



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL

Proyecto de Investigación previo
a la obtención del Título de
Ingeniería en Gestión Ambiental

Proyecto de Investigación:

**“Análisis de crecimiento urbano a partir de imágenes landsat en el cantón Durán,
provincia del Guayas, en el período 1990 – 2015.”**

Autora:

Hally Paullette Jiménez Párraga

Docente Auspiciante:

Dra. Lidia Vlassova

Quevedo - Los Ríos - Ecuador

2018

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, **Hally Paullette Jiménez Párraga**, declaro que la investigación aquí descrita es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Técnica Estatal de Quevedo, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este documento, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Hally Paullette Jiménez Párraga
C.C. # 1250168182

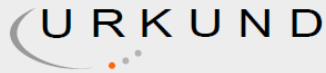
CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

La suscrita, **Dra. Lidia Vlassova**, Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que la estudiante **Hally Paullette Jiménez Párraga**, realizó el Proyecto de Investigación de grado titulado “**Análisis de crecimiento urbano a partir de imágenes Landsat en el cantón Durán, provincia del Guayas, en el período 1990 – 2015.**”, previo a la obtención del título de Ingeniería en Gestión Ambiental, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.

Dra. Lidia Vlassova

DIRECTORA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

CERTIFICADO DE REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO



Urkund Analysis Result

Analysed Document: TESIS_HALLY JIMENEZ_final.docx (D43481726)
Submitted: 11/4/2018 5:23:00 PM
Submitted By: lvlassova@uteq.edu.ec
Significance: 2 %

Sources included in the report:

TESIS MAESTRÍA CUENCAS HIDROGRÁFICAS_6.docx (D33074994)
URKUND_TESIS_V1_20180105_MARCELO_ALVAREZ.docx (D34547791)
TESIS_Random forest_Valeria_Flores.pdf (D32145280)
URKUND_TESIS OMAR MEDRANO_01_2018.docx (D34759497)
<http://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/18452>
<https://centrogeo.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1012/149>

Instances where selected sources appear:

12

CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



**UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL**

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Título:

**“Análisis de crecimiento urbano a partir de imágenes Landsat en el cantón Durán,
provincia del Guayas, en el período 1990 – 2015.”**

Presentado a la Comisión Académica como requisito previo a la obtención del título de Ingeniero en Gestión Ambiental.

Aprobado por:

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Dra. Yarelys Ferrer Sánchez

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Blgo. Juan Pablo Urdánigo

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Carlos Nieto Cañarte

QUEVEDO – LOS RÍOS – ECUADOR

2018

AGRADECIMIENTO

Mis más sinceros agradecimientos a todos quienes me permitieron llegar hasta aquí y aportaron para que esta meta sea cumplida:

A la “Universidad Técnica Estatal De Quevedo” por brindarme la oportunidad de estudiar, específicamente a la Facultad de Ciencias Ambientales, Carrera de Ingeniería en Gestión Ambiental por aportar cada conocimiento para convertirme en una profesional.

También mis más sinceros agradecimientos a todos y cada uno de mis profesores que con cada clase impartida Durante mis estudios de pregrado contribuyeron enormemente a mi formación y crecimiento profesional.

Así mismo a mi directora de tesis, Dra. Lidia Vlassova, quien con su apoyo constante y sus conocimientos aportó a mi crecimiento profesional y me supo guiar para el cumplimiento de este último trabajo, logrando de esta manera culminar exitosamente mis estudios universitarios.

De igual manera agradecer a mis compañeras y amigas, Narcisa Santi y Thalya Peralta, con quienes nos hemos apoyado para lograr esta meta.

Hally Jiménez.

DEDICATORIA

Permitiéndome cumplir mis metas y culminar un ciclo más de mi vida le dedico el presente trabajo a Dios, por su infinito amor y constantes bendiciones a lo largo de mi vida.

A mis queridos padres, Robinson y Mónica, no existen palabras para expresar la infinita gratitud que siento hacia ustedes, les dedico esto como una pequeña muestra de gratitud, por su eterno apoyo incondicional en todas las actividades que he realizado en cada etapa de mi vida hasta ahora, y por sus constantes consejos y enseñanzas para hacer de mi la persona que hoy soy.

A mis increíbles hermanos, que han estado conmigo en todo momento y me han acompañado siempre.

A mis grandes amigos, mi grupo incondicional: Bryan Manzo, Bismarck Jiménez, Anthony Carvajal y Thalya Peralta, que más que compañeros se convirtieron en amigos de por vida.

Muchas gracias por todo.

Hally Jiménez

RESUMEN EJECUTIVO Y PALABRAS CLAVES

La presente investigación, tuvo como objetivo principal analizar el crecimiento urbano mediante la aplicación de índices espectrales derivados de imágenes Landsat en el cantón Durán, provincia del Guayas, en el período de 25 años, entre el año 1990 y 2015. Los tipos de cobertura seleccionadas fueron: vegetación, agua y como cobertura principal áreas urbanas. Los cambios de usos de suelo de estas categorías se identificaron mediante la clasificación supervisada de las dos imágenes satelitales utilizadas de una resolución espacial de 30 m. La verificación se realizó mediante una visita de campo para identificar los tipos de coberturas de suelo y su comprobación en las imágenes satelitales, lo cual demostró una adecuada separación espectral para todas las clases seleccionadas.

Se validó la clasificación de la imagen del año 2015 empleando la matriz de confusión con una exactitud del 100% para las áreas urbanas, con niveles de concordancia adquiridos mediante el cálculo del coeficiente Kappa que mostró 62% de fiabilidad.

El análisis multitemporal permitió detectar los cambios ocurridos entre estas fechas, deduciendo que los más importantes y evidentes se presentaron en las áreas urbanas con un 29.7% de incremento, lo que equivale a 78.23 km² de territorio urbano hasta el año 2015.

Al final de esta investigación se pudo determinar que las coberturas de vegetación presentaron una disminución del 11.7%, y las áreas que no fueron clasificadas por lo consiguiente con un porcentaje de 15.30%, que según observaciones se dedujo que probablemente eran suelos desnudos y fueron convertidos en áreas urbanas. Por ende, se concluye que las herramientas de teledetección y SIG resultan eficientes para identificar las dinámicas de cambios de coberturas de suelo dentro de un territorio.

PALABRAS CLAVE

Imágenes Landsat, clasificación, cobertura de suelo, crecimiento urbano, cambios de cobertura

ABSTRACT AND KEYWORDS

The main objective of this research was to analyze urban growth through the application of spectral indices derived from Landsat images in the Durán county, province of Guayas, in the period of 25 years, between 1990 and 2015. The types of coverage selected they were: vegetation, water and as main coverage urban areas. Changes in land uses in these categories were identified through the supervised classification of the two satellite images used at a spatial resolution of 30 meters. The verification was carried out through a field visit to identify the types of soil cover and its verification in the satellite images, which demonstrated an adequate spectral separation for all the selected classes.

The classification of the image of 2015 was validated using the confusion matrix with an accuracy of 100% for urban areas, with concordance levels acquired by calculating the Kappa coefficient that showed 62% reliability.

The multitemporal analysis allowed to detect the changes occurred between these dates, inferring that the most important and evident occurred in urban areas with a 29.7% increase, which is equivalent to 78.23 km² of urban territory until 2015.

At the end of this investigation it was possible to determine that vegetation coverage showed a decrease of 11.7%, and the areas that were not classified therefore with a percentage of 15.30%, which according to observations was inferred that they were probably bare soils and were converted in urban areas. Therefore, it is concluded that remote sensing and GIS tools are efficient to identify the dynamics of changes in land cover within a territory.

KEYWORDS

Landsat images, classification, land cover, urban growth, changes in coverage

TABLA DE CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS	ii
CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	iii
CERTIFICADO DE REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO.....	iv
CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	v
AGRADECIMIENTO	vi
DEDICATORIA	vii
RESUMEN EJECUTIVO Y PALABRAS CLAVES.....	viii
ABSTRACT AND KEYWORDS	ix
CÓDIGO DUBLÍN	xvi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	4
1.1.1. Planteamiento del problema	4
1.1.2. Formulación del problema	4
1.1.3. Sistematización del problema.....	4
1.2. OBJETIVOS.....	5
1.2.1. Objetivo General.....	5
1.2.2. Objetivos Específicos.....	5
1.3. HIPÓTESIS	6
1.4. JUSTIFICACIÓN	7
CAPÍTULO II.....	8
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN	8
2.1. MARCO TEÓRICO.....	9
2.1.1. Ordenamiento territorial.....	9

2.1.2.	Uso de suelo	10
2.1.2.1.	Cambios de usos de suelo	10
2.1.2.2.	Crecimiento urbano	12
2.1.3.	Teledetección.....	14
2.1.3.1.	Imágenes Landsat	15
2.1.3.2.	Índices Espectrales	17
2.1.3.2.1.	Índice de vegetación ajustado al suelo (SAVI).....	19
2.1.3.2.2.	Índice de agua de diferencia normalizada modificado (MNDWI)	19
2.1.3.2.3.	Índice de áreas construidas de diferencia normalizada (NDBI)	20
2.1.4.	Coberturas de la tierra.....	20
2.1.5.	Métodos de clasificación.....	20
2.1.5.1.	Método de clasificación supervisada.....	21
2.1.5.2.	Método de clasificación no supervisada.....	21
2.1.6.	Validación de la clasificación.....	21
2.1.6.1.	Matriz de confusión.....	22
2.1.6.2.	Índice Kappa	23
2.1.7.	Sistemas de Información Geográfica.....	23
2.2.	Marco Referencial.....	25
2.2.1.	Inequidad Urbana en Ecuador	25
2.2.2.	Extensión, configuración socio espacial y mercado de suelo urbano.....	26
CAPÍTULO III		29
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN		29
3.1.	Localización del área de estudio.....	30
3.2.	Tipo de investigación.....	31
3.2.1.	Diagnóstica.....	31
3.2.2.	Exploratoria.....	31
3.3.	Métodos de investigación.....	31

3.3.1.	Método de observación	31
3.3.2.	Método analítico	31
3.4.	Fuentes de información.....	31
3.4.1.	Fuentes primarias.....	31
3.4.2.	Fuentes secundarias	31
3.5.	Diseño de la investigación.....	32
3.6.	Instrumentos de investigación	32
3.7.	Tratamiento de los datos	32
3.8.	Materiales y equipos	33
3.8.1.	Imágenes satelitales	33
3.8.2.	Software	33
3.8.3.	Equipos.....	33
3.9.	Metodología.....	34
CAPÍTULO IV		41
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		41
4.1.	Resultados	42
4.1.1.	Área de estudio	42
4.1.2.	Imágenes satelitales seleccionadas	42
4.1.3.	Procesamiento de las imágenes	43
4.1.4.	Índices espectrales	44
4.1.4.1.	Índice de diferencia de agua normalizado modificado (MNDWI)	44
4.1.4.2.	Índice de áreas construidas de diferencia normalizada (NDBI)	44
4.1.4.3.	Índice de vegetación ajustado al suelo (SAVI).....	45
4.1.5.	Clasificación supervisada.....	46
4.1.5.1.	Selección de áreas de entrenamiento.....	46
4.1.5.1.1.	Coordenadas de coberturas del cantón Durán tomadas de imagen Google Earth 1990 para imagen Landsat 5.	47

4.1.5.1.2. Coordenadas de coberturas del cantón Durán tomadas de imagen Google Earth 2015 para imagen Landsat 8.	47
4.1.5.2. Clasificación	48
4.1.5.2.1. Clasificación Imagen Landsat 5, año 1990.....	49
4.1.5.2.2. Clasificación Imagen Landsat 8, año 2015.....	51
4.1.6. Validación de la clasificación.....	52
4.1.6.1. Matriz de confusión de la clasificación.....	54
4.1.6.2. Cálculo del coeficiente Kappa	55
4.1.7. Análisis de la varianza (ANOVA).....	55
4.1.7.1. Análisis de la varianza – Índice MNDWI	56
4.1.7.2. Análisis de la varianza – Índice SAVI	57
4.1.7.3. Análisis de la varianza – Índice NDBI.....	58
4.1.8. Cartografía de cambios espacio-temporales del proceso de urbanización.....	59
4.1.9. Aplicación de técnicas post-clasificación	60
4.2. Discusión.....	63
CAPÍTULO V.....	65
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	65
5.3. Conclusiones.....	66
5.4. Recomendaciones	67
CAPÍTULO VI	68
BIBLIOGRAFÍA	68
Bibliografía.....	69
CAPÍTULO VII.....	73
ANEXOS.....	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Rangos del espectro electromagnético imágenes Landsat.	17
Tabla 2. Valoración del Índice Kappa.....	40
Tabla 3. Información de las imágenes utilizadas de los años 1990 y 2015.....	43
Tabla 4. Coordenadas tomadas en el área de estudio.....	47
Tabla 5. Tabla de información del Mapa de Clasificación del Cantón Durán del año 1990.	50
Tabla 6. Tabla de información del Mapa de Clasificación del Cantón Durán del año 2015.	52
Tabla 7. Número de puntos de validación por cobertura en imagen clasificada del año 2015.	53
Tabla 8. Matriz de confusión de imagen clasificada 2015.	54
Tabla 9. Análisis de varianza para el índice MNDWI de ambas fechas.	56
Tabla 10. Análisis de varianza para el índice SAVI de ambas fechas.	57
Tabla 11. Análisis de varianza para el índice NDBI de ambas fechas.....	58
Tabla 12. Estadísticas de cambios por cada cobertura entre ambas fechas.....	60
Tabla 13. Porcentajes de estadísticas de cambios por cada cobertura entre ambas fechas.	61

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Perfiles espectrales de cinco clases de coberturas.....	18
Gráfico 2. Mapa de localización del área de estudio.	30
Gráfico 3. Imagen satelital Landsat 5 del año 1990.....	42
Gráfico 4. Imagen satelital Landsat 8 del año 2015.....	42
Gráfico 5. Imagen Landsat 5 del año 1990 con combinación de bandas 3, 5 y 7.	43
Gráfico 6. Imagen Landsat 8 del año 2015 con combinación de bandas 3, 5 y 7.	43
Gráfico 7. Índice de diferencia de agua normalizado modificado MNDWI a partir de la imagen Landsat 5, año 1990.....	44
Gráfico 8. Índice de diferencia de agua normalizado modificado MNDWI a partir de la imagen Landsat 8, año 2015.....	44
Gráfico 9. Índice de áreas construidas de diferencia normalizada (NDBI) a partir de la imagen Landsat 5, año 1990.....	45
Gráfico 10. Índice de áreas construidas de diferencia normalizada (NDBI) a partir de la imagen Landsat 8, año 2015.....	45
Gráfico 11. Índice de vegetación ajustado al suelo SAVI, a partir de la imagen Landsat 5, año 1990.	46
Gráfico 12. Índice de vegetación ajustado al suelo SAVI, a partir de la imagen Landsat 8, año 2015.	46
Gráfico 13. Coberturas de suelo en el cantón Durán en el año 1990.....	49
Gráfico 14. Coberturas de suelo en el cantón Durán en el año 2015.....	51
Gráfico 15. Mapa de clasificación con puntos de validación del cantón Durán del año 2015.	53
Gráfico 16. Mapa de cambios espacio-temporales en el período 1990-2015.....	59

CÓDIGO DUBLÍN

Título:	“Análisis de crecimiento urbano a partir de imágenes Landsat en el cantón Durán, provincia del Guayas, en el período 1990 – 2015.”				
Autor:	<u>Jiménez Párraga, Hally Paullette.</u>				
Palabras clave:	Imágenes Landsat	Clasificación	Crecimiento urbano	Cambios de cobertura	Cobertura de suelo
Fecha de publicación:	Diciembre, 2018				
Editorial:	Quevedo, Universidad Técnica Estatal de Quevedo, 2018.				
Resumen	La presente investigación, tuvo como objetivo principal analizar el crecimiento urbano mediante la aplicación de índices espectrales derivados de imágenes Landsat en el cantón Durán, provincia del Guayas, en el período de 25 años, entre el año 1990 y 2015. Los tipos de cobertura seleccionadas fueron: vegetación, agua y como cobertura principal áreas urbanas. Los cambios de usos de suelo de estas categorías se identificaron mediante la clasificación supervisada de las dos imágenes satelitales utilizadas de una resolución espacial de 30 m. La verificación se realizó mediante una visita de campo para identificar los tipos de coberturas de suelo y su comprobación en las imágenes satelitales, lo cual demostró una adecuada separación espectral para todas las clases seleccionadas. Se validó la clasificación de la imagen del año 2015 empleando la matriz de confusión con una exactitud del 100% para las áreas urbanas, con niveles de concordancia adquiridos mediante el cálculo del coeficiente Kappa que mostró 62% de fiabilidad. El análisis multitemporal permitió detectar los cambios ocurridos entre estas fechas, deduciendo que los más importantes y evidentes se presentaron en las áreas urbanas con un 29.7% de incremento, lo que equivale a 78.23 km² de territorio urbano hasta el año 2015. Al final de esta investigación se pudo determinar que las coberturas de vegetación presentaron una disminución del 11.7%, y las áreas que no fueron clasificadas por lo consiguiente con un porcentaje de 15.30%, que según observaciones se dedujo que probablemente eran suelos desnudos y fueron convertidos en áreas urbanas. Por ende, se concluye que las herramientas de teledetección y SIG resultan eficientes para identificar las dinámicas de cambios de coberturas de suelo dentro de un territorio.				
Descripción:	100 hojas: dimensiones, 29 x 21 cm + CD-ROM				
URI:	<u>(en blanco hasta cuando se dispongan los repositorios)</u>				

INTRODUCCIÓN

Las actividades humanas se han convertido en el principal causante de las transformaciones ambientales y el crecimiento de las ciudades, las cuales representan uno de los principales responsables de la mayoría de esos cambios, entre ellos los que se refieren a cambios de usos del suelo (1).

El crecimiento urbano modifica y altera las áreas naturales y sus recursos, afectando a la población y a la sostenibilidad en general, lo que lo convierte actualmente en un indicador eficiente para analizar los cambios que sufre el suelo, los que se generan debido a los diferentes tipos de actividades que se realizan sobre el mismo, principalmente los asentamientos humanos que afectan de manera más significativa a este recurso.

Resulta evidente que en las últimas décadas surgieron grandes cambios en los esquemas de asentamiento de la población en el planeta. Lo primero que se advierte es que se trata de un fenómeno global, y por otra parte es un proceso sumamente acelerado y que al sostenerse en el tiempo termina por constituirse en un gigantismo urbano, megaciudades o ciudades millonarias, poniendo una mirada muy particular en los problemas que éstas generan (ambientales, sociales, económicos y energéticos, entre otros). Otra de las características que presenta la urbanización, es que no se desarrolla en forma equilibrada y homogénea en el territorio, sino que tiende a polarizarse en determinados espacios (2).

