



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA

CARRERA: INGENIERÍA AMBIENTAL

*Trabajo de Integración Curricular,
previo a la obtención del título de
Ingeniera Ambiental.*

Trabajo de Integración Curricular:

MODELACIÓN DEL CRECIMIENTO URBANO DE LA CIUDAD DE QUEVEDO
EN EL PERÍODO 1985-2030 CON LA APLICACIÓN DE AUTÓMATAS
CELULARES Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)

Autora:

Lady Estefania Carrillo Maldonado

Directora del Trabajo de Integración Curricular:

Dra. Lidia Vlassova

Quevedo-Los Ríos- Ecuador

2021-2022

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS



Yo, **Carrillo Maldonado Lady Estefania**, declaro que la investigación aquí detallada es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada 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 trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Carrillo Maldonado Lady Estefania

C.C.# 12074881-6

Autora

CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR



La suscrita, Dra. Lidia Vlassova, docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que la estudiante Carrillo Maldonado Lady Estefania, realizó el Trabajo de Integración Curricular titulado **“Modelación del crecimiento urbano de la ciudad de Quevedo en el período 1985-2030 con la aplicación de Autómatas Celulares y Sistemas de Información Geográfica (SIG)”**, previo a la obtención del título de Ingeniera Ambiental, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.

Dra. Lidia Vlassova

DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

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



Por medio del presente me permito certificar, que la Srta. Carrillo Maldonado Lady Estefania, estudiante egresada de la Carrera de Ingeniería Ambiental presencial, una vez que se revisó el Trabajo de Integración Curricular “**Modelación del crecimiento urbano de la ciudad de Quevedo en el período 1985-2030 con la aplicación de Autómatas Celulares y Sistemas de Información Geográfica (SIG)**”, tengo a bien informar que se realizó la revisión respectiva por medio del sistema Urkund, con un porcentaje favorable del tres (3%) por ciento.

Se adjunta imagen del sistema **Urkund**



Document Information

Analyzed document	proyecto_Carrillo.docx (D121918044)
Submitted	2021-12-10T15:13:00.0000000
Submitted by	
Submitter email	lvlassova@uteq.edu.ec
Similarity	3%
Analysis address	lvlassova.uteq@analysis.urkund.com

Dra. Lidia Vlassova

DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICACIÓN DE APROBACIÓN POR TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



**UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

TÍTULO:

*Modelación del crecimiento urbano de la ciudad de Quevedo en el período 1985-2030 con
la aplicación de Autómatas Celulares y Sistemas de Información Geográfica (SIG)*

Presentado al Consejo Directivo como requisito previo a la obtención del título de
Ingeniera Ambiental.

Aprobado por:

Ing. Orlando Erazo Moreta, PhD
Presidente del Tribunal

Ing. Pedro Lozano Mendoza, Msc
Miembro del Tribunal

Ing. Carlos Nieto Cañarte, Msc
Miembro del Tribunal

QUEVEDO-ECUADOR

2021-2022

AGRADECIMIENTO

Reitero mis agradecimientos a Mi Dios, gracias por fortalecer mi espíritu y brindarme la perseverancia y sabiduría necesaria frente a cada experiencia en estos cinco años de formación académica

A mi madre Nerys Maldonado Mindiolaza por su paciencia y apoyo incondicional en mis días y noches de desvelo estudiantil; a mi padre Kennedy Carrillo Álvarez (+) que me inculcó excelentes valores morales, mis papitos agradezco a Dios por haberme brindado la dicha de ser su hija.

A mi esposo e hija: Jonathan y Emily Palacios, quienes me han demostrado su infinito amor al apoyar mi meta académica; mi niña quien a su corta edad ha sabido comprender el ajetreo de los esfuerzos académicos demostrando con inocencia su paciencia y admiración.

Agradezco a la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, a cada uno de los docentes que me brindaron una muestra de su gran sabiduría, compartiendo vivencias académicas y personales, sus consejos y experiencias.

De manera especial a mi tutora de tesis, la Dra. Lidia Vlassova, por brindarme la confianza y oportunidad de desarrollar conocimientos bajo su supervisión, por sus directrices y paciencia.

Gracias a cada uno de mis compañeros de aula, de manera especial a mi grupo de estudio, agradezco haber formado parte de una promoción en donde predominaban los buenos valores morales y se fomentaba la equidad y la amistad.

Carrillo Maldonado Lady Estefania

DEDICATORIA

A mi Dios y Mis padres, parte fundamental de la mujer que soy hoy en día;

Amado esposo e hija...

Los Amo y respeto, este logro, mi manera de retribuir la confianza, apoyo, esfuerzo y cariño hacia mí.

Carrillo Maldonado Lady Estefania

RESUMEN

En Ecuador el crecimiento demográfico va acompañado con el acelerado crecimiento urbano que a menudo tiene impactos negativos. Los modelos espaciales como Autómatas Celulares (AC), permiten prever las consecuencias de urbanización y evaluar las estrategias de la planificación territorial. En este trabajo, el software libre de AC SLEUTH fue aplicado para predecir el crecimiento urbano de la ciudad de Quevedo, Ecuador. Como información base se utilizó satélites Landsat-5 y 8, y Sentinel-2, capas en formato de vectores disponible en el Sistema Nacional de Información del Ecuador y un modelo digital de terreno proporcionado por la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio de los Estados Unidos. En el preprocesamiento SIG, los datos fueron reproyectados a UTM zona 17S datum WGS84, para la posterior transformación de las capas a formato GIF. Se efectuaron tres iteraciones de calibración que emplearon las áreas urbanas extraídas de las imágenes satélites Landsat-5 (1998, 2000), Landsat-8 (2016) usando método de clasificación de máxima similitud. Se seleccionó los coeficientes más altos del índice leesaee (valores de mejor ajuste). El modelo validado con la imagen de 2019 (Sentinel-2) mostró muy buen ajuste y fue utilizado para predicción. Entre 1998 y 2019 el área urbana de Quevedo presentó un crecimiento de más de 4 veces. Hacia el año 2030 se presentó un escenario de crecimiento urbanístico hacia las tierras dedicadas a la agricultura por más de 20 km². Se concluye un crecimiento a lo largo del perímetro de áreas urbanizadas existentes, siendo las vías principales el factor determinante para este comportamiento de crecimiento urbano.

Palabras clave: modelización, áreas urbanizadas, SLEUTH, Landsat, Sentinel-2

ABSTRACT

In Ecuador, demographic growth is accompanied by accelerated urban growth that often has negative impacts. Spatial models, such as Cellular Automata (CA), allow forecasting the consequences of urbanization and evaluating territorial planning strategies. In this project, the free AC software SLEUTH was applied to predict the urban growth of the city of Quevedo, Ecuador. Images from Landsat-5 and 8 and Sentinel-2 satellites, the digital terrain model provided by the National Aeronautics and space Administration System were used. In the GIS preprocessing, the data was reprojected to UTM zone 17S WGS1984 datum for the subsequent transformation of the layers to GIF format. Three calibration iterations were performed using urban areas extracted from Landsat-5 (1998, 2000), Landsat-8 (2016) satellite images using maximum similarity classification method. The highest coefficients of the Leesalee index (best fit values) was selected. The model validated with the 2019 image (Sentinel-2) showed a very good fit and was used for prediction. Between 1998 and 2019 the urban area of Quevedo grew more than 4 times. Around the year 2030, a scenario of urban growth towards land dedicated to agriculture for more than 20 km² was presented. A growth along the perimeter of existing urbanized areas is concluded, whit the main roads being the determining factor for this behavior of urban growth.

Key words: modeling, urbanized areas, SLEUTH, Landsat, Sentinel-2.

Tabla Contenido

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS	ii
CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	iii
CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO	iv
CERTIFICACIÓN DE APROBACIÓN POR TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN.....	v
AGRADECIMIENTO	vi
DEDICATORIA.....	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
CÓDIGO DUBLIN	xv
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	1
CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	1
1.1. Problema de investigación	4
1.1.1. Planteamiento del problema	4
1.1.2. Sistematización del problema.....	7
1.2. Objetivos.....	8
1.2.1. Objetivo general	8
1.3. Justificación	9
CAPÍTULO II.....	11
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN	11
2.1. MARCO CONCEPTUAL	12
2.1.1. Uso de suelo	12
2.1.2. Crecimiento Urbano	13
2.1.3. Ordenamiento territorial.....	14
2.1.4. Servicios Ambientales.....	15
2.1.5. Agenda 2030 y PDOT	16
2.1.6. Modelos de Predicción	16
2.1.7. Teledetección	18
2.1.8. SIG	19
2.1.9. ENVI	22
2.1.10. Método MONTE CARLO.....	23
2.2. MARCO REFERENCIAL.....	24
2.2.1. Crecimiento Urbano	24
2.2.2. Cobertura vegetal	24
2.2.3. Autómatas Celulares	25
2.2.3. SLEUTH.....	26

2.3. MARCO LEGAL.....	28
2.3.1. Constitución de la República del Ecuador	28
2.3.2. Código Orgánico de Organización territorial, COOTAD	30
2.3.3. Ley Orgánica de Ordenamiento territorial, uso y gestión del suelo.....	30
2.3.4. Ordenanza para la aprobación y actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Quevedo, 2017 – 2021.....	31
CAPÍTULO III	32
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	32
3.1. Localización.....	33
3.2. Tipos de Investigación	35
3.2.1. Experimental.....	35
3.2.2. Correlacional	35
3.3. Métodos de Investigación	35
3.3.1. Investigativa	35
3.3.2. Analítico	35
3.4. Fuentes de recopilación de información	36
3.4.1. Fuentes primarias.....	36
3.4.2. Fuentes secundarias	36
3.5. Diseño de la investigación	36
3.5.1. Preprocesar la información geográfica requerida para el modelo SLEUTH. 36	
3.5.2. Calibrar el modelo SLEUTH para predecir el crecimiento urbano de la ciudad de Quevedo.....	38
3.5.2. Predicción el modelo seleccionado para la simulación del crecimiento urbano de la ciudad de Quevedo hacia el año 2030	45
3.6. Instrumentos de investigación	48
3.7. Tratamientos de datos	48
3.8. Recursos y materiales	49
CAPÍTULO IV	50
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	50
4.1. Resultados.....	51
4.1.1. Preprocesar la información geográfica requerida para el modelo SLEUTH	51
4.1.2. Calibración del modelo SLEUTH para predecir el crecimiento urbano de la ciudad de Quevedo	72
4.1.3. Predicción del modelo seleccionado para la simulación del crecimiento urbano de la ciudad de Quevedo hacia el año 2030	77
4.3. Discusión	84
CAPÍTULO V	86
CONCLUSIONES.....	86
5.1. Conclusiones.....	87
5.2. Referencias.....	88

Índice de tablas

Tabla 1: Paquetes de instalación en emulador Cywin	38
Tabla 2: Renombres de variables para modelación según el modelo SLEUTH	39
Tabla 3: Ubicación de los coeficientes iniciales usados en la calibración gruesa, SLEUTH.	39
Tabla 4: Ubicación de los coeficientes máximo, rangos de inicio y final en la calibración final.....	44
Tabla 5: Derivación de los mejores coeficientes para predicción SLEUTH.....	46
Tabla 6: Probabilidad de crecimiento urbano, SLEUTH	48
Tabla 7: Materiales de investigación	49
Tabla 8: Características de descarga de imágenes satelitales en el área de estudio ciudad de Quevedo.....	52
Tabla 9: Combinación de bandas falso color en imágenes Landsat 5-8; Sentinel 2	63
Tabla 10: Descripción de variables utilizadas en modelo SLEUTH, predicción crecimiento urbano de la ciudad de Quevedo.....	74
Tabla 11: Resultados de calibración gruesa, valores de coeficientes para Escenario test de calibración fina, en sus cinco iteraciones Monte Carlo.	75
Tabla 12: Resultados de calibración fina, valores de coeficientes para Escenario test de calibración final.	76
Tabla 13: Resultados de calibración final, valores de coeficientes para Escenario test en predicción hacia el año 2030.	76
Tabla 14: Mejores coeficientes de urbanización para predicción.....	77
Tabla 15: Comparación de medidas estadísticas de crecimiento orgánico 2020-2030	80

Índice de figuras

Figura 1: Procedimiento metodológico para clasificar coberturas	23
Figura 2: Mapa de ubicación geográfica, cantón Quevedo, provincia de Los Ríos, Ecuador.	33
Figura 3: Área de estudio de distribución urbana, ciudad Quevedo (buffer de 7000m).	34
Figura 4: Base de datos Earth Explorer de USGS Gov Science For A Changing World, para la ciudad de Quevedo.....	52
Figura 5: Base de datos la Misión Topográfica de Radar del Transbordador (SRTM)	53
Figura 6: Recorte de las vías urbanas en el área de estudio de la ciudad de Quevedo.....	54
.....	54
Figura 7: Cobertura de uso de suelo, recorte de área de estudio de la ciudad de Quevedo.	55
.....	55
Figura 8: Mosaico DEM SRT del área de estudio de la ciudad de Quevedo	56
Figura 9: Pendientes en el área de estudio de la ciudad de Quevedo	57
.....	57
.....	57
Figura 10: Hillshade del área de estudio del cantón Quevedo, recorte y gif.....	58
.....	58
Figura 11: Vías en del área de estudio (transporte) 2010 y 2019, formato <i>gif</i>	59
Figura 12: Cobertura de uso de suelo en el área de estudio de la ciudad de Quevedo, gif.	60
.....	60
Figura 13: Cobertura uso de suelo en escala de gris, área de estudio ciudad de Quevedo..	61
Figura 14: Zonas de exclusión en el área de estudio de la ciudad de Quevedo.....	62
.....	62
.....	62
Figura 15: Procesamiento de las Imágenes satelitales de formato <i>tiff</i> a imágenes.	63
Figura 16: Combinación de bandas en imágenes satelitales Landsat 5-8 y Sentinel 2.	64
Figura 17: ROI Tool de las imágenes satelitales Landsat 5-8 y Sentinel 2.	67
Figura 18: Aplicación de ROI Tool en las imágenes satelitales Landsat 5-8 y Sentinel 2..	68
Figura 19: Extracción de la zona urbana en imágenes satelitales clasificadas, formato gif..	71
Figura 20 : Instalación del emulador Cygwin.	72
Figura 21 : Proceso antes y después de la calibración para llegar a la predicción	73
Figura 22 : Datos de modelo, formato gif, en el software SLEUTH.....	73
Figura 23 : Coeficientes en Scenario test para calibración gruesa	74

Figura 24: <i>Scenario.demo200_predict</i> , mejores coeficientes para correr modelo de predicción	78
Figura 25: Tipo de crecimiento orgánico en el área de estudio de la ciudad de Quevedo. .	79
.....	79
Figura 26: Área de distribución urbana en pixeles periodo 1998-2019	80
Figura 27: Aumento de pixeles urbanos en el área de estudio de la ciudad de Quevedo 2020 – 2030.	81
Figura 28: Confiabilidad y probabilidad de crecimiento urbano en el área de estudio de la ciudad de Quevedo	82

CÓDIGO DUBLIN

Título	Modelación del crecimiento urbano de la ciudad de Quevedo en el período 1985-2030 con la aplicación de Autómatas Celulares y Sistemas de Información Geográfica (SIG)
Autora	Lady Estefania Carrillo Maldonado
Palabras Claves	Modelización, áreas urbanizadas, SLEUTH, Landsat, Sentinel-2
F. publicación	Junio, 2022
Editorial	Quevedo, Universidad Técnica Estatal de Quevedo, 2022
Resumen	En Ecuador el crecimiento demográfico va acompañado con el acelerado crecimiento urbano que a menudo tiene impactos negativos. Los modelos espaciales como Autómatas Celulares (AC), permiten prever las consecuencias de urbanización y evaluar las estrategias de la planificación territorial. En este trabajo, el software libre de AC SLEUTH fue aplicado para predecir el crecimiento urbano de la ciudad de Quevedo, Ecuador. Como información base se utilizó satélites Landsat-5 y 8, y Sentinel-2, capas en formato de vectores disponible en el Sistema Nacional de Información del Ecuador y un modelo digital de terreno proporcionado por la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio de los Estados Unidos. En el preprocesamiento SIG, los datos fueron reproyectados a UTM zona 17S datum WGS84, para la posterior transformación de las capas a formato GIF. Se efectuaron tres iteraciones de calibración que emplearon las áreas urbanas extraídas de las imágenes satélites Landsat-5 (1998, 2000), Landsat-8 (2016) usando método de clasificación de máxima similitud. Se seleccionó los coeficientes más altos del índice leesaee (valores de mejor ajuste). El modelo validado con la imagen de 2019 (Sentinel-2) mostró muy buen ajuste y fue utilizado para predicción. Entre 1998 y 2019 el área urbana de Quevedo presentó un crecimiento de más de 4 veces. Hacia el año 2030 se presentó un escenario de crecimiento urbanístico hacia las tierras dedicadas a la agricultura por más de 20 km². Se concluye un crecimiento a lo largo del perímetro de áreas urbanizadas existentes, siendo las vías principales el factor determinante para este comportamiento de crecimiento urbano.
Descripción	
URI	

INTRODUCCIÓN

El crecimiento poblacional es un problema de congestión en las ciudades, la distribución urbana descontrolada genera escasez en los recursos para una población, lo que va de la mano con impactos ambientales negativos, alterando los servicios ambientales del medio que los rodea [1]. La Agenda para el desarrollo sostenible reconoce el impacto que puede ocasionar la distribución poblacional poco regularizada [2]. Es así como establece el Objetivo Sostenible 11 el cuál plantea la intención de alcanzar asentamientos “*inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles*” hasta el año 2030 [2].

Al igual que en diversos países a nivel mundial en Ecuador el crecimiento demográfico va acompañado con el crecimiento urbano transformando el territorio y permitiendo conectar pequeñas y grandes ciudades a través de su interacción cultural y económica. Sin embargo, el incremento de la población también ha desencadenado procesos de invasión de tierra, dificultando identificar los límites territoriales de urbanidad y ruralidad y creando dudas acerca de la administración y eficiencia de estrategias políticas en la gestión de planificación y gestión territorial [3].

A nivel nacional existen Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD) que carecen de una planeación apropiada para las distintas funciones: uso de tierra, transporte, empleo y servicios [4]. Un factor que interviene en la inadecuada planificación urbano es la falta de profesionales y metodologías eficaces para formular e implementar estrategias de planificación territorial que permitan lograr las ciudades sostenibles [3].

A través de los años de forma innovadora se han estudiado alternativas de planificación urbana [5]. Actualmente se implementan diferente tipo de modelos, entre los cuáles se destacan los que aplican los diferentes algoritmos de inteligencia artificial de Autómatas Celulares (AC) [6]. Estos modelos son instrumentos que ayudan a deducir posibles perspectivas ante el progreso urbano, sus resultados se pueden implementar para desarrollar planificaciones territoriales con objetivos y metas alcanzables [7].

Uno de los tipos de modelo de Inteligencia Artificial (IA) más populares en simulación de procesos de urbanización son los Autómatas Celulares (AC), un algoritmo de inteligencia

artificial aplicado por primera vez por Jhon Von Neuman en el año 1940, para formular realidades del medio biológico con proyecciones discretas en espacio y tiempo [8]. Los AC van de la mano con el desarrollo de paquetes de software que permiten simular resultados de modelamiento espacial y cuentan con múltiples implementos [9]. Un ejemplo es el modelo “SLEUTH”, modelo capaz de predecir la expansión urbana a partir de la simulación basada en las tendencias observadas [10]. Este software fue aplicado con éxito en estudios de cambio de uso de suelo urbano en ciudades América del Norte, por ejemplo, San Francisco en California [11] y en América Latina, por ejemplo, Ciudad México en México [12] y Tandil en Argentina [13].

Debido a la eficiencia y factibilidad del modelo SLEUTH aplicado al uso de suelo urbano [14], en este proyecto se ejecutó una simulación basada en AC para el área urbana de la ciudad de Quevedo, Ecuador. A nivel nacional se considera a la de Quevedo como un aporte fundamental en desarrollo económico nacional [15]. Esto debido a su ubicación en la provincia de Los Ríos, región litoral, con un ecosistema de bosque tropical húmedo. En el cantón atravesado por un río con el mismo nombre, se desarrollan las distintas actividades económicas que contribuyen al desarrollo del cantón y el país (pesca, agricultura y comercio) [15].

Estadísticamente la población total de cabecera cantonal Quevedo según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censo (INEC) en su CENSO 2010 fue de 150694 habitantes con una tasa de crecimiento urbana de 2.43% [16]. Si el ritmo de crecimiento se mantiene, se puede asumir que para el año 2022 la población de la ciudad alcanzaría 206780 habitantes. Sin embargo; la información publicada por el INEC no indica las probables zonas de asentamiento urbano para el dato poblacional en el área de estudio. A continuación, se presenta la simulación del modelo SLEUTH, en una línea de tiempo desde 1980 hasta 2019 con proyección al año 2030, modelando la distribución del crecimiento poblacional en Quevedo.

CAPÍTULO I

CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Problema de investigación

1.1.1. Planteamiento del problema

El crecimiento urbano es una de las principales causas de la contaminación. Uno de los factores que originan esta causa es la escasa educación ambiental. La falta de este conocimiento sumado al aumento de individuos provoca la explotación de recursos naturales y servicios ambientales de provisión. Esto se debe a la necesidad de satisfacer las múltiples demandas que aseguran la calidad de vida de los habitantes de un sector.

El crecimiento urbano en el área de estudio de la ciudad de Quevedo, también se ha visto influenciado por la migración nacional e internacional [17]. Por ende, el crecimiento extensivo abarca lugares no establecidos para zonas de asentamiento urbano, provocando un cambio de uso de suelo, anteponiendo las necesidades básicas del hombre. Una de las consecuencias por el aumento de la distribución urbana no predecible, es la ineficiencia de programas de desarrollo y planificación urbana, que a su vez perjudican áreas naturales destinadas a la conservación y regeneración local.

Una alternativa como solución a estos problemas es la geosimulación, Oswaldo Padilla [18] plantea los AC en combinación con herramientas SIG para simular distribución y uso de suelo hacia el futuro. Los AC utilizan la información de datos históricos que indican el comportamiento y la manera de interactuar del objeto de estudio. Actualmente existen diversos estudios de simulación urbana a nivel internacional, implementando con éxito AC. En Ecuador se evidencia el uso de Autómatas Celulares que proyectan la distribución urbana. Sin embargo, dichas investigaciones no utilizan el modelo SLEUTH [19].

Aunque científicamente se ha corroborado la eficiencia de AC no se evidencia su uso como método investigativo para la planificación territorial. Los cantones de Ecuador asumen como indicador de crecimiento poblacional la estadística socializada por el INEC. Estos datos identifican variables de población como: numeración individual, universalidad, simultaneidad y periodicidad [16]. SLEUTH presenta la alternativa de identificar hacia qué zonas se distribuirá el número de habitantes planteado por el INEC, de modo que se pretenda usar como una herramienta para implementar programas de desarrollo y planificación territorial con alcances acercados a la realidad.

1.1.1.1. Diagnóstico

El cantón Quevedo en los últimos años ha tenido un incremento de población. El área de estudio, cabecera cantonal de Quevedo, según datos del INEC ha escalado de 127794 en el año 2001, hasta 158694 habitantes en el año 2010 [20]. Esto ha permitido un crecimiento económico a través de proyectos de comercio, agricultura, industria, entre otros. Este desarrollo económico favorece a la población, creando nuevas alternativas de empleo e ingresos para el cantón. Por otro lado, el aumento de estas actividades debe ser reguladas con un uso de suelo establecido para este uso. Evitando la disminución de recursos y el aumento de contaminación del medio ambiente en el área de estudio.

Uno de los recursos afectados por la contaminación ambiental en el cantón es el sistema fluvial que atraviesa la ciudad. Aunque el Río Quevedo permite actividades como minería, pesca y turismo no se han visto a salvo del crecimiento poblacional y sus consecuencias. Según una entrevista periodística en el año 2018, se relata cómo en años anteriores, sus aguas servían para el transporte fluvial, pero fueron disminuyendo el ancho de su caudal por la construcción de nuevas infraestructuras en la ciudad [21]. Actualmente se evidencia la descarga de contaminantes al río, esto se da por las interacciones antropogénicas con el río, en sus orillas se observan viviendas, sembríos agrícolas, comercios de víveres e incluso pequeñas industrias [4]. Por ende, sus aguas son utilizadas para descargas residuales domésticas e industriales y como depósito de desechos, disminuyendo especies acuáticas [4].

Otro factor interviene en la contaminación, es el aumento de la población que no cuenta con un lugar para establecer sus viviendas. Entonces, antes esta necesidad de nuevos espacios para habitar, muchas veces se lleva a cabo la deforestación de grandes hectáreas de tierra, en donde se construyen nuevas comunidades. Con el aumento de la población también se ve un incremento del parque automotor, este último emana cantidades considerables de dióxido de carbono a la atmósfera. Estos gases acompañados de la excesiva tala de árboles aumentan el efecto invernadero y el cambio climático. La tala de árboles también provoca la erosión del suelo y poco sostén del suelo [22].

El Plan de Ordenamiento Territorial (PDOT) del cantón Quevedo se actualiza cada cuatro años, en donde se trata de implementar alternativas a estas consecuencias ambientales. La planificación de proyectos y estrategias de desarrollo no solo incluyen programas de

transporte, economía, población, cultura, energía, ambiente, uso de suelo, entre otros [15]. También se implementan normas municipales de control social y ambiental, aunque estas en ocasiones no se cumplen ni son reguladas por la autoridad competente. Sin embargo, el PDOT busca beneficiar a 195.523 habitantes contemplados hacia el 2016 [15]. La estadística poblacional se ve influenciada por la tasa anual de crecimiento calculada para el cantón [20]. En la actualidad estos datos se han visto afectados no tan solo a nivel local, si no también nacional.

Un factor no contemplado que ha intervenido en el aumento de la urbe es la llegada de extranjeros. Según el Ministerio del Interior de Ecuador (MIE) [23], existe un auge en la acogida de ciudadanos venezolanos. Para el año 2018, se presume ingresaron alrededor de 954 mil ciudadanos extranjeros que ingresaron a territorio nacional [24]. Lo que afectó al número poblacional del cantón Quevedo, ya que 154 mil extranjeros del total en el 2018 decidieron residir en esta ciudad. Su llegada a agudizado incremento en la demanda de alimentos, servicios básicos y vivienda.

