



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

**CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN PARA
EL DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
UNIDAD DURANGO**

**DENSIFICACIÓN DE CONSTRUCCIÓN DE LA CIUDAD DE VICTORIA
DE DURANGO EN EL PERIODO DE 1990 AL 2018 Y SU
RELACIÓN CON LAS VÍAS PRINCIPALES DE COMUNICACIÓN**

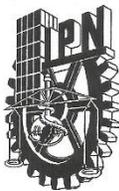
**TESIS
QUE PARA OBTENER EL GRADO
DE MAESTRO EN CIENCIAS EN GESTIÓN AMBIENTAL**

**PRESENTA:
ROSA ISELA ROSALES CAMPA**

**DIRECTORES:
DR. MARCO ANTONIO MÁRQUEZ LINARES
DR. JONATHAN GABRIEL ESCOBAR FLORES**



Victoria de Durango, Dgo. Noviembre de 2019



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REGISTRO DE TEMA DE TESIS Y DESIGNACIÓN DE DIRECTORES DE TESIS

México, D.F. a 13 de febrero del 2018

El Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CIIDIR-IPN Durango en su sesión ordinaria No. 1 celebrada el día 19 del mes de enero conoció la solicitud presentada por el(la) alumno(a):

<u>ROSALES</u>	<u>CAMPA</u>	<u>ROSA ISELA</u>							
Apellido paterno	Apellido materno	Nombre (s)							
Con registro: <table border="1"><tr><td>B</td><td>1</td><td>7</td><td>0</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td></tr></table>			B	1	7	0	3	3	3
B	1	7	0	3	3	3			

Aspirante de: Maestría en Ciencias en Gestión Ambiental

1.- Se designa al aspirante el tema de tesis titulado:
Densificación de construcción de la ciudad de Victoria de Durango en el periodo de 1990 al 2018 y su relación con las vías principales de comunicación

De manera general el tema abarcará los siguientes aspectos:

2.- Se designan como Directores de Tesis a los Profesores:
Dr. Marco Antonio Márquez Linares y Dr. Jonathan Gabriel Escobar Flores

3.- El trabajo de investigación base para el desarrollo de la tesis será elaborado por el alumno en:
El CIIDIR-IPN Unidad Durango

que cuenta con los recursos e infraestructura necesarios.

4.- El interesado deberá asistir a los seminarios desarrollados en el área de adscripción del trabajo desde la fecha en que se suscribe la presente hasta la aceptación de la tesis por la Comisión Revisora correspondiente:

Directores de Tesis



Dr. Marco Antonio Márquez Linares

Aspirante

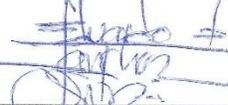


Arq. Rosa Isela Rosales Campa



Dr. Jonathan Gabriel Escobar Flores

Presidente del Colegio



Dr. Eduardo Sánchez Ortiz



CENTRO INTERDISCIPLINARIO
DE INVESTIGACIÓN PARA EL
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
C.I.I.D.I.R.
UNIDAD DURANGO
I.P.N.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de Durango, Dgo. siendo las 11:15 horas del día 30 del mes de 2019 del 2019 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación del: CIIDIR-IPN Unidad Durango para examinar la tesis titulada: Densificación de construcción de la ciudad de Victoria de Durango en el periodo de 1990 al 2018 y su relación con las vías principales de comunicación

Presentada por el alumno:

ROSALES	CAMPA	ROSA ISELA						
Apellido paterno	Apellido materno	Nombre(s)						
		Con registro:						
		B	1	7	0	3	3	3

aspirante de:

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN GESTIÓN AMBIENTAL

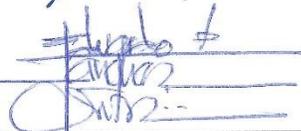
Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Directores de tesis


Dr. Marco Antonio Márquez Linares

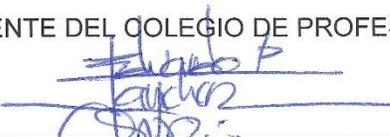

Dr. Jonathan Gabriel Escobar Flores

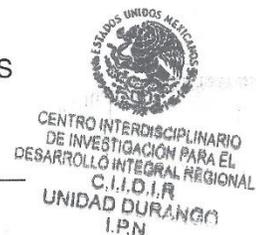

Dr. Eduardo Sánchez Ortiz


M. en C. Cesar Israel Hernández Ramírez


Dr. Gustavo Pérez Verdín

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES


Dr. Eduardo Sánchez Ortiz





INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de Durango, Dgo., el día **30** del mes de **octubre** del año **2019**, la que suscribe **Rosa Isela Rosales Campa**, alumna del Programa de **Maestría en Ciencias en Gestión Ambiental**, con número de registro **B170333**, adscrito al **Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Durango. CIIDIR-IPN Unidad Durango**, manifiesta que es la autora intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del **Dr. Marco Antonio Márquez Linares** y del **Dr. Jonathan Gabriel Escobar Flores** y cede los derechos del trabajo titulado **“Densificación de construcción de la ciudad de Victoria de Durango en el periodo de 1990 al 2018 y su relación con las vías principales de comunicación”**, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o directores del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a las siguientes direcciones iselasli@hotmail.com, marco_dgo@yahoo.com y jonas286@hotmail.com. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Rosa Isela Rosales Campa', is written over a horizontal line.

ROSA ISELA ROSALES CAMPA

EL PRESENTE TRABAJO SE REALIZÓ EN EL CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL UNIDAD DURANGO DEL INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL DENTRO DE SU PROGRAMA DE POSGRADO MAESTRÍA EN CIENCIAS EN GESTIÓN AMBIENTAL, BAJO LA DIRECCIÓN DEL DR. MARCO ANTONIO MÁRQUEZ LINARES Y EL DR. JONATHAN GABRIEL ESCOBAR FLORES.

SE AGRADECE EL APOYO BRINDADO PARA LA OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN A LAS DIFERENTES DEPENDENCIAS E INSTITUCIONES:

A LA DIRECCIÓN MUNICIPAL DE DESARROLLO URBANO UBICADA EN LAUREANO RONCAL 211, ZONA CENTRO, 34000 DURANGO, DGO.

A LA DIRECCIÓN MUNICIPAL DE ADMINISTRACIÓN Y FINANZAS UBICADA EN BLVD. LUIS DONALDO COLOSIO 200 SAN IGNACIO C.P. 34200 DURANGO, DGO.

ASÍ COMO AL PERSONAL DEL INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA DIRECCIÓN REGIONAL NORTE UBICADO EN CALLE SELENIO ORIENTE NO. 107, CIUDAD INDUSTRIAL, C.P. 34208, DURANGO, DURANGO, CD INDUSTRIAL, DURANGO

ÍNDICE

GLOSARIO	I
LISTA DE ACRÓNIMOS	II
RELACIÓN DE FIGURAS	III
RELACIÓN DE TABLAS	VII
RESUMEN	IX
ABSTRACT	X
INTRODUCCIÓN	1
I. ANTECEDENTES	3
1.1. Panorama Urbano de las Ciudades Mexicanas	3
1.2. Panorama Urbano de la Ciudad de Victoria de Durango	5
1.3. Marco Teórico-Conceptual	6
1.3.1. Políticas Públicas	6
1.3.2. Gestión Urbana	7
1.3.3. Crecimiento Urbano	8
1.3.4. Modelos De Crecimiento Urbano Disperso y Compacto	8
1.3.5. Consecuencias del crecimiento urbano y la dispersión	10
1.3.6. Sistemas para la Exploración de Datos Espaciales y Matemáticos ...	11
1.3.6.1. Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (AEDE)	11
1.3.6.2. Autocorrelación Espacial (AE)	11
1.3.6.3. Análisis De Textura	12
1.3.6.4. Entropía	13
1.3.6.5. Índice de Moran E Índice General de Getis y Ord G	14
II. JUSTIFICACIÓN	16
III. HIPÓTESIS	16
IV. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	17
V. MATERIALES Y MÉTODOS	18
5.1. Área de estudio	18
5.2. Adquisición de imágenes	19
5.3. Información de las unidades geoespaciales Urbanas.	21

5.4. Clasificación de las imágenes.....	22
5.4.1. Calibración de la Imagen.....	22
5.5. Análisis de la densidad de construcción.....	23
5.5.1. Análisis textura.....	24
5.6. Análisis del patrón espacial de entropía.....	25
5.6.1. Autocorrelación espacial.....	26
5.6.2. Análisis de High/Low Clustering.....	26
5.7. Validación de las imágenes.....	27
5.7.1. Matriz de confusión y error.....	27
5.7.2. Medición de confiabilidad del mapa.....	29
5.8. Identificación de los atractores.....	30
5.9. Relación entre densidad de construcción y atractores.....	30
VI. RESULTADOS.....	31
6.1. Clasificación de las imágenes.....	31
6.2. Validación de las imágenes.....	33
6.2.1. Validación de las imágenes con corrección de Alta densidad de construcción.....	38
6.2.2. Medición de confiabilidad del mapa.....	39
6.2.3. Comportamiento de la densidad de construcción de la ciudad de Victoria de Durango de 1990 con corrección en Alta densidad de construcción.....	41
6.2.4. Comportamiento de la densidad de construcción de la ciudad de Victoria de Durango de 2000 con corrección en Alta densidad de construcción.....	42
6.2.5. Comportamiento de la densidad de construcción de la ciudad de Victoria de Durango de 2010 con corrección en Alta densidad de construcción.....	43
6.2.6. Comportamiento de la densidad de construcción de la ciudad de Victoria de Durango de 2018 con corrección en el Alta densidad de construcción.....	44
6.2.7. Densificación de construcción en Victoria de Durango por etapa.....	48
6.3. Análisis de Autocorrelación espacial y Análisis de High/Low Clustering.....	50
6.4. Atractores y su relación con las densidades de construcción.....	51
VII. DISCUSIÓN.....	54
7.1. Modelo urbano en la ciudad de Victoria de Durango.....	54

7.2. Densificación de la construcción en la ciudad de Victoria de Durango ...	56
7.3. Densificación Urbana y Vialidades Principales en Victoria de Durango ..	58
7.4. El Método Utilizado	60
VIII. CONCLUSIONES.....	62
IX. RECOMENDACIONES	63
X. REFERENCIAS	64
XI. ANEXOS	69

GLOSARIO

1. **Autocorrelación espacial:** Es el grado de similitud de objetos o actividades en una unidad geográfica con otros objetos o actividades en unidades geográficas próximas (Ramirez y Falcón, 2015).
2. **Cobertura del suelo:** Capa formada por los atributos biofísicos de la tierra (Lambin *et al.*, 2001).
3. **Comunicación:** Unión que se establece entre ciertas cosas, tales como mares, pueblos, casas o habitaciones, mediante pasos, crujías, escaleras, vías, canales, cables y otros recursos (Real Academia Española, 2019).
4. **Denso, sa.:** De mucho contenido o profundidad en poco espacio (Real Academia Española, 2019).
5. **Desarrollo urbano:** Proceso de la predominancia de las ciudades y los valores urbanos (Bhatta, 2012).
6. **Gestión Urbana:** Proceso de toma de decisiones que orienta el cambio de una ciudad (Coneo-Villadiego, 2012).
7. **Políticas Públicas:** Son el curso de la acción que toma un actor o actores al tratar un asunto de interés (Aguilar-Astorga y Lima-Facio, 2009).
8. **Uso del suelo:** Propósito humano que se les da a los atributos biofísicos de la tierra (Lambin *et al.*, 2001).

LISTA DE ACRÓNIMOS

AE: Autocorrelación Espacial

AEDE: Análisis Exploratorio de Datos Espaciales

CONAGUA: Comisión Nacional del Agua

CONAPO: Consejo Nacional de Población

CONAVI: Comisión Nacional de Vivienda

DN: Digital Numbers

DOF: Diario Oficial de la Federación.

ETM+: Enhanced Thematic Mapper Plus

G: Índice General de Getis y Ord

GL: Grey Levels

GLCM: Grey Level Co-occurrence Matrix

OECD: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos

TM: Thematic Mapper

TCMA: Tasa Media de Crecimiento Anual

RELACIÓN DE FIGURAS

Figura 1 Patrones físicos y formas del crecimiento urbano y la dispersión	9
Figura 2 Índice de Shannon	13
Figura 3 Índice de Moran	14
Figura 4 Índice G	15
Figura 5 Área de estudio ciudad de Victoria de Durango	18
Figura 6 Proceso de calibración de las imágenes.	22
Figura 7 Análisis de textura, extracción de entropía y reclasificación.	25
Figura 8 Análisis de autocorrelación con la entropía	26
Figura 9 Análisis de High/Low Clustering	27
Figura 10 Corrección 1990 - Imagen del valor de la entropía de la imagen 1990 e imagen con la clasificación de la entropía	31
Figura 11 Corrección 2000 - Imagen del valor de la entropía de la imagen 2000 e imagen con la clasificación de la entropía	32
Figura 12 Corrección 2010 - Imagen del valor de la entropía de la imagen 2010 e imagen con la clasificación de la entropía	32
Figura 13 Corrección 2018 - Imagen del valor de la entropía de la imagen 2018 e imagen con la clasificación de la entropía	32
Figura 14 Matriz de Error por Clase por año precisión del usuario	37
Figura 15 Matriz de Error por Clase por año	38
Figura 16 Mapa de densificación de 1990	41
Figura 17 Mapa de densificación de 2000	42
Figura 18 Mapa de densificación de 2010	43
Figura 19 Mapa de densificación de 2018	44
Figura 20 Comportamiento de la densificación por imagen	46
Figura 21 Comportamiento de las clasificaciones	47
Figura 22 Mapa de densificación por etapa	48
Figura 23 Densificación de construcción por etapa 1990 al 2018	49
Figura 24 Mapa de alta densidad de construcción por etapa y vialidades	51
Figura 25 Relación de alta densidad de construcción con las vialidades	53
Figura 26 Índice de Moran 1990	69

Figura 27 High/Low Clustering 1990	70
Figura 28 Índice de Moran 2000.....	70
Figura 29 High/Low Clustering 2000	70
Figura 30 Índice de Moran 2010.....	70
Figura 31 High/Low Clustering 2010	70
Figura 32 Índice de Moran 2018.....	70
Figura 33 High/Low Clustering 2018	70

RELACIÓN DE TABLAS

Tabla 1 Proyección de Crecimiento Poblacional	5
Tabla 2 Contraste de Entropía	12
Tabla 3 Características de las bandas en Landsat 5 sensor Thematic Mapper	19
Tabla 4 Características de las bandas Landsat 7 sensor Enhanced Thematic Mapper	20
Tabla 5 Landsat 8 con cámara terrestre operacional y sensor infrarrojo térmico OLI-TIRS	20
Tabla 6 Unidades geoespaciales INEGI	21
Tabla 7 Densificación de construcción.	23
Tabla 8 Índices estadísticos para la obtención de precisión.....	28
Tabla 9 Índices estadísticos para la exactitud temática	29
Tabla 10 Valoración del coeficiente Kappa.	30
Tabla 11 Matriz de confusión 1990 Wi= Peso de la clase Map Area= Suma de área en mapa	33
Tabla 12 Matriz de error 1990	33
Tabla 13 Matriz de confusión 2000 Wi= Peso de la clase Map Area= Suma de área de la clase en mapa	34
Tabla 14 Matriz de error 2000	34
Tabla 15 Matriz de confusión 2010 Wi= Peso de la clase Map Area= Suma de área de la clase en mapa	35
Tabla 16 Matriz de error 2010	35
Tabla 17 Matriz de confusión 2018 Wi= Peso de la clase Map Area= Suma de área de la clase en mapa	36
Tabla 18 Matriz de error 2018	36
Tabla 19 Matriz de confusión normalizada 1990	39
Tabla 20 Matriz de confusión normalizada 2000	39
Tabla 21 Matriz de confusión normalizada 2010	40
Tabla 22 Matriz de confusión normalizada 2018	40
Tabla 23 Densificación por etapa en hectáreas	45

Tabla 24 Porcentaje de Densificación	45
Tabla 25 Densificación de construcción por etapa	49
Tabla 26 Autocorrelación espacial	50
Tabla 27 Relación alta densidad de construcción y vialidades	52

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue analizar la densificación de construcción en la ciudad de Victoria de Durango además de observar la relación que lleva con las vías principales de comunicación; esto para obtener un análisis de cuál es el comportamiento que maneja la urbe, ya que en algunos de los planes de desarrollo urbano del municipio se indica que el crecimiento es de forma aleatoria y dispersa.

El método que se utilizó para identificar la densificación de construcción fue por la extracción de entropía en imágenes satelitales, mediante un análisis de texturas y de autocorrelación espacial, obteniendo clasificaciones de densidad de construcción por etapa analizada.

Las imágenes se trataron desde los años 90's al 2018, con una separación entre imágenes de 10 años y en el último lapso 8 años. Con la intención de observar en este periodo de 28 años el comportamiento de la ciudad en cuanto a que modelo de crecimiento urbano tomó la ciudad, distinguiendo entre el modelo disperso y el modelo compacto de crecimiento urbano.

En el comportamiento de la densificación de construcción en cada una de las etapas analizadas 1990, 2000, 2010 y 2018, se observa que predomina la alta densidad de construcción junto a las vías de comunicación.

ABSTRACT

The objective of this work was to analyze the densification of construction in the city of Victoria de Durango in addition to observing the relationship it leads with the main communication routes; this to obtain an analysis of what the behavior of the city is, since some of the urban development plans of the municipality indicate that the growth is isolated and dispersed.

The method used to identify construction densification was by extracting entropy into satellite imagery, using texture analysis and spatial autocorrelation, obtaining construction density ratings by stage analyzed.

The images were treated from the 90's to 2018, with a separation between images of 10 years and in the last span 8 years. With the intention of observing in this period of 28 years the behavior of the city in terms of which model of urban growth the city took, distinguishing between the sprawl model and the compact model of urban growth.

In the behavior of construction densification in each of the stages analyzed 1990, 2000, 2010 and 2018, it is observed that the high density of construction next to the communication routes predominates.

INTRODUCCIÓN

Según Castro-Bonaño (2002) los humanos han podido modificar a gran escala el medio circundante, configurando así su propio ecosistema: el urbano. El hombre no sólo ocupa el territorio que tiene cercano, él extiende su huella, transformando su entorno para proveerse de los insumos necesarios que satisfagan su expansión, cubrir sus necesidades básicas le da la oportunidad de tener un crecimiento demográfico sostenido, dejando la preocupación de subsistencia y alcanzando una especialización productiva incentivando a prácticas urbanas que conllevan a una interacción de comunidad.

Esta transformación del entorno propicia un crecimiento espacial con modelos de ocupación, de los cuales se destacan:

a) Las ciudades compactas con el uso intensivo del espacio, que reflejan una integración en sus usos de suelo, con una actividad centralizada, en donde se mejora el transporte público y se fomentan diferentes formas de transporte por la cercanía como pueden ser: las bicicletas, el acceso a equipamientos y los servicios con menor coste de infraestructura. Esto trae consigo una regeneración y revitalización de las áreas urbanas (Nogués-Soledad y Salas-Olmedo, 2009).

b) Las ciudades dispersas en donde la disponibilidad de suelo juega un papel fundamental, entregando espacios poco o mal planificados, con escasa accesibilidad y dependencia del vehículo privado, con una dificultad en la definición del uso residencial, de infraestructuras, de servicios y problemas relacionados con la pobreza. Dando como resultado una alteración del paisaje, generando ineficiencia y complicando su gestión (Nogués-Soledad y Salas-Olmedo, 2009).

En México el incremento de la población junto con la inmigración de las zonas rurales, generan una presión en los recursos naturales, en este caso la presión es en el recurso del suelo debido a que la población tiende a instalarse en las urbes, en busca de mejores oportunidades de vida. La división de Población de las Naciones Unidas prevé que la población alcanzara más de 9 mil millones de habitantes para el

año 2050, lo que nos orilla a buscar una utilización óptima del suelo urbano (SEMARNAT, 2012).

La ciudad de Durango no escapa de este proceso de crecimiento no denso, mientras en 1950 tenía 59,407 habitantes con una superficie de área urbanizada de 647 Ha, arrojando un 91.8 de Hab/Ha, en 2013 tiene 539,665 habitantes con 11,460 Ha, dando solo un 47.09 Hab/Ha. Lo anterior significa que la tasa de crecimiento espacial supera la tasa de crecimiento poblacional (H. Ayuntamiento del Municipio de Durango, 2016).

La presente investigación analiza cómo ha sido el proceso de densificación en la ciudad de Victoria de Durango, así como la relación que comparte la densificación con las principales vías de comunicación. Se utilizaron imágenes del satélite Landsat por etapas desde 1990 al 2018 y por medio de manejadores espaciales (e.g. software) se obtuvieron valores de entropía y se les realizaron análisis de autocorrelación espacial. Esta información será de apoyo para las políticas públicas en materia urbana en el municipio de Durango.

I. ANTECEDENTES

1.1. Panorama Urbano de las Ciudades Mexicanas

En el Programa Nacional de Desarrollo Urbano el D.O.F. (2014) marca que a finales de la década de los cincuenta comenzó la expansión urbana de las ciudades mexicanas. A partir de ese momento el estrecho vínculo entre el desarrollo económico y el crecimiento urbano comenzó a reflejarse en el incremento acelerado de la migración del medio rural hacia el urbano. En épocas recientes la inexistencia de un suelo apto y más accesible al interior de las ciudades para los sectores desfavorecidos de la población, continúa siendo un factor que impulsa el asentamiento en zonas de riesgo (D.O.F., 2014). A nivel nacional, 11 % de las viviendas en localidades urbanas se ubican cerca o sobre el cauce de un río; 2.3 % se encuentra sobre rellenos sanitarios, cuevas o minas y 9% sobre barrancas (D.O.F., 2014).

Las consecuencias del proceso de urbanización en México se reflejan con una expansión de la mancha urbana. En las ciudades mexicanas el crecimiento del territorio urbano no siempre va en tendencia del crecimiento poblacional, mientras la población urbana se duplicó durante los últimos treinta años, la superficie urbana se multiplicó por seis (D.O.F., 2014).

Según la Comisión Nacional de Vivienda (**CONAVI**), las ciudades de más de un millón de habitantes, presentan densidades promedio de 36 viviendas por hectárea (viv/ha); las de 500 mil a un millón promedian 27 viv/ha; las de 100 mil a 500 mil, 21 viv/ha; y las de 50 a 100 mil presentan en promedio densidades de 19 viv/ha, con un promedio general nacional de 23 viv/ha (D.O.F, 2014).

El modelo de ciudad extendida, poco densa y periférica genera altos costos tanto para la ciudadanía como para el país en su conjunto. Por un lado, la provisión de servicios básicos por parte del gobierno se vuelve más costosa, problema que, aunado a la debilidad financiera de las recaudaciones locales, se traduce en desigualdades en la calidad y oportunidad con la que los gobiernos locales proveen bienes públicos a los ciudadanos (D.O.F., 2014).

Se estima que el costo de introducción de servicios públicos, una vez que se han consolidado los asentamientos humanos que no fueron planeados, es 2.7 veces mayor. La provisión de servicios básicos como estrategia para conectar desarrollos alejados de las ciudades, sumada al abandono de los centros de las ciudades debido al deterioro de inmuebles provoca una subutilización del equipamiento e infraestructura e incluso genera incentivos para la especulación del suelo (D.O.F., 2014). Millones de mexicanos deben recorrer diariamente largas distancias para llegar a sus trabajos, lo cual les genera gastos significativos reflejados en el dinero y tiempo que le invierten a estas actividades. El 15% de los hogares en zonas urbanas reporta que tienen un gasto aproximado de entre 51 y 200 pesos diarios para trasladarse de su casa al trabajo (D.O.F., 2014).

En México las autoridades buscan reducir el rezago habitacional que afecta a aproximadamente al 31% de los hogares mexicanos y hacer más eficientes los patrones de desarrollo. Este nuevo enfoque a las políticas de desarrollo urbano se diferencia de los del pasado ya que modifican sus objetivos cuantitativos a un enfoque más cualitativo sobre el entorno urbano (OECD, 2015).

Los objetivos con un enfoque cualitativo se hacen explícitos en la Política Nacional de Vivienda, que tiene como estrategias:

- I. Lograr una mayor y mejor coordinación interinstitucional.
- II. Transitar hacia un modelo de desarrollo urbano sustentable e inteligente.
- III. Reducir de manera responsable el rezago habitacional.
- IV. Procurar una vivienda digna para todos los mexicanos.

