públicos y privados sobre el territorio y que permita gestionar el territorio urbano de manera mas eficiente.

La falta de estos instrumentos de planificación así como la obsolescencia de los existentes no permite al Municipio tener un panorama real y actualizado sobre los sistemas de asentamientos humanos y sobre el proceso de expansión urbana desarrollado en la ciudad. En este sentido evaluar la dinámica del territorio que permita evidenciar el comportamiento del crecimiento urbano de la ciudad de Riobamba en los últimos años, y definir sitios para su futura expansión, cobra importancia no solo en el sentido de definir zonas de expansión urbana, sino además de contar con herramientas que se conviertan en instrumentos estructurantes para la adecuada y planificada evolución de la ciudad, priorizando el uso equitativo, eficiente y sustentable del suelo.

1.6. ALCANCE

Ubicado geográficamente en el centro de la Sierra ecuatoriana, el Cantón Riobamba capital de la Provincia de Chimborazo está situado a 2,754 metros sobre el nivel del mar limitando al norte: con los cantones Guano y Penipe; al sur con los cantones Colta y

Guamote; al este con el cantón Chambo; y al oeste con la Provincia de Bolívar. Cuenta con una superficie de 98,780.59 ha distribuida en cinco parroquias urbanas: Maldonado, Veloz, Lizarzaburu, Velasco, Yaruquies y once parroquias rurales: San Juan, Licto, Calpi, Quimiag, Cacha, Flores, Punin, Cubijies, Licán, San Luis, Pungalá; y su zona urbana según el PDUR, cubre una superficie de 2,815 ha (Cartotecnia, 2015).

El área de estudio pretende abarcar el territorio urbano de la ciudad de Riobamba, con el fin de estudiar la evolución en su expansión a través del análisis de imágenes satelitales de los años 1998, 2008 y 2017 que permitan establecer el comportamiento del crecimiento urbano de la ciudad. Esta evaluación incluye la interpretación visual de la zona considerada como expansión urbana para cada año.

Además se espera analizar las alternativas que presenta el territorio para la futura expansión urbana considerando aspectos como restricciones y factores que influyan en la determinación de un sitio óptimo para su futuro crecimiento y tomando como referencia información secundaria de fuentes oficiales locales y nacionales.

Con relación al nivel de análisis, se plantea un estudio multitemporal para evidenciar el comportamiento del crecimiento urbano del cantón, y una evaluación de factores que permitan determinar la ubicación óptima de una nueva zona urbana; considerando este nivel de detalle temático y la resolución espacial de las imágenes Landsat de 30 x 30 metros de la superficie terrestre, se plantea que los productos cartográficos generados a partir de la presente investigación se presenten a una escala 1:75,000.

Si bien se espera realizar un análisis de la dinámica de uso de suelo urbano en la ciudad de Riobamba, no se pretende estudiar los distintos usos de suelo encontrados en el territorio ni realizar una clasificación del mismo, por lo que la presente investigación se centrará en las zonas urbanas y proceso de su expansión en los últimos 19 años.

Los productos esperados tras el proceso de investigación en el área de estudio son:

- Cobertura urbana año 1998

- Cobertura urbana año 2008
- Cobertura urbana año 2017
- Ubicación de sitios adecuados para la expansión urbana de Riobamba
- Ubicación de sitios óptimos para la expansión urbana de Riobamba

Las coberturas esperadas del proceso de análisis multitemporal son insumos que permitirán conocer como se ha desarrollado el proceso de expansión urbana en la ciudad contrastandolo con la normativa vigente al inicio de esta investigación. De la misma manera la identificación de zonas adecuadas y óptimas para el desarrollo urbano futuro es una herramienta para la elaboración de un plan de desarrollo y ordenamiento territorial que establezca delimitaciones urbanas claras y adecuadas a la realidad actual del territorio.

Es así que se espera que los resultados de la investigación se conviertan en insumos que permitan que funcionarios responsables de la planificación en el cantón Riobamba, autoridades municipales y cantonales, así como instituciones públicas cuenten con herramientas para contribuir con la toma de decisiones en materia de planificación del territorio orientandolas al uso equitativo, eficiente y sustentable del suelo contribuyendo con un desarrollo territorial equilibrado y sostenible.

2. MARCO TEORICO

2.1. CONCEPTOS BÁSICOS

2.1.1. Ordenamiento Territorial

“Ordenar un territorio implica actuar sobre las actividades que se realizan en este para fortalecerlas o desestimularlas, cambiarlas, reubicarlas y orientar su comportamiento futuro” (Massiris, 2012, p.34).

Diversas definiciones se pueden encontrar relacionadas con el ordenamiento territorial dependiendo del punto de vista en el que sea entendido. Algunas de estas se mencionan a continuación:

El art. 43 del Código Orgánico de Planificación y Finanzas Públicas (2011) establece que los Planes de ordenamiento territorial son instrumentos de la planificación del desarrollo creados con el objetivo de ordenar y compatibilizar las decisiones estratégicas de desarrollo de los asentamientos humanos, las actividades económico productivas y el manejo de los recursos naturales en función de las condiciones territoriales.

Para Gómez Orea (2008), se trata de una función pública que responde a la necesidad de controlar el desarrollo espontáneo de las actividades humanas y los problemas y desequilibrios que este desarrollo provoca, con el objetivo de lograr un equilibrio socio-espacial y una calidad de vida que trascienda el crecimiento económico. En este sentido, el proceso de ordenación del territorio regula la distribución de actividades en el espacio procurando generar una estructura espacial adecuada para un desarrollo eficaz y equitativo de las poblaciones.

En el documento Ordenación del Territorio en América Latina (Massiris, 2002), el autor establece que, desde su origen, el proceso de ordenamiento territorial en los países

latinoamericanos se ha concebido de manera diversa, asociada a políticas ambientales, urbanísticas, de desarrollo económico regional y de descentralización.

Por otra parte, Gross (1998) conceptualiza el ordenamiento como la acción y efecto de colocar las cosas en el lugar que se considere adecuado. De esta manera, el concepto de ordenamiento territorial implicaría “la búsqueda de la disposición correcta, equilibrada y armónica de la interacción de los componentes del territorio. Entre ellos, la forma que adquiere el sistema de asentamientos humanos, dado su carácter complementario e indisoluble en la formación del territorio” (p. 117).

Son varios los conceptos revisados, sin embargo se puede concluir que el ordenamiento territorial es un proceso que sirve para guiar el uso y ocupación del territorio, teniendo en cuenta sus potencialidades y limitaciones y, las necesidades de la población. Las entidades del sector público y Gobiernos Autónomos Descentralizados que tienen la responsabilidad de administrar a las sociedades de un país, provincia, cantón o parroquia, requieren ordenar el territorio para poder cumplir con eficiencia sus funciones, y lograr que este territorio sea distribuido y usado de acuerdo con los intereses colectivos; sin que se deje a iniciativa personal el uso del espacio físico pero tampoco que signifique una imposición de reglas; sino más bien una regulación del uso que permita una convivencia armónica y sustentable.

Para el Ecuador el ordenamiento territorial está amparado en leyes y reglamentos que lo regulan, es así que los Gobiernos locales han concentrado sus esfuerzos en generar Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial con el objetivo de conocer el estado actual de un territorio luego de un diagnóstico y brindar propuestas de ordenamiento a través de un análisis y estudio de las condiciones de mejoramiento del mismo (MIDUVI, 2016).

2.1.2. Expansión urbana

Se define como el desarrollo residencial en tierras no urbanizadas, el fuerte desarrollo de los territorios urbanos está relacionado con la búsqueda de un suelo habitable que

permita mejorar la calidad de vida de sus habitantes, teniendo como consecuencia generalizada una forma de crecimiento difuso y un proceso de desubicación de actividades y personas (Odette, 2017).

Según Daga (2009), “el crecimiento urbano es el incremento de la mancha urbana en zonas periféricas de una ciudad, las cuales cambian su uso para el establecimiento de nuevos asentamientos” (p .17).

Mena (2010) afirma que las limitaciones del acceso al suelo urbano están relacionadas a la escasez de tierras urbanas y a los precios inasequibles para ciertos grupos sociales, por lo cual las “clases pertenecientes a sectores populares se ven obligados a vivir en tugurios¹ o en su defecto en suelos ubicados en zonas de riesgos, en fuertes pendientes, susceptibles a inundaciones y distantes o periféricas, es decir en sectores no aptos para la urbanización” (p. 7).

La expansión urbana tiene su origen en una variedad de factores, sin embargo los más relevantes son la necesidad de terrenos habitables a precios bajos y falta de planeamiento urbano; generando como consecuencia un crecimiento físico desordenado y la necesidad del incremento en el gasto público (GADM Riobamba, 2015).

El crecimiento de las ciudades provoca grandes efectos en sus regiones circundantes, las complicaciones en los cambios de uso de suelos, creadas por una expansión rápida y no regulada, causan simultáneamente ineficiencia administrativa y perjuicios al medio ambiente. Sin embargo, una acertada planificación basada en la forma en que se ocupa el territorio, reduce los conflictos de usos de suelo y organiza la expansión urbana (García, 2008).

Una de las señales del crecimiento poblacional en las ciudades, es la expansión del área con infraestructura urbana hacia los bordes de las ciudades y la densificación de estas

¹ Se entiende como el resultado de un proceso social por el que los sectores populares se ven obligados a incrementar el uso social del espacio, a través del hacinamiento y la densificación, aunque les conduzca invariablemente a incrementar los niveles de hacinamiento (Carrión, 1987).

áreas. Sin embargo esta expansión no es perceptible a simple vista sino que con los años los terrenos se van densificando y las zonas de la periferia van, gradualmente, incorporándose a la zona urbana de la ciudad, debido a que la población busca mantener una proximidad con el centro, que es en donde se aglutinan las principales actividades y servicios de las ciudades (Bazant, 2008).

El crecimiento descontrolado de las áreas urbanas no es algo nuevo para las ciudades latino americanas. Sin embargo, es sólo ahora que las profundas implicaciones sociales, ecológicas y económicas empiezan a convertirse en una preocupación fundamental de las grandes aglomeraciones del continente (Heinrichs y Rodríguez, 2009).

2.1.3. Ordenamiento Territorial mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica.

En los últimos años las tecnologías de la información y la comunicación han revolucionado el desarrollo, almacenamiento y distribución de la información mediante la utilización de diferentes medios. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) como bases de datos espaciales y territoriales, han evolucionado rápidamente anclados al crecimiento de las tecnologías de la información, ofreciendo e integrando cada vez más aplicaciones y técnicas para la gestión y procesamiento de los datos espaciales (Gestión Urbana, 2011).

Los SIG ofrecen una variedad de aplicaciones relacionadas con procedimientos de ordenamiento territorial, por ejemplo:

- Almacenamiento y sistematización de información que permita entre otras cosas la administración del catastro.
- Identificación y análisis de la distribución espacial (redes de servicios, infraestructura y obras públicas)
- Análisis de tendencias espaciales (estudios de mercado de suelo, consolidación urbana)
- Diagnóstico y diseño de políticas territoriales.

- Control y gestión de información para procesos de toma de decisiones (zonificación de usos de suelo)

Mediante el uso de las tecnologías SIG es posible elaborar mapas complejos, que representen características cualitativas y cuantitativas del territorio, y generar un modelo de la realidad que permita descomponerlo en partes lógicas y consistentes para facilitar su observación y análisis. La disposición del territorio se entiende en la medida en que son señalados los aspectos y elementos que sustentan su composición geográfica, a través de los SIG, la consulta técnica sobre la dimensión, el espacio y la territorialidad de las localidades y las regiones será la constante, y se convierte en una herramienta que eleva el nivel de análisis y discusión entre los entes decisores de la acción local (Hernández y Guillen, s.f).

Al combinarse las posibilidades de análisis que presentan los SIG para la comprensión de la dinámica territorial con el ordenamiento y planeación del territorio, se establecerá la capacidad suficiente para responder a temas fundamentales como la capacidad de carga del territorio, la disposición de la infraestructura, la dimensión física que debe tener un territorio, entre otras que permitan mejorar la calidad en la administración, control y distribución de recursos y espacios en el territorio (Tufiño y Estuardo, 2014).

Tal como lo mencionan Ossa y Estrada (2012) los Sistemas de Información Geográfica han servido para que temas como el ordenamiento y la planeación territorial constituyan una base más sólida para definir el futuro de poblaciones y lugares, en cuanto a la distribución espacial de las personas, los recursos, la disposición de espacios geográficos, las estructuras y los distritos económicos y políticos, trazando la dirección y la coordinación estratégica de las diversas áreas correspondientes a los deberes del gobierno.

2.1.4. La teledetección y las técnicas de análisis multitemporal.

2.1.4.1. La Teledetección

“La teledetección o percepción remota ha sido definida como la adquisición de información, total o parcial, acerca de objetos y sus propiedades sin que exista contacto físico entre estos y el aparato detector (sensor)” (INEGI, 1985, p 8). Esta técnica se hace posible debido a que cada objeto en la superficie terrestre absorbe, refleja y emite energía electromagnética en diferentes longitudes de onda (Romero, 2006).

Según Gómez (2008) la teledetección permite obtener información de los objetos situados sobre la superficie de la tierra a través de tres elementos básicos:

- El sensor
- El objeto observado
- El flujo energético

Es necesario que, aunque sin contacto material, exista algún tipo de interacción entre los objetos observados y el sensor (Gómez, 2008). La figura 1 muestra un resumen del proceso de teledetección con los elementos básicos necesarios para su desarrollo.

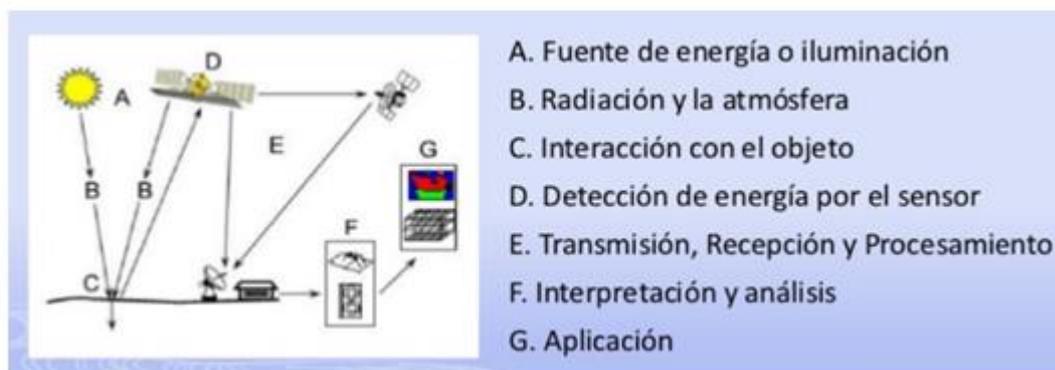


Figura 1: Proceso de teledetección

Fuente: Gómez (2008)

Chuvieco (2008) indica que cualquier tipo de energía, se puede definir en función de su frecuencia (longitud de onda), las bandas donde la radiación electromagnética es similar se conoce como espectro electromagnético. Las bandas espectrales más utilizadas en la definición de cubiertas terrestres son: El espectro visible (0.4 a 0.7 μm), infrarrojo cercano

IRC (0.7 a 1.3 μm), infrarrojo medio IRM (1.3 a 8 μm), infrarrojo lejano o térmico (8 a 14 μm) y microondas (por encima de 1 mm). La figura 2 muestra los valores de frecuencia para cada tipo onda electromagnética.

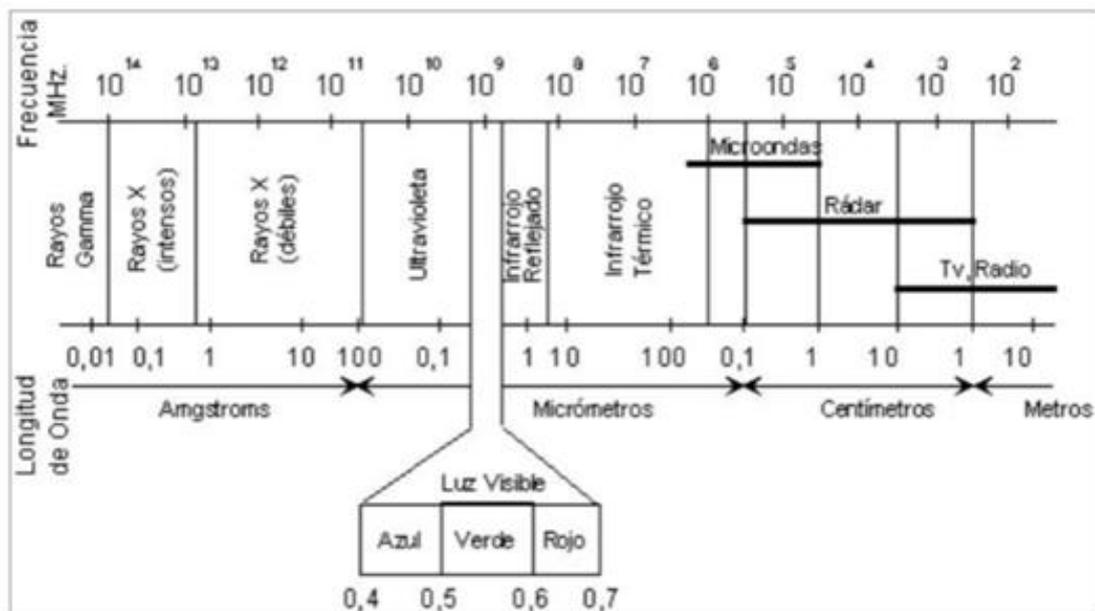


Figura 2: Espectro Electromagnético

Fuente: Chuvieco (2008)

Todos los objetos de la superficie terrestre, según su composición y estructura, son capaces de recibir radiación, la misma que puede reflejarse (la radiación se envía de vuelta al espacio), absorberse (la radiación incrementa la energía del objeto) o transmitirse (se envía hacia otros objetos), esta interacción dependerá de la longitud de onda y las características generales del objeto observado. Esta energía captada por sensores se denomina firma espectral, cuya forma, tamaño, color, textura, temperatura, luminosidad entre otras características, pueden determinarse mediante procedimientos fotográficos y electrónicos dispuestos en satélites artificiales (Betancourt, 2015).

Estos datos permiten distinguir elementos como tierra, vegetación, agua, asentamientos humanos, bosques, entre otros, cuyo comportamiento espectral varía dependiendo de sus características.

La clasificación de datos digitales obtenidos a través de teledetección permite reconocer clases o grupos con características en común, estas clases deben ser espectralmente diferentes y contener un valor informativo para la investigación que se realice. Según indica Romero (2006), existen dos enfoques principales al momento de realizar esta clasificación:

- **Clasificación Supervisada:** requiere un conocimiento previo del territorio de estudio (información secundaria, trabajo de campo, referencias locales), y de la información que se desea extraer de la imagen, es decir el intérprete debe tener familiaridad con el área de interés para poder interpretar y delimitar sobre la imagen áreas suficientemente representativas (áreas de entrenamiento). Esta forma de clasificación implica que los números digitales formen una serie de agrupaciones con similares características, y con una variabilidad espectral entre cada área de entrenamiento (MAE y MAGAP, 2015). La figura 3 muestra la síntesis de los procesos básicos requeridos para el desarrollo de la clasificación supervisada.



