



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
DEL ESTADO DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE PLANEACIÓN URBANA Y REGIONAL**

**MAESTRÍA EN ESTUDIOS DE LA CIUDAD**

**EXPANSIÓN URBANA, DESARROLLO INDUSTRIAL Y  
TRANSFORMACIONES TERRITORIALES EN LA ZONA  
METROPOLITANA DE TULA, HIDALGO**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRA EN ESTUDIOS DE LA CIUDAD**

**PRESENTA**

**CECILIA GONZÁLEZ FLORES**

**TUTOR ACADÉMICO**

**DR. HÉCTOR CAMPOS ALANÍS**

**TUTORES ADJUNTOS**

**DR. PEDRO LEOBARDO JIMÉNEZ SÁNCHEZ**

**DR. CARLOS ALBERTO PÉREZ RAMÍREZ**



**TOLUCA, MÉXICO**

**NOVIEMBRE, 2025**



El programa de Maestría en Estudios de la Ciudad impartido en la Facultad de Planeación Urbana y Regional de la Universidad Autónoma del Estado de México, está inscrito en el Sistema Nacional de Posgrados (SNP) de la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI).

## **Contenido**

<b>Resumen .....</b>	<b>6</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>7</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>8</b>
<b>1. Diseño de la investigación .....</b>	<b>10</b>
1.1 Antecedentes .....	10
1.2 Planteamiento del problema .....	12
1.3 Pregunta de investigación.....	14
1.4 Hipótesis.....	15
1.5 Objetivos .....	15
1.5.1 Objetivo general.....	15
1.5.2 Objetivos específicos .....	15
1.6 Justificación.....	16
<b>2. Referentes teóricos y conceptuales sobre la localización, espacio, expansión y transformación territorial.....</b>	<b>18</b>
2.1 Posturas teóricas para la localización.....	18
2.1.1 Teoría de localización de Von Thunen (1826) .....	18
2.1.2 Teoría de localización industrial de Alfred Weber (1909). .....	19
2.1.3 Teoría de localización de Alfred Marshall (1919).....	21
2.1.4 Teoría del lugar central de Christaller (1933) y A. Lösch(1938) .....	23
2.1.5 Economías de aglomeración .....	25
2.2 Configuración del espacio, territorio y expansión urbana e industrial.....	27
2.2.1 Producción social del espacio .....	27
2.2.2 Territorio .....	29
2.2.3 Expansión urbana.....	32
2.2.4 Desarrollo y expansión industrial .....	34
2.3 Transformación territorial .....	36
2.3.1 Enfoques para el análisis de la transformación territorial.....	36
2.3.2 Cambio de uso de suelo .....	38
<b>3. Referentes empíricos sobre expansión urbana .....</b>	<b>41</b>
3.1 Contexto Internacional .....	41
3.1.1 Santa Rosa, Argentina.....	41

3.1.2 Córdoba, Argentina.....	42
2.1.3. Valle del Cauca, Colombia .....	43
3.1.4 Caso de estudio comparativo entre Europa y Santiago de Chile .....	44
3.2 Casos de estudio en México .....	45
3.2.1 Expansión urbana en México.....	46
3.2.2 Ciudad de México .....	47
3.2.3 Ciudad Juárez, Chihuahua .....	48
3.2.4 Tampico-Madero-Altamira del Sur, Tamaulipas.....	49
3.3 Aportes metodológicos de los casos de estudio .....	50
<b>4. Metodología de la investigación .....</b>	<b>52</b>
4.1 Etapa procedimental.....	52
4.2 Dimensiones, variables e indicadores .....	54
4.3 Sistemas de Información Geográfica .....	55
4.4 Tratamiento de información cartográfica.....	56
<b>5. Caracterización de la Zona Metropolitana de Tula, Hidalgo (ZMTu).....</b>	<b>65</b>
5.1 Aspectos físicos.....	65
5.1.1 Localización geográfica .....	66
5.1.2 Características del suelo.....	67
5.1.3 Situación hidrológica .....	71
5.2 Antecedentes históricos y conformación de la ZMTu .....	75
5.2.1 Trayectoria de las actividades industriales en la zona de estudio.....	75
5.2.2 Conformación de la Zona Metropolitana de Tula (ZMTu).....	78
5.3 Características sociodemográficas .....	80
5.3.1 Crecimiento de la población .....	80
5.3.2 Estructura de la población.....	85
5.4 Características socioeconómicas .....	91
5.5 Afectaciones ambientales: calidad del aire .....	94
<b>6. Resultados: análisis del desarrollo industrial, expansión urbana y transformaciones territoriales en la ZMTu .....</b>	<b>100</b>
6.1 Desarrollo industrial en la ZMTu 1970-2020 .....	100
6.2 Análisis de los indicadores de expansión urbana .....	104
6.2.1 Tendencia de crecimiento urbano de la ZMTu.....	104
6.2.2 Grado de urbanización .....	107

6.3 Proyección de población .....	111
6.4 Transformación territorial a partir de los cambios de usos de suelo .....	116
<b>7. Conclusiones.....</b>	<b>122</b>
<b>8. Referencias .....</b>	<b>129</b>

## **Resumen**

Los estudios de expansión urbana buscan mostrar tendencias de crecimiento y dinámicas de las ciudades, sobre todo por el incremento de población, que hace necesario realizar estos estudios para la planificación y toma de decisiones hacia la población futura. La presente investigación se centra en el análisis del proceso de expansión urbana en la Zona Metropolitana de Tula, Hidalgo del periodo de 1970 al 2020 a partir del desarrollo industrial, considerando también las transformaciones en el territorio surgidos en el área de estudio, mediante una metodología basada en el uso de los sistemas de información geográfica y el uso de imágenes satelitales, clasificando los usos de suelo para obtener los cambios de crecimiento, incluyendo el análisis demográfico, económico y social, de tipo explicativo, con técnicas cuantitativas y cualitativas. Los resultados respecto al cambio de uso de suelo presentan un crecimiento urbano en la ZMTu, esta medición se realizó entre año 1985 y 2020 que reflejó cambios en el territorio hacia el sur de la ZMTu, con un crecimiento de área urbana en Atotonilco de Tula, así como el aumento de su población en la última década, modificando la categoría de zona metropolitana. Se concluye que, este incremento urbano y de población se debe a dos factores: la industria establecida en el territorio y la cercanía hacia el Estado de México y la Ciudad de México.

**Palabras clave:** expansión urbana, desarrollo industrial, cambio de uso de suelo, sistemas de información geográfica.

## **Abstract**

Urban sprawl studies look to show growth trends and cities' dynamics. Population growth is significant based on UN results from 2020 showing that 79% of people in Mexico living in cities (UN,2020). Therefore, it's important to do these kinds of studies for urban planning and those who take decisions about the city thinking in future population. This research is focused on analyzing urban sprawl process the Metropolitan Area of Tula, Hidalgo from 1970 to 2020 based on industrial development. Territory transformations on study area are considered, supported on methodology based on using geographic information systems (GIS) and satellite images, classifying land uses to obtain growth changes that includes demographic, economic and social analysis. This is an explanatory work with a mixed – research using quantitative and qualitative techniques. Results about land use change made in 1985 and 2020 reflected changes on territory towards south of metropolitan area, specifically growth on urban area and population growth of Atotonilco de Tula in the last decade, with consequences about category of metropolitan area.

**Keywords:** urban sprawl, industrial development, land use change, geographic information systems.

## **Introducción**

Los estudios sobre la expansión urbana son extensos y se caracterizan por incluir tendencias de crecimiento para la toma de decisiones para la población futura, ya que este fenómeno implica la transformación del territorio, principalmente en las ciudades que requieren de recursos para los que lo habitan, en este sentido, es importante considerar las tendencias de crecimiento urbano para asegurar la dotación de servicios e infraestructura de la población.

El presente proyecto de investigación tiene la finalidad de realizar un análisis sobre el proceso de la expansión urbana, derivado del vínculo con el establecimiento y desarrollo de las industrias, en la Zona Metropolitana de Tula (ZMTu), en el Estado de Hidalgo. Iniciando en el municipio de Tula de Allende con el establecimiento de Cementos Cruz azul en 1881 y Tolteca (1909), derivado de los yacimientos de roca caliza en la región, pero es hasta 1950-1970 que mediante el impulso de la inversión pública y paraestatal (Piedra, 2019), da comienzo al incremento de producción del cemento y con la red ferroviaria comienza la distribución del cemento hacia el norte del país a través de la línea México-Nuevo Laredo, Tamaulipas (De la Mora, 2012). Durante este periodo se constituyen barrios obreros cerca de las industrias como la colonia San Marcos (Cruz, 2011).

Posteriormente en 1974 se construye la Refinería Miguel Hidalgo para atender las necesidades energéticas del Distrito Federal (ahora Ciudad de México) y Estados vecinos que concentraban el 30% de la demanda nacional, además del cierre de la refinería de Azcapotzalco (De la Mora, 2012), donde se adquirieron propiedades ejidales para este proyecto de 749 hectáreas (75% en Atitalaquia y 15% en Tula de Allende) y en 1975 se construye la Termoeléctrica “Francisco Pérez Ríos” para trabajar en conjunto con la Refinería, perteneciente a Petróleos Mexicanos (PEMEX). Por lo que la zona se consolidó como un nodo de desarrollo económico industrial importante para el país, iniciando el proceso de urbanización.

Con el desarrollo industrial en esta región se crea una demanda de población (atracción laboral) hacia las industrias establecidas, iniciando la reconversión de las actividades

económicas primarias hacia el sector industrial entre 1970 a 1990 con el mayor auge de población económicamente activa en el área industrial. En este sentido, comienza el crecimiento urbano, principalmente en las zonas industriales que parten también de las teorías de localización utilizadas para el fundamento de este proyecto.

El contenido del documento se aborda con las teorías de localización que se abordan en el primer apartado que refiere al marco teórico y conceptual, una de las condiciones que se establecen para la actividad industrial son las economías de escala, las cuales inician con las cementeras en conjunto con las caleras para la producción de insumos para la construcción, posteriormente se establecen dos grandes industrias: La Termoeléctrica y la Refinería, uno al lado de otro, con el propósito de trabajar en conjunto suministrándose de los residuos de la refinería hacia la termoeléctrica para la generación de energía eléctrica.

Como explicación del fenómeno de la expansión urbana y de los factores que interesan para esta investigación en el apartado 2, se consideran autores como Lefebvre (2009; 2013), con la producción del espacio teorías de localización, localización industrial, territorio, entre otros.

En el tercer apartado se desarrolla el marco referencial con los antecedentes de casos de estudio internacionales realizados por Pombo, (2017), Cabe y Prada (2022), en Argentina y Cabrera y Moreno, (2014) para el caso de Colombia. A nivel nacional se han desarrollado trabajos por Treviño, (2018), Schteingart y Salazar, (2008), García, (2008) y Batres, (2012) sobre expansión urbana y su impacto en el entorno, en la revisión de los casos de estudio, presentan como instrumentos de medición cambios de uso de suelo y vegetación, así como el crecimiento urbano, mismo que pretende realizarse en esta investigación con

El siguiente apartado de la investigación contiene la metodología, mediante la investigación explicativa, con técnicas cuantitativas y cualitativas, utilizando datos de los Censos de Población y Vivienda de los años 1970 al 2020 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) datos del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas

(DENUE), considerando estos periodos por la accesibilidad de la información, y el auge de las industrias a nivel nacional y en la zona de estudio.

Para la medición del cambio de uso de suelo, se utilizaron imágenes satelitales obtenidas de la plataforma digital *EarthExplorer* del Servicio Geológico de Estados Unidos (*United States Geological Survey USGS*) por sus siglas en inglés. Las imágenes satelitales utilizadas son LANDSAT 4-5, sin embargo, aunque el periodo de estudio es de 1970 a 2020, en el caso de las imágenes LANDSAT iniciaron a partir de 1972, pero para la zona de estudio solo se obtuvo a partir de 1985 al 2020 y con ayuda de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), se obtuvieron tasas de cambio de uso de suelo, clasificados en 6 clases, considerando principalmente del área urbana y de vegetación.

Para la información de variables e indicadores económicos y demográficos se utilizaron los Censos de Población y Vivienda de 1970 a 2020, mismos que sirvieron para determinar el periodo de estudio, el año inicial muestra un incremento de la población, así como de la población económica por sector que se explica en el documento.

## **1. Diseño de la investigación**

### **1.1 Antecedentes**

Para el desarrollo de la investigación, es importante retomar los estudios e investigaciones previas, que se han desarrollado entorno al tema de estudio, considerando las aportaciones de las teorías de localización que surgen en la economía neoclásica para explicar la dinámica espacial de la localización industrial de la ZMTu y la relación con los diferentes factores como las redes de transporte y la obtención de la materia prima de la región de Hidalgo.

El origen de la teoría de localización es de tradición germánica con cuatro representantes: el primero es Von Thunen (1826) que analiza el uso de la renta de la tierra. Después se encuentra la teoría de localización de Alfred Marshall (1890). El tercero es Alfred Weber (1909) que

explica la optimización de la planta respecto al mercado y reducción de costos de transporte. Finalmente, la teoría del lugar central de Walter Christaller (1933) y Losch (1938) basados en las economías de escala y el costo de transporte vinculados a la producción espacial (García, 2010).

Por su parte Camagni (2005) menciona que las economías de escala se basan en la localización urbana de las actividades económicas, desde el principio de accesibilidad generando una “*difusión concentrada*”, a partir de aglomeraciones de dimensión más o menos grande, ubicadas a una distancia unas con otras (Camagni, 2005, p. 25).

Por su parte, Cuervo (2017) menciona al espacio como elemento que impacta en un determinado lugar en función a la oferta y la demanda, pero no son factores determinantes para la concentración de estas actividades, también se consideran la distancia, costo de transporte, y la provisión de bienes y servicios que requiera la industria.

Mientras que Losch (1940) hace una fusión de las teorías de localización y el equilibrio económico espacial, su modelo plantea determinar las condiciones que óptimas de localización, basados en el lugar con máximos beneficios (Burgos, 1993).

Esta teoría general de localización refiere que las industrias prefieren localizarse en grandes ciudades que son las llamadas economías de aglomeración, en sitios con ventajas como redes de transporte cercanos a los recursos primarios, mano de obra de bajo costo y tecnología e innovación. El modelo de Weber de 1909 refiere a que los recursos localizados en un punto cercano al mercado, la ubicación de la planta industrial se relaciona con cuatro factores fundamentales: distancia a los recursos primarios, distancia al mercado (mano de obra barata) y las economías de aglomeración.

Carrillo (1985) refiere que el modelo de localización tradicional es una teoría económica donde el objetivo de las empresas es la maximización de las ganancias en el mercado y la rentabilidad es un factor determinante para la inversión y la decisión de dónde se establecerá

la empresa. De acuerdo con Weber, consideró a la rentabilidad como variable básica como ventaja de la actividad económica y donde el factor de localización determinará a su vez la reducción de costos del transporte.

Sin embargo, a pesar de estas valiosas aportaciones, no se han desarrollado trabajos previos que aborden la expansión urbana y su relación histórica con el desarrollo industrial. En particular para la ZMTu, que presenta características particulares sobre los recursos primarios para la producción industrial, principalmente de cemento, cal y el establecimiento de dos grandes industrias; termoeléctrica y petroquímica, asimismo, la localización de la región respecto a la capital del país es un factor clave del crecimiento urbano de esta zona metropolitana.

## **1.2 Planteamiento del problema**

El desarrollo industrial fue durante el siglo pasado una fuente importante para el desarrollo del sector socioeconómico y con ello mejorar la calidad de vida del ser humano. En el estado de Hidalgo y de manera concreta en el municipio de Tula de Allende, es a partir del establecimiento de las industrias entre 1881 a 1909 que inicia la reconfiguración de las actividades económicas que años más tarde darían paso a la conformación de la ZMTu en torno a la producción cementera y generación de energía eléctrica en conjunto con la refinería para abastecer al centro del país.