Los patrones de desarrollo urbano en las ciudades mexicanas han trasladado a la población lejos de los puestos de trabajo y servicios, lo que resulta en un aumento de la congestión, la expansión de la mancha urbana, pérdidas de productividad y menores niveles de bienestar (OECD, 2015).

En México el crecimiento urbano se ha producido en gran parte en la periferia de las zonas metropolitanas a costa del despoblamiento (o de la baja en los niveles de densidad) de las zonas centro de las ciudades. Entre 2000 y 2010, en las zonas

metropolitanas con al menos 500 mil habitantes, la zona centro- ciudad registró una caída promedio de 7.5% en la densidad de población; en contraste, la densidad de población en las zonas situadas a más de 10 kms del centro de la ciudad aumentó en un 6.8% en promedio (OECD, 2015).

1.2. Panorama Urbano de la Ciudad de Victoria de Durango

La ciudad de Durango, como el resto de las ciudades en el país, sufrió el fenómeno del crecimiento horizontal, que trajo como consecuencia una expansión de la mancha urbana. Con asentamientos humanos irregulares, colonias populares y nuevos fraccionamientos alejados de los centros de trabajo, del equipamiento urbano y de las áreas de recreación, ayudando a la desintegración del tejido social y el encarecimiento de los servicios y problemas de movilidad (H. Ayuntamiento del Municipio de Durango, 2016).

De acuerdo con los datos que emite el Consejo Nacional de Población (**CONAPO**), la ciudad de Durango registrará una tasa de crecimiento poblacional proyectada del 1.25 por ciento para el año 2016; 0.90 por ciento, para 2022; y 0.80 por ciento para 2025 (H. Ayuntamiento del Municipio de Durango, 2016) (Tabla 1).

Tabla 1 Proyección de Crecimiento Poblacional

PROYECCIÓN DE CRECIMIENTO POBLACIONAL								
FUENTE	AÑO	TASA DE CRECIMIENTO CONAPO	POBLACIÓN PROYECTADA (HAB)	DENSIDAD ACTUAL (HAB/HA)	SUPERFICIE/DENSIDAD ACTUAL	DENSIDAD OPTIMA (HAB/HA)	CRECIMIENTO POBLACIONAL (HAB)	SUPERFICIE DE RESERVA (HA)
PROYECCIÓN	2016	1.25%	579,978	48	12,084	80	61,269	766
PROYECCIÓN	2022	0.90%	617,394	48	12,863	80	98,685	1,234
PROYECCIÓN	2025	0.80%	633,208	48	13,193	80	114,499	1,432

Fuente: (H. Ayuntamiento del Municipio de Durango, 2016)

1.3. Marco Teórico-Conceptual

1.3.1. Políticas Públicas

Las políticas públicas son el curso de la acción que toma un actor o actores al tratar un asunto de interés (Aguilar-Astorga y Lima-Facio, 2009). Se desempeñan como espacios de mediación y solución de conflictos entre partes con diversas particularidades. En ellas se observan mecanismos de asignación pública de recursos y oportunidades para los involucrados, sus intereses y posturas en un conflicto (Barenboim, 2012). Las políticas públicas en materia de desarrollo urbano son las acciones que se toman en nuestro caso por la dependencia de Desarrollo Urbano del Municipio, en conjunto con la administración del municipio en turno y los expertos de urbanismo que inciden desde sus áreas en el espacio urbano para hacer planes que favorezcan a la ciudadanía. La política se enfoca en lo que se efectúa y se lleva a cabo, conformada por un conjunto de decisiones y elecciones entre alternativas, poniendo metas y objetivos a realizar (Aguilar-Astorga y Lima-Facio, 2009). Derivado de las políticas urbanas se obtiene la creación de espacios comerciales, redes viales, la definición de áreas de equipamiento y espacios habitacionales para la población (Gutiérrez-Sánchez, 2010) tomando en cuenta una dimensión espacial del estado de bienestar y una regulación entre la división económica y social de dicho espacio (Barenboim, 2012). Las políticas públicas son caminos de acción en los cuales no hacer nada también es una decisión que se debe de considerar a poner en práctica, que tanto se afectará o no se afectará a la ciudadanía en el caso de que se realice o no uno de los objetivos en el plan de desarrollo urbano (Aguilar-Astorga y Lima-Facio, 2009).

En la ciudad de Victoria de Durango se cuenta varios Planes de Desarrollo Urbano (H. Ayuntamiento del Municipio de Durango, 2016):

“Desde el año de 1983 se han elaborado diversos programas de Desarrollo Urbano, los cuales se han encargado de regular el crecimiento urbano de la ciudad y éstos son: el Plan de Desarrollo Urbano de Ciudad Victoria de Durango 1983; Plan de

Desarrollo Urbano de la Ciudad de Durango 1994; Programa de Desarrollo Urbano de la Ciudad de Durango 2000-2020; y el Programa de Desarrollo Urbano de Durango 2006-2020”

Estos planes coinciden en que la ciudad ha tenido un crecimiento horizontal y disperso, en donde se observa una tendencia que puede generar situaciones críticas en materia de sustentabilidad, ordenamiento del territorio y desarrollo económico (H. Ayuntamiento del Municipio de Durango, 2016). Sin embargo, dentro de estos planes de desarrollo no se menciona ninguna metodología para evaluar si el crecimiento horizontal persiste y cuáles serían los mecanismos para detenerlo.

1.3.2. Gestión Urbana

De acuerdo a Coneo-Villadiego (2012) la gestión urbana es el proceso de toma de decisiones que orienta el cambio de una ciudad y en combinación con las dimensiones políticas y administrativas consigue un desarrollo de equidad y sustentabilidad involucrando los actores sociales, económicos y políticos. Cruz-García (2016) resalta la importancia de la participación de la gestión urbana en la actualidad, ya que tiene un papel principal en lograr un buen funcionamiento de la ciudad para el presente y el futuro, de tal manera que la gestión urbana identifica las necesidades y deficiencias que tiene la población y la urbanización. Para la gestión urbana se requiere de una planificación urbana que recaer en los procesos de descripción, análisis y evaluación del funcionamiento de la ciudad para generar propuestas de diseño y proyectos que regulen su dinámica urbana y ambiental (Ornés, 2009). Es por esto que se necesita lograr una gestión urbana efectiva por parte de los gobiernos locales, puesto que son los encargados dentro de las actividades económicas urbanas locales (Ornés, 2014).

1.3.3. Crecimiento Urbano

El crecimiento sin planeación en el trazo de las ciudades provoca una falta de cohesión entre sus partes, el proceso de expansión de las ciudades, el cual llamamos urbanización, deja espacios desorganizados, no contiguos y desarticulados que, aunque son parte de la ciudad no se integran al contexto urbano (Ramírez Velázquez, 2003). Cuando no se cuenta con un ordenamiento dentro del territorio urbano, los recursos que este utiliza no son aprovechados del todo, esto trae como consecuencia la subutilización de los elementos naturales y artificiales que se manejan en la ciudad. Un desarrollo urbano eficiente debe superar las desigualdades sociales y mejorar las condiciones del ambiente en la ciudad, si se establece un sistema integrado ciudad-naturaleza los desechos que se generan pueden contribuir positivamente al ambiente (Moreno-Flores, 2007). Dentro del crecimiento urbano se define como cobertura del suelo a la formada por los atributos biofísicos de la capa de la tierra y el uso del suelo como el propósito humano que se les da a estos atributos (Lambin *et al.*, 2001).

1.3.4. Modelos De Crecimiento Urbano Disperso y Compacto

El desarrollo urbano es el proceso de la predominancia de las ciudades y los valores urbanos, sus implicaciones son extensas, desde la construcción de grandes ciudades y su influencia sobre el crecimiento espacial. El inicio del desarrollo urbano comienza con el cambio de lo rural a los sitios urbanos. La mayoría de la población vive en lugares urbanos o adyacente a estos, por lo que es importante entender las formas urbanas, su dinámica y las relaciones que tienen, es un objetivo primario ya que el desarrollo y el manejo futuro de las áreas urbanas requiere información detallada acerca de los procesos y patrones que se llevan a cabo (Bhatta, 2012). Conocer el modelo del crecimiento urbano nos permite cuantificar la cantidad de tierra que ha cambiado a uso urbano, y que dispersión urbana que se tiene.(Wilson *et al.*, 2003)

El modelo de crecimiento urbano puede ser caracterizado usando una secuencia temporal de mapas para ilustrar las dinámicas que en él se generan. En algunos casos la dispersión urbana puede ser un factor que contribuye en la contaminación del aire, por la dependencia del automóvil, ya que se incrementa el consumo del combustible y

las emisiones de gas a la atmosfera, también baja la cantidad de área de bosques por el uso de espacio (Wilson *et al.*, 2003).

Los patrones físicos y formas del crecimiento urbano y la dispersión, se pueden dividir en: 1) **el relleno**, que se caracteriza por terreno no desarrollado siendo cubierto por uso urbano y rodeado al menos por un 40 % de desarrollo existente, 2) **la rama lineal**, que puede ser definida por el crecimiento urbano alrededor de un nuevo camino, corredor o una nueva línea de desarrollo que está rodeada por terreno no desarrollado, 3) **la rama agrupada**, que se define como un nuevo crecimiento urbano que es típicamente largo, compacto y denso en desarrollo, 4) **el aislado**, caracterizado por uno o varias áreas de terreno no desarrollado a algo de distancia de desarrollos en existencia o que están en proceso y 5) **el de expansión**, que se describe por un terreno no desarrollado cubierto por uno desarrollado y rodeado por no más de 40% de desarrollo existente (Bhatta, 2012) (Figura 1).

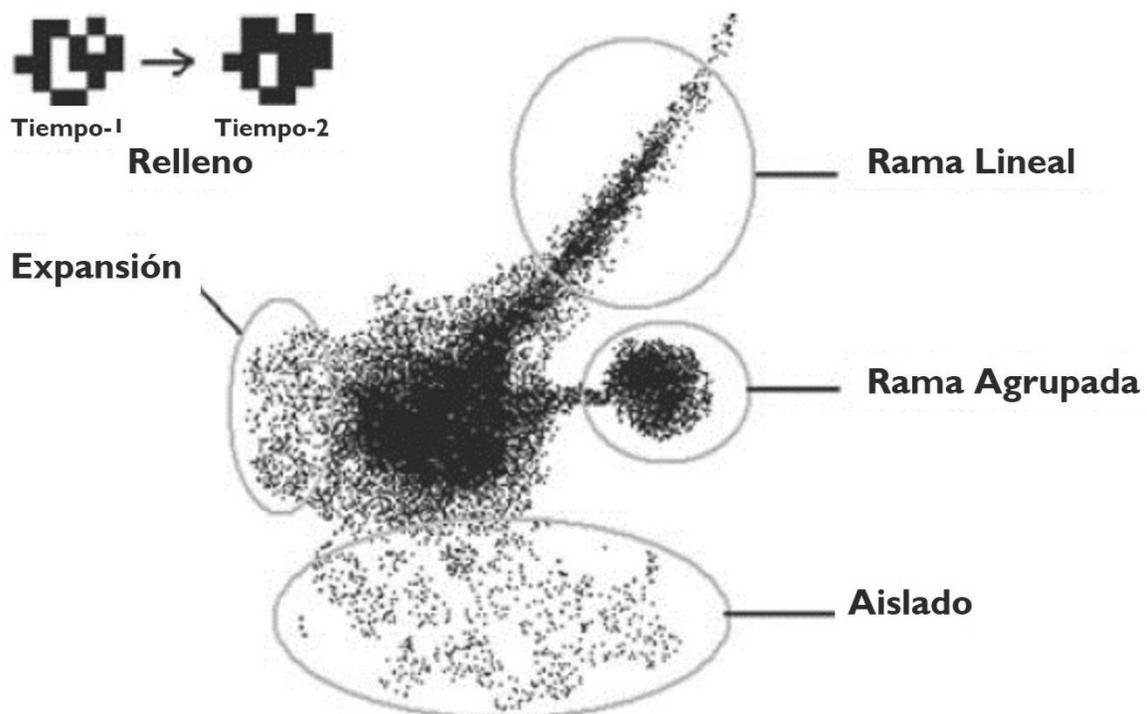


Figura 1 Patrones físicos y formas del crecimiento urbano y la dispersión

Fuente: (Bhatta, 2012)

Estos patrones físicos y formas de crecimiento urbano, se generan por causas que llevan a la compactación o a la dispersión en un modelo urbano (Bhatta, 2012). Las principales causas son el crecimiento poblacional, que trae como consecuencia una demanda de espacio para habitar incrementando la solicitud de áreas urbanas. El crecimiento económico, debido a la expansión de una base económica, por ejemplo, un ingreso per cápita mayor en el área de estudio, un aumento en el número de trabajadores, creando una demanda por espacio habitable. La industrialización con el establecimiento de nuevas industrias, fomentando el lugar habitacional para los trabajadores. La demanda de espacio para vivir, con las personas que adquieren los espacios habitacionales a las afueras de la ciudad. El transporte con las rutas de acceso a la ciudad que pueden crear dispersión sobre una rama lineal (Bhatta, 2012).

1.3.5. Consecuencias del crecimiento urbano y la dispersión

Las consecuencias del crecimiento urbano y la dispersión se reflejan en: 1) la inflación de la infraestructura y costos en los servicios públicos. Las ciudades experimentan un incremento en la demanda por servicios públicos, su mantenimiento y mejora. La dispersión requiere de más infraestructura para satisfacer el número de pobladores y cubrir la distancia para transportar los servicios, 2) la ineficiencia energética a causa de un trayecto más largo de viaje, aumenta el consumo de combustible, 3) la disparidad entre valoración de los bienes, fragmentando comunidades urbanas y disminuyendo la calidad de la vida en los suburbios, 4) los impactos en la vida silvestre y ecosistemas, en áreas donde la dispersión no es controlada se puede llegar a la alteración de patrones y procesos en los ecosistemas, 5) la pérdida de tierra de cultivo, con la combinación de políticas de uso de suelo y los impuestos se crea una presión financiera sobre los agricultores para vender su tierra a los especuladores, 6) el incremento en la temperatura, que tiene una correlación positiva entre la superficie terrestre y la superficie impermeable que aumenta la temperatura (Bhatta, 2012).

1.3.6. Sistemas para la Exploración de Datos Espaciales y Matemáticos

1.3.6.1. Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (AEDE)

La misión del **AEDE** es crear una interfaz intuitiva y fácil de usar para estudiar la información geográfica, alentando la exploración, permitiendo descubrir los patrones y anomalías en los datos que de otro modo no serían aparentes. Se destacan por la capacidad de generar gráficos estadísticos y mapas que favorecen al estudio de las características del problema; mostrando simultáneamente dos “espacios”: el geográfico y el matemático (Celemín, 2009).

La **AEDE** ocupa la noción de autocorrelación espacial, que es el fenómeno por el cual la similitud de las observaciones con proximidad espacial se une con la similitud de los valores en las variables observadas (Martori y Hoberg, 2016).

1.3.6.2. Autocorrelación Espacial (AE)

Según Goodchild citado por Ramirez y Falcón (2015) la **AE** manifiesta el grado de similitud de objetos o actividades en una unidad geográfica con otros objetos o actividades en unidades geográficas próximas. El fundamento de la **AE** se relaciona con el principio de Tobler, que propone la premisa de que en el espacio geográfico todo se encuentra relacionado con todo, pero los espacios más cercanos están más relacionados entre sí que los más alejados. Con los análisis **AE** se pueden obtener tres resultados, el primero corresponde a un agrupamiento entre las unidades, el segundo expresa las disimilitudes que muestra una dispersión espacial dando valores negativos de **AE** y el tercero representa los valores aleatorios en los que se reconoce que no hay autocorrelación espacial entre dichas unidades (Lucero y Gordziejczuk, 2018). La **AE** contrasta la presencia de unidades espaciales en la distribución de las variables con un espacio geográfico completo, con los supuestos de que una variable se encuentra distribuida de forma totalmente aleatoria en un sistema espacial (hipótesis nula) contra la existencia de algún tipo de asociación significativa de valores similares o distintos entre vecinos (hipótesis alterna) (Lavado, 2015).

1.3.6.3. Análisis De Textura

La textura en las imágenes es la frecuencia en la que suceden cambios tonales, en otras palabras es el contraste espacial entre sus elementos, agregando rasgos que individualmente pueden no diferenciarse pero juntos pueden marcar una diferencia en toda la imagen (García-Meléndez, 2007). La matriz de coocurrencia de niveles de gris Grey Level Co-occurrence Matrix (**GLCM**) se define en una tabulación de los valores de brillo en un píxel (Hall-Beyer, 2005). En las zonas urbanas los análisis de textura indican el grado de mezcla dentro de un mismo sector (e.g. centro histórico, ensanche, barrios de expansión no planificada) (Fernandez y Herrero, 2001). Una de las formas más utilizadas en estudios urbanos para medir la variación de la textura es el algoritmo de entropía, con la cual se calcula la aleatoriedad de los píxeles en una matriz de coocurrencia (Leal, 2006). Debido a que la entropía dentro del mundo físico expresa o mide el grado de desorden de un sistema, en las imágenes a mayor contraste mayor entropía y menor contraste menor entropía (Ruiz, 2011). En este estudio se consideró que una entropía alta con un valor cercano al 1 es indicador de una mayor densidad de construcción ya que, el espacio urbanizado refleja una variedad alta de tipos de cobertura o contrastes de grises, en píxeles contiguos (Tabla 2). Por ejemplo, podemos hallar techos de diferentes terminados, calles de concreto o de asfalto, áreas verdes de jardines domésticos, terrenos descubiertos, automóviles, etc. Lo cual genera un alto contraste entre píxeles contiguos.

Tabla 2 Contraste de Entropía

Descriptor	Región homogénea	Región no homogénea
Varianza	Baja (0)	Alta (1)
Suavidad	Baja (0)	Alta (1)
Uniformidad	Baja (0)	Alta (1)
Entropía	Baja (0)	Alta (1)

Fuente: Comportamiento y análisis de descriptores de texturas en imágenes MODIS (Ruiz Alonso, 2011).

1.3.6.4. Entropía

Se define como la medida del grado de desorden que existe en un sistema físico, en el análisis de imágenes de satélite se refiere a la variación de tonos en un entorno de vecindad o tamaño del kernel de un píxel donde existe un alto grado de desorden, la entropía será mayor que cuando existe cierto orden (Ruiz, 2011). La entropía es una de las métricas más usadas para la dispersión urbana ya que es capaz de medir el grado de concentración espacial o la dispersión geográfica. Añadida a un estudio temporal en el fenómeno de dispersión puede medir la magnitud de este cambio (Bhatta, 2012).

La ecuación para extracción de entropía se fundamenta en el índice de Shannon, (1949):

$$H' = - \sum p_i \log_2 p_i$$

Figura 2 Índice de Shannon

Donde H' es la entropía en el sistema p_i es la probabilidad que esta entre 0 y 1 \log es el logaritmo natural (Hall-Beyer, 2005). De acuerdo con López y Veiga, (2002) en la teoría de la información, la entropía es considerada como la medida de información de los mensajes de una fuente discreta, esta medida se puede representar en la cantidad de información como una función logarítmica y depende de la probabilidad y es característica de la fuente que lo genera. Para este análisis se utilizó la entropía absoluta, información extraída del sistema de elementos dentro de las imágenes, las interacciones de los elementos y una combinación de los dos. La materia prima son los cambios en las texturas (tonos) de las imágenes y sus probabilidades (Siqueiros-Beltrones, 2015).

1.3.6.5. Índice de Moran E Índice General de Getis y Ord G

El índice de Moran y el índice **G** forman parte de los Análisis Exploratorios de Datos Espaciales **AEDE**, que iniciaron a finales de los 80's pero tuvieron su fuerza en los 90's a partir de los paquetes informáticos, ayudando a descubrir patrones y anomalías en los datos que de otro modo no serían aparentes, favoreciendo a la exploración de características del problema observado en mapas, mezclando el espacio geográfico y el matemático (Celemín, 2009) .

Patrik Moran (1950) fue de los primeros en interesarse por la Autocorrelación Espacial, este índice evalúa el patrón de distribución espacial de una entidad y se representa matemáticamente de la siguiente manera (Ramirez, 2015):

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{i,j} z_i z_j}{S_0 \sum_{i=1}^n z_i^2}$$

Figura 3 Índice de Moran

Donde Z_i es la desviación de un atributo/variable de una unidad espacial i desde su media ($X_i - \bar{x}$). W_i es la ponderación geográfica entre la unidad espacial i y la unidad espacial j , n es igual al número total de unidades espaciales y S_0 es una constante para todas las unidades espaciales.

El índice General de Getis y Ord **G** (1992) observa el agrupamiento de los datos analizados para valores altos o bajos de una área determinada (Ramirez y Falcón, 2015) expresado de la siguiente manera:

$$G = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{i,j} x_i x_j}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_i x_j}, \forall j \neq i$$

Figura 4 Índice G

Donde X_i y X_j son los valores de los atributos de las unidades espaciales i y j

W_i es la ponderación espacial entre i y j

n es el número de unidades espaciales que conforman el conjunto de datos

$\forall j \neq i$ indican que las unidades espaciales i y j no pueden ser las mismas (Ramirez, 2015).

Con la obtención de estos índices se generan un conjunto de 5 valores: el índice observado, el índice esperado, la varianza, la puntuación de z y un valor p . Si los valores de distribución de z no están entre en el rango de la aleatoriedad los cuales van de -2.5 a 2.5 probablemente sea poco factible que la causa del patrón sea aleatorio. El valor de p que es la probabilidad se marca con un 1% de que los patrones resulten o no aleatorios. Para el índice **G** se rechaza la hipótesis nula con un valor inferior al 0.1 de p y se torna importante el signo de la puntuación de z . Cuando los valores son positivos se agrupan a valores altos y si son negativos indica que los valores se agrupan en los valores bajos estadísticamente significativos (Ramirez, 2015), en nuestro caso los valores del índice **G** representarían el agrupamiento de los niveles de densificación en la ciudad de Victoria de Durango en los diferentes periodos indicando si tienden a la alta densidad o a lo no denso.

II. JUSTIFICACIÓN

En la ciudad de Victoria de Durango los espacios de la periferia son utilizados en desarrollos de tipo residencial o popular y en colonias populares donde la edificación es a cargo de los propietarios del terreno. Generalmente la construcción se es de tipo social, estos desarrollos obedecen a asuntos económicos por la atracción de diferentes actores sociales que intervienen en el proceso expansivo, contribuyendo al logro de periferias socio-territorialmente fragmentadas (Frediani, 2016).

A la par se cuenta con terrenos remanentes en la dinámica urbana que permanecen vacíos o subutilizados, que están servidos o se encuentran muy próximos a infraestructura ya instalada y no se favorecen de dicha infraestructura (Frediani, 2016).

Lo anterior refleja un conflicto de intereses particulares, de desarrolladores o acaparadores de terrenos y el municipio, lo cual no siempre resulta claro en la manera como se identifica y se resuelve. Con el análisis de la densificación de la ciudad de Victoria de Durango en diferentes etapas y la relación que mantiene con las vialidades, se obtendrá información que sirva de apoyo para evaluar los modelos de crecimiento urbano que se han puesto de manifiesto en los planes de desarrollo para la ciudad de Durango.

Esta tesis aporta un análisis metodológico espacial que pueda ser de apoyo en los programas de desarrollo urbano del municipio dando a conocer los patrones de crecimiento espacial sobre la densificación y la relación de las vías de comunicación con la densidad de construcción que ocurre en la ciudad de Victoria de Durango.

III. HIPÓTESIS

La densificación de construcción en la Ciudad de Victoria de Durango refleja un crecimiento no denso relacionado a sus vías principales de comunicación.

IV. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivo general:

Analizar la densificación de construcción de la ciudad de victoria de Durango y su dependencia con las vías principales de comunicación, para determinar el modelo de crecimiento que sigue la ciudad.