Figura 3: Pasos para la clasificación Supervisada

Para verificar o medir la bondad del clasificador se hace uso de la matriz de confusión que permite visualizar mediante una tabla de contingencia la distribución de errores cometidos por un clasificador. Además, existen varios procedimientos matemáticos para analizar los patrones espectrales, entre los más usados se encuentran máxima probabilidad, distancia mínima, paralelepípedos, ángulo espectral (Corso, s.f.)

- Clasificación no supervisada: no precisa un conocimiento previo del territorio, sin embargo es necesario determinar el número de clases que se desea establecer en el estudio para que luego la defina un procedimiento estadístico (Chuvieco, 2008).

Esta clasificación basa su efecto en la identificación de clases con suficiente separabilidad espectral como para lograr diferenciar una clase de otra usando métodos de agrupamiento (Gutiérrez, 2005). La figura 4 muestra la síntesis de los procesos básicos requeridos para el desarrollo de la clasificación no supervisada.

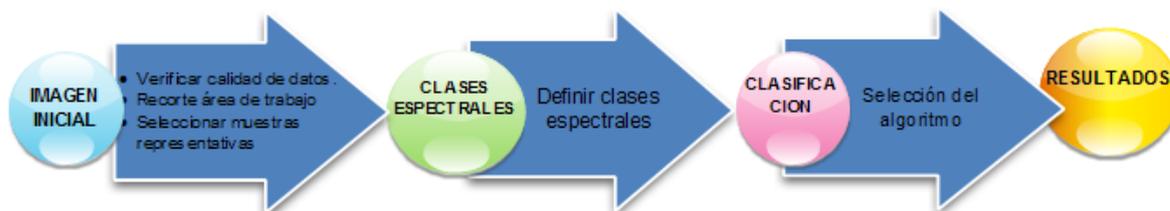


Figura 4: Pasos para la clasificación no Supervisada

Picone y Linares (2014) consideran que “una de las virtudes innegables de la teledetección aplicada a espacios urbanos es la idoneidad para conocer la extensión, magnitud y evolución del área construida de una ciudad” (p. 80).

2.1.4.2. El análisis multitemporal

El análisis multitemporal consiste en revelar cambios entre diferentes momentos referenciales en un área específica de estudio, deduciendo de esta manera la evolución o repercusión de la acción humana sobre el medio territorial (Hernández, 2012). Este análisis implica estudiar la dinámica temporal de una determinada zona de estudio incluyendo por ejemplo espacios urbanos y rurales, áreas forestales, áreas agrícolas, entre otras (Morocho, 2013).

En la interpretación de imágenes satelitales, el análisis multitemporal es uno de los métodos más eficaces para la comparación y determinación de cambios ocurridos en la

superficie en un periodo de tiempo específico (Almeida, Duriavich, Napolitano, y Feoli, 2009).

Este análisis espacial se realiza mediante la comparación de las coberturas de suelos resultado de la interpretación de dos o más imágenes de satélite, fotografías aéreas, ortofotos o mapas de un mismo lugar pero en diferentes fechas, lo que permite identificar, describir y cuantificar la disminución o incremento de la vegetación natural, el aumento de la mancha urbana de los poblados, la ubicación de las zonas con actividades agropecuarias; a partir de secuencias multitemporales (Chuvienco, 1998).

Sin embargo, un estudio multitemporal exige una serie de tratamientos previos sobre las imágenes con el objetivo de garantizar su comparabilidad tanto radiométrica como geométrica.

Según Posada (2012), el procesamiento digital de imágenes orientado al análisis cualitativo y cuantitativo de imágenes satelitales, debe involucrar un proceso digital de las mismas el que involucra los siguientes pasos:

- Pre-procesamiento: se trata del procesamiento inicial de la imagen seleccionada, en este punto se realizan correcciones radiométricas y geométricas. La comparación entre imágenes se realiza pixel a pixel, por lo que el ajuste geométrico adecuado garantiza el análisis de la misma porción de territorio en cada caso, mientras que el ajuste radiométrico permite analizar en la misma escala los niveles digitales de cada imagen (Chuvienco, 1998)
- Mejoramiento: Son procesos para realzar, enfatizar o suprimir características de una imagen, según el propósito del análisis, con la finalidad de mejorar la interpretación visual de la misma.
- Clasificación y análisis: Finalmente se realiza la clasificación de imágenes (abordada en el punto anterior) para su posterior análisis.

Los análisis multitemporales se han convertido en herramientas indispensables para los procesos de ordenamiento y planificación de una zona, esto debido a su potente capacidad para identificar problemas y potencialidades dentro del territorio, lo que permite generar objetivos y políticas que tiendan a la conservación y uso adecuado de recursos (Geoplades, 2009).

2.1.5. Evaluación multicriterio EMC

La Evaluación Multicriterio, es una de las herramientas más utilizadas como ayuda para la toma de decisiones espaciales orientadas a la planificación del territorio, permitiendo optimizar la localización de los usos del suelo, asignando éstos a zonas que presenten la mayor aptitud y menor impacto posible.

Gutiérrez y Gómez (2010) afirman que esta técnica es muy utilizada en la evaluación de la aptitud del territorio para la determinación de nuevas urbanizaciones, con la finalidad de dirigir el futuro crecimiento urbano hacia las zonas más apropiadas.

Se define básicamente como un conjunto de técnicas orientadas a asistir en procesos de decisiones, basándose en la ponderación de variables que influyen de manera positiva (aptitud) o negativa (impacto) sobre el objeto de decisión (Molero y Grindlay, 2007).

En este análisis se consideran conceptos, modelos, métodos y herramientas, para que, una vez obtenidas las alternativas sean evaluadas y jerarquizadas y finalmente, de acuerdo a varios criterios, generar un resultado final.

Según Daga (2009), la Evaluación Espacial Multicriterio permite:

- Evaluar diferentes alternativas para plantear solución de un problema de decisión espacial.
- Evaluar impactos ambientales provocados por el accionar humano, a partir de la consideración de las variables naturales y antrópicas,

- Generar escenarios que permitan disminuir la incertidumbre en relación a la toma de decisiones
- Evaluar alternativas.

2.1.5.1. Componentes:

Los autores Romero (2016) y López y González (s.f.) coinciden en que la EMC se puede resumir como un proceso que requiere los pasos y componentes que se muestran en la figura 5 y se describen a continuación:



Figura 5: Procedimiento para desarrollar un análisis multicriterio

- Definir el objetivo: una visión clara del objetivo de estudio, permite identificar hacia donde se desea orientar la investigación, y los lineamientos que regirán los parámetros de evaluación.
- Criterios de evaluación: son aquellos que dan la base para la toma de una decisión. antes de realizar la evaluación. Es necesario definir los criterios que serán considerados según el objetivo planteado. Existen dos tipos de criterios, **restricciones** consideradas criterios que excluyen el área de estudio y **factores** que influyen en la viabilidad del objetivo planteado, son características que aumentan o disminuyen la valoración como solución al problema;

- Reglas de decisión: son procedimientos a través de los cuales se obtiene una evaluación. Es necesario definir las reglas que con las que se analizarán estos criterios para su posterior valoración.
- La evaluación: contempla la normalización, ponderación y jerarquización de los datos obtenidos aplicando los criterios seleccionados.

2.1.5.2. Métodos de evaluación multicriterio

Entre los principales, debido a su amplia aplicación, Lamelas (2009) cita los siguientes métodos:

- Suma Lineal Ponderada: La sumatoria lineal ponderada es la técnica más comúnmente utilizada para llevar a cabo toma de decisiones espaciales multiatributo. Permite ponderar una serie de alternativas en función de un grupo de criterios.
- Jerarquías analíticas: se considera también una técnica aditiva y compensatoria basada en tres principios, descomposición juicio comparativo y síntesis de prioridades.
- Concordancia: se basa en la comparación de alternativas por pares, de la cual se deriva una clasificación ordinal.
- Análisis del punto ideal: ordena un conjunto de alternativas a partir de su separación del punto ideal considerado inalcanzable, luego se compara la distancia entre cada alternativa y el punto ideal.

Para Plata, Gómez, y Bosque (2010), las técnicas de Evaluación Multicriterio han demostrado su eficiencia a la hora de diseñar modelos territoriales óptimos, ya que consideran la adecuación y aptitud que presenta el territorio para que sobre él se desarrolle una determinada actividad. Estas técnicas vienen siendo aplicadas a diferentes actividades tales como: asignación de uso de suelo, localización de instalaciones no deseables, zonificación de corredores ambientales y áreas naturales.

2.2. MARCO METODOLÓGICO

2.2.1. Experiencias de Análisis Multitemporal

Picone y Linares (2014) presentan una propuesta metodológica para la extracción y análisis de densidades urbanas mediante teledetección y SIG en la que utilizan una metodología que permite analizar la evolución de la densidad urbana y discriminar las distintas densidades que en ella existan basándose en imágenes satelitales obtenidas en diferentes espacios temporales. La metodología utilizada para el análisis multitemporal fue en primer lugar la selección de las escenas, la calibración radiométrica y corrección atmosférica de las imágenes seleccionadas, luego se realizó una clasificación no supervisada para finalmente con las firmas espectrales de cada categoría obtenida realizar los análisis de densidades urbanas en cada periodo.

Arango y Chilito (2016) realizan un análisis multitemporal de la expansión urbana de la ciudad de Popayán, Cauca entre los años 1989, 2002 y 2014. En esta investigación desarrollan un análisis de la expansión urbana de la ciudad de Popayán mediante el uso de imágenes satelitales Landsat de los años 1989, 2002 y 2014 codificando cuatro aspectos primordiales en el comportamiento expansivo como son: cobertura vegetal, construcciones o edificaciones, red hídrica e infraestructura vial y evaluando la expansión urbana. La metodología utilizada para este estudio se desarrolló en las siguientes fases: Recolección y análisis de información, tratamiento de información (corrección geométrica y atmosférica), clasificación no supervisada, clasificación supervisada y finalmente el análisis multitemporal.

A través de un estudio multitemporal, Martínez (2005) obtuvo los cambios en la cobertura vegetal (1979-2004) y modelización prospectiva en la provincia de Cotopaxi. En este estudio se identifican las dinámicas de cambio en la cobertura vegetal, como el resultado de los procesos que se han dado en la Provincia de Cotopaxi durante los últimos 25 años y se genera un escenario probable para el año 2015. Los procesos desarrollados se dividen en: Generación de la información cartográfica de cobertura vegetal para los

años 1979, 1991 y 2004, análisis de los cambios ocurridos sobre la cobertura vegetal en los últimos 25 años y finalmente el desarrollo del modelo prospectivo de la cobertura vegetal para el año 2015.

Mediante el uso integrado de imágenes de satélite, SIG y equipos de Sistema de posicionamiento global GPS, Herrera (2001) realiza un estudio del crecimiento urbano de la ciudad de Valdivia (Chile). En el mismo se demuestra la potencialidad de diferentes imágenes procedentes de diversos sensores remotos y tecnología GPS en estudios de crecimiento urbano. Los procedimientos involucrados consisten en: realizar clasificaciones de uso de suelo determinados por la información de cada imagen con procedimientos visual y digital, adicionalmente a través del uso de la información cartográfica hecha con mediciones GPS realiza la actualización y estudio de importantes cambios en diferentes puntos de la ciudad.

Pérez y Camino (2009) realizan un análisis del crecimiento urbano en el área metropolitana de Santo Domingo a través de las imágenes multiespectrales del satélite LANDSAT TM, en el que proponen como objetivo en este estudio, analizar 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 utilizada para esta investigación sigue los siguientes pasos: Preparación de la información tanto vectorial como selección de las imágenes satelitales, análisis multitemporal a través del uso de herramientas de sustracción e interpretación visual de la información seleccionada.

A través de un análisis multitemporal, Neira (2016) realiza un análisis de la expansión urbana de la localidad de Usme – Bogotá en la que plantea como metodología para el desarrollo de su investigación el uso del análisis multitemporal con el siguiente esquema general: Selección de imágenes satelitales de los años 2002 – 2016, tratamiento de las imágenes (correcciones), clasificación supervisada y finalmente el análisis multitemporal.

Para conocer los cambios ocurridos en la cobertura vegetal del Municipio del Distrito Central, Hernández (2012) plantea el uso de la técnica de análisis multitemporal con la siguiente metodología: Levantamiento de información, tratamiento de imágenes satelitales, clasificación no supervisada de las coberturas, verificación de resultados y análisis multitemporal.

Tibaquira (2016) propone un análisis multitemporal con el objetivo de identificar las zonas hacia donde se ha incrementado el desarrollo urbano del municipio de Ibagué, Tolima. A través del análisis de imágenes LANDSAT siguiendo una metodología general que en primera instancia requiere la adquisición de las imágenes, su procesamiento digital, una clasificación supervisada que finalmente permite obtener los insumos para el análisis del proceso de cambio ocurrido en el territorio durante el periodo de tiempo seleccionado.

Geoplades (2009) realizan un estudio multitemporal del Nororiente del Ecuador en el que se analizan los cambios de la cobertura vegetal y uso de suelo en el periodo de 1990 a 2008 y su proyección al año 2030. Para este proceso emplean imágenes satelitales de diferentes años a través de las cuales obtuvieron mapas de cobertura vegetal, ocupación del suelo y ecosistemas en la zona. Se utilizó el método de clasificación supervisada y para validar la clasificación se utilizó la matriz de error.

Betancourt (2015) plantea el análisis de cambios en la cobertura del suelo en el corredor Metropolitano Cali - Jamundi (Valle del Cauca, Colombia) haciendo uso de la comparación de imágenes previamente clasificadas basadas en el procesamiento digital de las mismas (corrección geométrica, radiométrica y atmosférica), la categorización de estas imágenes (clasificación supervisada y no supervisada) y finalmente su comparación con el análisis de matrices de cambio.

El Ministerio de Agricultura y Ganadería y el Ministerio del Medio Ambiente (MAGAP y MAE, 2014) presentan el protocolo metodológico para la elaboración del mapa de cobertura y uso de la tierra del Ecuador Continental 2013-2014, el que contiene reglas

metodológicos y conceptuales generados por estas instituciones públicas para la generación de mapas de cobertura y uso de la tierra del Ecuador. Define los fundamentos teóricos y la metodología usada para el procesamiento de imágenes satelitales Landsat y *RapidEye* en la generación de mapa de coberturas y uso del suelo del Ecuador, con la descripción de cada uno de los pasos a través del uso de las herramientas Envi y ArcGis.

El uso de la teledetección en combinación con los SIG, a través del análisis e interpretación de imágenes satelitales permite discriminar las distintas densidades urbanas presentes en el territorio para cada espacio temporal seleccionado. Las metodologías analizadas en esta investigación presentan un proceso similar con las siguientes diferencias:

- El tipo de información e insumos primarios seleccionados depende de los objetivos planteados en la investigación.
- El método de clasificación utilizado debido a que para el uso de la clasificación supervisada se requiere un conocimiento profundo del territorio, mientras que la clasificación no supervisada se basa en la interpretación de firmas espectrales.
- El proceso seleccionado para la interpretación de los resultados y al análisis final de la información.

2.2.2. Experiencias de Estudios Multicriterio

La técnica de evaluación multicriterio, permite analizar la aptitud del territorio para diferentes fines, principalmente para la localización de sitios óptimos orientados a mejorar la planificación territorial. Las investigaciones realizadas utilizando esta técnica presentan una metodología similar en términos generales, con variaciones en los procesos de análisis de acuerdo a los objetivos planteados.

Daga (2009) plantea la determinación de áreas con aptitud para la expansión urbana con fines de ordenamiento territorial aplicando el análisis espacial multicriterio. En este estudio se realiza un análisis del crecimiento urbano de la ciudad de Lima (Perú) con el

objetivo de proyectar el crecimiento hasta el año 2020 y estimar las áreas requeridas para una nueva expansión urbana. Se aplica una metodología de adquisición, procesamiento y análisis de datos e información, realizando en primera instancia un estudio multitemporal del crecimiento urbano de la ciudad de Lima, para posteriormente determinar las áreas aptas para su futura expansión a través del análisis espacial multicriterio basado en la metodología de (Gómez y Barredo, 2005).

Para la simulación de crecimiento urbano en el gran San Miguel de Tucumán (Argentina), Gutiérrez y Gómez (2010) hacen uso de la evaluación multicriterio y SIG, combinando en su trabajo de investigación técnicas de Evaluación Multicriterio (EMC) y Sistemas de Información Geográfica (SIG) para obtener un modelo de ocupación urbana deseable para el Gran San Miguel de Tucumán, que sirva como apoyo en la evaluación y planificación urbano-territorial. Partiendo de mapas urbanos de 2001 y 2009 y de una serie de posibles factores explicativos del crecimiento urbano realiza una EMC, aplicando el Método de Jerarquías Analíticas y Sumatoria Lineal Ponderada para obtener mapas de aptitud para uso urbano.

Con la aplicación de la evaluación multicriterio, a través del análisis espacial de información ráster y SIG, Romero (2015) realiza el estudio de la evolución urbana y perspectivas al año 2020 en la ciudad de Loja, analizando las características territoriales de la ciudad mediante la utilización de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Mediante la aproximación de las técnicas de análisis espacial en SIG, Manosalvas (2016) analiza las potencialidades y limitaciones para la expansión urbana en la parroquia de San Antonio de Pichincha, a través de la combinación de varios criterios con técnicas de evaluación multicriterio y Sistemas de Información Geográfica. La metodología usada para la evaluación multicriterio se basa en la ponderación de factores siguiendo la propuesta de *Thomas Saaty* presente en el estudio (Gómez y Barredo, 2005).

En su investigación Benavides (2016) analiza la dinámica de crecimiento urbano en la parroquia Santa Ana de Nayón para determinar un modelo de crecimiento urbano

óptimo. Dentro de la metodología utilizada se encuentra el análisis multitemporal que permite identificar la expansión urbana actual la evaluación multicriterio para la propuesta del modelo de crecimiento urbano óptimo.

A través de las técnicas de evaluación multicriterio, Molero y Grindlay (2007) analizan los escenarios de aptitud y modelización cartográfica del crecimiento urbano con el objetivo de determinar donde se localizan los suelos potencialmente más aptos para acoger nuevos crecimientos urbanos.

Mediante la evaluación multicriterio, Hurtado (2015) plantea la identificación de zonas industriales en el cantón Cuenca, la autora establece en esta investigación una metodología utilizando un análisis de modelamiento con el método de Evaluación Multicriterio EMC, para ello se determina criterios en el aspecto ambiental, económico y social, además se realiza un análisis de sensibilidad que permita comparar la robustez y estabilidad del modelo.

3. METODOLOGÍA

3.1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Riobamba capital de la Provincia de Chimborazo, se encuentra ubicada en el centro geográfico del país, al norte de la provincia de Chimborazo, ocupa parte de la cuenca del río Chambo y de las vertientes internas de las cordilleras Oriental y Occidental de Los Andes, lugar donde está la llanura de Tapi a 2,754 msnm. Limita: al Norte con los Cantones Guano y Penipe, al Sur con los cantones Colta y Guamote, al Este con el cantón Chambo y al Oeste con la provincia de Bolívar. Está constituido por cinco parroquias urbanas: Maldonado, Veloz, Lizarzaburu, Velasco y Yaruquíes; y once parroquias rurales: San Juan, Licto, Calpi, Quimiag, Cacha, Flores, Punín, Cubijés, San Luis, Pungalá y Licán (Cartotecnia, 2015).