La mayoría de países de América Latina han experimentado, en las últimas cinco décadas, un proceso intenso de urbanización que ha modificado y complejizado el espacio urbano, ocasionando impactos significativos sobre el medio, porque afecta: 1) los procesos de intercambio de energía entre la superficie de la tierra y la atmósfera, 2) el sistema hidrológico superficial y subsuperficial, 3) la calidad del aire y agua, y 4) las condiciones meso y micro climáticas. Estos factores, que inciden en la calidad ambiental urbana y por tanto en el desarrollo social y económico de las ciudades, generalmente están asociados a la forma como los agentes sociales y sus actividades ocupan y utilizan el espacio, situación que crea nuevos retos para las autoridades y entidades de planificación urbana (3).

A nivel nacional la problemática de los asentamientos irregulares, es recurrente en las provincias con grandes ciudades, sobre todo aquellas con mayor densidad poblacional, y aunque su distribución está a lo largo y ancho de Ecuador, las provincias con mayor expansión urbana y cantidad de asentamientos irregulares son Guayas, El Oro, Santa Elena, Santo Domingo de los Tsáchilas, Pichincha, Loja, Esmeraldas y Sucumbíos (4).

Una de las herramientas que puede aportar a la solución de esta problemática es la diversidad de imágenes que se obtienen desde plataformas satelitales, las cuales nos permiten analizar el territorio desde una perspectiva cada vez más completa. La variedad de resoluciones espaciales hace posibles estudios a diferentes escalas, mientras que la información espectral posibilita la caracterización de espacios o unidades de paisaje. Todo ello, unido a la periodicidad de adquisición de las imágenes, hace que estas técnicas sean idóneas para seguir la evolución del territorio a lo largo del tiempo. Por otra parte, el alto ritmo de desarrollo urbanístico actual de las ciudades crea la necesidad de poner a punto técnicas y métodos para la actualización cartográfica de estos entornos tan dinámicos (5).

En ese sentido, el presente estudio consiste en la aplicación de índices derivados de las imágenes Landsat en detección de las áreas urbanas, con el fin de realizar un análisis de la dinámica de la expansión y crecimiento urbano y para la detección de cambios en los usos y cobertura del suelo en las diferentes áreas urbanas que conforman el cantón Durán, Provincia del Guayas.

CAPÍTULO I

CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.1. Planteamiento del problema

El crecimiento y expansión urbana se han desarrollado en las últimas décadas de manera muy acelerada en países de América Latina, entre los cuales se encuentra Ecuador. El país ha sido sometido a un desarrollo urbano desordenado y no sustentable, con carencias en las prestaciones de servicios básicos y con profundas inequidades territoriales causando impactos económicos, sociales y ambientales. Debido a esto se han generado ciudades inequitativas y excluyentes, resultado de la poca capacidad e interés de los municipios de regular, gestionar y planificar el suelo de los cantones de manera adecuada, y también de la poca cooperación entre los distintos actores que intervienen en el territorio.

1.1.2. Formulación del problema

En el cantón Durán el crecimiento urbano desorganizado es evidente y no ha sido abordado integralmente lo que provoca calidad de vida deficiente para sus habitantes y un impacto negativo para la ciudad, generando conflictos con la planificación territorial y consecuentemente para la calidad de vida de los habitantes.

1.1.3. Sistematización del problema

Tomando en cuenta la formulación del problema:

- ¿Es posible detectar las áreas urbanizadas a partir de las imágenes Landsat?
- ¿Cuál fue la extensión y distribución de las áreas urbanizadas en 1990 y 2015 en el cantón de Durán?
- De igual manera ¿cuáles son las tendencias de cambio de uso de suelo en el cantón Durán en el período 1990 – 2015 relacionados con el proceso de urbanización?

El presente estudio busca dar respuesta a dichas preguntas, mediante la identificación de las áreas urbanas existentes durante el período 1990 – 2015 en el cantón Durán, a través de un análisis multitemporal de imágenes satelitales, para determinar los cambios que han experimentado las áreas urbanas.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo General

Analizar el crecimiento urbano mediante la aplicación de índices espectrales derivados de imágenes Landsat en el cantón Durán, provincia del Guayas, en el período 1990 – 2015.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Evaluar los índices espectrales SAVI, MNDWI y NDBI derivados de imágenes Landsat para estimar los cambios en la expansión de suelo urbano en el cantón Durán, provincia del Guayas, en el período 1990 – 2015.
- Verificar los resultados obtenidos de los índices espectrales, relacionado con los cambios en la cobertura de suelo por incremento de áreas urbanas en el período establecido para el presente estudio.
- Identificar las tendencias espaciales del área de estudio por los cambios respecto al crecimiento urbano en el período establecido.

1.3. HIPÓTESIS

H0: La utilización de los índices espectrales SAVI, MNDWI y NDBI derivados de las imágenes Landsat no permiten detectar y diferenciar las áreas urbanizadas en el área de estudio.

H1: La utilización de los índices espectrales SAVI, MNDWI y NDBI derivados de las imágenes Landsat permiten detectar y diferenciar las áreas urbanizadas en el área de estudio.

1.4. JUSTIFICACIÓN

En este trabajo se propone la aplicación de índices espectrales derivados de imágenes satelitales Landsat con el fin de identificar las áreas urbanas y analizar patrones espacio-temporales en el uso de suelo relacionado con urbanización utilizando herramientas de SIG (Sistema de Información Geográfica) y teledetección en el cantón Durán en el período de estudio. En el análisis de las imágenes procesadas por el software de teledetección se aplican específicamente las funciones de álgebra de mapa. La aplicación completa de esta herramienta muestra las posibilidades que brinda la utilización de las técnicas cartográficas y de análisis en la identificación e interpretación de los cambios de zonas urbanas. Este tipo de metodología permite elaborar políticas de gestión más adecuadas para lograr el desarrollo urbano sostenible.

Las ciudades intermedias no solo deben ser estudiadas y analizadas por el crecimiento demográfico que han registrado en los últimos años, sino también por el rol y función que desempeñan en el desarrollo económico y social de un área pequeña de los territorios provinciales. Dentro de las transformaciones y cambios que se advierten en los espacios urbanos de las ciudades intermedias, se advierte la necesidad de desarrollar estrategias de desarrollo propias de estos asentamientos, entre las cuales se destacan las inversiones empresariales y de capital humano de origen local y/o regional y con el fin último de poder encaminar estrategias de desarrollo que mitiguen las problemáticas que acarrea el crecimiento urbano no planificado (2).

Estos cambios y sus consideraciones requieren la aplicación de técnicas que permitan monitorear y evaluar correctamente su evolución a lo largo del tiempo. El uso de la teledetección en estudios para monitorear el cambio de cobertura, producto de la expansión urbana, ha demostrado su potencial para proporcionar información espacial con niveles de precisión aceptables y con un gasto de tiempo relativamente corto (1).

Es por ello que realizar un estudio en este ámbito y con el uso de las herramientas cartográficas avanzadas constituye un aporte para la planificación y ordenamiento territorial eficiente y para la evaluación de riesgos de una ciudad.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. Ordenamiento territorial

El ordenamiento territorial es un proceso que involucra directamente a los grupos sociales, ya que es en el territorio donde tienen lugar sus actividades cotidianas, por tanto, ha estado presente en el devenir histórico de las sociedades.

En esencia, el ordenamiento debe concebirse como un instrumento para alcanzar mejores condiciones en la calidad de vida de las poblaciones y, por ende, como un instrumento para construir “un orden deseado”.

En la época actual, el ordenamiento como práctica de planificación territorial se ha transformado en una herramienta de carácter más complejo y tema de discusión internacional del cual han llegado una serie de influencias, como lo muestra, en la última década del siglo pasado, la Carta Europea (1984), cuya definición sobre el ordenamiento territorial se plantea en los siguientes términos: “El ordenamiento territorial es la expresión espacial de una política económica, social, cultural y ecológica de cualquier sociedad. Al mismo tiempo es una disciplina científica, un proceder administrativo y por ende una acción política. Actúa como una práctica interdisciplinaria en el orden científico, con base en una estrategia para un desarrollo y orden regional equilibrado”.

Desde el planteamiento anterior se concibe el ordenamiento como un ejercicio científico de carácter integral que contempla, además de una reflexión rigurosa sobre la dimensión económica, también su carácter diferencial dado por las características ecológicas del territorio y culturales de la población que lo ocupa y lo utiliza (6).

En América Latina el ordenamiento territorial ha evolucionado históricamente a la par de ciertas opciones de planificación, entre las que se destacan: la planificación regional, la planificación urbana, la planificación económica y la ambiental. Esta evolución se evidencia también en las propuestas de planificación que se han generado desde el Estado ecuatoriano. En esta evolución, el ordenamiento territorial se incorpora solamente en los últimos 15 años, primero como política pública y ahora como política de Estado.

En estos primeros intentos de incorporar al ordenamiento territorial dentro de la planificación estatal, se evidenciaron tres problemas críticos: primero, la separación entre objetivos de desarrollo y la realidad territorial; segundo, una desarticulación frente a objetivos de desarrollo de los distintos niveles de gobierno y sus respectivas circunscripciones

territoriales; tercero, una ausencia de una política nacional de ordenamiento territorial. El ordenamiento territorial como política de Estado es el resultado de lo que demanda la Constitución del 2008.

Desde el 2008, “la planificación garantizará el ordenamiento territorial y será obligatoria en todos los gobiernos autónomos descentralizados” (art. 24, Ecuador, 2008); el ordenamiento territorial se convierte en una política de Estado centralizada, pero jerarquizada con principios de complementariedad y subsidiariedad, en una visión multiescalar de gestión (7).

2.1.2. Uso de suelo

En ciencias sociales (geografía humana, antropología, economía agrícola) el uso de la “tierra” (término más utilizado en español, referido a land –es decir, terreno, y no a soil –es decir, suelo) es entendido como un conjunto de acciones humanas que denotan manejo. Cada acción de manejo es resultado de un contexto cultural consensuado entre los diversos grupos sociales (stakeholders) con jurisdicción sobre la “tierra” entendida como un capital o patrimonio. En general se diferencian dos tipos de ellos: el manejador de la tierra (land manager) y el gestor de la tierra (land policy maker). El manejador sigue o genera prácticas de manejo que con el tiempo se convierten en tradiciones, por ejemplo, el tiempo de descanso de una parcela. El gestor norma a través de acuerdos, reglas y leyes los usos como, por ejemplo, la utilización de agroquímicos para incrementar la producción anual. Cuando uno de los actores no sigue el consenso, se genera un conflicto sobre el uso de la “tierra” y dado que este término lleva implícita una connotación de tenencia, el manejo que prevalece se inclina a favor del grupo social que tiene derechos legales (land rightholders). Si partimos de lo anterior, el “cambio de uso del suelo” es una medida de la pérdida del balance existente entre intereses sociales para implementar una acción de manejo consensuada (e.g., agricultura de subsistencia versus agricultura comercial, policultivo versus monocultivo, urbano versus forestal). (8).

2.1.2.1. Cambios de usos de suelo

A nivel mundial, regional y local existen diversos factores que influyen en el cambio del uso del suelo, como los ambientales, demográficos, económicos y socioculturales, que en su conjunto llegan a provocar un deterioro ambiental y pérdida de la diversidad biológica. Las investigaciones de los procesos de cambio de uso del suelo (identificación y análisis de los factores e impactos en los ecosistemas), incluyen además de la caracterización y diagnóstico de las diversas cubiertas (naturales y artificiales), usos del suelo que comprenden un

determinado territorio. En la actualidad para este tipo de estudios se ha propuesto el uso de metodologías y procedimientos estadísticos innovadores, que se complementan con técnicas de trabajo de campo, así como el uso y aplicación de herramientas de los denominados sistemas de información geográfica y de cartografía automatizada.

Las diferentes formas en que se emplea un terreno y su cubierta vegetal se conocen como usos del suelo. Desde el punto de vista geográfico, los tipos de usos de suelo y su grado de explotación influyen en las variedades del paisaje y al modificarse ocasionan cambios en los usos del suelo; estos cambios se encuentran en el centro de la investigación ambiental actual, debido a las implicaciones que conllevan en relación con la pérdida de hábitat, biodiversidad, bienes y servicios ambientales y la capacidad productiva de los ecosistemas.

Existen diversos métodos y técnicas para el análisis de los procesos de cambio de uso del suelo. El procedimiento más confiable para medir el grado de conversión ambiental antropogénica es el estudio de la dinámica espacio-temporal de la cubierta vegetal o análisis del cambio de uso/ coberturas del suelo.

Es necesario aplicar políticas efectivas y eficientes para mantener en condiciones adecuadas los ambientes que actualmente están ocupados con bosques, cuerpos de agua y otras asociaciones de vegetación natural, pues de no aplicar las que son para el manejo sustentable de los recursos naturales, los territorios estarán sujetos a presiones ambientales que provocarán impactos asociados con el cambio climático y a las condiciones de vida de los habitantes que viven tanto en las zonas rurales como en las urbanas. Ante este panorama, es importante identificar y analizar los procesos de cambio de uso de suelo que ocurren al asociar los procesos que inciden en su ocupación actual (9).

Los estudios de cambio de uso de suelo y vegetación son el referente para conocer las trayectorias de distintos procesos asociados con la deforestación, degradación y perturbación de los bosques, erosión y desertificación del suelo, pérdida de la biodiversidad, entre otros. Estos procesos de transformación o cambio que experimentan las coberturas vegetales y usos del suelo de un determinado territorio o región, son considerados en muchos países como una de las principales causas que coadyuvan al deterioro ambiental, por ello están ubicados en el centro de la investigación ambiental. Es evidente que, durante las últimas décadas, las actividades antrópicas se han convertido en el principal desencadenador de las transformaciones de los ecosistemas terrestres, por encima de los fenómenos naturales (10).

2.1.2.2. Crecimiento urbano

La expansión urbana descontrolada es un fenómeno que afecta tanto a ciudades del primer mundo como a las ciudades de países en vías de desarrollo. La dispersión suburbana descontrolada, o urban sprawl en inglés, se caracteriza espacialmente por el crecimiento de la mancha urbana sobre las periferias de la ciudad.

Otra característica de la expansión urbana son las bajas densidades con las que se urbaniza. Existe evidencia de que, a nivel global, a pesar de los rápidos procesos de urbanización, el crecimiento urbano que se está dando en las ciudades cada vez es menos compacto, algo que se puede interpretar como desarrollo poco sustentable.

El proceso de conversión de las tierras de uso preferentemente natural o agrícola a usos residenciales o desarrollados se acelera en áreas urbanas con una expansión horizontal, principalmente en la periferia de las ciudades, siguiendo patrones basados en intereses privados o económicos, lo que generalmente soslaya aspectos sociales y culturales. Con este enfoque, el suelo y los demás recursos naturales son percibidos como mercancías susceptibles de ser vendidas u ofertadas al mejor costo de oportunidad a partir de las leyes de mercado (11).

El valor del suelo se incrementa en el interior de las ciudades, lo que limita a las personas de bajos ingresos la alternativa de obtener una vivienda propia; opta, entonces, por instalarse en la periferia, incluso fuera de las áreas definidas por los programas de ordenamiento territorial municipal: en ambientes carentes de servicios e infraestructura adecuada. Tal fenómeno aumenta la reducción del suelo natural ubicado en la periferia de las zonas urbanas por su escaso valor como mercancía para el sector inmobiliario, pese a constituirse como recurso de vital importancia para el ser humano (12).

Un estudio elaborado en el 2011 demuestra que en una muestra de 292 ciudades (distribuidas equitativamente alrededor del mundo con un área superior a los 100.000 km en extensión), a lo largo de las tres últimas décadas (1970-2000) las tasas de crecimiento de la mancha urbana fueron igual o mayor que la tasa de crecimiento poblacional. Esto quiere decir que a nivel mundial la ciudad y la ciudad región se está desarrollando siguiendo patrones de desarrollo de baja densidad (11).

Si se analiza el crecimiento de la mancha urbana y la tasa de crecimiento poblacional en el período 2001 – 2010 por escala de ciudades se puede concluir que las ciudades Metrópoli se están expandiendo de una manera descontrolada hacia las periferias y las ciudades grandes y medianas también se están expandiendo, pero a niveles menores. Por otra parte, las ciudades pequeñas también se están expandiendo, pero el crecimiento de la mancha urbana es menor que la tasa de crecimiento poblacional (11).

Se calcula que en la actualidad un 45% de la población mundial vive en ciudades y la proporción irá en aumento en los próximos años, de hecho, numerosos estudios hablan de que para este siglo la mitad de la población mundial será urbana. Para 2025, esta población se duplicará de 2.4 mil millones en 1995 a 5 mil millones, lo que significa el equivalente a un 86% de las personas que viven hoy en la tierra.

La ciudad se ha convertido en la protagonista de la actividad económica, en ella se efectúan las principales actividades financieras y comerciales. Las ciudades han sido el centro del crecimiento económico, progreso tecnológico y producción cultural. Pero su rápida expansión ha traído consigo aspectos negativos: las distintas formas de contaminación o el exagerado consumo de energía y otros recursos. Muchos de estos problemas no sólo afectan a la ciudad, sino también al campo y al mundo en general (13).

En términos generales, las consecuencias más notables de este fenómeno de desarrollo espacial son: la degradación ambiental debido a que zonas de reserva natural o zonas rurales son urbanizadas; pérdida de suelos agrícolas causado por la conversión de estos suelos a usos industriales, comerciales o residenciales; aumento de Gases de Efecto Invernadero (GEI), ya que para trasladarse desde y hacia estas periferias de la ciudad por lo general se requiere un vehículo privado de transporte. Adicionalmente, este fenómeno también tiene consecuencias sociales, en especial en países en vías de desarrollo, ya que para los estratos más pobres las periferias son las únicas zonas asequibles para su economía, sin embargo, estas zonas carecen de servicios públicos, equipamientos, sistemas de transporte público y muchas veces se encuentran en zonas de riesgos. “Para evitar un crecimiento desequilibrado, insalubre e insostenible de los asentamientos humanos es necesario fomentar pautas de uso de la tierra que minimicen la demanda de transporte, ahorren energía y protejan los espacios abiertos y las zonas verdes (11).

La necesidad de monitoreo frente a este fenómeno es sumamente importante para la gestión y planificación urbana.

2.1.3. Teledetección

La teledetección o detección a distancia se basa en el registro de la radiación electromagnética utilizando sensores remotos de diferentes tipos que no están en contacto físico con los objetos que emiten la energía (Cámaras fotográficas, escáner, sistemas de radar, etc.), y que son portados por diferentes vehículos de navegación aérea, unos ubicados en la atmósfera (Globos, aviones, helicópteros...) y otros fuera de la misma (Satélites, estaciones orbitales, naves espaciales...).