Objetivos específicos:

1. Determinar la densificación de construcción de la ciudad de Victoria de Durango de los años 90's, 2000, 2010 y 2018.
2. Identificar mediante una sobre posición la influencia que han tenido las diferentes vías de comunicación en la densificación de construcción de la ciudad de Victoria de Durango.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Área de estudio

Esta investigación se realizó en el estado de Durango, municipio de Victoria de Durango, en los límites de transición marcados entre la ciudad y lo rural. Se ubica en la región central – este del Municipio de Durango que colinda al Norte con los municipios de San Dimas, Canatlán y Pánuco de Coronado, al Sur con los municipios de Mezquital y Pueblo Nuevo, al Este con los municipios de Guadalupe Victoria, Poanas, Nombre de Dios y Mezquital, al Oeste con los municipios de Pueblo Nuevo y San Dimas (CONAGUA, 2014).

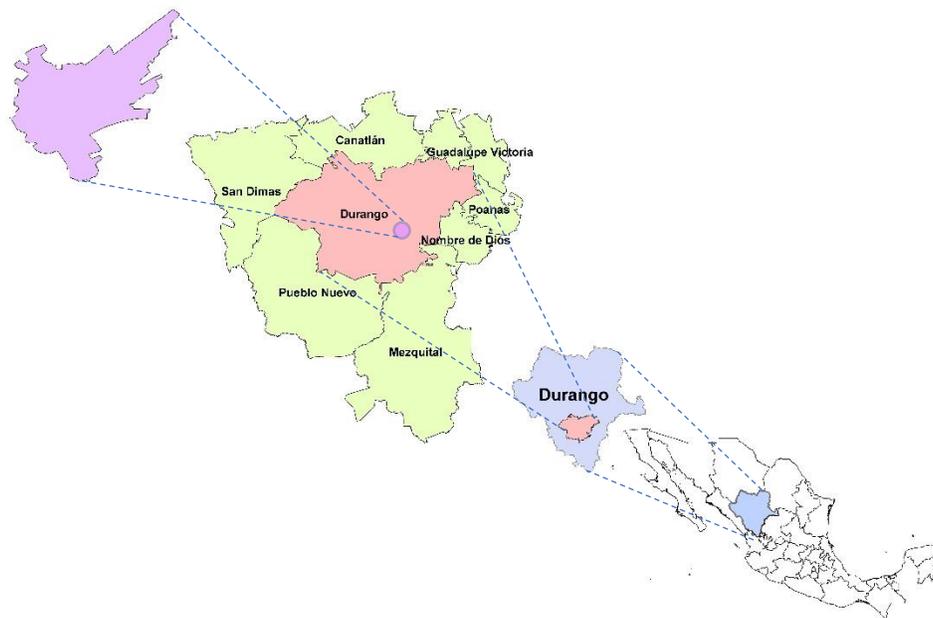


Figura 5 Área de estudio ciudad de Victoria de Durango

Tiene influencia como un centro de servicios a nivel regional, integrando las microrregiones de Vicente Guerrero, Guadalupe Victoria, Pueblo Nuevo, San Juan del Río, Nuevo Ideal y Santiago Papasquiari (H. Ayuntamiento del Municipio de Durango, 2016).

5.2. Adquisición de imágenes

Se utilizaron imágenes satélite Landsat de diferentes sensores descargadas de manera libre en el portal del Servicio Geológico de los Estados Unidos **USGS**. (<https://www.usgs.gov/>). Previo a la descarga de las imágenes se verificó en los metadatos que el porcentaje de nubosidad fuera menor al 10 %. Las imágenes fueron pre procesadas en los software de ENVI versión 5.3 (Exelis Visual Information Solutions, Boulder, Colorado) y el ArcGIS® versión 10.1 software creado por Esri. ArcGIS® y ArcMap™ son propiedad intelectual de Esri y son usados en este CIIDIR-IPN Durango bajo licencia. Copyright © Esri. Todos los derechos reservados. Para más información acerca del software Esri®, en (www.esri.com).

Para el año 1990 se utilizó la plataforma Landsat 5 con un sensor Thematic Mapper **TM** (columna 30, renglón 43) libre de nubosidad, y con ángulos de altura solar mayores a 30°, esto con la finalidad de evitar imágenes con efectos de sombras. La fecha de adquisición es del 15 de abril de 1990 y sus características se muestran en la Tabla 3 (Tabla 3).

Tabla 3 Características de las bandas en Landsat 5 sensor Thematic Mapper

Bandas	Resolución espectral (nm)	Resolución espacial (m)
1 Azul	0.45 – 0.52	30
2 Verde	0.52 – 0.60	30
3 Rojo	0.63 – 0.69	30
4 Infrarrojo cercano	0.76 – 0.90	30
5 Infrarrojo medio	1.55 – 1.75	30
6 Térmico	10.40 – 12.50	30

Para el 2000 se utilizó una imagen de la plataforma Landsat 7 que tiene el sensor Enhanced Thematic Mapper **ETM** (columna 30, renglón 43) con cobertura de nubosidad menor al 10%, y con ángulos de altura solar mayores a 30°. La fecha de

adquisición es del 18 de abril de 2000 y sus características se muestran en la Tabla 4 (Tabla 4).

Tabla 4 Características de las bandas Landsat 7 sensor Enhanced Thematic Mapper

Bandas	Resolución espectral (nm)	Resolución espacial (m)
1 Azul	0.45 – 0.52	30
2 Verde	0.52 – 0.60	30
3 Rojo	0.63 – 0.69	30
4 Infrarrojo cercano	0.77 – 0.90	30
5 Infrarrojo de onda corta	1.55 – 1.75	30
6 Térmico	10.40 – 12.50	30

Para el año 2010 se utilizó una imagen obtenida en la plataforma Landsat 5 **TM** (columna 30, renglón 43). La fecha de adquisición es del 22 de abril de 2010, y las bandas espectrales y resolución espacial son descritas en la (Tabla 3).

Para la etapa de 2018 se utilizó una imagen de la plataforma Landsat 8 con fecha de adquisición del 28 de abril de 2018. Landsat 8 tiene un sensor llamado Operational Land Imager y un sensor térmico infrarrojo llamado Thermal Infrared Sensor **OLI-TIRS** (columna 30, renglón 43) con cobertura de 8.90 de nubosidad, y con ángulos de altura solar mayores a 30° (Tabla 5).

Tabla 5 Landsat 8 con cámara terrestre operacional y sensor infrarrojo térmico **OLI-TIRS**

Bandas	Resolución espectral (nm)	Resolución espacial (m)
2 Azul	0.45 – 0.51	30
3 Verde	0.53 – 0.59	30
4 Rojo	0.64 – 0.67	30
5 Infrarrojo cercano	0.85 – 0.88	30
6 Infrarrojo de onda corta	1.57 – 1.65	30
7 Infrarrojo de onda corta	2.11 – 2.29	30

5.3. Información de las unidades geoespaciales Urbanas.

Se utilizaron las capas vectoriales de los perímetros dados por las AGEB'S en la ciudad de Victoria de Durango descargadas de manera libre en el portal del Instituto Nacional de Estadística y Geografía **INEGI** (<https://www.inegi.org.mx/>). Para cada una de las etapas se obtuvo el código de las AGEB'S (Tabla 6). La información de las unidades geoespaciales fue pre procesada en el software ArcGIS 10.1

Tabla 6 Unidades geoespaciales **INEGI**.

Año	Clave INEGI	Datum	Referencia
1990	10-005-0001	NAD27	Cartografía censal urbana. XI Censo General de Población y Vivienda 1990, por municipio. Durango.
2000	10-005-0001	NAD27	Cartografía censal urbana. XII Censo General de Población y Vivienda 2000, por municipio. Durango.
2010	10-005-0001	ITRF92 época 1988	Cartografía geoestadística urbana, Cierre del Censo de Población y Vivienda 2010.
2016	10-005-0001	ITRF08 época 2010	Cartografía Geoestadística Urbana y Rural Amanzanada. Junio 2016. Durango.

5.4. Clasificación de las imágenes

5.4.1. Calibración de la Imagen

Se extrajeron las bandas por imagen de cada uno de los periodos 1990, 2000, 2010, 2018. Imagen 1990 Landsat 5 **TM** con 6 bandas, imagen 2000 Landsat 7 **ETM** con 6 bandas, imagen 2010 Landsat 5 **TM** con 6 bandas, imagen 2018 Landsat 8 **OLI-TIRS** con 6 bandas. Previo al cálculo de la entropía se eligieron los mismos rangos espectrales de los tres satélites.

Posteriormente a las imágenes se les realizó un corte con las coordenadas extremas de los polígonos de contención urbana de **SEDESOL**. Después, a cada imagen se le realizó una corrección atmosférica por medio del modelo de sustracción de objetos oscuros, el cual se deriva de una corrección de los números digitales, con valores a partir de datos digitales sin información externa (Chávez, 1988).

Se hizo un compuesto por cada una de las imágenes cortadas al perímetro obteniendo lo siguiente: imagen compuesto de 1990 con 6 bandas, imagen compuesto de 2000 con 6 bandas, imagen compuesto de 2010 con 6 bandas e imagen compuesto de 2018 con 6 bandas.

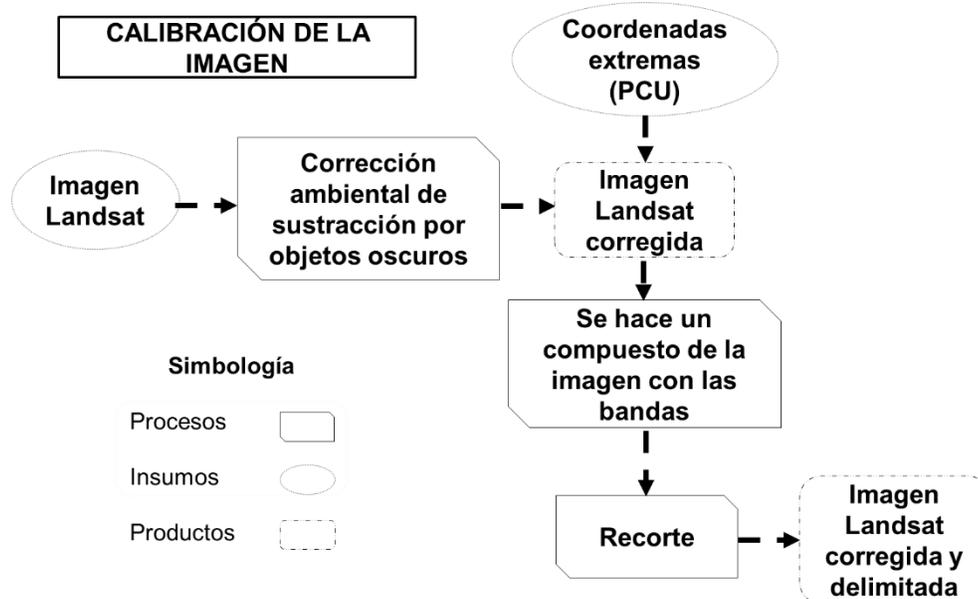


Figura 6 Proceso de calibración de las imágenes.

5.5. Análisis de la densidad de construcción.

El análisis de la densidad de construcción se realizó con el algoritmo de entropía en los diferentes periodos de 1990 al 2018 en el programa ENVI 5.3 con la herramienta de textura definiendo solo la medida de entropía, los parámetros que se utilizaron fueron la coocurrencia, seleccionando únicamente la casilla de entropía con una medida de procesamiento o kernel de 3x3 y una ecualización de escala de grises de nivel 64. Las imágenes de salida fueron guardadas como GeoTIFF para ser procesadas en un sistema de información geográfica. Se establecieron cuatro categorías las cuales se agruparon mediante los cortes naturales de Jenks, por medio de un cálculo en el SIG la cual quedo como se muestra en la Tabla 7 (Tabla 7).

Tabla 7 Densificación de construcción.

Categoría	Escala	Valores	Significado
Sin entropía	No denso	0.31 a 0.78	Se refiere a una densidad de construcción mínima no densa en cuanto a la nomenclatura de texturas en la trama urbana
Entropía baja	Baja densidad de construcción	0.79 a 0.86	Se refiere a una baja densidad de construcción en cuanto a la nomenclatura de texturas de la trama urbana
Entropía media	Media densidad de construcción	0.87 a 0.92	Se refiere a una media densidad de construcción en cuanto a la nomenclatura de texturas de la trama urbana
Entropía alta	Alta densidad de construcción	0.93 a 1.00	Se refiere a una alta densidad de construcción, una alta nomenclatura de texturas de la trama urbana

5.5.1. Análisis textura.

El método de análisis de textura se define como puntos altos y bajos (cambios de elevación) en una superficie topográfica. Los análisis de textura en las imágenes de satélite se analizan de forma similar que lo mencionado previamente solo que los valores de los puntos altos y bajos se representan con los valores de brillo también llamados niveles de gris (**GL**) o números digitales (**DN**) por sus siglas en inglés (Hall-Beyer, 2005).

Dentro de la ciudad de Victoria de Durango se observó una variabilidad de texturas en las construcciones tales como lo son: azoteas, áreas verdes, vialidades, parques, jardines, naves industriales, banquetas, entre otras, entre más texturas mayor densidad de construcción.

Estas texturas en las imágenes se cuantifican por:

- Diferencias en los niveles de gris
- Tamaño de área definida donde el cambio ocurre
- Direccionalidad o falta de direccionalidad

Los análisis de textura tienen la ventaja de realizar mediciones de las relaciones espaciales (Hall-Beyer, 2005). Por ser el objeto de interés la relación de la variable densidad de construcción (entropía) y la ciudad de Victoria de Durango se eligió el análisis de textura solo con la entropía. En este estudio se definió como modelo de crecimiento compacto aquellos valores de entropía relativa alta cercanas a 1, lo que se interpretara como alta densidad de construcción. El modelo disperso será representado como baja entropía y serán valores relativos cercanos a 0, lo que se interpretara como baja densidad de construcción con sus intermedios de media densidad de construcción y el no denso o no construido.

Se abrieron las imágenes generadas de entropía por periodo en ArcGIS 10.1 y se agregó el perímetro de la ciudad de Victoria de Durango más actual del INEGI, al cual se le hizo una rejilla con cuadros de 500 m por 500 m, estas dimensiones se definen como las áreas de influencia mínima respecto al equipamiento urbano definido por la

Secretaría de Desarrollo Social **SEDESOL** (SEDESOL, 2010), para identificar 510 áreas dentro del perímetro del área de estudio. Por medio de la herramienta estadísticas zonales como tabla de ArcGIS 10.1 se extrajeron los valores de la entropía absoluta y se unieron los datos de la entropía a la rejilla, estos por cada una de las etapas 1990, 2000, 2010 y 2018. Se convirtieron a ráster, para posteriormente hacer una reclasificación mediante los cortes naturales de Jenks, estos se refieren a la forma de agrupar valores mediante un cálculo en el **SIG**, el cual es un algoritmo que agrupa los valores similares dentro de clases definidas según la similitud de cada grupo y a partir de la separación de estas clases (Espinosa *et al.*, 2013), se hicieron los cortes en 4 clases de densidad de construcción: 1) mínima entropía como **no denso**, 2) baja entropía como **baja densidad de construcción**, 3) media entropía igual a **media densidad de construcción** y 4) alta entropía igual a alta **densidad de construcción**.

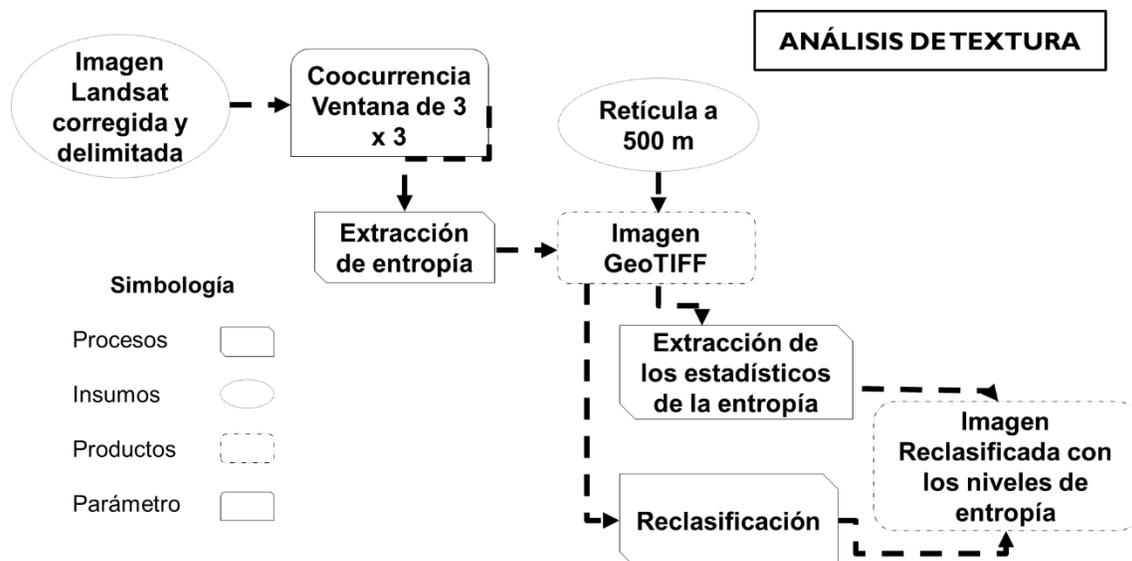


Figura 7 Análisis de textura, extracción de entropía y reclasificación.

5.6. Análisis del patrón espacial de entropía

Posteriormente se realizó un análisis de autocorrelación espacial con el índice de Moran's e índice G. El índice de Moran se utilizó para conocer el patrón de distribución espacial de la entropía, el cual puede ser aleatorio, o disperso. El índice G, se utilizó

para identificar la tendencia de los valores de entropía respecto a los valores que representan crecimiento no denso o a los altamente densos.

5.6.1. Autocorrelación espacial

Se analizaron los valores de entropía absoluta con el índice de Moran's definiendo como unidad geográfica las imágenes satelitales de la ciudad de Victoria de Durango dividida en una rejilla con cuadros de 500 m por 500 m. Estas dimensiones se definen como las áreas de influencia mínima respecto al equipamiento urbano definido por la Secretaria de Desarrollo Social **SEDESOL** (SEDESOL, 2010). Los parámetros que se usaron son la distancia euclidiana y la distancia inversa. Estas especifican como se hace el cálculo de las distancias desde cada uno de los puntos, la distancia euclidiana aporta la distancia en línea recta entre dos puntos y la distancia inversa se utiliza para asignar un peso a todos los pares de puntos para evitar la división por cero, así se garantiza que las entidades no sean excluidas del análisis (ESRI, 2016).

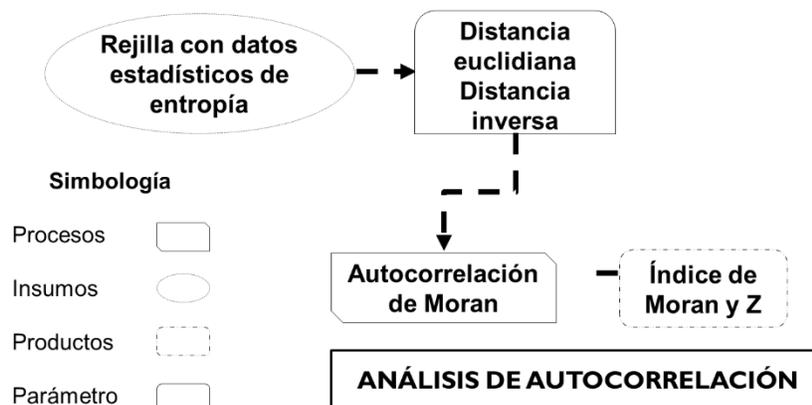


Figura 8 Análisis de autocorrelación con la entropía.

5.6.2. Análisis de High/Low Clustering

Después de conocer el comportamiento de los datos por el Índice de Moran, se procede a un análisis del estadístico G para saber si este comportamiento tiende a los datos altos o a los datos bajos. Se utilizó la rejilla con los datos estadísticos de la entropía y se usó la herramienta de High/Low Clustering del ArcGIS 10.1 con los parámetros de distancia euclidiana y la distancia inversa.

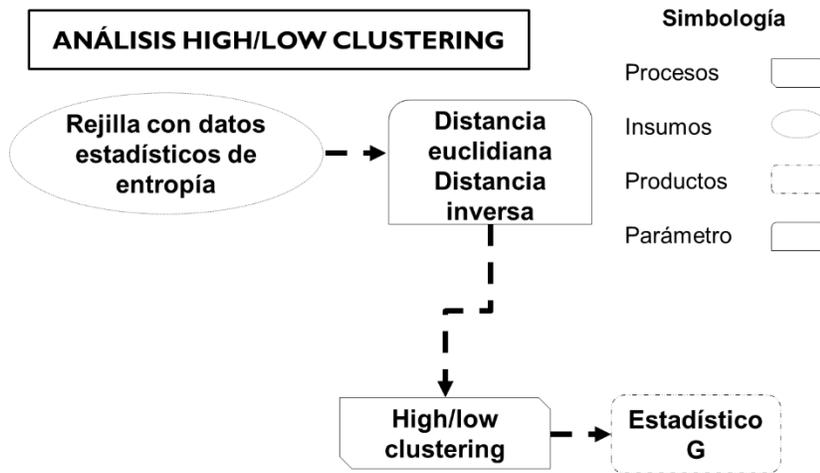


Figura 9 Análisis de High/Low Clustering.

5.7. Validación de las imágenes

5.7.1. Matriz de confusión y error

Para la validación de los procesos de clasificación de las imágenes se realizó una matriz de confusión y error, seleccionando un muestreo dirigido de 174 cuadros de la rejilla sobre cada una de las imágenes satelitales para identificar que tan buena fue la clasificación en los índices globales, del usuario y del productor.

En las matrices de confusión y de error se hace una estimación de que tan exacta es la clasificación que se está realizando de las variedades clasificadas por el proceso y las obtenidas de manera visual sobre las imágenes o valores de campo. Estas indicadas por el número total de píxeles de referencia o muestreo en cada una de las clases (MINAM, 2014).

En la matriz de confusión se identificaron tres índices para obtención de la precisión: 1) el Global, 2) el del Productor y 3) el del Usuario, Congalton (1991) citado por (MINAM, 2014).

1) **La precisión global** es la que calcula el número de píxeles clasificados correctamente (Tabla 8).

2) **La precisión del usuario** es la que calcula la probabilidad de que un píxel clasificado de una manera corresponda realmente a esa clasificación (Tabla 8).

3) **La precisión del productor** es la que identifica la probabilidad de que un píxel de una categoría este correctamente clasificado (Tabla 8).

Tabla 8 Índices estadísticos para la obtención de precisión.

Índice	Ecuación
Precisión global	$P = \frac{\sum_{i=1}^m x_{ij}}{N}$
Precisión del usuario	$Pu = \frac{x_{ij}}{x_{i\Sigma}}$
Precisión del productor	$Pp = \frac{x_{ij}}{x_{\Sigma i}}$
<p>Donde:</p> <p>m corresponde al número total de clases.</p> <p>N al número total de pixeles en las m clases de referencia.</p> <p>x_{ij} a los elementos de la diagonal de la matriz de confusión.</p> <p>$x_{\Sigma i}$ la suma de los pixeles de la clase i de referencia.</p> <p>$x_{i\Sigma}$ la suma de los pixeles clasificados como la clase i.</p>	

Fuente: Documento metodológico para evaluar la precisión de la clasificación (MINAM, 2014).

Se hizo un ajuste al proceso de acuerdo con la alta densidad de construcción que fue la mejor clasificada en la revisión de la validación esto para la obtención de los mapas de comportamiento de la densidad de construcción por etapa. Se conservó la alta densidad por cuadro de 500 m por 500 m por etapa para no repetir la clasificación de un cuadro en los cuatro periodos, con los porcentajes.

Se realizó la extracción de la alta densidad en cada uno de los periodos por medio del ArcGIS 10.1 y la herramienta geoespacial erase, obteniendo el mapa del proceso de densificación de construcción para la ciudad de Victoria de Durango por etapa.

5.7.2. Medición de confiabilidad del mapa

La confiabilidad de la exactitud temática en el mapa se realizó con el índice Kappa normalizando las matrices de confusión. El coeficiente Kappa representa las similitudes obtenidas en el producto cartográfico discriminando a los datos obtenidos en forma azarosa (ONUREDD, 2016), para nuestro análisis representaría las similitudes de los datos de las 4 clasificaciones: no denso, baja densidad de construcción, media densidad de construcción y alta densidad de construcción.