Abarca una extensión aproximada de 98,273.47 ha, que representa el 0.38% del total nacional y el 16.37% de la Provincia de Chimborazo. Para su gobierno y administración se divide en 5 parroquias urbanas con una extensión definida por el PDUR de 2,751.94 ha y 11 parroquias rurales.

La figura 6 muestra la ubicación geográfica del área urbana de la ciudad de Riobamba respecto al cantón y a sus parroquias y cantones colindantes.

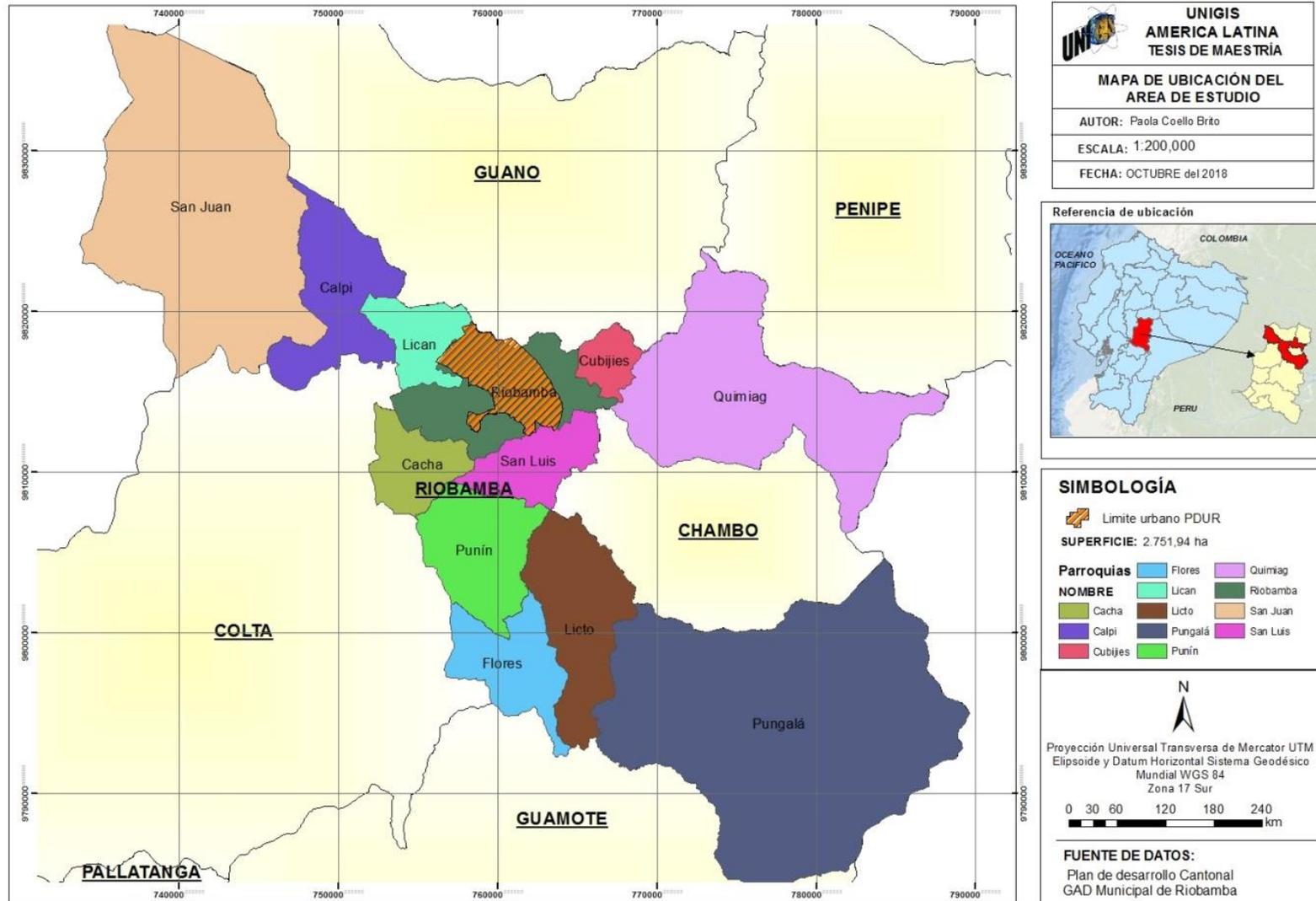


Figura 6: Ubicación de la zona de estudio

El clima en el cantón Riobamba por lo general es frío, con 2 estaciones: una húmeda y una seca. Los vientos pueden producir una sensación térmica de casi 0 °C mientras que en algunas épocas del año la máxima temperatura diaria puede alcanzar los 25 °C a 27 °C, rara vez se han registrado temperaturas por mayor de los 27 °C (GADM Riobamba, 2015).

Según el último Censo General de Población y Vivienda del Instituto Nacional de Estadística y Censos (2010) cantón Riobamba tenía una población de 234,170 habitantes, y para el año 2015 se estima de acuerdo a una tasa de crecimiento del 1.38%, una población de 249,891. Esta tasa anualmente tiene un decrecimiento del 0.04% debido a la migración tanto nacional como internacional, tasa de mortandad y otros factores. Un resumen de estos valores se muestra en la tabla 1.

Tabla 1: Proyección de crecimiento poblacional del cantón Riobamba

Año	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Población Urbana	149,869	151,940	153,992	156,006	157.991	159,930	161,834	163,690
Población Rural	84,301	85,466	86,620	87,754	88.870	89,961	91,031	92,076
Total Población	234,170	237,406	240,612	243,760	246.861	249,891	252,865	255,766
% Proyección de Crecimiento anual		1.38	1.35	1.31	1.27	1.23	1.19	1.15

3.2. JUSTIFICACION DE LA METODOLOGÍA

La secuencia metodológica utilizada para el cumplimiento de los objetivos de la presente investigación, se basa principalmente en el desarrollo de dos técnicas de análisis espacial, el estudio multitemporal y el análisis multicriterio.

Los métodos generales aplicados para cada una de estas técnicas se describen en el siguiente diagrama (figura 7), los mismos que fueron adaptados de los procesos metodológicos planteados por Picone y Linares (2014), Arango y Chilito (2016), Martínez (2005), Pérez y Camino (2009), Neira (2016), Tibaquira (2016), Geoplades (2009), Betancourt (2015), MAGAP y MAE (2014), Daga (2009), Gutiérrez y Gómez (2010), Romero (2015), Benavides (2016), Hurtado (2015), Gómez y Barredo (2005), los cuales

presentan en sus trabajos de investigación realidades, disponibilidad de información y criterios de análisis distintos. Sin embargo, a través de su aplicación, se ha conseguido generar los insumos necesarios para cumplir con los objetivos planteados.

En primer lugar, se realiza un análisis multitemporal del crecimiento urbano de la ciudad de Riobamba en el periodo 1998 – 2017, a través de imágenes satelitales Landsat las que fueron procesadas digitalmente para luego ser clasificadas y analizadas. Este método fue seleccionado luego de realizar un análisis de la información disponible del territorio y determinar la inexistencia de información cartográfica histórica que permita evidenciar temporalmente los cambios producidos en la zona urbana de la ciudad de Riobamba. Se escogió trabajar con imágenes satelitales Landsat debido a que tienen la característica de poseer diferentes bandas espectrales, lo que permite realizar combinaciones entre ellas y visualizar de mejor manera los diferentes usos de suelo del territorio estudiado (Geoplades, 2009). Se considera, además, que son imágenes que se encuentran disponibles gratuitamente con una resolución espacial media y una cobertura periódica en condiciones similares de observación del área de estudio (Gómez y Guailas, 2015).

Posteriormente se determinan las zonas óptimas para su futura expansión a través de un análisis espacial multicriterio, determinando distintos factores y limitantes relacionados a la información disponible y a la zona territorial del cantón Riobamba para finalmente analizar las diferentes alternativas obtenidas y determinar el sitio óptimo para la futura urbanización.

Tal como lo mencionan Betancourt (2015), Almeida et al. (2009), Herrera (2001), Neira (2016), Tibaquirá (2016), Pérez y Camino (2009) referidos en esta investigación, el estudio multitemporal se ha proliferado en los últimos años, por ser uno de los métodos más eficaces a la hora de comparar y determinar cambios ocurridos en un periodo de tiempo.

Por otro lado, la combinación de métodos de Evaluación multicriterio y sistemas de información geográfica permite evidenciar las consecuencias de las decisiones sobre los usos del suelo con un mayor detalle y grado en definición y precisión. Estos componentes

pueden agregar nuevos criterios para la búsqueda de la ubicación óptima de los escenarios (Román, 2014).

En este contexto, a continuación, se detallan los pasos metodológicos utilizados para alcanzar los objetivos del presente trabajo de investigación.



Figura 7: Diagrama Metodológico

3.3. DESARROLLO METODOLÓGICO

3.3.1. Estudio Multitemporal

3.3.1.1. Procesamiento de imágenes satelitales

a) Selección de Imágenes

El programa LANDSAT de la Agencia Espacial Norteamericana constituye un programa líder a nivel mundial para la observación y monitoreo de los recursos terrestres. A la fecha

suma un total de 8 satélites desde sus inicios en 1975, y gracias a sus constantes mejoras tanto radiométricas como geométricas y espaciales incorporadas en sus sensores su uso se ha vuelto amplio en variados campos del conocimiento (Betancourt, 2015).

Para la estimación y análisis de los cambios en el proceso de expansión urbana a través del tiempo, se utilizaron tres imágenes Landsat, captadas por los sensores TM, ETM+ Y OLI_TIRS, todas con resolución espacial de 30 metros, en formato GeoTIFF, tomadas en los años de 1998, 2008 y 2017, en una serie temporal de 19 años (1998-2017). La tabla 2 muestra un resumen de las principales características de las imágenes seleccionadas para cada año de estudio.

Tabla 2: Imágenes seleccionadas satélite LANDSAT

PROPIEDADES	IMAGEN 1998	IMAGEN 2008	IMAGEN 2017
ID DE LA IMAGEN	LT50100611998195XXX01	LE70100612008311EDC00	LC80100612017263LGN00
FORMATO	GEOTIFF	GEOTIFF	GEOTIFF
SATELITE	LANDSAT 5	LANDSAT 7	LANDSAT 8
SENSOR	TM	TM +	OLI_TIRS
PATH / ROW	10/61	10/61	10/61
FECHA DE ADQUISICIÓN	1998/07/14, 15:04:43	2008/11/06, 15:15:30	2017/09/20, 15:26:35
PROYECCIÓN	UTM	UTM	UTM
DATUM	WGS 84	WGS 84	WGS 84
ZONA UTM	17	17	17
PORCENTAJE DE NUBOSIDAD	9%	32.44%	25%

Las imágenes fueron obtenidas desde Centro Geológico de los Estados Unidos (USGS).

b) Procesamiento Digital

- Corrección radiométrica

Los datos almacenados en una imagen son niveles digitales (ND), por lo tanto para que estos niveles representen y permitan identificar variables biofísicas es necesario convertirlos en valores de reflectancia (Betancourt, 2015). Este procedimiento se realiza en dos etapas, la primera es la conversión de ND a Radiancia, para lo cual se consideró el uso del método de ganancia y sesgo, cuya fórmula es la siguiente:

$$L_{\lambda} = a_{0,k} + a_{1,k} * ND_k$$

Donde L_{λ} corresponde a la radiancia espectral recibida por el sensor en la banda k ; $a_{0,k} + a_{1,k}$ son los coeficientes de calibración para esa banda y ND_k corresponde al nivel digital de la imagen en la misma banda (Chuvienco, 1995).

En el caso de las imágenes correspondientes a los años 1998 y 2008 obtenidas por el satélite Landsat 5 y Landsat 7, los parámetros necesarios para esta conversión, fueron obtenidos del artículo *Summary of current radiometric calibration coefficient for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors* (Chander, Markham, y Helder, 2009) el mismo que muestra un resumen de los coeficientes necesarios para aplicar esta corrección. Los parámetros usados para este estudio se muestran en las tablas 3 y 4.

Tabla 3: Parámetros para conversión de reflectividad imágenes Landsat 5

BANDA	a0,k	a1,k
1	-2.29	0.765827
2	-4.29	1.448189
3	-2.21	1.043976
4	-2.39	0.876024
5	-0.49	0.120354
6	1.18	0.055376
7	-0.22	0.065551

Tabla 4: Parámetros para conversión de reflectividad imágenes Landsat 7

BANDA	a0,k	a1,k
1	-7.38	1.180709
2	-7.61	1.209843
3	-5.94	0.94252

BANDA	a0,k	a1,k
4	-6.07	0.969291
5	-1.19	1.19122
6	-0.07	0.067087
7	-0.42	0.066496

Respecto a la imagen empelada para el año 2017 obtenida del satélite Landsat 8, los datos de las bandas pueden ser reescalados a valores de reflectancia o radiancia en el techo de la atmosfera (TOA), usando para ello los coeficientes radiométricos provistos en el archivo de metadato MTL.txt con la siguiente fórmula (Ariza, 2013).

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

Donde L_{λ} =Es el valor de radiancia espectral en el techo de la atmosfera *Top-Of-Atmosphere* (TOA), M_L es el factor multiplicativo de escalado específico por banda y A_L es el factor aditivo de escalado específico por banda, Q_{cal} es el valor de cada una de las bandas. Con lo indicado anteriormente los datos obtenidos para la imagen Landsat 8 del año 2017 son los que se muestran en la tabla 5:

Tabla 5: Tabla de valores para el cálculo de radiancias imagen 2017

BANDA	ML	AL
1	1.25E-02	-62.25844
2	1.28E-02	-63.7534
3	1.18E-02	-58.74822
4	9.91E-03	-49.5398
5	6.06E-03	-30.31589
6	1.51E-03	-7.53929
7	5.08E-04	-2.54114

La siguiente etapa corresponde a la conversión de Radiancia a Reflectancia aparente, para realizar esta conversión se utiliza la ecuación:

$$R_{sensor} = (\pi * L_{\lambda} * d^2) / ESUN_i * \cos(z)$$

En donde $\pi = 3.14159$, R_{sensor} es la reflectancia en el sensor, L_{λ} es la radiancia espectral en el sensor; $ESUN_i$ es la irradiancia solar en la banda de interés (i) medida en el tope de la atmósfera; z es el ángulo cenital solar (ángulo cenital = $90 - \text{ángulo de elevación solar}$, que se puede obtener en el archivo de metadatos); y d es la distancia entre la tierra y el sol, en unidades astronómicas.

Para obtener varios valores necesarios para el cálculo para el caso de las imágenes Landsat 5 y 7, se hace uso nuevamente al artículo *Summary of current radiometric calibration coefficient for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors* (Chander, Markham, y Helder, 2009), que presenta un resumen de las ecuaciones actuales y los factores de reajuste para la conversión calibrada, Números digitales (ND) a unidades absolutas de radiancia espectral at-sensor, TOA, reflectancia y temperatura de brillo del sensor.

Para el caso de la imagen obtenida desde el sensor Landsat 8 del año 2017, el proceso se realiza desarrollando la siguiente fórmula (Ariza, 2013).

$$P_{\lambda}' = (M_p * Q_{\text{cal}} + A_p) / \text{Sin}(\theta_{\text{se}})$$

Donde P_{λ}' = Es el valor de reflectancia planetario en el techo de la atmosfera (TOA) M_p e el factor multiplicativo de escalado específico por banda y A_p es el factor aditivo escalado específico por banda, Q_{cal} es el valor de cada una de las bandas y θ_{se} es el ángulo de elevación solar. Los valores resultantes se describen en la tabla 6.

Tabla 6: Tabla de valores para el cálculo de reflectancia imagen 2017

BANDA	M_p	A_p
1	0.00002	-0.1
2	0.00002	-0.1
3	0.00002	-0.1
4	0.00002	-0.1
5	0.00002	-0.1
6	0.00002	-0.1

BANDA	Mp	Ap
7	0.00002	-0.1
$\theta_{se} = 64.50785986$		

Es importante mencionar que estos procesos se realizaron haciendo uso de las herramientas *Band Math* y *Landsat Calibration* proporcionadas por el Software Envi versión 5.1 que permiten incorporar las formulas y valores descritos y obtener los niveles digitales y reflectancia de las imágenes.

- Corrección atmosférica

Con este procedimiento se busca evaluar y corregir las distorsiones ocasionadas por la atmósfera en los valores de radiancia de las imágenes. Existen varios procedimientos para realizar la corrección atmosférica de imágenes, sin embargo para este estudio se seleccionó el módulo FLASSH disponible en el software Envi versión 5.1 y recomendado en el documento metodológico realizado por el (MAGAP y MAE, 2014).

Luego de verificar la idoneidad de las imágenes se realiza un proceso de rectificación en las imágenes que lo requieran, haciendo uso de la extensión *Landsat GapFill* proporcionada por el software Envi versión 5.1.

- Recorte

Teniendo la composición de la imagen satelital se hace el Recorte para cada año, es importante mencionar que para la generación de la nueva imagen recortada se escogió un área que comprende el perímetro urbano definido según el PDUR del cantón Riobamba incrementando un perímetro de expansión de 2,000 m también definido dentro del PDUR como perímetro de expansión urbana lo que cubre una superficie de 145,29 Km².

Para este proceso una vez más se hizo uso del software Envi versión 5.1, realizando un ajuste o recorte (*subset*) a las 3 imágenes de satélite utilizando las herramientas del menú

Masking en las que se especifica la imagen para el corte y el vector generado con la superficie de la zona urbana más su expansión.

3.3.1.2. Clasificación

Como se ha mencionado en el capítulo de revisión de literatura existen dos métodos de clasificación, el método supervisado que supone un conocimiento previo del área de estudio, y el método no supervisado que define automáticamente las diferentes clases de superficies. La presente investigación se fundamenta el análisis de una clasificación supervisada a partir del conocimiento previo del territorio del cantón Riobamba.

El proceso de clasificación supervisada debe ser un trabajo conjunto entre la información del territorio y las imágenes satelitales, entre más conocimiento se tenga del área en estudio más aproximados a la realidad estarán los resultados. En este proceso se definen y se delimitan sobre la imagen las áreas de entrenamiento, las características espectrales de tales áreas son utilizadas a fin de entrenar un algoritmo de clasificación, el cual calcula los parámetros estadísticos de cada banda para cada sitio piloto y de esta forma proceder a evaluar cada nivel digital de la imagen, compararlo y asignarlo a una respectiva clase (Neira, 2016).

- Datos para entrenamiento

El sistema de clasificación considerado para este estudio es el desarrollado en el documento Protocolo metodológico para la elaboración del mapa de cobertura y uso de la tierra del Ecuador Continental 2013-2014 elaborado por el MAE y MAGAP, el mismo que ha sido adaptado para la presente investigación y cuyos resultados se muestran en la tabla 7.

Una vez definido el sistema de clasificación se determinaron áreas de entrenamiento a través del análisis de firmas espectrales y categorización de pixels. Este proceso se realiza a través de una interacción entre el conocimiento del territorio y la información proporcionada por la imagen, con el objetivo de obtener una descripción del patrón de

respuesta espectral para cada una de las coberturas, por lo que en este paso es indispensable que las regiones de interés sean lo suficientemente representativas (MAE y MAGAP, 2015).

Tabla 7: Clasificación de cobertura de la tierra.