En el proceso de reconocimiento a distancia intervienen los siguientes componentes: La Energía, cuya fuente principal proviene del sol, si bien en la actualidad hay una cierta variedad de tipos de energía producida artificialmente en la tierra, sin que existan diferencias físicas significativas entre la energía natural y artificial; los elementos de la superficie terrestre (Suelo, agua, vegetación, construcciones...) y de la Atmósfera, a los que llega la energía y que la reflejan o absorben y emiten de acuerdo con sus características físicas; los sistemas sensores, instalados a bordo de los vehículos o plataformas aéreas, que captan la energía proveniente de la cobertura terrestre y la almacenan de diversas formas; finalmente, los sistemas de recepción de la información (14).

Todos los elementos de la Naturaleza tienen una respuesta espectral propia que se denomina *signatura espectral*. La Teledetección estudia las variaciones espectrales, espaciales y temporales de las ondas electromagnéticas, y pone de manifiesto las correlaciones existentes entre éstas y las características de los diferentes materiales terrestres. Su objetivo esencial se centra en la identificación de los materiales de la superficie terrestre y los fenómenos que en ella se operan a través de su *signatura espectral*.

La información se recoge desde plataformas de observación que pueden ser aéreas o espaciales, pues los datos adquiridos a partir de sistemas situados en la Tierra constituyen un estadio preparatorio de la Teledetección propiamente dicha, y se consideran como campañas de verdad terreno.

Las plataformas de observación portan los captores, es decir, aquellos instrumentos que son susceptibles de recibir y medir la intensidad de la radiación que procede del suelo en una cierta gama de longitudes de onda, y para transformarla en una señal que permita localizar, registrar y digitalizar la información en forma de fotografías o imágenes numéricas grabadas en cinta magnética compatibles con un ordenador (CCT) (15).

Una de las más populares y utilizadas actualmente en proyectos de investigación son las imágenes Landsat por el fácil y libre acceso a las mismas y la gran calidad de resolución y precisión que tienen.

Dentro de las opciones de las fuentes de información para la gestión urbana están los sensores remotos, los cuales son colocados a bordo de plataformas satelitales para que registren energía electromagnética emitida o reflejada por un objeto o superficie en distintas bandas del espectro electromagnético. En tal sentido se habla de dos tipos de clasificación:

Una primera clasificación de los sensores sería entre sensores activos (generan su propia radiación y la reciben rebotada) y sensores pasivos (reciben radiación emitida o reflejada por la Tierra).

Dentro de los sensores pasivos están los sensores fotográficos, óptico-electrónicos que combinan una óptica similar a la fotográfica y un sistema de detección electrónica (detectores de barrido y empuje), espectrómetros de imagen, y de antena (radiómetros de microondas).

Las técnicas más comúnmente usadas con estos fines han sido la interpretación visual de imágenes y la clasificación digital. En estos casos, hay, en general, una aproximación de “caja negra” en donde un atributo de la superficie terrestre (por ej. un tipo dado de cobertura) se relaciona con un comportamiento espectral determinado (valores de reflectancia o emisión de la superficie terrestre en distintas longitudes de onda) sin conocer los mecanismos del vínculo.

Las imágenes satelitales proveen entonces datos cuantitativos y espacialmente continuos de la superficie y, en tal sentido, son mucho más que una fotografía.

2.1.3.1. Imágenes Landsat

La constelación de satélites LANDSAT (LAND=tierra y SAT=satélite), que inicialmente se llamaron ERTS (Earth Resources Technology Satellites), fue la primera misión de los Estados Unidos para el monitoreo de los recursos terrestres. La forman 8 satélites de los cuales sólo se encuentran activos el 5 y el 8. Su mantenimiento y operación está a cargo de la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA) en tanto que la producción y comercialización de las imágenes depende del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) (16).

LANDSAT, primer satélite de recursos naturales lanzado por la NASA en julio del ya lejano 1972. Con posterioridad a este lanzamiento, fueron puestos en órbita los satélites LANDSAT 2 y LANDSAT 3, en enero de 1975 y marzo de 1978 respectivamente, con la finalidad de asegurar la recogida de datos para ulteriores estudios. Los satélites LANDSAT están situados en una órbita casi polar y sincrónica con el Sol, a 920 km de altura sobre la superficie de la Tierra. Tardan en efectuar una órbita completa 103 min, barren la superficie terrestre cada 18 días y obtienen información simultánea de zonas de la Tierra de 185 x 185 Km (aproximadamente 34 000 Km).

Los satélites LANDSAT están provistos de sensores remotos de varios tipos. El primero es el RBU (Return Beam Vidicon) que consiste esencialmente en un sistema de cámaras de televisión. El segundo sensor es un equipo de barrido multiespectral o MSS (Multiespectral Scanner) que registra la energía reflejada por la superficie terrestre en las regiones verde, roja e infrarroja del espectro electromagnético. La unidad elemental de información tiene una resolución espacial de 79 m.

Las señales analógicas registradas por los sensores se convierten a un formato digital y se transmiten a la Tierra. Los datos del LANDSAT se comercializan bien en forma de productos fotográficos, bien en forma de imágenes digitales grabadas en cintas magnéticas compatibles con ordenador (15).

A continuación, se presenta los rangos de resolución espacial y espectral de una imagen Landsat TM, ETM+ (17).

Tabla 1. Rangos del espectro electromagnético imágenes Landsat.

BANDA	Resolución Espacial		Resolución Espectral	
	Landsat 5	Landsat 8	Landsat 5	Landsat 8
	TM	ETM+	TM	ETM+
1 (Azul)	30 m	30 m	0.45-0.52 μm	0.45-0.52 μm
2 (Verde)	30 m	30 m	0.52-0.60 μm	0.52-0.61 μm
3 (Rojo)	30 m	30 m	0.63-0.69 μm	0.63-0.69 μm
4 (Infrarrojo Cercano)	30 m	30 m	0.76-0.90 μm	0.76-0.90 μm
5 (Infrarrojo Medio)	30 m	30 m	1.55-1.75 μm	1.55-1.75 μm
6 (Infrarrojo Térmico)	120 m	60 m	10.4-12.5 μm	10.4-12.5 μm
7 (Infrarrojo Medio)	30 m	30 m	2.08-2.35 μm	2.08-2.35 μm
8 (Pancromático)	30 m	15 m		0.52-0.90 μm

Fuente: (17).

2.1.3.2. Índices Espectrales

Para la extracción más completa de la información se recurre a los índices espectrales, los cuales han sido utilizados en el campo de los sensores remotos desde los inicios de esta tecnología como una forma indirecta de estimar variables biofísicas de los distintos tipos de coberturas existentes en una determinada área. Estos índices con base en datos captados por sensores remotos explotan el alto contraste entre diferentes bandas, para caracterizar y diferenciar un objeto terrestre de otro.

Los índices espectrales son las combinaciones de dos o más bandas que sirven para realzar espectralmente determinadas cubiertas permitiendo además la estimación de determinados parámetros biofísicos de las cubiertas de interés.

Desde un punto de vista teórico, un índice espectral es adecuado a un cambio físico de interés si existe una relación simple entre el cambio y la dirección de desplazamiento en el espacio espectral definido. Por lo tanto, la definición de un índice espectral eficaz se identifica con el grado de perpendicularidad entre el vector de cambio y las isolíneas definidas por el propio

índice sobre el espacio espectral utilizado en su formulación. Cuanto más se aproxime a dicha perpendicularidad, mayor será la consistencia teórica del índice desde una perspectiva multitemporal. Por lo tanto, una aproximación lógica al diseño de un índice espectral pasa por establecer cómo las propiedades de la cubierta de interés afectan a su comportamiento espectral y, posteriormente, definir una fórmula de tal modo que sus isolíneas sean ortogonales a los desplazamientos que marcan el cambio en esa región del espectro. Sin embargo, en la práctica este planteamiento no resulta tan sencillo, pues una serie de factores relacionados con la propia adquisición de los datos y con otros elementos externos afectan a las medidas de reflectividad propias de cada cubierta, y son considerados como ruido. Dichos factores de perturbación incluyen la contaminación atmosférica, las variaciones en la reflectividad bidireccional, cambios en las condiciones de observación y cambios espectrales en la superficie no relacionados con los parámetros de interés.

De acuerdo a estos planteamientos, el análisis de la perpendicularidad de las isolíneas que definen un índice espectral respecto a la dirección del desplazamiento del cambio que pretenden discriminar (en el espacio espectral correspondiente), servirá para determinar la capacidad teórica de dicho índice para la detección del cambio (18).

Los índices de vegetación intentan maximizar la contribución espectral de los cultivos y minimizar el efecto de reflectancia del suelo o de otros factores.

La mayoría de los índices se usan para calcular la cobertura vegetal (por ciento del suelo cubierto por las plantas en un área dada) o el índice de área foliar (IAF; superficie o área de follaje sobre un metro cuadrado de suelo) (19).

Los índices espectrales se basan en las diferencias de comportamiento espectral de las coberturas terrestres que es la base de teledetección.

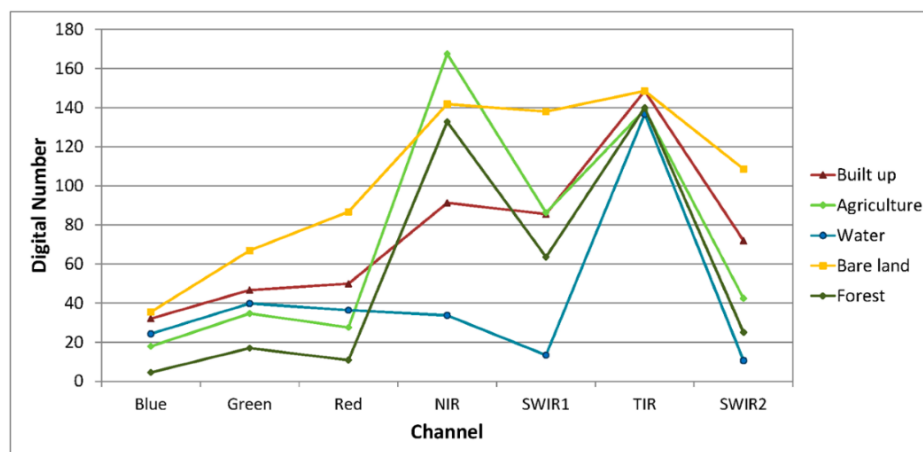


Gráfico 1. Perfiles espectrales de cinco clases de coberturas.

En el presente gráfico se muestran 5 clases de coberturas: áreas urbanas, agricultura (vegetación), agua, tierra desnuda y bosque, de los cuales tienen mayor reflectividad la vegetación y las áreas de tierras desnudas seguida de las áreas urbanas. Esto se logra identificar de una forma más clara gracias al uso de índices espectrales los que permiten resaltar más sus diferencias.

2.1.3.2.1. Índice de vegetación ajustado al suelo (SAVI)

El Índice de vegetación ajustado al suelo (SAVI) es un índice de vegetación que intenta minimizar las influencias del brillo del suelo utilizando un factor de corrección de brillo del suelo. Esto con frecuencia se utiliza en regiones áridas en donde la cubierta de vegetación es baja.

$$SAVI = ((NIR - Red) / (NIR + Red + L)) \times (1 + L)$$

- **NIR** = valores de píxel de la banda infrarroja cercana
- **Rojo** = valores de píxel de la banda roja cercana
- **L** = cantidad de cobertura de vegetación verde

NIR y rojo se refiere a las bandas asociadas con aquellas longitudes de onda. El valor L varía dependiendo de la cantidad de cubierta vegetativa verde. Generalmente, en áreas sin ninguna cubierta de vegetación verde $L=1$; en áreas de cubierta de vegetación verde moderada, $L=0,5$; y en áreas con cubierta de vegetación muy densa, $L=0$ (lo cual es equivalente al método NDVI). Este índice coloca los valores entre -1,0 y 1,0 (20).

2.1.3.2.2. Índice de agua de diferencia normalizada modificado (MNDWI)

El Índice de agua de diferencia normalizada modificado (MNDWI) utiliza las bandas verde y SWIR para realzar las entidades que se encuentran en mar abierto. También disminuye las entidades de área construidas que a menudo se correlacionan con el mar abierto en otros índices (21).

$$MNDWI = (Green - SWIR) / (Green + SWIR)$$

- Verde = valores de píxel de la banda verde
- SWIR = valores de píxel de la banda infrarroja de onda corta

2.1.3.2.3. Índice de áreas construidas de diferencia normalizada (NDBI)

El Índice de áreas construidas de diferencia normalizada (NDBI) utiliza las bandas NIR y SWIR para resaltar las áreas construidas por el hombre. Se basa en una relación para mitigar los efectos de las diferencias de iluminación del terreno, así como los efectos atmosféricos (22).

$$\text{NDBI} = (\text{SWIR} - \text{NIR}) / (\text{SWIR} + \text{NIR})$$

SWIR = valores de píxel de la banda infrarroja de onda corta

NIR = valores de píxel de la banda infrarroja cercana

2.1.4. Coberturas de la tierra

Se inicia con la clasificación, por categorías de uso de la tierra, de una parcela dentro de un espacio geográfico delimitado para el propósito de análisis, y la cual se obtiene a partir de la interpretación de información proveniente de los sensores remotos.

Las diferencias entre uso y cobertura son remarcadas en algunas publicaciones, por cuanto el tipo de ocupación de la superficie terrestre es interpretada de imágenes captadas por sensores remotos sobre la señal emitida por los objetos, la cual no siempre indica el uso al que se destinan los mismos. Por lo tanto, los límites de la cobertura no necesariamente coinciden con los del uso.

El uso del suelo de un área, así como sus cambios espaciotemporales en relación con las actividades humanas, es fundamental para entender y predecir la dinámica de los componentes del paisaje (17).

2.1.5. Métodos de clasificación

Se realizan esfuerzos para desarrollar métodos avanzados de clasificación y segmentación de imágenes y técnicas para mejorar la precisión, pero clasificar datos obtenidos por teledetección es un tema complejo. Esto se debe a que en una imagen de cobertura terrestre se deben considerar objetos con propiedades heterogéneas.

De acuerdo con el proceso de construcción, los métodos de clasificación de imágenes se dividen en dos grupos: supervisada y no supervisada (23).

2.1.5.1. Método de clasificación supervisada

La clasificación supervisada parte de un grupo de elementos pertenecientes a la imagen, conocidos como áreas de entrenamiento, de los que se conoce con un nivel de exactitud alto la clase a la que pertenecen. La clasificación del conjunto de la imagen es el proceso por el que a cada elemento contenido en la imagen se le asigna una categoría, basándose en los atributos contenidos en las áreas de entrenamiento. La clasificación supervisada fuerza el resultado para que se corresponda con coberturas del suelo definidas por el usuario, y, por tanto, de su interés, pero no garantiza que las clases sean separables desde el punto de vista estadístico (24).

La clasificación supervisada de imágenes de satélite con base en la aplicación del algoritmo máxima verosimilitud, o también conocido como máxima probabilidad considera los parámetros de clasificación previamente calculados (clasificador calibrado) para etiquetar cada píxel de la imagen en una de las clases definidas (25).

2.1.5.2. Método de clasificación no supervisada

El método de clasificación no supervisada no requiere conocimiento previo de la zona de estudio y desarrolla la clasificación en forma automática, aprovechando las características espectrales de la imagen para definir las agrupaciones con valores similares.

Los algoritmos de clasificación no supervisada se subdividen en dos grupos: con número de clases conocido y desconocido. El primer grupo incluye el método de las K-medias, el algoritmo de agrupamiento secuencial y el algoritmo ISODATA (23).

2.1.6. Validación de la clasificación

La evaluación de la confiabilidad de los mapas y de las bases digitales geográficas es un tema que está cobrando mucho interés; en gran medida, por el rápido desarrollo y aplicación de los SIG. Cuantificar la confiabilidad de un producto cartográfico, permite a los usuarios del mapa valorar su ajuste con la realidad y, así, asumir el riesgo de tomar decisiones con base en esta información cartográfica; además, ayuda también a conocer y modelar el error que resulte del cruce de varias capas con cierto grado de error en un SIG.

La evaluación de la confiabilidad temática consiste en comparar la información del mapa con información de referencia considerada muy confiable. Generalmente se basa en un muestreo de sitios de verificación, cuya clasificación se obtiene a partir de observaciones de

campo o del análisis de imágenes más detalladas (con mejor resolución), que aquellas utilizadas para generar el mapa. Por ejemplo, se utilizan fotografías aéreas para verificar mapas generados a partir de imágenes de satélite de alta resolución como Landsat o SPOT (26).

2.1.6.1. Matriz de confusión

La matriz de confusión, también llamada *tabla de contingencias*, consta de una tabla de doble entrada, que confronta los valores reales o *verdad-terreno* con los resultados de la clasificación. La diagonal de la matriz nos muestra la cantidad de píxeles reales y de la clasificación que coinciden por categoría, mientras que los restantes, nos vienen a decir aquellos que se confunden con otras categorías. Es decir, en sentido vertical se representa el porcentaje de píxeles reales que se confundieron en la verdad-terreno, y en sentido horizontal el porcentaje de píxeles después de la clasificación que se han confundido (24).

- **Errores de comisión**

Los errores de comisión representan la fracción de valores que se predijo que estaban en una clase pero que no pertenecen a esa clase. Son una medida de falsos positivos. Los errores de comisión se muestran en las filas de la matriz de confusión, excepto por los valores a lo largo de la diagonal.

- **Errores de omisión**

Los errores de omisión representan la fracción de valores que pertenecen a una clase pero que se predijo que estaban en una clase diferente. Son una medida de falsos negativos. Los errores de omisión se muestran en las columnas de la matriz de confusión, excepto por los valores a lo largo de la diagonal principal.

- **Exactitud del productor**

La precisión del productor es la probabilidad de que un valor en una clase dada se clasifique correctamente.

- **Exactitud del usuario**

La precisión del usuario es la probabilidad de que un valor que se predice que esté en una determinada clase realmente sea esa clase. La probabilidad se basa en la fracción de los valores predichos correctamente al número total de valores predichos en una clase (27).

2.1.6.2. Índice Kappa

El coeficiente kappa refleja la concordancia inter-observador y puede ser calculado en tablas de cualquier dimensión, siempre y cuando se contrasten dos observadores. El coeficiente kappa puede tomar valores entre -1 y +1. Mientras más cercano a +1, mayor es el grado de concordancia inter-observador, por el contrario, mientras más cercano a -1, mayor es el grado de discordancia inter-observador. Un valor de $\kappa = 0$ refleja que la concordancia observada es precisamente la que se espera a causa exclusivamente del azar (28).