Tabla 9 Índices estadísticos para la exactitud temática

Índice	Ecuación
Coeficiente Kappa	$K = \frac{N \sum_{i=1}^m x_{ii} - \sum_{i=1}^m x_{i\Sigma} x_{\Sigma i}}{N^2 - \sum_{i=1}^m x_{i\Sigma} x_{\Sigma i}}$
<p>Donde:</p> <p>m corresponde al número total de clases.</p> <p>N al número total de píxeles en las m clases de referencia.</p> <p>x_{ij} a los elementos de la diagonal de la matriz de confusión.</p> <p>$x_{\Sigma i}$ la suma de los píxeles de la clase i de referencia.</p> <p>$x_{i\Sigma}$ la suma de los píxeles clasificados como la clase i.</p>	

Fuente: Documento metodológico para evaluar la precisión de la clasificación (MINAM, 2014).

Para la interpretación del índice K se tomó en cuenta la siguiente escala con la valoración del coeficiente kappa de Landis y Koch, (1977)(Tabla 10):

Tabla 10 Valoración del coeficiente Kappa.

Coeficiente Kappa (K)	Fuerza de concordancia
<0.00	Pobre
0.00 – 0.20	Leve
0.21 – 0.40	Aceptable
0.41 – 0.60	Moderada
0.61 – 0.80	Considerable
0.61 – 0.80	Casi perfecta

Fuente: Informe final de evaluación de exactitud temática del mapa de cobertura forestal y cambio de uso de la tierra para los años 2000, 2005 y 2011 (ONUREDD, 2016).

5.8. Identificación de los atractores

A continuación, se creó una capa vectorial con las vialidades principales en la ciudad de Victoria de Durango observadas en el Google Earth. Se tomaron en cuenta como atractores las vialidades principales de la ciudad de Victoria de Durango, ya que las carreteras viales son atractores de nuevos pobladores contribuyendo al aumento de la población suburbana. Este incremento de habitantes genera una tendencia de extensión y dispersión en el territorio sobre estas vías (Galimberti, 2018).

5.9. Relación entre densidad de construcción y atractores

Se realizó un sobrelapamiento de las vialidades principales que denominamos atractores con las densidades de construcción, sobre el mapa de densificación de construcción para la ciudad de Victoria de Durango. Con la información obtenida y procesada se determinó el proceso de densificación de construcción que ha seguido la ciudad.

VI. RESULTADOS

6.1. Clasificación de las imágenes

En las figuras 10, 11, 12 y 13 se observó el resultado del proceso de clasificación de las imágenes de 1990, 2000, 2010 y 2018 en cuanto a densificación de construcción. Iniciando por el lado izquierdo en cada figura con la corrección atmosférica y radiométrica preparada para la extracción de la entropía, en la imagen central la entropía extraída por medio del análisis de textura sobre la imagen corregida presentando un comportamiento de entropía alta en el núcleo de la ciudad con valores de 0.93 a 1.00, debido a la mayor variación en la trama o las texturas y una disminución de este valor al alejarse hacia la periferia. Para finalizar del lado derecho la clasificación de densificación de construcción en 4 clases utilizando los cortes naturales de Jenks: 1) **Color azul** sin entropía que va de valores de 0.31 a 0.78 y significa una densidad de construcción mínima **no denso** en cuanto a la nomenclatura de texturas en la trama urbana, 2) **Color amarillo** entropía baja que va de valores de 0.79 a 0.86 y significa **baja densidad de construcción** en cuanto a la nomenclatura de texturas, 3) **Color rojo** entropía media que va de valores de 0.87 a 0.92 y significa **media densidad de construcción** en cuanto a la nomenclatura de texturas, 4) **Color Verde** entropía alta, que va de valores de 0.93 a 1.00 y significa una alta densidad de construcción, alta nomenclatura de texturas.

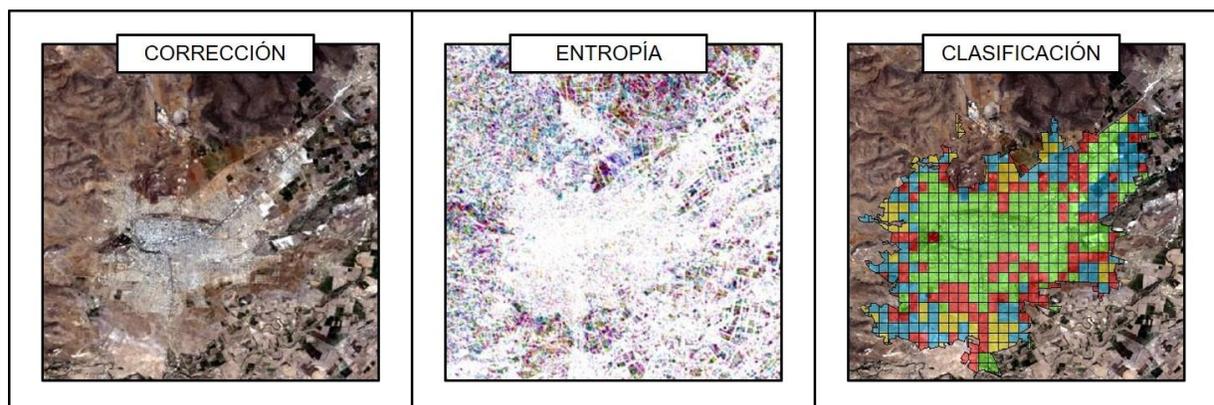


Figura 10 Corrección 1990 - Imagen del valor de la entropía de la imagen 1990 e imagen con la clasificación de la entropía

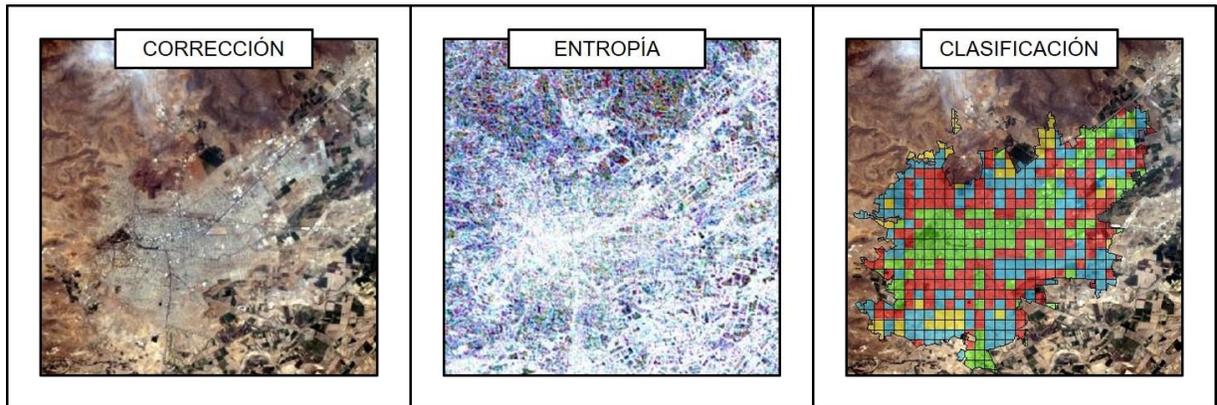


Figura 11 Corrección 2000 - Imagen del valor de la entropía de la imagen 2000 e imagen con la clasificación de la entropía

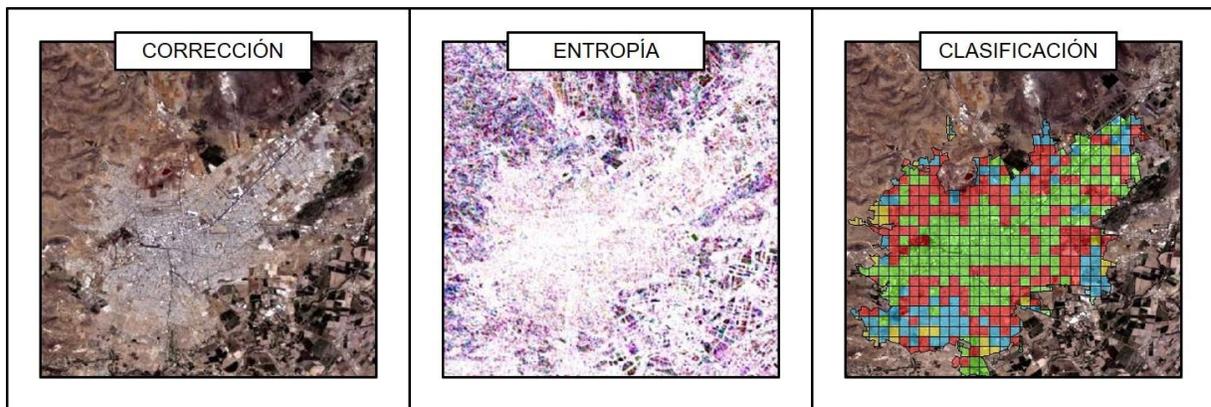


Figura 12 Corrección 2010 - Imagen del valor de la entropía de la imagen 2010 e imagen con la clasificación de la entropía

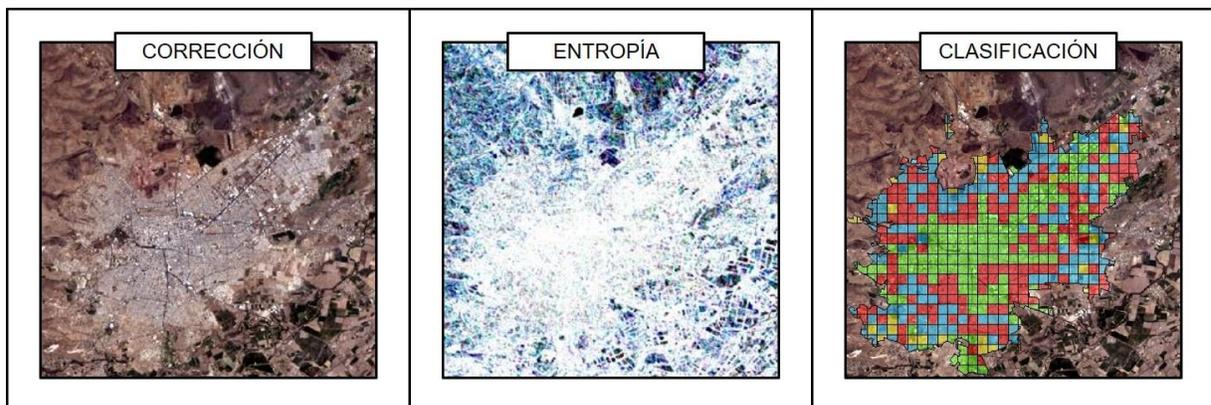


Figura 13 Corrección 2018 - Imagen del valor de la entropía de la imagen 2018 e imagen con la clasificación de la entropía

6.2. Validación de las imágenes

Se hizo un muestreo en 174 cuadros seleccionados aleatoriamente. Estos cuadros fueron clasificados de manera visual para corroborar la fiabilidad del proceso en la clasificación en cada imagen satelital (Tablas 11,12,13,14,15,16,17 y 18).

Imagen satelital Landsat 5 del 15 de abril de 1990

La precisión global para la clasificación de la imagen de 1990 fue de 0.379 (Tabla 12). Dentro de las cuatro clases la que mejor se clasificó en la precisión del usuario fue la clase de Baja densidad de construcción con un valor de precisión de 0.889 (Tabla 12).

Tabla 11 Matriz de confusión 1990 **Wi**= Peso de la clase **Map Area**= Suma de área en mapa

		Datos de Referencia						
Clases							Map Area	Wi
		No	Baja	Media	Alta	Total	(ha)	
	No	1	0	0	0	1	25	0.006
	Baja	1	8	0	0	9	225	0.052
	Media	6	17	16	6	45	1125	0.259
	Alta	5	4	69	41	119	2975	0.684
	Total	13	29	85	47	174	4350	1.000

Tabla 12 Matriz de error 1990

		Datos de Referencia							
Clases		No	Baja	Media	Alta	Total	Usuario	Productor	Global
			No	0.006	0.000	0.000	0.000	0.006	1.000
	Baja	0.006	0.046	0.000	0.000	0.052	0.889	0.276	
	Media	0.034	0.098	0.092	0.034	0.259	0.356	0.188	
	Alta	0.029	0.023	0.397	0.236	0.684	0.345	0.872	
	Total	0.075	0.167	0.489	0.270	1.000			

Imagen satelital Landsat 7 del 18 de abril de 2000

La precisión global para la clasificación de la imagen Landsat 7 de 2000 fue de 0.414 (Tabla 14).

Dentro de las cuatro clases la que mejor se clasificó en la precisión del usuario fue la clase de Media densidad de construcción con un valor de precisión de 0.513 (Tabla 14).

Tabla 13 Matriz de confusión 2000 **Wi**= Peso de la clase **Map Area**= Suma de área de la clase en mapa

		Datos de Referencia					Map Area	
		No	Baja	Media	Alta	Total	(ha)	Wi
Clases	No	0	0	1	0	1	25	0.006
	Baja	0	4	12	11	27	675	0.155
	Media	0	9	41	30	80	2000	0.460
	Alta	0	3	36	27	66	1650	0.379
	Total	0	16	90	68	174	4350	1.000

Tabla 14 Matriz de error 2000

		Datos de Referencia					Usuario	Productor	Global
		No	Baja	Media	Alta	Total			
Clases	No	0.000	0.000	0.006	0.000	0.006	0.000	0.000	0.414
	Baja	0.000	0.023	0.069	0.063	0.155	0.148	0.250	
	Media	0.000	0.052	0.236	0.172	0.460	0.513	0.456	
	Alta	0.000	0.017	0.207	0.155	0.379	0.409	0.397	
	Total	0.000	0.092	0.517	0.391	1.000			

Imagen satelital Landsat 5 del 22 de abril de 2010

La precisión del usuario para la clasificación de la imagen Landsat 5 de 2010 fue de 0.540 (Tabla 16), este número por arriba del 0.50 que se debe de obtener para esta prueba, considerándose aceptable la clasificación.

Dentro de las cuatro clases la que mejor se clasificó en la precisión del usuario fue la clase de Alta densidad de construcción con un valor de precisión de 0.657 (Tabla 16).

Tabla 15 Matriz de confusión 2010 **Wi**= Peso de la clase **Map Area**= Suma de área de la clase en mapa

		Datos de Referencia					Map Area	
		No	Baja	Media	Alta	Total	(ha)	Wi
Clases	No	1	0	0	0	1	25	0.006
	Baja	0	3	4	2	9	225	0.052
	Media	3	5	23	31	62	1550	0.356
	Alta	0	0	35	67	102	2550	0.586
	Total	4	8	62	100	174	4350	1.000

Tabla 16 Matriz de error 2010

		Datos de Referencia							
		No	Baja	Media	Alta	Total	Usuario	Productor	Global
Clases	No	0.006	0.000	0.000	0.000	0.006	1.000	0.250	0.540
	Baja	0.000	0.017	0.023	0.011	0.052	0.333	0.375	
	Media	0.017	0.029	0.132	0.178	0.356	0.371	0.371	
	Alta	0.000	0.000	0.201	0.385	0.586	0.657	0.670	
	Total	0.023	0.046	0.356	0.575	1.000			

Imagen satelital Landsat 8 del 28 de abril de 2018

La precisión global para la clasificación de la imagen Landsat 8 de 2018 fue de 0.471 (Tabla 18).

Dentro de las cuatro clases la que mejor se clasificó en la precisión del usuario fue la clase de Alta densidad de construcción con un valor de precisión de 0.729 (Tabla 18).

Tabla 17 Matriz de confusión 2018 **Wi**= Peso de la clase **Map Area**= Suma de área de la clase en mapa

		Datos de Referencia						
Clases		No	Baja	Media	Alta	Total	Map Area (ha)	Wi
	No	0	0	0	0	0	0	0
Baja	0	3	6	15	24	600	0.138	
Media	0	2	17	46	65	1625	0.374	
Alta	0	2	21	62	85	2125	0.489	
Total	0	7	44	123	174	4350	1.000	

Tabla 18 Matriz de error 2018

		Datos de Referencia							
Clases		No	Baja	Media	Alta	Total	Usuario	Productor	Global
	No	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Baja	0.000	0.017	0.034	0.086	0.138	0.125	0.429		
Media	0.000	0.011	0.098	0.264	0.374	0.262	0.386		
Alta	0.000	0.011	0.121	0.356	0.489	0.729	0.504		
Total	0.000	0.040	0.253	0.707	1.000				

La figura 14 presenta el resumen de las pruebas de error efectuadas a cada imagen.

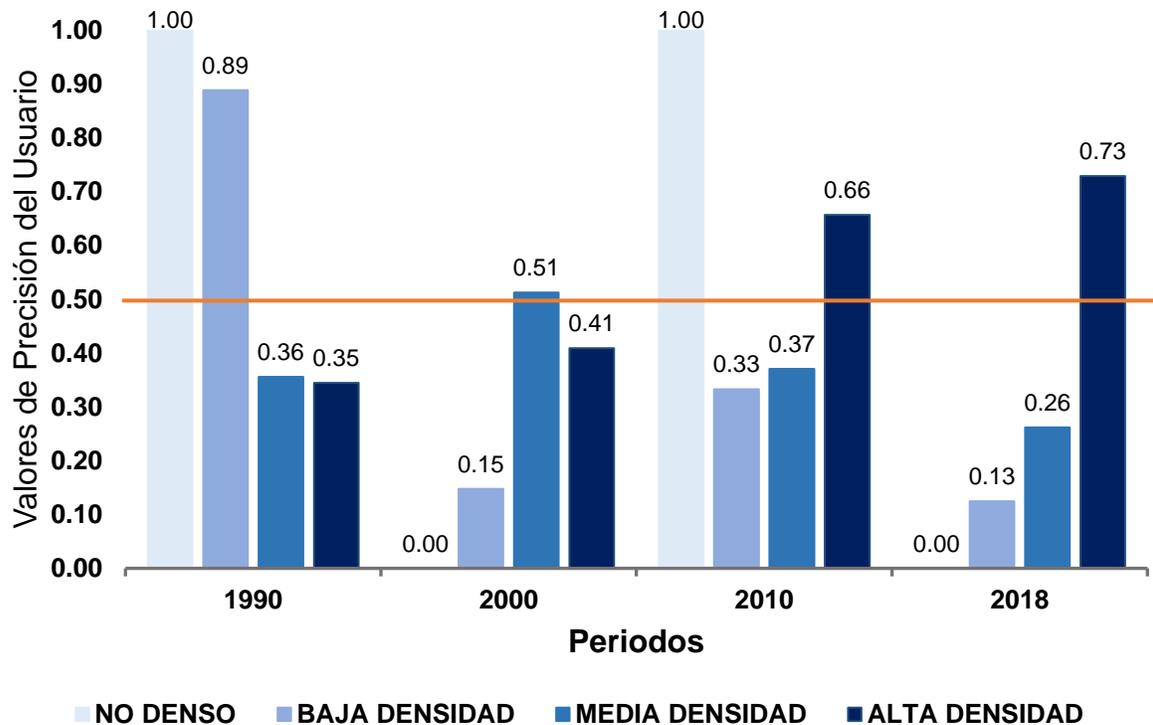


Figura 14 Matriz de Error por Clase por año precisión del usuario

La línea naranja representa una precisión de 0.50, por arriba de ella los valores de precisión se consideran aceptables. Las imágenes que pasaron este filtro con la precisión del usuario en la clase de Alta densidad de construcción fueron las imágenes de 2010 con un 0.66 y la de 2018 con un 0.73 (Figura 14). Las demás clases: Media densidad en la imagen de 2000 con un 0.51, Baja densidad en la imagen de 1990 con un valor 0.89 y No denso en 1990 y 2010 con 1 (Figura 14). Las demás reportaron valores por debajo de los 0.50 por lo que se considera la clase mejor clasificada por la precisión del usuario es la Alta densidad de construcción.

Debido a los resultados obtenidos en la figura 14 se decidió hacer una nueva validación dejando solo las Altas densidades de construcción, por ser las mejor clasificadas por el proceso, esto para identificar el crecimiento por etapa y validar el proceso en las imágenes.

6.2.1. Validación de las imágenes con corrección de Alta densidad de construcción.

Se hizo un muestreo con 174 cuadros aleatorios de la rejilla clasificándolos de manera visual para corroborar la validación en la precisión total en la clasificación en la imagen satelital conservando la Alta densidad por etapa.

Se realizó una segunda matriz de error para corroborar que tan bueno fue el producto de la clasificación dentro de la precisión total en la densidad de construcción con la corrección del Alta densidad de construcción (Figura 15).

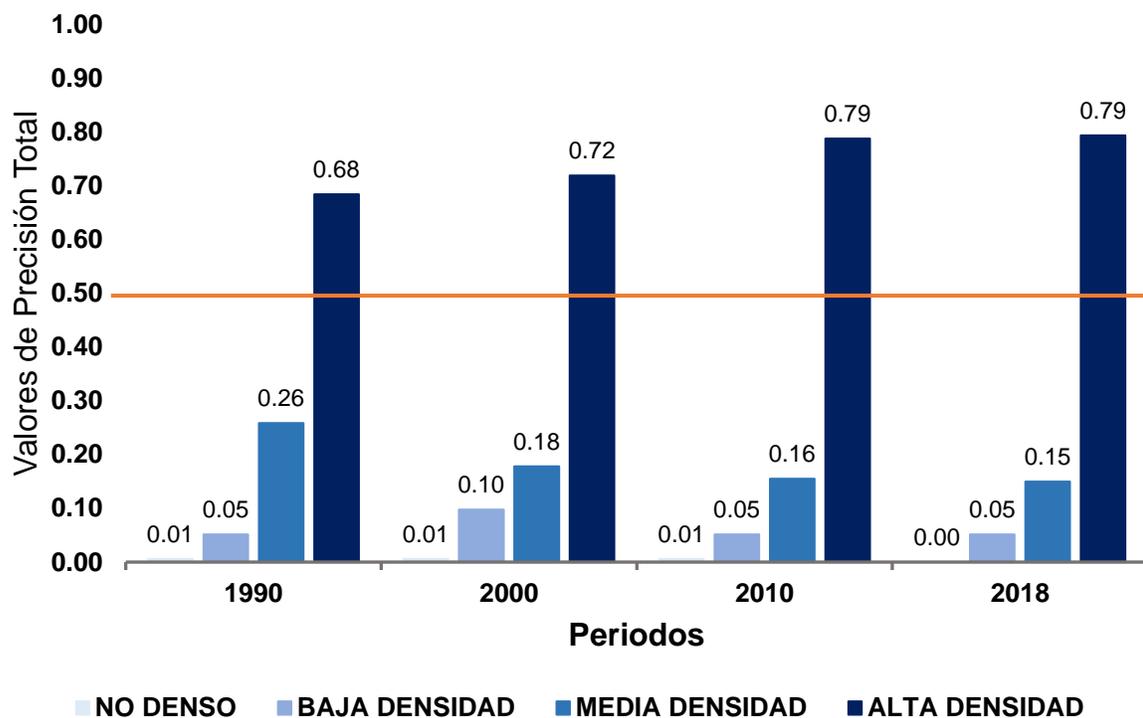


Figura 15 Matriz de Error por Clase por año

Con los ajustes de extracción se puede ver que las cuatro imágenes pasaron el filtro de los 0.50 en la precisión total con la corrección en la clase de Alta densidad de construcción siendo estas las imágenes de 1990 con un valor de 0.68 (Figura 15), imagen de 2000 con 0.72, la de 2010 con 0.79 e imagen de 2018 con 0.79 (Figura 15).

Las demás clases: Media densidad, Baja densidad y No denso reportaron valores por debajo de los 0.50 por lo que se considera la clase más acertada en la clasificación la de Alta densidad de construcción.

6.2.2. Medición de confiabilidad del mapa.

Se normalizaron las matrices de confusión de cada etapa y se aplicó el coeficiente K para valorizar la exactitud temática de los mapas (Tablas 19, 20, 21 y 22).

Tabla 19 Matriz de confusión normalizada 1990

		Datos de Referencia				
		No	Baja	Media	Alta	Total
Clases	No	1.000	0.000	0.000	0.000	1
	Baja	0.111	0.889	0.000	0.000	1
	Media	0.133	0.378	0.356	0.133	1
	Alta	0.042	0.034	0.580	0.345	1
	Total	1.286	1.300	0.935	0.478	4

Basándonos en la interpretación visual para la imagen de 1990 se obtuvo un coeficiente **K= 0.53** resultando con una fuerza de concordancia moderada.