TIPO DE COBERTURA	DESCRIPCIÓN	DEFINICION
BOSQUE	Bosque nativo o plantación forestal	Áreas con vegetación arbórea.
CULTIVO	Cultivos, mosaico agropecuario	Áreas bajo cultivo donde la estructura de la vegetación no cumple con la definición de bosque.
CUERPOS DE AGUA	Natural o artificial	Áreas cubiertas o saturadas de agua, incluyen reservorio, humedales, ríos y cuerpos de agua naturales.
ZONAS ANTRÓPICAS	Área poblada, infraestructura	Áreas desarrolladas, incluyendo infraestructuras de transporte y áreas urbanas.
SUELOS DESNUDOS	Áreas sin cobertura vegetal	Áreas de suelos desnudos, rocosos o glaciares.
VEGETACION	Vegetación arbustiva, herbácea, páramo	Áreas de vegetación considerada como no agrícola.

Modificado a partir de MAE y MAGAP (2015)

Para la captura de las áreas de interés *region of interest* (ROI) se utilizó la herramienta ROI *Tools* del software Envi versión 5.1 considerando la combinación de bandas descritas en la tabla 8.

Tabla 8: Combinación de bandas usada para definición de ROI

COMBINACION DE BANDAS	DESCRIPCION
RGB 4,3,2: infrarrojo cercano	Límites de agua y tierra más claros
RGB 3,4,1: Rojo	Zonas urbanas en tonos violetas.

El análisis de separabilidad espectral de las zonas de interés seleccionadas, son mayores a 1.8 (figura 8) lo que indica que las muestras seleccionadas son diferentes una respecto de la otra y por lo tanto adecuadas para el análisis de coberturas.

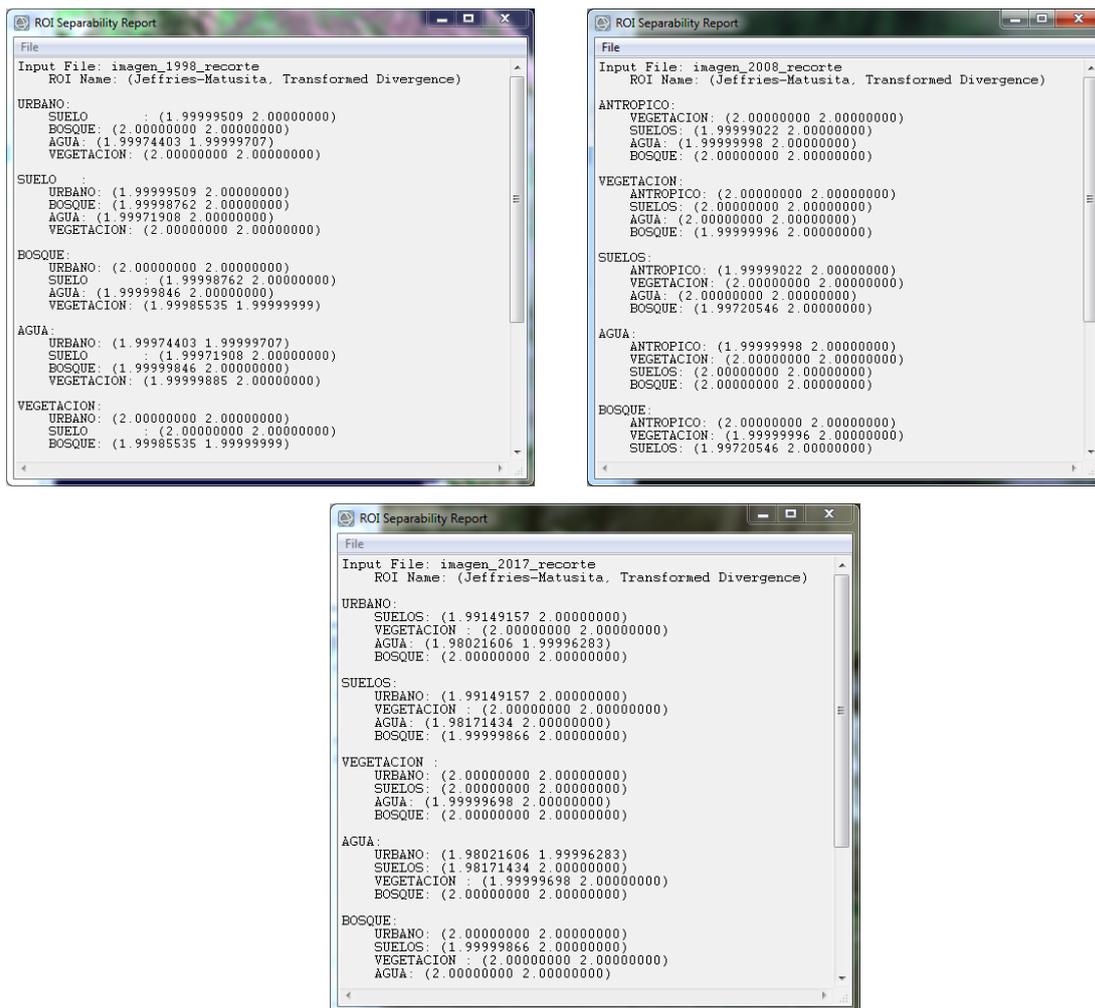


Figura 8: Análisis de separabilidad espectral ROI 1998, 2008, 2017

- Clasificación de las imágenes

El proceso de clasificación conocido como fase de asignación se realiza en función de los niveles digitales de cada pixel, para cada una de las bandas que intervienen en el proceso, obteniendo como resultado una nueva imagen donde los niveles digitales indican la categoría a la que se ha asignado cada pixel (Betancourt, 2015).

Para la clasificación a través del método supervisado se seleccionó el algoritmo de agrupación de máxima probabilidad debido a que, según Betancourt (2015) y MAE y MAGAP (2015), es el más complejo por el volumen de cálculos que implementa y se ajusta con mayor rigor a la disposición original de los datos, asigna cada pixel a una de las clases según las medias y varianzas de las firmas (Neira, 2016). Una vez más se hace uso

del software Envi versión 5.1 que cuenta con herramientas automatizadas de clasificación de imágenes.

3.3.1.3. Validación

El proceso de validación o post clasificación permite conocer la fiabilidad de la clasificación y la exactitud de los datos obtenidos. Uno de los métodos más utilizados es la construcción de la matriz de confusión o matriz Kappa.

Con la información generada en la matriz de confusión se pueden calcular medidas estadísticas que permiten validar los resultados obtenidos, la medida más utilizada es el coeficiente kappa que mide la diferencia entre la exactitud lograda en la clasificación y la probabilidad de lograr una clasificación correcta.

El valor del índice de Kappa varía de 0 al 1. Betancourt (2015) cita a Landis y Koch (1977) los que usan una escala de valorización para este índice usada para procesos de clasificación. La tabla 9 muestra los rangos usados.

Tabla 9: Escala de valorización del índice de Kappa

VALOR INDICE KAPPA	GRADO DE ACUERDO
< 0.0	Sin acuerdo
0.0 – 0.20	Insignificante
0.21 – 0.40	Discreto
0.41 – 0.60	Moderado
0.61 – 0.80	Sustancial
0.81 – 1.00	Casi perfecto

La figura 9 muestra los datos obtenidos para la matriz de confusión en cada una de las imágenes seleccionadas para este estudio.

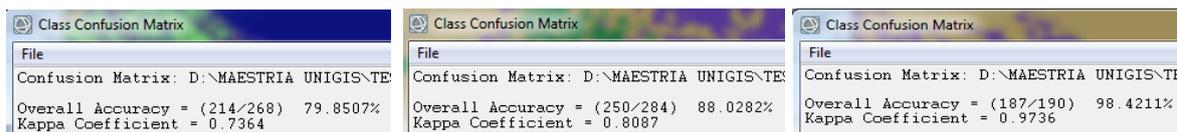


Figura 9: Matriz de Confusión para cada año

3.3.1.4. Análisis

Con la finalidad de generar la información final que permita analizar los cambios producidos en la zona urbana de Riobamba para los años 1998, 2008 y 2017, se integran los resultados obtenidos de la clasificación en un SIG, haciendo uso en esta ocasión del software ArcGis versión 10.6 y el formato *shapefile* para los resultados.

Mediante las herramientas de conversión la información ráster es transformada a información vectorial de tipo polígono con el objetivo de encontrar las superficies correspondientes a cada cobertura y de esta manera comparar y evaluar el comportamiento del crecimiento urbano que presenta la ciudad de Riobamba.

3.3.2. Análisis Multicriterio

3.3.2.1. Recopilación de información

- Selección de datos

El primer paso es la obtención de información relacionada a material bibliográfico referente a la planificación territorial del cantón Riobamba, información demográfica para el área de estudio e información sobre las características del territorio. Para el desarrollo de esta investigación fue indispensable seleccionar variables espaciales tomando en consideración la información disponible del área de estudio en las diferentes Direcciones del GAD Municipal de Riobamba, así como en las instituciones generadoras de información georeferenciada. La recopilación de la información incluye la búsqueda de la mejor información disponible y el análisis de sus características que permitan determinar su validez para la consecución de los objetivos planteados.

- Identificación de criterios

Los criterios se clasifican en dos tipos: factores y limitantes. Los factores son variables que ayudan a llegar al objetivo y los limitantes son las restricciones que influirán en la obtención de la meta planteada. Para su adecuada selección se debe tener en cuenta los objetivos del estudio, las características del territorio y la información disponible, otros trabajos en los que se aplican criterios y factores similares (Gutiérrez y Gómez, 2010).

La tabla 10 muestra los criterios seleccionados para esta investigación considerando los estudios realizados por Romero (2015), Ocaña y Galacho (2015), Cabrera (2014) y Daga (2009), los cuales, si bien muestran categorizaciones diferentes, guardan similitudes en cuanto a los objetivos planteados así como a la determinación de criterios.

Tabla 10: Criterios definidos para el área de estudio

CATEGORIA	CRITERIO	DESCRIPCIÓN
BIOFISICAS	Hidrografías	La lejanía de todo tipo de cuerpos de agua será mejor considerada para las instalaciones residenciales.
	Pendientes	Se debe intentar garantizar que las nuevas zonas urbanas se asignen en sitios topográficamente llanos, con la finalidad de minimizar el coste de construcción y de introducción de los servicios básicos. En general las zonas con menor pendiente serán consideradas positivas, mientras que las de mayor pendiente serán negativas.
ANTROPICAS	Riesgos	La lejanía a las zonas de riesgo será altamente importante para definir nuevas zonas urbanizables, para esta investigación se obtiene dos capas de riesgos correspondientes a la susceptibilidad de exposición a peligro volcánico y movimientos en masa.
	Zonas urbanizadas	Las nuevas áreas de expansión deben encontrarse fuera de la mancha urbana, ya que esta área ya está ocupada.
ACCESIBILIDAD	Proximidad a la red vial	Con el propósito de favorecer los desplazamientos de la población hacia las distintas partes de la ciudad, las áreas más cercanas a la red vial, paradas de colectivos o líneas de estos, serán las más favorables.
	Distancia a áreas urbanizadas	La cercanía a los espacios ya ocupados por el hombre, asegurarán una mayor interacción. Es así que las zonas más próximas a las áreas urbanas serán las más favorables para el asentamiento.

CATEGORIA	CRITERIO	DESCRIPCIÓN
ACCESIBILIDAD	Distancia a establecimientos educativos	Debido a que la salud en primer lugar, y la educación son necesidades básicas de la población, se valorará mejor los espacios más próximos a estos servicios.
	Distancia a centros de salud	
	Distancia al servicio de abastecimiento de agua	Mientras las áreas de expansión se encuentran más cercanas a zonas que cuentan con abastecimiento de agua potable, será mejor.
	Distancia servicio de abastecimiento de alcantarillado.	Se tiene como criterio que la cercanía a estas variables será mejor para abastecer de energía a las nuevas áreas urbanas.

Basado en Romero (2015), Ocaña y Galacho (2015), Cabrera (2014) y Daga (2009)

3.3.2.2. Análisis Multicriterio

El método de evaluación multicriterio seleccionado para este estudio es la Suma Lineal Ponderada que permite integrar los criterios implicados en el proceso de decisión de modo que el nivel de adecuación de cada alternativa (cada celda en el formato ráster) se obtiene a partir de la sumatoria de los factores, multiplicados cada uno por su respectivo peso. De esta manera se genera una capa final donde cada alternativa recibe un valor de acuerdo a su aptitud para el uso evaluado (Gutiérrez y Gómez, 2010).

- Normalización y ponderación de criterios

Una vez identificados y definidos los criterios a emplear en el estudio, se procede a asignar valores a cada uno de ellos que permitan realizar una reclasificación de sus atributos, representando de esta manera la potencialidad de cada variable para nuevas zonas urbanas.

La información geográfica suele expresarse en diversas escalas, por lo que la matriz de decisión debe construirse no solo numéricamente sino que se encuentre en una misma escala de medida, por lo que es importante aplicar una normalización (Hurtado, 2015).

Para este estudio se ha normalizado en valores cualitativos que son: No recomendable, Restringido y Recomendable, tal como se muestra en la tabla 11.

Tabla 11: Ponderación y normalización de criterios

VARIABLE	PONDERACION Y NORMALIZACION		
	VALOR	VALORACION	
		CUALITATIVA	CUANTITATIVA
Hidrografías	0– 30 m	NO RECOMENDABLE	1
	>30 m	RECOMENDABLE	5
Pendientes	0-12%	RECOMENDABLE	5
	12-25%	RESTRINGIDO	3
	>25%	NO RECOMENDABLE	1
Movimientos en masa	Baja susceptibilidad	RECOMENDABLE	5
	Mediana susceptibilidad	RESTRINGIDO	3
	Alta susceptibilidad	NO RECOMENDABLE	1
Peligro volcánico	Alta susceptibilidad	NO RECOMENDABLE	1
	Baja susceptibilidad	RECOMENDABLE	5
Zonas urbanizadas	NO RECOMENDABLE		1
Proximidad a la red vial	0-700 m	RECOMENDABLE	5
	701-1500 m	RESTRINGIDO	3
	>1500 m	NO RECOMENDABLE	1
Distancia a áreas urbanizadas	0-2000 m	RECOMEDABLE	5
	>2000 m	NO RECOMENDABLE	1
Distancia a establecimientos educativos	0-1000 m	RECOMENDABLE	5
	1000- 2000 m	RESTRINGIDO	3
	>2000 m	NO RECOMENDABLE	1
Distancia a centros de salud	0-700 m	RECOMENDABLE	5
	700- 2000 m	RESTRINGIDO	3
	>2000 m	NO RECOMENDABLE	1
Distancia al servicio de abastecimiento de agua	0-500 m	RECOMENDABLE	5
	501-1000 m	RESTRINGIDO	3
	>1000 m	NO RECOMENDABLE	1
Distancia servicio de abastecimiento de alcantarillado.	0-250 m	RECOMENDABLE	5
	251-500 m	RESTRINGIDO	3
	>500 m	NO RECOMENDABLE	1

Basado en Romero (2015); Cardoso y Da Silva (2015) y Cabrera (2014)

- Técnicas de Análisis multicriterio

Para el desarrollo de estudio multicriterio se realizaron procesos que permitieron expresar cada una de las capas en información ráster. Estas capas fueron analizadas utilizando las herramientas de análisis espacial que provee ArcGIS 10.6. Las herramientas utilizadas son:

- a) Pendiente: para cada celda la herramienta identifica la inclinación calculando la tasa máxima de cambio del valor de cada celda de una superficie de ráster. El ráster de salida se puede calcular en grados o porcentaje de elevación, este último es el más utilizado para los estudios multitemporales, esta herramienta se ejecuta más frecuentemente con un dataset de elevaciones (ESRI, 2017a).
- b) Distancia euclidiana: Calcula para cada celda la distancia hasta el origen más cercano, desde el centro de la celda del origen hasta el centro de las celdas circundantes. El ráster de salida representa la distancia medida desde cada celda hasta el origen más cercano (ESRI, 2017b).
- c) Polígono a Ráster: convierte entidades de tipo polígono (vector) a data sets de tipo ráster (ESRI, 2017c).

El siguiente proceso fue la reclasificaron asignando puntuaciones a los criterios establecidos de Recomendable (5); Restringido (3) y No recomendable (1). Para este procedimiento se hace uso de la herramienta de Reclasificación de ArcGis 10.6.

- d) Reclasificación: se utiliza para cambiar los valores en un ráster mediante la sustitución de valores de las celdas de entrada por nuevos valores de las celdas de salida, esta herramienta se usa frecuentemente para simplificar la interpretación de los datos agrupándolos por rangos o modificando sus valores (ESRI, 2017d).

Las figuras 10 y 11 muestran el proceso de reclasificación de los factores biofísicos y de accesibilidad seleccionados.