2.1.7. Sistemas de Información Geográfica

Un SIG es una integración organizada de hardware, software y datos geográficos, diseñado para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas, la información geográficamente referenciada con el fin de solucionar dificultades complejas relacionadas con los procesos de planificación y gestión. Igualmente, se definen por los especialistas como un modelo de una parte de la realidad referido a un sistema de coordenadas terrestres, construido para satisfacer necesidades concretas de información. En el sentido más estricto, es cualquier sistema de información capaz de integrar, almacenar, editar, analizar, compartir y mostrar la información geográficamente referenciada. En un sentido más genérico, los SIG son herramientas que permiten a los usuarios crear consultas interactivas, analizar la información espacial, editar datos, mapas y presentar los resultados de todas estas operaciones. El SIG funciona como una base de datos con información geográfica (datos alfanuméricos) que se encuentra asociada por un identificador común con los objetos gráficos de un mapa digital. De esta forma, señalando un objeto, se conocen sus atributos e, inversamente, preguntando por un registro de la base de datos, se puede saber su localización en la cartografía (29).

Los sistemas de información geográfica (SIG), en muchas ocasiones combinados con los sistemas de procesamiento de datos de la teledetección, se han convertido en herramientas insustituibles en el análisis y gestión de problemáticas ambientales, donde los aspectos

espaciales son determinantes. En la frontera norte de México esto no es una excepción. Los SIG juegan un papel preponderante en la gestión ambiental y territorial.

Los SIG permiten la captura, almacenamiento, edición y análisis de datos geográficos, con objeto de generar información válida para la toma de decisiones. En los últimos años esta tecnología ha ido cobrando auge en cuestiones urbano-regionales, de desarrollo rural, de gestión costera, de redes de transporte, por citar las más relevantes (30).

2.2. Marco Referencial

2.2.1. Inequidad Urbana en Ecuador

La realidad de la mayoría de las ciudades ecuatorianas se puede resumir de la siguiente manera:

- Aproximadamente 2.8 millones de ciudadanos y ciudadanas del Ecuador están localizados en asentamientos precarios e irregulares
- Se calcula que hay un aproximado de 37064 hogares localizados en zonas de amenazas no mitigables, protegidas y/o declaradas no habitables.
- En la mayoría de ciudades del país hay escases de áreas verdes y de esparcimiento, ya que el Índice de Verde Urbano IVU es de 4.7 m² por habitante, muy por debajo de los índices internacionalmente recomendados.
- Existe escasez de suelo y oferta de vivienda asequible para la población más pobre del país, y predominan las prácticas especulativas en el mercado del suelo.
- El crecimiento urbano ha sido descontrolado y por fuera del límite urbano causando la una fragmentación social y territorial, y una gran presión antrópica sobre territorios ecológicamente sensibles y agro productivos.
- Los gobiernos municipales tienen una escasa capacidad fiscal de para movilizar recursos dirigidos a mejorar la dotación de servicios, reducir el déficit de vivienda formal, mejorar el transporte público y generar espacio público de calidad.

Es de esperar que esta situación se agudizará a futuro considerando los datos poblacionales, según los cuales el Ecuador está en pleno proceso de consolidarse como un país primordialmente urbano, con impactos fuertes en los patrones de producción y consumo, movilidad social, migración interna, formación de valores y apertura de perspectivas de desarrollo que motivan al ser humano como individuo y cohesionan la sociedad en la que vive (11).

Sin embargo, a pesar de las mejoras sociales alcanzadas en los últimos años, la configuración física de nuestras ciudades presenta condiciones habitacionales críticas y se caracteriza por un desarrollo urbano desigual e inequitativo entre los diferentes sectores urbanos, rasgos comunes a muchas áreas urbanizadas (31).

2.2.2. Extensión, configuración socio espacial y mercado de suelo urbano

La pobreza urbana y la inequidad socio espacial tienen una dimensión territorial. Esta refiere a mecanismos de exclusión que afectan a la población pobre. En términos de desarrollo urbano significan menores posibilidades de acceso al suelo (dado que se ubican en localizaciones periféricas donde los valores del suelo son menores, en muchos casos en áreas no urbanizables) y a los servicios urbanos (centralidad, transporte público, educación, salud, dado que estos espacios con bajos niveles de consolidación urbana no cuentan con el equipamiento y los servicios necesarios o su acceso en barrios más consolidados implica mayores costos en movilidad, así como tiempos de desplazamiento). En síntesis, el desigual acceso a la infraestructura y los servicios que presentan las áreas débilmente integradas a la estructura urbana, donde reside la población pobre, se traducen en un acceso desigual al mercado de trabajo y a las oportunidades de mejorar sus condiciones de vida.

Las características de configuración física derivadas del proceso de extensión urbana y las formas particulares de segregación observadas en las ciudades latinoamericanas se explican al analizar el proceso de ocupación y la localización de los nuevos desarrollos residenciales, que observan un proceso de crecimiento a saltos, en el que los sectores de más alto ingreso se expanden evitando la proximidad de áreas consolidadas por segmentos poblacionales más pobres y dejando espacios vacíos, para una posible ocupación en el futuro. La forma urbana es el resultado de un modelo de estratificación social basado en las posibilidades de localización que tienen los diferentes sectores de la demanda. El mercado de suelos excluye a los sectores de menores ingresos de las zonas con mejores condiciones urbanísticas en términos de infraestructura, accesibilidad y calidad ambiental (31).

2.2.3. La ciudad y el medio ambiente

Desde un punto de vista ambiental, las áreas urbanas son algo parecido a aspiradoras gigantes, que succionan gran parte de la materia, de la energía y de los recursos vivientes del mundo, y que expelen contaminación, residuos y calor. Como consecuencia de ello, tienen una gran huella ecológica⁴ que se extiende más allá de sus límites.

La influencia de las ciudades sobrepasa sus límites geográficos con impactos a escala regional y mundial mediante la demanda de recursos naturales, la generación de residuos y las emisiones al suelo, al agua y al aire. La huella ecológica de una ciudad puede ser más de cien veces superior al área que ocupa.

Las prisas, la emigración o la especulación han provocado la construcción urgente de nuevas zonas prescindiendo de cualquier intención estética, es decir, de una forma desorganizada y anárquica, sin una planificación previa. Territorios periurbanos han sido considerablemente transformados y la ciudad ha perdido sus límites tradicionales. Nos situamos ante un crecimiento urbano desordenado, discontinuo, de viviendas con un número limitado de hogares que desplazan a una edificación en altura y que suponen una mayor ocupación del territorio.

2.2.3.1. Ciudad vs. Medio Ambiente

Conscientes de las importantes transformaciones que ha podido suscitar tal crecimiento urbano, no es de extrañar que comiencen a surgir ciertas ideas sobre si la tendencia debería o no modificarse, sobre si podría a partir de ahora seguir unas pautas algo más adecuadas, hablando siempre en términos de sostenibilidad.

Lo cierto es que la naturaleza, por motivos prácticos o estéticos, ha estado de alguna forma presente en las ciudades a lo largo de toda su historia (huertos, jardines, patios...), pero es en momentos más recientes cuando se precisa integrarla en la ciudad, ir más allá de la creación de meros puntos verdes aislados en el mapa.

No deben considerarse ya los conceptos ciudad y medio ambiente, urbano y rural, como entes separados e incluso alejados, y he aquí la idea fundamental que pretende plasmarse en este punto. Ya no se trata de “el hombre contra la naturaleza”, el objetivo ahora no es el de luchar contra ella, conquistándola y usándola en propio provecho. Si bien es cierto que es por este motivo por el que surgió la idea de la ciudad, como lugar donde defendernos de lo desconocido, pero las circunstancias cambian y conducen hacia otras necesidades, y en la actualidad existe un deseo por relacionarse con el medio natural que no hay que obviar. No obstante, y pese ello parece aun dominar la tendencia por fijarse en lo urbanizado, lo construido, y no en lo demás. La ciudad, inmersa en un territorio con un espacio vital, una atmósfera, elementos con los que se relaciona, no la constituyen sólo los edificios. Personas, edificios y medio ambiente deben considerarse de forma conjunta para un desarrollo más armonioso.

Se trataría de una visión integradora del paisaje, de tener en cuenta el valor territorial del mismo y las aportaciones de la multifuncionalidad. No se habla de paisaje como la visión de un lugar bello, como una entidad únicamente perceptiva, sino como elemento fundamental

del entorno humano, como expresión de la diversidad de su patrimonio común, natural y cultural, y como fundamento de su identidad. Es aquí donde las aportaciones de la ecología del paisaje juegan un papel clave, reivindicando el componente funcional del paisaje y analizando las relaciones recíprocas entre sus patrones espaciotemporales y los procesos que tienen lugar en él.

Partiendo del supuesto de que la ciudad considerada de forma aislada de su territorio es totalmente insostenible, existen numerosas intervenciones por parte de organismos como la Organización de las Naciones Unidas que recalcan dicha idea. Una de ellas tuvo lugar el 4 de octubre de 2004, cuando con motivo del Día Mundial del Hábitat, la ONU puso sobre la mesa el tema correspondiente a dicho año: Ciudades, motores para el desarrollo rural. Este tema se escogió para recordar a los responsables de formular las políticas orientadas al desarrollo que no deben pensar en lo urbano y en lo rural como entidades separadas. Las ciudades y el campo deben ser considerados como partes de un todo social y económico.

Pero la humanidad no ha tenido muchas veces en cuenta la relación entre factor construido y factor natural y, por motivos económicos o simplemente de inconsciencia, ha tratado más bien de desafiar a la naturaleza: se ha urbanizado el cauce de ríos, construido zonas de alto riesgo sísmico, volcánico. Pero el costo que se ha de asumir parece hacerse insoportable.

Se trataría de empezar una nueva relación, una relación más respetuosa entre la ciudad y el medio ambiente, valorando la repercusión que las actividades urbanas tienen sobre el entorno, no sólo inmediato. Al fin y al cabo, la calidad ambiental de una ciudad depende en gran parte de la relación entre procesos urbanos y procesos naturales (13).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Localización del área de estudio

El cantón Durán pertenece a la provincia del Guayas, está situado al margen oriental del Río Guayas, y su cabecera cantonal es la parroquia Eloy Alfaro, su jurisdicción político administrativa, comprende la parroquia Eloy Alfaro y la Isla Santay. Está situada frente a Guayaquil, capital provincial, a la que está unida por el puente de la Unidad Nacional. Durán posee un área de 311.68 km², de los cuales 58.6 Km² corresponden a la zona urbana que constituye el 27.83% y 253.08 Km² en la zona rural que constituye el 72.17% del territorio siendo el predominante. Está a 11 m.s.n.m., su temperatura promedio es de 25°C y su precipitación promedio anual es de 500 a 1000 mm. La parte oriental del cantón Durán está recorrida por el río Guayas, situándose al frente de la isla Santay; por la parte suroeste se encuentra una pequeña cadena de elevaciones, donde se destaca el Cerro de las Cabras, con una altura de 88 m.s.n.m. Tiene 235769 habitantes y su fecha de Cantonización fue el 10 de enero de 1986.

El cantón Durán se encuentra al margen este del río Guayas y limita al norte con el río Babahoyo, al sur con el cantón Naranjal, al este con el cantón Yaguachi y al oeste con el río Babahoyo.

En lo que concierne a las actividades económicas del cantón, Durán posee como fuente de producción económica el aporte que generan, las fábricas, las industrias, el comercio mayorista y el turismo (4).

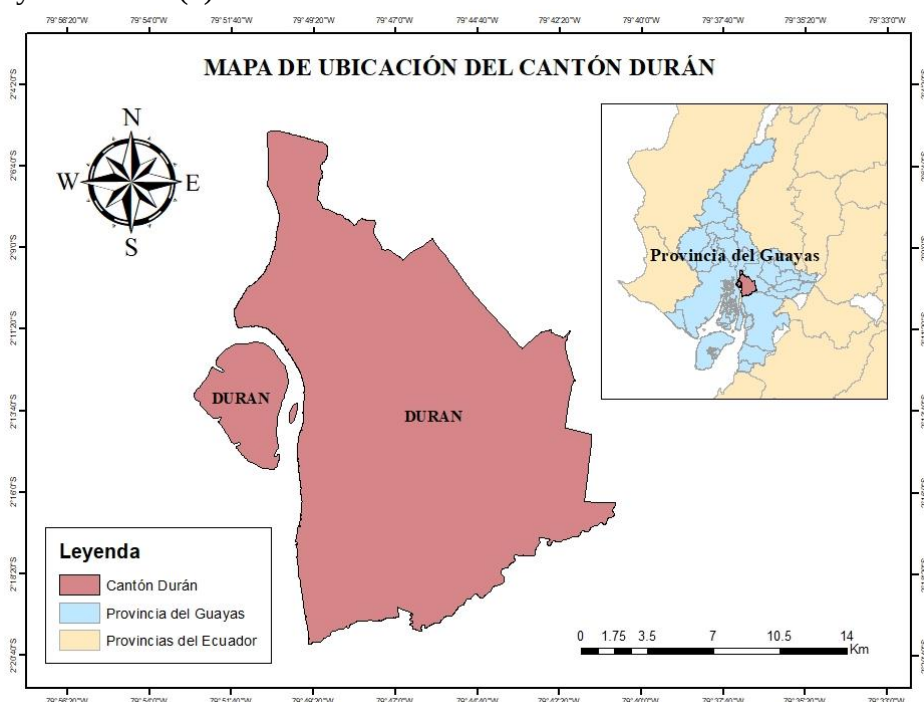


Gráfico 2. Mapa de localización del área de estudio.

3.2. Tipo de investigación

3.2.1. Diagnóstica

La investigación es de tipo diagnóstica ya que permite a través del análisis multitemporal conocer las tendencias de urbanización en el área de estudio en el período analizado.

3.2.2. Exploratoria

Esta investigación es del tipo exploratorio ya que existen pocos antecedentes de este tipo de estudios en el cantón Durán, y no se han realizado investigaciones acerca del crecimiento urbano a través del tiempo y su análisis a través de imágenes Landsat. Por ende, el presente trabajo podría utilizarse como guía para llevar a cabo futuras investigaciones en este ámbito.

3.3. Métodos de investigación

3.3.1. Método de observación

En el presente estudio se aplicó el método de observación para tomar las coordenadas y comprobar los tipos de cobertura en el área de estudio, las cuales se emplearon para el desarrollo de la investigación.

3.3.2. Método analítico

Se aplicó este método debido a que se realizó un análisis multitemporal entre las dos imágenes satelitales del área de estudio en 1990 y 2015, las cuales permitieron evaluar los cambios en las coberturas utilizadas, especialmente en la de áreas urbanas.

3.4. Fuentes de información

3.4.1. Fuentes primarias

Para llevar a cabo el trabajo se realizó la fase de campo como parte esencial de la investigación y a través de la observación directa se identificaron las diferentes coberturas existentes y se tomaron coordenadas en el área de estudio.

3.4.2. Fuentes secundarias

Se obtuvo la información a partir de las bases de datos externos: cartografía de IGM, Sistema Nacional de Información, INEC, etc., y de textos relacionados a la presente investigación tales como: artículos científicos, tesis de pregrado, tesis de maestría, etc., los mismos que

ayudaron al desarrollo de la argumentación teórica y referencial, así como a la posterior comparación con los resultados obtenidos.

3.5. Diseño de la investigación

El diseño de investigación utilizado en el presente estudio fue el no experimental, ya que se realizó una visita al área de estudio con el fin de observar directamente los tipos de coberturas (área urbana, vegetación y agua) tomadas en cuenta para el desarrollo de este trabajo y para tomar las coordenadas al azar de cada una de ellas. Se tomaron 10 coordenadas en cada una de las coberturas descritas, las cuales se utilizaron posteriormente para comprobar la precisión de los puntos de entrenamiento tomados en Google Earth.

3.6. Instrumentos de investigación

La investigación partió de la selección de las imágenes satelitales Landsat del área de estudio, tanto para el año 1990 (Landsat 5) como para el 2015 (Landsat 8) de la página web del Departamento Geológico de los Estados Unidos de Norte América, U.S. Geological Survey (USGS), Earth Resources Observation and Science (EROS) Center, Global Visualization Viewer, y para el procesamiento de las mismas se utilizó el software ENVI 4.7. el cual permitió realizar la combinación de bandas y realizar el cálculo de los índices espectrales SAVI, MNDWI y NDBI. También, se seleccionaron puntos de entrenamiento (regiones de interés) en Google Earth para la posterior clasificación de las imágenes procesadas en el programa ENVI.

Con los resultados de la clasificación (imágenes satelitales clasificadas), se empleó el software ArcGis 10.4.1 para la obtención de datos espaciales respecto a las coberturas.

Se empleo un GPS Garmin para tomar las coordenadas en el área de estudio, las cuales sirvieron para evaluar la precisión de los puntos seleccionados previamente en Google Earth.

3.7. Tratamiento de los datos

A partir de la clasificación en ENVI y diferentes procesos en ArcGis se obtuvieron diferentes datos espaciales los cuales fueron sometidos al análisis estadístico ANOVA en el programa Excel 2016, donde se confirmó si existían diferencias en patrones de distribución de los valores de los diferentes índices analizados. Los datos espaciales también se utilizaron para crear la tabla de confusión y calcular el coeficiente Kappa para obtener el porcentaje de concordancia entre las imágenes satelitales y las coberturas reales.

3.8. Materiales y equipos

3.8.1. Imágenes satelitales

- Imagen LANDSAT 5 en formato comprimido con referencia LT050100621990030201T1-SC20180612204720, de la página web del Departamento Geológico de los Estados Unidos de Norte América, U.S. Geological Survey USGS, Earth Resources Observation and Science (EROS) Center, Global Visualization Viewer, <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- Imagen LANDSAT 8 en formato comprimido con referencia LC080110612015012501T1-SC20180614232935, de la página web del Departamento Geológico de los Estados Unidos de Norte América, U.S. Geological Survey USGS, Earth Resources Observation and Science (EROS) Center, Global Visualization Viewer, <https://earthexplorer.usgs.gov/>

3.8.2. Software

- Software ENVI 4.7 que se utilizó para el procesamiento de las imágenes satelitales.
- Software ArcGis 10.4.1. se utilizó para las distintas presentaciones de los resultados y conversiones de archivo; ya que es un completo sistema informático que posee herramientas avanzadas de análisis espacial, y tratamiento de datos.
- Software Google Earth PRO que se utilizó para la identificación de las coberturas en el área de estudio.

3.8.3. Equipos

- Geoposicionador espacial. GPS Garmin GPSMAP64.

3.9. Metodología

En este trabajo se propuso una metodología basada en técnicas de procesamiento digital de imágenes para la detección o identificación de cambios en áreas urbanas y su aplicación en el cantón Durán, incluyendo un procedimiento de selección de imágenes satelitales para de esta manera generar coberturas de los cambios por crecimiento urbano en el área de estudio y generar el análisis multitemporal en el período 1990 – 2015.

Objetivo 1. Evaluación de los índices espectrales SAVI, MNDWI y NDBI derivados de imágenes Landsat para estimar los cambios en la expansión de suelo urbano en el cantón Durán, provincia del Guayas, en el período 1990 – 2015.