La Zona Metropolitana de Tula se decreta como tal a partir del año 2000 y está integrada por cinco municipios (Atitalaquia, Atotonilco de Tula, Tula de Allende, Tlaxcoapan y Tlahuelilpan), siendo el municipio central Tula de Allende, sin embargo, es importante señalar que en todos ellos se aprecia un crecimiento demográfico importante a partir de 1970 a 1980, además de un cambio en cuanto a las actividades económicas predominantes en 1990. Ello se ha traducido en una fuerte presión sobre el territorio y cambios en los usos de suelo

para dar cabida a la nueva población que es atraída por el desarrollo de las actividades económicas.

En este sentido, se identifican tres elementos importantes detonantes de estos cambios, el primero durante la llegada de las cementeras en los municipios de Tula de Allende y Atitalaquia, entre 1808 a 1909, con dos empresas importantes (Tolteca y Cruz Azul), seguido de Atotonilco de Tula con Cementos Fortaleza de reciente creación en 2019.

Las cementeras se encuentran establecidas cerca de las cabeceras municipales; así en Tula de Allende la industria de Cementos Mexicanos (CEMEX) se ubica aproximadamente a 1 kilómetro de la cabecera municipal, y Cementos Cruz Azul presenta una historia respecto a la misma cementera, con la formación de la Ciudad Cooperativa Cruz Azul en el año de 1934, donde la industria durante la visita de campo en 2023 se encuentra rodeada de viviendas abandonadas, las cuales fueron creadas inicialmente para dar alojamiento a sus trabajadores, sin embargo, muestra una consolidación de esta Cooperativa y zonas urbanas (Ballina, 2010).

El segundo y tercer elemento se encuentran vinculados; primero fue la instalación de la Termoeléctrica “Francisco Pérez Ríos” y la Refinería “Miguel Hidalgo” en los años 1974 y 1975 respectivamente. Estas grandes industrias se localizan a 8 km de la Ciudad de Tula de Allende, la primera tiene una capacidad de 2.095GW, en 2015 se registró como la instalación industrial con mayor generación eléctrica a nivel nacional, cuenta con cinco unidades de generación de electricidad de vapor con gas natural y combustóleo (CFE, 2020), por su parte, la Refinería tiene una capacidad de procesar 315,000 barriles diarios (El economista, 2024) y funge como una de las principales abastecedoras del país.

Derivado de lo anterior, es evidente que la actividad industrial establecida en la ZMTu generó transformaciones territoriales importantes entre ellos procesos de urbanización acelerados en las localidades cercanas a las zonas industriales, transformaciones en el paisaje cercano por la extracción de caliza, por mencionar algunos.

Además, el crecimiento demográfico es un factor que incide en el crecimiento de la urbanización. Así de acuerdo con los datos de los Censos de Población y Vivienda (1980 y 2020) en 1970 en los 5 municipios que conformarían para el 2000 la ZMTu, en conjunto albergaban a una población de 72,555 habitantes, mientras que para 2020 cuenta con 256,795 habitantes, ello implica un crecimiento demográfico del 51% en este lapso temporal.

Este fenómeno se dio por diversos factores, entre ellos se consideraron la atracción laboral derivada de la actividad industrial, generando con ello además un proceso de reconversión de las actividades primarias las cuales en 1970 concentraban al, 54.16%, de la PEA ocupada (siendo así el sector más importante en estos municipios), mientras que para 2020 disminuyó a 5.98% (INEGI, 1970 y 2020).

En este sentido, el crecimiento demográfico que experimentaron los cinco municipios que forman parte de la ZMTu<sup>1</sup> a la fecha a consecuencia de la actividad industrial en la zona, ha derivado en la necesidad de disponer de suelo para albergar a esta nueva población, cambios en las actividades económicas de la población y que originaron el proceso de expansión urbana a partir de este desarrollo industrial, originado por la demanda de consumo de energía eléctrica en el país y el crecimiento poblacional, lo que creó la necesidad de trasladar la industria que se ubicaba en el área urbana (Azcapotzalco) hacia las periferias de la ciudad.

### **1.3 Pregunta de investigación**

- ¿Cómo ha sido el proceso de expansión urbana vinculado al establecimiento de las industrias en la Zona Metropolitana de Tula, Hidalgo y cómo ha modificado el territorio?

---

<sup>1</sup> La Zona Metropolitana de Tula se conformó en el año 2000 hasta 2015. En la nueva delimitación se incluyó en la Megalópolis de la Ciudad de México (SEDATU, 2023).

## **1.4 Hipótesis**

- El desarrollo industrial presentado en los 5 municipios que conforman a la ZMTu de 1970 al 2020, ha ocasionado la expansión urbana, modificando el territorio a partir de cambios en los usos de suelo, cambios en las actividades económicas y en consecuencia crecimiento urbano.

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Objetivo general**

- Analizar el proceso de expansión urbana, en relación con las actividades industriales en la Zona Metropolitana de Tula, Hidalgo, con la finalidad de identificar las tendencias de crecimiento urbano y las transformaciones territoriales.

### **1.5.2 Objetivos específicos**

- Elaborar un marco teórico conceptual vinculado a la expansión urbana y las transformaciones territoriales para explicar el comportamiento en la Zona Metropolitana de Tula.
- Realizar el marco referencial de los casos de estudio sobre expansión urbana, industrias y transformaciones territoriales en las ciudades a nivel internacional y nacional.
- Articular una metodología que permita medir y explicar la expansión urbana -y las transformaciones territoriales de la zona de estudio.
- Caracterizar los aspectos físicos, históricos, demográficos, económicos y ambientales que inciden en la expansión urbana y las transformaciones territoriales en la Zona Metropolitana de Tula, para el periodo de 1970 al 2020
- Analizar el desarrollo industrial, expansión urbana y transformaciones territoriales en la ZMTu, considerando indicadores de expansión urbana como tendencias de

crecimiento urbano y grado de urbanización, así como transformación territorial basado en la medición del cambio de uso de suelo.

## **1.6 Justificación**

La expansión urbana en el territorio implica cambios significativos en que están estrechamente relacionados al cambio de uso de suelo, a partir de las dinámicas sociodemográficas, estos aplicados en las ciudades, Los cambios generan un impacto en todas las dimensiones, además de las problemáticas ambientales.

El territorio de los municipios que integran La Zona Metropolitana de Tula era principalmente suelo agrícola (de riego) con producción de legumbres y pastizales para la demanda local a inicios del siglo XIX. Cuando la fábrica *La Tolteca* se establece en 1909 la zona agrícola cambia a zonas habitacionales de los trabajadores en áreas colindantes a la industria, derivando colonias como San Marcos y la del Carmen con los servicios básicos (Cruz, 2011). Los asentamientos formaron parte del patrón de poblamiento de 1940-1950, sin embargo, el crecimiento industrial y de población más significativos inician a partir de 1970, por lo que esta etapa justifica el periodo de estudio.

Por lo anterior, es importante realizar el proyecto de investigación para un análisis temporal que permita vislumbrar la expansión urbana y las transformaciones territoriales en la zona de estudio que afectan en gran medida a la ciudad y a su población, vinculado a los Objetivos de Desarrollo Sostenible 11. Ciudades y comunidades sostenibles, dentro de la meta 11.3. Urbanización inclusiva y sostenible y la 11.b. Aumentar el número de ciudades y asentamientos humanos que adoptan políticas y planes para promover la inclusión y uso eficiente de los recursos, mitigación del cambio climático.

Asimismo, la aportación de este proyecto cuenta con proyecciones de población al 2040 así como la superficie requerida para la población al año mencionado y la tendencia de crecimiento partiendo del análisis espacial del área de estudio.

Se espera que esta investigación sea de relevancia a la línea de investigación del programa de la Maestría en Estudios de la Ciudad de “Ordenamiento Ambiental y Vulnerabilidad Urbana”, que puede retomarse hacia el impacto que genera las actividades urbanas a la dimensión ambiental que se debe ser considerado con mayor fuerza.

## **2. Referentes teóricos y conceptuales sobre la localización, espacio, expansión y transformación territorial**

El presente apartado se centra en la revisión e interpretación de los fundamentos teóricos necesarios para comprender el proceso de expansión urbana a partir de las teorías de localización surgidas del establecimiento de las industrias en el territorio, originando una concentración de la actividad industrial que explican parte del fenómeno de expansión urbana.

La estructura este apartado se divide en tres subtemas, el primero aborda las teorías de localización como base para la explicación de la actividad industrial. La segunda parte refiere a la configuración territorial con la producción social del espacio de Lefebvre (1974), así como el concepto de territorio y el fenómeno de la expansión urbana e industrial. En la última parte se define los conceptos de transformación territorial y cambio de uso de suelo, que forma parte de los soportes teóricos y conceptuales de la investigación, reflexionando sobre el proceso de expansión urbana y la actividad industrial en la ZMTu.

### **2.1 Posturas teóricas para la localización**

#### **2.1.1 Teoría de localización de Von Thunen (1826)**

Von Thunen fue uno de los primeros teóricos de las actividades agrícolas, se basó en formular cómo inciden los precios de los productos agrícolas y las variaciones de los precios de acuerdo con la organización de los espacios agrícolas. Creó el primer modelo de orden espacial racional para la agricultura, el objeto de estudio es la transformación espacial del sistema agrícola cerrado a uno abierto o de mercado. (García, 1976).

El modelo propuesto por Von Thunen esquematiza en función de la distancia, la distribución espacial agrícola producida a partir de los costos de transporte creando un modelo de círculos concéntricos que entre más cerca estén del centro las rentas serán más elevadas, por el contrario, a medida que se alejan del centro el costo se minimiza. (García, 1976)

Su modelo teórico está basado en el concepto de la renta económica desde la perspectiva de la agricultura, que obtiene el máximo beneficio de sus tierras porque eligen ciertos usos de suelo, donde esta rentabilidad se relaciona con el transporte y el costo, considerando los siguientes términos:

- a) El estado aislado constituido por una sola ciudad y su área de influencia agraria.
- b) El estado aislado es un espacio con medio físico homogéneo.
- c) Existe un solo medio de transporte y los costos son proporcionales a la distancia.
- d) El espacio de cada agricultor se reparte de manera homogénea (Segrelles, *et.al.*, 2013)

Es decir, este modelo de localización está en función de la existencia de equidad en espacio y costos de transporte, siendo como principal premisa el estado aislado y la actividad agrícola.

Si bien, el modelo de Thunen resalta como pionero de las teorías de localización y por incluir aspectos territoriales (localización) y económicos (costos) como parte de sus planteamientos, en el caso de la ZMTu, las condiciones no son similares a este modelo, en virtud de que este planteamiento se enfocó en el sector agrícola, además de que elementos como la equidad entre el espacio y costo de transporte no está presente en la zona de estudio. Sin embargo, es de reconocer que, efectivamente el sector industrial predominó para el desarrollo de la misma región.

### **2.1.2 Teoría de localización industrial de Alfred Weber (1909).**

En esta misma línea relacionada con la localización como elemento detonante de las actividades económicas Alfred Weber considerado el “padre de la teoría de localización industrial”, supone que el empresario se basa en la elección de una localización óptima, a partir de la consideración de minimizar los costos de producción y la minimización de costes en el transporte (Burgos, 1993).

Así, Weber estudió la estructura de la localización industrial, tomando en consideración la rentabilidad como base inicial y el factor de localización como ventaja de una actividad económica realizada en un punto geográfico. Por lo que este factor de localización tiene la ventaja para producir un producto determinado en un lugar específico, reduciendo los costos de transporte.

De acuerdo con Walker y Stroper (1986), al incorporar los factores de localización que pueden ser regionales o de aglomeración, también es posible reconocer la relevancia del ambiente natural dentro de este planteamiento teórico, considerando:

- a) Factor de localización regional: estos ejercen su influencia mediante un diferencial geográfico de costo en las materias primas, de transporte y en la mano de obra, estos inciden la distribución regional de la industria con el costo regional *natural* de los insumos.
- b) Factor de localización de aglomeración: estos aparecen en condiciones de concentración industrial, permitiendo el uso de insumos secundarios a precios más bajos que en otro lugar.

Weber de acuerdo con Segrelles (2013) consideró cuatro condiciones de la localización industrial: 1) que el espacio debe ser uniforme desde la perspectiva topográfica y climática; 2) que las materias empleadas son esporádicas (localizadas en lugares fijos) o dispersas; 3) se considera fija la ubicación de los centros de consumo o de mercado y; 4) la necesidad de transporte, materias primas o productos finalizados se valora por los costos de acuerdo con la distancia y el peso de la mercancía.

Con relación a estos planteamientos, Camagni (2005) refiere que las actividades industriales se introducen de forma externa en los modelos de uso de suelo. Así pues, el modelo de interacción espacial considera a la distancia como principio de interacción y a la accesibilidad como un factor importante, aunque en escalas espaciales reducidas, surgen otros factores

como la distancia de cada zona al centro, densidad demográfica, disponibilidad del suelo en función a la reglamentación, accesibilidad e infraestructuras.

Para Walker y Stroper (1986) la teoría de localización industrial, que tiene como base a la economía neoclásica, que es llamada también la teoría weberiana y tiene un equilibrio parcial que busca la disminución del coste de transporte y maximizar los ingresos. Esta teoría fue realizada por geógrafos industriales que investigan la localización industrial, construyendo modelos basados en ciclos de producción, innovaciones, desequilibrios regionales, la estructura de organización y añadiendo recientemente el aspecto ambiental.

La teoría de localización industrial se centra en demostrar que las áreas de venta, tienen limitaciones que a su vez afectan a la empresa, por lo que ambos están condicionados por la localización además de que influye la innovación. Un factor importante de esta teoría en sus inicios, lo eran los costes de transporte, por ello la ubicación más cercana debe ser a las redes de transporte y se representa con un “triángulo óptimo de localización” que sirve para explicar las decisiones de la localización de las industrias (Cabrera y Moreno, 2014).

En el caso del Estado de Hidalgo, los factores de la localización aplican el factor de cercanía al centro del país como principal mercado de productos y servicios y con ello a la zona urbana de mayor tamaño, la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), entidad donde convergen y se concentran las redes de comunicación y transporte de mayor desarrollo a nivel nacional, por lo que se considera como un espacio ampliamente comunicado, donde las plantas industriales de cemento se ubican cerca de los recursos de caliza, materia prima para elaborar el cemento y otros materiales destinados a la construcción, por lo que tiene una localización privilegiada para estas actividades

### **2.1.3 Teoría de localización de Alfred Marshall (1919)**

Esta teoría es llamada como “distritos industriales” por Alfred Marshall a finales del siglo XIX, notando una similitud en los conjuntos de empresas de un mismo sector en un área de

ambiente industrial, que además cuenta con la capacidad de impulsar y sostener el industrial local vinculado al comportamiento de economías externas (Carreto,2013).

Este sistema de producción crea las bases para explicar los motivos por los que las empresas se establecen en aglomeraciones dentro de los distritos industriales, que son formas de producción localizadas geográficamente partiendo de conocimientos locales (Carreto, 2013). Marshall visualizaba estos distritos como aglomeraciones industriales, pero a la vez agregó el concepto de Adam Smith sobre la división del trabajo y donde una característica importante es el funcionamiento de la producción social del espacio de Lefebvre, en el cual la sociedad realiza comportamientos repetitivos, rutinarios con algunos nuevos o innovadores que permiten crear líneas de innovación (Becattini, 2002).

Otra de las aportaciones de esta teoría, es el análisis de los factores que intervienen en la localización de las actividades productivas, considerando el tamaño del mercado y la especialización de la industria que con el paso del tiempo configura el territorio.