1.1.1.2. Pronóstico

Es factible la implementación de nuevas geo tecnologías y modelos de predicción del crecimiento urbano, basándose en estudios de simulación conforme a los AC. Esta tecnología permite determinar la distribución urbana acorde al comportamiento de la ciudad a través de los años, identificando áreas naturales y recursos hídricos. De esta manera se implementará una planificación con objetivos de conservar y reparar espacios naturales y a su vez se pretende contribuir a la aplicación de los objetivos de desarrollo sostenible de la Agenda 2030 dentro de la planeación urbana de la ciudad de Quevedo.

1.1.1.3. Formulación del problema

¿Es factible predecir el crecimiento urbano de la ciudad de Quevedo en 2030 utilizando Autómatas Celulares algoritmo de inteligencia artificial y geo tecnologías?

La formulación del problema establece las siguientes variables:

- Variables independientes: Datos de distribución de áreas urbanas histórica: distancia de la red vial, superficie ocupada de uso de suelo, valor de pendiente, resistencia de la exclusión ante las áreas urbanas.
- Variable dependiente: Distribución geográfica del área de estudio urbana.

Variables que componen el siguiente modelo lineal:

$$y = ax + b$$

Distribución geográfica del área de estudio urbana = a (Datos de distribución de áreas urbanas histórica) + b

1.1.2. Sistematización del problema

- ¿Es posible obtener los datos requeridos para la simulación de la distribución del crecimiento urbano?
- ¿El software SLEUTH de autómatas celulares permitirá una simulación eficiente para determinar la tendencia de distribución del crecimiento de áreas urbanizadas de la ciudad de Quevedo?
- ¿Cuál sería la distribución de áreas urbanas estimada con SLEUTH para el año 2030 en la ciudad de Quevedo?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Modelar el crecimiento urbano de la ciudad de Quevedo en el período de 1985 a 2030 con autómatas celulares y Sistemas de información geográfica (SIG);

1.2.1.1. Objetivos específicos

1. Preprocesar la información geográfica requerida para el modelo SLEUTH.
2. Calibrar el modelo SLEUTH para predecir el crecimiento urbano de la ciudad de Quevedo.
3. Predecir el modelo seleccionado para la simulación del crecimiento urbano de la ciudad de Quevedo hacia el año 2030.

1.3. Justificación

Ecuador, pertenece a uno de los 193 países comprometidos a ejecutar en su territorio los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 propuesta por la Organización de Naciones Unidas [2]. De este modo, para colaborar con el alcance de los ODS a nivel nacional los Cantones Napo, Santo Domingo, Manabí, y la Región Insular en conjunto con los GAD y Autoridades Nacionales [25], establecen objetivos estratégicos en su planificación territorial, estos objetivos tienen diversos ejes de transformación, uno de estos son los “Asentamiento Humanos” [2]. Esta iniciativa se desarrolla con el fin de servir y equilibrar a la humanidad y medio ambiente [2].

Sin embargo, este tipo de iniciativa aún no llega a todos los cantones del país. Un ejemplo es el área de estudio de la ciudad de Quevedo. En esta ciudad existen áreas naturales y un recurso hídrico que se encuentran en peligro de disminución por la constante contaminación de su población. Sus habitantes buscan zonas donde residir, sin importar las consecuencias para sus familias o el ambiente, ocasionando desplazamientos urbanos en zonas de riesgo, estos movimientos, denominados también invasiones no son previstos por las autoridades en su planificación cuatrienal.

Una manera de corregir esta deficiencia se encuentra en innovar la metodología de investigación. Con los Autómatas celulares se modelan desplazamientos urbanos hacia el futuro. Este software SLEUTH cuenta con la ventaja de estar disponible de manera gratuita al público en general. También ha demostrado en diversas investigaciones una eficiente compatibilidad con datos geográficos reales, dinamismo, adaptabilidad, diversas opciones de simulación y relativa simplicidad de cálculos [26]. Es decir, SLEUTH desarrolla predicciones en donde se pueden empelar varios escenarios en la fragmentación temporal de uso de suelo [27]. Al comparar SLEUTH con otros modelos de simulación (DINAMICA, CLUE-S, FORE-SCE, MOLAND, entre otros), se lo identifica como un modelo idóneo en el estudio de la expansión urbana [27]. Además, permite determinar el tipo de crecimiento que se dará en un área de estudio

El modelo usa insumos de ráster de áreas naturales y cuencas hídricas estos datos en la simulación trabajan como áreas exclusivas de conservación. Estas zonas se denominan áreas excluidas para uso urbano, una medida para mitigar que el desarrollo urbano interfiera en la destrucción del ambiente, manteniendo una equidad entre ambiente y calidad de vida [27].

Los resultados de la modelación tienen la factibilidad para ser aplicados como herramienta de planificación urbana en el área de estudio. De esta manera se evaluarán estrategias de desarrollo para anteponerse a los efectos poblacional sobre el ambiente. Las nuevas planificaciones que se ejecuten ligada a un panorama más realista mejoraran el alcance de los proyectos urbanos con énfasis en la recuperación ambiental.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO CONCEPTUAL

2.1.1. Uso de suelo

El uso de suelo, indica el determinado uso que se le da a la tierra para el desarrollo de los distintos tipos de vida que se encuentran en el planeta. Con respecto a la humanidad, la superficie terrestre presta un servicio fundamental para la sobrevivencia de la humanidad, de tal manera que el hombre se beneficia con un uso del suelo para desarrollar actividades vitales como: asentamientos, servicios y vegetación, usos que a su vez se ven adecuados de acuerdo con la Normativa de cada país [28].

Soil Science Society of America (SSSA) en términos de glosario, describe la tendencia de crecimiento del suelo, a una pulgada cada ciento millones de años de acuerdo con las condiciones climáticas que lo rodeen, refiriéndose a él, como un recurso natural limitado [29].

Un análisis del uso de suelo implementado por la ESPAC, fuente principal de información agropecuaria en Ecuador, presentó estadísticas de crecimiento ascendente desde el año 2005 hasta el 2012 respecto a cultivos. En este documento se indica el porcentaje de labor que a nivel nacional se expanden en 4615.522 ha., en donde el 70.04% de uso corresponde a los Cultivos permanentes, 61.36% cultivos transitorios, 51.15% destinado a otros usos [30].

Los usos de suelo en Ecuador, Según el Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) [31]:

- Cultivos permanentes: Ciclos de producción mayor a un año;
- Cultivos transitorios: Producción menor al año;
- Pastos Naturales y Cultivados: Áreas de ganadería;
- Páramo: Predomina la vegetación natural;
- Monte y Bosques: Flora con características leñosa, gran altura;
- Zonas Antrópicas: Espacios que corresponden al sector urbano, con construcciones y desarrollo poblacional.

2.1.2. Crecimiento Urbano

El ser humano al momento de establecerse en un lugar contempla diversos escenarios, formando asentamientos de acuerdo con su conveniencia y satisfacción de necesidades, atraídos por la interacción social y el progreso económico para mejorar su condición de vida considerando lugares con suelos fértiles y servicios ambientales de la mano. Al principio se conocían como pequeños grupos que, al relacionarse con otros, se volvían más grandes, pasando de pequeñas comunidades a grandes ciudades. Como consecuencia de este incremento de habitantes, surge la necesidad de ocupar espacios más grandes con recursos de mayor extracción [1].

El crecimiento urbano sugiere un uso del suelo intervenido por la presencia desordenada de una población con intereses personales, con consumos desmesurados sin concepto de sostenibilidad, respondiendo a intereses económicos y políticos. La Urbanización conlleva al desarrollo de grandes infraestructuras, servicios básicos, industrialización, con áreas verdes disminuidas. Estos factores atraen propios y extranjeros que buscan establecerse en la ciudad, aumentando la demanda de recursos con alta vulnerabilidad en la biodiversidad [1].

En Ecuador las grandes ciudades se ven afectadas por el desarrollo de transporte y comunicación, extendiendo las zonas de urbanización. Con áreas comerciales en zonas destinadas a uso industrial que congestionan la ciudad. Por otro lado, habitantes que buscan alejarse de este desordenado desplazamiento que afecta la armonía, se establecen a las afueras de la urbe, hacia zonas aledañas de agricultura, las cuales con el tiempo se reducirán ya que los asentamientos colindantes fomentarán la construcción de infraestructura con servicios para la comodidad, en donde la economía pasa a ser de importancia [32].

2.1.2.1. Enfoques urbanos

Según Cortés el crecimiento urbano puede tener los siguientes [1]:

- **Urbanización desarrollista**

El desarrollo de esta urbanización se basa en intereses económicos y políticos, en donde se les da un escaso valor a los problemas ambientales, los cuales, y ven afectados por el incremento de plantas industriales, con carencia de normas de regulación y ordenamiento en donde se priorice la conservación de los bienes ambientales de la mano de la urbanización;

- **Urbanización autoría**

La imposición de mandatos políticos, concentrando las decesiones de una ciudad en las manos de uno o varios con intereses personales;

- **Urbanización neoliberal**

Un tipo de urbanización en donde se retira el subsidio a los sectores estratégicos en una sociedad, en donde predominas lo económico ante los bienes y servicios ambientales, en donde el crecimiento urbano se eleva con escasas de alimentos y adquisición a elevado costo;

- **Urbanización sustentable**

Como su nombre lo indica existe una convivencia medioambiental. con espacios de importancia para la ciudad y sus habitantes, en donde la calidad de vida de las personas va de la mano con actividades y espacios de recreación, cuidado, valor y armonía con el ambiente.

2.1.3. Ordenamiento territorial

Cuando se habla de ordenamiento territorial relacionamos las palabras orden con territorio, desarrollando una idea en donde se conceptualiza como un orden de las cosas que reencuentran en el lugar donde habitamos, regido por las ordenanzas que establecen las autoridades máximas de la ciudad.

Landorrea López, expresa el ordenamiento territorial como el accionar público que busca el manejo adecuado de los recursos, delimitando su territorio y las formas adecuadas donde y como ejercer las actividades [33]. López Ramón y Sánchez Morón no discrepa de lo anterior, y lo denomina una ordenación que diferencia los espacios de una actividad y otra sea económica, social o ambiental [34].

En Ecuador, la Ley de Ordenamiento Territorial, uso y gestión de suelo, en su Art. 9 define el Ordenamiento Territorial como: *“... el proceso y resultado de organizar espacial y funcionalmente las actividades y recursos en el territorio, para viabilizar la aplicación y concreción de políticas públicas democráticas y participativas y facilitar el logro de los objetivos de desarrollo. La planificación del ordenamiento territorial constará en el plan de desarrollo y ordenamiento territorial de los Gobiernos Autónomos Descentralizados. La planificación para el ordenamiento territorial es obligatoria para todos los niveles de gobierno”* [35].

Por lo tanto, el ordenamiento territorial se fundamenta en una administración de diversas estructuras que se proporcionan en una ciudad. Ecuador, fomenta el uso, dando como guía herramientas que permitan diseñar el Plan de Ordenamiento Territorial (PDOT), con lineamientos que se vinculen a los objetivos de desarrollo Sostenible [36].

2.1.4. Servicios Ambientales

Los servicios ambientales están destinados para beneficio de la humanidad por parte del medio natural. Contribuyendo al servicio de la vida como tal, proporcionando sustento dentro del ecosistema. Estos servicios se encuentran valorados en 125 billones de dólares y no disponen de una atención adecuada de protección y ordenación. La FAO indica *“Los servicios ecosistémicos son el motor del medio ambiente”* [37].

El Estado Ecuatoriano y la Constitución del año 2008, determina la regulación y buenos usos de estos servicios ambientales, integrándolos a la planificación territorial en los Gobiernos Municipales, con beneficio social y territorial, clasificándolos en cinco tipos como lo indica el Código Orgánico del Ambiente (COA) [38]:

- Servicios de aprovisionamiento;
- Servicio de regulación;
- Servicios de hábitat;
- Servicios culturales;
- Otros, como indique la Autoridad Ambiental.

2.1.5. Agenda 2030 y PDOT

La Agenda 2030 para el desarrollo Sostenible, aprobada por la Asamblea General de las Naciones Unidas en el año 2015, establece los ODS como instrumento de planificación y seguimiento sostenible [2]. Ecuador acoge la Agenda 2030 como instrumento de desarrollo sostenible en territorio nacional. Los Planes de desarrollo y ordenamiento territorial (PDOT) consideran en su estructura y gestión la implementación de los Objetivos de desarrollo sostenible como contribución a los distintos problemas de desarrollo en las ciudades [36].

Los GAD Municipales estratégicamente optan por acoger proyectos con competencias establecidas en los 17 ODS. De esta manera actualmente en Ecuador, existen cinco provincias que atienden de manera voluntaria la alineación de su PDOT con el desarrollo sostenible acorde a los objetivos de la Agenda 2030, tomando en cuenta la formación del territorio. En este accionar se elaboró el denominado “Grupo de Pensamiento Estratégico Nacional sobre ODS” con actores relevantes como: SENPLADES, INEC, MAATE, AME.CONGOPE, FLACSO, PNUD, FAO, Asamblea Nacional, Comité empresarial ecuatoriano, Declaración de la Unión Europea para Ecuador, entre otros [25].

Napo, Santo Domingo, Manabí, Azuay y el Archipiélago Galápagos, establecen desde el 2017 en su planificación los ejes de conectividad, producción, ambiente y competitividad, recursos hídricos y energéticos, economía, sociocultural y movilidad, económico productivo, cambio de matriz productiva, asentamientos humanos, soberanía territorial, socio-ecosistema integral y sustentables [25].

2.1.6. Modelos de Predicción

2.1.6.1. Autómatas Celulares

El estudio de autómatas celulares reluce en los años de 1940, sistemas dinámicos compuestos por: celdas, etapas, leyes territoriales y reglas de transformación. Las celdas representan un estado que es retribuido por el de las celdas vecinas, lo que impulsa a distintos comportamientos [39].

Las características de un Autómata Celular, según Oswaldo Padilla y otros autores [9]:

- Geometría del arreglo de celdas: Es el espacio donde interactúa el autómata, el cual es modificable, con cuantas dimensiones sean necesarias de acuerdo con el caso de estudio;
- Vecindad: Conjuntos de células finitas que se encuentran cercanas a la celda central, definiendo autómatas celulares de dimensión menor a 1 y mayor a 1;
- Número de estados de celda: Son valores de acuerdo con el estado de la celda, se usa un número a criterio finito, representados por números o colores;
- Reglas que determinan el estado de la celda: Depende de las características del conjunto de celdas, en donde existen un número de estados como de celdas.

2.1.6.2. SLEUTH

Una de las herramientas que brinda la tecnología moderna en busca de la sostenibilidad en la planificación de territorio, son los modelos de cambio de uso de Suelo, en donde la geografía brinda alternativas como recurso a las dificultades ambientales, los modelos de predicción son de utilidad para emplear alternativas de prevención en los movimientos de asentamientos insostenibles [40]. El uso de modelos en el cambio de uso de suelo emplea herramientas de Georreferenciación (SIG), con precedencia desde la década de los 80 en planificación urbana con herramientas de cómputo [39].

SLEUTH, por sus siglas en inglés, referenciales de acuerdo con las variables que utiliza en su simulación: Slope, Landuse, Excluded, Urban, Transportation y Hillshade, traducidos al español nos indican: Pendiente, Usos de suelo, zonas de Exclusión, áreas Urbanas, fotointerpretación [41].

Un modelo de crecimiento urbano elaborado por Clarke, su procesamiento usa recursos autómatas celulares (AC), cartografía e imágenes satelitales de cobertura de suelo de varios años, la ejecución de este consiste en, preparar datos, comprobar funciones del modelo, calibrar, predecir y cimentación de productos [39], las capas de entrada en el modelo son:

- Elevación digital (pendientes con ayuda de SIG);
- Capa de situación inicial del área;

- Capas históricas de transformación;
- Capas de zonas excluidas (áreas de conservación, biodiversidad).

En este modelo se puede dar 4 tipos de desarrollo poblacional, según lo indicado por Keith C. Clarke & Leonard [11]:

- Espontáneo: Cuando existe una ubicación adecuada para asentamientos;
- Difuso: Conjunto de celdas con tendencia a desarrollo;
- Orgánico: Áreas urbanas en tendencia a ampliación;
- Influenciado: Determinado por la construcción de nuevas vías de comunicación terrestre.

2.1.7. Teledetección

La teledetección es una técnica innovadora para la asimilación de patrones, con el uso de imágenes satelitales, dotando de información correspondiente al entorno de estudio, usada para monitorear los cambios de vegetación a causa del impacto humano, de gran aplicación en temas ambientales [42].

Existen 2 tipos de teledetección: La primera consiste en la emisión de energía por un cuerpo como consecuencia de su contacto solar, la cual es sensorizada por el satélite, denominada teledetección pasiva; contrario a lo que realiza el satélite para obtener dicha energía a través de la acción de sensor, reflejando dicha radiación desde el mismo al objeto contribuyendo a la teledetección activa [43].

2.1.7.1. Imágenes Satelitales

Las imágenes satelitales son fotos terrestres obtenidas por los satélites que orbitan la tierra, estos funcionan a través de la captación de radiación superficial que emite el planeta [43]. Esta energía y su información se almacenan en departamentos especializados que convierten los datos en fotografías, utilizadas para desarrollar investigaciones de bien común [44]. Existen varios satélites en la órbita de la tierra, pero se debe identificar el óptimo acorde a la información que se desea procesar.

2.1.7.1.1. Sentinel-2

Sentinel 2, forma parte del programa Copérnico, el mayor proyecto de observación del planeta, este facilita datos multiespectrales que incluyen 13 bandas en el infrarrojo visible, con una resolución espacial que va de 10-60 metros, recoge continuamente imágenes para cualquier lugar del mundo cada cinco a siete días, estas imágenes contribuyen al estudio de coberturas de suelo terrestre y áreas costeras. Los satélites utilizados para obtener este tipo de coberturas son conocidos como: Sentinel-2A (lanzado el 23 de junio de 2015) y Sentinel 2B (7 de marzo de 2017), la recopilación de imágenes se encuentra de manera gratuita a disponibilidad del público en general [45].

La misión Sentinel-2, identifica las siguientes áreas de cobertura [46].:

- *Superficies terrestres continentales (incluidas las aguas interiores) entre las latitudes 56° Sur y 82,8° Norte*
- *Aguas costeras hasta 20 km de la costa*
- *Islas mayores de 100 km²*
- *Todas las islas de la UE*
- *El mar Mediterráneo*
- *Los mares cerrados (por ejemplo, mar Caspio).*

2.1.7.1.2. Landsat

Landsat se desarrolló por el Servicio Geológico de los Estados Unidos(USGS) y la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA) con funcionamiento desde hace 40años, desde el año 1972 ha recopilado imágenes de calidad, cobertura, longitud y detalle [47].Desde esa fecha hasta el proyecto ha tenido múltiples lanzamiento, entre estos se encuentra la versión Landsat 6 de 1993 que por fallas técnicas no alcanzó la órbita indicada perdiendo conexión, sin embargo; esto no fue impedimento para continuar con el desarrollo del proyecto, dando paso al Landsat 7 y 8 en 1999 y 2013 de manera correspondiente [48].

2.1.8. SIG

De manera conjunta el software SIG (Sistemas de Información Geográfica) es una manera de representar de manera geográfica lugares ilustrados en un mapa, empleando una manera

de inferir tecnológicamente en decisiones como: actividades diarias, rutas de movilización, ubicaciones [49].

A todo esto, López responde: SIG realiza representación numérica a través de sus herramientas para diseñar y administrar mapas con información que pueden encontrarse referida en distintos usuarios para una meta personal [49]. No obstante, en el año de 1994 surge un concepto en donde se hace referencia a la recopilación de múltiple información procesada en un modelo que se encarga de simular, compartir y diseñar representaciones geográficas para aplicación de futuras investigaciones [49].

Entonces; se determina el uso de esta metodología desde los inicios de los 80, su uso ha permitido la planificación y manejo óptimo de recursos en el campo de aplicación [50].

2.1.8.1. ArcGIS

Herramienta de utilidad para estudiantes, maestros y profesionales, tecnología de análisis y mapas temáticos, las capacidades de esta aplicación contribuyen a la socialización de nuevos conocimiento e información, esta información realiza análisis de acuerdo con las coordenadas del espacio en cuestión, además; promueve el manejo de imágenes de teledetección, detecta patrones, y establece por medio de variables el lugar adecuado para realizar un proyecto. ArcGIS es un software con diversos usos en la Ingeniería, constantemente se actualiza para un uso eficiente y competitivo de georreferenciación [51].

2.1.8.1.1 Términos geográficos

2.1.8.1.1.1. Capa

“Las capas son el mecanismo que se utiliza para visualizar datasets geográficos en ArcMap, ArcGlobe y ArcScene. Cada capa hace referencia a un dataset y especifica cómo ese dataset se representa con símbolos y etiquetas de texto. Cuando se agrega una capa a un mapa, se especifica el dataset y se establecen las propiedades de etiquetado y símbolos de mapa” [52].

2.1.8.1.2. Coordenada

Las coordenadas describen la ubicación, representada de manera numérica en el espacio, comprendiendo coordenadas en el plano, en donde los ejes se denominan X y Y, estos son perpendiculares de forma lineal, mientras las coordenadas polares utilizan la longitud y latitud, con ángulos representados en letras griegas [53].

2.1.8.1.3. Datum

Las coordenadas geográficas se definen por el datum, y estos por los esferoides que representa la forma de la superficie en la tierra con precisión, como una esfera aplastada en sus polos. Sin embargo; los datum, son aproximaciones lineales de acuerdo con la forma y posición para medir la ubicación, si el datum cambia las coordenadas igual, a continuación, los Datum más utilizados [52]:

- NAD 1927;
- NAD 1983;
- WGS 1984;
- HARN o HPGN.

2.1.8.1.6. Georreferenciación

La Georreferenciación permite a través de coordenadas (x; y) corregir la ubicación de cartografía con coordenadas distintas a la empleada en un trabajo actual, utilizada en los SIG con imágenes ráster de planos, cartográfica, planimetrías, ubicando cuatro puntos para proceder a la rectificación [54].

2.1.8.1.7. Modelo Vectorial

El modelo vectorial se representa mediante puntos, polígonos y líneas, localizados mediante coordenadas en el caso de puntos, perímetro y longitud. Dentro del modelo vectorial se encuentran los denominados modelos Spaghetti y topológicos, el primero trabaja con

información en coordenadas y el segundo identifica otros elementos, existe una ventaja de este modelo sobre el modelo ráster debido a su representación espacial [55].

2.1.8.1.7. Modelo Ráster

El modelo ráster trabaja con imágenes satelitales, estas se representan por píxeles, permitiendo una digitalización de elementos reales como: topografía, regiones, uso de suelo, emisión de energía. La selección de datos para un modelo ráster es de fácil adquisición [55].

2.1.9. ENVI

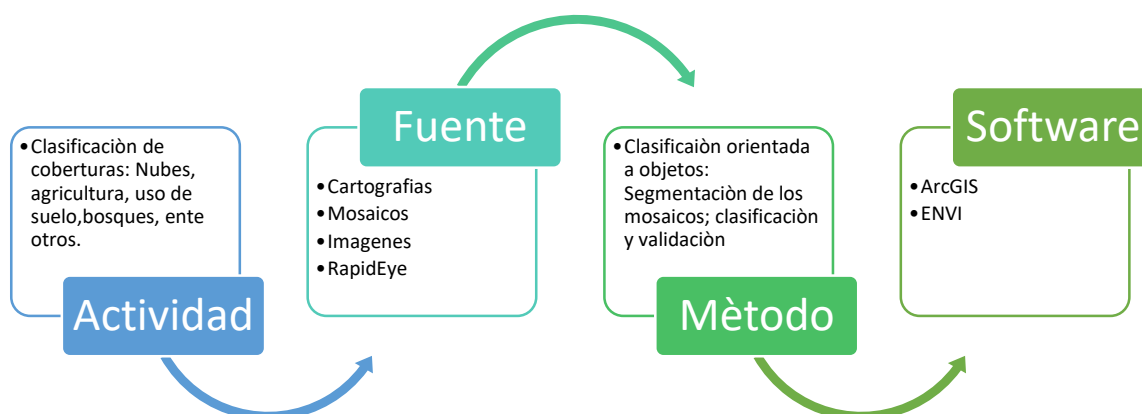
Software profesional para analizar áreas específicas en imágenes satelitales, se puede utilizar en diversas plataformas desde Windows hasta UNIX. El contenido de ENVI acopla herramientas de manejo sencillo y avanzado, a través de su lenguaje de programación el IDL (Interactive Data Language), el cual permite el procesamiento de imágenes RapidEye, dando un significado a datos complejos. ENVI cuenta con herramientas para el manejo de archivos vectoriales y ráster, haciendo uso de técnicas se puede [56]:

- Clasificación multiespectral;
- Georreferenciación de imágenes;
- Transformación a componentes principales;
- Cocientes de bandas;
- Estadísticas de imagen.

El procesamiento de imágenes se da bajo la lectura del lenguaje IDL, en donde resultan valores físicos de la radiación espectral de la transformación de los datos digitales. Luego de este paso se procede a la corrección de radiación, la unión de bandas y cálculo NDI, finalizando con el análisis espectral, mosaico y normalización de imágenes [56].

Para clasificar la cobertura del suelo se utiliza GEOBIA, que clasifica de manera conjunta píxeles, valores espectrales, textura, tamaño y forma, tomando en cuenta tipos de coberturas como: tierras agrícolas con cultivos, tierras agrícolas sin cultivos, bosques naturales, pastos naturales, tierras eriazas, aguas continentales, bofedales, nubes y otras tierras [56].

Figura 1: Procedimiento metodológico para clasificar coberturas



Fuente: Unidad Ejecutora 001631: Gestión de Proyectos Sectoriales - UEGPS Ministerio de Agricultura y Riego, 2018 [56].