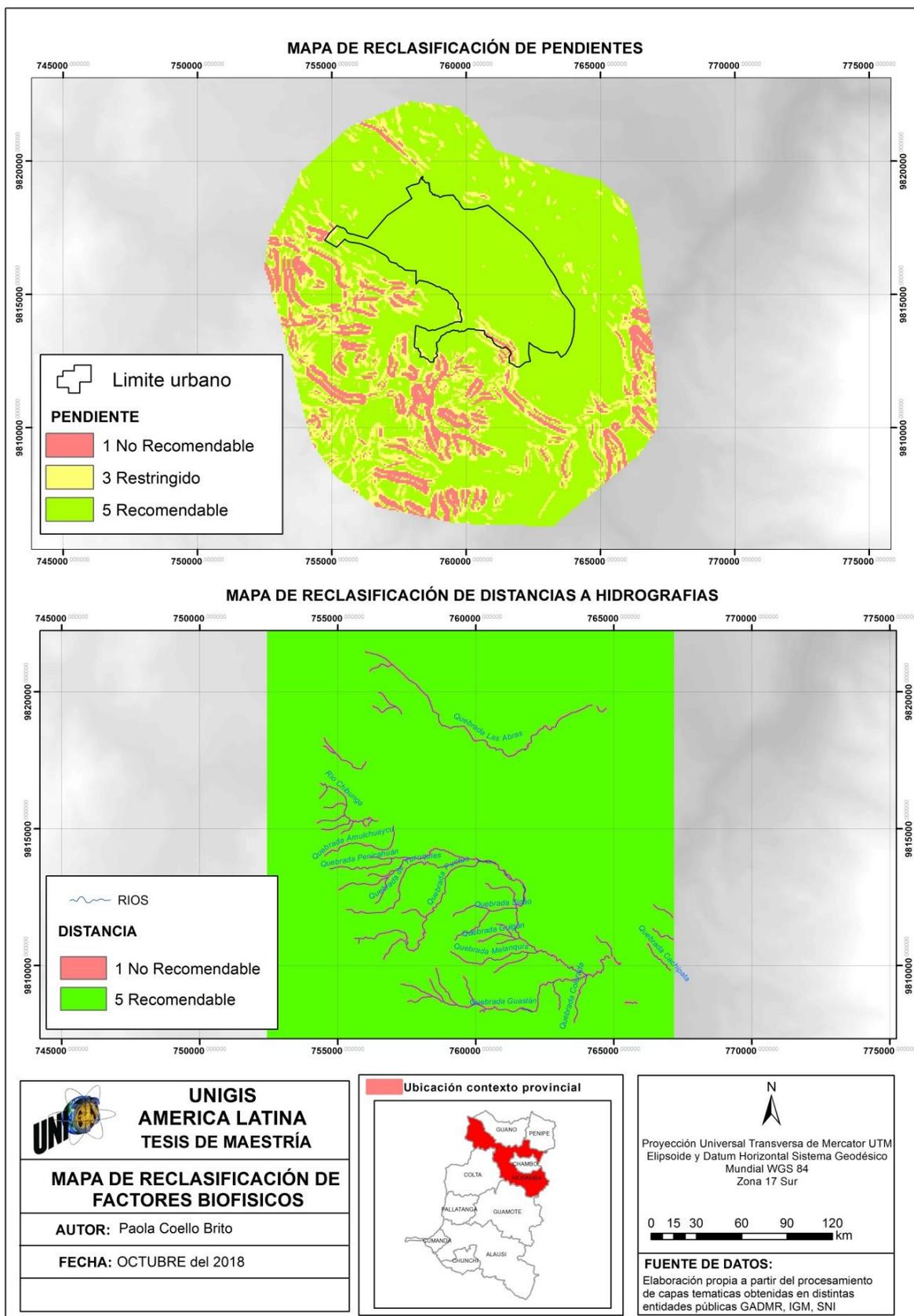


Figura 10: Mapa de reclasificación de Factores Biofísicos

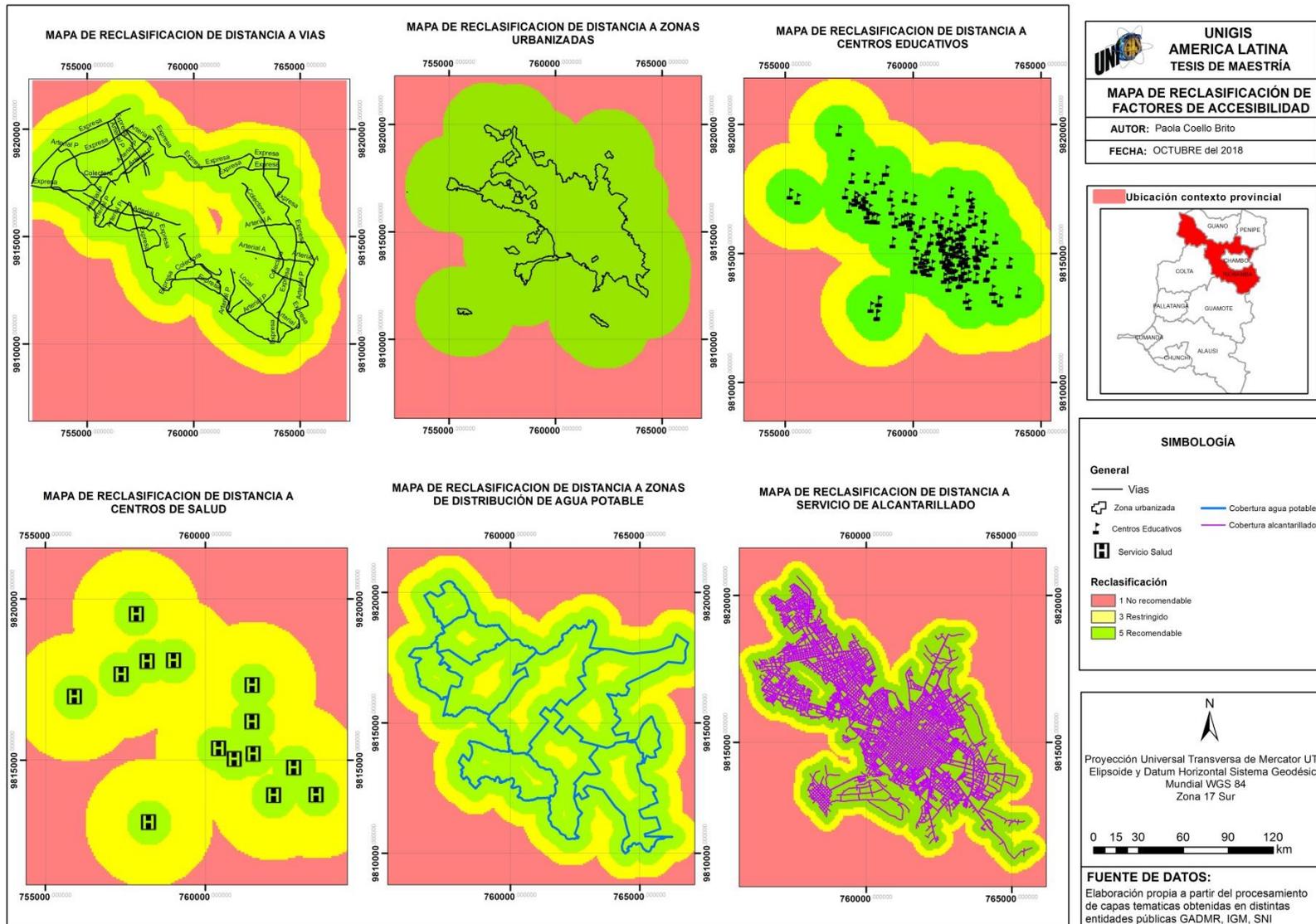


Figura 11: Mapa de reclasificación de Factores de Accesibilidad

Para el criterio de riesgos (susceptibilidad de exposición a peligro volcánico y movimientos en masa) que son parte de los factores antrópicos, la información representa la alta, media o baja susceptibilidad a la exposición de los mismos en un determinado territorio, por lo que no se considera adecuado generar distancias sino directamente realizar la reclasificación tal como se puede evidenciar en la figura 12.

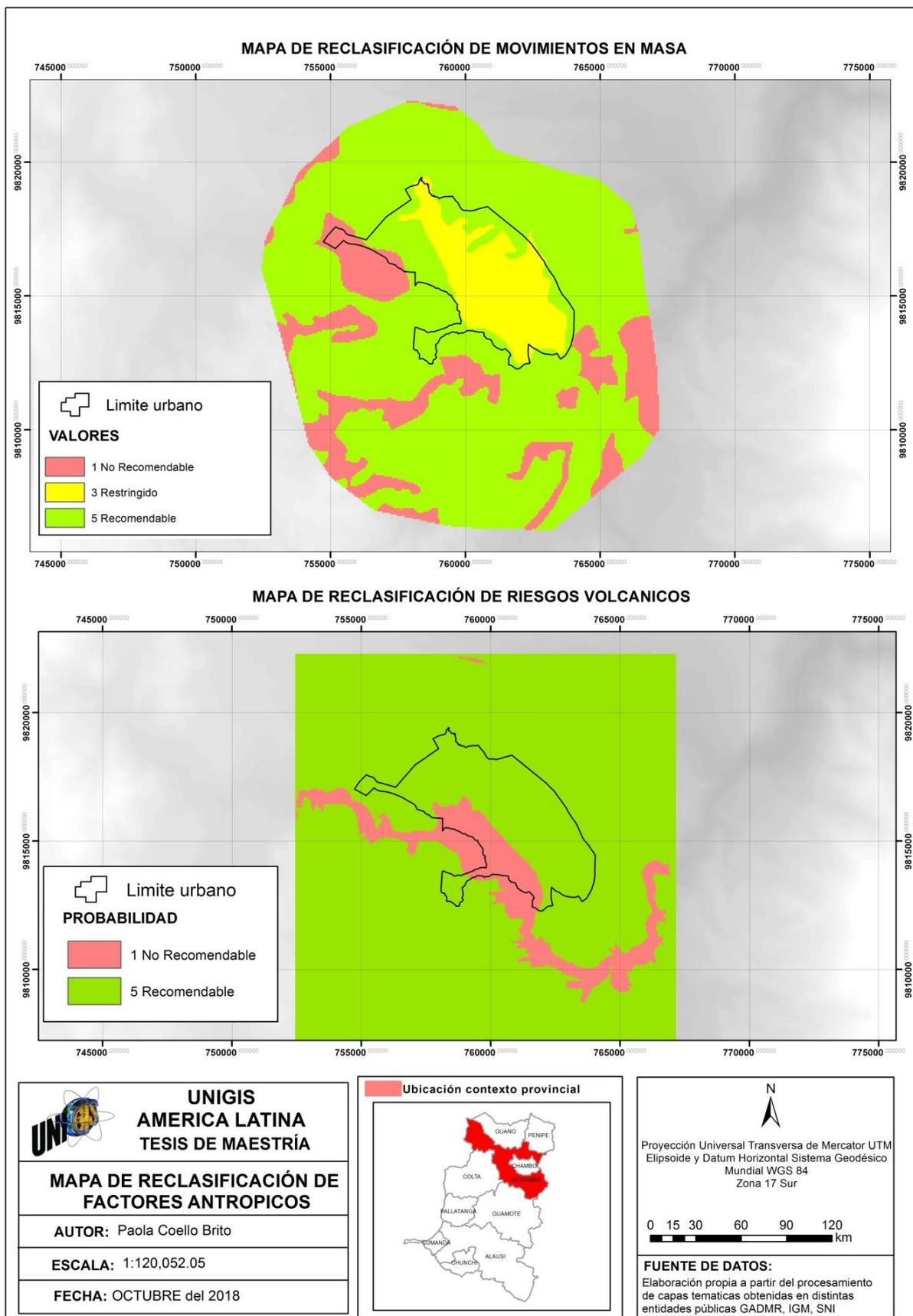


Figura 12: Mapa de reclasificación de Factores de Antrópicos

El criterio de zonas urbanizadas que también es parte de los factores antrópicos es considerada como una restricción en los siguientes procesos.

Todos los factores reclasificados son utilizados para realizar el cálculo de sobre posición ponderada, insumo principal para determinar aquellas áreas idóneas para la expansión urbana en la ciudad de Riobamba, y aquellas cuyas condicionantes la restringen o no la permiten.

3.3.2.3. Resultados

Para generar el resultado final se hacen uso de las siguientes herramientas del software Arcgis 10.6 que permiten mejorar la calidad de la información obtenida.

- *Majority filter*: reemplaza las celdas en un ráster según la mayoría de sus celdas vecinas.
- *BoundaryClean*: suaviza los límites entre zonas.
- *RegionGroup*: generaliza el resultado quitando pequeña regiones aisladas.
- *RasterToPolygon*: convierte un dataset ráster a polígono.
- *Eraser*: Crea una nueva cobertura mediante la superposición de polígonos borrando entidades comunes sobre la cobertura de entrada (ESRI, 2015).

El proceso se inicia realizando un filtro a fin de que el resultado no contenga pixels aislados o incorrectamente clasificados, se suavizan los límites entre cada zona y se generaliza el resultado permitiendo unificar pequeñas regiones aisladas.

El siguiente procedimiento es transformar el ráster a polígonos, eliminar del resultado las zonas urbanizadas que son parte de los factores antrópicos y finalmente extraer los polígonos que cumplan el puntaje más alto a fin de determinar los sitios ideales para la expansión urbana del cantón Riobamba.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

4.1.1. Estudio Multitemporal

4.1.1.1. Procesamiento de imágenes satelitales

a) Selección de Imágenes

Durante la etapa de recolección de la información se consultó la página del servicio geológico de los Estados Unidos (<http://earthexplorer.usgs.gov/>). Las imágenes seleccionadas se muestran en las figuras 13, 14 y 15 a continuación:

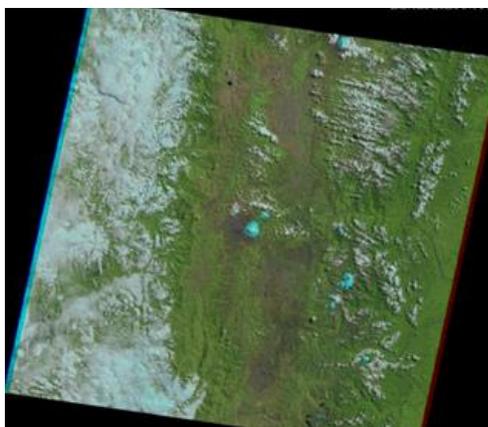


Figura 13: Imagen Landsat 5 año 1998

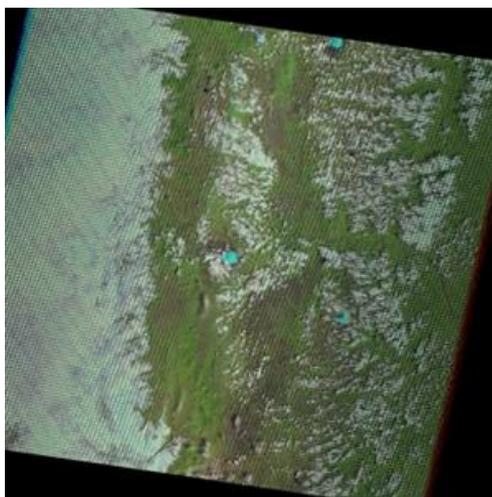


Figura 14: Imagen Landsat 7 año 2008

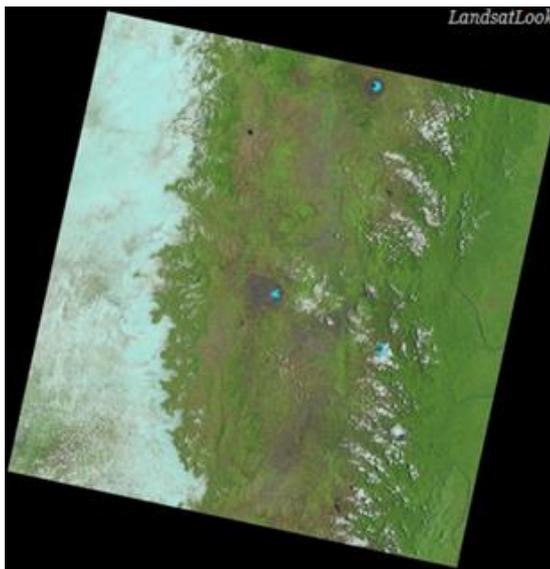


Figura 15: Imagen Landsat 8 año 2017

b) Procesamiento Digital

- Corrección radiométrica

Haciendo uso de los valores indicados en la metodología y de herramientas proporcionadas por el software Envi 5.1 las figuras 16, 17 y 18 muestran los resultados de la corrección radiométrica para cada imagen.

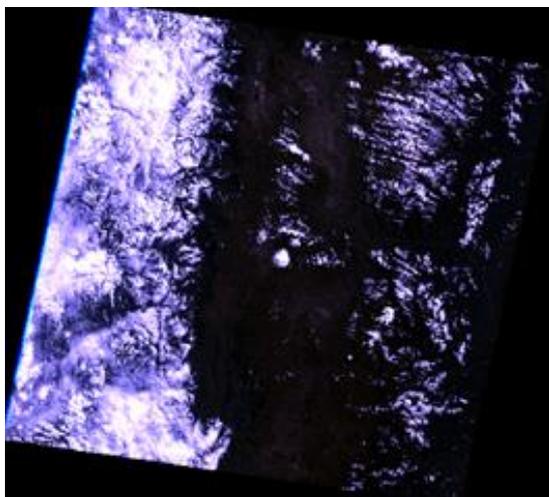


Figura 16: Resultado corrección radiométrica imagen año 1998

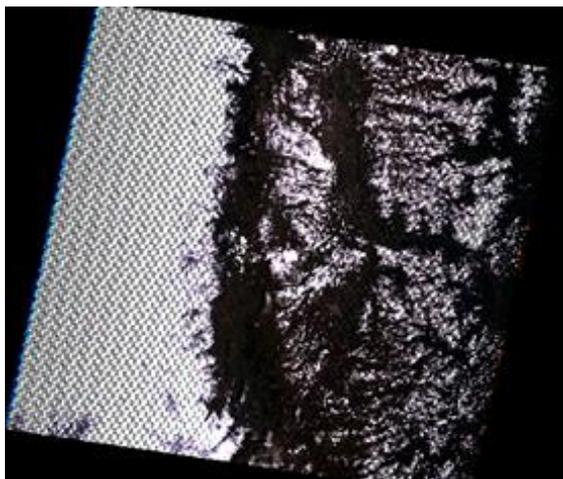


Figura 17: Resultado corrección radiométrica imagen año 2008

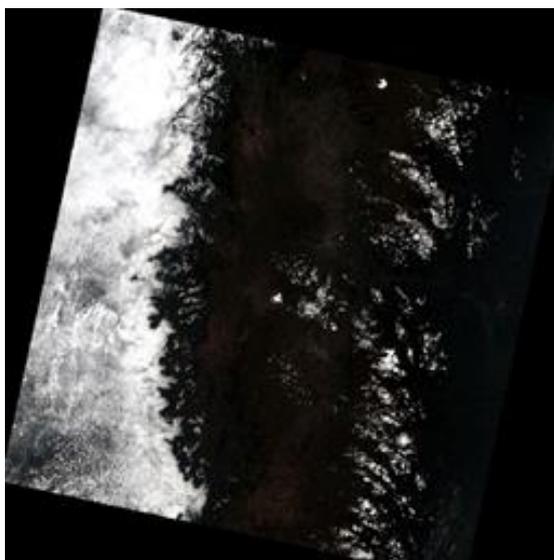


Figura 18: Resultado corrección radiométrica imagen año 2017

- Corrección atmosférica

Las figuras 19, 20, 21 y 22 muestran los resultados de la corrección atmosférica para cada imagen seleccionada incluyendo la imagen corregida del año 2008.

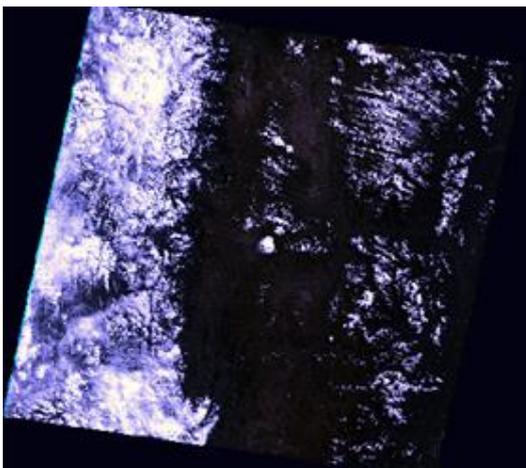


Figura 19: Resultado corrección atmosférica imagen año 1998

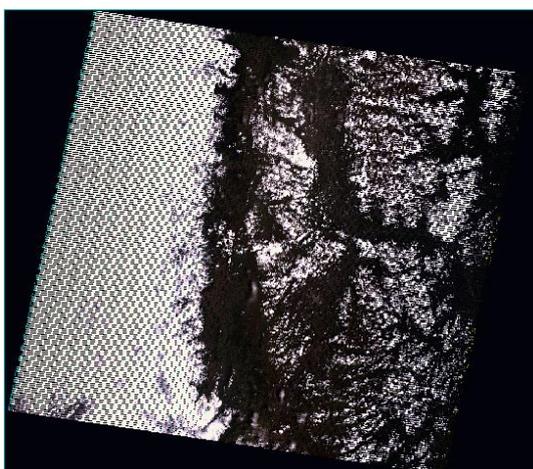


Figura 20: Resultado corrección atmosférica imagen año 2008

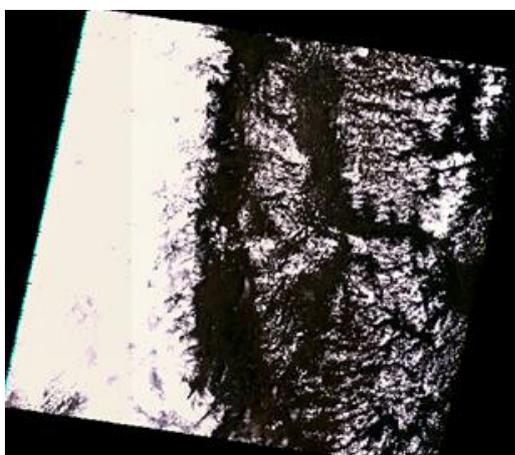


Figura 21: Resultado imagen 2008 corrección *GapFill*



Figura 22: Resultado corrección atmosférica imagen año 2017

- Recorte

La siguiente imagen muestra el resultado del proceso de recorte de cada imagen para la zona de estudio seleccionada.