Para esta explicación Marshall se basó en el concepto de economías externas, donde se describe que, en un territorio, se debe ofrecer un mercado continuo de mano de obra especializada, además de ofertar los insumos necesarios para el proceso de obtención del producto, manifestados en una industria de carácter local. Este territorio debe adquirir ventajas por parte del mercado global, derivado de la disponibilidad de los recursos, reducción de costos de en el proceso de obtención del producto y transporte (Callejón, y Costa, 1995).

La teoría de distritos industriales de Marshall, establece las bases de la localización de conglomerados industriales de la misma rama, en este sentido, la agrupación de industrias cementeras y caleras en la ZMTu, se estableció en esa zona debido a que ofrece los insumos para la fabricación de cementos y otros derivados, aunque no se consideró como parte esencial, ofrecer la mano de obra especializada que se cubrió con población externa para

cubrir esas necesidades de las empresas, además este proceso industrial refiere que con el paso del tiempo el territorio se configura.

Este proceso de configuración en el territorio de la ZMTu, presentó un proceso paulatino con transiciones que se pueden considerar en tres tiempos; el primero con el proceso de reconversión de las actividades económicas; seguido de la atracción laborar durante el periodo de mayor crecimiento industrial en el país y tercero; con una disminución de población ocupada en el sector industrial e incluso ralentizado por la llegada de la globalización, mayor ocupación y sustitución de mano de obra por las nuevas tecnologías.

#### **2.1.4 Teoría del lugar central de Christaller (1933) y A. Lösch(1938)**

Para 1933, el geógrafo alemán Walter Christaller publicó la Teoría del Lugar Central (TLC), partiendo de las posturas de Von Thunen y Weber, viendo la distribución de empresas y el mercado como una concentración homogénea en el espacio, además de la concentración de dichas empresas que sean compatibles hacia el mercado. La teoría del lugar central ayudó a la explicación de la interacción entre el desarrollo urbano y la ubicación de los asentamientos humanos para optimizar los centros de distribución de los servicios. (Hernández-Aragón, 2007).

Aunque Christaller admite que existen ciertas restricciones por el modelo isotrópico considerando factores de renta, transporte, densidad de población entre otros, algunos autores refieren este modelo como un espacio idealizado y difícil de llevar a cabo en el territorio, ya que se requiere ciertas condiciones homogéneas que difícilmente se pueden llevar a cabo por la topografía del territorio (Fernández, 1985).

Los criterios que utiliza el modelo de la TLC presentan una similitud con la teoría de Thunen, que se mencionan a continuación:

- Un espacio isotrópico, plano e ilimitado (se considera un espacio idealizado).

- Solo existe un tipo de transporte.
- El transporte es lineal.
- Todos los consumidores tienen un conocimiento perfecto y son racionales.
- Existe homogeneidad en los ingresos de la población y en preferencias (Mesquida, 2020).

Otro de los autores de la teoría de localización fue August Lösch con el modelo de la “teoría económica espacial” en 1938, que busca un equilibrio espacial en su modelo, mientras que Weber sentó las normas de localización para la empresa. (Burgos, 1993). Entre años 1934 a 1939 Lösch dedicó el tiempo para la creación de este modelo, que parte de las teorías de localización tradicionales, pero implementando los círculos concéntricos de Von Thunen. Lösch fue el primero en presentar un sistema de equilibrio general completo y el desarrollo de la dinámica de las localizaciones (Matarrese, 1969).

Si bien, este modelo contiene ciertos elementos y criterios expuestos por los anteriores autores de las teorías de localización, también se puede mencionar que Lösch precede de la TLC, centrandó su estudio completamente en la microeconomía agregando la demanda individual del consumidor con relación al costo de localización.

El equilibrio parcial hace referencia al supuesto que, a mayor distancia aumenta el precio del producto, haciendo que la empresa produzca menos (Mesquida, 2020), estos supuestos se vinculan a la interrelación real en un espacio determinado donde a mayor distancia el costo de transporte agrega un valor mayor a medida que la distancia aumenta. Sin embargo, se debe mencionar que este modelo es completamente económico y no representa la interacción con la zona de estudio.

De esta forma, al menos dos principales teorías aportan sustento de elementos y factores para la investigación, la primera es la teoría de Weber por sus 4 factores: distancia a los recursos (materia prima), distancia al mercado, costo a la mano de obra y costo de transporte. La segunda teoría es la de Marshall con los “distritos industriales” ya que la ZMTu puede ser

considerada como un conglomerado industrial entre varios elementos, donde se establecen industrias similares y que presentan relación entre ellos conforme a las capacidades, insumos y procesos para la producción, en este caso de los materiales de construcción. La generación de energía eléctrica y procesamiento de coque para el petróleo.

### **2.1.5 Economías de aglomeración**

Como parte de las teorías de localización, se encuentran las llamadas economías de aglomeración, que permiten comprender la dinámica y funcionalidad de las zonas industriales. Uno de los principales autores para la descripción del concepto es Camagni (2005), que las define como industrias conglomeradas en un espacio definido por las características específicas para la obtención de ciertos insumos y la localización que permiten una dinámica industrial conforme a la dotación de insumos, mano de obra y transporte hacia el mercado.

Para la industria, se abordan desde la economía neoclásica el equilibrio económico espacial de Lösch por medio de dos elementos: las economías de escala y los costos de transporte, de los cuales puede dar el surgimiento de las aglomeraciones y puede desarrollarse en la ausencia de características geográficas como el caso de un yacimiento minero, se explican la economía de la ciudad, pero no la lógica del sistema (Camagni, 2005) y se clasifican en:

- *Economías internas a la empresa.* Las economías de escala productiva, distributiva y financiera, de las que se da la concentración espacial de producción y con los costos de transporte relevantes y de productos homogéneos, presentan una estructura reticular de áreas de mercado sin sobreponerse las unidades productivas, generalmente son representadas por una estructura en panal de áreas hexagonales.
- *Economías externas a la empresa, pero internas a la industria.* También llamadas economías de localización son aquellas donde las ventajas surgen de la localización concentrada de empresas que pertenecen a la misma industria o sector productivo.

- *Economías externas a la empresa y a la industria.* Las ventajas en economías de urbanización son en el ámbito urbano por la infraestructura genérica, donde son utilizadas por todas las industrias que están concentradas en un lugar y donde existe interacción entre las instituciones y diversas actividades (Camagni, 2005).

Las economías de escala permiten tienen un alcance superior al umbral de cada uno de los bienes, por lo que tienen que ser superior a los costos de transporte para que exista una aglomeración (Camagni, 2005).

Un punto que destacar es que las economías de escala son menos evidentes en el sector industrial, pero con una distribución jerárquica evidente de los umbrales mínimos de producción; donde la demanda del consumidor se refleja en los bienes industriales, en ella se sobrepone a las zonas de mercado, no se manifiesta con el mismo nivel para el sector de los servicios (Camagni, 2005).

La presencia de las economías de escala modifica el esquema de la localización, ya que pueden presentarse como nodos o polos de aglomeración, considerando lo anterior, la concentración de las industrias en el caso de Hidalgo, tienen la lógica de economías de aglomeración, en función al modelo de Lösch.

En este apartado se presentó la base teórica sobre la razón de la localización de las industrias en determinados espacios, encontrando los factores y elementos que intervienen como la dinámica y en el caso de la zona de estudio; la concentración de las industrias de cemento, constituye el principal motivo los recursos primarios para la producción de materiales para la construcción, en este sentido, el siguiente apartado describe a la producción del espacio como un lugar modificado y ajustado por la sociedad.

## **2.2 Configuración del espacio, territorio y expansión urbana e industrial**

### **2.2.1 Producción social del espacio**

Una característica de las ciudades en México es el alto consumo de suelo derivado de su crecimiento de forma horizontal, así pues y en virtud de la rápida expansión de la ZMTu es importante reflexionar sobre su uso actual. En este sentido se retoma lo planteado por Henry Lefebvre (1974) quien hace una crítica sobre la cómo se produce el espacio, que a raíz del contexto capitalista la sociedad, ha experimentado el espacio y el cómo se “debería ser” el espacio plenamente vivido, la cual plasma en su obra *Producción del espacio* que se describe a continuación.

Para Lefebvre, (citado por Lorea, 2013) el espacio debe considerarse producto utilizado y consumido, pero es diferente a los objetos producidos porque interviene en la producción él mismo. Dentro de este espacio se organiza la producción, existen redes de intercambio, flujos de materia prima y energías, estas interacciones son las que modifican el espacio.

Martínez y Toro (2015) interpretan a Lefebvre en la conceptualización del espacio como el resultado de la acción social, de las actividades y producciones de las sociedades y se considera como “producto” que utiliza los recursos, para producir elementos para la vida de la sociedad, también la organiza e interviene en las redes de cambio y flujos de la materia prima y energías que se configuran en el mismo espacio.

Además, Lefebvre refiere que cada país, dependerá el crecimiento de los sectores económicos que se relacionen con el espacio como: construcción, urbanización inversiones de suelo, especulación, ya que se da de forma desequilibrada, ya que hay países que el sector económico es su principal fuente económica y otros donde es únicamente de anclaje (Lezama, 2002).

Lezama (2002) menciona que la construcción del espacio en la ciudad se basa en el modo de producción con dos perspectivas diferentes: a) lo urbano con problemas del crecimiento de la ciudad y b) se basa en lo cotidiano, de un producto de consumo programado. El ámbito social del espacio surge de la sustitución del entorno biofísico, por aquel que el ser humano crea su vida.

El crecimiento de las ciudades en América Latina tuvo cambios importantes como el desplazamiento de la población, de las industrias y los servicios hacia las periferias de las ciudades centrales, con ello, la creación de nuevos centros con una dinámica y economía diferenciada en su territorio. Esto genera la construcción social del espacio con un comportamiento, de cómo se produce, quiénes lo producen y la dinámica de todo lo que interviene en ese espacio construido (Martínez, *et. al.*, 2015).

En este sentido, la producción social del espacio en la ciudad se presenta como el modo de producción en que una sociedad establece en un territorio principalmente urbano, dando el dinamismo económico, social y considerando el ambiente biofísico como insumo para el crecimiento de las dimensiones económicas, sociales que impactan en el ámbito ambiental. Este último ha iniciado a ser considerado en los últimos años por medio de la Agenda 2030 y que debería ser priorizado, ya que proporciona la base de diversas economías.

Por lo anterior, se puede dar una aproximación a la situación en la zona de estudio, donde la producción social del espacio se estructura bajo esta lógica, dado que los actores que intervienen en el espacio utilizan como insumo de desarrollo industrial y del sector terciario para el crecimiento de la ciudad, ofreciendo un espacio construido con cambios de ocupación del suelo. En la ZMTu inició con áreas destinadas a la agricultura, pasando a zonas industriales que se expandieron con asentamientos de barrios obreros y modificando el territorio por la extracción de recursos naturales. Así, el territorio es un concepto importante para el desarrollo de esta investigación, por lo que se describe en el siguiente apartado.

### **2.2.2 Territorio**

Es importante hacer una revisión de esta definición, porque se basa en los elementos que condicionan al espacio. También es importante mencionar la diferencia entre espacio y territorio que, para las ciencias sociales, se entiende como el espacio en el que intervienen los valores culturales y los valores sociales para moldear el territorio. Al respecto Hernández (2010) comenta que cada territorio es diferente debido a la diversidad de culturas e interacciones que existe en cada lugar, además de que las sociedades se encuentran en constante cambio por el modo de vida en las ciudades.

Sin embargo, para este trabajo, la definición del territorio debe contar con un enfoque más cercano a los estudios urbanos de los que han ido modificándose con el paso del tiempo, así como los distintos enfoques que se han abordado, a continuación, se presentan desde una mirada de la geografía.

La geografía es parte integradora para este concepto y que ha sido definido por diferentes autores significativos como, Milton Santos (1994) y Benedetti (2011) por mencionar algunos. Así como la postura de Ratzel (1871) que menciona que en el territorio el ser humano interviene en el espacio para crear o condicionar cierta dinámica en la naturaleza y lograr una organización en ese espacio para un beneficio de la sociedad (Benedetti, 2011).

Desde esta perspectiva, se debe diferenciar el término de territorio y espacio, ya que algunos autores consideran estos dos conceptos como sinónimos. Vargas (2012), menciona que el espacio se encuentra dentro del territorio, donde existe un espacio social y uno socialmente construido. Mientras que el espacio es definido por Milton Santos como un conjunto de objetos y sistemas de acciones construidos históricamente y se considera que el territorio forma parte del espacio (Montañez, 1998). Para los geógrafos, el territorio comprende el espacio geográfico; que se encuentra organizado por las interacciones de diversos actores, estructurado y construido por la sociedad misma (Benedetti, 2011).

A partir de esta definición se dio una serie de tipos, como el espacio político con autoridad y administrativos, posteriormente el término adoptó el nombre de “espacio apropiado”, seguido de territorialidad que refiere a la relación que ejerce el ser humano de apropiarse un espacio terrestre (George, 1994, citado por Rodríguez, 2010).

Rodríguez (2010) menciona que entender los nuevos territorios es más complejo, porque las ciudades se encuentran más fragmentadas con la globalización. La globalización es uno de los factores que ha intervenido en el desarrollo de las ciudades y por ello se ha considerado más compleja de abordar.

Por su parte, Llanos-Hernández (2010) describe al territorio como el lugar espacial donde las relaciones sociales se desarrollan desde lo cultural, social, político o económico. El concepto también se representa en el territorio con elementos reales que demuestran la dinámica presente en un espacio, puede presentarse en una o varias teorías, además de la temporalidad en la que se estudió, las diferentes disciplinas tendrán una visión distinta.

La evolución del concepto de territorio puede verse desde diferentes enfoques:

- a) Enfoque clásico: parte de la geografía tradicional del periodo 1870-1950, proviene de la geopolítica, geografía humana, es decir, de la postura de Ratzel y Vidal, quienes conceptualizan al territorio como una porción de la superficie o del medio natural con características político-administrativas, o características fisiográficas de los elementos naturales. El territorio resulta un espacio de competencias de las sociedades que ejercen dominio físico, político económico o cultural (Dematteis y Governa, 2005, citado por Orihuela, 2019).
- b) Enfoque humanista: surge a finales de los setenta y se desarrolla el término de territorialidad, con ideas basadas en la biología y el comportamiento animal donde el individuo obtiene los medios necesarios para su reproducción, en el caso de la sociedad o individuos, procura elementos necesarios como la seguridad, identidad y servicios para su desarrollo (Orihuela, 2019).

- c) Concepción materialista histórica: parte de la geografía crítica, o llamado también por Benedetti enfoque geocrítico, en la década de los años 70 teniendo a Milton Santos y con la llegada de la globalización, el territorio se centra en el consumismo y el factor económico que la sociedad comienza a dar un valor capitalista (Orihuela, 2019).
- d) Enfoque relacional: se da en la década de los años 80 y es retomado de la corriente anterior, del concepto de territorialidad, pero con el actor como interventor para controlar los recursos de un espacio determinado. El actor modifica el espacio con redes de inversión, comunicación y capital, es decir, que este concepto es la acumulación de factores que intervienen para modificar ese espacio (Orihuela, 2019).

El recorrido evolutivo que ha pasado el territorio refleja la predominancia de la geografía, en su mayoría desde el enfoque de la geografía humana, considerando que debe existir esta interacción entre el hombre y el espacio físico, convirtiéndolo en un espacio social construido y organizado por una sociedad conforme a sus necesidades. De acuerdo con la revisión anterior que enfoque o enfoques pueden explicar tu tema de estudio.