- Obtención de imágenes satelitales LANDSAT 5 y LANDSAT 8: se realizó la interpretación visual de las imágenes satelitales de los años 1990 (Landsat 5) y 2015 (Landsat 8) las cuales se bajaron por separado de la página web del Departamento Geológico de los Estados Unidos de Norte América, U.S. Geological Survey (USGS), con el fin de evidenciar un significativo aumento de superficie ocupada por el uso urbano entre estos años.
- Se realizó el pre procesamiento de imágenes satelitales LANDSAT mediante el programa ENVI 4.7. para llevar a cabo la combinación de bandas (stacking): Ambas imágenes tanto para el año 1990 como para el 2015 fueron sometidas al proceso de stacking en el software ENVI 4.7, es decir, a la combinación de bandas de falso color, en la que se utilizó las bandas 3, 5 y 7 con los colores rojo(R), verde (G) y azul (B) respectivamente. Esta combinación se empleó para la clasificación y el posterior análisis de cambio de cobertura por crecimiento urbano en el período establecido.
- Se recortó el área de estudio en las imágenes procesadas (stacks) tanto del año 1990 como del año 2015, mediante software ArcGis 10.4.1.
- Se calcularon los 3 índices MNDWI, NDBI y SAVI tanto para la imagen satelital Landsat del año 1990, como para la del año 2015, con el fin de llevar a cabo la generación de mapas y se pueda realizar la estimación e identificación de las áreas con superficies de áreas urbanizadas, vegetación y agua.

Para imágenes satelitales LANDSAT 5 estas son las fórmulas a aplicar:

✓ **SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index)**

El Índice de vegetación ajustado al suelo (SAVI) es un índice de vegetación que intenta minimizar las influencias del brillo del suelo utilizando un factor de corrección de brillo del suelo. Esto con frecuencia se utiliza en regiones áridas en donde la cubierta de vegetación es baja (20).

El Índice de vegetación ajustado al suelo se calcula mediante la siguiente expresión:

$$SAVI = \frac{(IR - R)}{(IR + R + L)(1 + L)}$$

Donde:

IR = reflectancia corregida atmosféricamente correspondiente al infrarrojo cercano (Banda 4).

R = reflectancia corregida atmosféricamente correspondiente al rojo (Banda 3).

L = es un parámetro que varía según la densidad de la vegetación, para densidades intermedias, como en el caso de las imágenes de satélite, se toma 0,5 (32).

Reemplazando variables se representa de la siguiente manera:

$$SAVI = \frac{(Banda\ 4 - Banda\ 3)}{(Banda\ 4 + Banda\ 3 + 0,5) * (1,5)}$$

✓ **MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index)**

El Índice de agua de diferencia normalizada modificado (MNDWI) utiliza las bandas verde y NIR para realzar las entidades que se encuentran en mar abierto. También disminuye las entidades de área construidas que a menudo se correlacionan con el mar abierto en otros índices (21).

$$MNDWI = \frac{(Green - NIR)}{(Green + NIR)}$$

Donde:

Green (Verde) = valores de píxel de la banda verde (Banda 2).

NIR = valores de píxel de la banda infrarroja cercana (Banda 4).

Reemplazando variables se representa de la siguiente manera:

$$MNDWI = \frac{(Banda\ 2 - Banda\ 4)}{(Banda\ 2 + Banda\ 4)}$$

✓ **NDBI (Normalized Difference Built Up Index)**

El Índice de áreas construidas de diferencia normalizada (NDBI) utiliza las bandas NIR y SWIR para resaltar las áreas construidas por el hombre. Se basa en una relación para mitigar los efectos de las diferencias de iluminación del terreno, así como los efectos atmosféricos (22).

$$NDBI = \frac{(SWIR - NIR)}{(SWIR + NIR)}$$

Donde:

SWIR = valores de píxel de la banda infrarroja de onda corta (Banda 5).

NIR = valores de píxel de la banda infrarroja cercana (Banda 4).

Reemplazando variables se representa de la siguiente manera:

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

Para imágenes satelitales LANDSAT 8 estas son las fórmulas a aplicar:

✓ **SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index)**

$$SAVI = \frac{(IR - R)}{(IR + R + L)(1 + L)}$$

Reemplazando variables se representa de la siguiente manera:

$$SAVI = \frac{(Banda\ 5 - Banda\ 4)}{(Banda\ 5 + Banda\ 4 + 0,5) * 1,5}$$

✓ **MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index)**

$$MNDWI = \frac{(Green - SWIR)}{(Green + SWIR)}$$

Reemplazando variables se representa de la siguiente manera:

$$MNDWI = \frac{(Banda\ 3 - Banda\ 6)}{(Banda\ 3 + Banda\ 6)}$$

✓ **NDBI (Normalized Difference Built Up Index)**

$$NDBI = \frac{(SWIR - NIR)}{(SWIR + NIR)}$$

Reemplazando variables se representa de la siguiente manera:

$$NDBI = \frac{(Banda\ 6 - Banda\ 5)}{(Banda\ 6 + Banda\ 5)}$$

- Selección de píxeles de entrenamiento (regiones de interés) de cambios en el suelo por crecimiento urbano para la clasificación, los cuales fueron buscados previamente en Google Earth.
- Mediante el programa ENVI 4.7. se realizó la clasificación supervisada (Maximum likelihood) para lo cual se tomaron las imágenes procesadas donde las 3 bandas seleccionadas fueron 3(Rojo), 5(Infrarrojo Medio), 7(Infrarrojo Medio) las mismas que corresponden a diferentes índices.

Objetivo 2. Verificación de los resultados obtenidos de los índices espectrales, relacionado con los cambios en la cobertura de suelo por incremento de áreas urbanas en el período establecido para el presente estudio.

- Se procedió a la verificación de los resultados de clasificación basándose mediante la comparación de una muestra estadística representativa de píxeles clasificados como urbanizados con coberturas reales del área de estudio que se muestran en el programa Google Earth.

Objetivo 3. Identificar las tendencias espaciales del área de estudio por los cambios respecto al crecimiento urbano en el período establecido.

- Se aplicaron las funciones SIG de análisis espacial (álgebra de mapas) para detectar las diferencias y después realizar la comparación de las imágenes clasificadas correspondientes a 1990 y 2015.
- Se aplicó el análisis estadístico de varianza (ANOVA) para confirmar si existen las diferencias en patrones de distribución utilizando los valores de los puntos de validación de las imágenes compuestas por las bandas resultantes de los 3 diferentes índices calculados. Para llevar a cabo el análisis de la varianza se tomaron todos los valores generados de cada uno de los índices espectrales tanto para la imagen del año 1990 como para la imagen del 2015.
- Se realizó la matriz de confusión para comparar los resultados de la clasificación y la naturaleza real de los píxeles, es decir las coberturas reales que se muestran en Google Earth. En una matriz de confusión ENVI, las columnas representan clases verdaderas, mientras que las filas representan las predicciones del clasificador. La matriz es cuadrada, con todas las clasificaciones correctas a lo largo de la diagonal superior izquierda a inferior derecha (27).

Al final de la matriz de confusión se calcula:

- ✓ **Errores de omisión**, que se definen como la fracción de valores que pertenecen a una clase pero que se predijo que estaban en una clase diferente. Los errores de omisión representan falsos negativos. Los errores de omisión se muestran en las columnas de la matriz de confusión, excepto por los valores a lo largo de la diagonal principal, y se lo calcula realizando la suma de estos valores y luego dividiendo este resultado para el total de la columna.

- ✓ **Error de comisión**, que se define como la fracción de valores que se predijo que estaban en una clase pero que no pertenecen a esa clase. Los errores de comisión representan falsos positivos. Los errores de comisión se muestran en las filas de la matriz de confusión, excepto los valores a lo largo de la diagonal, y se lo calcula realizando la suma de estos valores y luego dividiendo este resultado para el total de la fila.
 - ✓ **La precisión general**, que se calcula sumando el número de valores clasificados correctamente y dividiendo por el número total de valores. Los valores clasificados correctamente se encuentran a lo largo de la diagonal superior izquierda a inferior derecha de la matriz de confusión. El número total de valores es el número de valores en las matrices de verdad o valor predicho (27).
- Se calculó el coeficiente Kappa para medir los porcentajes de error en la variabilidad y el porcentaje de concordancia entre las coberturas reales y las coberturas que se muestran en las imágenes clasificadas, mediante la siguiente formula:

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^n m_{i,i} - \sum_{i=1}^n (G_i C_i)}{N^2 - \sum_{i=1}^n (G_i C_i)}$$

Dónde:

- **i** es el número de clase
- **n** es el número total de valores clasificados en comparación con los valores de verdad
- **m_{i, i}** es el número de valores pertenecientes a la clase de verdad i que también se han clasificado como clase i (es decir, valores que se encuentran a lo largo de la diagonal de la matriz de confusión)
- **C_i** es el número total de valores predichos que pertenecen a la clase i
- **G_i** es el número total de valores de verdad que pertenecen a la clase i (27).

El coeficiente Kappa mide la concordancia entre la clasificación y los datos reales. Este estadístico es una medida de la diferencia entre la exactitud lograda en la clasificación con un clasificador automático y la probabilidad de lograr una clasificación correcta con un clasificador aleatorio (33).

Tabla 2. Valoración del Índice Kappa.

Valoración del Índice Kappa	
Valor de K	Fuerza de la concordancia
<0.20	Pobre
0.21 – 0.40	Débil
0.41 – 0.60	Moderada
0.61 – 0.80	Buena
0.81 – 1.00	Muy buena

Fuente: (34).

En la presente tabla se muestran los niveles de fuerza de concordancia (entre los datos clasificados y los datos reales) según los valores que puedan resultar del cálculo desde el valor más pobre hasta el más aceptable.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

En este capítulo se describen los resultados obtenidos en el presente proyecto de investigación, mediante la metodología aplicada la cual tenía como objetivo identificar las tendencias de cambios respecto al crecimiento urbano del Cantón Durán en un período de 25 años, comprendidos entre el año 1990 y 2015.

4.1.1. Área de estudio

Se determinó el área de estudio (Cantón Durán) en función de la disponibilidad de imágenes satelitales que presentaran un porcentaje mínimo de nubosidad para una mejor visualización de las coberturas de interés y la obtención de mejores resultados en la clasificación.

4.1.2. Imágenes satelitales seleccionadas

Las imágenes satelitales seleccionadas para el área de estudio pertenecen a la plataforma LANDSAT, y fueron descargadas gratuitamente a través de la página web del Departamento Geológico de los Estados Unidos de Norte América, U.S. Geological Survey USGS, Earth Resources Observation and Science (EROS) Center, Global Visualization Viewer, <https://earthexplorer.usgs.gov/>, cuyo nivel de procesamiento incluye corrección geométrica, calibración radiométrica y corrección topográfica. Se identificó previamente que no presentaran nubes sobre la zona de interés para realizar una clasificación correcta y de esta manera determinar eficientemente los cambios respecto a la expansión urbana en el área de estudio. Se presentan las imágenes recortadas sobre el área de estudio (Gráfico 3 y 4).



Gráfico 3. Imagen satelital Landsat 5 del año 1990.



Gráfico 4. Imagen satelital Landsat 8 del año 2015.

En la tabla 3, se presentan los parámetros de las imágenes satelitales empleadas en el presente estudio.

Tabla 3. Información de las imágenes utilizadas de los años 1990 y 2015.

Satélite	Bandas	Código	Fecha
Landsat 5	6	ID: LT050100621990030201T1- SC20180612204720	02/03/1990
Landsat 8	7	ID: LC080110612015012501T1- SC20180614232935	25/01/2015

Especificando la información categorizada por cada imagen se realizó el cálculo de índices espectrales y la posterior clasificación para el análisis de dinámica de cambios respecto al crecimiento urbano.

4.1.3. Procesamiento de las imágenes

A través del proceso de stacking (combinación de bandas) en ENVI 4.7 se obtuvieron los siguientes mapas (Gráfico 5 y 6) donde se observan las áreas urbanas y los otros tipos de cobertura de forma más visible.

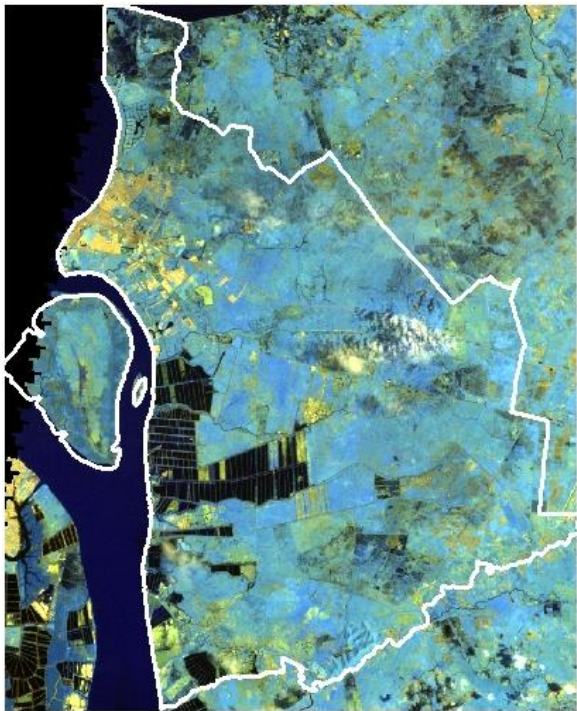


Gráfico 5. Imagen Landsat 5 del año 1990 con combinación de bandas 3, 5 y 7.



Gráfico 6. Imagen Landsat 8 del año 2015 con combinación de bandas 3, 5 y 7.

4.1.4. Índices espectrales

4.1.4.1. Índice de diferencia de agua normalizado modificado (MNDWI)

Mediante el cálculo del MNDWI (índice de diferencia de agua normalizado modificado), se discriminó cuerpos de agua que se encuentran cercanos a mar abierto y utiliza las bandas verdes (banda 2) y NIR (banda 4) para realzar dichos cuerpos de agua en Landsat 5, y las bandas verdes (banda 3) y SWIR (banda 6) en Landsat 8, pudiendo discriminar estas zonas respecto al resto del territorio y establecer una comparación entre una fecha y otra respecto a la presencia de agua en el área de estudio.



Gráfico 7. Índice de diferencia de agua normalizado modificado MNDWI a partir de la imagen Landsat 5, año 1990.



Gráfico 8. Índice de diferencia de agua normalizado modificado MNDWI a partir de la imagen Landsat 8, año 2015.

4.1.4.2. Índice de áreas construidas de diferencia normalizada (NDBI)

Con la ayuda de la aplicación de este índice, el cual es el principal en el presente estudio, se identificaron las superficies urbanizadas o en desarrollo de construcción ayudando a diferenciarlas del resto del territorio el cual se compone de las zonas con vegetación o áreas desnudas, para ambas fechas. Este índice utiliza la banda (SWIR) infrarroja de onda corta (banda 5) y la banda (NIR) infrarroja cercana (banda 4) para la imagen de Landsat 5 y utiliza

las bandas 5 y 6 para la imagen Landsat 8, facilitando la comparación temporal y el análisis de expansión urbana del cantón Durán.



Gráfico 9. Índice de áreas construidas de diferencia normalizada (NDBI) a partir de la imagen Landsat 5, año 1990.



Gráfico 10. Índice de áreas construidas de diferencia normalizada (NDBI) a partir de la imagen Landsat 8, año 2015.

4.1.4.3. Índice de vegetación ajustado al suelo (SAVI)

El cálculo del índice SAVI para la imagen Landsat 5 requiere de la banda NIR (banda 4) y la banda R (banda 3) y un factor de corrección de brillo del suelo (L) igual a 0,5 para que se discriminen las superficies cubiertas de vegetación de una manera más eficiente y no se confundan con el suelo. El valor de L puede variar, pero debido a que el área de estudio es una zona donde la densidad de vegetación es intermedia y baja en ciertas partes se utilizó este valor. Para la imagen Landsat 8 este índice emplea la banda 5, la banda 4 y el mismo parámetro de corrección.



Gráfico 11. Índice de vegetación ajustado al suelo SAVI, a partir de la imagen Landsat 5, año 1990.



Gráfico 12. Índice de vegetación ajustado al suelo SAVI, a partir de la imagen Landsat 8, año 2015.

Los mapas resultados de los 3 índices calculados para cada una de las imágenes satelitales fueron sobrepuestos en una sola imagen sin ningún orden específico, como combinación de 3 bandas, procedimiento que se realizó utilizando la opción Layer Stacking en el software ENVI, generando una imagen de falso color o RGB (Red, Green y Blue) con el fin de resaltar la información de las coberturas de interés en función de los colores resultantes.

Se realizó la combinación de los índices, donde cada una de las capas corresponde a cada uno de los índices calculados, los cuales muestran de una forma más visible las diferencias entre las coberturas existentes, para cada una de las fechas. Estas imágenes sirvieron para el posterior proceso de clasificación.

4.1.5. Clasificación supervisada

4.1.5.1. Selección de áreas de entrenamiento

Para la selección de áreas de entrenamiento en primera instancia se tomaron al azar puntos en Google Earth, como muestras representativas de las distintas coberturas de interés, para realizar la clasificación de las imágenes de los años 1990 y 2015 generando una base para una posterior comparación para validar la clasificación.

Se determinaron 3 clases de cobertura para el presente estudio: área urbana, vegetación y agua para las cuales se seleccionaron puntos al azar tanto de imágenes de Google Earth del año 1990 como del año 2015.

4.1.5.1.1. Coordenadas de coberturas del cantón Durán tomadas de imagen Google Earth 1990 para imagen Landsat 5.

Estos puntos de entrenamiento tomados en Google Earth se utilizaron como regiones de interés (ROIs en ENVI) para la determinación de la similitud que poseen estas coberturas con las de la imagen Landsat del año 1990, que se determinaron en el proceso previo a la clasificación.

4.1.5.1.2. Coordenadas de coberturas del cantón Durán tomadas de imagen Google Earth 2015 para imagen Landsat 8.

Con estos puntos de entrenamiento se realizó el mismo proceso anterior, sino que para el año 2015 donde se determinó de la misma manera la similitud que poseen estas coberturas con las de la imagen Landsat del año 2015.

Este procedimiento de evaluación reveló una adecuada separación espectral para todos los tipos de coberturas, lo que se traduce en una buena identificación de las mismas en todas las bandas tanto de la imagen Landsat 5 como de la imagen Landsat 8, que se utilizaron para generar la clasificación supervisada.

A pesar de haber obtenido estos resultados se realizó una visita al área de estudio con el objetivo de identificar las coberturas de suelo y corroborar la información anterior tomada de Google Earth, para esto se tomaron varias coordenadas al azar de las diferentes coberturas que se emplearon en este estudio.