2.1.10. Método MONTE CARLO

El método Monte Carlo apareció en el año 1946, denominado y descubierto por John Von Neuman y Stan Ulam, quienes inspirados en el juego de barajas “solitario” con múltiples pruebas de posibilidades a partir de las combinaciones en las cartas [57].

De manera aplicada; es una técnica utilizada a partir de la aparición de los equipos de cómputo, utilizando métodos cuantitativos de forma estadística a través de la tecnología computacional, permitiendo solucionar problemas matemáticos de manera aleatorio con respecto a sus frecuencias relativas o acumuladas. Monte Carlo, en el campo de la geomática conlleva a predecir a través de programas el cambio de suelo, tomando en cuenta la densidad y oportunidad [57].

2.2. MARCO REFERENCIAL

2.2.1. Crecimiento Urbano

En los resultados de la investigación *“El crecimiento urbano de las ciudades: enfoques desarrollista, autoritario, neoliberal y sustentable”* explica el interés del ser humano por una calidad de vida con enfoques en una economía favorable ante una calidad de vida con valoración natural y servicios ambientales sin contaminación, analizando las bases de una ciudad con sostenibilidad ambiental, realizando un análisis histórico del urbanismo y la valoración del suelo en ciudades como Curitiba, determinado el usos de sistemas de información para colaborar con una calidad ambiental y buen manejo de sus recursos, reforzado con políticas de ordenamiento preocupadas por un desarrollo urbano con programas de valoración social y ambiental como; correcta disposición de residuos, control y monitoreo del servicio de agua potables, implementar educación ambiental y servicios básicos óptimos para zonas urbanas [1].

2.2.2. Cobertura vegetal

Actualmente a nivel nacional, *“Utilización de autómatas celulares como técnica de modelamiento espacial para determinación el cambio de uso de suelo y cobertura vegetal”*, investigación con técnicas que modelan como las acciones del hombre conforme a su expansión intervienen de manera devastadora en la extinción de especies nativas en la región Amazónica, los autómatas celulares en conjunto con el software DINAMICA EGO, permitieron representar e interpretar la línea de tiempo respecto al cambio de uso de suelo y su vegetación con periodicidad en dos escenarios(1965-2001/2011-2020), demostrando de manera gráfica los cambios percibidos como respuesta a la tendencia de disminución de vegetación en la Provincia de Orellana, con resultados que muestran la disminución del bosque nativo como consecuencia de actividades antrópicas, disminución que aumentaría para el año 2020 si no se interviene a tiempo, mostrando eficacia de los AC [9].

Se debe tomar en cuenta que el manejo tecnológico del programa DINAMICA EGO muestra una similitud con el planteado en la presente investigación.

2.2.3. Autómatas Celulares

La metodología en la “*Simulación del crecimiento urbano de la zona metropolitana Tepic-Xalisco, México*”, se enfocó en la simulación poblacional hasta el año 2045 en México, con datos alarmantes el crecimiento de sus habitantes, combinación los Autómatas Celulares con las cadenas de Márkov, se analizó el diagnóstico en escenarios de predicción de crecimiento urbano con técnicas de comparación de regresión logística y multi criterio, en donde hasta el 2045 se observó gran eficiencia en la simulación por parte de los AC-Márkov, considerados para obtener sostenibilidad en la planeación de sus asentamientos urbanos por la autenticidad y valor de los datos para emplear en la conservación y correcto uso de suelo a futuro [58].

El trabajo denominado “*Predicción del crecimiento urbano mediante sistemas de información geográfica y modelos basados en Autómatas Celulares*” básicamente maneja cartografías en periodos de tiempo (1984-1999) interpretada a través de Autómatas Celulares comparados con estudios de regresión logística, metodología que responde a una predicción hacia el 2014 por la preocupación ante un crecimiento urbano irregular. La localización de la Vega de Granada amerita implementar herramientas predictivas para su conservación, se compararon los resultados de las dos metodologías antes expuestas, en donde se llegó a la siguiente conclusión; los AC dejan de lado el primer método debido a la lógica de sus simulaciones basadas en las actividades de crecimiento económico, identificando áreas de suelo para implementar políticas que regulen el crecimiento urbano , en especial las zonas de industrialización [26].

La investigación analiza “*Escenarios de crecimiento urbano 2017 y 2022 de la ciudad de Portoviejo, Ecuador, a partir de autómatas celulares*”, proyecto de simulación en territorio nacional a través de Autómatas Celulares y software de fácil acceso DINAMICA EGO, con resultados pronosticados hacia el 2017 y 2022, tomando en cuenta la urbanización sin límites en zonas de riesgos y recursos naturales expuestos a insostenibilidad, adoptando 11 variables. La calibración del modelo se llevó a cabo mediante información geográfica por colaboración de las autoridades del cantón y IGM-Ecuador, imágenes adaptadas para el procesamiento en el software DINAMICA EGO a través de SIG ArcGIS, el modelo de simulación permitió la simulación efectiva en un 80.50%, estipulando porcentajes de crecimiento de seis a siete por ciento correspondientes a los años antes mencionados [19].

Los Autómatas Celulares en; ***“Una revisión de modelos de tráfico automotor usando autómatas celulares”***, investigación desarrollada en territorio nacional, provincia de Manabí, con uso de AC para analizar el comportamiento vehicular en vías de transportes, sustentada en documentos bibliográficos especializados en el tema automotor, contemplando el modelo Nagel y Schreckenberg por la adaptación al manejo de parques automotor, con variables de velocidad, cantidad de vehículos, estableciendo parámetros acorde al funcionamiento de cada celda el AC (1 y 0) respectivamente si el espacio es ocupado o no por un vehículo, los análisis del modelo se dieron interpretando varios escenarios de carril, aceleración, velocidad de vía, tráfico, resultando una adaptabilidad en la interacción vehicular en las rutas, incluyendo infraestructura, stop, radares de velocidad y conducta del chofer, un modelo con aplicabilidad en las diferentes carreteras del Ecuador [59].

Padilla en su investigación en el año 2014; ***Autómatas Celulares: una solución a la geosimulación***, recopiló detalles al utilizar simulaciones con AC, investigando su historia y características y aplicaciones en múltiples ciencias, dando a conocer a todo investigador por qué la factibilidad y eficiencia de esta herramienta tecnológica en la geográfica, explicando modelos ya conocidos como el ***“Modelo de la Vida de Conway”***, concluyendo la dinámica, representación y utilidad de la simulación ante comportamientos en uso de suelo, especies, incluso el crecimiento de una población, siendo útiles en la geografía [18].

2.2.3. SLEUTH

EL estudio ***“Simulación del crecimiento urbano de la ciudad de Tandil (Argentina) aplicando el modelo SLEUTH”***, implementa un programa de acceso universal sin costo válido por la NASA, SLEUTH, procesa los Autómatas Celulares considerando seis variables(Transporte, urbanización, uso de suelo, pendiente, sombreado, restricción), determinando la explicación y habilidad para modelar futuros escenarios de expansión geográfica, a través de proyecciones que evalúan la confianza de acuerdo a la probabilidad y el tipo de desarrollo en el tiempo analizado, en donde la ciudad de Tandil en el periodo 2011 a 2033 ostenta un 66% en su crecimiento, los resultados de esta modelación son utilizados como referencia para informes estadísticos con patrones de comportamiento en mapas gráficos de crecimiento urbano [13].

En la investigación “***Simulación del Crecimiento Urbano de la ciudad de Chihuahua mediante el uso de Autómatas Celulares***” la modelación de este estudio basó su información en imagen satelitales Landsat procesadas con anticipación para analizar simulaciones en el programa SLEUTH, las imágenes corresponden a los años 1793 hasta 2008 de la mano con datos de curvas de nivel y elevaciones del área de estudio en México. La modelación empieza con la calibración de modelo SLEUTH considerando fases estratégicas que permiten medir espacios urbanos y sus límites, con resultados de desarrollo que permitan una ordenada y actual planificación de su territorio, la predicción establece imágenes hasta el año 2030, con resultados alarmantes al observar la distribución acelerada con espacios a punto de colapsar, por otro lado con un 67% de ocupación en áreas con un tiempo medio y largo de asentamiento, destinando con cero ocupación en áreas no urbanizadas, concluyendo con la eficiencia que demuestra el software empleado con AC, generando varios escenarios adaptables a regulación con normativa municipal [60].

2.3. MARCO LEGAL

El marco legal de Ecuador sustenta las leyes fundamentales de la presente investigación, tomado en cuenta:

2.3.1. Constitución de la República del Ecuador

En su TÍTULO I, Capítulo primero de los Principios fundamentales, establece en su Art. 1:

El Ecuador es un Estado constitucional... Se organiza en forma de república y se gobierna de manera descentralizada..... Los recursos naturales no renovables del territorio del Estado pertenecen a su patrimonio inalienable, irrenunciable e imprescriptible [61].

De acuerdo con el RÉGIMEN DE DESARROLLO, TÍTULO VI, Capítulo primero, el estado tiene los siguientes principios generales, Art. 275:

El régimen de desarrollo es el conjunto organizado, sostenible y dinámico de los sistemas económicos, políticos, socioculturales y ambientales, que garantizan la realización del buen vivir, del Sumak Kawsay...El buen vivir requerirá que las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades gocen efectivamente de sus derechos, y ejerzan responsabilidades en el marco de la interculturalidad, del respeto a sus diversidades, y de la convivencia armónica con la naturaleza [61].

Con objetivos de desarrollo, Art 276, literal:

- 4. Recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que garantice a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad al agua, aire y suelo, y a los beneficios de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural;*
- 6. Promover un ordenamiento territorial equilibrado y equitativo que integre y articule las actividades socioculturales, administrativas, económicas y de gestión, y que coadyuve a la unidad del Estado [61].*

TITULO V, ORGANIZACIÓN TERRITORIAL DEL ESTADO, Capítulo primero, Principios generales, Art. 241:

La planificación garantizará el ordenamiento territorial y será obligatoria en todos los gobiernos autónomos descentralizados [61].

Ecuador organiza su territorio, en su Art 242:

...en regiones, provincias, cantones y parroquias rurales. Por razones de conservación ambiental, étnico-culturales o de población podrán constituirse regímenes especiales [61].

En donde los gobiernos regionales autónomos deben cumplir de manera exclusiva según el Art. 262, literal:

6. Determinar las políticas de investigación e innovación del conocimiento, desarrollo y transferencia de tecnologías, necesarias para el desarrollo regional, en el marco de la planificación nacional [61].

Con competencias para los gobiernos municipales como lo indica el Art. 264, literal:

- 1. Planificar el desarrollo cantonal y formular los correspondientes planes de ordenamiento territorial, de manera articulada con la planificación nacional, regional, provincial y parroquial, con el fin de regular el uso y la ocupación del suelo urbano y rural;*
- 2. Ejercer el control sobre el uso y ocupación del suelo en el cantón [61].*

Otorgando responsabilidades conjuntas con el Estado central, como lo indica, TÍTULO VII, RÉGIMEN DEL BUEN VIVIR, Capítulo segundo, Sección séptima biosfera, ecología urbana y energías alternativas, Art. 415:

... Los gobiernos autónomos descentralizados adoptarán políticas integrales y participativas de ordenamiento territorial urbano y de uso del suelo, que

permitan regular el crecimiento urbano, el manejo de la fauna urbana e incentivar el establecimiento de zonas verdes... desarrollarán programas de uso racional del agua, y de reducción reciclaje y tratamiento adecuado de desechos sólidos y líquidos [61].

2.3.2. Código Orgánico de Organización territorial, COOTAD

Establece los siguientes fines conforme los GAD Municipal, TÍTULO I, PRINCIPIOS GENERALES Art 4, literal:

- d) La recuperación y conservación de la naturaleza y el mantenimiento de medio ambiente sostenible y sustentable;*
- g) El desarrollo planificado participativamente para transformar la realidad y el impulso de la economía popular y solidaria con el propósito de erradicar la pobreza, distribuir equitativamente los recursos y la riqueza, y alcanzar el buen vivir [62].*

Con funciones competencias, Art 54:

- b) Diseñar e implementar políticas de promoción y construcción de equidad e inclusión en su territorio, en el marco de sus competencias constitucionales y legales;*
- k) Regular, prevenir y controlar la contaminación ambiental en el territorio cantonal de manera articulada con las políticas ambientales nacionales [62].*

2.3.3. Ley Orgánica de Ordenamiento territorial, uso y gestión del suelo

TÍTULO I, PRINCIPIOS GENERALES, Capítulo I, establece la equidad del territorio con justicia social, Art. 5, literal 2:

Todas las decisiones que se adopten en relación con el territorio propender a garantizar a la población...igualdad de oportunidad para aprovechar las opciones de desarrollo sostenible y el acceso servicios básicos que garanticen el Buen Vivir [35].

Del Ordenamiento territorial, Art. 10:

El ordenamiento territorial tiene por objeto:

- 1. La utilización racional y sostenible de los recursos del territorio;*
- 2. La protección del patrimonio natural y cultural del territorio;*
- 3. La regulación de las intervenciones en el territorio proponiendo e implementando normas que orienten la formulación y ejecución de Políticas Públicas [35].*

Establecimiento los instrumentos de Ordenamiento, capítulo II, acorde a, Art 12, literal 3:

Los instrumentos para el ordenamiento territorial:

...son los planes de desarrollo y ordenamiento territorial y los planes complementarios, aprobados por los respectivos Gobiernos y los regímenes especiales en el ámbito de sus competencias [35].

2.3.4. Ordenanza para la aprobación y actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Quevedo, 2017 – 2021.

Capítulo VII, Art. 19:

... forman parte de la documentación del Plan Cantonal de Desarrollo y Ordenamiento Territorial los documentos técnicos que complementan la parte operativa y de gestión del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Quevedo... podrá hacer uso de aquellos diversos instrumentos técnicos que se encuentren disponibles en instituciones públicas, que permitan fortalecer la planificación orientada hacia el ordenamiento territorial [63].

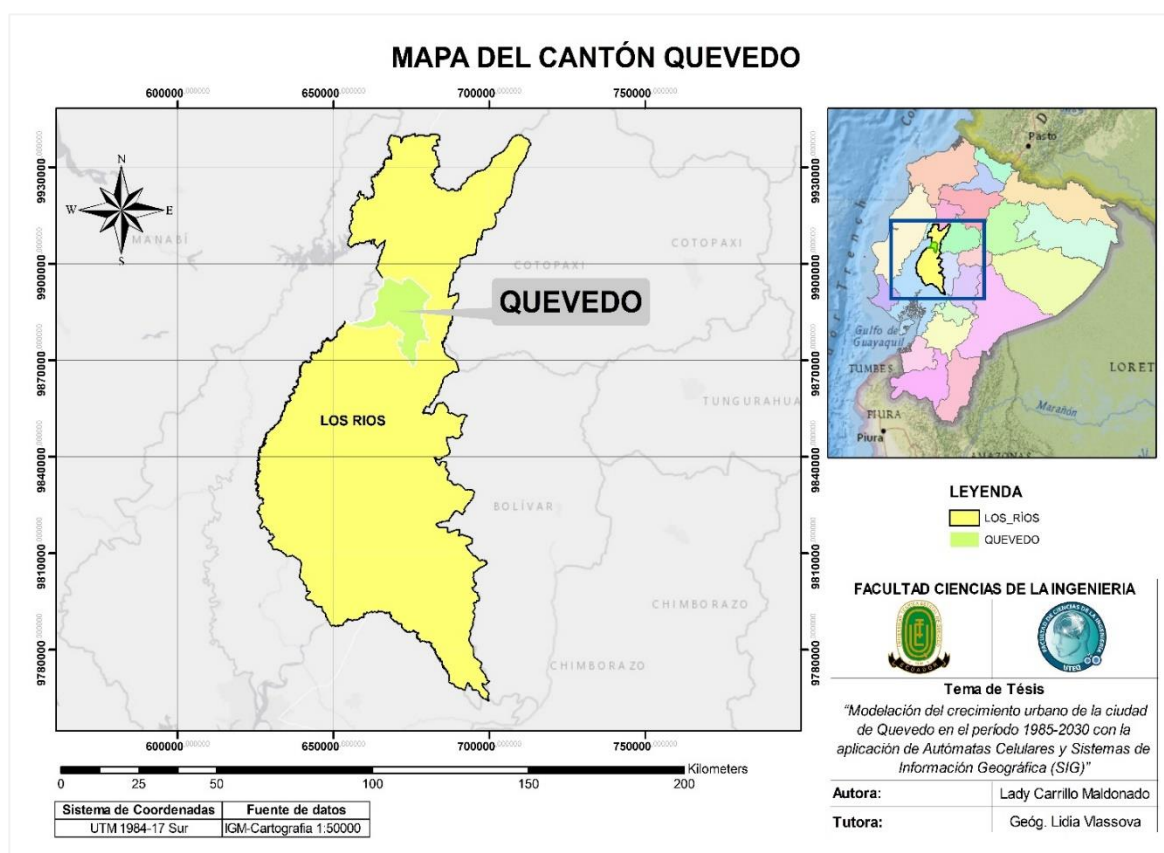
CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Localización

El cantón Quevedo, ubicado en la región litoral, específicamente en la provincia de Los Ríos, latitud 1°2' 30" S, longitud 79° 28' 30" O, el clima promedio es de 23°C a 32°C, fundada el 7 de octubre de 1943. El Sistema Fluvial a lo largo de este Cantón se denomina Río Quevedo, atravesando 288.7 Km² extensiones territoriales. El Cantón se encuentra dividido en nueve parroquias urbanas: San Camilo, San Cristóbal, Venus del Río Quevedo, Nicolás Infante Díaz, El Guayacán, Siete de Octubre, 24 de mayo, Viva Alfaro y Quevedo [15].

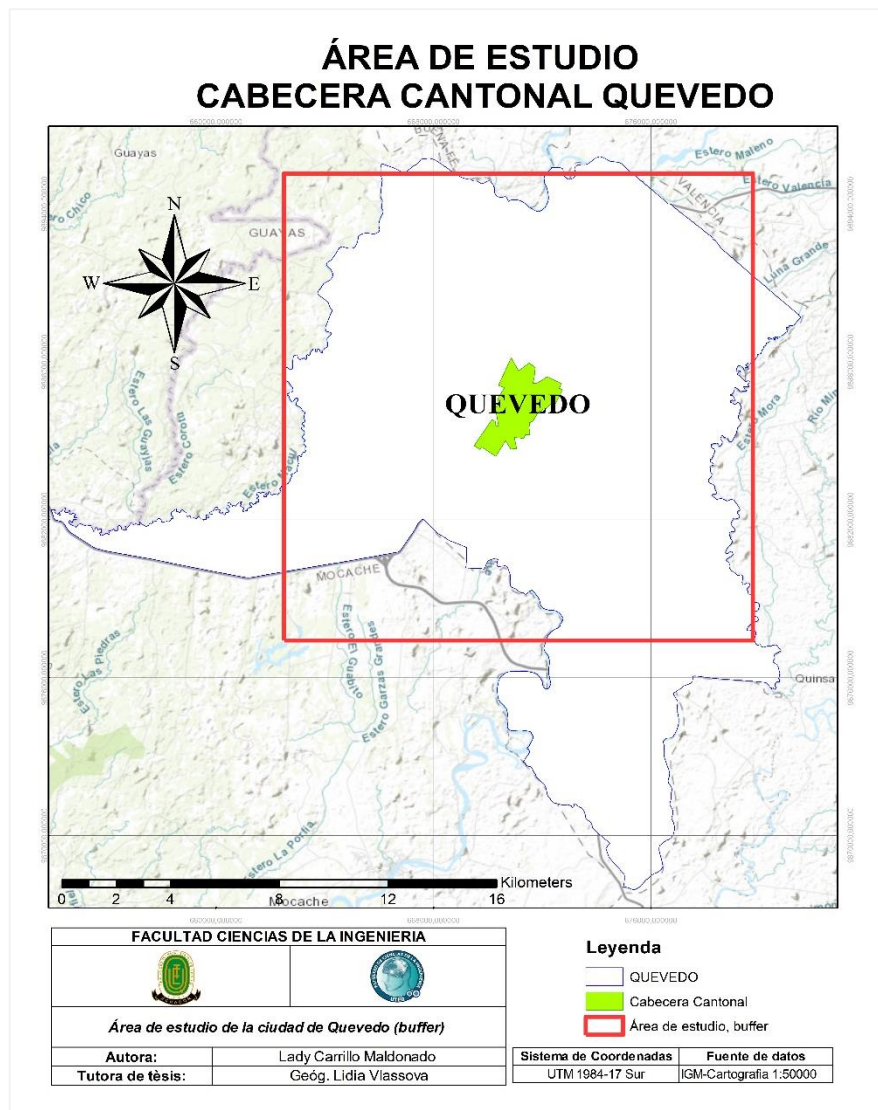
Figura 2: Mapa de ubicación geográfica, cantón Quevedo, provincia de Los Ríos, Ecuador.



Límites Geográficos del Cantón Quevedo [15]:

- **Norte:** Buena Fe y Valencia;
- **Sur:** Mocache;
- **Este:** Ventanas y Quinsaloma;
- **Oeste:** El Empalme.

Figura 3: Área de estudio de distribución urbana, ciudad Quevedo (buffer de 7000m).



La cabecera cantonal de Quevedo es una de las principales parroquias urbanas del cantón. Según datos del INEC en el último censo 2010 la población total de la ciudad de Quevedo fue de 150694 habitantes con una tasa de crecimiento del 2.43% en el área urbana [64]. Con la aplicación estadística de la tasa de crecimiento, asumiendo que no habrá cambios futuros se estima un total 206780 habitantes para el año 2022.

3.2. Tipos de Investigación

3.2.1. Experimental

Este tipo de investigación se emplea ante la necesidad de comprender el comportamiento de los asentamientos humanos desde un punto en el pasado hacia el futuro. La investigación experimental permite determinar cómo influyen las variables (dependiente e independiente) [14]. Por ende, en el área de estudio de la ciudad de Quevedo al obtener un análisis cuantificado para identificar el aumento del área más expuesta a la distribución urbana ante la influencia de los cambios geográficos (vías de transporte, pendiente, uso de suelo, exclusión) determinando la relación causa-efecto.

3.2.2. Correlacional

Requerida al momento de identificar la relación entre crecimiento urbano y sostenibilidad ambiental, para esto se recopila información satelital Landsat y Sentinel-2, topográfica básica, ráster, que responda a variables de Transporte, urbanización, uso de suelo, pendiente, restricción, con datos históricos en periodos desde los años noventa hasta la actualidad, para simular los escenarios de crecimiento urbano en el software de libre acceso SLEUTH.

3.3. Métodos de Investigación

3.3.1. Investigativa

El método investigativo permite corroborar la información de los métodos y programas utilizados en la planificación y ordenación de la ciudad, sobre los datos de población, actividades de desarrollo, estimación ambiental, datos migratorios, programas de abastecimiento a implementar.

3.3.2. Analítico

Consiste en la interpretación de los datos resultantes del modelo de predicción, las características principales y preferencias de los asentamientos humanos al momento de la

distribución geográfica en la ciudad de Quevedo y de esta manera se identifican las áreas con mayor riesgo de insostenibilidad por la intervención del hombre.

3.4. Fuentes de recopilación de información

3.4.1. Fuentes primarias

A través de información obtenida en artículos de revistas y medios electrónicos, que permitan esclarecer el correcto manejo y los alcances de las tecnologías geográficas. Obteniendo información de herramienta enfocadas en la sostenibilidad y planificación territorial entre el hombre y el ambiente. Indagando alternativas algorítmicas basadas en el comportamiento de uso de suelo urbana aplicadas al procesamiento de datos en software SLEUTH.

3.4.2. Fuentes secundarias

Como fuentes secundarias, información local de Planes de Ordenamiento Territorial de la ciudad de Quevedo en su fase de diagnóstico y de desarrollo con respecto al crecimiento urbano. También se comparó las cifras poblacionales con las últimas encuestas de los censos (2001-2010) implementados por el INEC en el área de estudio.

3.5. Diseño de la investigación

3.5.1. Preprocesar la información geográfica requerida para el modelo SLEUTH

3.5.1.1. Adquisición de datos

Las imágenes satelitales de uso y cobertura del suelo correspondieron al periodo 1998-2019 del área de estudio de la ciudad de Quevedo. Al seleccionar las imágenes satelitales se caracterizaron por presentar el menor porcentaje de nubosidad. La descarga se realizó en el registro de imágenes y fotografías satelitales del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), Earth Explorer [41].

Para el resto de los insumos se tomó en cuenta la información obtenida de la base de datos nacional: Cartográfica Geodatabase Nacional del Instituto Nacional de estadística y censos (INEC); Base de datos del Instituto Geográfico Militar de Ecuador (IGM). Los datos se descargaron en formato Shapefile y ráster, para luego ser adaptados a las características de entrada en el modelo SLEUTH.

3.5.1.2. Pre- Procesamiento y Homogenización de datos

Las imágenes satelitales obtenidas responden a los Landsat 5;8 y Sentinel-2. El procesamiento se desarrolló en el software ArcGIS versión 10.8. Los resultados obtenidos imágenes apropiadas para procesar en el programa ENVI versión 4.7 en formato ráster, coordenadas UTM WGS84 Zona 17S, resolución de 30 metros cada una. Los datos de información corresponden a cuatro periodos; 1998,2000,2016,2019.

Los archivos complementarios de entrada al modelo SLEUTH, corresponden a las siguientes variables, en formato a escala gris, GIF de 8 bits, con igual resolución y tamaño de columnas (30 metros), denominado las áreas ocupadas y no ocupadas de acuerdo con las siguientes características [13]:

1. Área Urbana: cuatro escenas para diferentes años, clasificando [cero no edificado y de uno a 255 edificado];
2. Transporte: dos escenas para diferentes años [cero no es vía de transporte y 100 es vía de transporte];
3. Restricción: una escena, identificando a través de polígonos áreas indefinidas de no urbanización en donde, [> 100 son áreas con restricción y con valor de cero las áreas sin restricción];
4. Uso del Suelo: dos escenas para diferentes años y dos tipos de clasificación para el modelo, tipo uno [codificación de categorías de 0 a 255] tipo dos [codificación de categorías de 0 a 7], esta última responde a la clasificación de los tipos de suelo en el área de estudio (agrícola, forestal, agua, urbano, etc.);
5. Pendiente: una escena, en base a un DEM, ráster de porcentajes [% pendiente de 0 a 100];
6. Sombreado: Visualización del relieve de la imagen en base a un DEM [0 a 255, 0 = agua].