Tabla 20 Matriz de confusión normalizada 2000

		Datos de Referencia				
		No	Baja	Media	Alta	Total
Clases	No	0.000	0.000	1.000	0.000	1
	Baja	0.000	0.235	0.412	0.353	1
	Media	0.000	0.258	0.484	0.258	1
	Alta	0.000	0.032	0.536	0.432	1
	Total	0.000	0.525	2.432	1.043	4

Basándonos en la interpretación visual para la imagen de 2000 se obtuvo un coeficiente **K= 0.05** resultando con una fuerza de concordancia leve.

Tabla 21 Matriz de confusión normalizada 2010

		Datos de Referencia				
		No	Baja	Media	Alta	Total
Clases	No	1.000	0.000	0.000	0.000	1
	Baja	0.000	0.333	0.444	0.222	1
	Media	0.111	0.074	0.444	0.370	1
	Alta	0.000	0.022	0.336	0.642	1
	Total	1.111	0.429	1.225	1.235	4

Basándonos en la interpretación visual para la imagen de 2010 se obtuvo un coeficiente **K= 0.47** resultando con una fuerza de concordancia Moderada.

Tabla 22 Matriz de confusión normalizada 2018

		Datos de Referencia				
		No	Baja	Media	Alta	Total
Clases	No	0.000	0.000	1.000	0.000	1
	Baja	0.000	0.000	0.333	0.667	1
	Media	0.000	0.115	0.231	0.654	1
	Alta	0.000	0.029	0.246	0.725	1
	Total	0.000	0.144	1.810	2.045	4

Basándonos en la interpretación visual para la imagen de 2018 se obtuvo un coeficiente **K= -0.01** resultando con una fuerza de concordancia Pobre.

6.2.3. Comportamiento de la densidad de construcción de la ciudad de Victoria de Durango de 1990 con corrección en Alta densidad de construcción.

Mapa de densidad de construcción de la ciudad de Victoria de Durango de 1990 extrayendo la Alta densidad de construcción para reducir error.

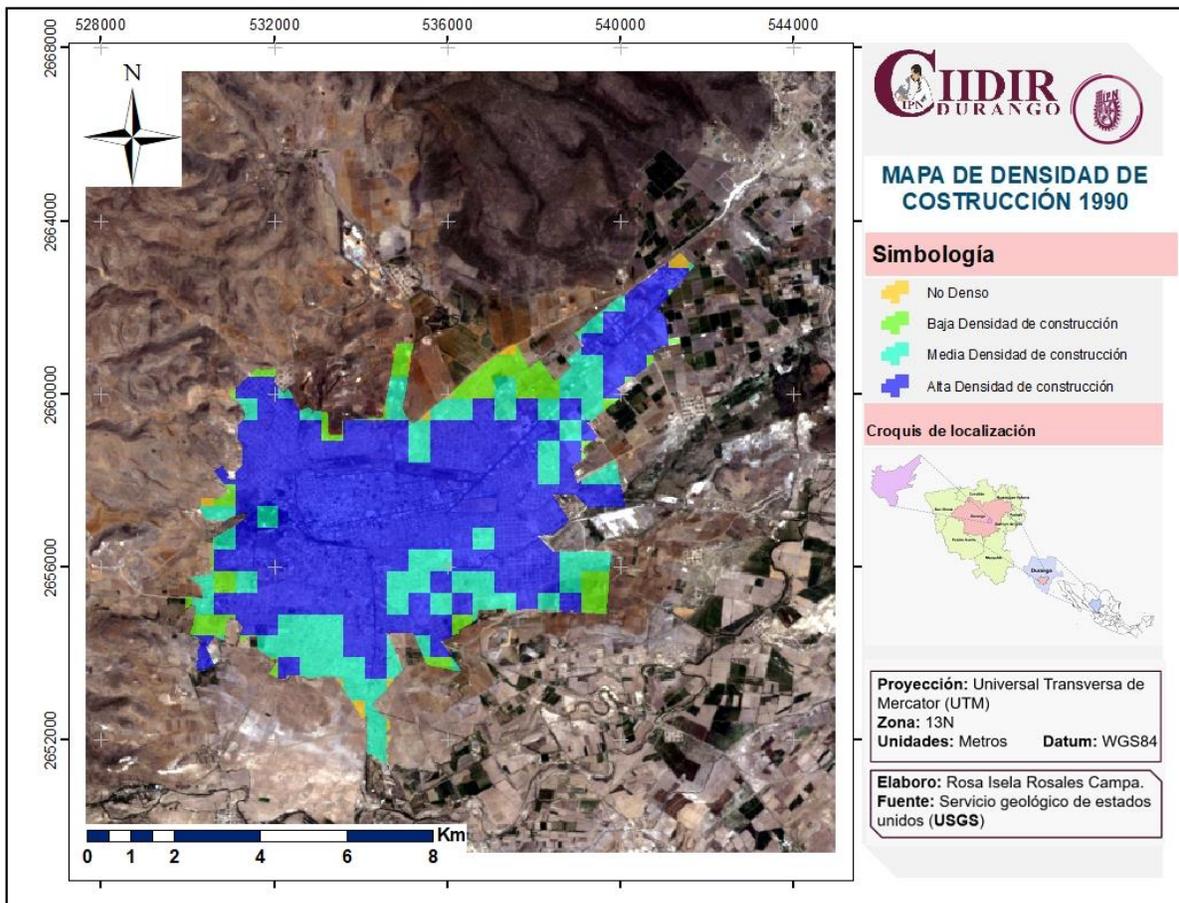


Figura 16 Mapa de densificación de 1990

Se observó un porcentaje mayor de la clase Alta densidad de construcción con un 55.96 % sobre las otras tres categorías (Tabla 24), se identifica crecimiento en la zona del bulevar Francisco Villa, para la salida a la carretera a Mazatlán y la zona del cerro de la Virgen (Figura 16).

6.2.4. Comportamiento de la densidad de construcción de la ciudad de Victoria de Durango de 2000 con corrección en Alta densidad de construcción

Mapa de densidad de construcción de la ciudad de Victoria de Durango de 2000 extrayendo la Alta densidad de construcción de 1990 y 2000 para reducir error.

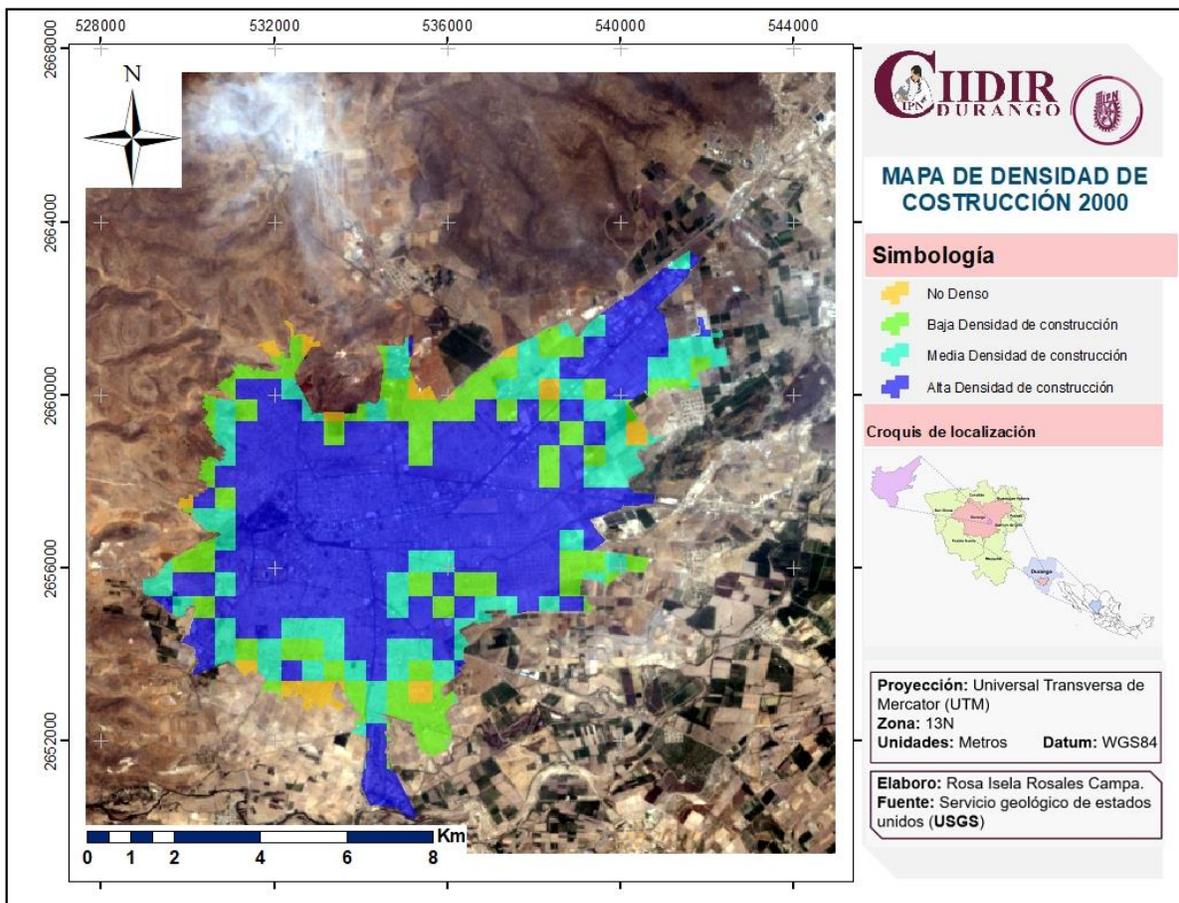


Figura 17 Mapa de densificación de 2000

Se observó un porcentaje mayor de la clase Alta densidad de construcción con un 59.28 % sobre las otras tres categorías (Tabla 24), se identifica crecimiento en la zona del bulevar Francisco Villa, en la salida para la Ferrería, para la salida a la carretera a Mazatlán, la zona del cerro de la Virgen, en general se ve el crecimiento en la zona norte tanto este como oeste (Figura 17).

6.2.6. Comportamiento de la densidad de construcción de la ciudad de Victoria de Durango de 2018 con corrección en el Alta densidad de construcción

Mapa de densidad de construcción de la ciudad de Victoria de Durango de 2018 extrayendo la Alta densidad de construcción de 1990, 2000, 2010 y 2018 para reducir error.

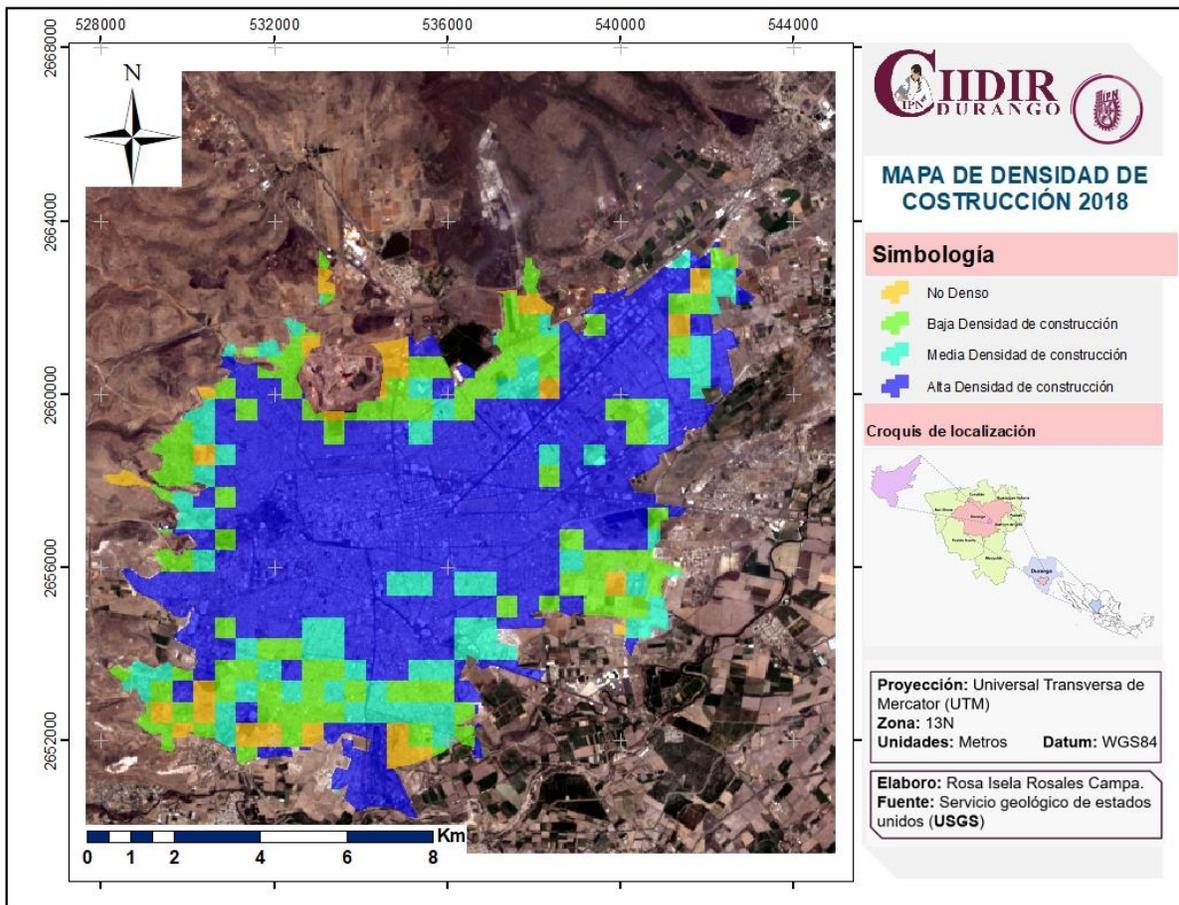


Figura 19 Mapa de densificación de 2018

Se observó un porcentaje mayor de la clase Alta densidad de construcción con 59.64 % sobre las otras tres categorías (Tabla 24), se identifica crecimiento que va desde el centro de la ciudad de Victoria de Durango con vertientes de crecimiento en el bulevar Francisco Villa. El camino hacia la Ferrería, la salida a la carretera Mazatlán, hacia el cerro de la Virgen, salida al Mezquital y carretera México (Figura 19).

De acuerdo con estas imágenes la densificación de la ciudad se muestra en el cuadro siguiente:

Tabla 23 Densificación por etapa en hectáreas

	No Denso (Ha)	Densidad baja (Ha)	Densidad media (Ha)	Densidad alta (Ha)	Total (Ha)
Imagen 1990	320.19	1,109.33	1,823.89	4,134.00	7,387.40
Imagen 2000	234.41	1,404.06	1,449.76	4,495.58	7,583.81
Imagen 2010	77.72	1,232.94	2,084.07	5,492.48	8,887.22
Imagen 2018	554.40	2,068.58	1,572.13	6,198.37	10,393.48
	1,186.72	5,814.90	6,929.85	20,320.43	

Se observó que la alta densidad de construcción cubre la mayor superficie de la ciudad de Victoria de Durango en todas las etapas con un total de 20,320.43 Ha en los cuatro periodos (Tabla 23). La que menor cobertura obtiene es la clase no densa con 1,186.72 Ha (Tabla 23).

Tabla 24 Porcentaje de Densificación

	No Denso (%)	Densidad baja (%)	Densidad media (%)	Densidad alta (%)	Total (%)
Imagen 1990	4.33%	15.02%	24.69%	55.96%	100.00%
Imagen 2000	3.09%	18.51%	19.12%	59.28%	100.00%
Imagen 2010	0.87%	13.87%	23.45%	61.80%	100.00%
Imagen 2018	5.33%	19.90%	15.13%	59.64%	100.00%

En la tabla 24 se observó una continuidad en los porcentajes de cobertura en la clase de alta densidad de construcción.

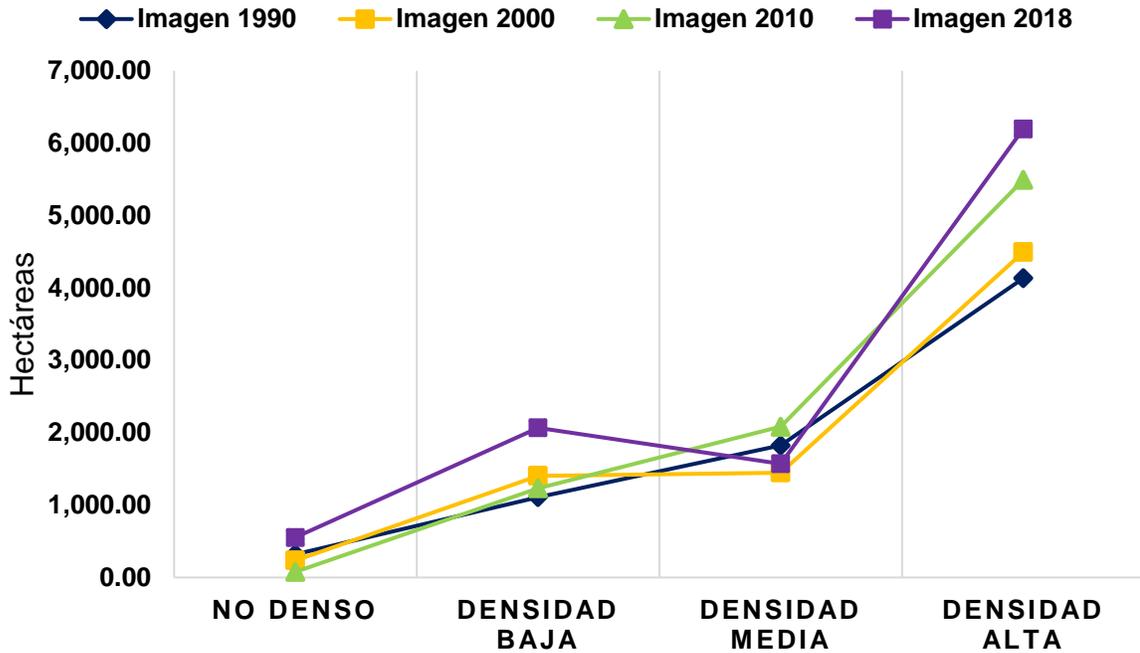


Figura 20 Comportamiento de la densificación por imagen

En la figura 20 se puede ver la tendencia de las densidades de construcción en cada una de las etapas que va desde lo no denso incrementando hacia la alta densidad de construcción.

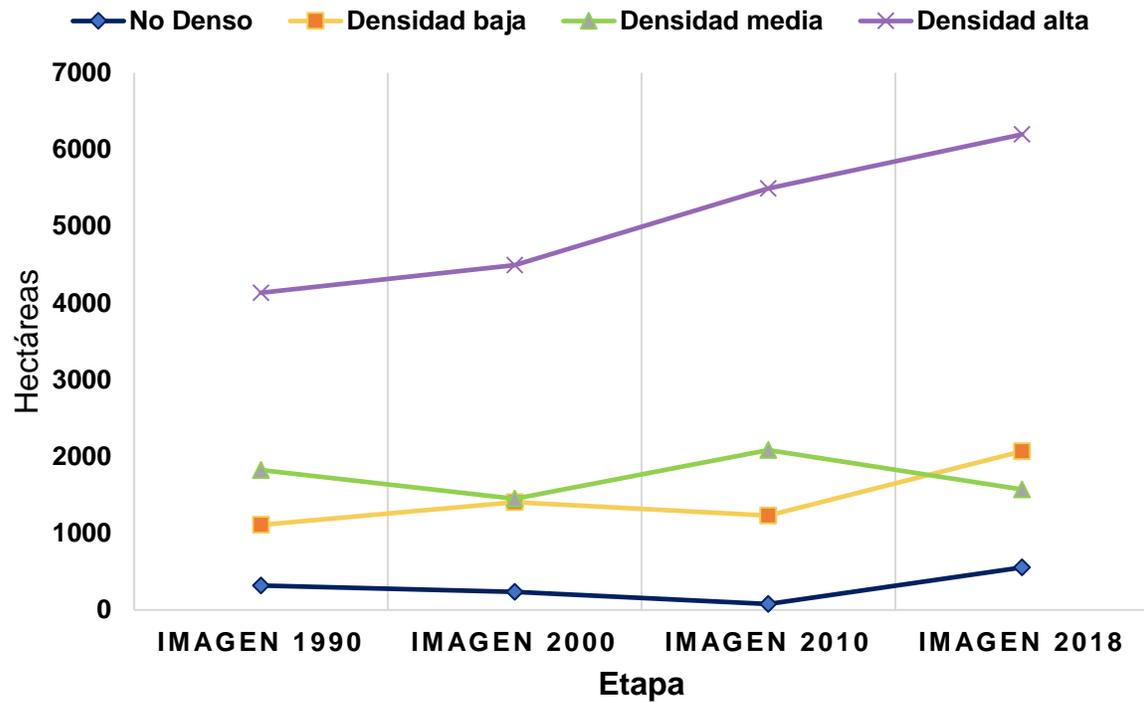


Figura 21 Comportamiento de las clasificaciones

En la figura 21 se observa que las clases por etapa en general se mantuvieron, la única con tendencia de incremento fue la clase de alta densidad de construcción.

6.2.7. Densificación de construcción en Victoria de Durango por etapa

Extrayendo solo la Alta densidad de construcción se generó un mapa con la densificación de construcción por etapa en la ciudad de Victoria de Durango.

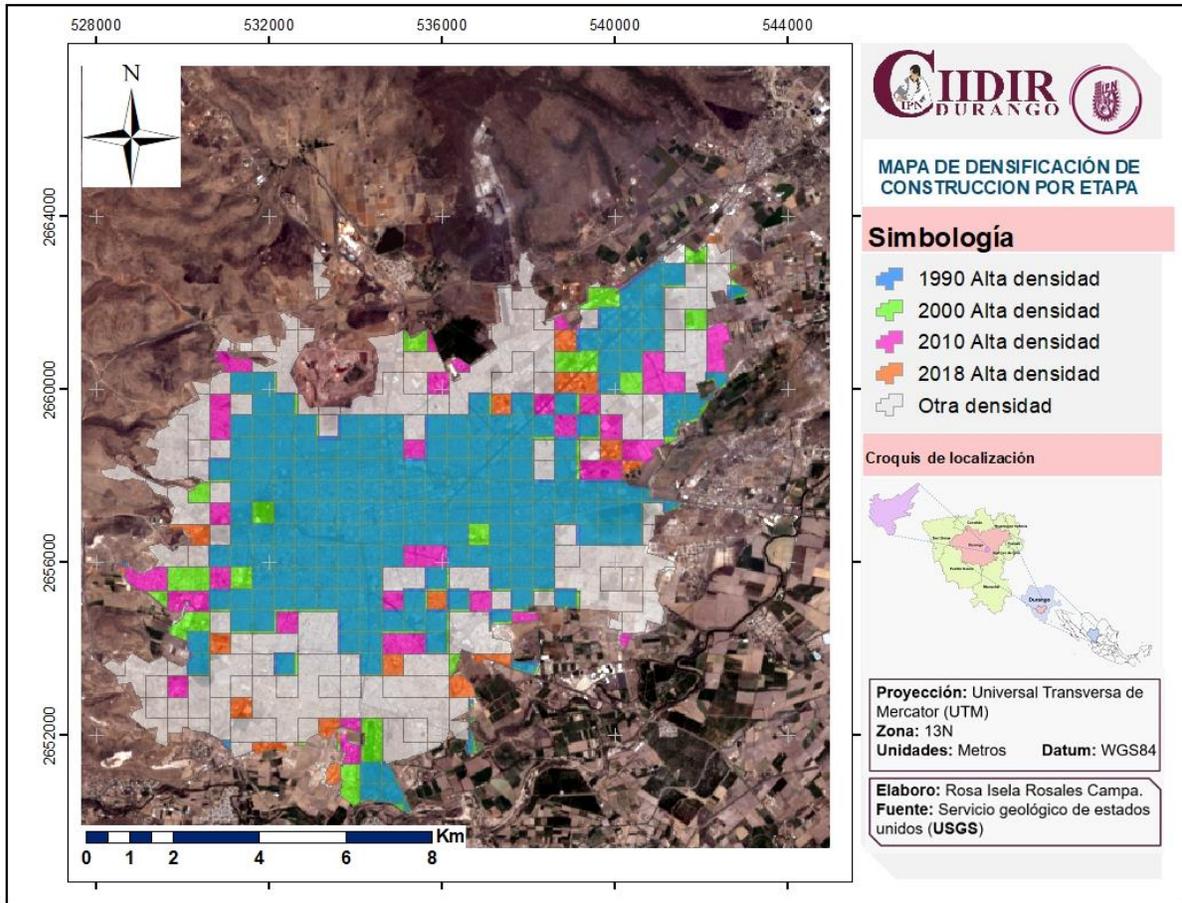


Figura 22 Mapa de densificación por etapa

La etapa de 1990 es la de mayor superficie con alta densidad de construcción, observando un crecimiento en general central; El comportamiento de alta densidad de construcción de los 2000 se ve hacia el bulevar Francisco Villa, en la zona de los parques Guadiana y Sahuatoba y hacia la Ferrería; la alta densidad de construcción del 2010 se ve en algunas zonas del camino a contreras, hacia el bulevar Francisco Villa; Por último, la alta densidad de construcción en el 2018 se extiende para el bulevar Francisco Villa (Figura 22).