A continuación, se presenta la tabla de coordenadas tomadas en la fase de campo:

Tabla 4. Coordenadas tomadas en el área de estudio.

Cobertura	Coordenadas	
	Latitud	Longitud
Área urbana	0629429 m E	9760520 m S
	0629373 m E	9760553 m S
	0629767 m E	9761130 m S
	0630569 m E	9762022 m S

	0631009 m E	9762354 m S
	0629834 m E	9762324 m S
	0628767 m E	9761482 m S
	0628155 m E	9760429 m S
	0628981 m E	9760435 m S
	0629420 m E	9760454 m S
	0630108 m E	9760091 m S
	0628665 m E	9760424 m S
Vegetación	0629486 m E	9763000 m S
	0631121 m E	9759358 m S
	0630630 m E	9762614 m S
	0630351 m E	9762713 m S
Agua	0629671 m E	9763123 m S
	0629101 m E	9762510 m S
	0628579 m E	9761317 m S
	0627761 m E	9760515 m S
	0628142 m E	9760854 m S

Para el proceso de comprobación se ingresó esta información en Google Earth y se procedió a comprobar que las clases de coberturas donde fueron tomadas las coordenadas en el campo fueran las mismas en el programa. Se obtuvieron buenos resultados ya que aproximadamente el 100% de los puntos se localizó en su cobertura respectiva, excepto las 2 últimas coordenadas de la cobertura agua que se ubicaron a unos pocos metros dentro de áreas con superficies de vegetación.

4.1.5.2. Clasificación

A través de ENVI se aplicó la técnica de clasificación supervisada basada en el método de máxima probabilidad, asignándole los tres tipos de coberturas mediante los ROIs (regiones de interés) utilizados, los cuales permitieron observar cómo se dispersan los píxeles de cada una de las coberturas dentro del área de estudio, para las imágenes procesadas donde las bandas seleccionadas corresponden a diferentes índices para la imagen Landsat 5 del año 1990 y la imagen Landsat 8 del año 2015.

4.1.5.2.1. Clasificación Imagen Landsat 5, año 1990

A continuación, se presenta el mapa, resultado de la clasificación supervisada para la imagen Landsat 5 correspondiente al año 1990.

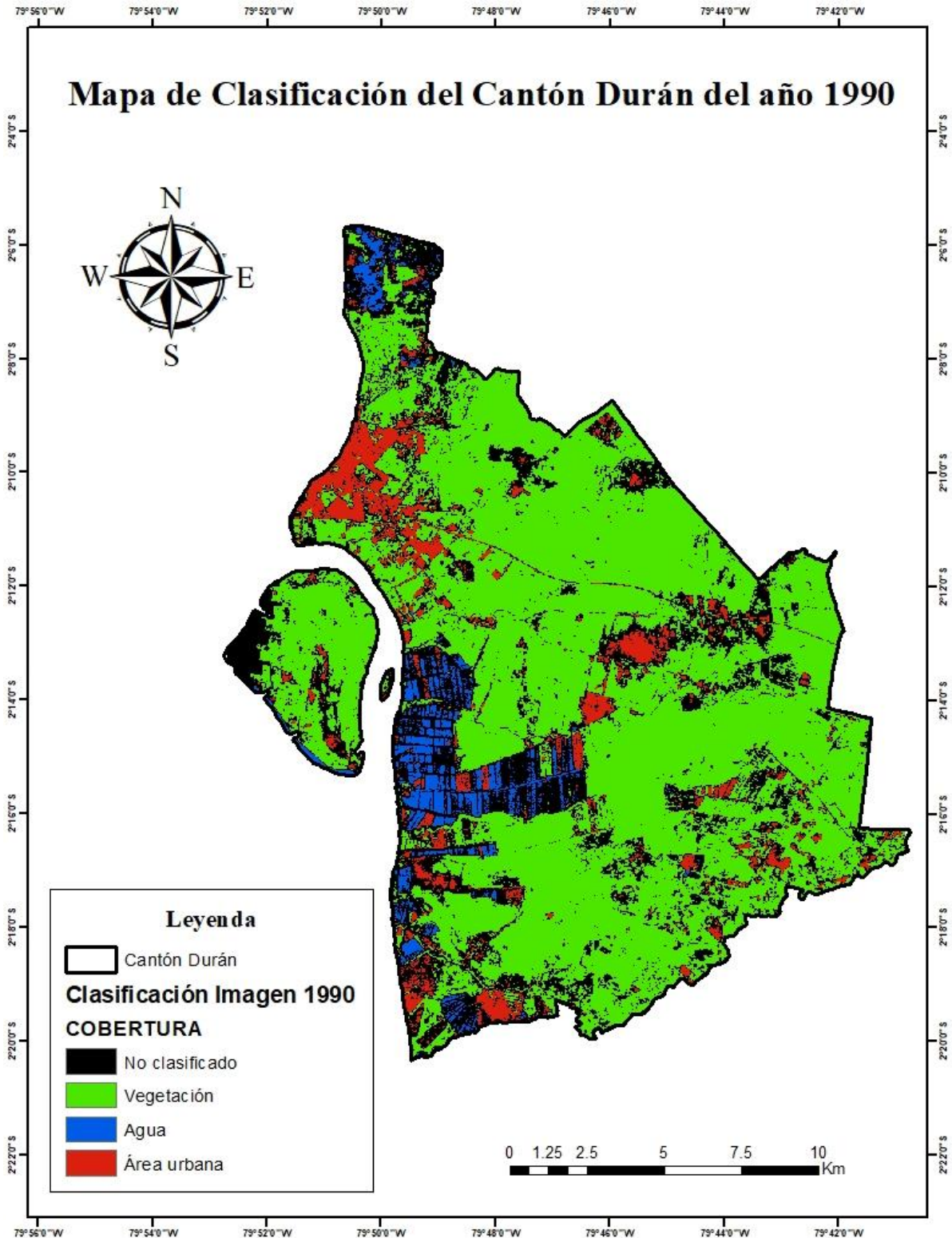


Gráfico 13. Coberturas de suelo en el cantón Durán en el año 1990.

Las superficies objeto del presente estudio son las cubiertas con áreas urbanas y su entorno en el cantón Durán, el cual para el año 1990 mayormente se constituía de vegetación con una superficie de 220446 píxeles (ver tabla 5), por encima del área urbana con tan solo 23355 píxeles, también se observan pequeños cuerpos de agua y áreas no clasificadas que son mayormente suelos desnudos ya que se pudo notar durante la evaluación que no se clasificaron debido a que sus píxeles se confundían con las de la cobertura de vegetación. Cada pixel mide 900 m², es decir 0.0009 km², por lo que para este año se determinó que la cobertura con superficie de áreas urbanizadas fue de 21.02 km².

Tabla 5. Tabla de información del Mapa de Clasificación del Cantón Durán del año 1990.

Valor utilizado en ArcGis	Cobertura	Número de píxeles	Superficie (km²)
0	No clasificado	78385	70.55
1	Vegetación	220446	198.40
2	Agua	11573	10.42
3	Área urbana	23355	21.02

Se generó la presente información a través de la imagen clasificada en el programa ArcGis mediante herramientas de análisis espacial.

Para la clasificación de la imagen del año 1990 no se realizó la verificación de los resultados de la misma mediante la comparación de muestras representativas de píxeles clasificados (puntos de validación tomados al azar por el programa ArcGis) con coberturas reales del área de estudio que se muestran en Google Earth, ya que no se contó con coordenadas reales tomadas en ese año en el sitio que pudieran validar la información que se fuera a tomar de Google Earth.

4.1.5.2.2. Clasificación Imagen Landsat 8, año 2015

A continuación, se presenta el mapa, resultado de la clasificación supervisada para la imagen Landsat 8 correspondiente al año 2015.

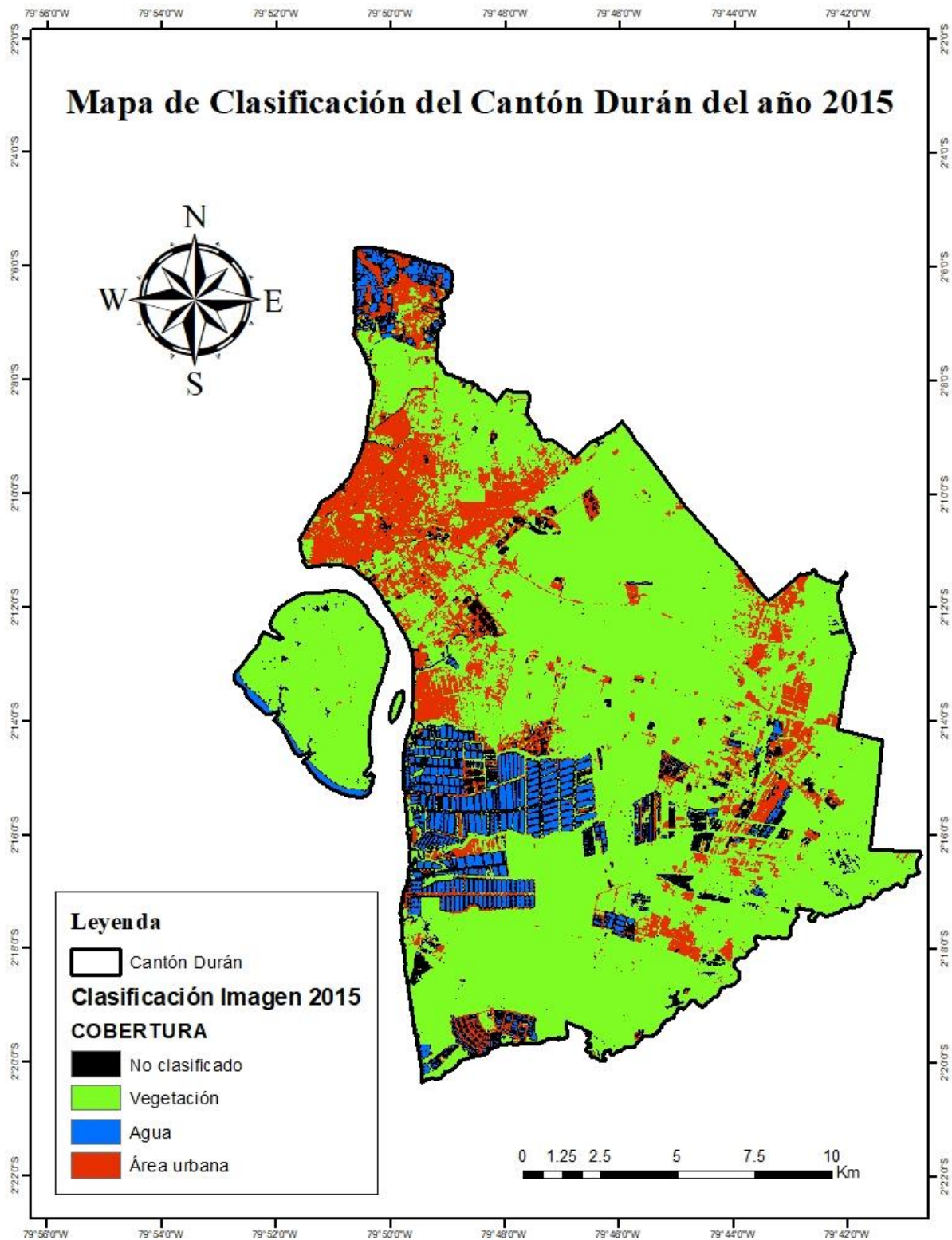


Gráfico 14. Coberturas de suelo en el cantón Durán en el año 2015.

Analizando la clasificación para el año 2015 se determinó que la cobertura con áreas urbanizadas aumento significativamente respecto al año inicial con 26.63 km², contando en el año 2015 con 47.65 km² de totalidad de superficies urbanas, y respecto a las áreas no clasificadas bajaron ya que se asume que fueron utilizadas para las nuevas construcciones en el transcurso de ese período de tiempo. Las áreas con cubierta vegetal siguen siendo las áreas de mayor tamaño de superficie para ese año.

Tabla 6. Tabla de información del Mapa de Clasificación del Cantón Durán del año 2015.

Valor utilizado en ArcGis	Cobertura	Número de píxeles	Superficie (km²)
0	No clasificado	30476	27.43
1	Vegetación	232523	209.27
2	Agua	17820	16.04
3	Área urbana	52940	47.65

4.1.6. Validación de la clasificación

Para la validación de la clasificación supervisada de la imagen correspondiente al año 2015 se procedió a realizar una comparación de muestras representativas de píxeles clasificados (puntos de validación tomados al azar) con coberturas reales del área de estudio que se muestran en Google Earth. Para llevar a cabo este procedimiento se asignaron 50 puntos de validación que el programa ArcGis los ubicó al azar sobre la imagen clasificada. A continuación, se presenta el mapa con la imagen clasificada del año 2015 y los 50 puntos de validación ubicados al azar:

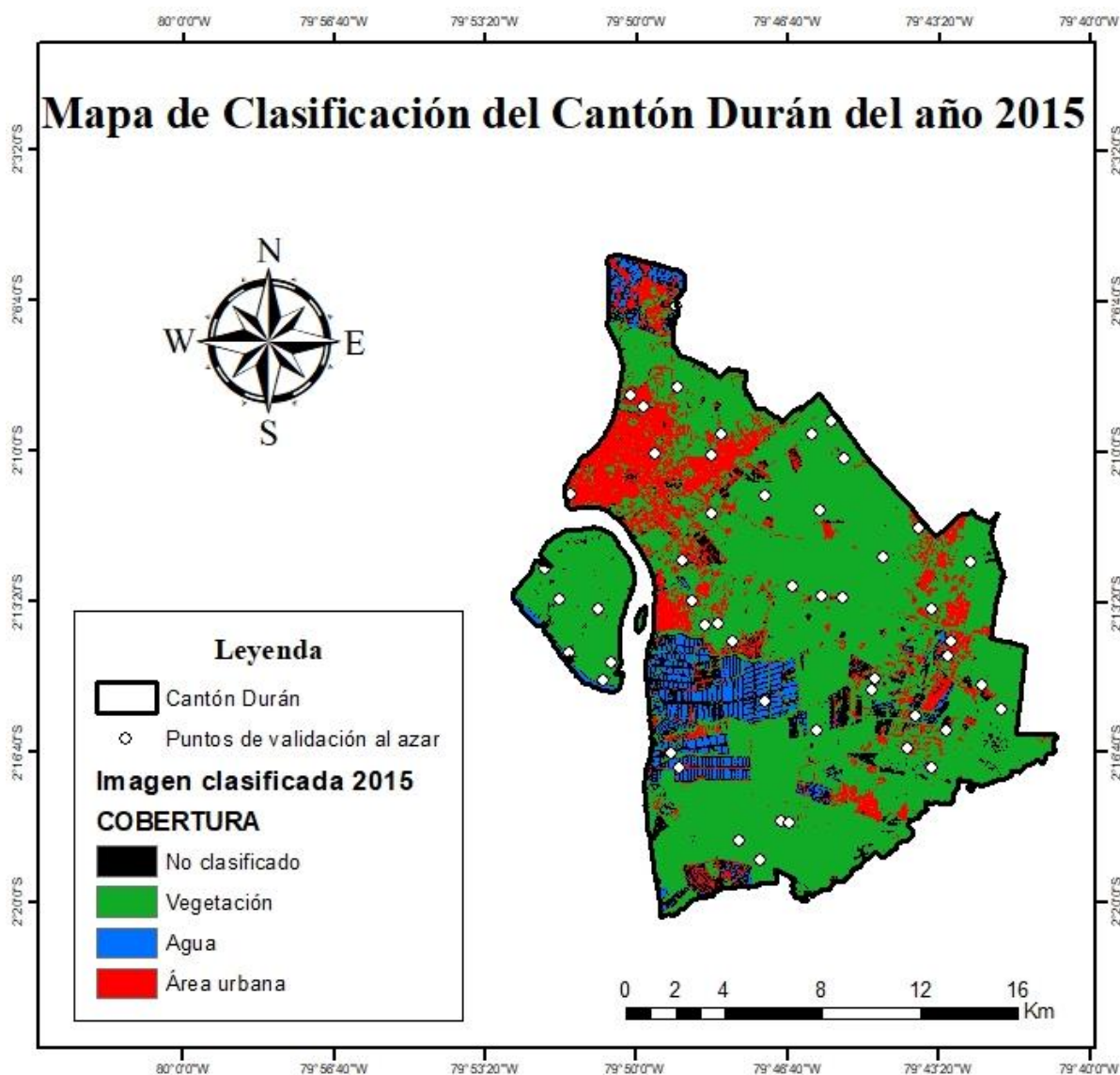


Gráfico 15. Mapa de clasificación con puntos de validación del cantón Durán del año 2015.

Se identificó la cantidad de puntos que se obtuvieron por cada clase de cobertura y se realizó la siguiente tabla:

Tabla 7. Número de puntos de validación por cobertura en imagen clasificada del año 2015.

Cobertura	Número de puntos
No clasificado	2
Vegetación	36
Agua	1
Área urbana	11

El mayor número de puntos se localizaron en la cobertura de áreas de vegetación y áreas urbana, ya que son las coberturas mayormente distribuidas en el cantón en estudio.

4.1.6.1. Matriz de confusión de la clasificación

En el estudio la verificación de los resultados obtenidos respecto a la clasificación se realizó a través de la aplicación de la matriz de confusión y el cálculo de la precisión total de la clasificación mediante el Índice Kappa, mismos que son indicadores de la calidad de los resultados, los cuales deben estar próximos a 100% para demostrar una clasificación precisa y confiable. En la matriz de confusión se confrontan los valores reales del área de estudio con los resultantes de la clasificación.

Tabla 8. Matriz de confusión de imagen clasificada 2015.

CLASIFICACIÓN	Área urbana	Vegetación	Agua	No clasificado	TOTAL
Área urbana	6	5	0	0	11
Vegetación	0	36	0	0	36
Agua	0	0	1	0	1
No clasificado	0	1	1	0	2
TOTAL	6	42	2	0	50
Acuerdo/exactitud	100.00%	85.71%	50.00%	0.00%	
Error de omisión	0.00%	14.29%	50.00%	0.00%	
Error de comisión	45.45%	0.00%	0.00%	100.00%	
Precisión general	86.00%				

Los elementos en rojo de la diagonal indican los píxeles que fueron correctamente clasificados.

Para la imagen clasificada 2015 se obtuvo un porcentaje del 100% de exactitud para la cobertura de área urbana, la cual es la cobertura de mayor interés en el estudio ya que la mayoría de sus valores (6) fueron correctamente clasificados, mientras que por otra parte 5 valores que debieron haberse clasificado como vegetación, se clasificaron como área urbana. Y en general la precisión de la clasificación de cada una de las coberturas se considera aceptable con un buen porcentaje del 86%. Estos parámetros fueron calculados manualmente en una hoja electrónica de Excel bajo los criterios citados en el marco teórico.