3.5.2 Calibrar el modelo SLEUTH para predecir el crecimiento urbano de la ciudad de Quevedo

La metodología aplicada en la presente investigación corresponde al Proyecto Gigalopolis, proyecto de iniciación del modelo SLEUTH, el cual es patrocinado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) [65]. El objetivo de este método es realizar predicciones poblacionales a diferentes escalas mundial [65].

Para desarrollar la calibración en SLEUTH se debe instalar el emulador Cygwin, en donde se instalan los paquetes (tabla 1) acorde a una simulación urbana, seguidamente se procede a descargar el modelo SLEUTH desde la página oficial del Proyecto Gigalopolis,

Es necesario realizar una corrida de prueba con el fin de verificar el funcionamiento del modelo, esta acción se realiza utilizando el archivo *demo.200* de la carpeta *Input*, integrado en la librería del SLEUTH de manera inicial, resultandos archivos de salida en *Output* los que comprueban la correcta instalación del programa [66].

Tabla 1: Paquetes de instalación en emulador Cygwin

- *lynx* - *wget* - *curl* - *rsync* - *python* - *bzip* - *tar* - *bash-completion* - *vim* - *tmux* - *git* -
diffutils - *make* - *gcc-core* - *openssh*

Elaboración: Autora

Consecuente a la instalación correcta, se procede a la integración de datos para la calibración acorde a los años de estudio. SLEUTH aplica tres tipos de calibración previo a la validación y predicción del modelo poblacional urbano; calibración gruesa, fina y final. La aplicación de cada calibración genera determinados coeficientes que buscan la aproximación a la distribución urbana evidenciada en el último y más actual año de estudio [60].

Los insumos de entrada para el modelo SLEUTH se renombran (tabla 2) acorde a la lectura de datos en el archivo *scenario. demo200_test.*, este nombre se resuelve iniciando con *demo200*, seguido del nombre de la variable en el idioma predeterminado del modelo (inglés) y el año al que pertenece la información.

Tabla 2: Renombres de variables para modelación según el modelo SLEUTH.

Variable	Renombre
Zona urbana	demo200.urban.2000
Transporte	demo200.roads.2000
Pendientes	demo200.slope
Cobertura de suelo	demo200.landuse.2000
Cobertura de suelo, color	demo200.actlanduse.2000
Sombreado	demo200.hillshade
Exclusión	demo200.excluded

Elaboración: Autora

3.5.2.1 Calibración Gruesa

La calibración gruesa inicia generando modificaciones manuales en el archivo de la carpeta *Scenario*, “*scenario. demo200_test*” [65], en donde se establece:

- Iteraciones Monte Carlo = cuatro o cinco;
- Configuración de coeficientes para calibración gruesa; los rangos recomendados corresponden a valores de (0-100,25);
- Estos coeficientes se digitan en los espacios; START, se colocan los valores de menor rango (0), STOP al que se le asignan los valores de mayor rango (100), y STEP ubicando el tercer valor (25) (tabla 3), este último es un valor fraccionario de repeticiones hasta alcanzar el valor de STOP, el mismo puede variar de cuatro hasta seis según el criterio del investigador en las calibraciones siguientes.

Tabla 3: Ubicación de los coeficientes iniciales usados en la calibración gruesa, SLEUTH.

Calibration_Diffusion_START	0
Calibration_Diffusion_STEP	25
Calibration_Diffusion_STOP	100

Fuente: Proyecto Gigalopolis, SLEUTH [65].

Los parámetros o factores de calibración urbana a los que se le asignan los coeficientes se interpretan [11]:

- Calibration_Diffusion: determina la dispersión y su naturaleza de manera externa;
- Calibration_Breed: identifica la factibilidad de crecimiento generado a partir de un asentamiento independiente;
- Caloiibration_Spread: se encarga de registrar la cantidad de difusión;
- Calibration_Slope: identifica la distribución de asentamientos hacia pendientes más elevadas;
- Calibration_Road: factor de gravedad, identifica la atracción de los asentamientos hacia las vías de transporte.

Para ejecutar el “*scenario. demo200_test*” se hace uso del emulador Cywing indicando [65]:

- `../grow.exe calibrar scenario. demo200_test`; seguido de un enter, se observa correr el modelo el número de veces Monte Carlo y los años de desarrollo urbanístico de las variables de entrada para el modelo SLEUTH;
- El tiempo de ejecución varía en las distintas calibraciones, ya que, según el STEP o rango de fracciones, este puede generarse en extensas horas o viceversa;
- Los resultados de la primera calibración se generan en la carpeta *Output*, con el nombre del escenario ejecutado; en el cual podemos encontrar el archivo *control_stats.log*, en donde se encuentran los coeficientes aplicables para la siguiente calibración (fina).

El archivo *control_stats.log*, contiene medidas estadísticas denominadas [65]:

- run: Numero de iteraciones que corre el modelo;
- compare: compara la cantidad de zonas urbanas modeladas para detener la fecha donde *Pmodeled* es el área urbana modelada y para el final de año es (*Pactual*);
- pop: Resultados de la regresión de mínimos cuadrados para el modelo urbano actual en comparación con el área urbana para el año de control;

- edges: Resultados de la regresión de mínimos cuadrados para el modelo del perímetro urbano, o borde, en comparación con el actual perímetro urbano por el año de control;
- clúster: Resultados de la regresión de mínimos cuadrados para el modelo de número de agrupaciones urbanas en comparación con el número conocido de las agrupaciones urbanas por los años de control;
- clúster_size: Resultados de la regresión de mínimos cuadrados para el modelo del tamaño promedio de agrupaciones urbanas en comparación con el tamaño conocido por los años de control;
- leesalee: un índice de forma, medida de ajuste espacial entre el modelo de crecimiento y la extensión urbana conocida para el control de los años, 1 es una combinación perfecta y 0 representa un espacio de desconexión: $s = (A \cap B) / (A \cup B)$ donde A es modelado y B es el área urbana actual;
- slope: Resultados de la regresión de mínimos cuadrados para el promedio de inclinación para el modelo de células urbanizadas en comparación con el promedio de inclinación de celdas urbanas conocidas por los años de control;
- %urban: Resultados de la regresión de mínimos cuadrados del porcentaje de píxeles disponibles urbanizados en comparación con el número de píxeles urbanizados por los años de control;
- slope: Resultados de la regresión de mínimos cuadrados para el promedio de inclinación para el modelo de células urbanizadas en comparación con el promedio de inclinación de celdas urbanas conocidas por los años de control;
- %urban: Resultados de la regresión de mínimos cuadrados del porcentaje de píxeles disponibles urbanizados en comparación con el número de píxeles urbanizados por los años de control;
- xmean: Resultados de la regresión de mínimos cuadrados del promedio de longitud (calculado usando columna de valores) para modelar lugares urbanizados comparados con el promedio de longitud de áreas urbanas conocidas por los años de control;

- ymean: Resultados de la regresión de mínimos cuadrados del promedio de latitud (calculado usando filas de valores) comparada al promedio de latitud de áreas urbanas conocidas por los años de control;
- rad: Es la medida de dispersión urbana = $\sqrt{(\text{stdx}^2 + \text{stdy}^2)}$;
- diff: Coeficiente de calibración de dispersión;
- brd: Coeficiente Breed(raza);
- sprd: Coeficiente de propagación;
- slp: Resistencia a la pendiente;
- rg: Parámetro de influencia de carretera.

Para determinar de manera correcta el rango de coeficientes generados en la calibración gruesa de utilidad para la siguiente calibración (fina) [67], se procede:

- Ordenar el archivo *control_stats.log*, precedidos por valores máximos y mínimos de la medida *LeeSale*;
- Se recomienda seleccionar entre los primeros 10 valores, respecto a las medidas *diff*, *brd*, *Spr*, *Sl* y, *RG*; obteniendo los rangos para START y STOP;
- Finalmente; se identifica el valor apropiado STEP para los coeficientes determinados y se procede a ejecutar la calibración fina.

3.5.2.2. Calibración Fina 1

La calibración fina 1 inicia generando modificaciones manuales en el archivo de la carpeta *Scenario*, “*scenario.demo200_test*”, estas se realizan acorde a los coeficientes obtenidos en la primera calibración, básicamente luego se procede con el mismo orden de los pasos ejecutados en la calibración gruesa [65]:

- Iteraciones Monte Carlo = siete u ocho;
- Configuración de coeficientes para calibración fina;
- Estos coeficientes se digitan en los espacios; START, se colocan los valores de menor rango, STOP al que se le asignan los valores de mayor rango, y STEP se ubica un valor fraccionario de repeticiones hasta alcanzar el valor de STOP.

Se ejecuta el “*scenario. demo200_test*” con ayuda del emulador Cywing indicando [65];

- .. */grow.exe calibrar scenario. demo200_test*; seguido de un enter, observando correr el modelo el número de veces Monte Carlo y los años de desarrollo urbanístico de las variables de entrada para el modelo SLEUTH;
- El tiempo de ejecución varia en las distintas calibraciones, ya que según el STEP o rango de fracciones;
- Los resultados de la segunda calibración se generan en la carpeta *Output*, con el nombre del scenario ejecutado; en este el archivo *control_stats.log*, en donde se encuentran los coeficientes aplicables para la siguiente calibración (final).

Para determinar de manera correcta el rango de coeficientes generados en la calibración gruesa de utilidad para la siguiente calibración (final) [67], se procede:

- Ordenar el archivo *control_stats.log*, precedidos por valores máximos y mínimos de la medida *Lee Salle*;
- Se recomienda seleccionar entre los primeros 10 valores, respecto a las medidas *diff*, *brd*, *Spr*, *Sl* y, *RG*; obteniendo los rangos para START y STOP.
- Finalmente; se identifica el valor apropiado STEP para los coeficientes determinados y se procede a ejecutar la calibración final.

3.5.2.3. Calibración Final

La calibración final inicia generando modificaciones manuales en el archivo de la carpeta *Scenario*, “*scenario. demo200_test*”, estas se realizan acorde a los coeficientes obtenidos en la segunda calibración [65], básicamente luego se procede con el mismo orden de los pasos ejecutados en calibraciones anteriores:

- Iteraciones Monte Carlo = ocho a 10;
- Configuración de coeficientes para calibración fina;
- Estos coeficientes se digitan en los espacios; START, se colocan los valores de menor rango, STOP al que se le asignan los valores de mayor rango, y STEP se ubica un valor fraccionario de repeticiones hasta alcanzar el valor de STOP.

Se ejecuta el “*scenario. demo200_test*” con ayuda del emulador Cywing [65] indicando;

- .. */grow.exe calibrar scenario. demo200_test*; seguido de enter, observando correr el modelo el número de veces Monte Carlo y los años de desarrollo urbanístico de las variables de entrada para el modelo SLEUTH;
- El tiempo de ejecución varia en las distintas calibraciones, ya que según el STEP o rango de fracciones;
- Los resultados de la segunda calibración se generan en la carpeta *Output*, con el nombre del scenario ejecutado; en este el archivo *control_stats.log*, en donde se encuentran los coeficientes aplicables para la siguiente calibración (final).

Para determinar de manera correcta el rango de coeficientes generados en la calibración final de utilidad para ejecutar la predicción [68]se procede:

- Ordenar el archivo *control_stats.log*, precedidos por valores máximos y mínimos de la medida *Lee Salle*;
- En esta etapa se seleccionarán los coeficientes máximos para predicción acorde a los parámetros de urbanización (*diff, brd, Spr, Sl y, RG*);
- Los rangos que se establecen para **START y STOP** son los coeficientes máximos y se ubican de forma similar para ambos casos (tabla 4);
- Finalmente; se le asignan un valor de uno a la variable STEP.

Tabla 4: Ubicación de los coeficientes máximo en la calibración final.

Tipo de coeficiente	START	STOP	STEP
Dispersión	1	1	1
Raza	3	3	1
Propagación	11	11	1
Cuesta	87	87	1
Gravedad de carretera	1	1	1

Fuente: Project Gigalopolis [67].

3.5.2. Predicción el modelo seleccionado para la simulación del crecimiento urbano de la ciudad de Quevedo hacia el año 2030

Se modeló el periodo de crecimiento con proyección al año 2030, utilizando los mejores valores de crecimiento del pasado. El año de inicio de la predicción fue el último de las imágenes de entrada con las que se realizó la calibración [41]. Sin embargo, antes de la predicción correspondiente se necesita derivar los coeficientes de previsión o en otras palabras seleccionar los mejores coeficientes de predicción a lo largo de las tres calibraciones anteriores, para ello se realiza una última corrida de datos con los rangos establecidos en la última calibración o calibración final [65].

“Para la inicialización del pronóstico, se desean los valores de STOP_DATE de los coeficientes mejor calibrados. El uso de los mejores coeficientes derivados de la calibración y la ejecución de SLEUTH para el período de tiempo histórico producirá un único conjunto de coeficientes de STOP_DATE para inicializar la previsión” [65].

La derivación de los mejores coeficientes consiente en aplicar modificaciones manuales en el archivo de la carpeta *Scenario*, “*scenario. demo200_test*”, estas se realizan acorde a los últimos coeficientes máximos [67], se recomienda:

- de 100 a 200 o más iteraciones Monte Carlo;
- afirmar con la palabra “YES” el indicador WRITE_AVG_FILE(YES/NO);

Para ejecutar el “*scenario. demo200_test*” se utiliza el Cywing indicando;

- `../grow.exe calibrar scenario. demo200_test`; seguido de enter, observando correr el modelo el número de veces Monte Carlo y los años de desarrollo urbanístico de las variables de entrada para el modelo SLEUTH;

El archivo de salida en el que se almacenan los coeficientes apropiados a la predicción se localiza en *archivo .log promedio o avg.log*, en donde se identifica:

- Para el año final, los valores de *diff*, *brd*, *Spr*, *Sl* y *RG*, estos valores se presentan en forma decimal, se debe redondear a enteros (tabla 5) de esta manera se obtienen los mejores valores para la predicción;

Tabla 5: Derivación de los mejores coeficientes para predicción, SLEUTH.

Tipo de coeficiente	PREDICTION_*_BEST_FIT
Dispersión	2
Raza	5
Propagación	20
Cuesta	52
Gravedad de carretera	4

Fuente: Project Gigalopolis [67].

3.5.2.1. Predicción SELUTH

La predicción del modelo SLEUT aplicada para zonas urbanas corresponde a los resultados de los mejores coeficientes en la previsión, para iniciar con la simulación estableciendo un año en el futuro [65], tenemos:

- Se realiza adaptación del escenario utilizado en la derivación para trabajar en el *scenario. demo200_predict*, se establece los indicadores de archivo de salida en sí;
- Se modifica el número de Working Grids, del valor establecido se recomienda sumar un dígito, dando valor de cinco;
- Iteraciones Monte Carlo de 100,200 o más;
- Se establece los mejores coeficientes como lo indica la figura (7), en el espacio *PREDICTION_*_BEST_FIT*;
- Si es de preferencia se realizan modificaciones en la escala de colores;
- Se ejecuta de acuerdo con el comando *../grow.exe predict scenario. demo200_predict*
- Los archivos de salida producto de la predicción se encuentran en la carpeta *Output* del escenario predicción. En este se encuentran los gráficos acordes al tipo de crecimiento y las áreas de distribución urbana en el área de estudio, en donde se identifica la probabilidad de transformación de las nuevas celdas urbanas.

3.5.2.1.1. Tipos de crecimiento SLEUTH

SLEUTH en su fase predicción, resuelve ilustraciones que identifica el tipo de crecimiento, para esto se definen cuatro posibles tipos de crecimiento graficados en el año simulación [11]:

1. **Espontáneo:** Este tipo de crecimiento se muestra cuando una celda se ubica de manera apropiada da en un área limitante a un asentamiento;
2. **Difuso:** Se permite una urbanización en lugares apropiados para un desarrollo sin importar si ya existe inicios de urbanización en el área;
3. **Orgánico:** Este tipo de crecimiento se pronuncia a partir de zonas urbanas ya establecidas, ampliando las áreas urbanas existentes;
4. **Crecimiento influido por carreteras:** Un crecimiento que se ve influenciado por las vías de conexión que se ubican a su alrededor, facilitando la accesibilidad urbana a diferentes actividades y servicios para un mejor desarrollo urbano.

Los tipos de crecimiento se pueden identificar con más precisión de acuerdo con el color de los pixeles, en color rojo se establece siempre el área urbana, en color verde se identifica un crecimiento espontaneo o difuso, color amarillo indica nuevos centros de expansión, mientras en tonos blancos se identifica el crecimiento orgánico y de celeste el tipo de crecimiento que se ve influenciado por las vías de transporte [13].

3.5.3.1.2. Confiabilidad y probabilidad en celdas transformadas para el crecimiento urbano SLEUTH

La probabilidad de crecimiento se representa de manera dinámica en tonos asociados a valores de urbanización, estos rangos se establecen e infieren con el tono grafico (tabla 6).

Tabla 6: Probabilidad de crecimiento urbano, SLEUTH.

Color	Probabilidad
	10%
	20%
	30%
	40%
	50%
	60%
	70%
	80%
	90%
	100%
	Presencia Urbana

Fuente: Linares & Clarke [13].

3.6. Instrumentos de investigación

Para la obtención de resultados acorde a los objetivos establecidos en la investigación, se necesitó de instrumentos tecnológico (laptop) para manejar los datos geográficos, analizando imágenes geoespaciales en sitios web públicos que manejan información geográfica nacional e internacional (IGM ECUADOR/EARTHEXPLORES), al igual al momento de la instalación y modelación en los softwares ArcGIS y SLEUTH. A través de los servidores académicos se recopiló información metodológica relevante para una óptima investigación sobre los Autómatas Celulares y su aplicación.

3.7. Tratamientos de datos

Para la modelación de las imágenes satelitales y cartográfica correspondiente a la ciudad de Quevedo se implementó los siguientes programas:

- ENVI 4.7.: Uso en el procesamiento de imágenes satelitales para la caracterización de la cobertura de suelo.
- ArcGIS: para el procesamiento y transformación de las imágenes formato shapelif e y ráster acorde a las características de modelamiento en el software SLEUTH.

- Cygwin: emulador para la ejecución de comandos para ejecutar SLEUHT en un sistema Windows
- SLEUTH: Modelamiento de datos para la predicción del crecimiento poblacional en la ciudad de Quevedo.

3.8. Recursos y materiales

A continuación, se describen de las herramientas utilizadas en la investigación:

Tabla 7: Materiales de investigación

Materiales tecnológicos	Software
• Laptop	• Imágenes Satelitales Landsat y Sentinel-2 • Instituto Geográfico Militar (IGM)(Shp.) • Cartas Topográficas Quevedo • Software de análisis de imágenes ENVI • Sistema de Información Geográfica ArcGIS • Lectura de comandos en sistema Windows, Cygwin • Modelo digital de terreno, libre, NASA(SLEUTH)
Elaboración: Autora	

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

Este capítulo describe los resultados alcanzados conforme al orden de los objetivos específicos y la metodología descrita en el Capítulo III. Los resultados permitieron simular el modelo proyección urbana de la ciudad de Quevedo hacia el año 2030.

4.1.1. Preprocesar la información geográfica requerida para el modelo SLEUTH

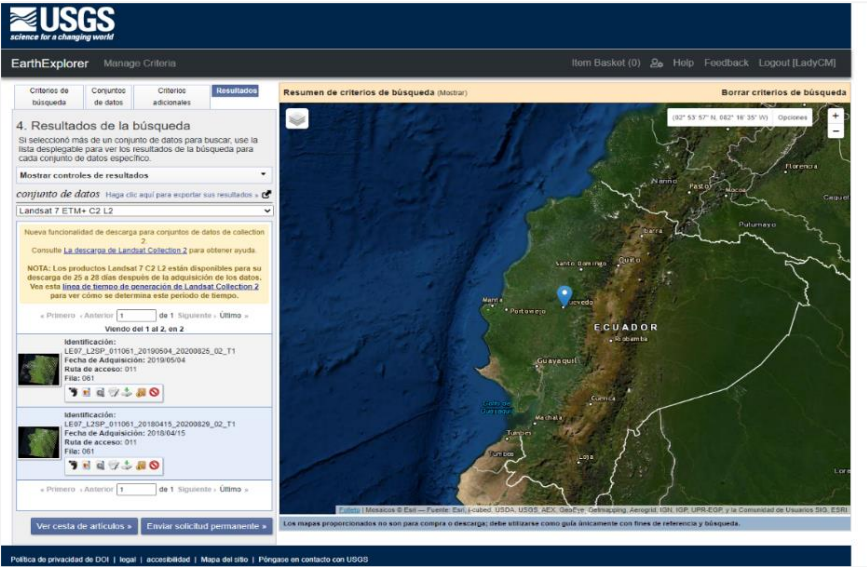
4.1.1.1. Adquisición de datos

La adquisición de datos infirió una búsqueda minuciosa en las distintas bases de datos geográficos nacional e internacional. La información obtenida responde al periodo 1998 hasta 2019, identificando cinco variables propias del modelo SLEUTH. Se determinó estos años de estudio (1998 a 2019) por disponer de información exacta para la modelación. Los insumos utilizados son: Área Urbana y transporte; Restricción: Uso del Suelo; Pendiente.

4.1.1.2. Imágenes Satelitales

Las imágenes satelitales obtenidas corresponden al área urbana de la ciudad de Quevedo. En la base de datos *Earth Explorer de USGS Gov Science For A Changing World (figura 4)* se seleccionó las mejores imágenes, identificando una baja variación atmosférica. Los satélites que presentaron mejor variación son Landsat 5 (1998), Landsat 8 (2000,2016) y Sentinel 2 (2019) en tres fechas diferentes (tabla 8).

Figura 4: Base de datos Earth Explorer de USGS Gov Science For A Changing World, para la ciudad de Quevedo



Fuente: USGS [69].

Tabla 8: de imágenes satelitales en el área de estudio ciudad de Quevedo.

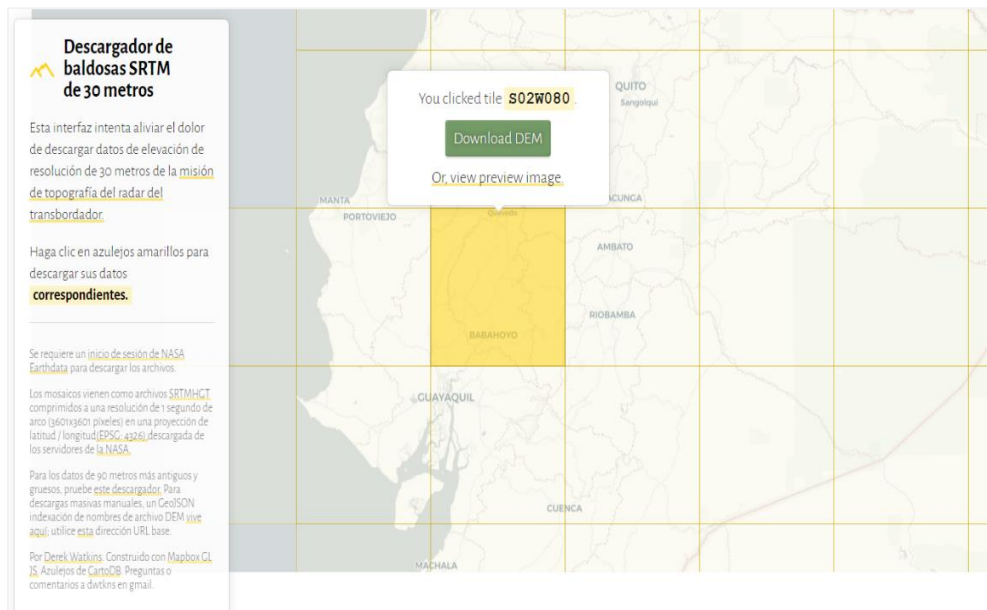
Satélite	Fecha	Nubosidad (%)
Landsat 5	09/07/1998	25
Landsat 8	11/23/2000	20
Landsat 8	20/06/2019	25
Sentinel 2	01/06/2019	10

Fuente: USGS [69].
Elaboración: Autora

4.1.1.3. Derivada del modelo digital de terreno (DEM)

Los datos (DEM) se descargaron de la base de datos de la Misión Topográfica de Radar del Transbordador (SRTM). La resolución se alineo a las imágenes satelitales Landsat (30m). Las elevaciones acordes al lugar de estudio correspondieron a dos baldosas, esto se dio por la ubicación de área de estudio de la ciudad de Quevedo (figura 5). Las imágenes: S02W080 (sur) y S01W080(norte) se utilizaron para procesar y obtener el ráster de pendientes del área de estudio.

Figura 5: Base de datos la Misión Topográfica de Radar del Transbordador (SRTM)



Fuente: SRTM [70].