Tabla 25 Densificación de construcción por etapa

	OTRA DENSIDAD	1990	2000	2010	2018	TOTAL
SUPERFICIE	4,096.78	4,451.13	638.04	849.32	358.20	10,393.48
PORCENTAJE	39.42%	42.83%	6.14%	8.17%	3.45%	100.00%

El mayor porcentaje de cobertura de alta densidad se observa en la imagen de 1990 con un 42.83% (Tabla 25) de la superficie total de la ciudad de Victoria de Durango.

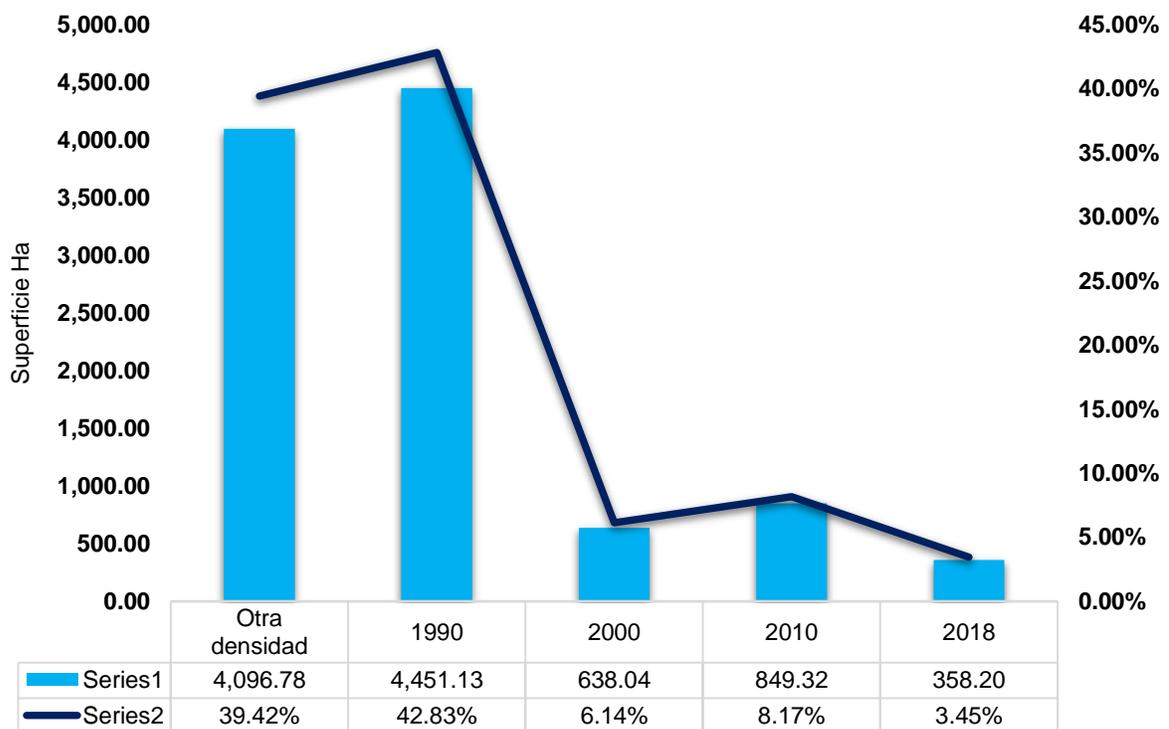


Figura 23 Densificación de construcción por etapa 1990 al 2018

Se observa un porcentaje bajo de ocupación en la alta densidad de construcción para las etapas del 2000 con un 6.14%, 2010 con un 8.17% y 2018 con solo un 3.45% (Figura 23).

6.3. Análisis de Autocorrelación espacial y Análisis de High/Low Clustering

En cuanto a los comportamiento que se registraron dentro de los análisis de autocorrelación espacial y el análisis de High/Low Clustering observamos lo siguiente:

En 1990 marca una relación positiva dado el 0.64 en el índice de Moran ajustándose al modelo de la curva con agrupamiento, en el Índice G se observa que el agrupamiento de los datos se carga a los valores altos con una Z de 5.38 (Tabla 26).

En 2000 marca una relación positiva dado el 0.59 en el índice de Moran con una tendencia a agrupar los valores de densidad de construcción y se observa que el agrupamiento de los datos se carga a los valores altos con una Z de 5.44 (Tabla 26).

En 2010 marca una relación positiva dado el 0.55 en el índice de Moran con una tendencia a agrupar los valores de densidad de construcción y se observa que el agrupamiento de los datos se carga a los valores altos con una Z de 3.99 (Tabla 26).

En 2018 marca una relación positiva dado el 0.43 en el índice de Moran con una tendencia a agrupar los valores de densidad de construcción y se observa que el agrupamiento de los datos se carga a los valores altos con una Z de 4.98 (Tabla 26).

Tabla 26 Autocorrelación espacial

Prueba		1990	2000	2010	2018
Moran	Z	18.42	17.16	15.94	12.68
	Índice	0.64	0.60	0.55	0.44
	p	0.00	0.00	0.00	0.00
G	Z	5.39	5.44	3.99	4.98
	Índice	0.00	0.00	0.00	0.00
	p	0.00	0.00	0.00	0.00

6.4. Atractores y su relación con las densidades de construcción

Al mapa de densificación de construcción por etapa se le sobrepuso una capa con las vialidades principales en la ciudad de Victoria de Durango para observar la interacción de estas con la Alta densidad de construcción (Figura 24). Se observa la alta densidad en 1990 para la vialidad Francisco Villa, bulevar Felipe Pescador y Juventud. Las siguientes etapas de alta densificación de construcción 2000, 2010 y 2018 se dieron en menor magnitud. De las vialidades entre las que se observa menor desarrollo de alta densidad de construcción son la carretera a Parral y el bulevar José María Patoni.

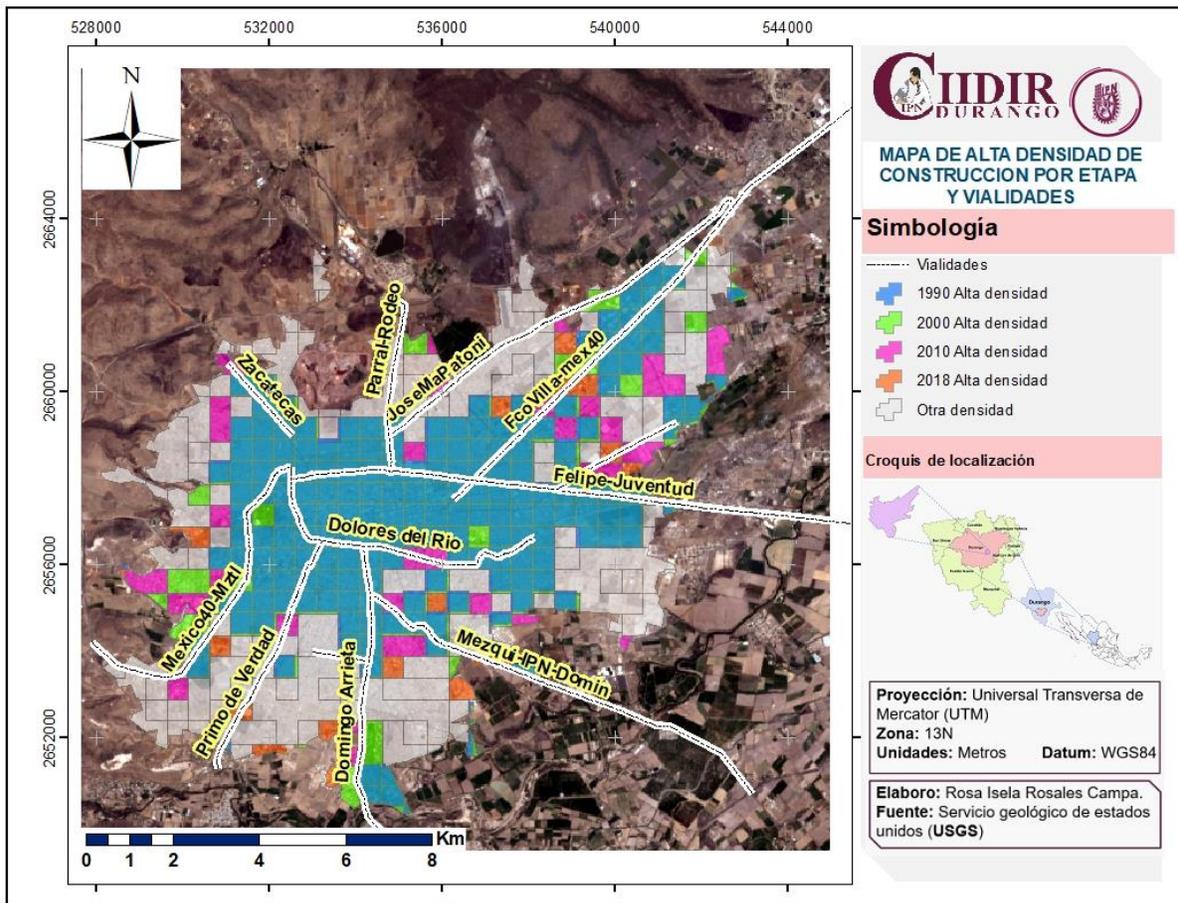


Figura 24 Mapa de alta densidad de construcción por etapa y vialidades

Tabla 27 Relación alta densidad de construcción y vialidades

Atractor	1990		2000		2010		2018		Total		Superficie Tope
Nombre Vialidad	Alta densidad	% De Sup	Alta densidad	% De Sup	Alta densidad	% De Sup	Alta densidad	% De Sup	Alta densidad	% De Sup	
FcoVilla-mex40	350	61%	75	13%	25	4%	50	9%	500	87%	575
Felipe-Juventud	450	78%	0	0%	0	0%	0	0%	450	95%	475
Mexico40-Mztl	250	43%	75	15%	25	5%	0	0%	350	70%	500
Dolores del Rio	400	70%	0	0%	50	10%	0	0%	450	90%	500
Fco Zarc Raymond Contre	50	9%	0	0%	100	50%	25	13%	175	88%	200
Mezqui-IPN-Domin	100	17%	0	0%	25	11%	50	22%	175	78%	225
Primo de Verdad	150	26%	0	0%	25	6%	25	6%	200	50%	400
DomingoArrieta	175	30%	100	29%	50	14%	0	0%	325	93%	350
JoseMaPatoni	25	4%	50	13%	50	13%	0	0%	125	31%	400
Parral	50	9%	25	14%	0	0%	0	0%	75	43%	175
Zacatecas	125	83%	0	0%	25	17%	0	0%	150	100%	150
	2125	54%	325	8%	375	9%	150	4%	2975	75%	3950

En la tabla de relación de alta densidad de construcción y las vialidades se puede observar que el año que más crecimiento obtuvo fue el año 1990 con una superficie de alta densidad de construcción de 2125 hectáreas. Y la vialidad que ocupó más superficie en alta densidad de construcción fue la Francisco Villa- México con 575 hectáreas (Tabla 27).

En tanto a porcentajes de cobertura total de la superficie de cada vialidad, la calle Zacatecas registro su 100% de cobertura para la alta densidad de construcción. Contra el Bulevar José María Patoni que tiene cubierto un 31% de su superficie con alta densidad de construcción (Tabla 27).

Las vialidades que tienen oportunidad en crecer en su superficie de cobertura con una alta densidad son la carretera a parral con 43% y el bulevar Primo de Verdad con un 50% (Tabla 27).

De las que alcanzaron su máximo en cobertura de alta densidad están el bulevar Felipe Pescador – bulevar de la Juventud con 95%, el bulevar Domingo Arrieta con 93%,

bulevar Dolores del Rio con 90% y calle Francisco Zarco – bulevar Raymond Bell con 88% todos con el porcentaje de ocupación de alta densidad de construcción (Tabla 27).

Se tiene una cobertura global de un 75% de la superficie total con alta densidad de construcción para el 100% superficie que abarcan los atractores equivalente a 2,975 Ha de las 3,950 Ha que representan (Tabla 27).

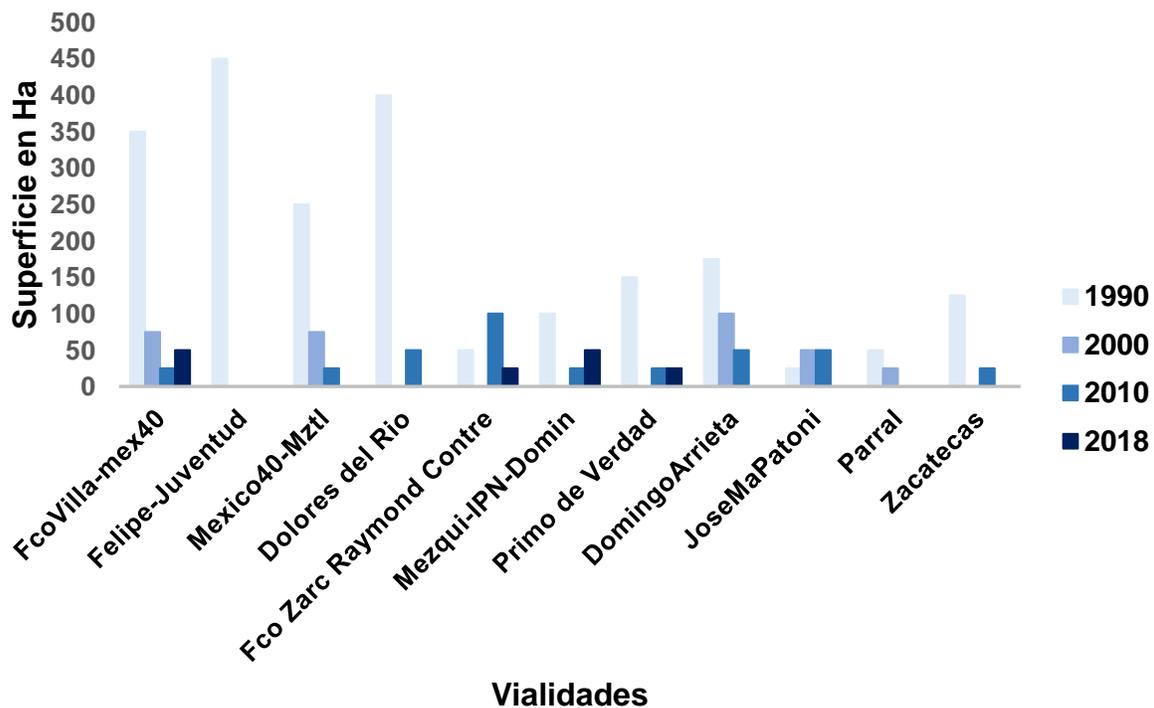


Figura 25 Relación de alta densidad de construcción con las vialidades

En la figura 25 se observa que en el año 1990 las vialidades Felipe pescador - Bulevar de la juventud, Francisco Villa – México 40 y Dolores del Rio, reportaron la mayor cobertura de superficie.

La vialidad Felipe pescador - Bulevar de la juventud solo tuvo crecimiento en el periodo de 1990. Opuesto a la vialidad Francisco Villa – México 40 que registro crecimiento en cuanto a cobertura de superficie en todas las etapas con un comportamiento decreciente en la cantidad de cobertura de 1990 a 2018 (Figura 25).

VII. DISCUSIÓN

7.1. Modelo urbano en la ciudad de Victoria de Durango

Partiendo desde el enfoque de Burgess (1923), la estructura urbana de la ciudad de Victoria de Durango tiene un modelo tipo monocéntrico, que se caracteriza por una alta densidad de construcción hacia su centro en los diferentes periodos analizados de 1990 al 2018. El estudio de Álvarez (2011) se basa en círculos concéntricos contemplando que la ciudad crece alrededor de su centro con diferentes zonas, en él se analizaron 32 ciudades intermedias mexicanas de las cuales surgieron tiempos de desarrollo urbano: 1) Zona de Tiempo 1 representado por el origen de la ciudad con una alta densidad de construcción con uso comercial y de servicios y algunos sectores mixtos con habitacional, 2) Zona de Tiempo 2 con colonias populares y predios de menor tamaño respecto al Tiempo 1 con zonas urbanísticas consolidadas y 3) Zona de Tiempo 3 con parques industriales, fraccionamientos de interés social y presencia de grandes baldíos. Este análisis coincide con el modo en que se presenta la alta densidad de construcción en la ciudad de Victoria de Durango, que empieza por el centro, en donde está la mayoría del uso comercial y de servicios, expandiéndose a las zonas urbanísticas consolidadas y finalizando en los parques industriales y fraccionamientos de interés social (Figuras 16,17,18 y 19).

Este crecimiento encontrado en contraste con lo percibido por el *programa de desarrollo urbano al 2020* donde el H. Ayuntamiento del Municipio de Durango (2006) en su síntesis de la problemática urbana, destaca en su cuarto punto que el crecimiento de la ciudad se da en todas direcciones, incrementando los asentamientos irregulares y sin servicios, lo cual genera una dispersión en el crecimiento urbano, fomentando un alto costo de urbanización que impacta a las zonas de baja densidad habitacional. En el análisis de autocorrelación con el índice de Moran en los diferentes periodos, los niveles van de un 0.55 a un 0.64 obteniendo una buena correlación ajustándose a una tendencia agrupada de los valores que con ayuda del índice de G se concluye que el crecimiento urbano de la ciudad de Victoria de Durango se da de una manera compacta en la totalidad de su superficie, dada una tendencia hacia los altos valores

de densificación de construcción (Tabla 26). Observando la ciudad en cuatro sectores por medio de la orientación podemos identificar los diferentes patrones que van desde una rama lineal que rodea la vialidad Francisco Villa al noreste, a una forma de extensión que se sigue las diferentes etapas de tiempo en la parte noroeste, en el sector sureste se pueden observar crecimientos urbanos que son aleatorios y el suroeste tiene una mezcla de patrones aleatorios y extensiones (Figura 24).

De acuerdo con Cabrero *et al.* (2003) en el proceso de generación y difusión de competencias de las ciudades se necesitan actores gubernamentales que generen mejores condiciones de vida para sus habitantes. En la ciudad de Durango dentro del proceso en la elaboración del programa de desarrollo urbano el H. Ayuntamiento del Municipio de Durango (2016) nombra a un grupo interdisciplinario, el cual se encuentra conformado por colegios de profesionistas, instituciones educativas, cámaras empresariales y dependencias de los tres órdenes de gobierno, para las cuales será de ayuda una representación visual de cómo es que se ha dado el proceso de densificación en la ciudad de Victoria de Durango (Figura 22).

Los análisis de concordancia se utilizan para evaluar un proceso de aciertos positivos y negativos (EPIDAT 4.0, 2014) en este estudio se utilizó para evaluar el proceso de clasificación de la densificación en los mapas de la ciudad de Victoria de Durango, como control de calidad en la clasificación temática (Sánchez-Muñoz, 2016). Los valores de Kappa para las imágenes de la plataforma Landsat 5 fueron similares, resultando en valores del coeficiente Kappa de 0.53 en 1990 y 0.47 (Tablas 19 y 20). En el 2010 se obtuvo una concordancia moderada que va en un rango de 0.41 al 0.60 (Borrás *et al.*, 2017), lo que nos indica que el proceso respecto a la validación visual no tiende hacia lo fortuito. En cambio los valores para el índice Kappa en las Imágenes de las plataformas Landsat 7 del 2000 y Landsat 8 del 2018 con puntuación de 0.05 y - 0.01 (Tablas 21 y 22) resultaron con una concordancia leve y pobre (Borrás *et al.*, 2017) respectivamente, puntualizando que tienen una tendencia entre el proceso y la validación por visualización hacia lo fortuito. Al tomar la muestra en la matriz de confusión se utilizó el centro de la ciudad, en el proceso de la imagen del 2000 y la del 2018 no reporta valores en la matriz de confusión para la clase no denso, por lo que el nivel de concordancia del coeficiente Kappa disminuye para ambos casos.

7.2. Densificación de la construcción en la ciudad de Victoria de Durango

En referencia al estudio de entropía que hacen Bascuñán *et al.* (2011) con el estudio de entropía identificada en la alta densidad de construcción que se realizó para la ciudad de Victoria de Durango, se pueden observar similitudes en la obtención de altos valores de entropía al centro del área estudiada (ciudad), en su estudio a menor distancia obtenían valores más altos de entropía debido a que los servicios eran proporcionados en forma monocéntrica y en este estudio se encontró en cada una de las etapas una alta densificación en la construcción o alta entropía que va desde el centro de la ciudad de Victoria de Durango hacia su periferia, observando la relación de la clase de alta densidad de construcción con las diferentes etapas.

La tendencia de la densificación se observa de una manera ascendente en superficie, desde lo no denso a lo altamente denso en cada una de las imágenes. En cuanto al comportamiento de la clasificación se ve una tendencia al alta, en la clasificación de alta densidad de construcción observada alrededor de las principales vías de comunicación. Dentro de las clasificaciones en nuestro análisis, la que obtuvo la mejor respuesta durante el proceso con los valores de precisión del usuario fue la clase de alta densidad con mayor trama urbana en cuanto a la diversidad de construcción. Es importante mencionar que Bascuñán *et al.* (2011) utilizaron la diversidad de usos de suelo, que en este caso de estudio para la ciudad de Victoria de Durango se representa con un análisis de textura pero en el estudio de Bascuñán *et al.* (2011) agregaron la variante de gastos energéticos.

En el mapa de densificación de construcción por etapa se observa que la mayor cobertura de la clasificación de alta densidad se obtuvo antes de 1990, Arreortua y Soto (2019) en su estudio de política de vivienda en México nos dicen que hubo cambios a mediados de los 90's en donde se observó una liberación del suelo cambiando el contexto de la vivienda de ser un satisfactor de una necesidad a ser una mercancía lo que se nota en las etapas del 2000, 2010 y 2018 donde se mantiene un consumo de superficie de la clasificación de alta densidad de construcción, en comparación con la extensión de otras densidades como lo no denso, la baja densidad y la media densidad, que se observan en todo el contorno de la periferia.

Estas diferencias en las densidades de la cobertura en las etapas consecuentes del 2000, 2010 y 2018 según Lozano (2005) se pueden deber al efecto de la reforma hecha al artículo 27 de la Ley Agraria en 1992 por el Presidente en turno Salinas de Gortari, en donde se permitió que por primera vez los ejidos se pudieran vender, arrendar o hipotecar. Poniendo al campesino como un actor en relación con la urbanización, cambiando el estatus de la tierra de una propiedad colectiva a una individual. En la tabla de densificación de construcción por etapa se puede ver el alto porcentaje de la superficie actual captado a la alta densidad de construcción en 1990 y como desciende en los años del 2000 al 2018, llegando a porcentajes bajos en cuanto a cobertura de la superficie de alta densidad de construcción lo que se puede haber generado por la reforma al artículo 27 donde el campesino actúa en el cambio de estatus de su tierra. En la gráfica de densificación se puede ver este comportamiento resaltando la alta densidad de construcción en 1990 casi equiparada en porcentaje a las otras densidades en conjunto.

Estudios previos en la revisión de Cabral *et al.* (2013) apuntan al razonamiento de que a mayor entropía hay demanda de transporte e infraestructura y a menor entropía hay mayor riesgo de segregación poniendo en peligro la cohesión del sistema urbano en tendencia hacia la dispersión. Nuestro análisis de autocorrelación arroja un alto índice de autocorrelación espacial entre los niveles de la densidad de construcción (entropía) con tendencia al agrupamiento de estos valores en cada uno de los periodos, obteniendo una buena correlación espacial, en la que los valores de Z pasan el valor necesario de la significancia, ajustándose a una tendencia agrupada de los valores de alta densidad de construcción por los valores de Z en el índice G. Con esto podemos decir que el crecimiento que ha tenido la ciudad de Victoria de Durango del periodo de 1990 al 2018 no ha sido de una manera aleatoria, ya que muestra tendencias de alta densidad de construcción de acuerdo con los análisis espaciales realizados.