Derivado de la revisión anterior y considerando las características propias de la zona de estudio, para efectos de esta investigación el territorio es de acuerdo con Llanos-Hernández (2010) como un *“lugar espacial donde las relaciones sociales se desarrollan desde lo cultural, social, político o económico”* que forma parte en un espacio. El territorio es entonces, un conjunto de relaciones configurado por la sociedad de acuerdo con sus necesidades y se categorizan en zonas rurales o urbanas que, con el crecimiento de la población a lo largo del tiempo, un territorio determinado inicia con la expansión y por lo tanto la conformación y consolidación de zonas urbanas, mismas que con el paso del tiempo van sumando nuevos territorios, consolidando con ello procesos de expansión urbana.

### **2.2.3 Expansión urbana**

El término expansión urbana fue utilizado por el sociólogo William Whyte en 1958 para referirse a las ciudades con mayor densidad de urbanización para los países de Europa y Estados Unidos, una vez adoptado el término se utilizó para dar categorías en el desarrollo urbano generado por los efectos sociales. El ejemplo de las ciudades de europeas presentaba formas irregulares en la traza, aunque esta condición se da en la mayoría de las ciudades con ausencia de la planificación urbana (Franz, *et. al*, 2006).

Por su parte, Wass y Baass (2006, citado por Lara, *et. al* 2017), mencionan que la expansión urbana, origina condiciones adversas para la población urbana como es el incremento de tráfico vehicular, tiempos de traslado, segregación social y contaminación en el aire, agua y suelo por mencionar algunos.

Esta definición expone los efectos negativos de la expansión urbana, en el caso de la ZMTu, las actividades industriales con la emisión de partículas suspendidas que contienen toxinas provenientes de las chimeneas contaminan el aire, agua y suelo, condiciones que persisten en la zona y que derivan en los daños a la salud de la población, así como transformaciones en el paisaje y la deteriorando los recursos en la zona de estudio.

Para Cuervo (2017), la expansión urbana presenta ciclos y fases de transición la historia y las aportaciones de Hall (1998, citado por Cuervo, 2017), ayudan a comprender los límites de los ciclos y la explicación de estas transiciones entre cada uno y sus límites dependen del momento histórico y del lugar.

Matossian (2014) describe los procesos de expansión urbana a través de lógicas de crecimiento, que dieron resultado a una configuración territorial dispersa para la población, que suelen ser analizados vinculado con el incremento de espacios habitados por el ser humano, en su mayoría por el establecimiento de asentamientos humanos.

La expansión urbana y el crecimiento demográfico son fenómenos sociales, este último descrito por Hernández (1996, p. 18) como “...*al aumento, disminución o estabilidad en el número de integrantes, que ocurre en un periodo de tiempo determinado*”. Por lo que es importante considerar que el análisis de la expansión urbana aportará escenarios de análisis de comportamientos urbanos derivados del desarrollo industrial y el aumento de la actividad terciaria, pero a la vez vinculados con el crecimiento de la población.

Ríos y Rocca (2017) menciona que los procesos de expansión urbana configuran el territorio y eliminan límites para generar la relación entre el espacio urbano y rural. Dentro de este fenómeno se conforma una zona de transición que se entiende como “*el límite de la ciudad*” siendo esta una zona de amortiguación de los usos del suelo.

La expansión urbana se entiende como un fenómeno en el que debe establecerse parámetros para la medición, vinculado al crecimiento físico de las ciudades, que no cuenta con límites territoriales a este fenómeno (Lara, *et. al.*, 2017).

Sin embargo, la medición de crecimiento físico es poco frecuente para determinar zonas de expansión, por ello, la importancia de realizar este estudio en la zona, que en el último estudio de la delimitación de zonas metropolitanas realizado por SEDATU (2023), la conformación de la zona metropolitana se integró a la megalópolis de la Ciudad de México.

Otra definición importante es la que menciona el Fondo Financiero de Proyectos de Desarrollo (FONADE, 2017) que expresa que la expansión urbana es el incremento de la huella urbana ocasionado por el crecimiento de la población y el incremento del consumo de uso de suelo *per cápita*. También lo conceptualiza como un fenómeno que, si son planificados, pueden garantizar una infraestructura pública y privada con suelos de alto valor ambiental.

Si bien, la expansión y la huella urbanas se vinculan por el incremento de la población, incremento de suelo y de los recursos físicos, en México, en los últimos diez años se ha

considerado a la dimensión ambiental mediante la Agenda 2030 con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, (ODS), considerando elevar el valor ambiental para lograr ciudades sostenibles.

Alzando (2017), expresa que la expansión urbana, es un fenómeno descontrolado de las zonas urbanas que se ha observado en países industrializados, y que ha creado debate sobre el desarrollo mismo de los países. Además, menciona que es un patrón de la urbanización, que implica el consumo de recursos y generación de contaminantes, que no han llegado a un equilibrio de relación hombre y la sustentabilidad en las ciudades que son elementos clave de la forma urbana. Es aquí, donde se da una importancia a la dimensión ambiental en los últimos años, aunque por lo regular, el ámbito económico y social tienen un peso más significativo.

Como se ha mencionado, este desarrollo industrial que se estableció en zonas alejadas de las grandes ciudades demuestra una correspondencia con la teoría de localización industrial, por los elementos como las redes de conexión por medio de vías de transporte, que configuran en el espacio y a su vez generan expansión urbana, que es el caso específico de la ZMTu, ha derivado en el desarrollo industrial, generación y atracción de población económicamente activa, y el crecimiento urbano.

Con la revisión de este planteamiento, se puede dar una aproximación del concepto de expansión urbana en el entorno de la zona de estudio, considerando que el fenómeno de crecimiento urbano ha ocasionado transformaciones en el territorio, siendo uno de los factores principales de cambio el desarrollo industrial.

#### **2.2.4 Desarrollo y expansión industrial**

Otro concepto importante para sustentar el objeto de estudio es la expansión industrial, que puede definirse como los cambios en un espacio determinado asociados con la actividad

industrial, los cuales determinan modificaciones en la organización y apropiación de los territorios vinculados a este fenómeno. A continuación, se presentan algunas definiciones. Acebedo (2003, p. 89) refiere que el concepto de expansión industrial al igual que la expansión urbana, es un fenómeno histórico del proceso de la industria en un territorio y la dinámica a escala urbana o regional. Se enfoca en el estudio de la relación entre la industria y los elementos en el territorio, su funcionalidad y productividad, según las tendencias de concentración y dispersión de las localidades industriales de acuerdo con la morfología y las actividades desarrolladas.

En países desarrollados, este fenómeno se rige bajo el crecimiento de la demanda interna y el proceso de sustitución manufacturera. Las exportaciones tienen un papel importante que contribuyen en la expansión industrial por la dinámica de las economías de escala y el aporte de la estabilidad del comercio exterior (Hirschman, 1954).

Mientras que, en países en desarrollo como América Latina, Soza (1966), expresa que el proceso de industrialización se determina por tres factores que son el incremento ocupacional, el ritmo y estructura de la expansión industrial y las tecnologías de producción. Este crecimiento puede tener procesos de retroceso, estancamiento o deterioro del fenómeno.

Estos factores tienen una clara representación en la ZMTu y el periodo de estudio considerado. En este sentido, el incremento de la población ocupada en el sector secundario en los periodos de 1990 al 2010 son un claro ejemplo de esto, así mismo, el ritmo de la expansión industrial se mostró incremento de las industrias para la producción durante los años de 1970 a 1990, pero también se muestra un estancamiento de la industria en el caso de la población ocupada en el sector industrial a partir del 2000 con una disminución del 36.8% al 31.6% en el 2020.

El caso de estudio se encuentra influenciado por los recursos naturales presentes en el territorio, y donde la actividad industrial predominó durante varios años, aspecto que derivó de la generación de oportunidades de empleo y/o desplazamientos de población de las áreas

cercanas hasta dar forma a una conurbación, lo cual durante los últimos 15 años la expansión urbana es un fenómeno de crecimiento discontinuo en las ciudades que dan como resultado la reducción de acceso y la vista al espacio abierto, así como la invasión de los espacios de valor ecológico o agrícola de acuerdo con Ángel (2005, citado por Anzaldo, 2017).

De esta forma, el desarrollo y expansión industrial constituyen un fenómeno en el que intervienen factores, por lo que existen situaciones que modifican, reducen o presenta un estancamiento de la misma industria en el territorio, cuya transformación se describe a continuación.

## **2.3 Transformación territorial**

### **2.3.1 Enfoques para el análisis de la transformación territorial**

La apropiación del territorio y las actividades económicas realizadas por la población a lo largo del tiempo, han derivado en lo que para Bifani (1998) puede ser expresado como una transformación territorial, resultado de la interacción entre hombre, sociedad y ambiente; misma que además surge de tratar de enfrentar las problemáticas ambientales dentro de los sistemas analíticos. Por lo que la acción del hombre en los procesos naturales se constituye como espacios construidos en el que se superpone al medio físico en un espacio preexistente a la vida humana.

Lezama (2002) describe que la relación de la sociedad y ambiente surge de la idea de hechos socialmente construidos, donde la apropiación de la sociedad hacia la naturaleza no es únicamente de adaptación, y propone abordarla desde tres enfoques:

- a) Basado en la existencia de una construcción de la naturaleza, donde la población determina las formas de la relación ser humano-naturaleza.

- b) El segundo se centra en la construcción de la normativa de la naturaleza, donde la naturaleza juega un papel de intercambio social, de procesos de distribución que son afectados por la sociedad.
- c) El último ve a la naturaleza de forma simbólica. La naturaleza está socialmente producida, desde la semiótica, donde los elementos desconocidos se vuelven comunicables (Lezama, 2002: 257).

En estas propuestas se pueden relacionar con la transformación del territorio, dado que la sociedad determina como elemento de mejora de bienestar y la naturaleza una fuente de intercambio social y de ellos dependen la dinámica, concentración, distribución y forma simbólica del ser humano en el espacio.

El concepto formal de transformación territorial surge en la década de los años 80, que con el tiempo ha evolucionado a región, con referencia a las problemáticas que ha generado la expansión del modelo económico capitalista sobre las dinámicas socioespaciales en el espacio urbano-territorial (Gorenstein, 2015).

En la zona de estudio la transformación territorial se muestra con la llegada del desarrollo industrial que inicia con la evolución y ocupación de uso de suelo pasando de áreas agrícolas (sector primario), hacia zonas destinadas a las empresas y el incremento de viviendas derivado del incremento de población ocupada en el sector industrial, así como la extracción de materia prima principalmente caliza, que modificó los usos de suelo en la ZMTu, principalmente en los municipios de Tula de Allende, Atitalaquia y en Atotonilco de Tula en los últimos 15 años.

Con mayor frecuencia, se ha relacionado la transformación del territorio con los cambios de uso de suelo, pues conforme a las necesidades de la sociedad, estas se ven también modificadas por diversos factores como crecimiento de la población, actividades industriales entre otros. Por lo anterior, es importante abordar el concepto de uso de suelo para la comprensión de las transformaciones en el territorio de estudio

### **2.3.2 Cambio de uso de suelo**

Toda actividad realizada por el ser humano tiene un impacto en el territorio en el que se lleva a cabo, de tal forma que el concepto de uso de suelo refiere a la ocupación de una superficie determinada, vinculado a las actividades y necesidades del ser humano, que se clasifica de acuerdo con la ubicación como urbano o rural, el uso de suelo es fundamental para la ciudad, porque a partir de ello se estructura, configura y se define la funcionalidad de la ciudad (PAOT, 2003).

Para Anderson (1976) el uso del suelo lo define como el aprovechamiento que el ser humano da al suelo, que es el resultado de las actividades sociales y económicas que se desarrollan sobre la superficie definida. Ambas concepciones definen al uso de suelo como resultado de las acciones humanas que buscan realizar funciones en una superficie determinada, pero es el primer término que refiere la existencia de vinculación de una ciudad para definir ciertas funciones entorno a una ciudad, incluso puede incluirse que la funcionalidad de cada ciudad y uso de suelo se conectan con ciudades conurbadas.

Estas definiciones presentan similitud principalmente en los factores que inciden en el cambio de uso de suelo y cómo estos se relacionan con las dinámicas de un territorio, en el caso de áreas rurales o urbanas considerando que las acciones antrópicas generan estas modificaciones en el entorno y que es parte fundamental del análisis de esta investigación que se presenta en apartados posteriores.

Considerando lo anterior, los usos de suelo son resultado de las actividades humanas, con propósitos económicos, sociales, en el medio físico, no obstante, con el paso del tiempo, los elementos que iniciaron modificaciones en el suelo presentan cambios de uso, derivado de ciertos factores que son presentados históricamente en el fenómeno de expansión urbana y

en la ZMTu, donde los cambios y transformaciones en el territorio resulta importante retomar como concepto.

De esta forma, el concepto de cambio de uso de suelo es fundamental para la investigación, considerando que parte de los resultados temporales se basan en mostrar los cambios de uso de suelo en la ZMTu.

El concepto partió desde la geografía humana a finales del siglo XIX y se describe como el resultado de las actividades del ser humano sobre una superficie determinada por patrones culturales (Velázquez, *et. al.*, 2014). Teniendo mayor impulso en la investigación entre la década entre los años 60 y 80 con la percepción remota y los sistemas de información geográfica.

Esta definición se basa en los resultados de la investigación que se enfocan en el uso de las herramientas que se mencionan y proporcionan escenarios de dos periodos y obtener una medición de los cambios de uso de suelo en la zona de estudio.

Meyer y Turner II, (1994, citado por Velázquez, *et. al.*, 2014) lo definen como el conjunto de acciones humanas, agregando que, desde el enfoque cultural, existe el acuerdo entre diversos grupos sociales y con una jurisdicción sobre la superficie. Por otro lado, la SEMARNAT (2017) describe al cambio de uso de suelo como la transformación de la cubierta vegetal original y dar otros usos que pueden degradar la calidad de la vegetación y modifican la densidad de especies presentes. Los factores que causan el cambio son la agricultura, ganadería y la expansión de infraestructura, ocasionando pérdida de biodiversidad y de los servicios ecosistémicos.

A manera de cierre en este apartado, el sustento teórico y conceptual, permitió la revisión de los principales modelos de localización en función de elementos como recursos de extracción o materia prima, obtención de mano de obra, distancias, transporte y mercado. Es importante destacar que estas teorías se desarrollaron en función a las características de distintos

elementos, y en orden cronológico, mencionando que el modelo de Von Thunen (1826) se basa principalmente a la renta y el área agrícola, fue la base para las demás teorías con los anillos concéntricos, estos modelos de localización permitieron integrar una mezcla de Weber (1909), Marshall (1919) y Losch (1938) de los modelos de localización como parte de sus principales posturas que reflejan la realidad de los factores que intervienen en los modelos de localización.

Así mismo, los conceptos descritos en este apartado permitieron vincular el proceso de expansión urbana y las transformaciones territoriales que son el reflejo de cambio en el uso de suelo a partir de la producción social, esto a través del tiempo que muestra una dinámica en el espacio.

### **3. Referentes empíricos sobre expansión urbana**

En el tercer apartado se presentan distintos casos de estudio que son considerados de relevancia para este estudio, que referentes a la expansión urbana y la forma en que han analizado y medido. Con la revisión de casos se pretendió identificar el uso de las metodologías de cada uno de los casos en diferentes ciudades en países como Argentina, Colombia y un comparativo entre Chile y Europa, para concluir con referentes nacionales en algunas ciudades del norte de México. A continuación, se presentan los casos de estudio que se han realizado sobre el tema de investigación a nivel internacional y nacional.

#### **3.1 Contexto Internacional**

Sobre los trabajos identificados relacionados con la expansión urbana en otros países, se consideraron dos casos de estudio de ciudades de Argentina, el primero en la ciudad de Santa Rosa, que se basa en la transformación del uso de suelo apoyado de imágenes satelitales y de SIG con un periodo de 60 años, mientras que el de Córdoba utiliza un índice de expansión urbana monitoreado en dos lapsos de tiempo, identificando áreas dispersas y la realización de proyección al 2040. Otro caso de estudio es el realizado en la región del Valle del Cauca, Colombia, dirigido a la problemática socioambiental derivado de la agroindustria de la caña de azúcar con un enfoque histórico-documental de la ciudad de Cali. Finalmente se analiza un caso de estudio comparativo entre Santiago de Chile y las ciudades de Europa que tiene por objetivo el análisis comparativo del crecimiento urbano entre dos ciudades; una de Latinoamérica y por otra parte la europea.