Figura 23: Imágenes recortadas años 1998, 2008, 2017

4.1.1.2. Clasificación

- Datos para entrenamiento

Las figuras 24, 25 y 26 muestran a manera de ejemplo la forma en la cual se seleccionaron las ROI para cada una de las imágenes.



Figura 24: Selección de ROI imagen 1998



Figura 25: Selección de ROI imagen 2008

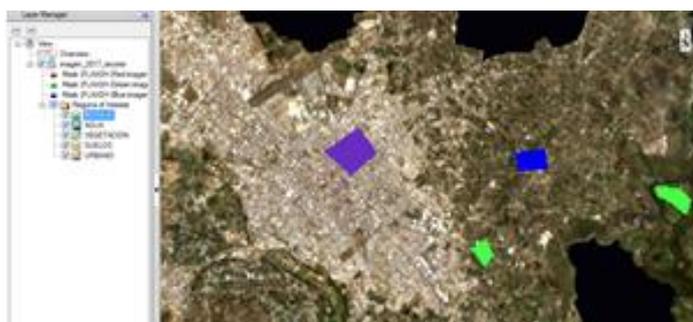


Figura 26: Selección de ROI imagen 2017

4.1.1.3. Validación

Los resultados de la clasificación evidencian que la precisión total y el índice Kappa tuvieron una confiabilidad del 79 % en adelante. Al contrastarlo con la escala de valorización del índice Kappa adoptada para esta investigación; se determina que las clasificaciones tuvieron un grado de acuerdo entre sustancial y casi perfecto, tal como se demuestra en la tabla 12.

Tabla 12: Resultado del proceso de validación de la clasificación

INDICADOR	1998	2008	2017
PRECISIÓN TOTAL (%)	79.85	88.02	98.4
ÍNDICE KAPPA	0.73	0.80	0.97
GRADO DE ACUERDO	Sustancial	Sustancial	Casi perfecto

4.1.1.4. Resultados

- Expansión urbana año 1998

Para el año de 1998 en el cual se inicia el presente estudio se puede observar que la cobertura correspondiente a Zonas Antrópicas tiene una superficie de 2,025.27 ha, mientras que la cobertura predominante es la Vegetación que corresponde a vegetación arbustiva, herbácea y páramo (ver Figura 27).

- Expansión urbana año 2008

En el año 2008 se puede evidenciar un incremento de la superficie de la cobertura Zonas Antrópicas la misma que presenta un área de 2,753.81 ha correspondiente al 35.97% de incremento con respecto al año 1998, siendo de esta manera la cobertura que presenta el mayor porcentaje de variación en el periodo de tiempo estudiado. De la misma manera la cobertura predominante sigue siendo la Vegetación que corresponde a vegetación arbustiva, herbácea y páramo con una disminución en su superficie (ver Figura 28).

- Expansión urbana año 2017

La cobertura correspondiente a Zonas Antrópica en el 2017 sigue presentando un incremento con una superficie de 3,243.51 ha correspondiente al 24,18% de variación. A pesar de que la Vegetación sigue siendo la cobertura predominante en el área de estudio 4,777.49 ha, se evidencia una disminución en su superficie incrementándose otras coberturas como Suelos Desnudos con un área de 2,499.63 ha (ver Figura 29).

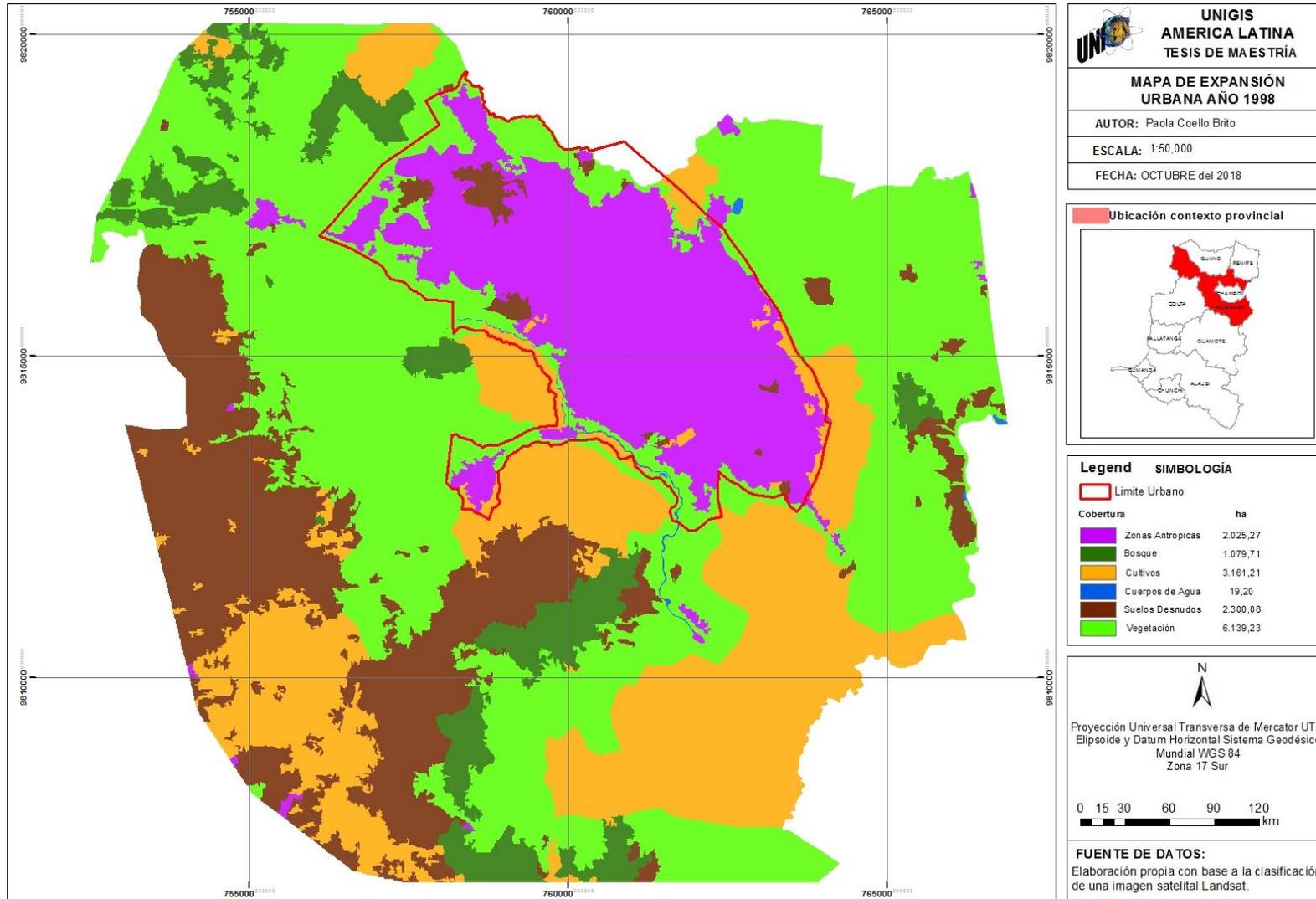


Figura 27: Mapa de expansión urbana año 1998

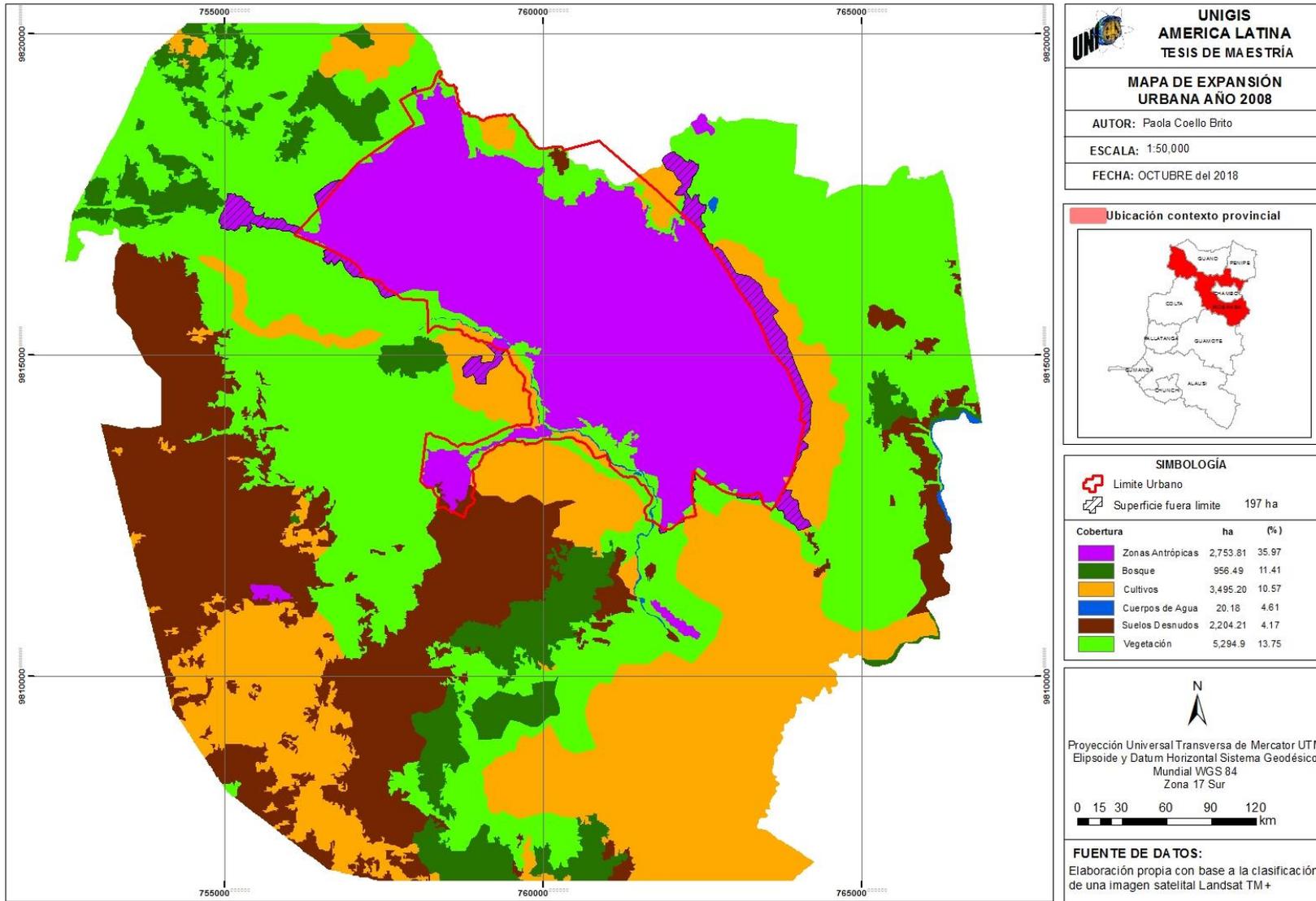


Figura 28: Mapa de expansión urbana año 2008

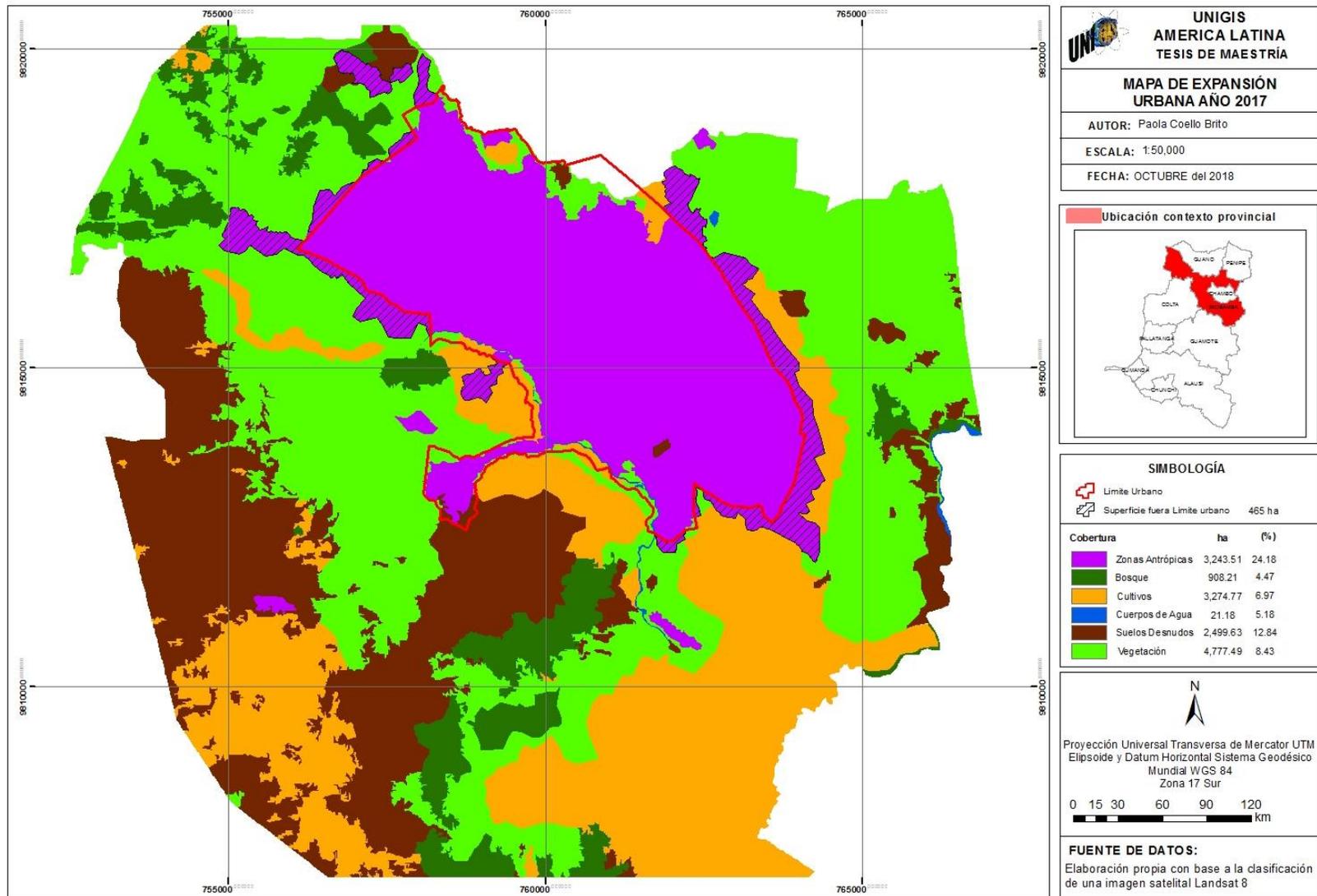


Figura 29: Mapa de expansión urbana año 2017

El comportamiento de la zona de estudio en el periodo de 1998 al 2017 se muestra en la tabla 13, donde se observan los porcentajes de cambio que representan cada una de estas variaciones respecto al año 1998 donde se inicia el análisis.

Tabla 13: Resumen de los cambios experimentados en el territorio en el periodo 1998-2017

COBERTURA	Hectáreas 1998	Hectáreas 2008	% Cambio	Hectáreas 2017	% Cambio
ZONAS ANTROPICAS	2,025.27	2,753.81	35.97	3,243.51	24.18
BOSQUE	1,079.71	956.49	11.41	908.21	4.47
CULTIVOS	3,161.21	3,495.2	10.57	3,274.77	6.97
CUERPOS DE AGUA	19.29	20.18	4.61	21.18	5.18
SUELOS DESNUDOS	2,300.08	2,204.21	4.17	2,499.63	12.84
VEGETACION	6,139.23	5,294.9	13.75	4,777.49	8.43
TOTAL:	14,724.79	14,724.79		14,724.79	
SUPERFICIE LIMITE URBANO APROBADO PDUR		2,751.94 ha	491.57 ha de diferencia		
SUPERFICIE URBANA DETERMINADA 2017 DETERMINADA EN ESTE ESTUDIO		3,243.51 ha			

Como se puede evidenciar la cobertura correspondiente a zonas antrópicas, materia de la presente investigación, presenta un porcentaje de cambio del 35.97 % entre los años 1998 y 2008. De la misma manera, entre los años 2008 y 2017, el porcentaje de cambio es del 24.18% convirtiéndose en la cobertura que presenta mayor modificación en los últimos 20 años. Se determina además que en los años 2008 y 2017 el crecimiento de la zona urbana se desplaza fuera del límite urbano aprobado y vigente al inicio de este estudio con una superficie de 197 y 465 ha respectivamente para cada año.

4.1.2. Análisis Multicriterio

4.1.2.1. Recopilación de información

Dentro del material bibliográfico recopilado se encuentran los siguientes documentos normativos:

- Plan de desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Riobamba 2016 – 2030.
- Plan de desarrollo urbano de 1998.
- Censos nacional INEC 2010.

La tabla 14 muestra el resumen de la información cartográfica recopilada para el desarrollo de esta investigación.

Tabla 14: Información recopilada para el desarrollo del estudio

CAPA	DESCRIPCIÓN	FORMATO	SISTEMA DE REFERENCIA	FUENTE DE INFORMACION
Cobertura de zonas urbanas	Delimitación urbana de la ciudad	SHAPE	UTM WGS 84 ZONA 17 S	Generada en el análisis de la expansión urbana para el año 2017
Cobertura de usos de suelo	Ubicación y delimitación de los usos de suelo del cantón Riobamba	SHAPE	UTM WGS 84 ZONA 17 S	GADM RIOBAMBA
Localización de instituciones educativas	Ubicación de instituciones de educación básica y superior	SHAPE	UTM WGS 84 ZONA 17 S	GADM RIOBAMBA
Localización de centros de salud	Ubicación de hospitales de la zona urbana	SHAPE	UTM WGS 84 ZONA 17 S	GADM RIOBAMBA
Cuerpos de agua	Ríos	SHAPE	UTM WGS 84 ZONA 17 S	IGM (Instituto Geográfico Militar)
Distribución de servicios básicos (agua, energía eléctrica)				
	Cobertura de alcantarillado	SHAPE	UTM WGS 84 ZONA 17 S	GADM RIOBAMBA
Zonas de riesgo	Movimientos en masa	SHAPE	UTM WGS 84 ZONA 17 S	GADM RIOBAMBA
	Riesgos volcánicos	SHAPE	UTM WGS 84 ZONA 17 S	IGM

CAPA	DESCRIPCIÓN	FORMATO	SISTEMA DE REFERENCIA	FUENTE DE INFORMACION
Rutas de transporte público		SHAPE	UTM WGS 84 ZONA 17 S	GADM RIOBAMBA
Vías	Vías locales y periféricas	SHAPE	UTM WGS 84 ZONA 17 S	GADM RIOBAMBA
Pendientes	Ráster de pendientes del cantón	TIFF	UTM WGS 84 ZONA 17 S	IGM
MDT	Modelo digital del terreno	TIFF	UTM WGS 84 ZONA 17 S	IGM

4.1.2.2. Análisis Multicriterio

La figura 30 muestra el resultado de los sitios más adecuados para la expansión urbana de la ciudad de Riobamba, los mismos que presentan una superficie de 542,64 ha.