Para Díaz-Álvarez (2014) un sistema como la ciudad necesita de mayor cantidad de energía para mantener sus funciones y organización. Otros motivos que abordan Arreortua y Soto (2019) en su análisis para el cambio de la densificación de las ciudades en México es la consolidación del Fovissste y el Infonavit en la década de los 70's con los cuales se pensaba satisfacer la necesidad de vivienda, en los sexenios

del 2000 al 2012 teniendo a la vivienda como un catalizador de la economía nacional, lo que trajo problemáticas en la coordinación de los distintos niveles de gobierno provocando una construcción masiva de vivienda sin una adecuada planificación urbana. Al finalizar la primera década del presente siglo cambio esta visión hacia buscar una redensificación. Arreortua y Soto (2019) puntualizan mientras las iniciativas que promueven la redensificación como las que estimulan la expansión urbana consideren a la vivienda como una mercancía las ciudades seguirán presentando problemática en sus áreas centrales o en su periferia, por lo que un análisis del estado de la densificación y los factores que las fomentan es de gran importancia para ciudades medias como la ciudad de Victoria de Durango.

7.3. Densificación Urbana y Vialidades Principales en Victoria de Durango

Sobre la importancia de estudiar las redes viales Gudmundsson *et al.* (2013) indican que mientras la ciudad evoluciona las redes viales mantienen su geometría en el tiempo por cientos de años haciendo posible los estudios a largo plazo, similar a lo observado en la ciudad de Victoria de Durango abarcando las etapas de 1990 al 2018 en donde se puede ver el trazo de las vialidades en cada una de las fechas, haciendo posible la comparación de las vías de comunicación con la densificación de construcción.

En su estudio Gudmundsson *et al.* (2013) analiza 41 ciudades británicas de las cuales 6 de ellas cuentan con un mayor número de redes viales, dentro de los resultados que reporta se observan valores altos de entropía absoluta en la orientación de las vialidades que van desde los 3.43 en Blackpool a 3.58 en Birmingham comportamiento de entropía similar presentado en las principales vías de comunicación de la ciudad de Victoria de Durango, en el cual se observa en su mapa de alta densidad de construcción por etapa y vialidades que la alta densidad o valores altos de entropía tienen una tendencia a cubrir las principales vías de comunicación.

En el trabajo realizado por Hernández-Ramírez (2015) se utilizó un periodo de tiempo de 1993 a 2007, lapso con 14 años para observar la dinámica urbana que se llevaba en Guadalupe Zacatecas, comparándolo con otros trabajos que manejaban el

crecimiento urbano; resultados en su pronóstico de crecimiento, proponen que se evite la dispersión urbana que se observa en sus análisis, abordándolo desde un enfoque de desarrollo sustentable. En Guadalupe Zacatecas el crecimiento se observa siguiendo el equipamiento urbano como: los centros de trabajo, centros de salud y vialidades. De acuerdo con esto, en la ciudad de Victoria de Durango al hacer la sobreposición de las vialidades principales con la alta densidad de construcción en las etapas de 1990 a 2018 se observó que el alta densidad de construcción está junto a estas vialidades, la superficie cubierta en algunos periodos llega a la máxima capacidad en esta categoría.

El año 1990 fue el periodo en el cual se obtuvo la mayor cobertura de alta densidad de construcción con 2,125 Ha correspondientes a un 54% (Tabla 27) del total de superficie para estas 10 rutas marcadas como vialidades principales en la ciudad de Victoria de Durango. Para la vialidad del bulevar José María Patoni se prevé un aumento en la alta densidad de construcción para los próximos años ya que del total de superficie que se pudiera densificar se ha utilizado un porcentaje mínimo de toda la superficie, mismo caso para la carretera a parral. Esto se puntualiza en la gráfica de la relación de alta densidad de construcción con las vialidades, en donde el bulevar Felipe Pescador y bulevar de la Juventud solo marca crecimiento en el periodo de 1990. Podemos decir que el crecimiento de alta densidad de construcción de 1990 a 2018 en la ciudad de Victoria de Durango visualmente tienden hacia la cobertura de estas vialidades y en su mayoría se dio en 1990.

En el estudio sobre gestión del agua en la ciudad de Victoria de Durango de Quintero (2008), observa un crecimiento histórico en las redes de distribución de agua potable en la década de los 90's a la par del crecimiento de la mancha urbana y al mismo tiempo la municipalización de los asentamientos irregulares, con la introducción de los nuevos servicios. Estos resultados refuerzan lo observado en los cambios de densidad de construcción en el periodo de 1990 al 2018 donde las marcas de incremento en alta densidad de construcción están cercanas a las vialidades, sugiriendo que estas podrían ser las atractoras de los asentamientos urbanos y las que posiblemente definen la forma urbana que sigue la ciudad de Victoria de Durango.

7.4. El Método Utilizado

Como menciona Chavez (1988) la atmosfera influye en la cantidad de energía electromagnética en los sistemas de imagen, en particular para los Landsat Thematic Mapper (TM) por la absorción y refracción de luz esto similar a lo ocurrido la ciudad de Victoria de Durango en donde al realizar la corrección atmosférica con la sustracción de objetos oscuros se obtuvo un efecto positivo, ya que visualmente se puede observar una diferencia entre las imágenes con corrección atmosférica y las que no la tenían, con esto aseguramos que en los datos extraídos de entropía se disminuyera la interferencia que pudiera generar la atmosfera en las imágenes.

La baja densidad de construcción tiene un uso ineficiente del suelo y energía, además de que genera una disminución de la tierra destinada a la agricultura, fenómeno que para Jensen y colaboradores citado por Yeh y Xia (2001) puede medirse con la integración de la percepción remota y los sistemas de información geográfica aplicada con éxito en: El inventario de usos de suelo, Monitoreo de cambio de uso de suelo e Impactos generados por el desarrollo de estos usos. Batty y Thomas en el artículo de Yeh y Xia (2001) sostienen que estudios han mostrado que la entropía es un buen estadístico para medir la distribución de algunos fenómenos geográficos; Uno de estos estudios practicado en Dongguan, que es una de las regiones de crecimiento rápido en China, aquí se mostró como la entropía puede usarse para medir y monitorear la baja densidad de construcción. Para Yeh y Xia (2001) es importante monitorear la forma urbana, ya que puede dar un análisis de la relación de la forma y los procesos que la ciudad lleva. En su trabajo nos dicen que una resolución de 30 metros es suficiente para proveer información de la expansión urbana. En Victoria de Durango se utilizaron imágenes de los satélites, todas las imágenes del mes de abril, para tener mayor uniformidad entre los datos aportados por ellas. Además, se utilizaron las mismas bandas de cada uno de los satélites para obtener más datos sobre las imágenes, esto se logró al generar un compuesto de estas. La forma es un elemento importante considerando la localización óptima para el desarrollo urbano, lo que puede ser una herramienta de gran ayuda para desarrolladores urbanos a la hora de hacer los planes a futuro.

Al realizarse la validación de las imágenes con las matrices de confusión y error, se obtuvieron valores altos en la clasificación de la alta densidad de construcción en comparación con las otras clasificaciones, por lo que se les decidió hacer una corrección conservando los valores de alta densidad de construcción en las imágenes por periodo para obtener una mejora en la clasificación de la precisión global. En esta nueva validación dejando la alta densidad de construcción se obtuvieron valores más altos pasando el filtro de 0.50 dejando la clase mejor clasificada en la precisión global a la de alta densidad de construcción con 0.68 en 1990, 0.72 en 2000, 0.79 en 2010 y 0.79 en 2018 (Figura 15).

VIII. CONCLUSIONES

La densificación de construcción en la ciudad de Victoria de Durango demostró no tener un crecimiento aleatorio sino una tendencia agrupada o compacta analizando la totalidad de su superficie con la categoría de alta densidad en las diferentes etapas. En cuanto a la visualización de los sectores por orientación en los mapas, se distinguen algunos de los tipos de patrones físicos y formas de crecimiento urbano descritos por Bhatta (2012) para el sector noreste se define un crecimiento de rama lineal que sigue la dirección de la vialidad Francisco Villa hacia la carretera México 40, en el sector noroeste su crecimiento se observa con un patrón de expansión que sigue la forma inicial del núcleo urbano en las diferentes etapas, para la superficie correspondiente al suroeste se observan dos formas la expansión y el crecimiento aislado, por su parte en el sector sureste predomina un crecimiento físico urbano aislado.

Se puede decir que el espacio geográfico en conjunto con los datos estadísticos extraídos de las imágenes satelitales, resultan en una herramienta que facilita la observación de los cambios en los fenómenos urbanos y sus relaciones antrópicas, para este caso se utilizó la densidad de construcción, indicando las tendencias para los diferentes periodos con datos extraídos de las imágenes satelitales y aunque existen métodos para la validación de los procesos de clasificación de las imágenes se aconseja su verificación con levantamiento en físico.

En cuanto a su dependencia con las vías principales de comunicación mediante la apreciación visual en el mapa de la relación de densificación con las vialidades, se puede observar cierta tendencia en la forma de la alta densidad de construcción con forma de las vialidades y a su alrededor crecimiento entre las 3 clasificaciones distintas a la alta densidad de construcción que son lo no denso, la baja densidad de construcción y la media densidad de construcción.

IX. RECOMENDACIONES

Es de suma importancia en el uso de imágenes satelitales tomar en cuenta que representa cada banda, para que al unirla en el compuesto y hacer una combinación se conozca la procedencia de esta y se pueda obtener la información deseada.

Se sugiere una preparación de las imágenes antes de procesarlas, aplicando este paso se reducirá la afectación que pueda tener la atmosfera sobre la extracción de los datos estadísticos, también el hacer un recorte del área a analizar, delimitando el espacio solo al del interés hace eficiente el proceso de la computadora.

En este tipo de análisis es necesario contar con un conocimiento de los Sistemas de Información Geográfica, para poder llegar a un resultado lo más cercano a la realidad. Este tipo de análisis no está explorado en las ciudades medias como Victoria de Durango, por lo que sería un aporte, al hacer ejercicios de comparación que involucren el crecimiento urbano de otras ciudades medias en el país mediante el apoyo de los SIG's y también para fortalecer las investigaciones de este tipo recomienda adicionar un levantamiento en físico para corroborar lo arrojado por el proceso en el Sistema de Información Geográfica.

Para reducir los errores en la validación se sugiere la utilización de imágenes satelitales con resolución espacial mayor a los 30 metros y más de 8 bits.

X. REFERENCIAS

- Aguilar-Astorga, C. R. y Lima-Facio, M. A. (2009). *¿Qué son y para qué sirven las políticas públicas?*. Contribuciones a las Ciencias Sociales: 1–29.
- Álvarez, G. (2011). *Estructura y temporalidad urbana de las ciudades intermedias en México*. Frontera Norte. 23: 91–123.
- Arreortua, L. y Soto, L. (2019). *Política de Vivienda en México: entre la expansión y el retorno al centro*. Investigaciones Geográficas: 0–2.
- Barenboim, C. (2012). *Políticas públicas urbanas e instrumentos de regulación*. Revista Iberoamericana de Urbanismo. 7: 31–41.
- Bascuñán, F., Bordones, D., y Reyes, J. (2011). *Efectos de la Entropía Urbana en el Coste Energetico del Transporte*. Urbano. 14.
- Bhatta, B. (2012). *Analysis of Urban Growth and Sprawl from Remote Sensing Data*.
- Borrás, J., Delegido, J., Pezzola, A., Pereira, M., Morassi, G., & Camps-Valls, G. (2017). *Clasificación de usos del suelo a partir de imágenes Sentinel-2*. Revista de Teledetección. 48: 55-66.
- Cabral, P., Augusto, G., Tewolde, M. y Araya, Y. (2013). *Entropy in Urban Systems*. Entropy. 15: 5223–5236.
- Cabrero, E., Ziccardi, A. y Orihuela, I. (2003). *Ciudades competitivas - ciudades cooperativas: Conceptos claves y construcción de un índice para ciudades mexicanas*. CIDE.
- Castro-Bonaño, J. M. (2002). *Indicadores de Desarrollo Sostenible Urbano. Una Aplicación para a Adalucía*. Universidad de Málaga Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales.
- Celemín, P. (2009). *Autocorrelación espacial e indicadores locales de asociación espacial: Importancia, estructura y aplicación*. Revista Universitaria de Geografía. 18: 11–31.
- Chavez, P. S. (1988). *An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data*. Remote Sensing of Environment. 24: 459–479.
- CONAGUA, C. N. del A. (2014). *PMPMS Victoria de Durango Dgo*: 1–91.

- Coneo Villadiego, L. (2012). *Modelo de Gestión Urbana para la Sustentabilidad del Desarrollo Territorial en Comunidades Marginales Ubicadas en Zonas Costeras del Caribe Colombiano*.
- Cruz-García, A. U. (2016). *Procesos de urbanización de lo informal a lo formal. Las colonias división del norte y promotores sociales del municipio de Durango*. Universidad Autónoma de Nuevo León Facultad de Arquitectura.
- Díaz-Álvarez, C. J. (2014). *Metabolismo urbano : herramienta para la sustentabilidad de las ciudades*. Interdisciplina. 2: 51–70.
- EPIDAT 4.0. (2014). *Concordancia y consistencia*. Consultado el 26-10-2019 en https://www.segias.es/Saudepublica/Documents/1894/Ayuda_Epidat4_Concordancia_y_consistencia_Octubre2014.pdf
- Espinosa, N., Monsalve, J. y Gómez, S. (2013). *Análisis De La Metodología de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la Cartografía de la Guerra en Colombia*. 19: 315–353.
- ESRI. (2016). *Autocorrelación espacial (I de Moran)*. Consultado el 01-07-2019 en <http://pro.arcgis.com/es/pro-app/tool-reference/spatial-statistics/spatial-autocorrelation.htm>
- Fernandez, I. A. y Herrero, E. L. (2001). *El satélite Landsat análisis visual de imágenes obtenidas del sensor ETM+ satélite Landsat*. Universidad de Valladolid.
- Frediani, J. C. (2016). *La Política de Manejo de la Tierra Vacante en el Gran la Plata, Buenos Aires*. Cuaderno Urbano, Espacio, Cultura y Sociedad. 20: 27–44.
- Galimberti, C. (2018). *Dispersión urbana en relación con los sistemas de movilidad: caso región metropolitana de Rosario*. Revista de Urbanismo. 38: 1-20.
- García-Meléndez, E. (2007). *Módulo VII: Sistemas de Información Geográfica y Teledetección, análisis visual de imágenes*. Universidad de León.
- Gudmundsson, A. y Mohajeri, N. (2013). *Entropy and order in urban street networks*. Scientific Reports: 1–8.
- Gutiérrez-Sánchez, V. M. (2010). *Las políticas del desarrollo urbano: el caso de las urbanizaciones cerradas en San Luis Potosí*. Colegio de San Luis, A.C.
- H. Ayuntamiento del Municipio de Durango. (2006). *Programa de Desarrollo Urbano de Durango 2020*: 1–113.

- H. Ayuntamiento del Municipio de Durango. *Programa de Desarrollo Urbano Centro de Población Victoria de Durango 2025*. (2016).
- Hall-Beyer, M. (2005). *GLCM Texture: a Tutorial*. International Journal of Remote Sensing. 38: 1312–1338.
- Hernández-Ramírez, C. I. (2015). *Dinámica Del Crecimiento Urbano De La Zona Metropolitana Zacatecas – Guadalupe: Cambio De Uso De Suelo Y Simulación De Escenarios*. CIIDIR-IPN unidad Durango.
- Lambin, E. F., Turner, B. L., Geist, H. J., Agbola, S. B., Angelsen, A., Folke, C. y Xu, J. (2001). *The causes of land-use and land-cover change : moving beyond the myths*. *Global Environmental Change*. 11: 261–269.
- Lavado, J. C. (2015). *Evaluación de Autocorrelación Espacial Global y Local para Zonas de Transito*. Rede Ibero-Americana de Estudo Em Polos Geradores de Viagens - Red PGV / Brasil RESUMEN. 14.
- Leal, A. (2006). *Segmentación de Imágenes por Textura*.
- López, C. y Veiga, M. (2002). *Teoría de la Información y Codificación*.
- Lozano, G. O. (2005). *La reforma al artículo 27 constitucional y la incorporación de las tierras ejidales al mercado legal de suelo urbano en México*. Scripta Nova. 9.
- Lucero, P. I. y Gordziejczuk, M. A. (2018). *Turismo y calidad de vida : un estudio de autocorrelación espacial aplicado a la ciudad de Mar del Plata , provincia de Buenos Aires , Argentina Tourism and Quality of Life : A Spatial Autocorrelation Study Applied to the City of Mar del Plata , Province*. Cuadernos de Geografía - Revista Colombiana de Geografía. 28: 23–42.
- Martori, J. C. y Hoberg, K. (2016). *Población inmigrante y espacio urbano. Indicadores de segregación y pautas de localización*. EURE (Latin American Journal of Urban and Regional Studies). 32: 49–62.
- MINAM, M. (2014). *Documento metodológico para evaluar la precisión de la clasificación*: 1–8.
- Moreno-Flores, O. (2007). *Universidad Central Facultad De Arquitectura, Urbanismo Y Paisaje. Diseño Urbano y Paisaje*. 11: 14.
- Nogués, S. y Salas-Olmedo, H. (2009). *Modelos de crecimiento urbano. estrategias de planificación y sostenibilidad en Cantabria*: 25–36.

- OECD. (2015). *Estudios de políticas urbanas de la OCDE. México. Transformando la política urbana y el financiamiento de la vivienda.*
- ONUREDD. (2016). *Informe final de evaluación de exactitud temática del mapa de cobertura forestal y cambio de uso de la tierra para los años 2000, 2005 y 2011.*
- Ornés, S. (2009). *El urbanismo, la planificación urbana y el ordenamiento territorial desde la perspectiva del derecho urbanístico venezolano.* Revista Politeia. 42: 197–225.
- Ornés Vásquez, S. (2014). *La gestión urbana sostenible: conceptos, rol del gobierno local y vinculación con el marketing urbano.* Sustainable Urban Management: Concepts, Role of Local Government and Relationship with City Marketing. 31: 147–171.
- Programa Nacional de Desarrollo Urbano 2014-2018. (2014). *Programa Nacional de Desarrollo Urbano 2014-2018.* Diario Oficial de La Federación, DOF:30/04/2014.
- Quintero, N. R. (2008). *Visión socioambiental de la gestión del agua en la ciudad de durango en los últimos treinta años.*
- Ramirez, L. y Falcón, V. (2015). *Autocorrelación Espacial: Analogías y diferencias entre el índice de Moran y el índice de Getis y Ord. Aplicaciones con indicadores de acceso al agua en el norte argentino.*
- Ramírez Velázquez, B. R. (2003). *La vieja agricultura y la nueva ruralidad: enfoques y categorías desde el urbanismo y la sociología rural.* Sociológica. 18: 49–71.
- Real Academia Española. (2019). *Diccionario de la lengua española.* Consultado el 26-09-2019 en <http://dle.rae.es>
- Ruiz, A. (2011). *Comportamiento Y Análisis De Descriptores De Texturas En Imágenes MODIS.* 10.
- Ruiz, J., Fariña, J., Sánchez de Madariaga, I., Morales, Á. y Benabent, M. (2002). *Orden, desorden y entropía en la construcción de la ciudad.* DUO. 7.
- Sánchez-Muñoz, J. (2016). *Análisis de Calidad Cartográfica mediante el estudio de la Matriz de Confusión.* Pensamiento Matemático. 6: 9–26.
- SEDESOL. (2010). *Estructura del Sistema Normativo. Sistema Normativo de Equipamiento Urbano.* Consultado el 30-08-2017 en <http://www.inapam.gob.mx/work/models/SEDESOL/Resource/1592/1/images/Est>

ructura.pdf

SEMARNAT. (2012). *Informe de la situación del medio ambiente en Mexico. In 2013.*

Siqueiros-beltrones, D. (2015). Ensayos en filosofía científica. Consultado el 20-09-2017 en

https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_12eng/pdf/Informe_2012.pdf

Wilson, E. H., Hurd, J. D., Civco, D. L., Prisloe, M. P. y Arnold, C. (2003). *Development of a geospatial model to quantify, describe and map urban growth.* Remote Sensing of Environment. 86: 275–285.

Yeh, A. G. y Xia, L. (2001). *Measurement and Monitoring of Urban Sprawl in a Rapidly Growing Region Using Entropy.* Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 67: 83–90.

XI. ANEXOS

Análisis de autocorrelación espacial en la ciudad de Victoria de Durango en 1990 con el programa ArcGIS.

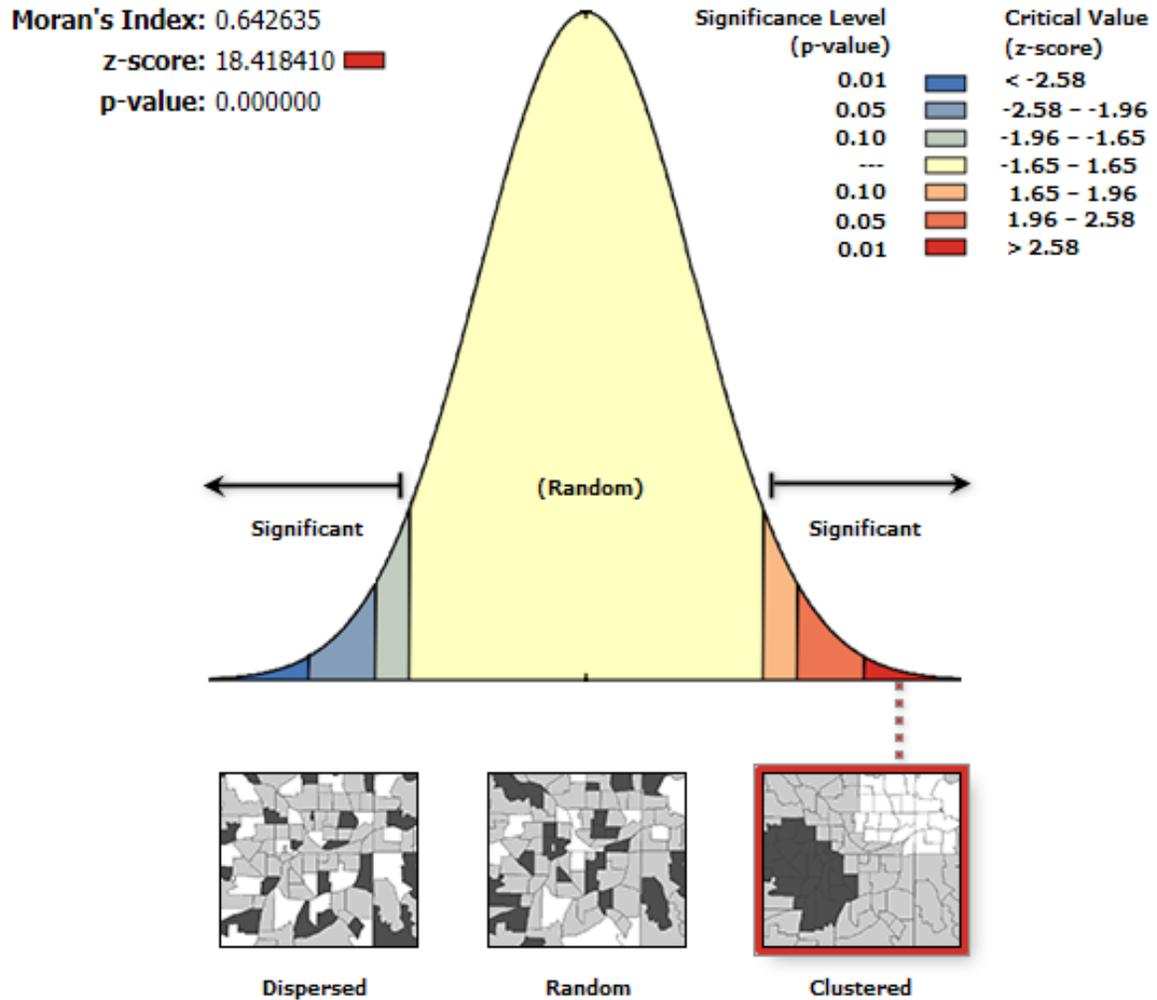


Figura 26 Índice de Moran 1990

Análisis de tendencia a los valores altos o bajos en la ciudad de Victoria de Durango en 1990.