Obsérvese que además de las cuatro clases de interés se introduce una columna y fila correspondiente a los píxeles que no pudieron ser clasificados. Todos los elementos fuera de la diagonal indican errores de omisión o de comisión. Los errores de omisión corresponden

a los elementos no diagonales de las columnas (un 14.29% de píxeles que debieran haber sido clasificados como vegetación se asignaron a otras clases). Los errores de comisión corresponden a los elementos no diagonales de las filas (33).

A partir de la matriz de confusión se calculó otra medida de interés desde el punto de vista de la exactitud:

4.1.6.2. Cálculo del coeficiente Kappa

Este índice se calculó a través de la fórmula descrita en la metodología proporcionando los siguientes resultados:

Donde, $N = 50$

$$N \sum_{i=1}^n m_{i,i} = (6 + 36 + 1 + 0) = 43$$

$$\sum_{i=1}^n (G_i C_i) = (11 * 6) + (36 * 42) + (1 * 2) + (2 * 0) = 1580$$

$$K = \frac{((50 * 43) - 1580)}{((50)^2 - 1580)} = 0,62$$

$$K = 62\%$$

El índice Kappa mientras más aproximado a 1 se encuentre, significa que es una buena clasificación totalmente de acuerdo con las coberturas reales del área de estudio, el presente cálculo dio un resultado del 62% lo que indica que es una clasificación buena según la tabla 8 que se presenta en la metodología.

4.1.7. Análisis de la varianza (ANOVA)

Mediante la técnica estadística ANOVA se logró determinar que las diferencias que existen entre la media del grupo de datos del año 1990 y la media del grupo de datos del año 2015 de cada uno de los índices son estadísticamente significativas, ya que en cada uno de ellos el valor de F de todos los índices fue mayor que el valor crítico para F y las probabilidades dieron un valor de 0.

A continuación, se presentan los resultados del análisis de la varianza para cada uno de los índices:

4.1.7.1. Análisis de la varianza – Índice MNDWI

Se aplico el análisis estadístico ANOVA para el índice de diferencia de agua normalizado modificado para comprobación de diferencias en tendencias de cambios para esta cobertura.

Tabla 9. Análisis de varianza para el índice MNDWI de ambas fechas.

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
MNDWI_LS5	50	-27.6384214	-0.552768428	0.0322323
MNDWI_LS8	50	-19.481905	-0.3896381	0.04269971

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0.665287598	1	0.665287598	17.7571	5.58709E-05	3.938111078
Dentro de los grupos	3.671668498	98	0.037466005			
Total	4.336956096	99				

4.1.7.2. Análisis de la varianza – Índice SAVI

Se aplico el análisis estadístico ANOVA para el índice de vegetación ajustado al suelo, con el fin de identificar los cambios en la distribución de esta cobertura a través del tiempo.

Tabla 10. Análisis de varianza para el índice SAVI de ambas fechas.

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
SAVI_LS5	50	48.679443	0.97358886	0.0739803
SAVI_LS8	50	13.0172127	0.260344254	0.02304852

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	12.7179467	1	12.7179467	262.147822	1.8841E-29	3.938111078
Dentro de los grupos	4.754412092	98	0.048514409			
Total	17.47235879	99				

4.1.7.3. Análisis de la varianza – Índice NDBI

Se llevo a cabo el análisis de la varianza para el Índice de áreas construidas de diferencia normalizada (NDBI) para detectar las diferencias de cambios de áreas urbanizadas entre la fecha inicial y final.

Tabla 11. Análisis de varianza para el índice NDBI de ambas fechas.

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
NDBI_LS5	50	-18.538658	-0.37077316	0.00614027
NDBI_LS8	50	-0.97804885	-0.019560977	0.0358097

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	3.083749937	1	3.083749937	147.020371	3.2543E-21	3.938111078
Dentro de los grupos	2.055548438	98	0.020974984			
Total	5.139298376	99				

4.1.8. Cartografía de cambios espacio-temporales del proceso de urbanización

El gráfico 16 muestra el mapa con las coberturas de superficies urbanizadas dentro del cantón Durán tanto para el año 1990 como para el año 2015, donde se puede identificar la gran distribución y expansión urbana que ha tenido el cantón Durán en el período establecido, mostrándose de color rojo el incremento que ha tenido la urbanización desde el año 1990 hasta el año 2015.

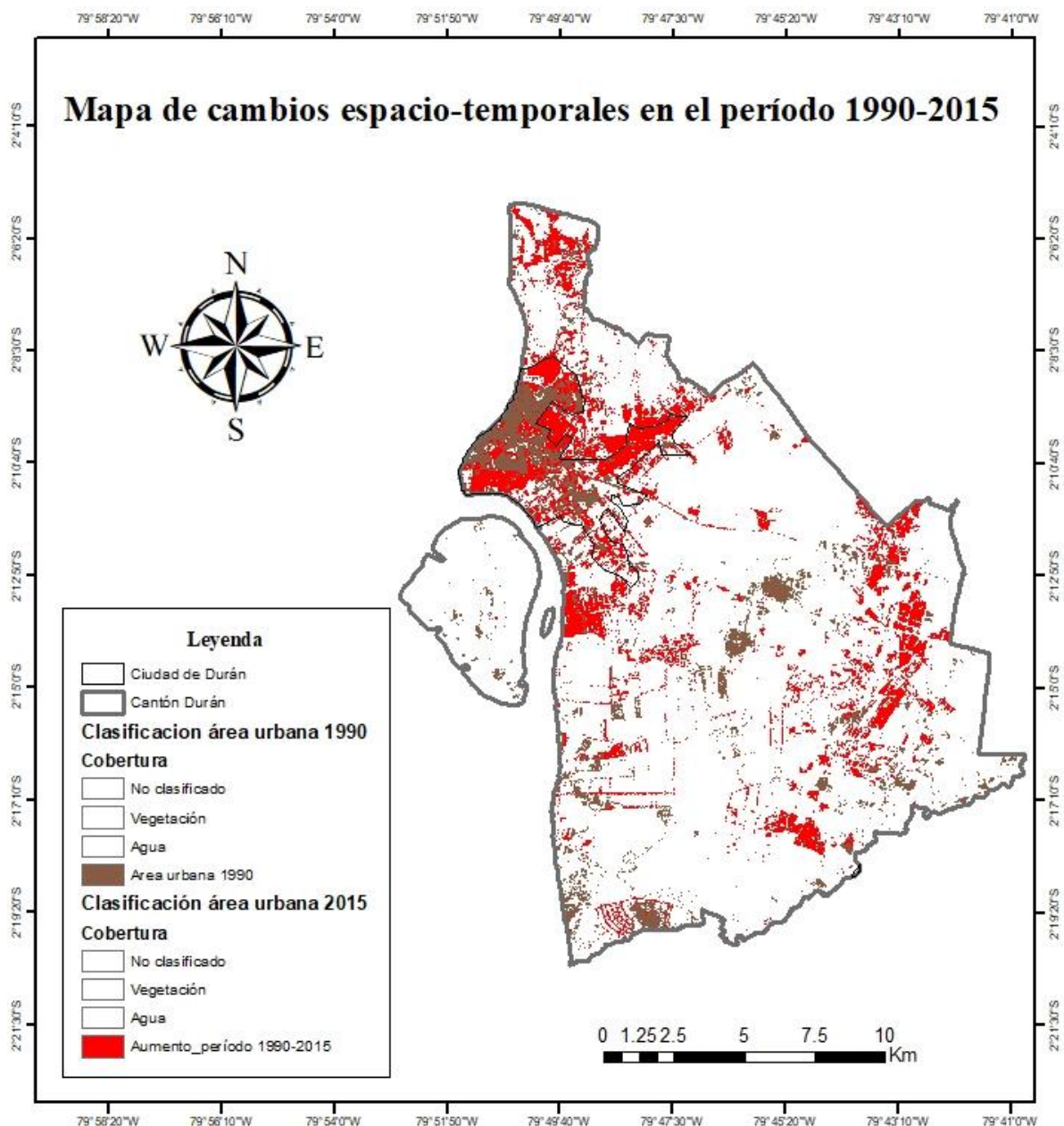


Gráfico 16. Mapa de cambios espacio-temporales en el período 1990-2015.

4.1.9. Aplicación de técnicas post-clasificación

Se aplicó la post - clasificación a través del software ENVI haciendo uso de las 2 imágenes clasificadas, para obtener las estadísticas de detección de cambios en las coberturas empleadas para el presente estudio, haciéndole énfasis a la correspondiente de crecimiento urbano, durante los 25 años, en el período establecido para el presente estudio. Como resultado se generó la siguiente tabla:

Tabla 12. Estadísticas de cambios por cada cobertura entre ambas fechas.

Área (Km ²)		Fecha inicial 1990					
		No clasificado	Vegetación [Red]	Agua [Green]	Área urbana [Blue]	Total Fila	Total Clase
Fecha final 2015	No clasificado	24.72	24.9	7.72	4.43	61.78	61.78
	Vegetación [Red]	81.73	265.13	2.03	17.99	366.88	366.88
	Agua [Green]	33.87	5.7	46.55	2.19	88.31	88.31
	Área urbana [Blue]	25.35	39.14	1.57	12.17	78.23	78.23
	Total Clase	165.68	334.88	57.86	36.78	0	0
	Cambios en la clase	140.95	69.75	11.32	24.61	0	0
	Diferencia de imágenes	-103.9	31.99	30.45	41.45	0	0

Tabla 13. Porcentajes de estadísticas de cambios por cada cobertura entre ambas fechas.

Porcentajes		Fecha inicial 1990					
		No clasificado	Vegetación [Red]	Agua [Green]	Área urbana [Blue]	Total Fila	Total Clase
Fecha final 2015	No clasificado	14.92	7.44	13.34	12.05	100	100
	Vegetación [Red]	49.33	79.17	3.50	48.91	100	100
	Agua [Green]	20.45	1.70	80.44	5.96	100	100
	Área urbana [Blue]	15.30	11.69	2.71	33.09	100	100
	Total Clase	100.00	100.00	100.00	100.00	0	0
	Cambios en la clase	85.08	20.83	19.56	66.92	0	0
	Diferencia de imágenes	-62.71	9.55	52.63	112.70	0	0

Se observa que todas las coberturas en general experimentaron cambios a través del período de tiempo considerado para este estudio, siendo la clase de cobertura urbana la que sufrió cambios más significativos con un aumento de hasta 41.45 km² crecimiento teniendo para el año 2015 un total de 78.23 km² de superficie con áreas urbanizadas.

Por otra parte, la dinámica de cambios en las superficies de vegetación fue considerable ya que 39.14 km² de estas áreas que para el año 1990 pertenecían a esta clase, para el año 2015 se convirtieron en áreas urbanas, lo cual significa un 11.7 % de pérdida de áreas verdes.

Respecto a las áreas no clasificadas del año 1990, un gran porcentaje (15.30%) de ellas son áreas urbanas para la fecha más actual, con 25.35 km² de superficie, cambio que parece lógico ya que la mayor parte de superficie no clasificada corresponde a suelos desnudos sin ninguna clase de uso.

4.2. Discusión

El análisis multitemporal de crecimiento urbano en el Cantón Durán permitió identificar las áreas de las diferentes coberturas existentes, las mismas que también han sufrido cambios en el período 1990-2015 y aportaron a que se obtuvieran con mayor eficiencia los resultados de expansión urbana.

Se obtuvieron buenos resultados ya que se evidenció que la expansión urbana ha ocurrido de forma considerable con un aumento de 78.23 km² en áreas urbanas hasta el año 2015, el área de estudio ha experimentado pérdida de vegetación a causa de este hecho, durante los 25 años del período considerado para esta investigación.

En el año 1990 la cobertura con mayor tamaño de superficie era la de vegetación, pero cabe mencionar que para el año 2015 esto se siguió manteniendo ya que la cobertura de vegetación se mantuvo como la más grande con 265.13 km².

Carballo & Goldberg (2014) establecen que, en las zonas ribereñas o áreas adyacentes a cursos de agua, como es el caso del cantón Durán, presentan diferentes grados de degradación donde el principal reemplazo de la vegetación nativa se produce por el asentamiento urbano, la agricultura y la actividad forestal (35). Principalmente en la zona de estudio la principal actividad que generó la pérdida de vegetación fue el desarrollo urbano debido a los asentamientos humanos de los cuales gran parte se localizan en las orillas del Río Guayas.

El crecimiento acelerado de asentamientos urbanos se ha centrado en la expansión de zonas para hábitat de personas sin tener en cuenta otros factores que ponen en una situación de vulnerabilidad a la población, ya que la expansión de la urbe genera un aumento en la demanda de servicios básicos y por consiguiente el aumento de desechos (36).

Por otra parte, respecto a la clase de superficies de agua, el área de estudio no sufrió muchos cambios ni pérdidas ya que solo el 2.7% de estos cuerpos de agua se convirtieron en áreas urbanas, afectando casi insignificativamente a este tipo de cobertura.

A partir del análisis y la metodología aplicada queda demostrado que el crecimiento urbano en el Cantón Durán está en pleno desarrollo debido a su porcentaje de crecimiento urbano,

proceso que ha reemplazado y reemplazará progresivamente mayores cantidades de terrenos ocupados anteriormente por coberturas vegetales naturales o seminaturales (37).

Esta constante crecimiento del área urbana en el Cantón Durán, registrada en el presente estudio, se ve complementada por la investigación realizada por Salcedo (2014) donde señala que los asentamientos informales en el cantón de Durán se han incrementado del 2003 al 2013 de una manera notable, este incremento se ha generado de manera progresiva, provocando que el suelo urbanizado se haya extendido con el pasar de estos diez años y que el suelo urbanizable comprenda las áreas de cobertura vegetal que probablemente a futuro, se conviertan en áreas con casas o villas informales debido a la intervención humana y la presión que se ejerce sobre el suelo para que este se transforme en urbano; esto provocado por el déficit de viviendas en Durán y la alta demanda de una población cada vez más creciente (4).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.3. Conclusiones

- La información de las imágenes satelitales Landsat 5 y Landsat 8 y la técnica de clasificación supervisada, permitió el análisis multitemporal respecto al crecimiento urbano en el período 1990-2015, donde se lograron establecer 3 tipos de coberturas para realizar la clasificación: vegetación, agua y área urbana, siendo la última la categoría más importante. El análisis llevado a cabo corrobora, la gran aptitud y viabilidad de las imágenes satelitales Landsat para la realización de investigaciones de evaluación de procesos de crecimiento urbano en áreas como el Cantón Durán.
- A través de la detección de cambios obtenida mediante la clasificación en un período de 25 años, se determinó que todas las coberturas en general experimentaron cambios en este período de tiempo, siendo la clase de cobertura urbana la que sufrió cambios mayormente significativos con un aumento de hasta 41.45 km² de crecimiento teniendo para el año 2015 un total de 78,23 km² de superficie con áreas urbanizadas.
- Tomando en cuenta que los cambios más significativos se presentaron en la cobertura de áreas urbanas, resulta evidente la incidencia que existe entre el proceso de crecimiento urbano del cantón Durán con los cambios en las otras coberturas existentes y uso de suelo, viéndose afectadas principalmente la cobertura de vegetación durante el período establecido para el estudio.

5.4. Recomendaciones

- Se sugiere realizar más investigaciones usando herramientas de teledetección y SIG ya que los resultados obtenidos mediante el uso de estas pueden prever modificaciones y reflejar los cambios que puedan ocurrir en cualquier ciudad a nivel territorial, pudiendo evitar problemas que afecten social y ambientalmente.
- A las autoridades competentes realicen monitoreos en las áreas de evidente crecimiento urbano las cuales pueden ser peligrosas o zonas de riesgo, para impedir que los habitantes se asienten informalmente en estas áreas y evitar futuros problemas de desorden territorial, y de esta manera establecer zonas aptas para la expansión de áreas urbanas.
- Se propone utilizar este tipo de instrumentos al momento de la planificación urbana y para llevar a cabo los planes de ordenamiento territorial ya que resultan eficientes para identificar las dinámicas de cambios de cada tipo de coberturas dentro de un territorio y de esta manera poder anticipar estas tendencias y poder elaborar pronósticos que permitan provocar el menor impacto en los recursos naturales.

CAPÍTULO VI
BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía

1. López V, Plata W. Análisis de los cambios de cobertura de suelo derivados de la expansión urbana de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, 1990-2000. Investigaciones geográficas. 2009;; p. 85-101.
2. Ramírez M, Pértile V. Crecimiento poblacional, expansión urbana y cambio de usos de suelo en ciudades intermedias de la provincia del Chaco, Argentina. El caso de Juan José Castelli. ESTUDIOS SOCIOTERRITORIALES. Revista de Geografía. 2017;; p. 11-131.
3. Santana Rodríguez LM, Escobar Jaramillo LA, Capote P. Estimación de un índice de calidad ambiental urbano, a partir de imágenes de satélite. Revista de Geografía Norte Grande. 2010;; p. 77-95.
4. Salcedo C. DSpace Repositorio PUCE. [Online].; 2014 [cited 2018 Mayo 31. Available from: <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/7106>.
5. Ruiz L, Del Rey Pérez A, Estornell J, Ruiz R. LA TELEDETECCIÓN COMO HERRAMIENTA DE ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO URBANO Y SU REPRESENTACIÓN EN 3D. Arquitectura, Ciudad y Entorno. 2007;; p. 675-693.
6. Hernández Y. El ordenamiento territorial y su construcción social en Colombia: ¿un instrumento para el desarrollo sustentable? REVISTA COLOMBIANA DE GEOGRAFÍA. 2010;; p. 97-109.
7. López MF. El sistema de planificación y el ordenamiento territorial para Buen Vivir en el Ecuador. Geosp – Espaço e Tempo. 2015; 19(2): p. 296-311.
8. Velázquez A, Bocco G, Siebe C. ResearchGate. [Online].; 2015 [cited 2018 Octubre 15. Available from: https://www.researchgate.net/publication/263342417_Cambio_de_uso_del_suelo.
9. López V, Balderas M, Chávez MC, Juan J, Gutiérrez J. Cambio de uso de suelo e implicaciones socioeconómicas en un área mazahua del altiplano mexicano. CIENCIA ergo-sum. 2015; 22-2: p. 136-144.