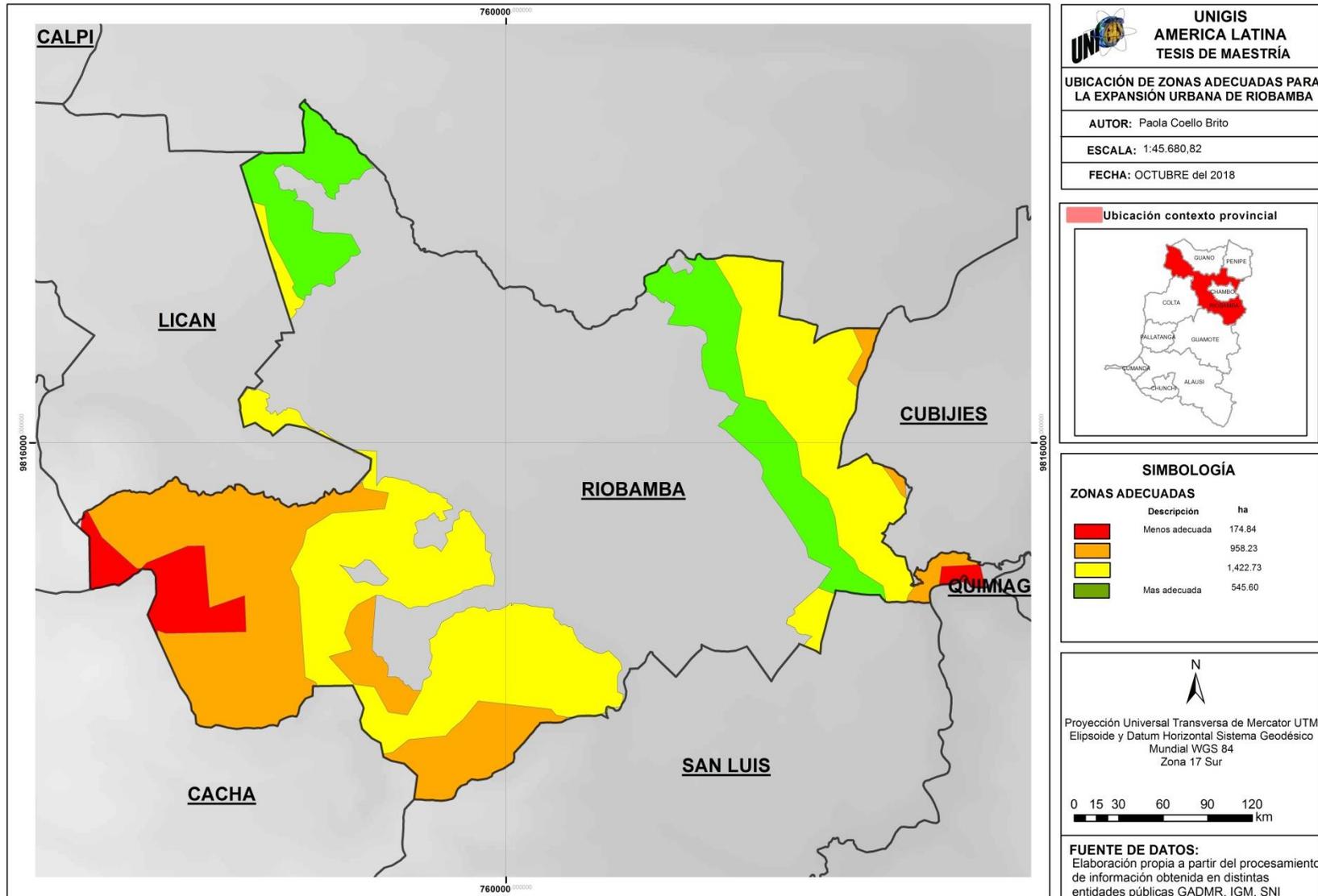


Figura 30: Mapa de ubicación de sitios adecuados para la expansión urbana de Riobamba

4.1.2.3. Resultados

Como resultado final se determina la ubicación de los sitios óptimos para la expansión urbana de la ciudad de Riobamba los que se ubican geográficamente en la figura 31.

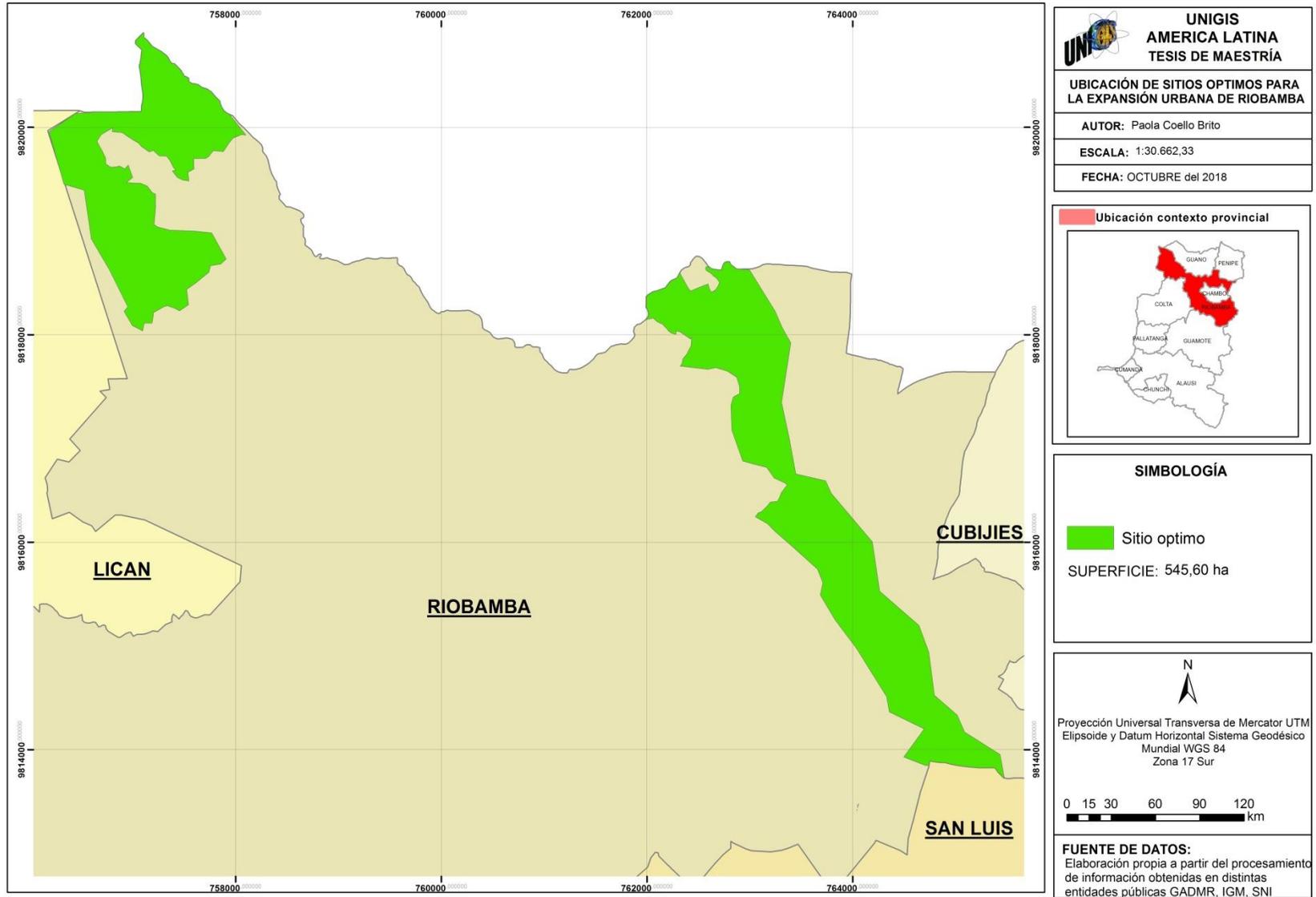


Figura 31: Mapa del ubicación de sitios óptimos para la expansión urbana de Riobamba

4.2. DISCUSIÓN

Considerando que el objetivo principal del ordenamiento territorial es orientar el desarrollo y el crecimiento de las ciudades procurando una distribución justa y equilibrada, los insumos generados a través de un estudio multitemporal de la expansión urbana y la determinación del sitio óptimo para su desarrollo se convierten en herramientas indispensables a la hora de planificar el desarrollo de un territorio, permitiendo conocer la dinámica de la expansión urbana en el tiempo, y definir la ubicación adecuada para su futuro crecimiento de manera ordenada y optimizando recursos y servicios existentes.

Cabe mencionar que la ciudad de Riobamba en su PDUR vigente hasta el año 2017 no cuenta con estudios o análisis urbanos similares, por lo que la presente investigación es inédita para la ciudad convirtiéndose en una herramienta esencial para la planificación urbanística (GADM Riobamba, 1998).

Es importante destacar además la utilidad que representan la aplicación de los SIG en la generación de insumos para el ordenamiento del territorio combinado con técnicas de teledetección y análisis multicriterio.

4.2.1. Análisis multitemporal

El uso de imágenes satelitales gratuitas con amplia distribución geográfica y su procesamiento permite generar información precisa y periódica sobre la evolución de los espacios urbanos.

A pesar de que las técnicas de teledetección fueron de gran importancia para el análisis y estudio multitemporal, es importante mencionar que para su correcta aplicación es necesario minimizar los niveles de error en cada uno de sus procesos. En la presente investigación se evidenció la presencia de vacíos de información (sombras, nubes) los mismos que fueron clasificados dentro de la cobertura de Suelos Desnudos debido a que

se consideró no afectaban el objetivo de la investigación. No obstante este inconveniente puede ser corregido en futuros estudios similares. Según Rodríguez (2009), la experimentación de varias técnicas de relleno han permitido concluir que el método de ajustes radiométricos brinda mejores resultados en la corrección de espacios vacíos.

La resolución de las imágenes Landsat dificulta en ocasiones la identificación de coberturas hídricas o redes viales, sin embargo, este inconveniente se soluciona en este estudio haciendo uso de información vectorial proporcionada por instituciones públicas generadoras de cartografía como el IGM, SNI (Sistema Nacional de Información) y el GAD Municipal de Riobamba. Se debe considerar esta dificultad en estudios donde se requiera más detalle en cuanto a la identificación de coberturas de la tierra.

Es importante recalcar además que el conocimiento de la zona de estudio permite desarrollar con mayor eficiencia el proceso de muestreo de clases, y permite verificar que los resultados obtenidos sean adecuados a la realidad (Poveda, 2015).

Sin embargo tal como lo mencionan Picone y Linares (2014) en su investigación, una de las virtudes de la teledetección es la aptitud para conocer la extensión y evolución del área urbana de una ciudad. De la misma manera, Fernández Gimeno y López García (2015) concluyen en su estudio que a pesar de su resolución, las imágenes satelitales Landsat resultan adecuadas para la evaluación continua de procesos de expansión urbana.

Con el análisis multitemporal realizado a través de la interpretación de las imágenes satelitales seleccionadas para los años 1998, 2018 y 2017 se evidencia el comportamiento del proceso de expansión urbana que la ciudad de Riobamba ha experimentado en los últimos 19 años, iniciando el estudio en el año 1998 en el que la superficie urbana tiene una extensión de 2,025.27 ha rodeada en su periferia por coberturas de cultivos y vegetación. En este año se aprueba el Plan de Desarrollo Urbano en el que se establece el límite urbano con una superficie de 2,751.94 ha, sin embargo la normativa no presenta una georeferenciación adecuada por lo que el archivo digital del límite urbano aprobado

por el PDUR es el resultado de procesos posteriores de georeferenciación y rectificación realizados por técnicos de la municipalidad.

Para el año 2008, luego de un periodo de 10 años, el análisis de las imágenes satelitales dan como resultado una superficie de 2,753.81 ha correspondiente a la zona urbana de la ciudad de Riobamba, lo que representa un incremento de 35.97 % respecto al año 1998. Se identifica que el crecimiento se genera por fuera del límite establecido en la mencionada normativa con una superficie de 197 ha que se ubican fuera de la delimitación urbana, lo que evidencia una falta de control en su aplicación.

Finalmente para el año 2017 se determina una superficie urbana de 3,243.51 ha correspondientes al 24.18% de incremento con un total de 1,218.24 ha urbanas más que la identificadas en el año 1998, lo que representa un aumento general del 60.15 % del área urbana respecto a la superficie determinada en este estudio para el año 1998. Se evidencia además que el incremento total de la superficie urbana en el año 2017 corresponde a 491.57 ha, es decir un 17.86 % más que la superficie urbana aprobada en el PDUR, de las cuales 465 ha se ubican fuera de la delimitación urbana establecida en la normativa del GAD de Riobamba.

El desarrollo urbano del territorio en la ciudad de Riobamba se produce principalmente en las zonas periféricas consideradas como rurales correspondientes a los sectores sur, surorientales y nororientales, creciendo de manera espontánea y no planificada fuera de la delimitación urbana aprobada en el año 1998, en muchos casos sin accesibilidad a servicios básicos y afectando especialmente a coberturas como cultivos y vegetación, los mismos que con el paso del tiempo han sido reemplazados por procesos de asentamientos urbanos.

4.2.2. Estudio multicriterio

Para el cumplimiento del siguiente objetivo se utilizó la técnica de la Evaluación Multicriterio EMC para la localización de sitios óptimos para la futura expansión urbana

de la ciudad de Riobamba. Este análisis permitió mapas de cada categoría analizada con los que se pudo identificar las zonas más adecuadas para un proceso de expansión urbana planificado y zonas que definitivamente fueron descartadas.

Durante la primera fase de esta técnica, se recopiló la información necesaria y disponible respecto a la ciudad de Riobamba, además se usó la capa generada en el proceso de análisis multitemporal que define el área urbana de la ciudad en el año 2017.

En base a la información recopilada y de acuerdo a los requerimientos definidos para el cumplimiento del objetivo, se realizó la identificación de los criterios, para este proceso fue necesario realizar un análisis de la información, la calidad de los datos y su incidencia en el estudio. Posteriormente se realizó la normalización y ponderación de los criterios seleccionados, es decir definir una misma escala para la presentación y análisis de los datos para finalmente ser procesados mediante la aplicación de herramientas SIG y técnicas EMC, básicamente mediante la superposición de varios rasters normalizados.

Al ejecutar estos procesos se obtiene como resultado preliminar una capa ráster (figura 30) que clasifica el área de estudio según su idoneidad para ubicar nuevas zonas urbanas, en dicha clasificación el valor 2 representado en color rojo identifica el sitio menos adecuado mientras que el valor 5 identificado en color verde indica los sitios más adecuados. La tabla 15 muestra las áreas de cada una de estas categorías.

Tabla 15: Superficies de sitios adecuados según su idoneidad

VALOR	DESCRIPCION	SUPERFICIE ha
2	Menos adecuado	174.84
3		958.23
4		1,422.73
5	Más adecuado	545.60

Finalmente las herramientas SIG utilizadas para la determinación de los sitios óptimos para la expansión urbana de la ciudad de Riobamba dan como resultado los polígonos

descritos en la figura 31 con una superficie total de 545.60 ha, los mismos que se ubican en la zona nororiental y noroccidental de la ciudad. Si bien estos polígonos presentan una superficie relativamente pequeña en contraste con la superficie que se ha incrementado en los últimos 19 años, este insumo pretende ser una herramienta para una planificación del territorio que optimice el uso actual del mismo y defina, de ser necesario, una nueva delimitación urbana considerando principalmente los sitios definidos en la presente investigación.

La Evaluación Multicriterio permite considerar grados de adecuación y factores con importancias relativas distintas, de modo que los factores con mayor peso ejercen una influencia superior en el mapa final resultante, sin embargo la decisión de como asignar estos pesos resulta un proceso subjetivo que tiene un efecto en el resultado final. Lamelas (2014) menciona en su investigación que en el análisis espacial de EMC existen varias decisiones que deben ser tomadas en las que el investigador interviene de acuerdo a consideraciones propias, por lo que los juicios de valor y el manejo de la información debe ser lo más objetivo posible con un profundo conocimiento por parte del investigador a fin de que estos juicios sean acertados (Ocaña y Galacho, 2015).

Obando (2017) concluye en su estudio que la evaluación multicriterio en combinación con los SIG, brindan herramientas analíticas para la planificación acerca del uso del suelo, la aplicación de ambas técnicas permite la integración de varios conjuntos de datos geográficos cuyo procesamiento genera información para un propósito específico.

Como resultado la metodología propuesta para el cumplimiento de los objetivos de la presente investigación, genera información valiosa que puede ser considerada para futuras investigaciones y para la toma de decisiones en cuento al ordenamiento del territorio de la ciudad de Riobamba.

5. CONCLUSIONES

La dinámica de la expansión urbana en la ciudad de Riobamba durante los últimos 19 años (1998-2017) presenta un acelerado proceso de difusión llegando a extenderse para el año 2017 a un total de 3,243.51 ha, es decir 1,218.24 ha urbanas más que en el año 1998, lo que representa un porcentaje de incremento de 60.15% respecto a la superficie inicial determinada en este estudio y 491.57 ha más respecto de la superficie aprobada como urbana en el PDUR lo que representa un incremento del 17.86 %.

Se concluye que el crecimiento urbano determinado en este estudio para el año 2017 se desarrolla fuera de la normativa aprobada por el GAD de Riobamba es así que de las 491.57 ha incrementadas 465 ha se encuentran ubicadas fuera del límite urbano establecido en el PDUR.

Esta dinámica se orienta hacia la ocupación de sectores considerados como rurales y de vocación agrícola, por lo que a pesar de encontrarse una normativa vigente que delimita la zona urbana, la falta de control en su aplicación provoca que el desarrollo urbano de la ciudad sea desordenado, sin regulación, ni control, generado un crecimiento acelerado y desorganizado de asentamientos.

Mediante la definición de procesos y la aplicación de técnicas SIG y EMC se generó alternativas para la localización de sitios óptimos para el proceso futuro de expansión urbana de la ciudad de Riobamba, determinando como sitios óptimos las zonas nororiental y noroccidental de la ciudad con una superficie de 545.60 ha, la misma que cumple con los factores condicionantes para un desarrollo urbano adecuado y sustentable.

Los insumos generados en la presente investigación son de vital importancia para el desarrollo de normativas de planificación y ordenamiento territorial en el GAD Municipal de Riobamba, ofreciendo la posibilidad de determinar la dinámica del crecimiento urbano

que la ciudad presenta y planificando un desarrollo ordenado determinado lugares adecuados para su futura expansión.

En el desarrollo de la presente investigación se pudo evidenciar la importancia de las herramientas SIG, técnicas de teledetección y EMC para los procesos de planificación. Además se logró entender la complejidad de la aplicación de las mismas para lo cual es necesario un profundo proceso de análisis y conocimiento de la funcionalidad de cada una de las técnicas aplicadas.