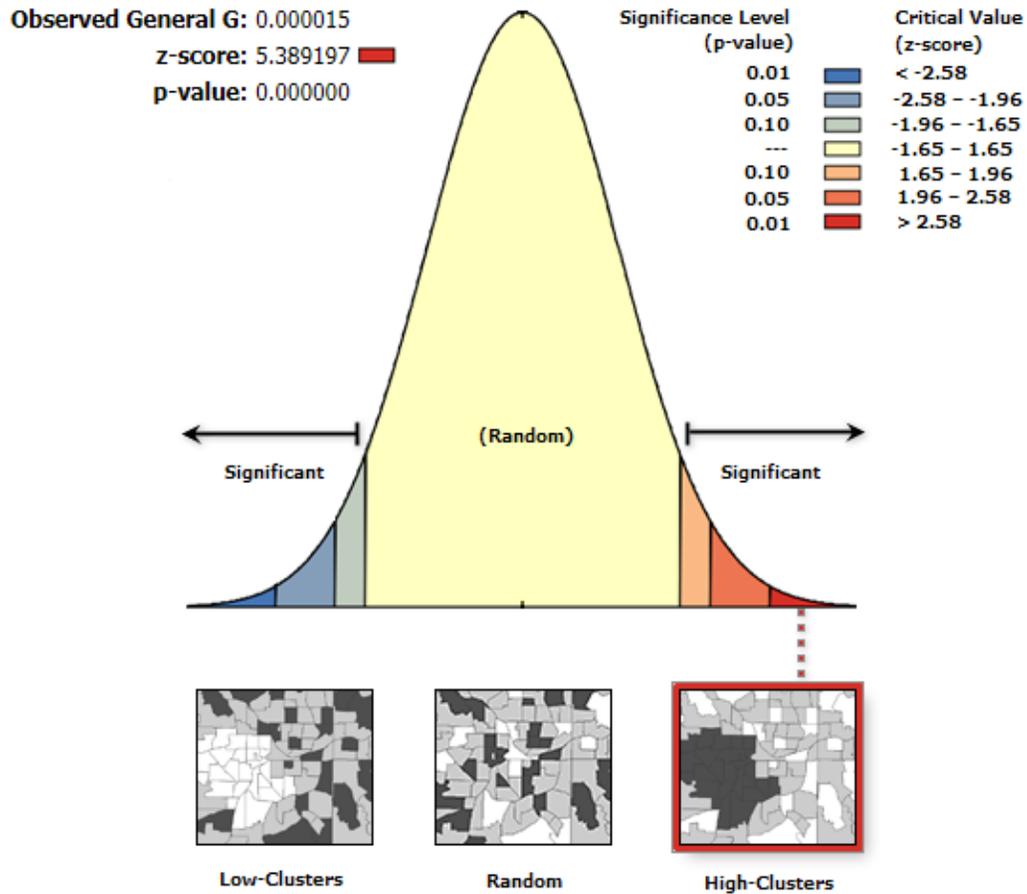


Figura 27 High/Low Clustering 1990

Análisis de autocorrelación espacial en la ciudad de Victoria de Durango en 2000 con el programa ArcGIS.

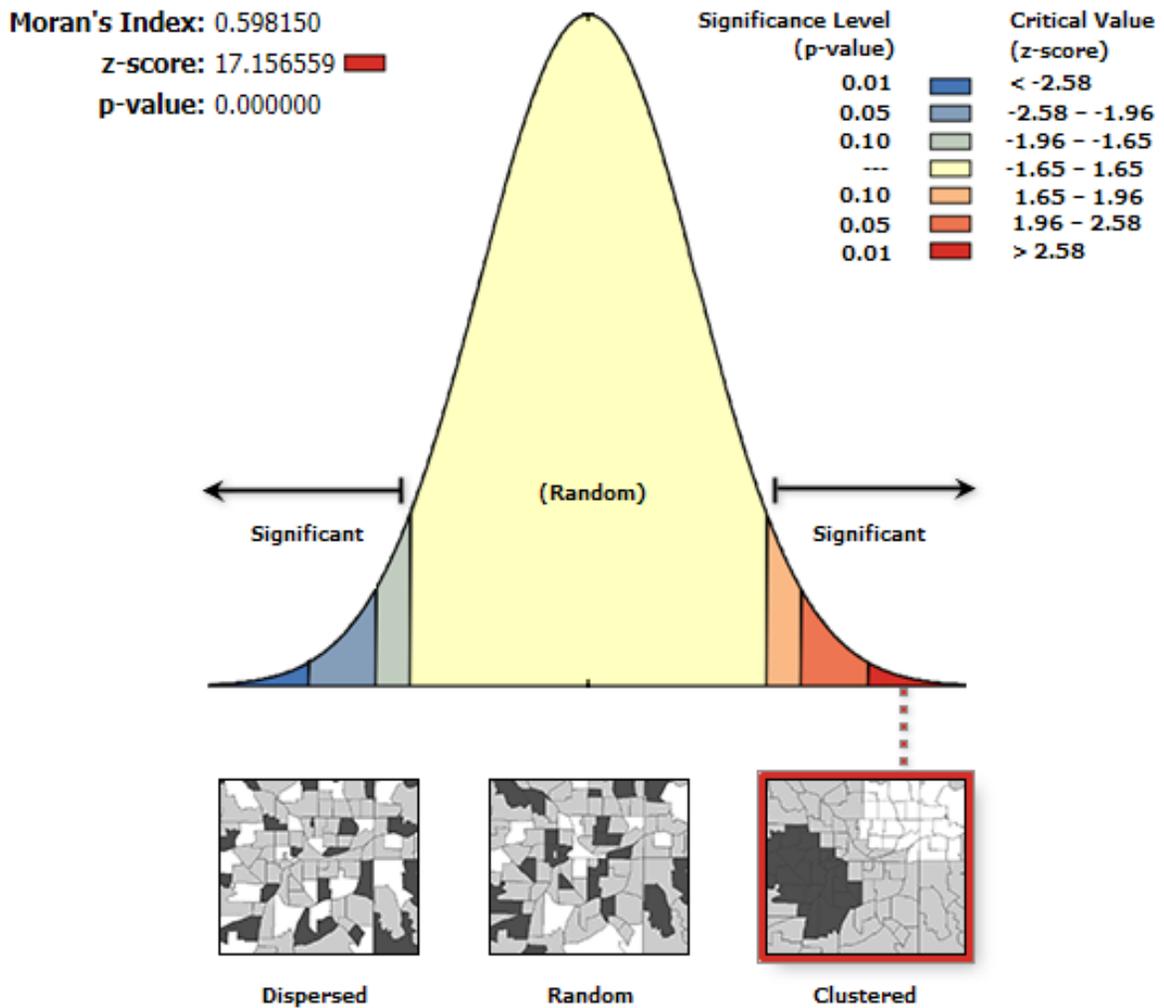


Figura 28 Índice de Moran 2000

Análisis de tendencia a los valores altos o bajos en la ciudad de Victoria de Durango en 2000.

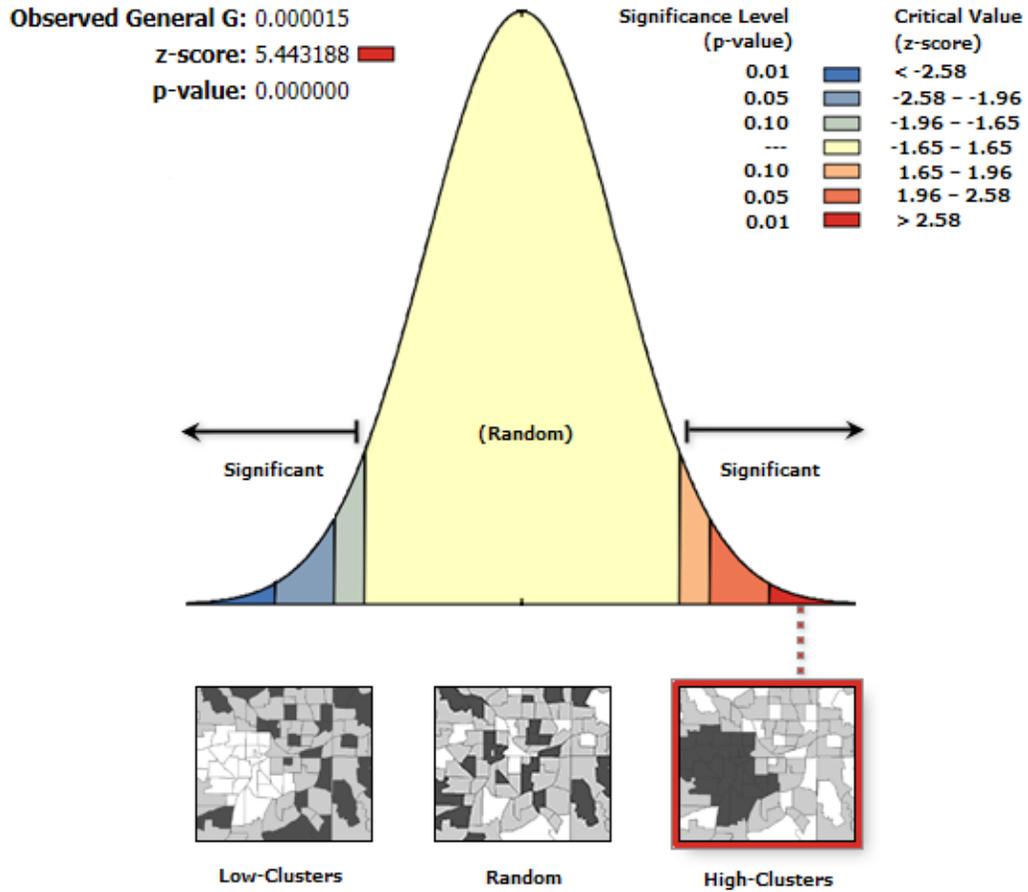


Figura 29 High/Low Clustering 2000

Análisis de autocorrelación espacial en la ciudad de Victoria de Durango en 2010 con el programa ArcGIS.

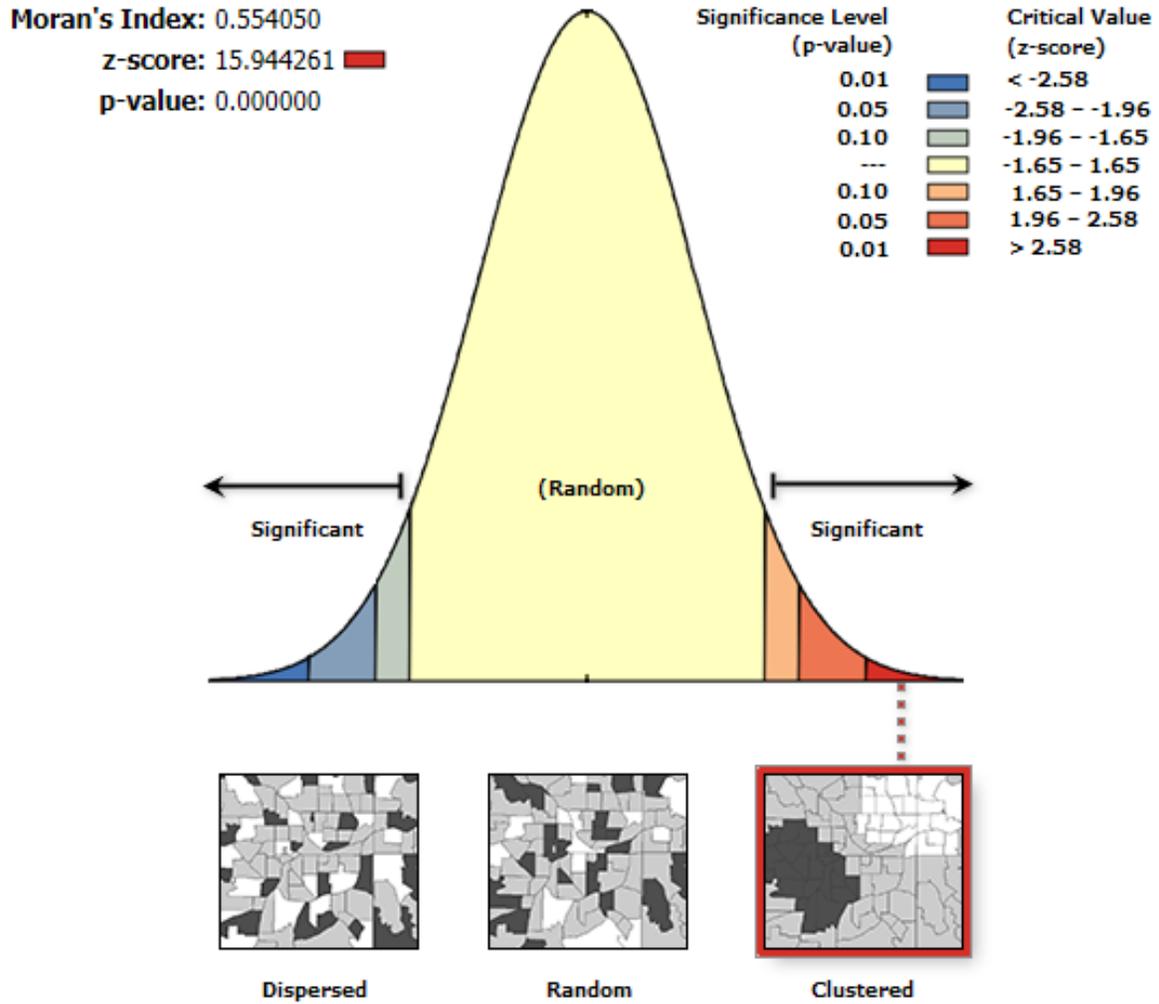


Figura 30 Índice de Moran 2010

Análisis de tendencia a los valores altos o bajos en la ciudad de Victoria de Durango en 2010.

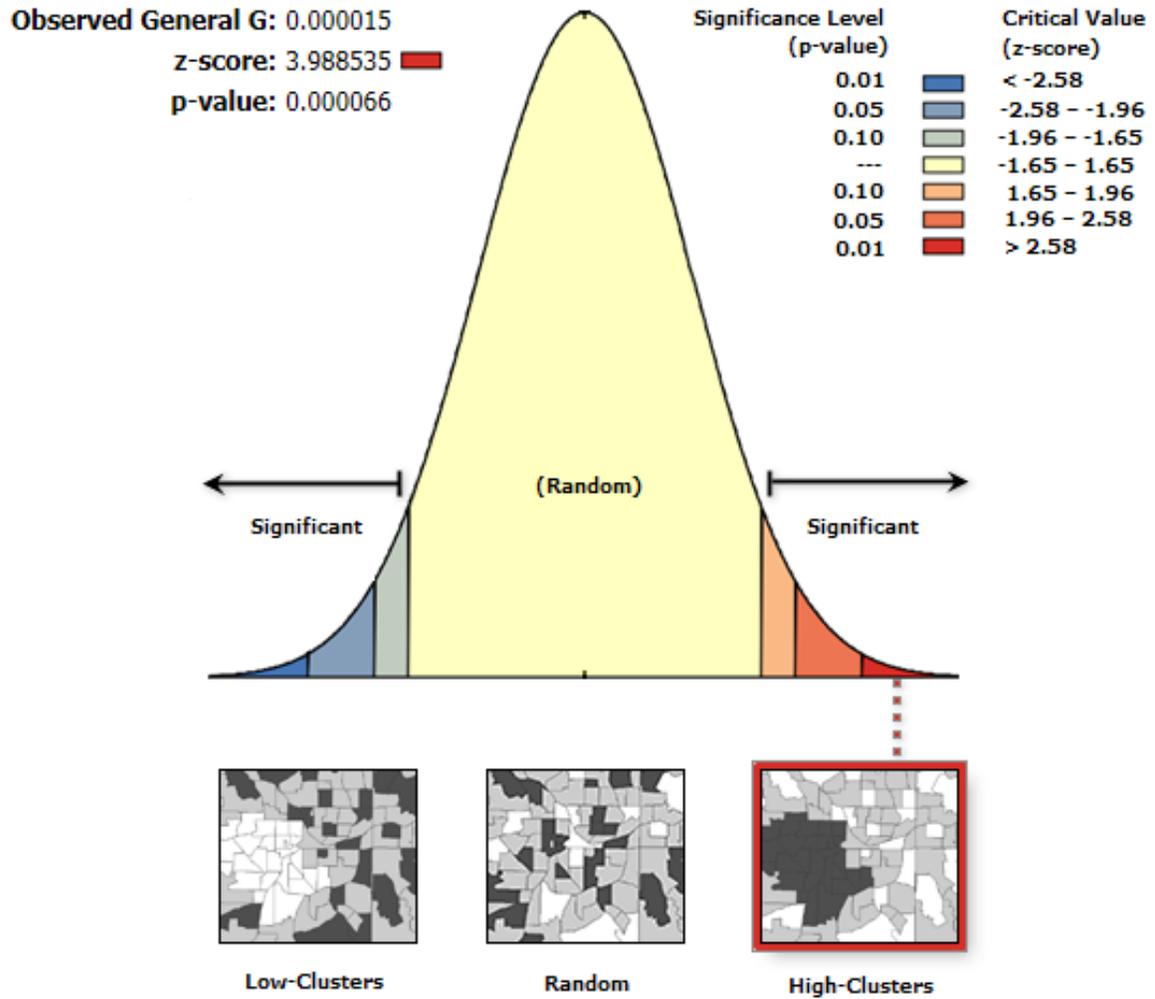


Figura 31 High/Low Clustering 2010

Análisis de autocorrelación espacial en la ciudad de Victoria de Durango en 2018 con el programa ArcGIS.

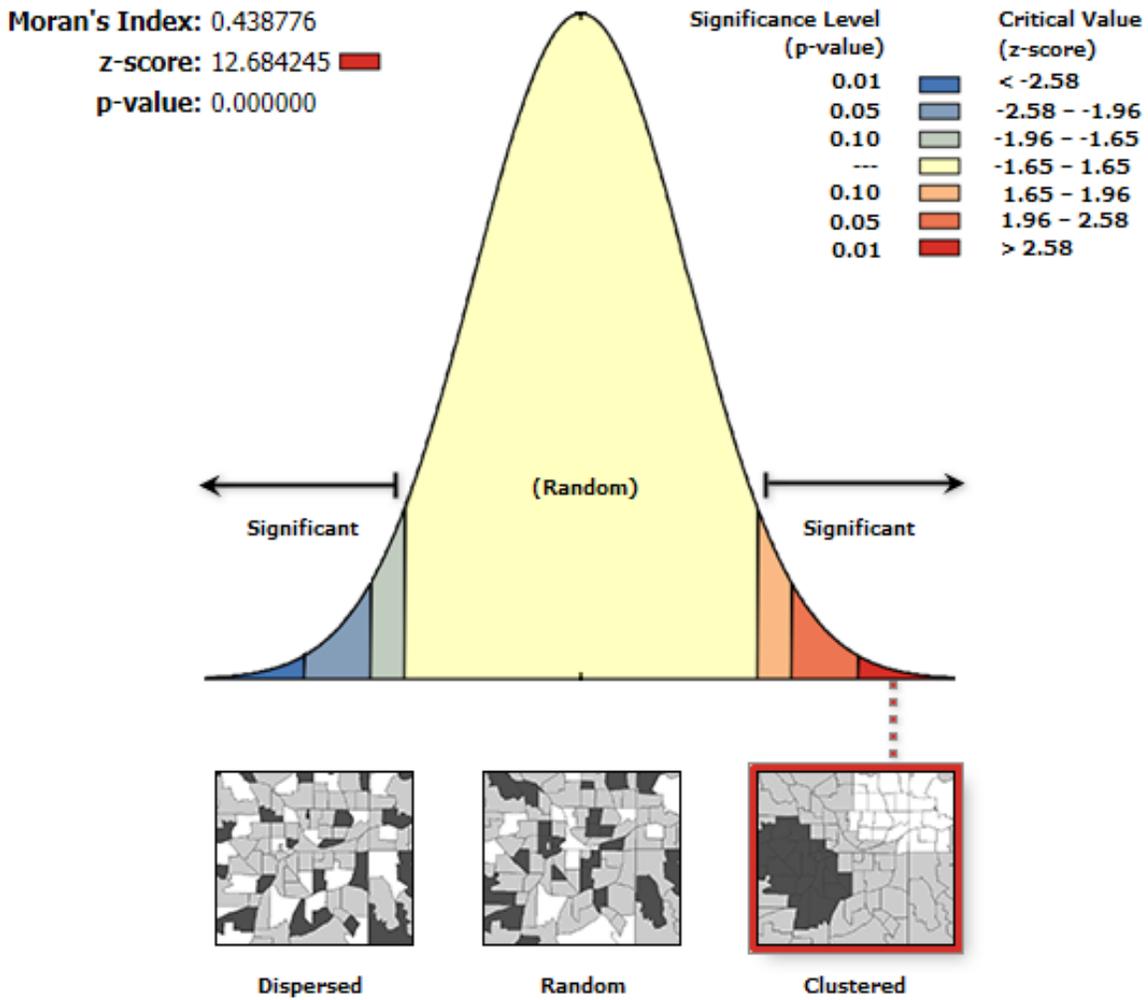


Figura 32 Índice de Moran 2018

Análisis de tendencia a los valores altos o bajos en la ciudad de Victoria de Durango en 2018.

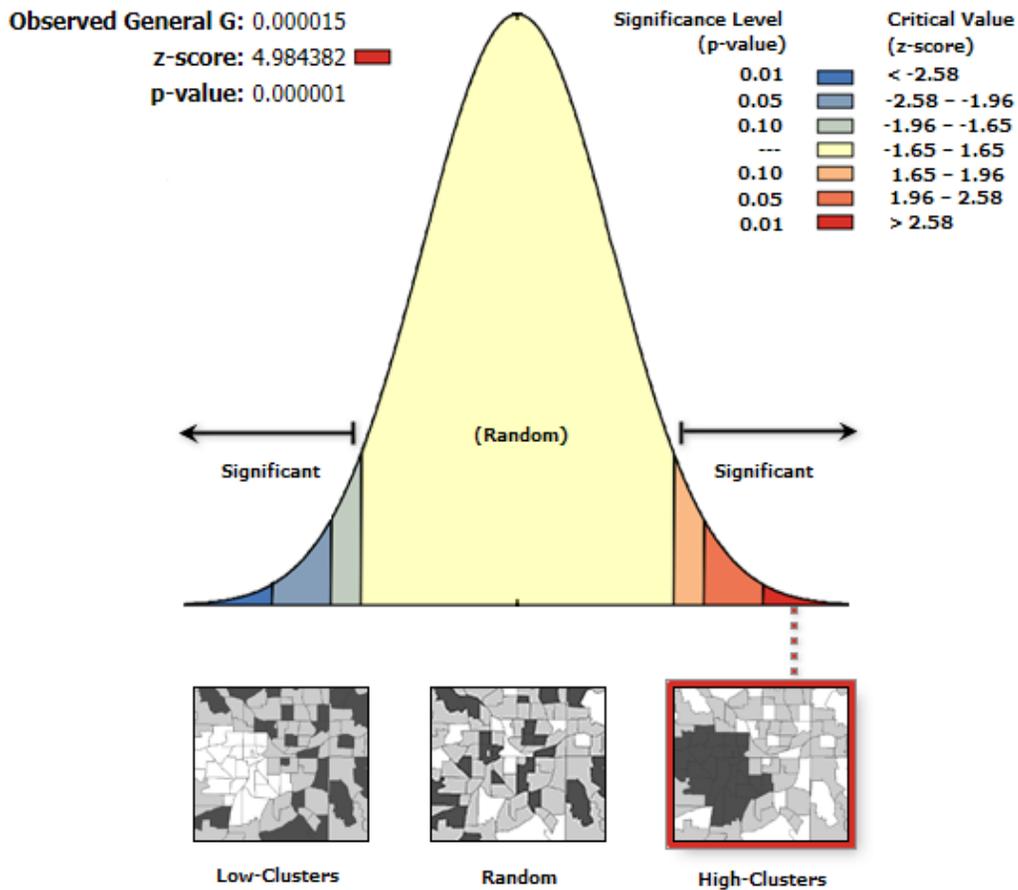


Figura 33 High/Low Clustering 2018