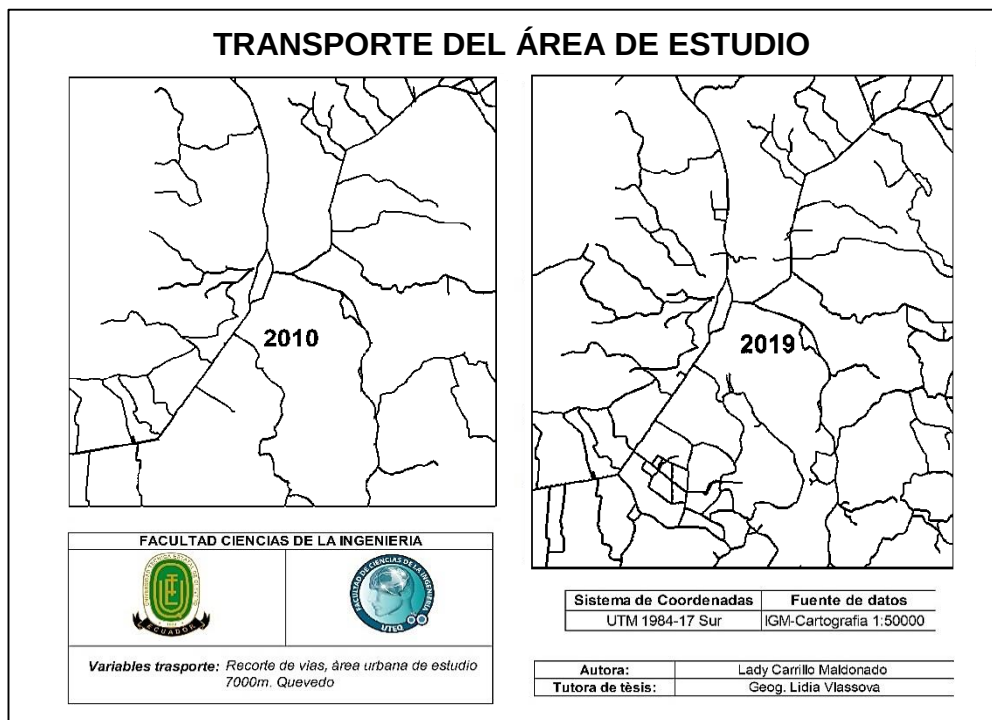
4.1.1.3. Vías urbanas del cantón Quevedo

Los datos de vías urbanas del cantón Quevedo se identificaron en dos fechas distintas en formato Shapefile;

- Archivo vector de vías del año 2010, obtenidas de la Información Cartográfica Geodatabase Nacional del Instituto Nacional de estadística y censos (INEC).
- Archivo vector de vías, el más actualizado a la fecha de estudio (2019), este formato se obtuvo a través del software *QGis 3.16*, en el servidor de ubicaciones “*Google Street*”.

Los archivos se procesaron en el programa ArcGIS versión 10.8. Con el uso de la herramienta “clip”, se realizó un recorte de vías (figura 6) de acuerdo con el área de estudio de la ciudad de Quevedo (figura 3).

Figura 6: Recorte de las vías urbanas en el área de estudio de la ciudad de Quevedo.



Fuente: IGM [71].

Elaboración: Autora.

Las principales vías conexión para el área de estudio de la ciudad de Quevedo presentan un aumento en las rutas desde el año 2010 hasta el año 2019.

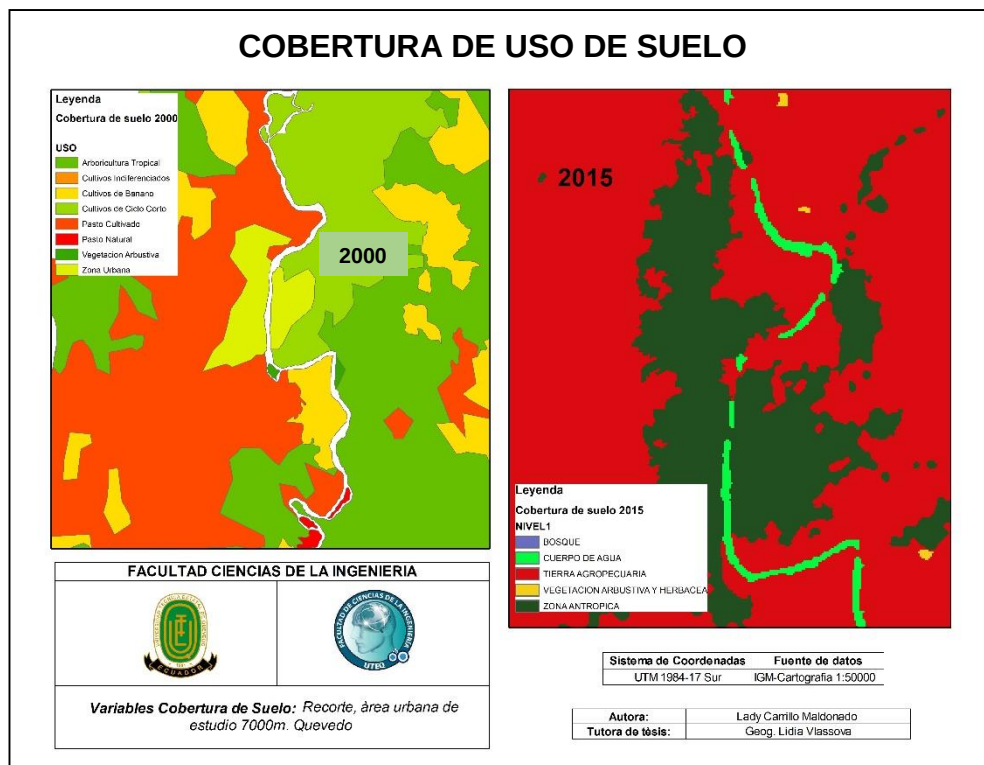
4.1.1.4. Cobertura de Uso de suelo del cantón Quevedo

Los datos de cobertura de suelo utilizados corresponden a:

- Archivo Vector del uso de suelo del año 2000;
- Archivo Vector del uso de suelo del año 2015.

Los archivos vectores se procesaron en el software ArcGIS versión 10.8. La herramienta que se utilizó para recortar los usos de suelo acorde al área de estudio fue “clip” (figura 7).

Figura 7: Cobertura de uso de suelo, recorte de área de estudio de la ciudad de Quevedo.



Fuente: IGM [71]
Elaboración: Autora.

La cobertura de suelo en el área urbana de estudio presenta un contraste distinto desde el año 2000 hasta el 2015. El uso de suelo visualizado en la imagen de la izquierda (2000) presenta una variedad de usos, denotando la presencia de vegetación natural y tropical sobrepuesta al uso antrópico. Para el año 2015 (imagen derecha) los usos de suelo se han visto desplazados priorizando el uso agrícola y aumentando la zona antrópica.

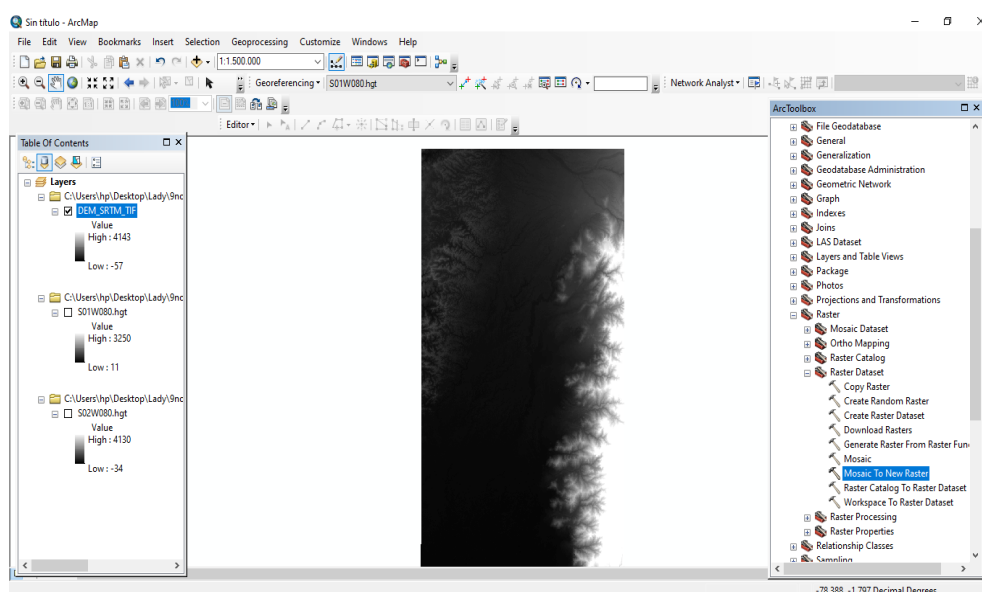
4.1.1.5. Procesamiento y Homogenización de datos

En esta etapa se procesaron los datos geográficos de cada variable de acuerdo con el periodo de tiempo. Los archivos se llevaron a formato Gif de 8bits en escala de grises. Este proceso fue indispensable para la inserción de datos en la fase de calibración del modelo SLEUTH.

4.1.1.5.1. Pendientes del área de estudio

Las pendientes se obtuvieron a través de las imágenes DEM SRTM con resolución de 30 metros en el software ArcGIS versión 10.8, por cuestiones de ubicación del área de estudio en la ciudad de Quevedo, se implementó el proceso de unión de los dos archivos DEM SRT, con ayuda de *ArcToolbok* en su herramienta “*Data Management Tools, Ráster, Mosaic to New Ráster*” (Figura 8), en formato *Tiff*.

Figura 8: Mosaico DEM SRT del área de estudio de la ciudad de Quevedo



Fuente: ArcGIS 10.8

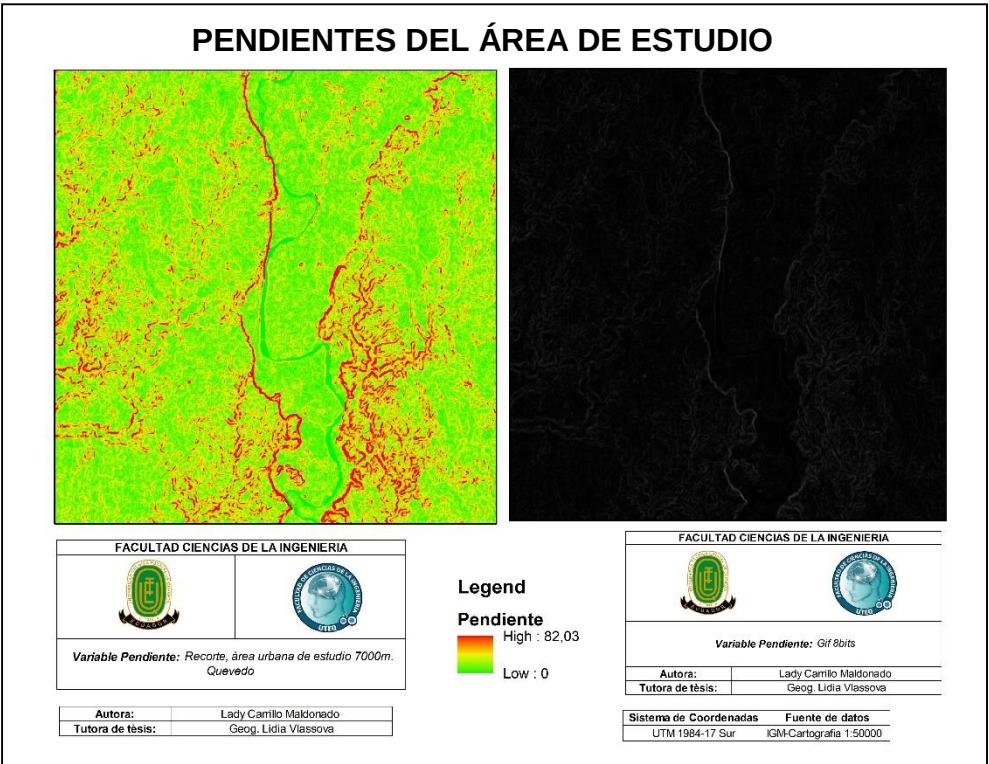
Elaboración: Autora.

Luego se recortó el mosaico de DEM SRT elevaciones para el área de estudio de la ciudad de Quevedo en formato imagen (*img.*), archivo al que se le corrigieron coordenadas *WGS_1984_UTM_Zone_17S* mediante “*Project Ráster*” y “*cell Size*” de 30 metros, las pendientes de área de estudio se visualizaron mediante un “*Slope*”, herramienta destinada para crear capa de pendientes por medio de elevaciones, y sus pendientes en grados (figura 8) en un área de 7000 metros (figura 3) desde la ubicación de la cabecera del cantón Quevedo.

Para concluir se exporta a formato *gif* (figura 9) tomando en cuenta la clasificación de porcentajes, utilizando la representación gráfica (*Simbology*) denominada “*Colormap*” (*blanco y negro*) acorde a la reclasificación de valores de cero a 100, como lo indica la

metodología anterior [68]. Este último paso se aplicó a todas las variables del modelo, de esta manera son idóneas como datos de entrada en el modelo SLEUTH.

Figura 9: Pendientes en el área de estudio de la ciudad de Quevedo



Fuente: SRTM [70].
Elaboración: Autora

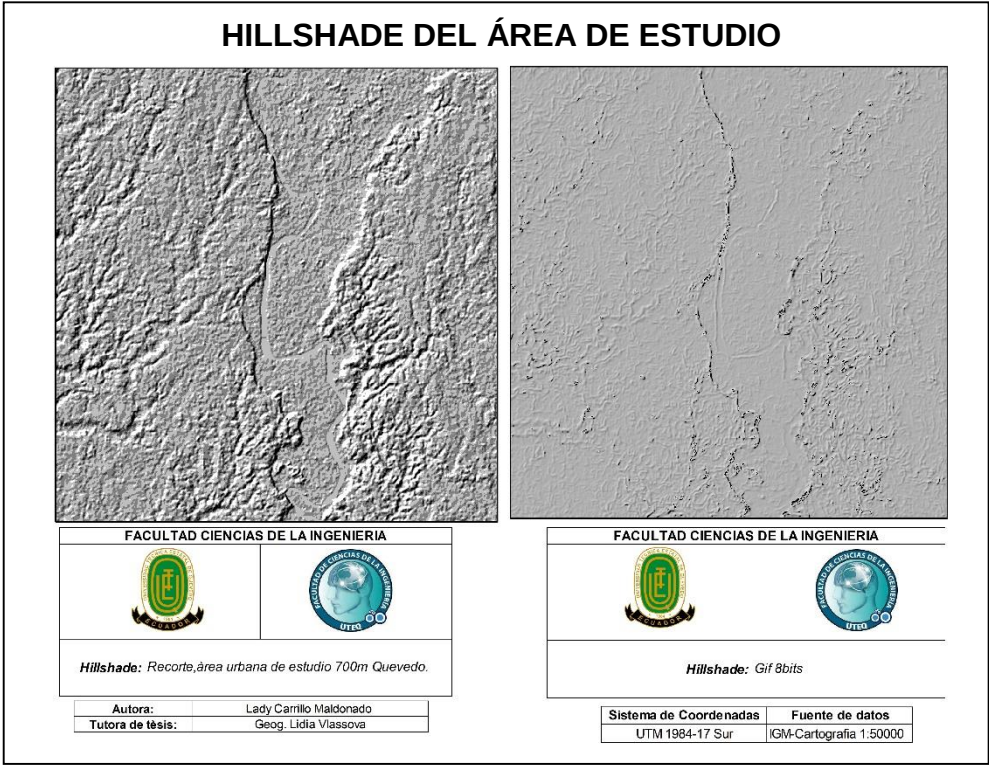
La figura anterior presenta las pendientes en distintos matices de acuerdo a su elevación; los tonos se contrastan desde verde (pendientes baja elevación) con valor de 0, pasando por matices de color amarillo, hasta el color rojo (pendientes con mayor elevación) en un rango de 82%, observando una tendencia baja en cusion a inclinaciones de terreno, debido a la forma de terreno en el área de estudio. En el costado derecho se observa el ráster anterior de pendientes en formato *gif de 8 bits*.

4.1.1.5.2. Sombreado del área de estudio

El formato DEM en pendientes (figura 9) para el área de estudio de la ciudad de Quevedo en formato imagen (*img*,) con las coordenadas *WGS_1984_UTM_Zone_17S*, se usó como

base para generar el área de sombreado en formato de trabajo *gif*. (figura 10). Reclasificando con valores de cero a 255 visualizando en la simbología de “*Colormap*” [68].

Figura 10: Hillshade del área de estudio del cantón Quevedo, recorte y gif



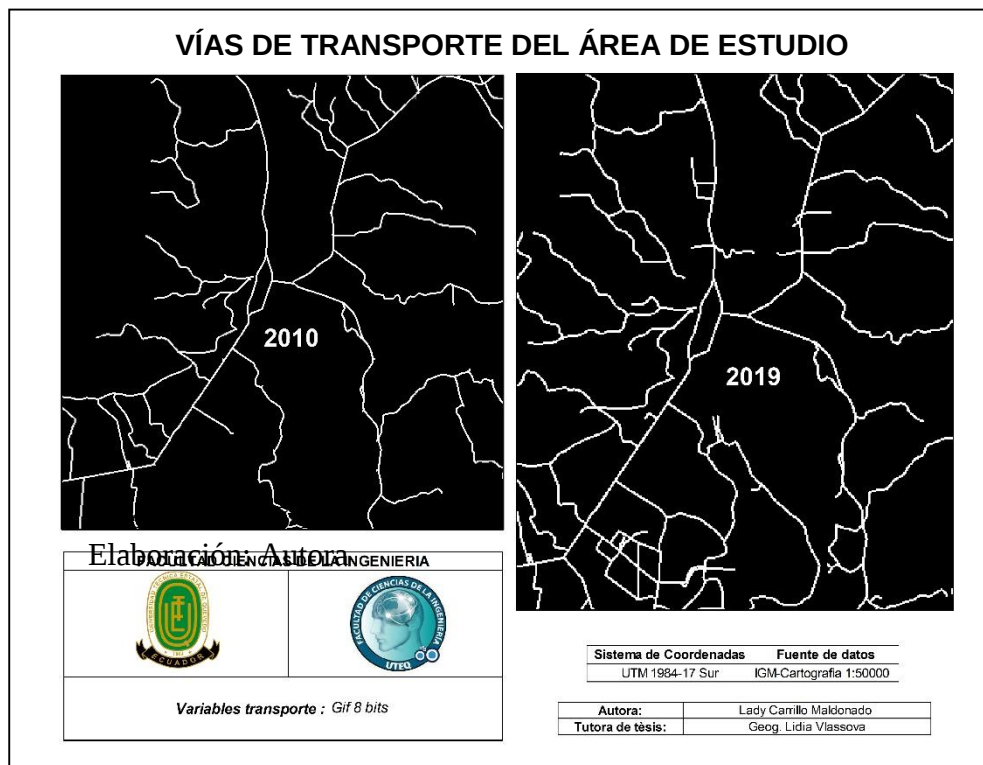
Fuente: SRTM [70].

Elaboración: Autora.

4.1.1.5.3. Transporte, ráster de vías actualizadas del área de estudio

En la variable de transporte se llevó a cabo la implementación de un “*Buffer*” de 30 metros en las vías principales que permiten la interacción de la zona urbana, obteniendo área de buffer de vías y avenidas en los datos de 2010 y 2019, luego se implementó la “*Unión*” del buffer con el área de estudio de la ciudad de Quevedo, resultado un archivo vector al cual se le asignó la conversión a formato ráster, “*Feautere to ráster*”, *cellsize 30m*, en donde se reclasifican las vías y el área de estudio con valores de cien y cero respectivamente (figura 11), este archivo de acuerdo con el modelo que se empleara se exporta a formato *gif 8 bits* con simbología “*Colormap*” establecida para el modelo SLEUTH [68].

Figura 11: Vías en del área de estudio (transporte) 2010 y 2019, formato *gif*.



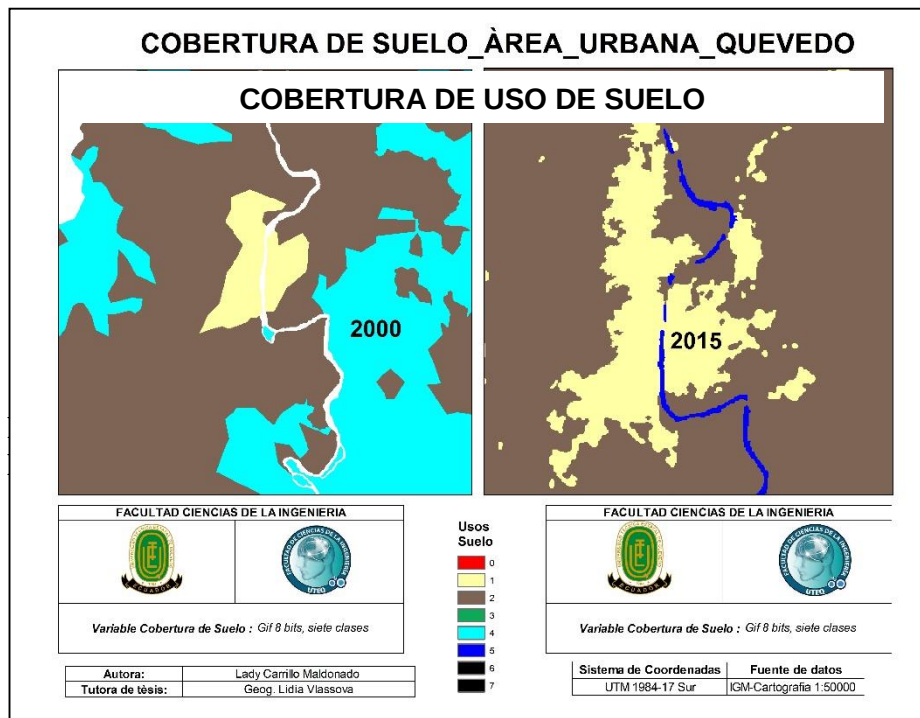
Fuente: IGM [71].

Elaboración: Autora

4.1.1.5.4. Cobertura de uso de suelo en el área de estudio de la ciudad de Quevedo

La cobertura de uso de suelo de los años 2000 y 2015 respectivamente se ingresó al software ArcGIS 10.8 para mediante la herramienta “*Feature to ráster*” para convertir el formato Shapefile a formato ráster, con resolución de 30 metros, en donde se identifican y reclasifican los tipos de cobertura de suelo en colores distintos de acuerdo a siete categoría establecidas en el modelo SLEUTH en el archivo (figura 12) los mismos que se exportaron a formato “*gif*” y se añade “*Colormap*” [68] (figura 13), para su posterior uso.

Figura 12: Cobertura de uso de suelo en el área de estudio de la ciudad de Quevedo, gif.

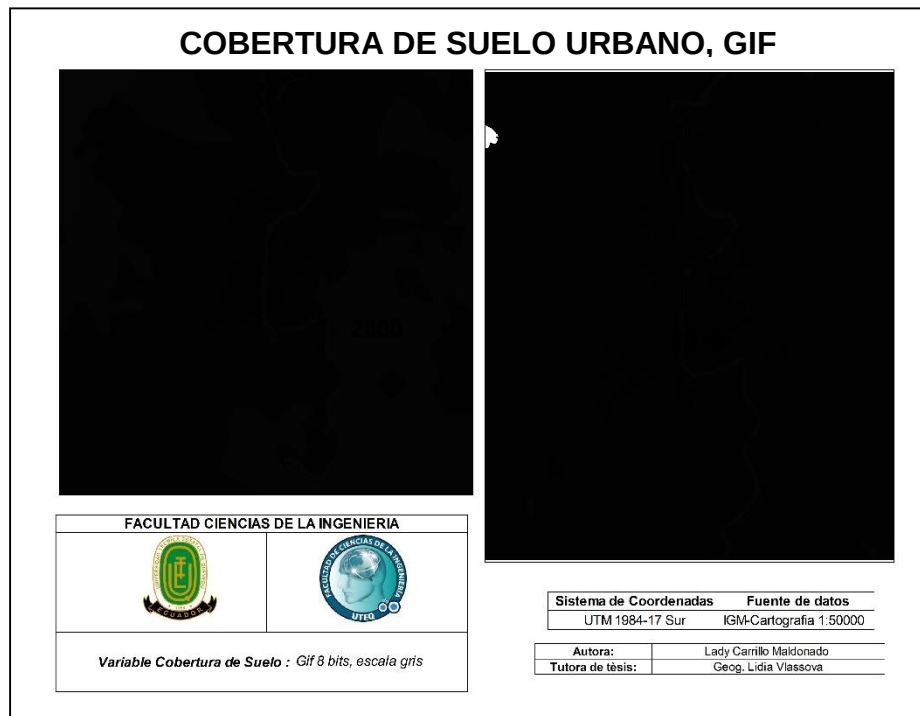


Fuente: IGM [71].

Elaboración: Autora

La cobertura de suelo disponible en el periodo del año 2000 para el área de estudio abarca usos urbanos (amarillo), cobertura forestal (celeste) y suelo para disponibilidad agrícola acorde a la clasificación expuesta por SLEUTH de cero a siete (unclass, urban, agric, range, forest, wáter, wetland, barren) sin clase, urbano, agrícola , rango, bosque, agua, humedal, estéril, de manera distinta se observa la información de año 2015, en donde se visualiza la extensión del uso urbano y la predominación de suelos agrícolas, a diferencia del año 2000 en la imagen de la derecha ya se distingue la cuenca hídrica de Quevedo.

Figura 13: Cobertura uso de suelo en escala de gris, área de estudio ciudad de Quevedo



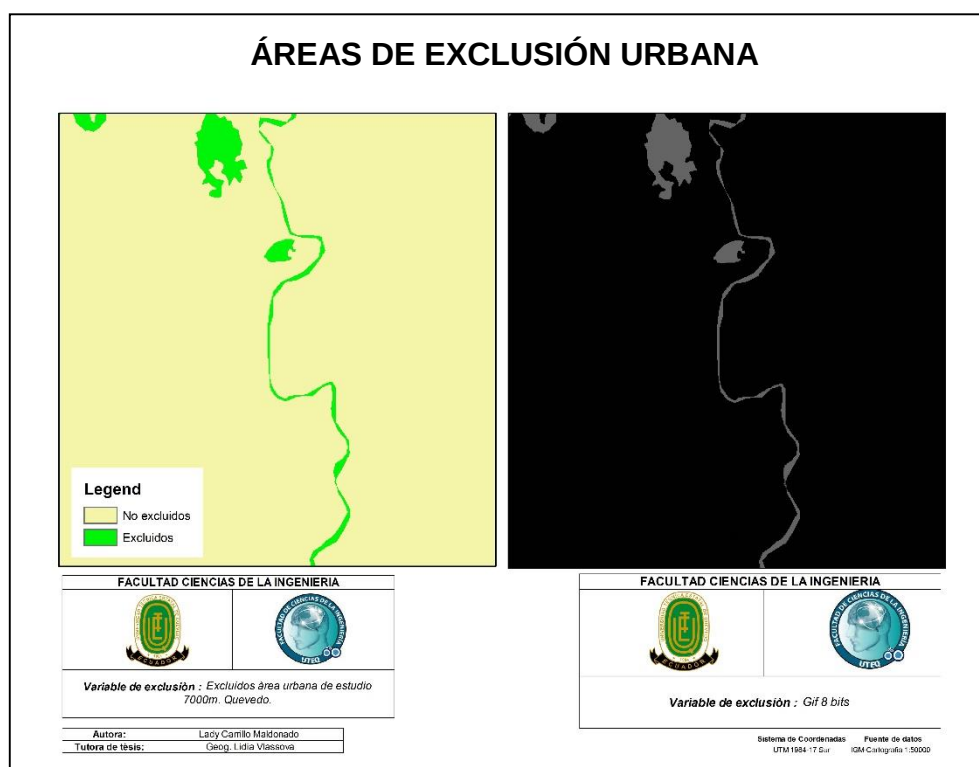
Fuente: IGM [71].