- 10 Camacho JM, Juan JI, Pineda N, Cadena E, Bravo L, Sánchez M. Cambios de cobertura/uso del suelo en una porción de la Zona de Transición Mexicana de Montaña. Madera y Bosques. 2015; 21(1): p. 93-112.
- 11 Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. SUBSECRETARÍA DE HÁBITAT Y ASENTAMIENTOS HUMANOS - SHAH. Habitat y Vivienda. [Online].; 2015 [cited 2018 Junio 1. Available from: https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/05/Informe-Pais-Ecuador-Enero-2016_vf.pdf.
- 12 Soto JJ. El crecimiento urbano de las ciudades: enfoques desarrollista, autoritario, neoliberal y sustentable. Paradigma económico. 2015;(1): p. 127-149.
- 13 Lahoz E. REFLEXIONES MEDIOAMBIENTALES DE LA EXPANSIÓN URBANA. Cuadernos Geográficos. 2010;; p. 293-313.
- 14 Ardila León JF, Quintero Delgado OY. APLICACIÓN DE LA TELEDETECCIÓN Y LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN LA INTERPRETACIÓN DE ZONAS INUNDABLES. CASO DE ESTUDIO: RÍO SOAPAGA, SECTOR PAZ DE RÍO, BOYACÁ. UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA - CIENCIA E INGENIERÍA NEOGRANADINA. 2013;; p. 55-76.
- 15 Sacristán Romero F. La Teledetección satelital y los sistemas de protección ambiental. AquaTIC. 2006;; p. 13-41.
- 16 INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA. INEGI. [Online]. [cited 2018 Junio 1. Available from: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/imgpercepcion/imgsatelite/landsat.aspx>.
- 17 Pesantez P. CLASIFICACIÓN Y PREDICCIÓN DE CAMBIO DE COBERTURA DE SUELO DE LA CUENCA DEL RIO PAUTE UTILIZANDO HERRAMIENTAS GEOINFORMÁTICAS. 2015..
- 18 Gómez Nieto I, Martín Isabel M. ESTUDIO COMPARATIVO DE ÍNDICES ESPECTRALES PARA LA CARTOGRAFÍA DE ÁREAS QUEMADAS CON IMÁGENES MODIS. EL ACCESO A LA INFORMACIÓN ESPACIAL Y LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS GEOGRÁFICAS. ;; p. 883-894.

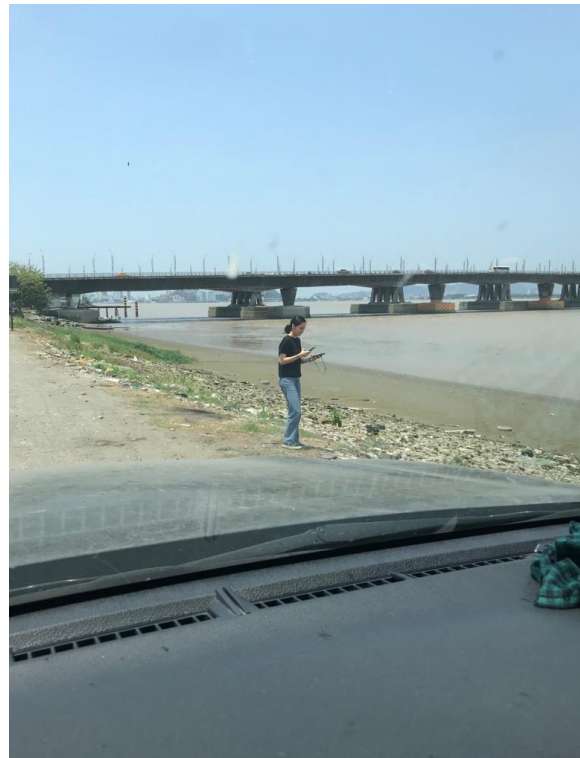
- 19 Basilio Brizuela A, Alcántar González G, Sánchez García P, Pea Kalra Y, Crumbaugh J, Olive C, et al. ESTABLECIMIENTO DE ÍNDICES ESPECTRALES EN EL DIAGNÓSTICO NUTRIMENTAL DE NITRÓGENO EN MAÍZ. *Agrociencia*. 2007;; p. 827-835.
- 20 Huete AR. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*. 1988; 25: p. 295-309.
- 21 Xu H. Modification of Normalised Difference Water Index (NDWI) to Enhance Open Water Features in Remotely Sensed Imagery. *International Journal of Remote Sensing* 27. 2006;; p. 3025-3033.
- 22 Zha Y, Gao J, Ni S. Use of Normalized Difference Built-Up Index in Automatically Mapping Urban Areas from TM Imagery. *International Journal of Remote Sensing* 24. 2003;; p. 583-594.
- 23 Macedo Cruz A, Pajares Martinsanz G, Santos Peñas M. CLASIFICACIÓN NO SUPERVISADA CON IMÁGENES A COLOR DE COBERTURA TERRESTRE. *Agrociencia*. 2010;; p. 711-722.
- 24 Borràs J, Delegido J, Pezzola A, Pereira M, Morassi G, Camps-Valls G. Clasificación de usos del suelo a partir de imágenes Sentinel-2. *REVISTA DE TELEDETECCIÓN*. 2017;; p. 55-66.
- 25 Camacho-Sanabria JM, Juan Pérez JI, Pineda Jaimes NB, Cadena Vargas EG, Bravo Peña LC, Sánchez López M. Cambios de cobertura/uso del suelo en una porción de la Zona de Transición Mexicana de Montaña. *Madera y Bosques*. 2015; 21(1): p. 93-112.
- 26 François Mas J, Díaz Gallegos J, Pérez Vega A. Evaluación de la confiabilidad temática de mapas o de imágenes clasificadas: una revisión. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*. 2003;(51): p. 53-72.
- 27 Harris Geospatial. Harris Geospatial. [Online].; 2018 [cited 2018 Noviembre 1]. Available from: <https://www.harrisgeospatial.com/docs/CalculatingConfusionMatrices.html>.

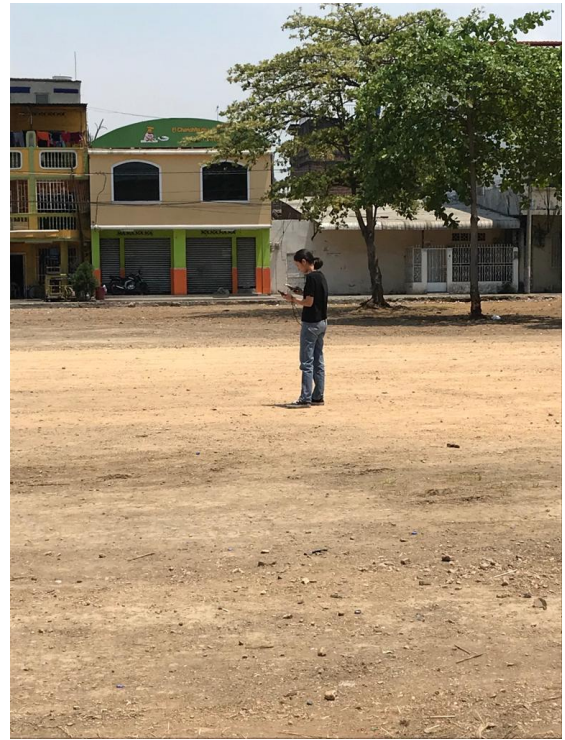
- 28 CERDA L JAIME VDPL. Evaluación de la concordancia inter-observador en . investigación pediátrica: Coeficiente de Kappa. Rev. chil. pediatr. 2008;; p. 54-58.
- 29 Santovenia Díaz Javier TMCCAR. Sistemas de información geográfica para la gestión . de la información. ACIMED. 2009;; p. 72-75.
- 30 Bocco G. El desarrollo de sistemas de información geográfica en la frontera norte de . México. Investigaciones geográficas. 2000; 42: p. 40-47.
- 31 Marengo C, Monayar V. Crecimiento urbano e informalidad residencial: El caso . Nuestro Hogar III en la periferia de Córdoba, Argentina. Cuaderno urbano. 2012;; p. 7-25.
- 32 Gonzaga C. Universidad Nacional de La Plata. [Online].; 2014 [cited 2018 Julio 1. . Available from: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/34487/Documento_completo.pdf?sequence=1.
- 33 Bense T. TELEDET. [Online].; 2007 [cited 2018 Octubre 31. Available from: . <http://www.teledet.com.uy/tutorial-imagenes-satelitales/imagenes-satelitales-tutorial.htm>.
- 34 López de Ullibarri Galparsoro I, Pita Fernández S. Fistera. [Online].; 2001 [cited 2018 . Noviembre 1. Available from: <https://www.fistera.com/mbe/investiga/kappa/kappa2.pdf>.
- 35 Carballo C, Goldberg S. Comunidad e información de riesgo. 2014. .
- 36 Medrano W. Repositorio Universidad de Guayaquil. [Online].; 2017 [cited 2018 . Diciembre 1. Available from: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/29491/1/TESIS%20OMAR%20MEDRANO.pdf>.
- 37 Sandoval G. Repositorio Santiago-Chile. [Online].; 2009 [cited 2018 Noviembre 1. . Available from: http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2009/aq-sandoval_g/pdfAmont/aq-sandoval_g.pdf.

CAPÍTULO VII

ANEXOS

Anexo 1. Evidencia fotográfica de la visita al área de estudio para el registro de coordenadas





Anexo 2. Foto de GPS utilizado



Anexo 3. Coordenadas (puntos de entrenamiento) de coberturas del Cantón Durán tomadas de Google Earth – Imagen histórica 1990 para imagen Landsat 5.

COBERTURA	COORDENADAS	
	LATITUD	LONGITUD
Vegetación	630652.63 m E	9765417.07 m S
	633557.21 m E	9764924.51 m S
	634414.61 m E	9762159.17 m S
	629950.10 m E	9762774.00 m S
	631832.85 m E	9761681.79 m S
	630196.11 m E	9760661.93 m S
	631809.03 m E	9758975.00 m S
	628289.47 m E	9758525.60 m S
	629919.42 m E	9758266.34 m S
	630031.57 m E	9757023.49 m S
	632573.56 m E	9757774.55 m S
	635641.57 m E	9758558.18 m S
	634708.39 m E	9756294.96 m S
	631067.67 m E	9755346.01 m S
	632655.10 m E	9751628.54 m S
Agua	628240.13 m E	9761295.45 m S
	628396.34 m E	9757784.25 m S
	630460.40 m E	9751533.78 m S
	631055.61 m E	9750139.04 m S
	632736.00 m E	9750094.00 m S
	631580.82 m E	9749817.28 m S
	631428.45 m E	9753410.02 m S
	632279.26 m E	9753355.84 m S
	632776.37 m E	9749695.00 m S
	631330.25 m E	9750422.05 m S
	631019.48 m E	9751771.59 m S
	631509.42 m E	9754449.73 m S
	633175.00 m E	9750440.03 m S
Área urbana	631042.93 m E	9761459.69 m S
	629975.49 m E	9761578.67 m S
	629247.15 m E	9761655.59 m S
	629332.76 m E	9761102.97 m S
	628357.41 m E	9760357.06 m S
	628962.42 m E	9759280.56 m S
	628198.03 m E	9759222.78 m S
	630813.19 m E	9758248.51 m S
	631499.96 m E	9757995.81 m S

	628002.79 m E	9760202.09 m S
	631245.741 m E	9767400.095 m S

Anexo 4. Coordenadas (puntos de entrenamiento) de coberturas del Cantón Durán tomadas de Google Earth 2015 para imagen Landsat 8 del mismo año.

COBERTURA	COORDENADAS	
	LATITUD	LONGITUD
Vegetación	629533.44 m E	9766641.84 m S
	630883.77 m E	9764126.73 m S
	633775.82 m E	9764646.33 m S
	630731.89 m E	9762979.08 m S
	632651.62 m E	9762200.31 m S
	635637.59 m E	9762483.11 m S
	634906.45 m E	9758305.59 m S
	634325.07 m E	9753601.15 m S
	636410.24 m E	9744388.64 m S
	645180.28 m E	9741315.70 m S
	632325.00 m E	9760375.00 m S
	635565.00 m E	9756535.00 m S
	639885.00 m E	9757795.00 m S
	643905.00 m E	9756205.00 m S
	630885.78 m E	9752133.91 m S
Agua	631908.91 m E	9750842.55 m S
	631254.79 m E	9749706.00 m S
	633355.71 m E	9749745.77 m S
	635938.15 m E	9751362.17 m S
	632985.64 m E	9751472.89 m S
	630681.58 m E	9748463.95 m S
	632577.23 m E	9748194.81 m S
	631399.98 m E	9747081.16 m S
	639562.32 m E	9749774.36 m S
	639982.68 m E	9749070.58 m S
	638895.49 m E	9751463.36 m S
	626467.13 m E	9759162.03 m S
	628489.61 m E	9757768.36 m S
	627720.66 m E	9760726.54 m S
	630262.08 m E	9753520.06 m S
	629556.38 m E	9750924.33 m S
Área urbana	629301.70 m E	9762453.17 m S
	630038.79 m E	9763049.03 m S
	629951.49 m E	9762238.31 m S

	628929.01 m E	9761777.63 m S
	629896.70 m E	9761674.67 m S
	630808.50 m E	9762288.28 m S
	631380.47 m E	9761654.42 m S
	630354.31 m E	9761556.37 m S
	629113.89 m E	9761125.00 m S
	630226.58 m E	9760448.49 m S
	631714.93 m E	9760084.31 m S
	633342.71 m E	9760429.32 m S
	635049.25 m E	9761416.70 m S
	631995.20 m E	9759069.36 m S
	633446.64 m E	9759790.79 m S
	630690.70 m E	9758564.43 m S
	627299.27 m E	9758523.98 m S
	628528.27 m E	9758290.40 m S
	629742.79 m E	9757947.25 m S
	630324.97 m E	9757640.90 m S
	631453.58 m E	9758062.59 m S
	631024.46 m E	9755918.19 m S
	631830.61 m E	9755964.24 m S
	630558.17 m E	9754980.23 m S
	633420.70 m E	9757180.34 m S
	632518.69 m E	9754749.12 m S

Anexo 5. Tabla de valores extraídos de puntos de validación para aplicar ANOVA.

Puntos	Cobertura	MNDWI_LS5	SAVI_LS5	NDBI_LS5	MNDWI_LS8	SAVI_LS8	NDBI_LS8
1	No clasificado	-0.695674	1.214770	-0.388368	0.208065	0.113405	-0.410918
2	No clasificado	-0.031704	0.113617	-0.499040	0.088000	0.113891	-0.086539
3	Vegetación	-0.451306	0.760740	-0.221948	-0.446340	0.164725	0.196177
4	Vegetación	-0.629485	1.108600	-0.340848	-0.464726	0.157495	0.187651
5	Vegetación	-0.693870	1.185100	-0.425768	-0.560061	0.332121	0.076273
6	Vegetación	-0.647695	1.093200	-0.331514	-0.485359	0.262432	0.068008
7	Vegetación	-0.584865	1.044630	-0.310132	-0.551902	0.294647	0.121140
8	Vegetación	-0.469267	0.811715	-0.397414	-0.277596	0.271883	-0.133432
9	Vegetación	-0.685545	1.195460	-0.431648	-0.504519	0.355041	-0.005972
10	Vegetación	-0.640724	1.080950	-0.327434	-0.521325	0.425223	-0.101711
11	Vegetación	-0.634488	1.110460	-0.424924	-0.453991	0.544475	-0.407940
12	Vegetación	-0.649514	1.167530	-0.413932	-0.408438	0.132095	0.191796
13	Vegetación	-0.521335	0.920364	-0.233475	-0.528814	0.224280	0.184971
14	Vegetación	-0.594203	0.977185	-0.311990	-0.540541	0.443703	-0.125846
15	Vegetación	-0.561084	0.995621	-0.302205	-0.380481	0.148955	0.062409
16	Vegetación	-0.652108	1.128290	-0.403000	-0.456000	0.155286	0.182222
17	Vegetación	-0.649246	1.158710	-0.390535	-0.552186	0.360016	-0.003622
18	Vegetación	-0.635876	1.093260	-0.364637	-0.500722	0.349973	-0.004785

19	Vegetación	-0.517857	0.932913	-0.399363	-0.494098	0.171481	0.172345
20	Vegetación	0.004429	0.114888	-0.441026	-0.412733	0.123477	0.211289
21	Vegetación	-0.305209	0.625088	-0.279865	-0.497352	0.411514	-0.113362
22	Vegetación	-0.664173	1.114590	-0.415341	-0.470880	0.558266	-0.414450
23	Vegetación	-0.594887	0.988297	-0.415536	-0.412821	0.554725	-0.478343
24	Vegetación	-0.585545	1.095250	-0.401327	-0.403226	0.181543	0.053419
25	Vegetación	-0.662315	1.119540	-0.423908	-0.395445	0.275663	-0.030495
26	Vegetación	-0.677288	1.163350	-0.337766	-0.481304	0.330148	0.001856
27	Vegetación	-0.567716	0.927884	-0.327466	-0.499333	0.247770	0.095203
28	Vegetación	-0.698148	1.208910	-0.424466	-0.521947	0.347558	0.026372
29	Vegetación	-0.615972	1.084870	-0.417497	-0.421546	0.296576	-0.025422
30	Vegetación	-0.502520	0.813737	-0.232582	-0.445242	0.377986	-0.129859
31	Vegetación	-0.629782	1.093690	-0.433696	-0.443102	0.426404	-0.184173
32	Vegetación	-0.615245	1.073360	-0.365554	-0.466910	0.545484	-0.405073
33	Vegetación	-0.297872	0.512700	-0.132292	-0.482604	0.347298	-0.032374
34	Vegetación	-0.689961	1.184060	-0.431562	-0.421029	0.208385	0.087299
35	Vegetación	-0.669431	1.157260	-0.302419	-0.573439	0.337898	0.069152
36	Vegetación	-0.514278	0.873270	-0.360296	-0.483842	0.477202	-0.241569
37	Vegetación	-0.649864	1.115840	-0.323490	-0.482223	0.495703	-0.312108
38	Vegetación	-0.712217	1.243590	-0.422071	-0.531532	0.248907	0.144231

39	Agua	-0.329647	0.698149	-0.460748	0.631841	-0.092754	-0.400810
40	Área urbana	-0.640530	1.160930	-0.378555	-0.244338	0.062239	0.123010
41	Área urbana	-0.517119	0.958393	-0.379866	-0.279534	0.084687	0.098537
42	Área urbana	-0.589979	1.057040	-0.361543	-0.284339	0.151744	0.012181
43	Área urbana	-0.616737	1.036770	-0.390249	-0.272608	0.059326	0.144372
44	Área urbana	-0.569592	1.004120	-0.350238	-0.264802	0.076719	0.115308
45	Área urbana	-0.478389	0.866010	-0.301887	-0.393912	0.149762	0.137742
46	Área urbana	-0.659215	1.139460	-0.360025	-0.345004	0.157753	0.025391
47	Área urbana	0.124051	0.114264	-0.613054	-0.389163	0.121103	0.163810
48	Área urbana	-0.671186	1.137300	-0.476048	-0.337072	0.161099	0.038220
49	Área urbana	-0.656219	1.159300	-0.369296	-0.360806	0.134052	0.074088
50	Área urbana	-0.440019	0.744418	-0.290814	-0.264624	0.137849	0.006280