##### **3.1.1 Santa Rosa, Argentina**

En el primer estudio retomado como referencia para la presente investigación Pombo (2017), aborda los cambios vinculados a la expansión urbana de la Ciudad de Santa Rosa, Argentina, tomando en cuenta su crecimiento acelerado durante las últimas décadas, presentados a inicios de los años 60, estudiando las dinámicas urbanas y creando tendencias de crecimiento

a través de técnicas de análisis espacial mediante el uso de imágenes satelitales por medio de los SIG, ya que permiten mostrar información relevante a través del tiempo, así como la identificación en los cambios de uso de suelo de un periodo temporal a otro, derivado de las actividades predominantes.

El caso de estudio de Santa Rosa propone observar la evaluación y cambio de uso de suelo de la Ciudad de Santa Rosa en el periodo de 1956-2016 (60 años). Su metodología se basa en el monitoreo de la evolución por medio de cartografía, y por otro lado utilizó el Método de tabulación cruzada en sistemas de información geográfica, para evaluar las modificaciones de los últimos sesenta años.

Los resultados mostraron el crecimiento acelerado en las zonas urbanas y periurbanas, así como una disminución del uso de suelo agropecuario de importancia, con tendencias de expansión, consolidación y densificación en la conurbación de Santa Rosa-Toay.

La investigación demuestra la factibilidad de SIG para observar tendencias de crecimiento urbano y la transformación del paisaje con las diferentes generaciones de cartografía y estadística, por lo que una de las posturas de la investigación es que la densificación de la zona por la intervención del Estado con permisos de loteo y construcción de viviendas.

### **3.1.2 Córdoba, Argentina**

Otro caso de estudio en Argentina fue realizado por Cabe y Prada (2022), con un enfoque de transformación del espacio agrícola a urbano publicado en 2022, sobre la evolución de la expansión urbana y riesgos para la agricultura de proximidad en el sur de Córdoba, Argentina. Para ello desarrolló un análisis de los riesgos de la expansión urbana de 69 localidades en los periodos 2001-2010 y 2010-2018 mediante el índice de expansión urbana disperso (IEUD), el índice de compacidad para identificar la evolución de la población urbana, seguido de la descripción de los riesgos de la dispersión urbana por proximidad del

abastecimiento de alimentos valorando la pérdida económica del espacio rural convirtiéndose en zonas urbanas.

En los resultados se identificaron la evolución de población urbana dispersa, y no dispersa (IEUD), logrando obtener la descripción de los riesgos de dispersión urbana para la provisión de alimentos derivado de la pérdida de áreas rurales que han sido urbanizadas. En tercer lugar, se creó una tendencia hacia 2040 de dos patrones de crecimiento, donde se muestra incremento de localidades dispersas, de manera que se permite cuantificar áreas de conflicto en la zona. Además, se redujo el abastecimiento local de alimentos de proximidad, aumentando la desintegración integral y funcional del límite periurbano.

Entre los riesgos de esta urbanización dispersa esta la dimensión ambiental, las emisiones de gases de efecto invernadero y la fragmentación del paisaje en diferentes regiones.

Los autores mencionan limitaciones en la metodología, referentes al cálculo de la proximidad con los alimentos, la valoración de las tierras y un aspecto importante son los datos censales utilizados para el crecimiento de población, con los periodos de 2001 y 2010 sin datos de natalidad, mortalidad y migración. El caso de estudio refleja que las geotecnologías son una herramienta importante para la investigación, sin embargo, a pesar de contar con acceso a la información libre, se puede tener sesgos en ciertos periodos que impiden realizar una investigación apegada a la realidad de la zona de estudio.

### **2.1.3. Valle del Cauca, Colombia**

El caso de la expansión cañera en el Valle del Cauca es un estudio que tiene como principal objetivo presentar los factores sociales que por medio de la agroindustria cañera afectó a las comunidades desde el enfoque social y ambiental, este caso presenta resistencias colectivas. La metodología utilizada fue a partir del método de indagación documental conforme a una revisión teórica y fuentes históricas del Archivo Histórico de Cali (Cabrera y Moreno, 2014).

El Valle del Cauca presentó el proceso de expansión a partir de factores como la inclusión de capitales económicos en el campo mediante empresarios agroindustriales y los procesos de urbanización e industrialización por medio de infraestructuras desde el Estado y empresas privadas, así como la decisión de implementar la agroindustria como motor de desarrollo regional (Cabrera y Moreno, 2014).

Para la comprensión de este fenómeno Uribe-Castro (2014) se basó en el sistema socioecológico que define cómo el ser humano impacta en la naturaleza, además de utilizar otros conceptos sobre la política ecológica, pero se destaca la trayectoria histórica que posibilitó la expansión cañera en el Valle del Cauca por medio de determinantes sociales, políticos y económicos.

Los autores realizan una reflexión de la importancia de los elementos naturales como es el río Cauca que incidió en el sistema socioecológico que integra elementos sociales, la política económica global que para el mercado de azúcar incrementó en conjunto las condiciones favorables para la producción en Colombia. Sin embargo, el incremento en el territorio respecto a la ampliación de la frontera de caña transformó el paisaje a largo plazo en el paisaje y los ecosistemas (bosques secos y húmedos) desaparecieron para obtener superficie de plantíos de azúcar de manera homogénea.

### **3.1.4 Caso de estudio comparativo entre Europa y Santiago de Chile**

El objetivo de esta investigación de Hidalgo y Borsdorf (2008) se basó en el análisis e interpretación del crecimiento urbano en ciudades europeas realizando un comparativo sobre los cambios y proyecciones del área metropolitana de Santiago de Chile.

Si bien, este estudio realiza una comparación histórica de la estructura urbana de los factores, etapas, diferencias y similitudes entre las ciudades de la Unión Europea y el Área Metropolitana de Santiago de Chile, las condiciones presentadas se relacionan sobre todo con el caso de la ZMTu, coincidiendo con las etapas en auge del desarrollo industrial en

Latinoamérica aproximadamente en 1970 con las aglomeraciones industriales, incluyendo como factor principal a la segregación social. Sin embargo, para el Santiago de Chile, uno de los impulsores de crecimiento de las ciudades fue por las “migraciones por amenidades”<sup>2</sup> una nueva forma para evitar las ciudades (Hidalgo y Borsdorf, 2009).

A diferencia de las ciudades europeas, las grandes ciudades han experimentado una disminución de población urbana y cambios en su estructura económica, donde las zonas urbanas han perdido habitantes y comienzan a surgir anillos de mayor poder adquisitivo en las periferias de las ciudades, las cuales desarrollan nuevas funciones centrales. Mientras que las antiguas periferias muestran una centralidad diferenciada el proceso se presenta desde 1970 por medio de la globalización y el neoliberalismo (Hidalgo y Borsdorf, 2009).

La revisión de estos casos de estudio permite mostrar las diferencias entre las ciudades, identificando los factores que enfrentan los países, la vinculación estrecha entre las condiciones urbanas y las afectaciones causadas en el ambiente y el resultado de la expansión urbana en los casos expuestos se apoyaron del uso de sistemas de información geográfica para su análisis espacial.

### **3.2 Casos de estudio en México**

A nivel nacional se identificaron trabajos sobre expansión urbana y transformaciones territoriales, considerando dos casos en ciudades fronterizas, donde el proceso de industrialización intensificó la expansión urbana: Chihuahua y Tampico. Además, se identificó un caso de estudio enfocado a las transformaciones por la expansión urbana vinculado a los procesos sociales, donde se analiza el cambio de uso de suelo que pasó de un suelo rural a urbano.

---

<sup>2</sup> Se produce en ambientes de montaña, donde la población urbana conserva vida laboral y pasan a ser “migrantes interurbanos” pero que disfrutan de una segunda residencia en sus días de descanso o jubilación con “amenidades”. (Moss, 2006, citado por Hidalgo y Borsdorf, 2009).

### **3.2.1 Expansión urbana en México**

El estudio publicado por Treviño (2018) en México, realizó la medición, clasificación y jerarquización de la expansión urbana de 135 ciudades de México, mayores a los 50 mil habitantes, para el periodo 2000 al 2010, destacando la ausencia de estudios relacionados con este fenómeno y explicando la importancia de la medición de la expansión urbana y mediante indicadores desde la perspectiva censal.

La metodología utilizada tiene dos cortes: el primero es referente a la sobrevaloración de expansión urbana en ciudades pequeñas, y subestimadas en ciudades grandes, tal es el caso para la ZMTu que al considerarse una zona mediana o incluso pequeña no podría presentar condiciones de expansión urbana en años siguientes (Treviño, 2018).

El segundo corte se basa en la relación entre la expansión urbana y el tamaño de la población, por lo que la medición de la expansión urbana se basa en dos tipos, la de intensidad relativa que es el crecimiento en la superficie del área urbana que supera el del crecimiento de su población. Por su parte también se desarrolla el Índice de Expansión Urbana (IEU) del periodo 2000-2010 que al indicar un número positivo indica un crecimiento urbano mayor que el crecimiento de la población. Este indicador se ha considerado para utilizar medir la Zona Metropolitana de Tula (Treviño, 2018).

En las siguientes secciones menciona definiciones, expone la metodología y menciona las mejoras del IEU (Índice de Expansión Urbana) de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD), la parte empírica, las propuestas metodológicas, finalmente presenta sus aportaciones para estudios futuros (Treviño, 2018).

Los resultados de esta investigación fueron que, de las 135 ciudades, 61 ciudades se han expandido (45%) y el 55% de las ciudades son compactas (74 ciudades). Treviño (2018) menciona que, la expansión urbana está presente en todas las ciudades, no obstante, las

ciudades expansivas dominan en el estrato alto, mientras que las ciudades compactas dominan los estratos intermedios.

### **3.2.2 Ciudad de México**

El objetivo de la investigación de Schteingart y Salazar (2006) se enfoca en la relación de las transformaciones ambientales con los procesos sociales, así como los instrumentos jurídicos para el cambio de uso de suelo de lo rural a lo urbano, en la Ciudad de México, en un área natural protegida considerando tres aspectos para el caso de estudio:

- la ubicación de los casos de estudio en zonas con legislación urbana y ambiental como suelo de conservación y/o área natural protegida (ANP);
- tener un reconocido valor ambiental para la Ciudad de México;
- y que las zonas estuvieran sometidas a una fuerte presión como consecuencia del desarrollo de asentamientos irregulares como de operaciones del sector inmobiliario especulativa, formas de las cuales se genera el proceso de expansión urbana.

Schteingart y Salazar (2006) reconocen las dificultades para la investigación que se aborda y plantean tres problemas:

- La falta de vínculo de las unidades de análisis, donde la unidad de paisaje de los ecólogos o geógrafos es distinta a la urbana.
- La diferencia de temporalidad de los procesos ecológicos (que tienen un proceso largo) en comparación con los procesos urbanos que suelen ser rápidos o acelerados.
- El tipo de información que requieren de los que no están acostumbrados a trabajar.

A todo esto, se reconoce que los procesos sociales, biofísicos, económicos y políticos que subyacen a la expansión urbana son objeto de intereses controvertidos en el ANP Insurgente Miguel Hidalgo y Costilla, conocido como “La Marquesa”. Donde se muestra un deterioro ambiental derivado a los cambios de uso de suelo a través del tiempo en áreas específicas y

el aumento del crecimiento urbano se analiza la apropiación del ser humano hacia los recursos naturales mientras son degradados por la expansión urbana.

Las conclusiones de la investigación son la paulatina desaparición de bosques, que tiene como efectos negativos del aumento de erosión en el suelo y la degradación de condiciones hidrológicas en las cuencas, deslizamientos en cortes de caminos e incendios y sobrepastoreo.

Además, el fraccionamiento excesivo y no planificado del suelo en una ciudad en un área protegida, es resultado de la limitada actuación de las autoridades se aten ante la especulación en el anonimato de los propietarios, pues se eleva el valor del suelo y se aprovecha la inversión pública para obtener valor agregado de un recurso escaso.

### **3.2.3 Ciudad Juárez, Chihuahua**

Otro estudio presentado por García (2008) en Ciudad Juárez, Chihuahua, refiere a la intensa expansión de la mancha urbana entre 1970 al 2007, como consecuencia del Programa de Industrialización Fronteriza, presentando desfases de infraestructura, cambios de uso de suelo por la industrialización que en sus inicios era considerada como crecimiento económico, aunque en la actualidad ha ido en declive. No obstante, la urbanización en las ciudades fronterizas tuvo un incremento de 1990 a 1995 del 41.6%.

Se implementó el uso de SIG y modelos estadísticos de Matrices de Markov, para analizar el comportamiento de determinados procesos estocásticos. Posteriormente, realizó análisis de la cobertura y distribución del suelo, clasificando la vegetación del periodo mencionado.

Los resultados obtenidos son la falta de planeación urbana que incide en la compleja configuración urbana y del paisaje. Sobre la dinámica de coberturas de los suelos; la clase que sufrió el mayor cambio son los asentamientos humanos con un tamaño de cobertura de 29,499.6 ha. Además, el indicio del cambio de uso de suelo ocupado de vegetación al suelo suburbano y pasa a urbano.

Retoma las metodologías utilizadas como el de Pombo (2017), para analizar el cambio de uso de suelo urbano-periurbano, utilizando modelos cruzados y el uso de herramientas como los SIG, siendo una de las herramientas más visuales para este tipo de análisis espacial. Por ello, el autor se enfoca la expansión urbana a partir del Programa de Industrialización Fronteriza, como un factor detonante, considerando como una idea sobre el tema de estudio de este documento.

### **3.2.4 Tampico-Madero-Altamira del Sur, Tamaulipas**

El trabajo de investigación de Batres (2012), retoma como dimensión de análisis el espacio territorial y los factores que inciden en la transformación ambiental de la zona conurbada Tampico-Madero-Altamira.

Batres (2012), realiza una comparación del proceso histórico de la expansión territorial y sustentable de las zonas metropolitanas costeras. Este caso de estudio tiene factores predominantes que influyeron en el proceso de la transformación y expansión metropolitana en las ciudades costeras:

- a) Introducción del ferrocarril en 1873 conectando a Veracruz con el Distrito Federal (hoy Ciudad de México); en Tampico se introduce en etapas: 1855 conectando Tampico-Valles, SLP; 1887 Tampico-San Luis Potosí; 1890 conexión Tampico-México y en 1891 Tampico Monterrey.
- b) La actividad industrial, en 1920 el petróleo tiene un impacto en el crecimiento industrial en el país, con ello la transformación urbana en las ciudades portuarias. La industria del petróleo se da en la década de 1920 a 1970, originando la inmigración masiva en puertos exportadores de petróleo y la llegada de trabajadores por la atracción laboral por el auge económico, dando una expansión desordenada de las ciudades y creando el nuevo municipio de Ciudad Madero. El crecimiento urbano se extiende hacia las comunidades transformando las actividades rurales a urbanas y en

proceso degrada y destruye los recursos hídricos, naturales, modificando el paisaje de la ciudad.

Los autores refieren que el problema se concentra en las lagunas urbanas, que son cuerpos receptores de agua de pequeñas dimensiones alteradas por rellenos sanitarios. Las cuales se ven afectadas por las actividades urbanas e industriales, derivado de la falta de planeación urbana y respeto al ambiente biofísico, que genera un alto grado de degradación a los ecosistemas.