Elaboración: Autora

4.1.1.5.5. Áreas de exclusión para el área de estudio de la ciudad de Quevedo

Las áreas de exclusión se identifican a través de buffers de ubicación, lugares considerados como no habitables para la población urbana, para lo cual se realizó el uso de la herramienta “Unión”, resultando la unificación de los formatos (shp.) del área de estudio y las áreas de exclusión de la parroquia urbana Quevedo. Posterior a esto, se les dio valores a áreas excluidas (100) y áreas no excluidas (0); exportando a formato “gif” e ilustrando con “Colormap” [68] (figura 14).

Figura 14: Zonas de exclusión en el área de estudio de la ciudad de Quevedo



Fuente: MAATE [72]

Elaboración: Autora

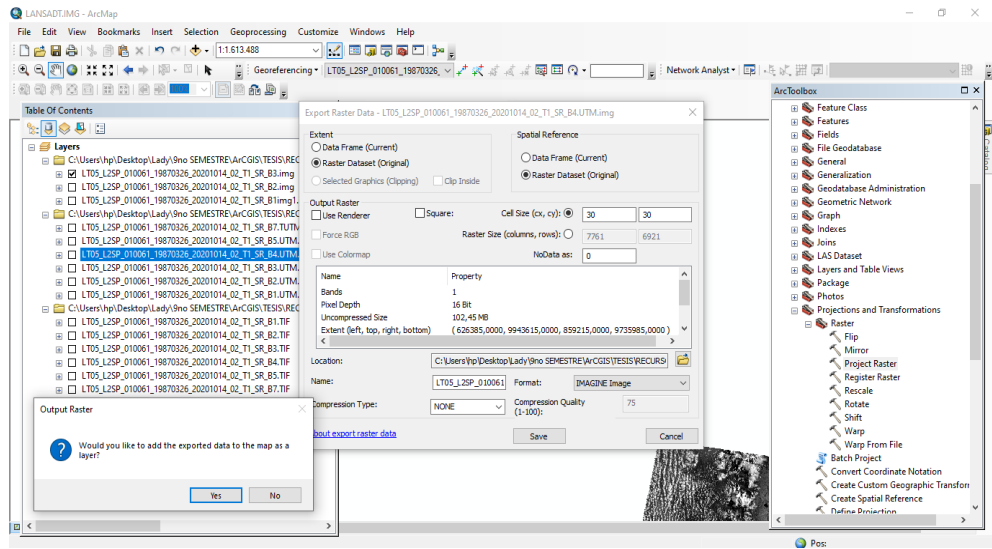
Las áreas de exclusión el área de estudio se seleccionó por medio del mapa interactivo ambiental del MAATE [72]. En donde se identificó por fisionomía el ecosistema de bosques siempre verde estacional de las tierras bajas del Chocó Ecuatoriana. El factor de selección por su alta amenaza y fragmentación en 320.4 ha [72] . Por ende, también se consideró la cuenca hídrica de Quevedo por su vulnerabilidad de contaminación antropogénica y la reserva natural de bosque de Bambú ubicada en la Zona Norte de la ciudad.

4.1.1.6. Procesamiento Imágenes Landsat 5-8 y Sentinel 2 en ENVI 4.7.

4.1.2.6.1. Formato de imágenes en el software ArcGIS

Para un mejor manejo de las imágenes satelitales (tabla 7), del área de estudio de la ciudad de Quevedo (figura 3), se procedió a la conversión de bandas en formato *Tiff* a formato *Imagen coordenadas WGS_1984_UTM_Zone_17S*, en el software ArcGIS versión 10.8, información utilizada para realizar la caracterización de suelo urbano en el programa ENVI versión 4.7. Este proceso de transformación se implementó a causa de la actualización de formatos de descarga Landsat, agilizando el manejo en ENVI 4.7.

Figura 15: Procesamiento de las Imágenes satelitales de formato *tiff* a imágenes.



Fuente: ArcGIS 10.8

Elaboración: Autora.

4.1.2.6.2. Layer Stacking

Luego del cambio de formato en el software ArcGIS versión 10.8 se realizó la agrupación de bandas de las imágenes Landsat 5-8 (tabla 8) respectivamente. A través de un STACK se ordenó y agrupó las bandas de acuerdo con la proyección UTM datum WSG-84, obteniendo combinaciones distintas de bandas (tabla 9) denominada falso color.

Tabla 9: Combinación de bandas falso color en imágenes Landsat 5-8; Sentinel 2

Imagen	Fecha	Combinación
Landsat 5	1998-sep-07	3-5-4
Landsat 8	2000-nov-23	7-4-3
Landsat 8	20/06/2019	7-6-5
Sentinel 2	2019-jun-01	12-11-4

Fuente: USGS [69].

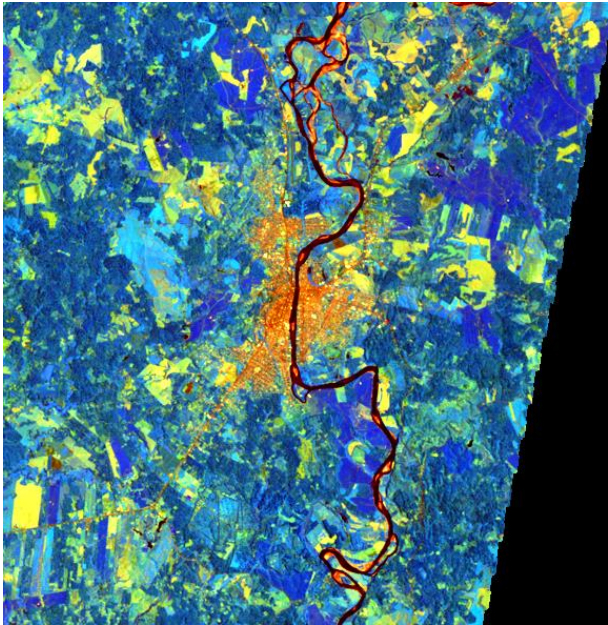
Elaboración: Autora

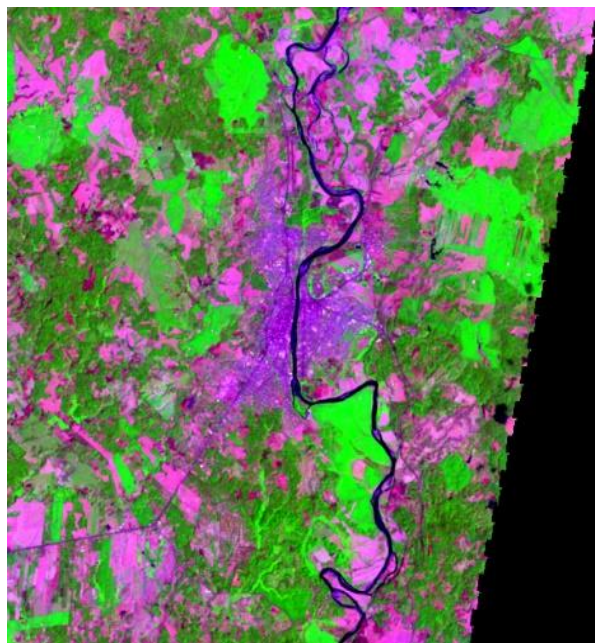
Las combinaciones (tabla 9) se emplearon de acuerdo con la apreciación de la gama de colores que mejor identifico a simple vista el uso de suelo urbano del área de estudio de la ciudad de Quevedo.

4.1.2.6.3. Recorte Landsat 5-8 y Sentinel 2 en el área de estudio de la ciudad de Quevedo

El recorte de las imágenes satelitales se realizó en base al archivo STACK. Observando la combinación de bandas en el área de estudio de la ciudad de Quevedo. Para el proceso de recorte se utilizó el archivo buffer del área de estudio (figura 3) en formato Shapelite (shp.) para cada una de las imágenes satelitales (tabla 8). La cobertura de suelo urbano en los años 1998,2000,2016,2019 (figura 16) se identifica con un tono diferente debido a la combinación de falso color establecido para cada imagen satelital (tabla 9).

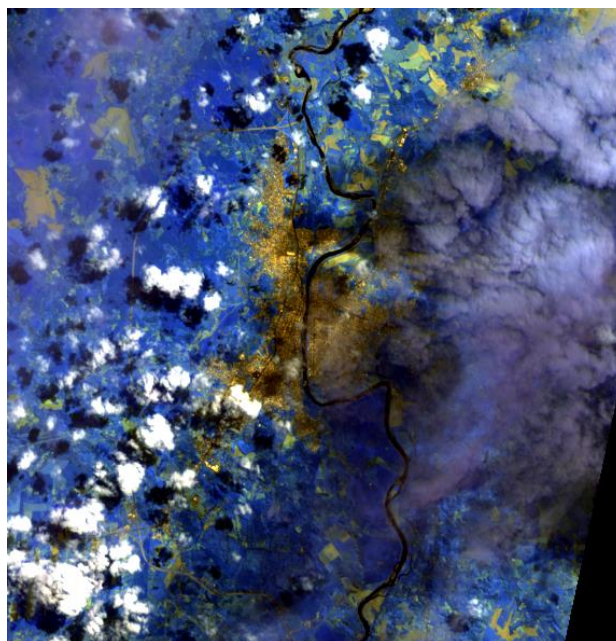
Figura 16: Combinación de bandas en imágenes satelitales Landsat 5-8 y Sentinel 2.

Landsat 5: 1998-sep-07

Combinación (3-5-4) recomendada para clasificación de suelos [73], visualizando de color marrón claro la zona urbana.
Landsat 8: 2000-nov-23



Combianciòn (7-4-3) basada en la combinaciòn (7-5-3) utilizada en geologia [73], permitio identificar en color purpura osucro la zona urbana del area de estudio.

Landsat 8: 2016-jun-20



Combianciòn (7-6-5), permitio analizar areas a pesar de la nubocidad que presneta, esencial en estudios sobre penetraciòn atmosferica [73].

Sentinel2: 2019-jun-01

Ccombinación (12-11-4) denominada falso color [73], se implementa de manera especial para identificar zonas urbanas, en esta imagen el área urbana corresponde a un color marrón oscuro.

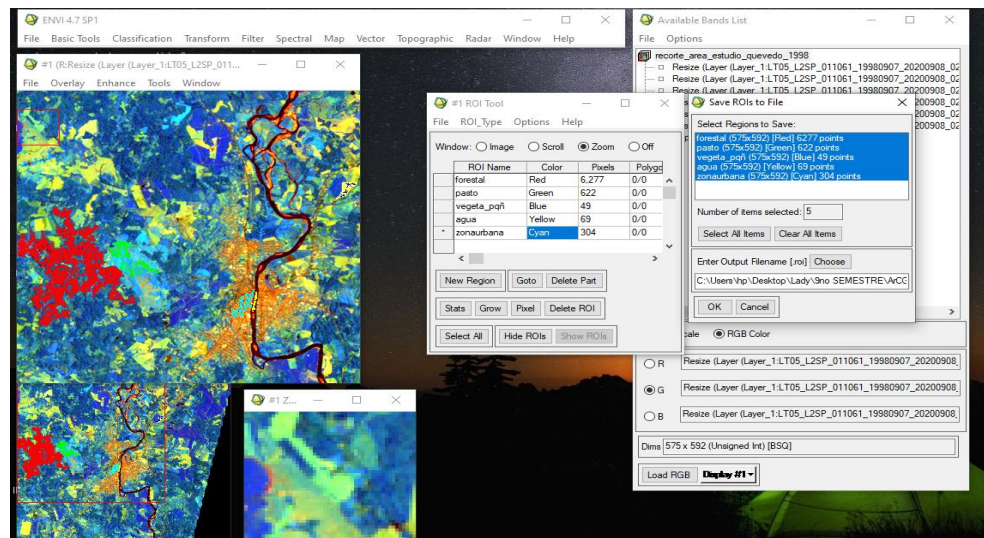
Fuente: USGS [69].
Elaboración: Autora.

4.1.2.6.4. Clasificación de imágenes Satelitales

4.1.2.6.4.1. Áreas de entrenamiento

La combinación de bandas (figura 16) permitió obtener las áreas de entrenamiento. Estas áreas constan de un color específico para región de interés (uso de suelo) dentro del recorte del área de estudio de cada imagen satelital (figura 17), denominados *ROI Tool*.

Figura 17: ROI Tool de las imágenes satelitales Landsat 5-8 y Sentinel 2.

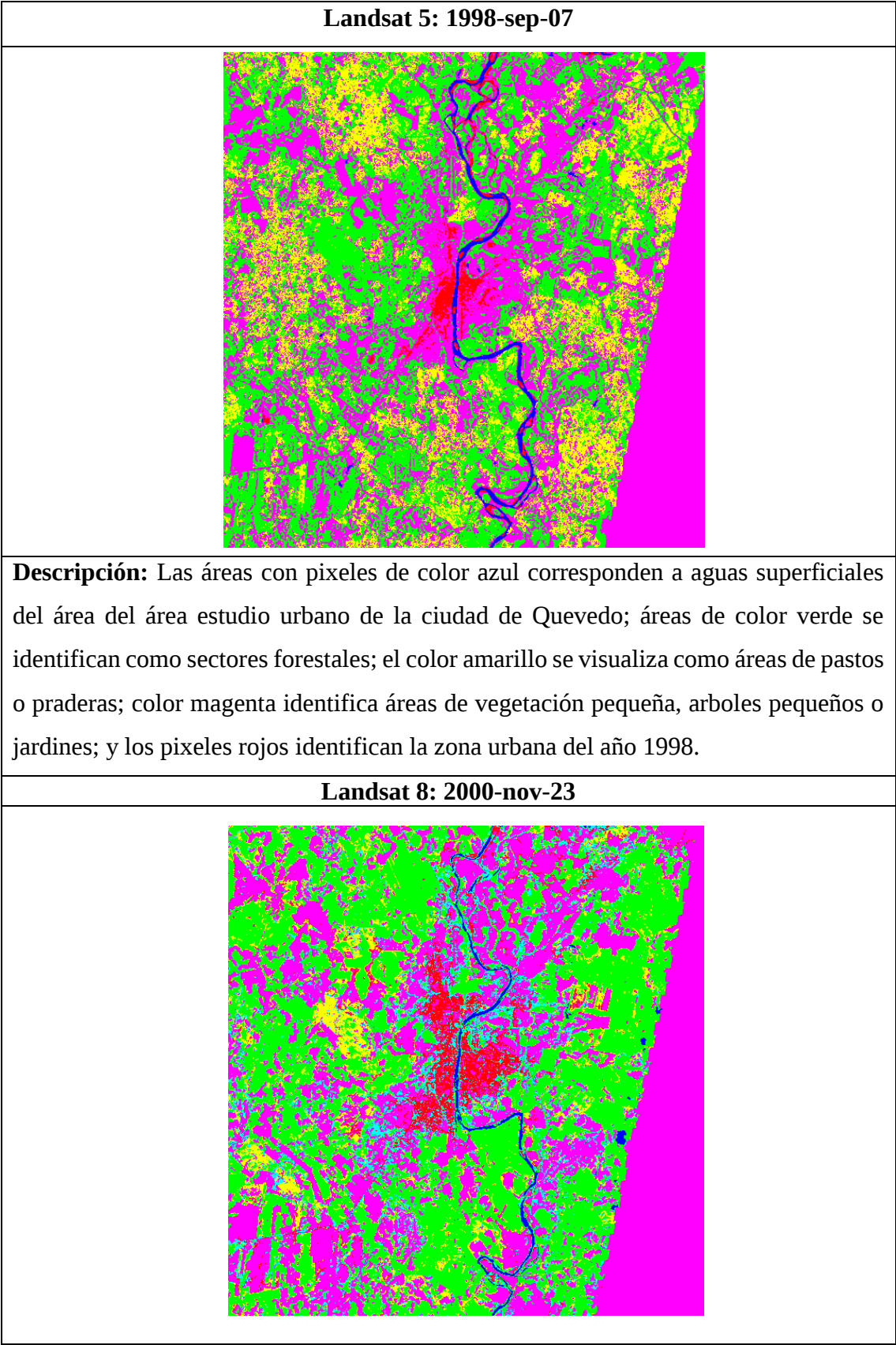


Fuente: ENVI 4.7.
Elaboración: Autora

4.1.2.6.4.2. Clasificación Máximo Likelihood

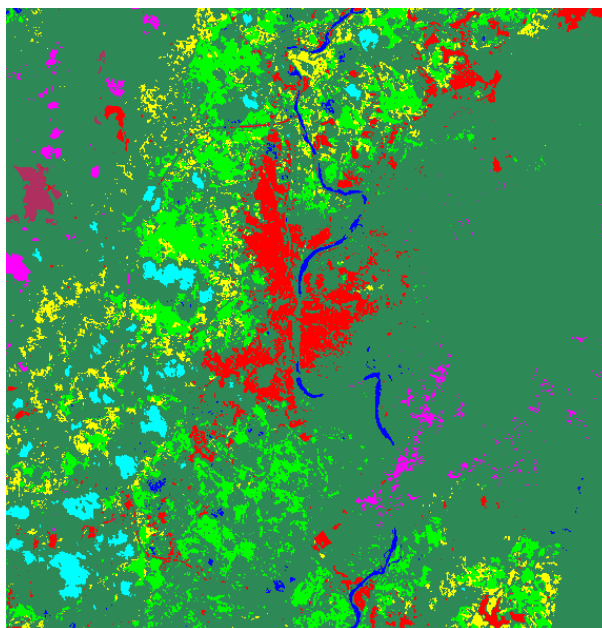
Posterior a identificar las áreas de entrenamiento con un tono de pixeles específicos, el resultado aplicando el método de clasificación Máximo Likelihood (figura 18), es el siguiente:

Figura 18: Aplicación de ROI Tool en las imágenes satelitales Landsat 5-8 y Sentinel 2.



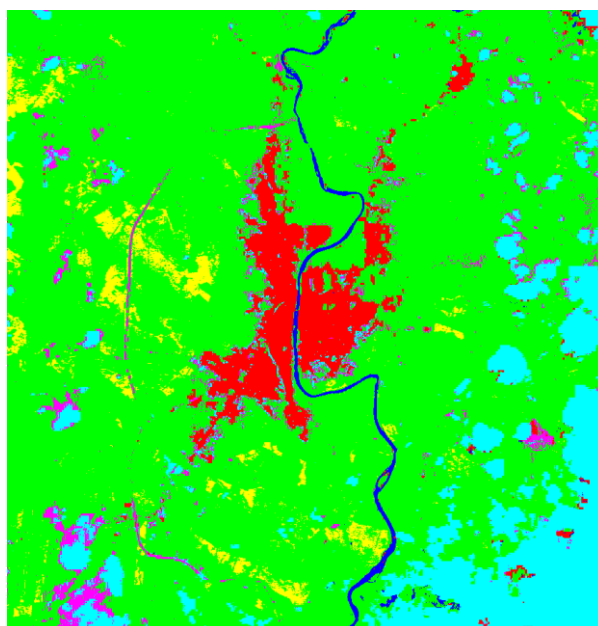
Descripción: Las áreas con pixeles de color azul corresponden a aguas superficiales del área del área estudio urbano de la ciudad de Quevedo; áreas de color verde se identifican como sectores forestales; el color amarillo se visualiza como áreas de pastos o praderas; color magenta identifica áreas de vegetación pequeña, arboles pequeños o jardines; color celeste las vías; y los pixeles rojos identifican la zona urbana del año 2000.

Landsat 8: 2019-jun-20



Descripción: Las áreas con pixeles de color azul corresponden a aguas superficiales del área del área estudio urbano de la ciudad de Quevedo; áreas de color verde se identifican como sectores forestales; el color amarillo se visualiza como áreas de pastos o praderas; color magenta identifica áreas de vegetación pequeña, arboles pequeños o jardines; color celeste pequeña nubosidad ; y los pixeles rojos identifican la zona urbana del año 2016, las áreas de color verde oscuro se presentan como no clasificadas.

Sentinel2: 2019-jun-01



Descripción: Las áreas con pixeles de color azul corresponden a aguas superficiales del área del área estudio urbano de la ciudad de Quevedo; áreas de color verde se identifican como sectores forestales; el color amarillo se visualiza como áreas de pastos o praderas; color magenta identifica áreas de vegetación pequeña, arboles pequeños o jardines; color celeste las nubes; y los pixeles rojos identifican la zona urbana del año 2019

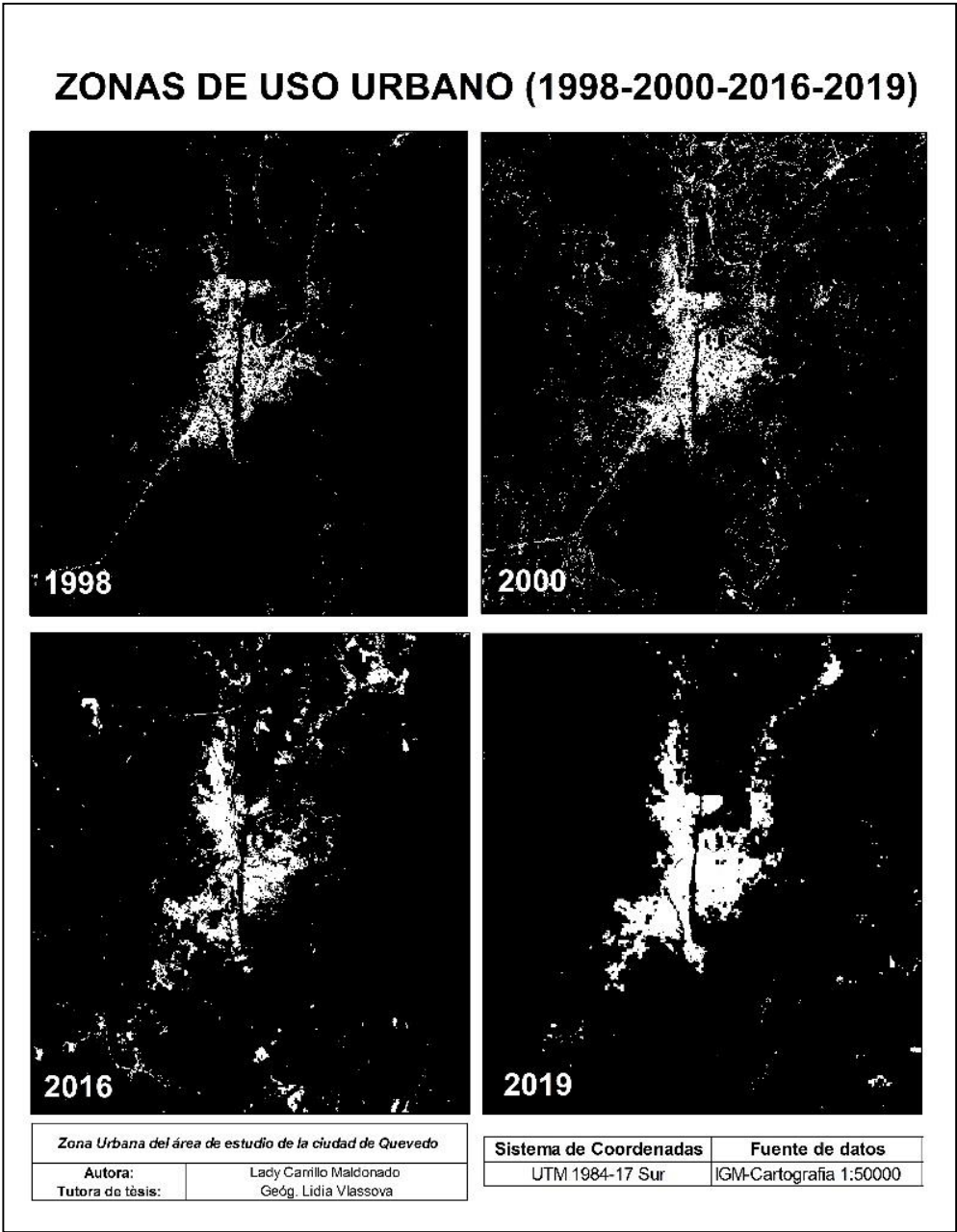
Fuente: USGS [69].

Elaboración: Autora

4.1.2.6.4.3. Extracción de zona urbana, formato gif

La clasificación Máximo Likelihood (figura 18) permitió identificar y extraer el área zona urbana en las imágenes satelitales (tabla 8). Haciendo uso de la herramienta “*Ráster Calculator*” en el software ArcGIS versión 10.8. Esta acción permitió identificar el área urbana. Posteriormente se procedió a reclasificar los pixeles urbanos con valores propios al modelo SLEUTH (0 no edificado y 255 edificado). Luego se exporto a formato *gif* de 8bits escala de gris (*figura 19*).

Figura 19: Extracción de la zona urbana en imágenes satelitales clasificadas, formato gif.



Fuente: USGS [69].