La metodología aplicada fue adecuada para el cumplimiento de los objetivos del presente estudio, las técnicas de estudio multitemporal y evaluación multicriterio permitieron responder las preguntas de la investigación y aceptar la hipótesis planteada debido a que se obtuvo como resultado que los sitios óptimos para la futura expansión urbana de la ciudad de Riobamba se encuentran geográficamente ubicados en las zonas nororiental y noroccidental de la ciudad.

Es esencial que a través del GAD Municipal del cantón Riobamba se genere la normativa que regule el proceso de expansión urbana de la ciudad, acompañado de un continuo monitoreo de las zonas territoriales hacia donde se expande la urbanización, con la finalidad de mantener un control y generar un proceso de expansión ordenado y planificado.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, P., Duriavich, M., Napolitano, R., y Feoli, E. (2009). Aplicación de técnicas SIG, Sensoramiento Remoto y Análisis Multicriterio para la Detección de Impactos Antropogénicos en la Cobertura de Suelos y su Proyección para el 2010. Caso de estudio: Estuario de Santos (Brasil). *Revista Tecnológica - ESPOL*, 22(1). Recuperado el 10 de marzo de 2018, de <http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/93>
- Arango, R., y Chilito, J. (2016). Análisis multitemporal de la expansión urbana de la ciudad de Popayan, Cauca entre los años 1989, 2002 y 2014. Universidad de Manizales. Recuperado el 15 de abril de 2018, de <http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/handle/6789/2606>.
- Ariza, A. (2013). Descripción y corrección de productos Landsat 8. Recuperado el 5 de mayo de 2018, de <http://www.un-spider.org/sites/default/files/LDCM-L8.R1.pdf>
- Bazant, J. (2008). Proceso de expansión y consolidación urbana de bajos ingresos en las periferias. *Revista Bitácora Urbano Territorial*. Volumen 2, Número 13. Recuperado el 11 de marzo de 2018, de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/bitacora/article/view/18527>.
- Benavides, X. (2016). Análisis de la dinámica de crecimiento urbano en la parroquia Santa Ana de Nayón para determinar un modelo de crecimiento urbano óptimo. Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Ecuador.
- Betancourt, D. (2015). Cambios en la cobertura del suelo en el corredor Metropolitano Cali - Jamundi (Valle del Cauca, Colombia). Tesis de Maestría UNIGIS. Recuperado el 15 de abril de 2018, de https://issuu.com/unigis_latina/docs/merged__9_
- Bosque, J., y García, R. (2000). El uso de los sistemas de Información Geográfica en la planificación territorial. Recuperado el 10 de marzo de 2018, de http://geogra.uah.es/joaquin/pdf/SIG_Ordenacion-territorio.pdf
- Cabrera, G. (2014). Generación de una metodología para determinar la tendencia del crecimiento poblacional en el Cantón Mejía, aplicando técnicas de SIG y Teledetección. Recuperado el 10 de marzo de 2018, de <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/3554>
- Cardoso, O., y Da Silva, C. (2015). Evaluación multicriterio y Sistemas de Información Geográfica aplicados a la definición de espacios potenciales para uso del suelo residencial (Argentina). *GeoFocus*. Recuperado el 15 de marzo de 2018, de <http://geofocus.org/index.php/geofocus/article/view/445/331>
- Cartotecnia. (2015). Estudio del plan maestro de gestión técnico informático del catastro multifinalitario del cantón Riobamba y las 11 parroquias rurales en sus zonas territoriales consolidadas.
- Chander, G., Markham, B. L., y Helder, D. L. (2009). Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote Sensing of Environment*, 113(5), 893–903. Recuperado el 12 de marzo de 2018, de <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.01.007>
- Chuvieco, E. (1995). *Fundamentos de Teledetección Espacial*. Madrid.

- Chuvienco, E. (1998). El factor temporal en teledetección: evolución fenomenológica y análisis de cambios.
- Chuvienco, E. (2008). Teledetección ambiental, la observación de la tierra desde el espacio.
- Código Orgánico de Planificación y Finanzas Públicas. , 306 § (2011).
- Constitución de la República del Ecuador. , Pub. L. No. Registro Oficial N. 449, § art 415 (2008).
- Corso, L. (s.f.). Aplicación de algoritmos de clasificación supervisada usando Weka. 11. Recuperado el 15 de octubre de 2018, de https://www.academia.edu/9538896/Aplicaci%C3%B3n_de_algoritmos_de_clasificaci%C3%B3n_supervisada_usando_Weka
- Daga, R. (2009). Determinación de áreas con aptitud para la expansión urbana con fines de ordenamiento territorial aplicando el análisis espacial multicriterio (Universidad Nacional Mayor de San Marcos). Recuperado el 14 de abril de 2018, de https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwix2Nflv_UAhWM6CYKHWErDXMQFggpMAE&url=http%3A%2F%2Fcybertesis.unmsm.edu.pe%2Fbitstream%2Fcybertesis%2F3132%2F1%2FDaga_lr.pdf&usq=AFQjCNG3Tljqo4CbvaKBj0yELqoITNU1mA
- ESRI, Environmental Systems Research Institute. (2015). Cómo funciona Intersecar (cobertura)—Ayuda | *ArcGIS for Desktop*. Recuperado el 1 de noviembre de 2018, de <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/coverage-toolbox/how-intersect-works.htm>
- ESRI, Environmental Systems Research Institute. (2017a). Cómo funciona Pendiente—Ayuda | *ArcGIS for Desktop*. Recuperado el 16 de octubre de 2018, de <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-slope-works.htm>
- ESRI, Environmental Systems Research Institute. (2017b). Comprender el análisis de distancia euclidiana—Ayuda | *ArcGIS for Desktop*. Recuperado el 30 de julio de 2018, de <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/understanding-euclidean-distance-analysis.htm>
- ESRI, Environmental Systems Research Institute. (2017c). De polígono a ráster—Caja de herramientas Conversión | *ArcGIS Desktop*. Recuperado el 16 de octubre de 2018, de <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/tool-reference/conversion/polygon-to-raster.htm>
- ESRI, Environmental Systems Research Institute. (2017d). Reclassificar—Ayuda | *ArcGIS for Desktop*. Recuperado el 16 de octubre de 2018, de <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/reclassify.htm>
- Fernández Gimeno, L., y López García, M. J. (2015). Expansión urbana del Área Metropolitana de Valencia en el periodo 1984-2011 a partir de imágenes Landsat TM y ETM+. *Revista de Teledeteccion*, 44, 1–14. Recuperado el 16 de abril de 2018, de <https://doi.org/10.4995/raet.2015.3628>
- GADM Riobamba, Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Riobamba. (1998). Plan de Desarrollo Urbano de Riobamba.

- GADM Riobamba, Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Riobamba. (2015). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2015-2019.
- García, E. (2008). El proceso de expansión urbana y su impacto en el uso de suelo y vegetación del Municipio de Juárez. Recuperado el 2 de mayo de 2018, de <https://www.colef.mx/posgrado/wp-content/uploads/2009/10/TESIS-Garcia-Estarron-Erika-Julieta.pdf>
- Geoplades. (2009). Estudio multitemporal de la cobertura vegetal y uso de suelo en los años 1990-2008 y proyección al 2030. Recuperado el 9 de agosto de 2018, de http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/Portal%20SNI%202014/GEOGRAFICA/Conage/Documentos/Methodologias/Estudio_multitemporal_nororiente_ecuador.pdf
- Gestión Urbana. (2011). Sistemas de Información Geográfica para el ordenamiento territorial. Recuperado el 9 de agosto de 2018, de <https://civilgeeks.com/2017/01/09/sistemas-informacion-geografica-ordenamiento-territorial/>.
- Gómez, E. (2008). Teledetección. Educación. Recuperado el 21 de noviembre de 2018, de <https://es.slideshare.net/EDU3364/teledeteccin-9476986>
- Gómez, M., y Barredo, J. (2005). Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la ordenación del Territorio. (Segunda edición). España: RA-MA Editorial.
- Gómez, M., y Guailas, M. (2015). Análisis de cambios de usos de suelo multitemporal en el Cantón Cuenca. Recuperado el 10 de marzo de 2018, de <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/4935>
- Gómez Orea, D. (2008). Ordenación Territorial. Ediciones Mundi-Prensa.
- Gross, P. (1998). Ordenamiento Territorial: El Manejo de los Espacios Rurales. EURE (Santiago), 24(73), 116–118. Recuperado el 1 de noviembre de 2018, de <https://doi.org/10.4067/S0250-71611998007300006>
- Gutierrez, J., y Gómez, M. (2010). Simulación de crecimiento urbano mediante evaluación multicriterio y TIG en el gran San Miguel de Tucuman (Argentina). Secretariado de publicaciones de la Universidad de Sevilla. Recuperado el 15 de noviembre de 2018, de <https://idus.us.es/xmlui/handle/11441/66645>.
- Gutiérrez, M. A. (2005). Clasificación no supervisada de coberturas Vegetales sobre imágenes digitales de sensores Remotos: "landsat – etm+". Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín, 58(1), 2611–2634. Recuperado el 15 de noviembre de 2018, de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/21276>.
- Heinrichs, D., y Rodríguez, C. (2009). Dispersión urbana y nuevos desafíos para la gobernanza (metropolitana) en América Latina. Recuperado el 23 de mayo de 2018, de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250-71612009000100002.
- Hernandez, M., y Guillen, M. (s.f.). La planificación sostenible a través del SIG y la Teledetección. Recuperado el 20 de abril de 2018, de http://www.age-geografia.es/tig/docs/XII_3/117%20-%20Hernandez%20Morcillo%20et%20al.pdf

- Hernández, O. (2012). Análisis Multitemporal de la Cobertura Vegetal del Municipio del Distrito Central Periodo 1987 a 2006. Recuperado el 5 de mayo de 2018, de https://www.academia.edu/8198807/Analisis_Multitemporal_de_la_Cobertura_Vegetal_del_Municipio_del_Distrito_Central_Periodo_1987_a_2006
- Hernández, T. (2010). El ordenamiento territorial y su construcción social en Colombia: ¿un instrumento para el desarrollo sustentable? Recuperado el 5 de mayo de 2018, de <http://www.scielo.org.co/pdf/rcdg/n19/n19a08.pdf>.
- Herrera, V. (2001). Estudio del crecimiento urbano de la ciudad de Valdivia (Chile) a través del uso integrado de imágenes de satélite, SIG y equipos GPS. Recuperado el 21 de abril de 2018, de <http://www.aet.org.es/?q=revista15-8>
- Hurtado, M. (2015). Identificación de zonas industriales en el cantón Cuenca mediante evaluación multicriterio. Universidad del Azuay. Recuperado el 5 de mayo de 2018, de <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/4639>.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (1985). Las técnicas de la Teledetección en el Instituto Nacional de estadística, Geografía e Informática.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2010). Clasificador Geográfico Estadístico. Recuperado el 19 de mayo de 2016, de Instituto Nacional de Estadística y Censos. Recuperado el 10 de octubre de 2018, de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/clasificador-geografico-estadistico-dpa/>
- Lamelas, M. (2009). Esquema metodológico para la toma de decisiones sobre el uso sostenible del suelo: aplicación a la localización de suelo industrial. *GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 28–66.
- Lamelas, M. (2014). Aplicación de técnicas de análisis multicriterio a la localización óptima de extracciones de arenas y gravas en el entorno de Zaragoza. *Boletín de la Asociación de Geógrafos españoles*, 66. Recuperado el 10 de octubre de 2018, de https://www.researchgate.net/publication/327948819_Aplicacion_de_tecnicas_de_analisis_multicriterio_a_la_localizacion_optima_de_extracciones_de_arenas_y_gravas_en_el_entorno_de_Zaragoza.
- López, T., y González, A. (s.f.). Evaluación multicriterio y sistemas de información geográfica para la planificación y la toma de decisiones acerca del uso de terrenos. *El Yunque*. Recuperado el 16 de abril de 2018, de <https://educacionambientaluprm.files.wordpress.com/2018/02/el-yunque-htg3-spanish1.pdf>.
- MAE, Ministerio de Ambiente, y MAGAP, Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2015). Protocolo metodológico para la elaboración del mapa de cobertura y uso de la tierra del Ecuador Continental 2013-2014.
- MAGAP, Ministerio de Agricultura y Ganadería, y MAE, Ministerio de Ambiente. (2014). Proyecto para la Generación del Mapa de cobertura y Uso de la Tierra del Ecuador Continental, 2013-2014. Documento metodológico para el pre-procesado y procesado de imágenes Landsat y RapidEye.

- Manosalvas, J. (2016). Potencialidades y limitaciones para la expansión urbana en la parroquia de San Antonio de Pichincha mediante la aproximación de las técnicas de análisis espacial en SIG. Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito. Recuperado el 11 de octubre de 2018, de <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/11060>.
- Martínez, C. (2005). Estudio multitemporal de cambios en la cobertura vegetal (1979-2004) y modelización prospectiva en la provincia de Cotopaxi. Programa para la conservación de la biodiversidad, páramos y otros ecosistemas frágiles del Ecuador (CBP). EcoCiencia. Quito. Recuperado el 8 de noviembre del 2018, de https://www.academia.edu/8815926/Estudio_multitemporal_de_cambios_en_la_cobertura_vegetal_1979-2004_y_modelizaci%C3%B3n_prospectiva_en_la_provincia_de_Cotopaxi.
- Massiris, A. (2002). Ordenación del territorio en América Latina. Recuperado el 14 de diciembre de 2017, de <http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-125.htm>
- Massiris, A. (2012). El diagnóstico territorial en la formulación de planes de ordenamiento. 34. Recuperado el 5 de noviembre de 2018, de <https://revistas.uptc.edu.co/index.php/perspectiva/article/view/1643>.
- Mena, A. (2010). Regularización de los asentamientos informales en Quito. FLACSO, Quito. Recuperado el 12 de abril de 2018, de <https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/handle/10469/2383>.
- MIDUVI, Ministerio de desarrollo urbano y vivienda. (2015). Informe Nacional del Ecuador - Tercera Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Vivienda y el Desarrollo Urbano Sostenible HABITAT III. (p. 103). Quito: MIDUVI.
- MIDUVI, Ministerio de desarrollo urbano y vivienda. (2016). Posición Nacional del Ecuador frente a la nueva Agenda Urbana. Quito MIDUVI, Ministerio de desarrollo urbano y vivienda. (2015). Informe Nacional del Ecuador - Tercera Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Vivienda y el Desarrollo Urbano Sostenible HABITAT III. (p. 103). Quito: MIDUVI.
- .
- Molero, E., y Grindlay, A. (2007). Escenarios de aptitud y modelización cartográfica del crecimiento urbano mediante técnicas de evaluación multicriterio. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica. Recuperado el 10 de marzo de 2018, de http://www.age-geografia.es/tig/docs/XII_1/022%20-%20Molero%20Melgarejo%20et%20al.pdf.
- Morocho, M. (2013). Análisis multitemporal del uso de suelo de la microcuenca del Río Chacapata - Patacocha, en base a fotografías aéreas de los años 1989 y 2000. Universidad de Cuenca. Recuperado el 21 de junio de 2018, de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/19992>.
- Neira, A. (2016). Análisis multitemporal de la expansión urbana de la localidad de Usme – Bogota. Universidad Militar Nueva Granada. Recuperado el 15 de abril de 2018, de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/15617/NeiraAcostaAlvaroSt eve2016.pdf;jsessionid=51DE86F7778425742BAFA72FCC67DF19?sequence=3>.

- Obando, M. (2017). Identificación del lugar óptimo de instalación de un parque eólico en el departamento del Atlántico. Universidad de Manizales. Recuperado el 7 de mayo de 2018, de <http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/handle/6789/3224>.
- Ocaña, C., y Galacho, F. (2015). Tratamiento con SIG y técnicas de evaluación multicriterio de la capacidad de acogida del territorio para usos urbanísticos: residenciales y comerciales. Departamento de Geografía, Universidad de Málaga. Recuperado el 25 de agosto de 2018, de http://www.age-geografia.es/tig/docs/XII_3/111%20-%20Galacho%20y%20Ocana.pdf.
- Odette. (2017). Expansión Urbana: Causas Y Consecuencias. Recuperado el 26 de julio de 2018, de *Mente y Cuerpo Sano*. Recuperado el 4 de agosto de 2018, de <https://mentecuerposano.com/expansion-urbana/>
- Ossa, J., y Estrada, G. (2012). Los sistemas de información geográfica y los planes de ordenamiento territorial en Colombia. *Perspectiva Geográfica*, 1(16), 247–266. Recuperado el 11 de mayo de 2018, de <https://revistas.uptc.edu.co/index.php/perspectiva/article/view/1758>.
- Perez, L., y Camino, W. (2009). Análisis del crecimiento urbano en el área metropolitana de Santo Domingo a través de las imágenes multiespectrales del satélite LADSAT TM. Recuperado el 4 de agosto de 2018, de <http://www.laccei.org/LACCEI2009-Venezuela/p146.pdf>.
- Picone, N., y Linares, S. (2014). Propuesta metodológica para la extracción y análisis de densidades urbanas mediante teledetección y SIG. Recuperado el 10 de marzo de 2018, de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-42652014000200002
- Plata, W., Gómez, M., y Bosque, J. (2010). Desarrollo de modelos de crecimiento urbano óptimo para la Comunidad de Madrid. *GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 0(10), 103–134. Recuperado el 12 de abril de 2018, de <http://www.geofocus.org/index.php/geofocus/article/view/194>.
- Posada, E. (2012). Manual de prácticas de procesamiento digital de imágenes. Parte 2. Instituto Geográfico Augustin Codazzi. Recuperado el 5 de agosto de 2018, de http://www.un-spider.org/sites/default/files/ManualSPRING_web.pdf.
- Poveda, R. (2015). Análisis Multitemporal de la Expansión urbanística del Municipio de la Calera, Cundinamarca, Colombia. Universidad Militar Nueva Granada. Recuperado el 12 de abril de 2018, de <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/13464>.
- Rodriguez, N. (2009). Rellenado de los gaps provocados por la falla del Scan Line. Recuperado el 29 de octubre de 2018, de <https://studylib.es/doc/6321962/rellenado-de-los-gaps-provocados-por-la-falla-del-scan-line>
- Roman, M. (2014). Metodologías multicriterio para el Ordenamiento Territorial. Recuperado el 12 de marzo de 2018, de https://www.researchgate.net/publication/279882271_Metodologias_multicriterio_para_el_ordenamiento_territorial_Capitulo_12_En_Ordenamiento_territorial_conceptos_metodos_y_experiencias.

- Romero, F. (2006). La teledetección satelital y los sistemas de protección ambiental. Recuperado el 29 de octubre de 2018, de http://www.revistaaquatic.com/aquatic/pdf/24_02.pdf
- Romero, J. (2016). Evaluación multicriterio para la ubicación de una escombrera usando SIG - Caso de estudio Cantón Mejía, Pichincha, Ecuador. Tesis de Maestría UNIGIS.
- Romero, M. (2015). Evolución urbana y perspectivas al año 2020 en la ciudad de Loja. Universidad San Francisco de Quito, Quito - Ecuador.
- Tibaquirá, H. (2016). Análisis multitemporal del crecimiento urbano de la zona de expansión para el periodo 1987-2015 en el municipio de Ibagué, Tolima. Bogotá.
- Tufiño, L., y Estuardo, J. (2014). Sistema de información geográfica orientado a un plan de ordenamiento territorial con enfoque al sistema físico-ambiental. Recuperado el 29 de octubre de 2018, de <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/3812>