### **3.3 Aportes metodológicos de los casos de estudio**

La revisión de los casos de estudio permite identificar distintas herramientas disponibles y accesibles para la elaboración de la investigación en la Zona Metropolitana de Tula, Hidalgo. El uso de los sistemas de información geográfica se considera una herramienta factible para representar y analizar la evolución de la expansión urbana de manera espacial y observar el comportamiento del fenómeno a través del tiempo.

Además, las metodologías presentadas en las investigaciones permitieron identificar indicadores a utilizar para el trabajo de investigación, y la relación estrecha con los elementos presentes, tangibles e intangibles, considerando que son limitadas las investigaciones relacionadas con la expansión urbana en el Estado de Hidalgo, respecto a las transformaciones territoriales derivados de las industrias establecidas, o casos concretos de la actividad industrial, al igual que proyectos de inversión.

El caso de Santa Rosa en Argentina presentado por Pombo (2017), representa una aproximación al caso de la ZMTu, con un crecimiento acelerado de la población establecida principalmente en el municipio de Atotonilco de Tula, mismo que a su vez derivó en la necesidad de cambio de uso de suelo destinado a la actividad agrícola con un proceso de expansión incentivada por el desarrollo industrial.

De acuerdo con los trabajos de estudio de esta revisión referencial, se puede mencionar que los elementos más utilizados para la medición del crecimiento urbano se deben considerar el tamaño de la población y la superficie en el territorio como es el caso de (Treviño, 2018; Pombo, 2017), con ciertos factores que inciden en el proceso de expansión. En los primeros casos internacionales se demuestra que los cambios de actividades agrícolas existió la misma reconversión de actividades al sector terciario, intensificando la expansión urbana, otro elemento importante es la temporalidad (García, 2008; Cabe y Prada, 2022, por mencionar algunos), para los estudios de expansión urbana es importante considerar por lo menos dos momentos; un año inicial y un año final, para realizar una medición que permita mostrar tendencias de expansión y áreas o tasas de incremento, este factor está presente en todos los casos de estudio expuestos en este apartado.

Además de estos factores, los sistemas de información geográfica como instrumentos para el análisis espacial, permiten mostrar y obtener mayor visualización de áreas de tendencia, así como porcentajes de crecimiento en la superficie (Treviño, 2018), como es el caso de los cambios de usos de suelo, que se utilizará para el desarrollo de la investigación.

Así mismo, para el abordaje del proceso de expansión urbana basado en el análisis espacial, se considerarán elementos demográficos, contrastando entre periodos establecidos en cada caso. De esta forma, los estudios referenciales aportaron información para establecer los indicadores de las dimensiones y el diseño metodológico para esta investigación, lo cual se desarrolla en el siguiente apartado.

## **4. Metodología de la investigación**

### **4.1 Etapa procedimental**

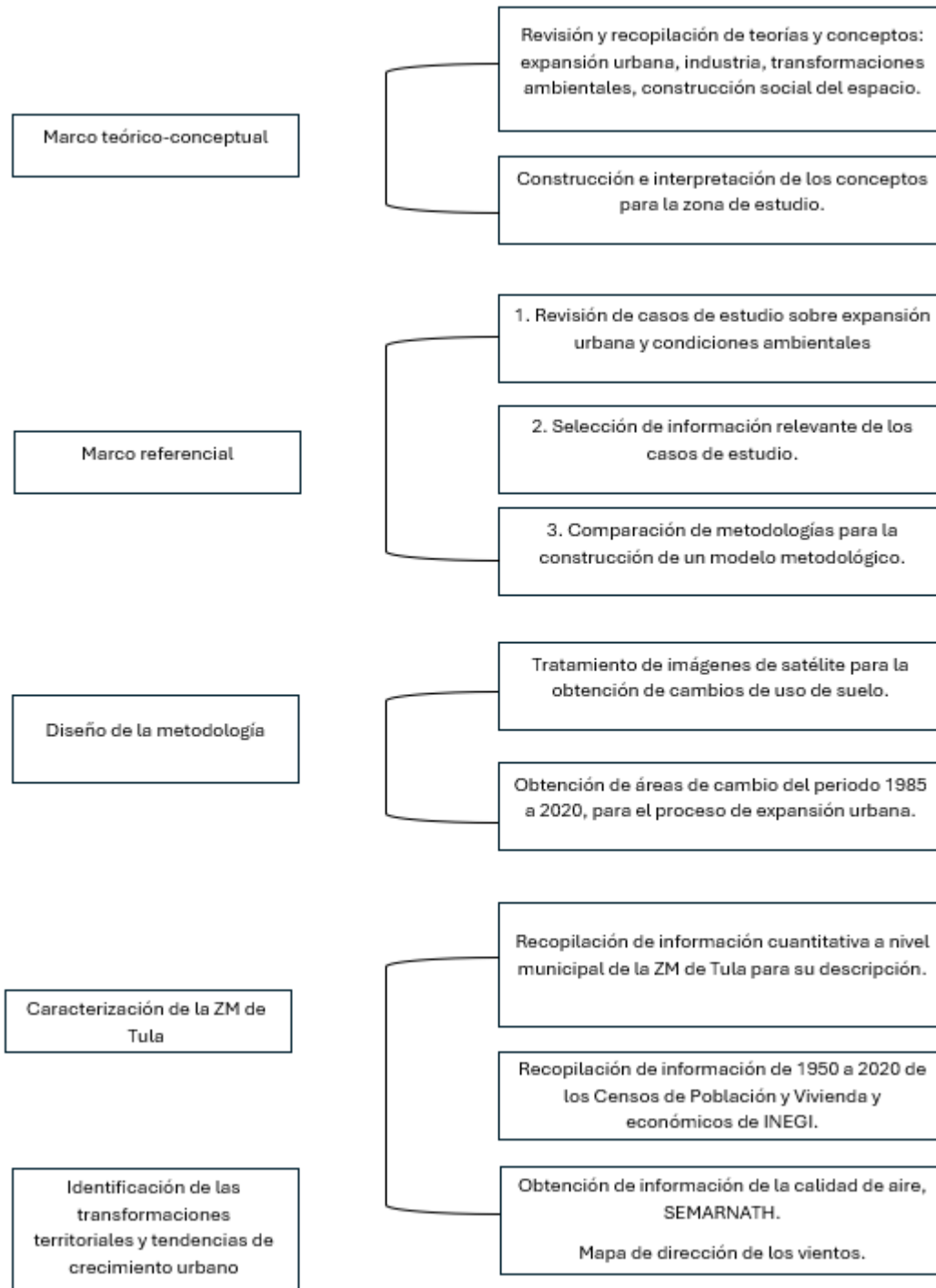
Derivado de la orientación propia de la investigación, esta se considera como un estudio explicativo, que busca responder a las causas de los fenómenos territoriales y sociales. Para ello se apoya en un enfoque de investigación mixto, en virtud de que, para el desarrollo de la investigación se usaron técnicas documentales, cuantitativas, estadísticas y cartográficas que se describen a continuación.

La etapa de investigación documental permitió desarrollar el marco teórico conceptual, a partir de una revisión bibliográfica de documentos impresos y electrónicos en el que se abordan conceptos relacionados con la construcción del espacio, territorio, las teorías de localización, localización industrial y economías de aglomeración para el sustento base de la investigación. Asimismo, se consultó literatura sobre expansión urbana, planes de desarrollo y base de datos para el contexto económico, social y demográfico, necesarios para la caracterización de la zona de estudio.

Las técnicas cuantitativas se realizaron aplicando indicadores de la dimensión urbana, a través del grado de urbanización, el índice de expansión urbana, la tasa de crecimiento poblacional del periodo de 1970 al 2020. Para la dimensión económica, se analizó la evolución económicamente activa de los sectores primario, secundario y terciario, así como la población ocupada.

La información estadística se obtuvo de los Censos de Población y Vivienda y los Censos Económicos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) de los periodos de 1970 al 2020. Considerando que la información se encuentra disponible en la página oficial de la Institución.

**Figura 3.1. Estructura metodológica de la investigación**



Fuente: Elaboración propia.

Para la información de la cartografía, se utilizó la disponible en INEGI, del Marco geoestadístico nacional y las cartas topográficas a escala 1:50,000 y para establecer las industrias en la zona de estudio, la información del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) en su última actualización de 2023, que se realiza de forma anual, de acuerdo con la metodología del DENUE, por lo que debe considerarse que la información de estas unidades económicas presenta actualizaciones parciales de los segmentos de éstas, y que al momento del levantamiento pueden presentar algún sesgo en la información recabada. Por lo que dicha información se considera como una aproximación de las unidades económicas que integran la zona de estudio.

#### **4.2 Dimensiones, variables e indicadores**

Con la revisión de los apartados anteriores sobre las teorías, conceptualizaciones y los casos de estudio sobre la expansión urbana para la medición y cambios de uso de suelo, se presenta a continuación el cuadro 1 con las dimensiones, indicadores y variables establecidas para esta investigación, agrupados en dos dimensiones para el análisis de la variable dependiente.

**Cuadro 3.1. Dimensiones, indicadores, variables y fuentes de información para la metodología**

Dimensiones	Indicador	Variables	Fuente
<b>Territorial</b>	Grado de urbanización	de Nivel de urbanización Población total	INEGI. Censos de Población y Vivienda (1970-2020).
	Índice de Expansión urbana	de Población total Superficie (hectáreas)	INEGI, Censos de Población y Vivienda (1970-2020).
	Tasa de crecimiento poblacional	de Evaluación de la población	INEGI. Censos de Población y Vivienda (1970-2020).
	Tasa de cambio de uso de suelo	de Imágenes satelitales Landsat 4-5 y 8 Firmas espectrales	Plataforma del Servicio Geológico de Estados Unidos

				Unidos, (USGS), 1985-2020.
<b>Económica</b>	Evolución del PEA secundario y terciario	del Población en secundario terciario	ocupada en sector y	INEGI. Censos económicos de Población y Vivienda y Censos económicos.

Fuente: Elaboración propia.

La implementación de la metodología para la expansión urbana se realizó con el apoyo de información documental y el uso de elementos cartográficos para realizar el análisis temporal de la zona de estudio en el periodo de 1970 al 2020, obtenidos del INEGI, también el uso de plataformas libres para la obtención de imágenes satelitales disponibles en *EarthExplorer* del Servicio Geológico de Estados Unidos, *United States Geological Survey* (USGS, por sus siglas en inglés). Sin embargo, para esta parte de la investigación, no se tuvo disponibilidad de imágenes satelitales de 1970, por lo que se optó por trabajar con imágenes de 1985 y 2020. A partir del tratamiento de las imágenes satelitales, se obtuvieron cambios de uso de suelo de la ZMTu, con tasas de cambio. Asimismo, el uso de cartografía base para elaborar mapas temáticos.

### 4.3 Sistemas de Información Geográfica

A partir de las imágenes satelitales, se generó la combinación de bandas para la obtención de firmas espectrales, posteriormente se generaron las áreas de entrenamiento para la clasificación de los usos de suelo en la ZMTu. Se debe considerar que dichas ponderaciones no reflejan el nivel de significancia, pero estas deben ser las mismas en cada periodo, con la finalidad de obtener las tasas de cambio de cada uno de los usos de suelo.

Para la zona de estudio, se clasificó en seis usos de suelo, el primero correspondiente a la vegetación, seguido de la agricultura, posteriormente las zonas urbanas fundamentales para este estudio en el análisis de la expansión urbana, además de las minas, cuerpos de agua y

suelo desprovisto de vegetación, este último, para mostrar los cambios ambientales a lo largo del tiempo.

Estas transformaciones se observan mediante un proceso de urbanización, iniciando con vegetación, seguido de uso de suelo agrícola, posteriormente pasa a suelo desprovisto de vegetación y finalmente llega a convertirse en zonas urbanas que reflejan la expansión urbana.

**Cuadro 3.2. Clasificación de las áreas de entrenamiento de la zona de estudio**

<i>Clasificación</i>	<i>Ponderación</i>
<i>Vegetación</i>	1
<i>Agricultura</i>	2
<i>Zona urbana</i>	3
<i>Minas</i>	4
<i>Cuerpos de agua</i>	5
<i>Suelo desprovisto de vegetación</i>	6

*Fuente:* Elaboración propia.

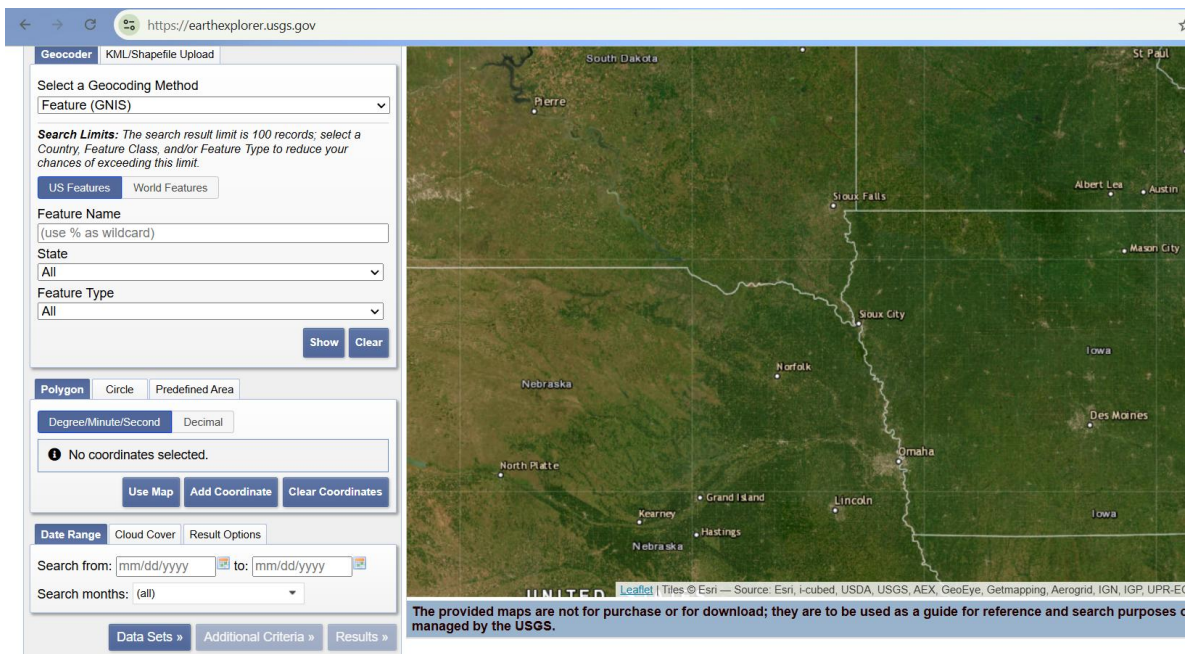
#### **4.4 Tratamiento de información cartográfica**

Finalmente, se realizó el análisis e interpretación de los resultados obtenidos de los indicadores establecidos en el *cuadro 3.2* la interpretación espacial y temporal del crecimiento urbano para determinar los cambios de ocupación del uso de suelo en la zona de estudio mediante los insumos cartográficos y el uso de herramientas de Sistemas de Información Geográfica de Arc GIS y Terrset con el Modelador de cambio de suelo (*Land Change Modeler*), así como datos estadísticos de INEGI.

Para este procedimiento se utilizó la plataforma de la *USGS Earth Explorer (United States Geological Survey)* por sus siglas en inglés, mediante esta plataforma se obtienen las

imágenes satelitales de acceso libre, donde se seleccionó la zona de estudio, para el caso de la investigación se incorporó a Tula de Allende, al realizar la búsqueda se obtuvo la imagen satelital abarca toda la ZMTu.