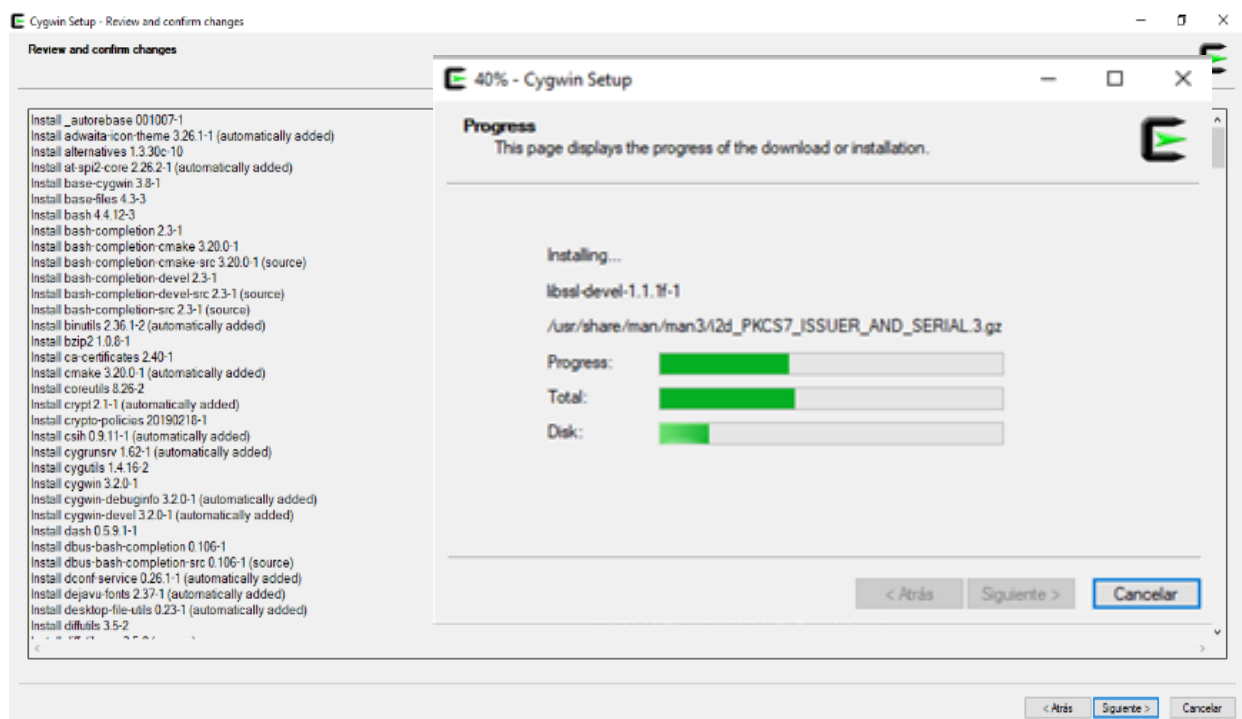
Elaboración: Autora

4.1.2. Calibración del modelo SLEUTH para predecir el crecimiento urbano de la ciudad de Quevedo

4.1.2.1. Instalación del modelo SLEUTH

La descarga del software de SLEUTH se realizó desde la página oficial del Proyecto Gigalopolis sección de descargas. El emulador Cygwin se instaló como complemento para ejecutar los comandos logarítmicos de lectura en SLEUTH [66], examinando la información correspondiente para la predicción urbana.

Figura 20 : Instalación del emulador Cygwin.



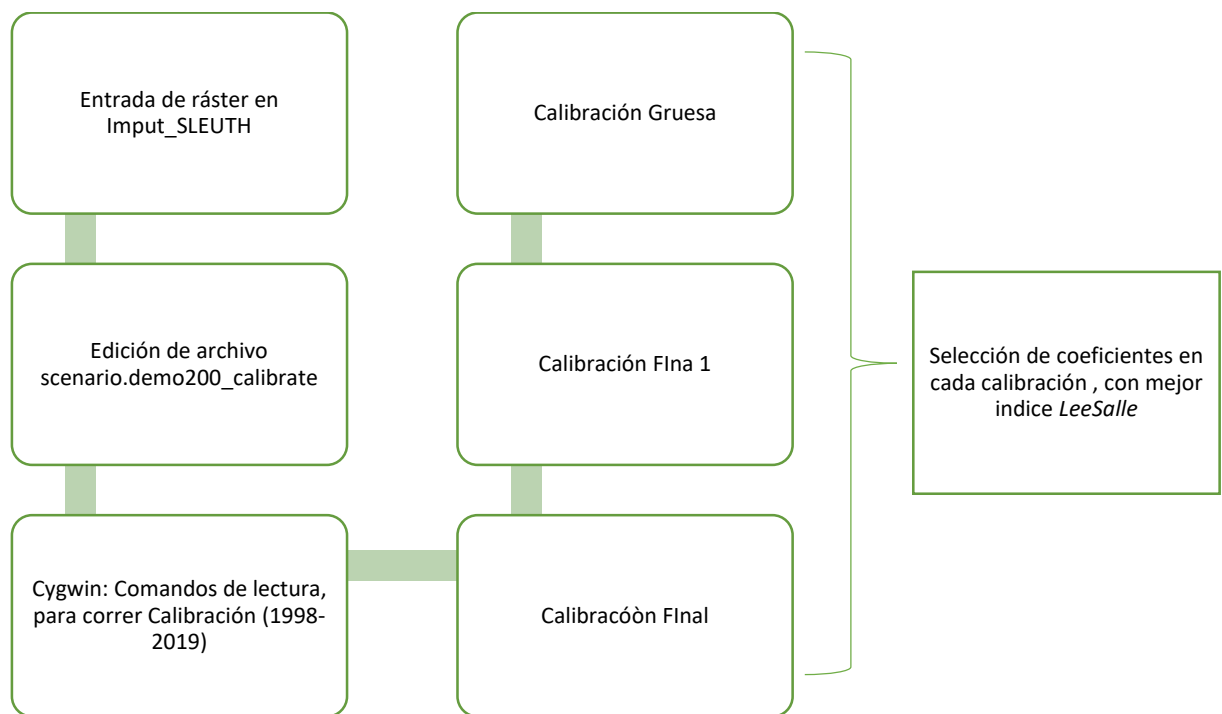
Fuente: Cygwin

4.1.2.2. Calibración del modelo SLEUTH

Los ráster procesados en el primer objetivo para el área de estudio se valoran en tres etapas de calibración previa a la predicción. SLEUTH considera tres tipos de calibración: calibración gruesa, calibración fina 1 y calibración final. Cada una se desarrolla conforme a los coeficientes de crecimiento urbano editando el archivo *scenario_demo200_calibrate*.

A continuación, se presenta de manera gráfica y sistemática las acciones para cumplir con los resultados de calibración y validación del modelo SLEUTH.

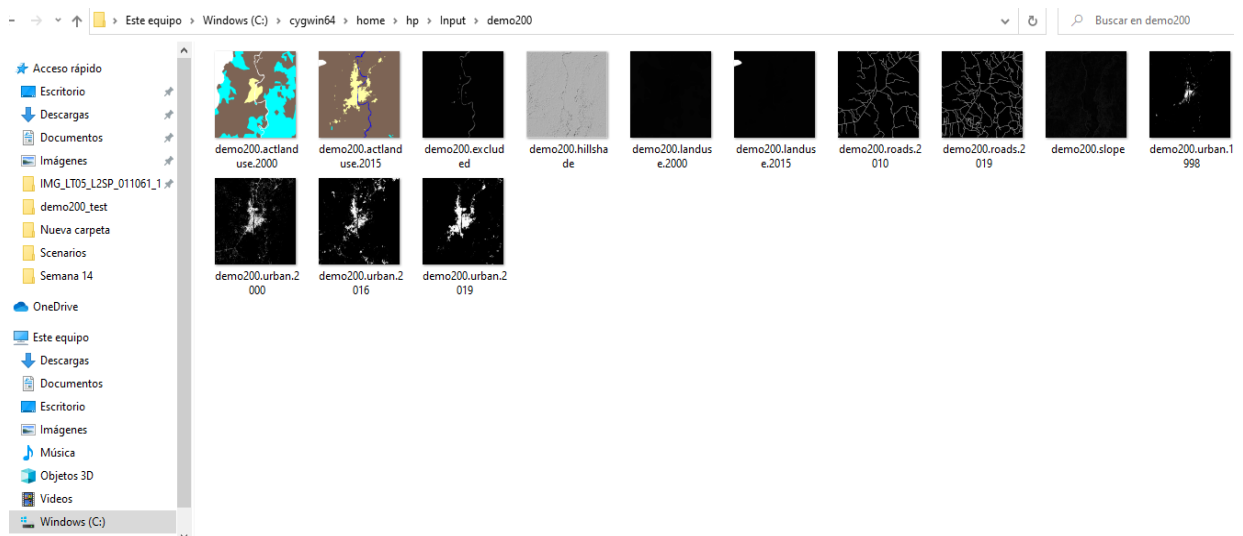
Figura 21 : Proceso antes y después de la calibración para llegar a la predicción



Elaboración: Autora

Los datos de entrada en formato *gif* de 8bits en escala de grises se ingresaron a la carpeta “Input” del emulador para SLEUTH. Las imágenes se identificaron anteponiendo la palabra *demo200* seguida del nombre de la variable a la que representaron en inglés y su año de estudio (figura 22). Esta nomenclatura permitió identificar los insumos de uso de suelo y así correr las tres etapas de calibración.

Figura 22 : Datos de modelo, formato gif, en el software SLEUTH



Fuente: ArcGIS 10.8

Elaboración: Autora

Tabla 10: Descripción de los datos de entrada para el modelo SLEUTH

Variables	Periodo	N.º Escenas
<i>Área urbana</i>	1998-2000-2015	4
<i>Transporte</i>	2010-2019	2
<i>Restricción o exclusión</i>	Actualizada	1
<i>Uso de suelo</i>	2000-2015	2
<i>Pendiente</i>	DEM-30m	1
<i>Sombreado</i>	DEM-30m	1

Elaboración: Autora

4.1.3.2.1. Calibración Gruesa

La primera calibración se definió con coeficientes en rangos de 0 a 100, en donde el 0 represento los no cambios, mientras el 100 represento cambios elevados, estos valores se definen por los parámetros de crecimiento del modelo; Difusión (diff), Raza(brd), Propagar(sprd), Pendiente(slp) y Carretera(rg).

Los rangos corresponden; el valor de cero pertenece a STAR y el valor de 100 a STOP, en el medio STEP con el rango 25. La fracción numérica estableció cuatro intervalos desde cero hasta 100 (figura 23).

Figura 23 : Coeficientes en Scenario test para calibración gruesa

```

CALIBRATION_DIFFUSION_START= 0
CALIBRATION_DIFFUSION_STEP= 25
CALIBRATION_DIFFUSION_STOP= 100

CALIBRATION_BREED_START= 0
CALIBRATION_BREED_STEP= 25
CALIBRATION_BREED_STOP= 100

CALIBRATION_SPREAD_START= 0
CALIBRATION_SPREAD_STEP= 25
CALIBRATION_SPREAD_STOP= 100

CALIBRATION_SLOPE_START= 0
CALIBRATION_SLOPE_STEP= 25
CALIBRATION_SLOPE_STOP= 100

CALIBRATION_ROAD_START= 0
CALIBRATION_ROAD_STEP= 25
CALIBRATION_ROAD_STOP= 100

```

Fuente: SLEUTH3.0beta_p01_linux

La calibración inicial permito identificar los valores apropiados para la continuidad de las siguientes etapas, con una duración de 3125 procesos ejecutados en una hora con 2 horas

minutos. Los resultados se visualizaron en la carpeta *Output*, aquí localizamos el demo modelado (*demo200_cal*). Los coeficientes para utilizar se ubicaron en el archivo *control_stast.log*. Se identificaron los coeficientes de adecuados con ayuda de la medida los valores de *leesalee*.

El índice *leesalee* fue de 0.38, afirmando un ajuste espacial considerable (rango de 0 a 1) del modelo de crecimiento y la extensión urbana. La calibración gruesa corrió con cinco iteraciones Monte Carlo (tabla 11). Los coeficientes resueltos en esta calibración fueron utilizados para correr la segunda calibración (fina 1).

Tabla 11: Resultados de calibración gruesa, valores de coeficientes para Escenario test de calibración fina con cinco iteraciones Monte Carlo.

PARÁMETROS	START	STEP	STOP	MONTE CARLO
Calibration_diffusion	1	1	1	5
Calibration_breed	1	1	1	5
Calibratiion_spread	50	1	50	5
Calibration_slope	25	5	50	5
Calibration_road	0	25	100	5

Elaboración: Autora

Los coeficientes intercalan valores de uno a 100. El índice *leesalee* identifico los coeficientes con valores más altos en parámetros influenciados carretera, infiriendo de manera inicial el comportamiento de distribución urbano.

4.1.3.2.2. Calibración fina 1

La calibración fina una se adaptó a los coeficientes resultantes de la primera calibración (tabla 11). Este proceso de calibración procedió a selecciono los coeficientes en el archivo *control_stats.log* identificados por el índice *leesalee* (0.38). La calibración se desarrolló con ocho iteraciones Monte Carlo (tabla 12). Los rangos de coeficientes son de utilidad para generar la última calibración (final). Los coeficientes se fraccionaron (STEP) de cinco a seis dígitos desde START hasta STOP.

Tabla 12: Resultados de calibración fina, valores de coeficientes para Escenario test de calibración final con ocho iteraciones Monte Carlo.

PARÁMETROS	START	STEP	STOP	MONTE CARLO
Calibration_diffusion	1	1	1	8
Calibration_breed	1	1	1	8
Calibratiion_spread	50	1	50	8
Calibration_slope	30	3	45	8
Calibration_road	0	25	100	8

Elaboración: Autora

Los coeficientes intercalan valores de uno a 100. El índice *leesalee* identifico los coeficientes con valores más altos en parámetros influenciados carretera, infiriendo de manera inicial el comportamiento de distribución urbano.

4.1.2.3. Calibración Final

La calibración final utilizo los coeficientes resultantes de la calibración fina 1 (tabla 12). Los coeficientes establecidos se determinaron a través del índice *leesalee* (0.38). En esta etapa se tomó en cuenta los rangos para START y STOP el coeficiente máximo de cada parámetro (tabla 13), con un intervalo sugerido de uno según la metodología Gigalopolis. Las iteraciones Monte Carlo que se utilizaron para la predicción se modificaron a un total de 200.

Tabla 13: Resultados de calibración final, valores de coeficientes para Escenario test en predicción hacia el año 2030.

PARÁMETROS	START	STEP	STOP	MONTE CARLO
Calibration_diffusion	1	1	1	200
Calibration_breed	1	1	1	200
Calibratiion_spread	50	1	50	200
Calibration_slope	42	1	42	200
Calibration_road	100	1	100	200

Elaboración: Autora

Los coeficientes intercalan valores de uno a 100. El índice *leesalee* identifico los coeficientes con valores más altos en parámetros influenciados en término medio por difusión y con valor de 100 por carretera, infiriendo de manera inicial el comportamiento de distribución urbano.

4.1.3. Predicción del modelo seleccionado para la simulación del crecimiento urbano de la ciudad de Quevedo hacia el año 2030

4.1.3.1. Valores de coeficiente de derivación

La predicción se modela luego de efectuar los tres procesos de calibración, siendo un factor indispensable la calibración final. A partir de la última calibración se identifican los mejores coeficientes en los parámetros de urbanización (Difusión, Raza, Propagar, Pendiente y Carretera). La optimización de coeficientes se consigue empleando *derivación de los mejores coeficientes*. Para este paso se corrió el modelo con 200 iteraciones Monte Carlo y los coeficientes de la calibración final (tabla 13).

De esta manera el archivo *avg* puntualiza la derivación de los mejores coeficientes (tabla 14) correspondientes al último año de estudio (2019). Los parámetros de urbanización *diff*, *brd*, *sprd*, *slp* y *rg*, identificaron valores decimales, convertidos a números enteros. El índice *leesalee* alcanzo un 0.51, valor de confiabilidad entre el modelo de crecimiento y la extensión urbana conocida para el año 2019.

Tabla 14: Mejores coeficientes de urbanización para predicción

Year	Pixeles	<i>leesalee</i>	<i>Diffus</i>	<i>Spread</i>	<i>Breed</i>	<i>Slp_res</i>	<i>Rd_grav</i>
2019	18617	0.51	1	61	1	26	100

Elaboración: Autora

4.1.3.2. Predicción

Para simular la distribución urbana de la ciudad de Quevedo se hizo uso del archivo de predicción del modelo SLEUTH. En el *scenario*, *demo200_predict* se indicó el base para predicción (2019) y el año futuro para la predicción (2030). En otros campos se detallaron los años de las variables utilizadas como insumos para el modelo SLEUTH (Área Urbana y transporte; Restricción; Uso del Suelo; Pendiente; Sombreado).

Los mejores coeficientes (tabla 14) se registraron como contenido de *Prediction_Best_Fit*. Para los parámetros de urbanización (*diff*, *brd*, *sprd*, *slp* y *rg*) se consideraron todos los rangos posibles de cero a 100 (figura 24), con 200 iteraciones Monte Carlos.

Figura 24: *Scenario.demo200_predict*, mejores coeficientes para correr modelo de predicción

```

CALIBRATION_DIFFUSION_START= 0
CALIBRATION_DIFFUSION_STEP= 25
CALIBRATION_DIFFUSION_STOP= 100

CALIBRATION_BREED_START= 0
CALIBRATION_BREED_STEP= 25
CALIBRATION_BREED_STOP= 100

CALIBRATION_SPREAD_START= 0
CALIBRATION_SPREAD_STEP= 25
CALIBRATION_SPREAD_STOP= 100

CALIBRATION_SLOPE_START= 0
CALIBRATION_SLOPE_STEP= 25
CALIBRATION_SLOPE_STOP= 100

CALIBRATION_ROAD_START= 0
CALIBRATION_ROAD_STEP= 25
CALIBRATION_ROAD_STOP= 100

PREDICTION_DIFFUSION_BEST_FIT= 1
PREDICTION_BREED_BEST_FIT= 1
PREDICTION_SPREAD_BEST_FIT= 61
PREDICTION_SLOPE_BEST_FIT= 59
PREDICTION_ROAD_BEST_FIT= 100

```

Fuente: SLEUTH3.0beta_p01_linux

4.1.3.5.1. Resultados de la Predicción SLEUTH.

La predicción del modelo SLEUTH hacia el año 2030, identifico dos gráficos de crecimiento urbano: el primero define el tipo crecimiento urbano simulado en base de los parámetros de crecimientos determinados para el año 2019 proyectados al 2030 (figura 25); el segundo permite visualizar la posible distribución del crecimiento urbano en el área de estudio de la ciudad de Quevedo (figura 26).

- **Tipo de crecimiento SLEUTH**

El tipo de crecimiento de acuerdo con el comportamiento e iteraciones de las celdas urbanas estudiadas a través del modelo SLEUTH desde 1998 hasta 2019, permitió identificar un crecimiento de tipo orgánico hacia el año 2030 (figura 25). Un crecimiento que describe una población urbana con tendencia a desarrollarse y ampliar las urbanizaciones ya establecidas con pixeles en tonos blanco. El área de estudio también sobrepone pequeños pixeles verdes, asimilando sectores con crecimiento espontaneo o difuso. Este tipo de crecimiento indica el posible desarrollo urbano en lugares apropiados o limitantes a un asentamiento ya existente.

Por ende; el área de estudio de la ciudad de Quevedo se simula hacia el año 2030 con una tendencia a aumentar la zona antropogénica indicada en el año base (2019). Las antiguas zonas se agrandan a medida que se van modificando y adecuando para acoger nuevos habitantes o también familias ya asentadas en constante crecimiento.

Figura 25: Tipo de crecimiento orgánico en el área de estudio de la ciudad de Quevedo.

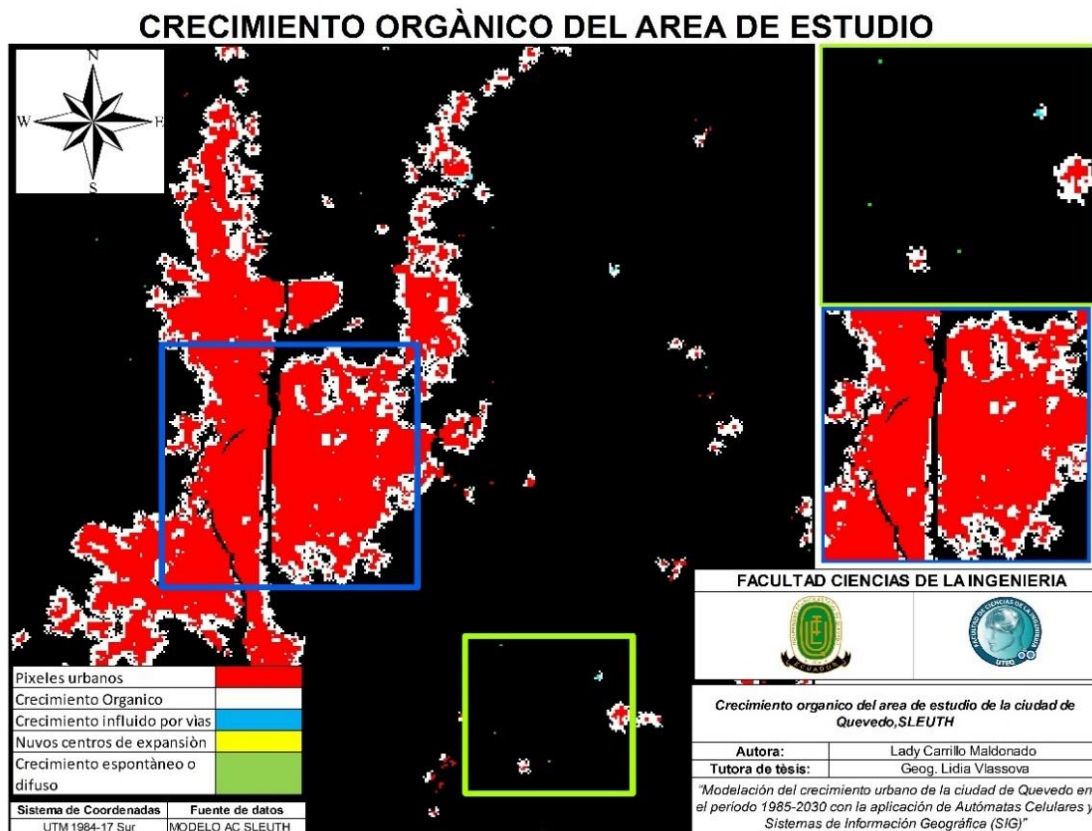
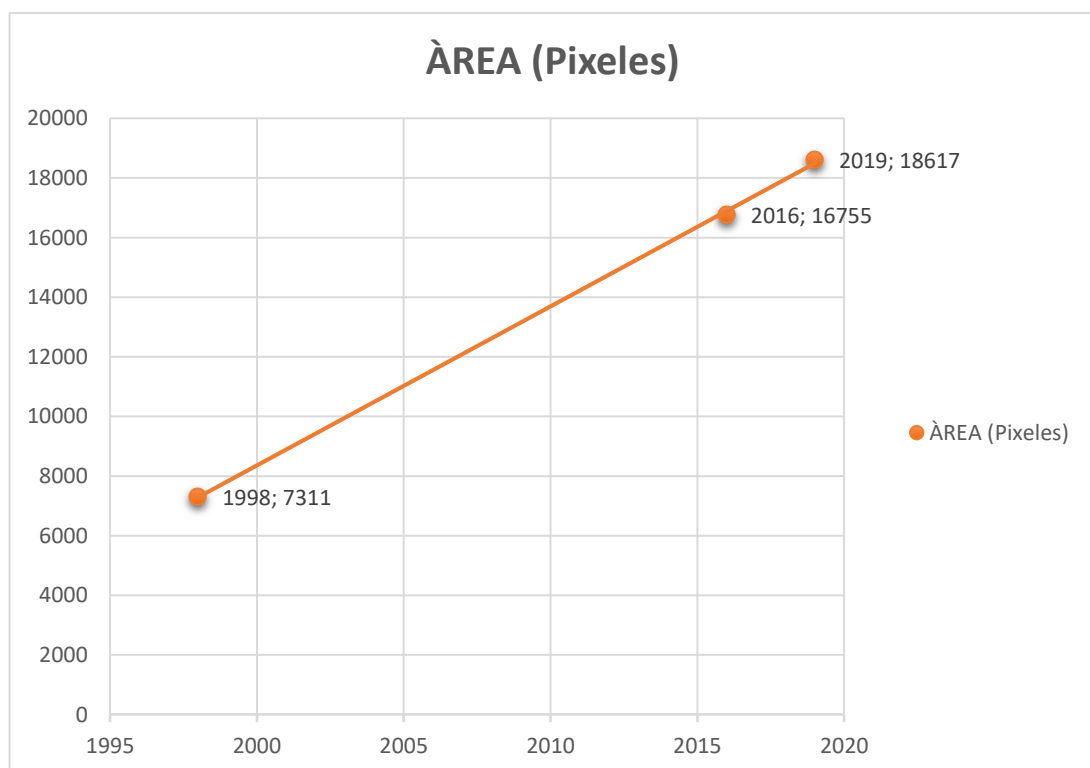


Tabla 15: Comparación de medidas estadísticas de crecimiento orgánico 2020-2030.

Medidas Estadísticas	Definición de abreviaturas	2020	2030
sng	Número acumulado de píxeles urbanizados por crecimiento espontáneo del vecindario.	3.15	3.44
og	Número acumulado de píxeles urbanizados por crecimiento orgánico.	921.86	1301.91
rt	Número acumulado de píxeles urbanizados por carretera influyó en el crecimiento.	2.77	3.69
área	Número total de píxeles urbanos.	2012482	31672.79

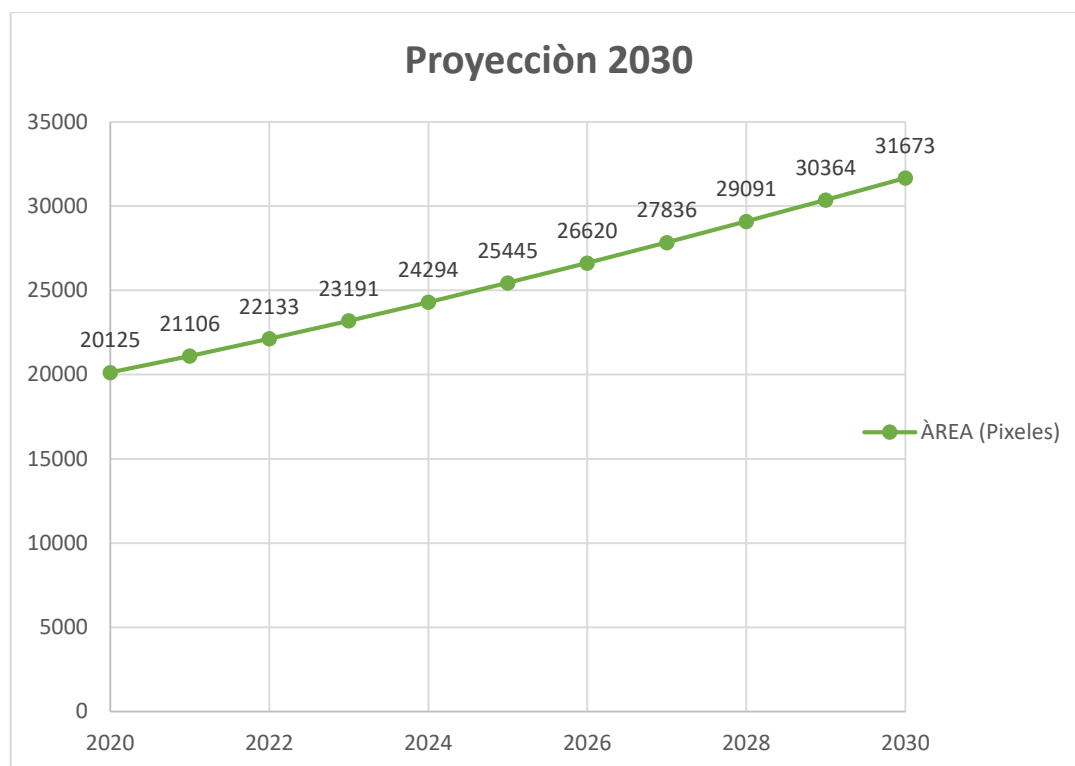
Elaboración: Autora

Figura 26: Área de distribución urbana en píxeles periodo 1998-2019



Elaboración: Autora

Figura 27: Aumento de pixeles urbanos en el área de estudio de la ciudad de Quevedo 2020 – 2030.



Elaboración: Autora

El crecimiento orgánico (figura 25) del área de estudio urbano de la ciudad de Quevedo se ve influido por los datos de entrada base para la simulación entre 1998 y 2019 (figura 26) en donde el área urbana de Quevedo creció más de 4 veces. Para el año 2020 el aumento de pixeles urbanos llega 20125, desarrollándose a 31673 para el 2030 (figura 27). Entonces podemos decir que la predicción SLEUTH simula un aumento anual de más de 1000 pixeles orgánicos. Para el año 2030 según el INEC el área de estudio aumentara a 251922 habitantes, pretendiendo así se localizarán conforme a la simulación modelada para el mismo año.

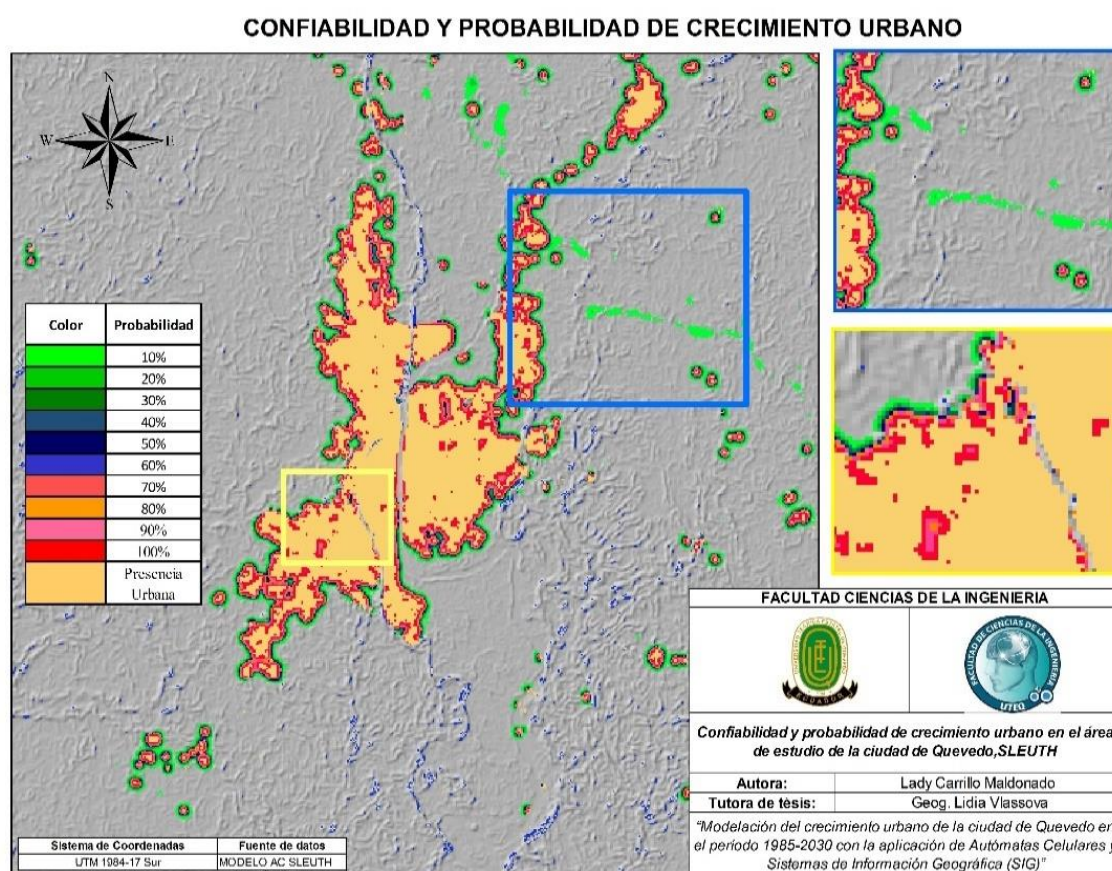
EL modelo de predicción no se desarrolló en las zonas excluidas destinadas a recuperación y conservación del medio ambiente de forma local. Esto con el fin de minimizar el impacto consecuente de las actividades y desarrollo humano hacia áreas de conservación de la zona de estudio.

- **Probabilidad de crecimiento urbano, SLEUTH**

La distribución urbana, su confiabilidad y probabilidad de crecimiento (figura 32) del área de estudio corresponde a la presencia de píxeles acorde al color. En el área las probabilidades más altas varían de 80% (color naranja); 90% (color rosa) y 100% (color rojo). De acuerdo con la imagen de confiabilidad obtenida en la modelación se estima un desarrollo urbano (2030) con tendencia a expandirse a partir de las zonas urbanas ya asentadas en el periodo 1998-2019. Con un 100% de confiabilidad podemos describir el aumento de 5565 nuevos píxeles urbanos para el 2030.

De la misma manera se identificó píxeles con una baja probabilidad (color verde) de distribución urbana (10%). En donde se muestran píxeles de urbanización nuevo con un pequeño porcentaje. De acuerdo con esta probabilidad se indica un desarrollo espontáneo, es decir, que no depende de antiguos asentamientos (figura 28).

Figura 28: Confiabilidad y probabilidad de crecimiento urbano en el área de estudio de la ciudad de Quevedo



De esta manera el modelo identifica para el año 2030 en el caso de seguir la tendencia actual resulta en el crecimiento de más de 200% de la extensión urbana a costa de tierras agrícolas. La cuenca hídrica presenta pequeños parches los cual se asumen como referencia de islotes propios, mas no implica la presencia de viviendas.

4.3. Discusión

Los autómatas celulares SLEUTH se han visto ejecutados con mayor frecuencia debido a su fácil adquisición y confiabilidad de resultados [67] permitiendo observar y pronosticar el comportamiento a través de archivos ráster [13]. SLEUTH al igual que otros modelos de simulación como DINAMICA EGO, utilizado en la predicción urbana, Manabí en 2017 [19] basa su información en datos del Instituto Geográfico Militar de Ecuador (IGM), archivos vectores (transporte) archivos ráster (uso de suelo) y DEM en resolución de 30 metros, imágenes satelitales en distintas fechas hasta el año de estudio [13].

Las capas de entrada del modelo SLEUTH presenta diversas características de acuerdo al contenido de datos del lugar de estudio y percepción del investigador, en este estudio se ingresó información correspondiente a pendientes, sombreado, transporte (2), zona urbana(4), exclusión(1) y uso de suelo(2) las mismas que se adaptaron a la descripción que requiere el modelo, Sin embargo esto puede variar; según estudios como el de Linares y Clarke Keith en el año 2018, adquiriendo dos escenas más de transporte (4 en total) para diferentes años, los resultados se basarán en el aumento de datos que favorece a la investigación por mayor contenido de insumos. Por otra parte, si contamos con solo dos formatos de vías, esto no afecta los resultados, como se puede analizar en el modelo espacial implementado en México por Corona en el año 2016 [74], tal y como se procedió en la presente investigación.

Ahora bien estudios de simulación de crecimiento urbano en Xalisco, México, emplean el uso de tres imágenes Landsat [12] mientras datos de cuatro imágenes satelitales se evidencian en Modelo espacial y pronóstico de la expansión de la mancha urbana, 1995 - 2030 [11] de origen Landsat, a diferencia del presente modelo en el área urbana de Quevedo hacia el 2030, en el que se adquirió como insumo tres imágenes Landsat y una imagen satelital Sentinel 2, apropiada por sus características de visualización, ya que el modelo SLEUTH requiere mínimo cuatro insumos de zona urbana.

Se observó un valor óptimo (0.51) respecto a la medida leesaLee, afirmando predicciones cercanas a la realidad en una escala de cero a uno. Esta medida se asemeja al modelo empleado en Tandil (Argentina) por Linares y Clarke en la simulación de crecimiento urbano (2018) con un dato de ajuste (0.53) del índice leesaLee [13]. Ahora el estudio desarrollado

en la ciudad de Juárez por Yail Márquez muestra un índice inferior a 0.51 (0.39) [75]. Sin embargo, esto no dificultó el modelar una predicción hacia el futuro (2030) semejante al de esta investigación. Por otro lado, las simulaciones antes mencionadas permitieron observar procesos a partir de sus coeficientes en donde se identificó el tipo y la probabilidad de crecimiento en las distintas áreas de estudios sin presentar problemas.

Existen varias investigaciones en América latina que han replicado el modelo SLEUTH identificando áreas de exclusión. Uno de los primeros estudios de distribución urbana con SLEUTH se dio en la década de los 90 por Clarke, Hoppen y Gaydos [11]. Hasta llegar a distintas investigaciones en la actualidad. En la ciudad de Tandil, Clarke y Linares interpretaron un crecimiento que simula un desarrollo atribuido a la ampliación de la red vial hacia el año 2030 [13]. Mientras en el área de estudio de la ciudad de Quevedo SLEUTH simuló un patrón de distribución a partir de los crecimientos ya identificados (crecimiento orgánico) en la línea de tiempo analizada (1985-2019).

En ambas ciudades (Tandil y Quevedo) se precisaron datos con áreas de restricción basados en la protección y conservación de los recursos hídricos y naturales. Pero, por otro lado, sus resultados difieren, ya que el modelo simula la manera de interactuar de cada celda urbana en cada área de estudio y el desarrollo urbano de cada ciudad. Cabe indicar que a nivel nacional no se han identificado proyectos con la metodología SLEUTH.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

5.1. Conclusiones

Los datos de entrada o insumo para la modelación de SLEUTH se pueden emplear en formatos shapelif e o ráster, caracterizándolo mediante un proceso para adaptarlos al modelo, estos datos al igual que el modelo se encuentra al servicio de la población, en portales de descarga de georreferenciación en distintas fechas de estudio, es indispensable combinar distintos años de información desde el pasado hasta la actualidad y recopilar mínimo cuatro imágenes que ilustren el uso urbano de estudio.

La calibración del modelo SLEUTH se torna a una variación de coeficientes que resulten una imagen similar a la del último año de estudio, para lo cual se juega con valores e iteraciones que permitan llegar a esta etapa, para esta etapa se necesitan implementar tres tipos de calibración, gruesa, fina 1 y fina 2, es indispensable contar con un emulador de Windows para la digitación de comandos de lectura en SLEUTH.

SLEUTH generó dos mapas en la predicción urbana hacia el año final (2030), identificando un tipo de crecimiento orgánico en el área urbana de la ciudad de Quevedo, y una distribución antropogénica a partir de los poblados ya existentes. Resultado obtenido al aplicar los mejores coeficientes que regulan los parámetros urbanos en el modelo, tomando en cuenta las áreas exclusión urbana para un desarrollo sustentable.

5.2. Referencias

- [1] J. J. Soto y Cortés, «El crecimiento urbano de las ciudades: enfoques desarrollista, autoritario, neoliberal y sustentable,» *Paradigma económico*, nº 1, pp. 127-149, 01,06 2015.
- [2] Organizaciòn de Naciones Unidas(ONU), «La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible,» Naciones Unidas, 2018.
- [3] B. H. Roberts, *Gestionando Sistemas de Ciudades Secundarias*, Washington D.C.: Cities Alliance/Banco Interamericano de Desarrollo, 2015.
- [4] R. Robinson, «Caracterización de la calidad del agua para consumo doméstico del río Quevedo en el cantón Quevedo, provincia de Los Ríos,» Universidad de Guayaquil, Guayaquil, 2015.
- [5] S. Mohammady and M. R. Delavar, "Urban sprawl assessment and modeling using landsat images and GIS," *Modeling Earth Systems and Environment*, vol. 2, no. 155, 2016.
- [6] A. Gharaibeh, A. Shaamala, R. Obeidat and S. Al-Kofahi, "Improving land-use change modeling by integrating ANN with Cellular Automata-Markov Chain model," *Heliyon*, vol. 6, no. 9, 2020.
- [7] F. Aguilera, M. G. Delgado y C. Cantergiani, «Instrumentos de simulación prospectiva,» *Ciudad y Territorio, Estudios territoriales*, 2010.
- [8] J. M. S. Gómez y H. McIntosh, «Caracterización de las densidades en autómatas celulares binarios unidimensionales con retardo,» *Revista del Centro de Investigación.*, vol. 9, nº 34, 2010.
- [9] O. Padilla, P. Pèrez, M. Cruz, S. Huilcamaigua y S. Astudillo, «Utilización de autómatas celulares como tècnica de modelamiento espacial para determinación el cambio de uso de suelo y cobertura vegetal.,» *Ciencias Espaciales*, vol. 8, nº 1, pp. 310-326, 2015.
- [10] Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA), «SLEUTH,» Washington-Baltimore, 2004.
- [11] K. Clarke and L. Gaydos, "Loose-coupling a cellular automaton model and GIS: long-term urban growth ´prediction for San Francisco and Washington/Baltimore," *Geographical information Science*, vol. 12, no. 7, pp. 699-714, 1998.
- [12] A. A. Jimènez, M. Gómez, F. A. Benavante y F. Flores, «Simulación del crecimiento urbano de la zona Metropolitana Tepic-Xalisco, México.,» *Estudios Geogràficos*, vol. 80, nº 287, 2019.
- [13] S. Linares y K. Clarke, «Simulación del crecimiento urbano de la ciudad de Tandil (Argentina) aplicando el modelo SLEUTH,» *Conference: V Jornadas Nacionales de*

- [14] A. Singh, "An Introduction to Experimental and Exploratory Research," SSRN, 2021.
- [15] Gobierno Autónomo Descentralizado de Quevedo, «Plan de desarrollo y Ordenamiento territorial (PDyOT),» Quevedo, 2014.
- [16] B. Villacis y D. Carrillo, «Estadística Demográfica en el Ecuador: Diagnóstico y Propuesta,» INEC, Quito, 2012.
- [17] C. Pàñchez, «Situación demográfica del Ecuador y su incidencia en el desarrollo economía y social: 1990-2009,» Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, 2011.
- [18] O. Padilla, «Autómatas Celulares: Una solución a la Geosimulación,» *LABORATORIO DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA, FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE. ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO*, 12 2014.
- [19] A. E. R. Garcia, J. L. R. Bowen y C. J. V. Solórzano, «Escenarios de crecimiento urbano 2017 y 2022 de la ciudad de Portoviejo, Manabí-Ecuador, a partir de autómatas celulares,» *Revista San Gregorio*, nº 19, 2017.
- [20] Instituto Nacional de estadísticas y cesos(INEC), «Resultados del Censo 2010 de población y vivienda en el Ecaudor,» QUEVEDO, 2010.
- [21] Diario La Hora, «Especial de cantonización: "El río Quevedo tronaba,tenia vida",» *La Hora*, 10 7 2018.
- [22] Consejo Cantonal de Planificación de Quevedo, «Diagnostico, Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial,» Quevedo, 2012.
- [23] Ministerio del Interior del Ecuador (MIE), [En línea]. Available: <https://www.ministeriodegobierno.gob.ec/comunicado-3/>. [Último acceso: 5 08 2021].
- [24] A. C. Basantes, «¿Cuántos venezolanos hay en el Ecuador?,» 29 07 2019.
- [25] ODS Territorio Ecuador , «LOS ODS EN ECUADOR: Rol del Estado en su implementación,» Quito, 2018.
- [26] F. A. Benavante, «Predicción del crecimiento urbano mediante Sistemas de Información Geográfica y Modelos Básicos basados en Autómatas Celulares,» *GeoFocus(Articulos)*, vol. 6, pp. 81-112, 2006.
- [27] M. Sapena, L. Á. Ruiz y K. Joó, «Modelos de simulación de expansión urbana a partir de imágenes de satélite: Adecuación al análisis temporal de la fragmentación de uso

de los usos del suelo,» *XVII Congreso de la Asociación Española de Teledetección*, vol. 3, nº 7, pp. 311-314, 5 10 2017.

- [28] Centros de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria(CEDRSSA), «Recurso suelo. Elementos para la definición de una política pública en México,» (CEDRSSA), 03 06 2015.
- [29] Soil Science Society of America(SSSA), [Online]. Available: <https://www.soils.org/about-soils/basics/>. [Accessed 05 06 2021].
- [30] INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICAS Y CENSO(INEC); UNIDAD DE ESTADÍSTICAS AGROPECUARIAS(ESAG), «Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua 2012,» 2012.
- [31] Ministerio del Ambiente(MAE), «Beneficios del Manejo Sostenible de la Tierra,» Quito,Ecuador , 2013.
- [32] R. L. Paz, «El desarrollo urbano en el Ecuador,» Quito , Pontifica Universidad Católica del Ecuador, Facultad de Ciencias Humanas, Titulació, 2015.
- [33] L. López, «Urbanismo y ordenación territorial,» Curso de Ordenación del Territorio, Madrid, 1982.
- [34] L. Goyas, I. Cabanes y S. Zambrano, «ANÁLISIS JURÍDICO DEL ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y EL USO DEL SUELO COMO RECURSO NATURAL INSUSTITUIBLE,» *Scielo*, vol. 8, nº 3, 058 2016.
- [35] LEY ORGÁNICA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL, USO Y GESTIÓN DE SUELO (LOOTUGS), Asamblea Nacional, Ecuador, Quito, 2016.
- [36] Lineamientos para la articulación entre el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial con al Agenda 2030 y los objetivos de Desarrollo Sostenible ODS, Quito, Secretaría Técnica Planifica Ecuador, 2019, pp. 2-10.
- [37] Food and Agriculture Organization of the United Nations(FAO), [En línea]. Available: <http://www.fao.org/ecosystem-services-biodiversity/background/es/>. [Último acceso: 06 06 2021].
- [38] CÓDIGO ORGÁNICO DEL AMBIENTE (COA), Registro Oficial Suplemento 983, Quito, Última modificación,2018.
- [39] A. Mahiny and M. Gholamalifard, "Dynamic Spatial Modeling of Urban Growth through Cellular Automata in a GIS Environmen," *Int. J. Environ*, vol. 1, no. 3, p. 272.279, March 2007.
- [40] C. H. Ruiz y G. A. García, «PROPUESTA DE MODELOS PREDICTIVOS EN LA PLANIFICACIÓN TERRITORIAL Y EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL,» *Universidade Federal do Rio Grande do Sul*, vol. IX Coloquio Internacional de Geocrítica, Mayo-Junio 2007.

- [41] H. Rojas, «Predicción y modelación del crecimiento urbano de Ciudad Cuauhtémoc, Chihuahua del año 2010, mediante autómatas celulares (SLEUTH).», *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, vol. 29, nº 1, 01 2012.
- [42] B. S. Díaz, «La teledetección en investigaciones ecológicas como apoyo a la conservación de la biodiversidad: una revisión», *Revista Científica*, vol. 33, nº 3, pp. 243-253, 20158.
- [43] P. S. Jara, «La teledetección enfocada a la obtención de mapas digitales», Cuenca , 2012.
- [44] E. Cervantes, «Clasificación de imágenes satelitales mediante el uso de Memorias Asociativas», México, 2014.
- [45] European Commission, "Sentinel-2; Data access and product," 03 2015. [Online]. Available: https://sentinel.esa.int/documents/247904/1848117/Sentinel-2_Data_Products_and_Access.
- [46] Sentinel-2,esa; European Union, "Revisit and Coverage," Copernicus.
- [47] J. Masek and M. Taylor, "Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio(NASA)," [Online]. Available: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/about>. [Accessed 07 07 2021].
- [48] A. G. Varela, «Landsat,» Sistemas de Comunicación Vía Satélite, 2016.
- [49] F. Pucha, A. Fries, F. Cánovas, F. Oñate-Valdivieso, V. González-Jaramillo y D. Pucha-Cofrep, Fundamentos de SIG, Aplicaciones de ArcGIS, Ediloja Cia. Ltda, 2017.
- [50] L. A. Arroyo, «La tecnología de los Sistemas de Información Geográfica en el uso de la tierra,» 1999.
- [51] J. Dangermond y L. Dangermond, «Plataforma de representación cartográfica y análisis,» Esri Ecuador, [En línea]. Available: <https://www.esri.ec/arcgis/>. [Último acceso: 07 07 2021].
- [52] J. Dangermond y L. Dangermond, «Plataforma de representación cartográfica y análisis,» Esri, [En línea]. Available: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/guide-books/map-projections/north-american-datums.htm>. [Último acceso: 06 29 2021].
- [53] A. Szabo, "Disclaimer: The following material is being kept online for archival purposes,," 2033.
- [54] F. J. D. Martínez y E. C. Arranz, «Georreferenciación de documentos cartográficos para la gestión de Archivos y Cartotecas "Propuesta Metodológica",» Instituto Geográfico Nacional, 2012.

- [55] E. López, C. Posada y J. Moreno, «LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA,» Universidad de Sevilla I Congreso de Ciencia Regional de Andalucía: Andalucía en el umbral del siglo XXI, España, s.f..
- [56] Unidad Ejecutora 001631: Gestión de Proyectos Sectoriales - UEGPS, «“Metodología para clasificación de coberturas a partir del procesamiento de imágenes satelitales”,» PERÚ, 2018.
- [57] A. Iracheta, C. Pedroti y P. Rodríguez, Suelo urbano y frentes de agua: Debates y propuestas en Iberoamérica, México: D.R: El Colegio Mexiquense, A.C., 2017.
- [58] A. A. Jiménez, «SIMULACIÓN DEL CRECIMIENTO URBANO DE LA ZONA METROPOLITANA TEPIC-XALISCO, MÉXICO,» *Estudios Geográficos*, vol. 80, n° 287, 07-12 2019.
- [59] L. B. Ruiz y A. Tineo, «Una revisión de modelos de tráfico automotor usando autómatas celulares,» *NOVASINERGIA*, vol. 02, n° 02, 06 2019.
- [60] L. E. Cervera-Gómez, A. Bragues y C. M. Fuentes, «Simulación del Crecimiento Urbano de la ciudad de Chihuahua mediante el uso de Autómatas Celulares,» *ResearchGate: Investigadores de El Colegio de la Frontera Norte A.C.*, 02 2012.
- [61] CONSTITUCIÓN DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR, «Los recursos naturales no renovables del territorio del Estado pertenecen a su patrimonio inalienable,» CONSTITUCIÓN DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR 2008.
- [62] CÓDIGO ORGÁNICO DE ORGANIZACIÓN TERRITORIAL(COOTAD), «CÓDIGO ORGÁNICO DE ORGANIZACIÓN TERRITORIAL,» ECUADOR, 2019.
- [63] Gobierno Autónomo Descentralizado, «LA ORDENANZA PARA LA APROBACIÓN Y ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL CANTÓN QUEVEDO, 2017 – 2021,» QUEVEDO, 2018.
- [64] Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC), «Fascículo Provincial LOs Ríos,» Quito, 2010.
- [65] Science for a changing world (USGS), «Proyecto Gigalopolis,» [En línea]. Available: <http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/index.html>. [Último acceso: 1 07 2021].
- [66] J. Mejia, «Modelado espacial del crecimiento urbano en la región Noreste del Estado de Michoacán de Ocampo,» Universidad Nacional de México, México, 2013.
- [67] Project Gigalopolis, "Selecting coefficient ranges from coarse calibration," [Online]. Available: <http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/Imp/calCoarseSelect.htm>. [Accessed 15 07 2021].

- [68] Project Gigalopolis, "Selecting coefficient ranges from final calibration," [Online]. Available: <http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/Imp/calFinalSelect.htm>. [Accessed 15 07 2021].
- [69] Imágenes y fotografías satelitales del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), «EarthExplorer».
- [70] D. Watkins, "Mosaicos de la Misión Topográfica de Radar del Transbordador," [Online]. Available: <https://dwtkns.com/srtm30m/>. [Accessed 2021].
- [71] Instituto Geografico Militar (IGM), «Base de datos Cartograficos,» Ecuador.
- [72] Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE), «Mapa Interactivo Ambiental,» SUIA, 1 06 2015. [En línea]. Available: <http://ide.ambiente.gob.ec/geonetwork/srv/spa/catalog.search;jsessionid=D395AF351C552890CC34D2EACA8206DC#/home>. [Último acceso: 2021].
- [73] I. Fernández y E. Herrero, «El Satelite Landsat, análisis visual de imágenes obtenidas del sensor ETM+SATELITE LANDAST,» Universidad de Valladolid, Palencia, 2001.
- [74] N. Corona, «Modelo espacial y pronóstico de la expansión de la mancha urbana, 1995 - 2030.,» *CentroGeo*, pp. 39-81, 2016.
- [75] B. Márquez, «Análisis y simulación del crecimiento utilizando sistemas de información geográficos: Ciudad Juárez, Chihuahua,» El colegio de la Frontera Norte, México, 2008.