**Figura 3.2. Plataforma de la USGS para la obtención de las imágenes satelitales**



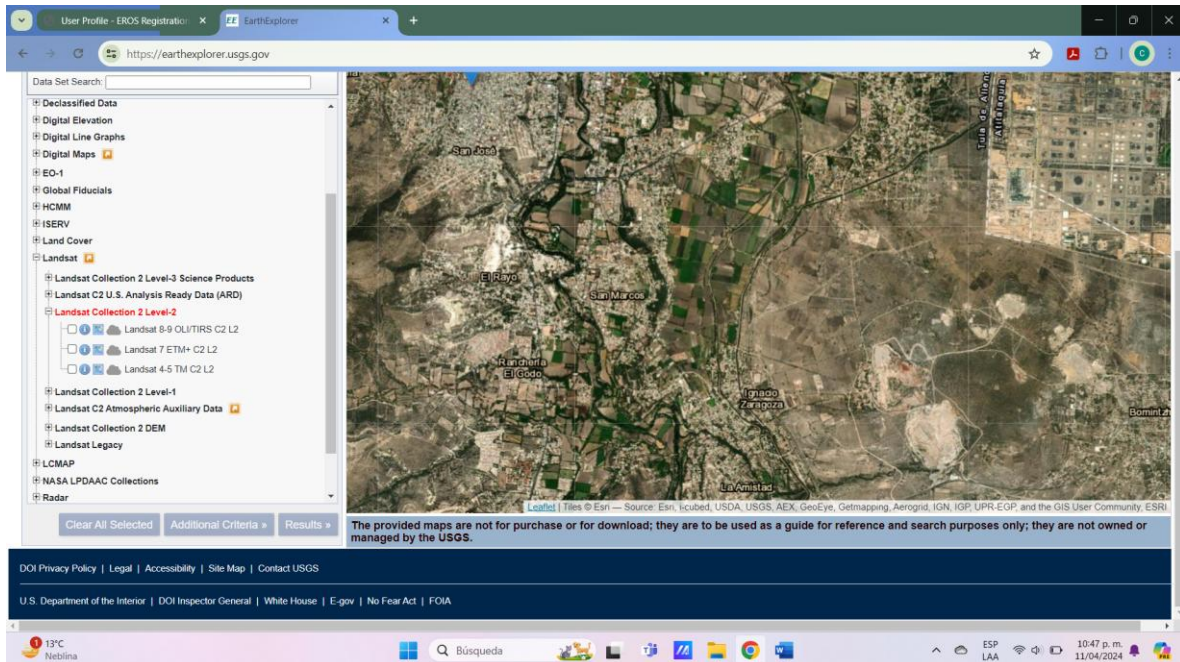
Fuente: USGS (2024)

Otros criterios de búsqueda importantes para la obtención del insumo fueron los rangos de fecha, que en todos los casos se realizó la búsqueda entre los meses de enero a abril, debido a la poca o nula nubosidad existente durante estos meses permite obtener imágenes limpias para el análisis. La segunda pestaña es sobre el porcentaje de cobertura de nubosidad que va del 0% al 100%, es recomendable que se utilice un rango entre el 0% al 5% de cobertura, que fue el rango utilizado.

Posterior a estos primeros criterios, se seleccionó la colección de imágenes Landsat (*Landsat Collection 2 Level-2*), estas imágenes son las que se encuentran corregidas y surgieron a partir de 1972, sin embargo, para la zona de estudio se utilizaron las de 1985 ya que son las que se encuentran activas para ese momento, con Landsat 4-5 TM C2 L2 que fueron las

primeras series que iniciaron. Cabe señalar que una limitante del uso de estas imágenes es el nivel de resolución con la que cuenta, ya que son de 30 metros.

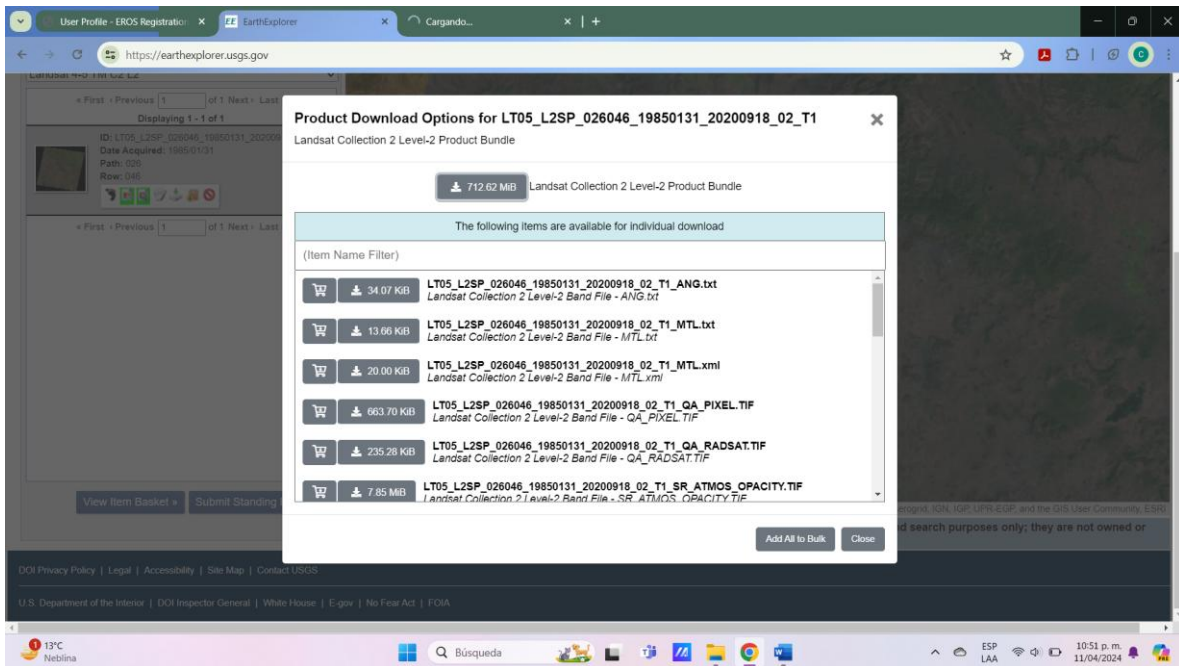
**Figura 3.3. Selección de descarga de imagen satelital**



*Fuente: USGS (2024).*

Durante este paso, se obtienen los resultados de los criterios de la selección para la descarga de las bandas que para Landsat 4-5 se componen de 7 bandas, y para Landsat 8 son 8 bandas para obtener los componentes y colores para la representación de resolución y firmas espectrales que se describen en párrafos posteriores.

**Figura 3.4. Descarga de las imágenes satelitales seleccionadas**

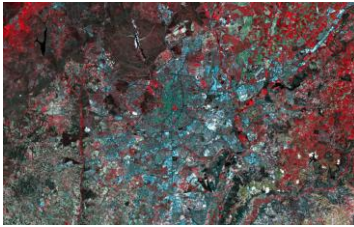


*Fuente: USGS (2024).*

Las combinaciones de bandas son técnicas para obtener imágenes a través de la Teledetección, dependiendo a las combinaciones de bandas potencian los colores para detectar zonas de uso agrícola, urbanos, análisis de vegetación y atmosféricos entre otros.

En esta investigación se utilizó la combinación de infrarrojo para la detección de vegetación verde representada en tonalidad roja. Para las zonas agrícolas se utilizó la combinación de bandas 6,5,2 y se reflejan en tonalidades verde brillante. Otra combinación fundamental para este análisis fue para las zonas urbanas con la combinación de falso color que reflejan las zonas urbanas en tonalidades magenta como se observa en la siguiente imagen.

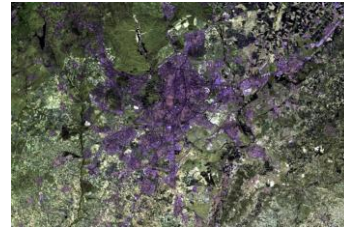
**Figura 3.5. Combinación de bandas utilizadas para los usos de suelo**



Infrarrojo (vegetación)



Usos agrícolas

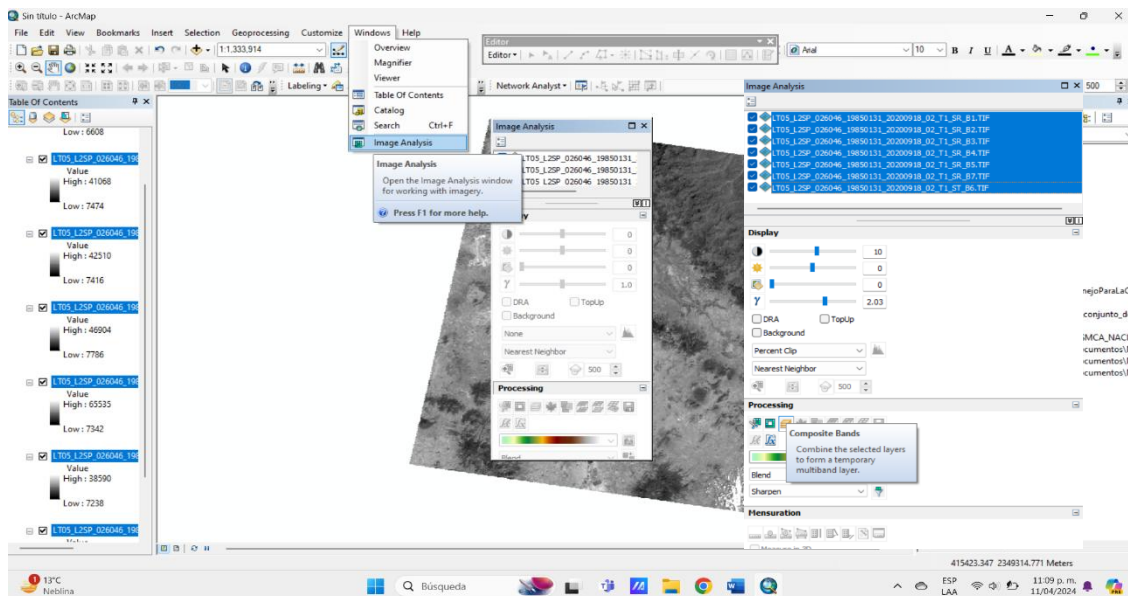


Falso color (zonas urbanas)

Fuente: MappingGIS (2019).

Posterior al entendimiento de la combinación de bandas, se trabajó en el software de ArcMap cargando las bandas para generar mediante el análisis de imagen un solo archivo. De acuerdo con los usos de suelo clasificados se realizó la combinación de bandas correspondientes al infrarrojo para resaltar las zonas de vegetación (3,2,1). En las zonas agrícolas localizadas principalmente al norte de la zona de estudio la combinación fue 4,5,2 y para identificar las zonas urbanas se utilizó la combinación de falso color 1,4,5.

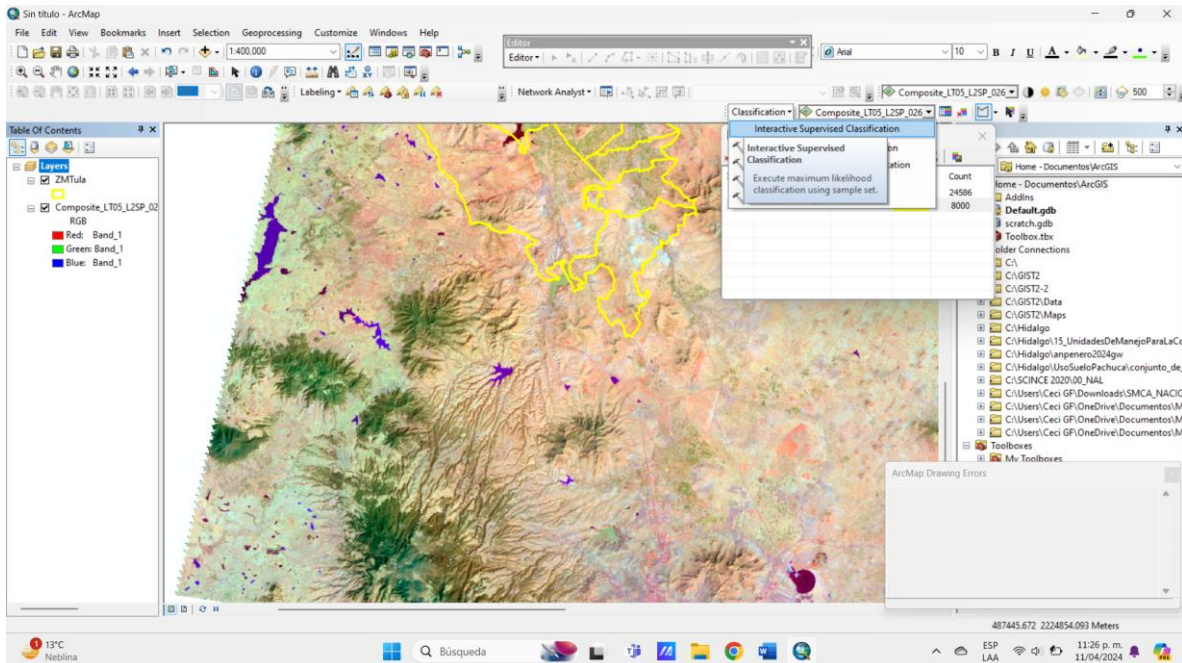
**Figura 3.6. Procesamiento de composición de bandas en Arc Map 10.8**



Fuente: Elaboración propia en ArcMap 10.8

Al realizar este proceso se inició con las áreas de entrenamientos destinadas a generar la clasificación de la imagen que trabaja mediante píxeles, en conjunto con las áreas de entrenamiento y la combinación de bandas, al realizar las áreas de entrenamiento de cada periodo debían coincidir los números asignados que se asignados en el cuadro 3.2.

**Figura 3.7. Elaboración de las áreas de entrenamiento en ArcMap 10.8**

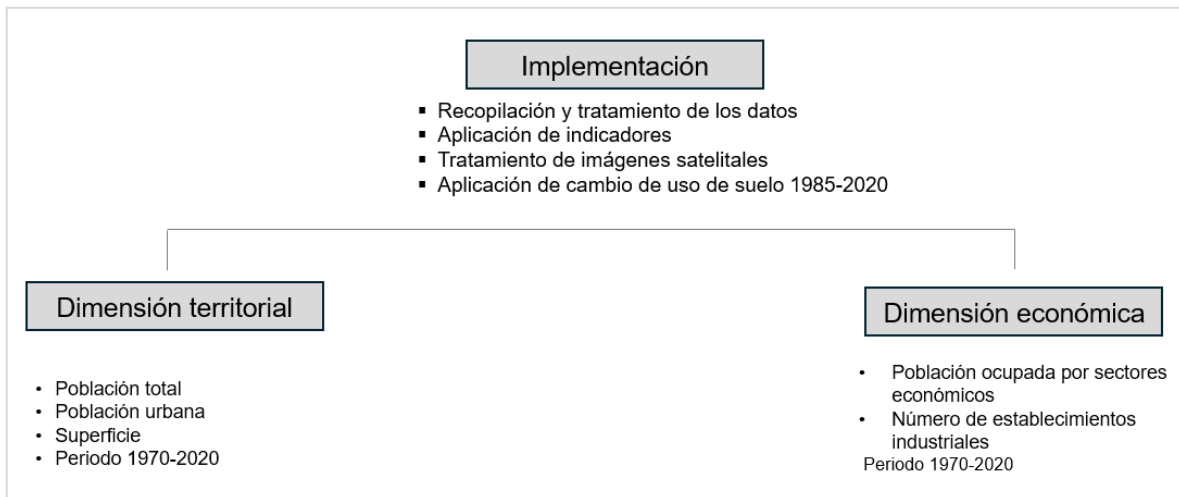


*Fuente:* Elaboración propia en ArcMap 10.8.

Seguido de la clasificación por medio de las áreas de entrenamiento, que son generadas por medio de píxeles en toda la imagen satelital, se finalizó con un filtro mayoritario que realiza una limpieza del resultado final y proporciona una limpieza de píxeles aislados, considerando áreas predominantes que no afectan al resultado final.

Posteriormente, para obtener las superficies de usos de suelo de acuerdo con la clasificación mencionada, se realizó una conversión del formato raster (pixel) a capa vectorial para obtener la información del cuadro 3.2. para la clasificación de acuerdo con la ponderación de cada uso de suelo. Siguiendo con el desarrollo de la investigación, el siguiente apartado se describen los insumos utilizados para el desarrollo de la metodología.

**Figura 3.8 Esquema de los insumos para la metodología**



*Fuente:* Elaboración propia.

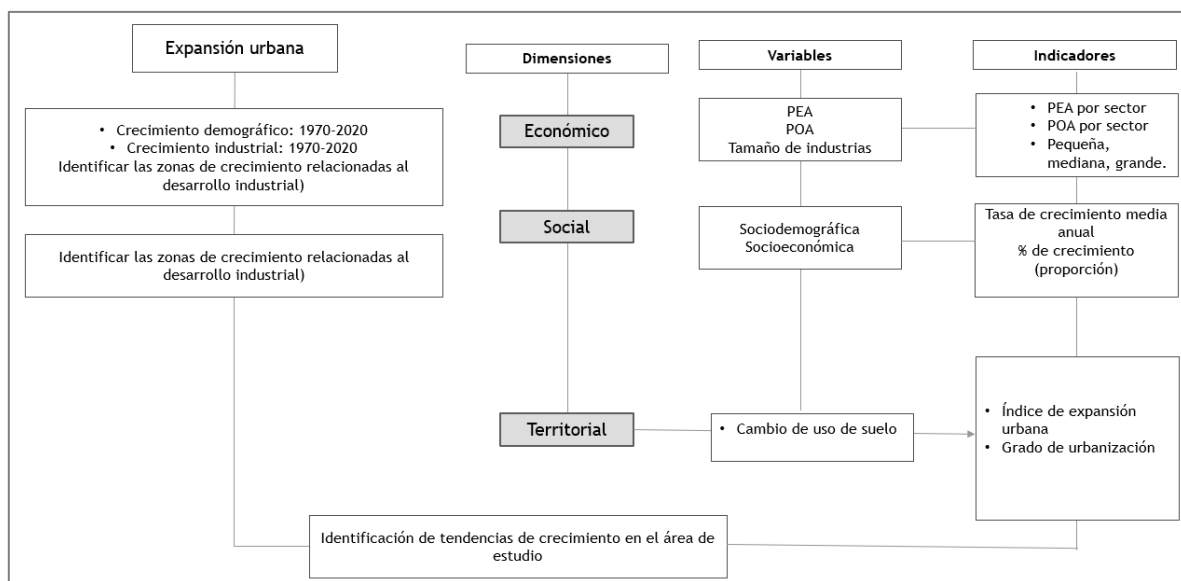
Para la obtención de la información económica se realizó a partir de dos tipos de censos económicos de INEGI. El primero con el año de 1965 con el VIII Censo industrial, por las principales características por entidad federativa, municipio y grupo de actividad, en específico para la actividad de la industria extractiva y de transformación, estos censos se realizaron cada 5 años.

El segundo censo se presenta desde 1989 y donde el nombre se modificó a censos económicos, la información disponible se obtuvo en la página de INEGI con esa denominación, a cada quinquenio, hasta el año 2019, a la fecha de elaboración de este trabajo, el censo económico correspondiente al 2024 se encuentra en etapa de levantamiento, por lo que el último periodo de estudio para este apartado se consideró hasta el 2019.

Adicionalmente al análisis de las pirámides de población de los 3 municipios centrales, se revisó la evolución de la población económicamente activa ocupada en cada uno de los tres sectores económicos (primario, secundario o terciario). Ello permitió identificar la evolución y la importancia económica de cada sector en los años considerados como parte del análisis temporal en la ZMTu.

Es importante mencionar que para este análisis se integró la información de los 5 municipios en conjunto, a pesar de que hasta el 2020 fue cuando oficialmente se integraron como una sola unidad territorial, sin embargo, en los años anteriores se consolidaron las bases de la transformación económica en cada uno de los municipios.

**Figura 3.9. Diagrama las transformaciones territoriales y la vinculación con la urbanización.**



Fuente: Elaboración propia.

El diagrama representa la relación entre las dimensiones (económico, social y territorial) contemplados para la investigación, vinculadas con el proceso de expansión urbana, por un lado, el crecimiento demográfico del periodo de 1970 al 2020, con estrecho vínculo a la reconversión de las actividades económicas, para el caso de estudio donde predomina la actividad industrial con establecimientos que abastecen a una región importante del centro del país, tanto para los servicios, de distribución eléctrica con la Termoeléctrica, así como la industria del cemento que incluye la construcción de viviendas.

Respecto al cambio de uso de suelo, que refiere que a lo largo de los años la superficie se va modificando, pasando de vegetación nativa (que en el caso de Hidalgo es bosque de mezquital principalmente) a un uso de suelo agrícola, y de agrícola a urbano (residencial, industrial, comercial) y los aspectos hidrográficos, donde los cuerpos de agua pueden modificarse con el paso del tiempo de acuerdo con las necesidades humanas o algún evento natural.

Las variables e indicadores que se presentan en el diagrama, se consideran importantes para establecer los lapsos de tiempo con mayor incremento en la ZMTu y generar vínculos con el proceso de expansión, así como encontrar zonas con mayor incremento como es el caso de Atotonilco de Tula con un incremento que sobrepasó la mitad de su población, esto derivado de la construcción de unidades habitacionales, que modificó la funcionalidad del municipio a una ciudad dormitorio por parte de las industrias y en años recientes de la Ciudad de México.

El diseño de la investigación buscó realizar un proceso de medición y representación de los cambios de uso de suelo en distintos lapsos de tiempo y la evolución de las características económicas en dos momentos:

- a) el primero con la caracterización de la zona de estudio con base a las características predominantes con vínculo a la actividad industrial.
- b) los datos obtenidos por los censos de INEGI, permitió obtener los puntos de inflexión de periodos de crecimiento y decremento en el periodo de 1970 a 2020, con cambios en los periodos económicos, que corresponden a otros años, sin embargo, la información recabada mostró importantes cambios en el territorio metropolitano.

Respecto a la caracterización de la zona de estudio y la medición del proceso de expansión urbana como se observó en los casos referenciales en el apartado tres, debe considerarse al menos dos años para los periodos de cambio, en el caso de la descripción de la ZMTu, se realizó en el periodo establecido de 1970 a 2020 que se describe en el siguiente apartado.

## **5. Caracterización de la Zona Metropolitana de Tula, Hidalgo (ZMTu)**

El siguiente apartado describe a los antecedentes históricos, aspectos físicos, económicos y demográficos del área de estudio, a través de mapas, datos representados en gráficas y tablas, con el objetivo de contextualizar y analizar las características principales de la Zona Metropolitana de Tula (ZMTu) en el periodo de 1960 al 2020 con la finalidad de vincular el desarrollo de la industria y el crecimiento urbano.

En la primer parte se presentan los aspectos físicos, considerando la localización del área de estudio, así como las características del suelo, situación hidrológica de la ZMTu, la descripción del suelo es uno de los factores clave para el establecimiento de las industrias como se ha mencionado a lo largo de la investigación, en cuando a la situación hidrológica se ve relacionada con la actividad agrícola que se desarrolló a partir del Gran Canal de desagüe proveniente de la capital del país.

Posteriormente se describe la historia de la actividad industrial cementera y caleras establecidas en la zona, así como los aspectos que enmarcan la conformación de la zona metropolitana. Así mismo, se desarrollan las características sociodemográficas, considerando la evolución y crecimiento de la población a partir de tasas de crecimiento. Además, se describen las características socioeconómicas, con el comportamiento de la población ocupada por actividad económica. Finalmente se presentan las condiciones ambientales actuales de la zona de estudio, considerando las afectaciones a calidad del aire, con datos proporcionados por el Sistema de Monitoreo Atmosférico del Estado de Hidalgo.

### **5.1 Aspectos físicos**

En este apartado se hace una descripción de las características físicas importantes para este trabajo, presentes en la ZMTu y que son considerados aspectos vinculados con la actividad industrial. Por un lado, se presenta la localización geográfica. Además, se realiza una

descripción de la geología, en específico de la roca caliza, como componente predominante del suelo en la mayor parte de la zona de estudio y como principal recurso de extracción en los bancos de caliza para la fabricación de productos de cementos, concretos, cal y otros derivados.

La segunda característica se aborda desde la situación hidrológica de la ZMTu con una breve descripción histórica con el desarrollo del gran canal de desagüe que implicó modificaciones económicas y ambientales, hasta llegar a la condición actual de la red hidrológica afectada por la actividad industrial y urbana.

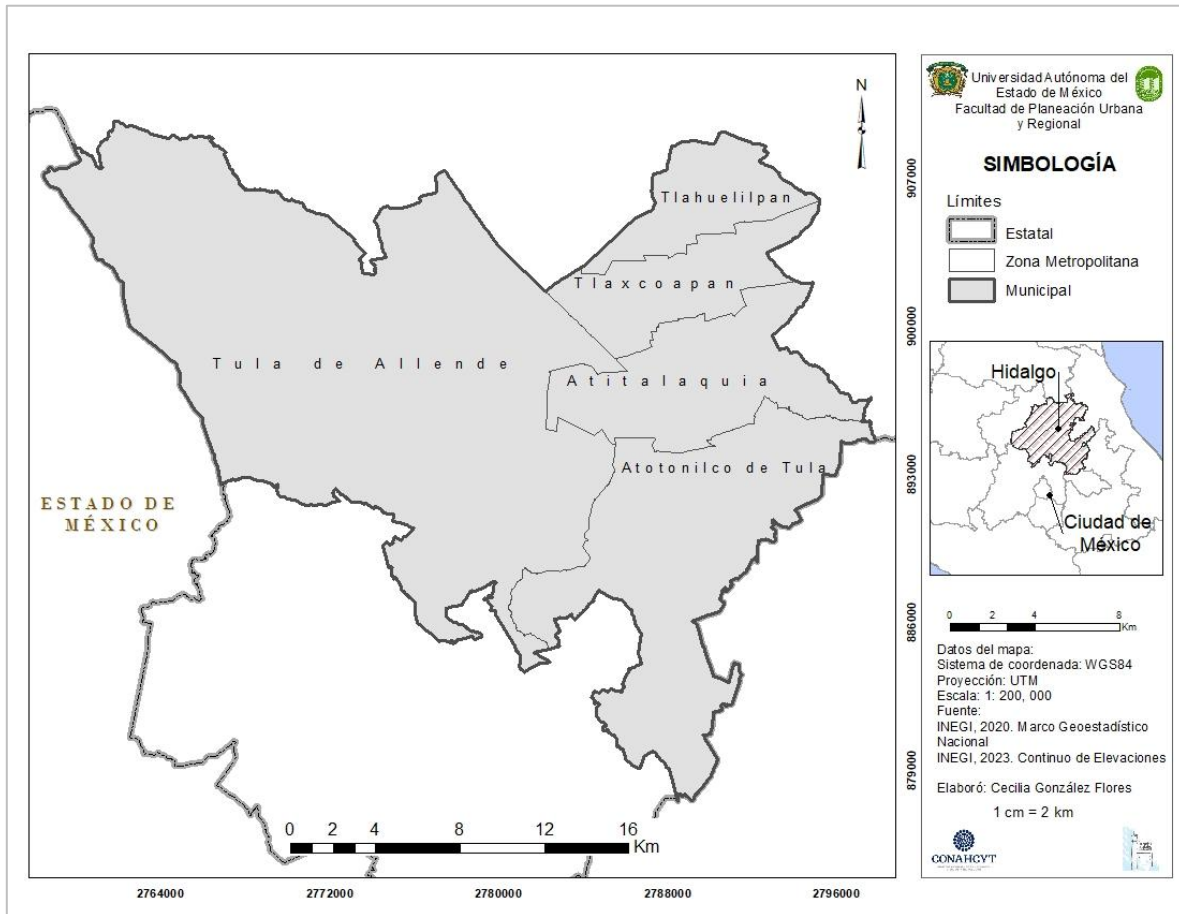
### **5.1.1 Localización geográfica**

El estado de Hidalgo se encuentra en la zona centro del país con una superficie de 20,905.12km<sup>2</sup> que representan el 1.06% respecto al total del país. Se localiza entre los 19° 35' 52" y 21° 25' 00" de latitud N y los 97° 57' 27" y 99° 51' 51" de longitud W. Al norte limita con el estado de San Luis Potosí, al noreste y este con Veracruz. Al este y sureste con Puebla y al oeste con Querétaro (INEGI, 1992).

Los municipios de la ZMTu forman parte de la Zona del Valle del Mezquital y se ubica en la parte sureste del estado de Hidalgo en las coordenadas geográficas 20°10'12" N y 99°31'17.5"O. Colinda con el Estado de México al Este; al Sur con Tepeji del Río; al Norte con Tepetitlán y Mixquihuala; al Norte con Tepaltongo. y cuenta con una altitud promedio es de 2020 msnm (SEMARNATH, 2015).

Las industrias como la Termoeléctrica se localizan a 83 km de distancia de la Ciudad de México y a solo 8 km de la cabecera municipal de Tula de Allende (Moreno-Torres, 2017). Esta cercanía (Ciudad de México-ZMTu) condicionó la dinámica demográfica de la zona, así como las actividades económicas que se realizan y que en su momento detonaron el crecimiento de población y la conformación de la ZMTu y su posterior consideración como parte de la Zona Metropolitana del Valle de México.

Mapa 4.1. Ubicación de la Zona Metropolitana de Tula (ZMTu)



Fuente: Elaboración propia con base a INEGI, 2020.

### 5.1.2 Características del suelo

Una de las características de la zona de estudio es la fuerte presencia de rocas calizas, de este recurso se puede obtener la cal, el proceso es la extracción de la roca en canteras para después calcinar la roca en caleras, resultando la cal común utilizada en su mayoría en procesos constructivos (Palma, 2008).

La caliza proviene del tipo de roca sedimentaria con mayor abundancia de las rocas sedimentarias. Se compone de calcita ( $\text{CaCO}_3$ ). Este tipo de roca está constituida por

carbonato de calcio que se forman en lagos, lagunas o cuencas marinas, bajo determinadas condiciones ambientales (Secretaría de Economía, 2020).

De acuerdo con el resumen ejecutivo de la Secretaría de Economía (SE,2020), en 2017 los Estados con mayor producción de caliza fueron: Campeche, Nuevo León, Quintana Roo, Yucatán, Hidalgo, Chiapas, San Luis Potosí, Veracruz, Guerrero y Tamaulipas Posicionando al Estado de Hidalgo en el quinto lugar a nivel nacional en ese año, sin embargo, para 2019 la SE reportó una caída de producción considerando a estos estados con la mayor producción: Campeche (40%), Yucatán (16%), Chiapas y Quintana Roo (6%) y Zacatecas (5%), con una producción total del 73%

El principal uso en la industria de la construcción de los derivados de caliza es: cal, carbonato de calcio y el cemento, éste último es el elaborado en la ZMTu. Los datos reportados en el informe de la SE (2022) es que, en 2019 la producción nacional de cemento fue de 43 millones de toneladas con 118.8 mdd. en exportaciones manteniendo un saldo positivo, a pesar de representar un decremento del 35% respecto al 2017 ubicado en 104.4 mdd., y en 2019 se ubicó en 101.3 mdd.

A pesar del decremento presentado en algunos productos como el cemento, la producción es importante para la economía del país, sin embargo, en la mayoría de estas actividades donde se presentan las tres dimensiones, económica, social y ambiental, existe cierta predominancia en dos de las tres esferas, en este caso, la actividad industrial impulsada por la generación de capital, ocasionan un desequilibrio y cambios en el ambiente biofísico.

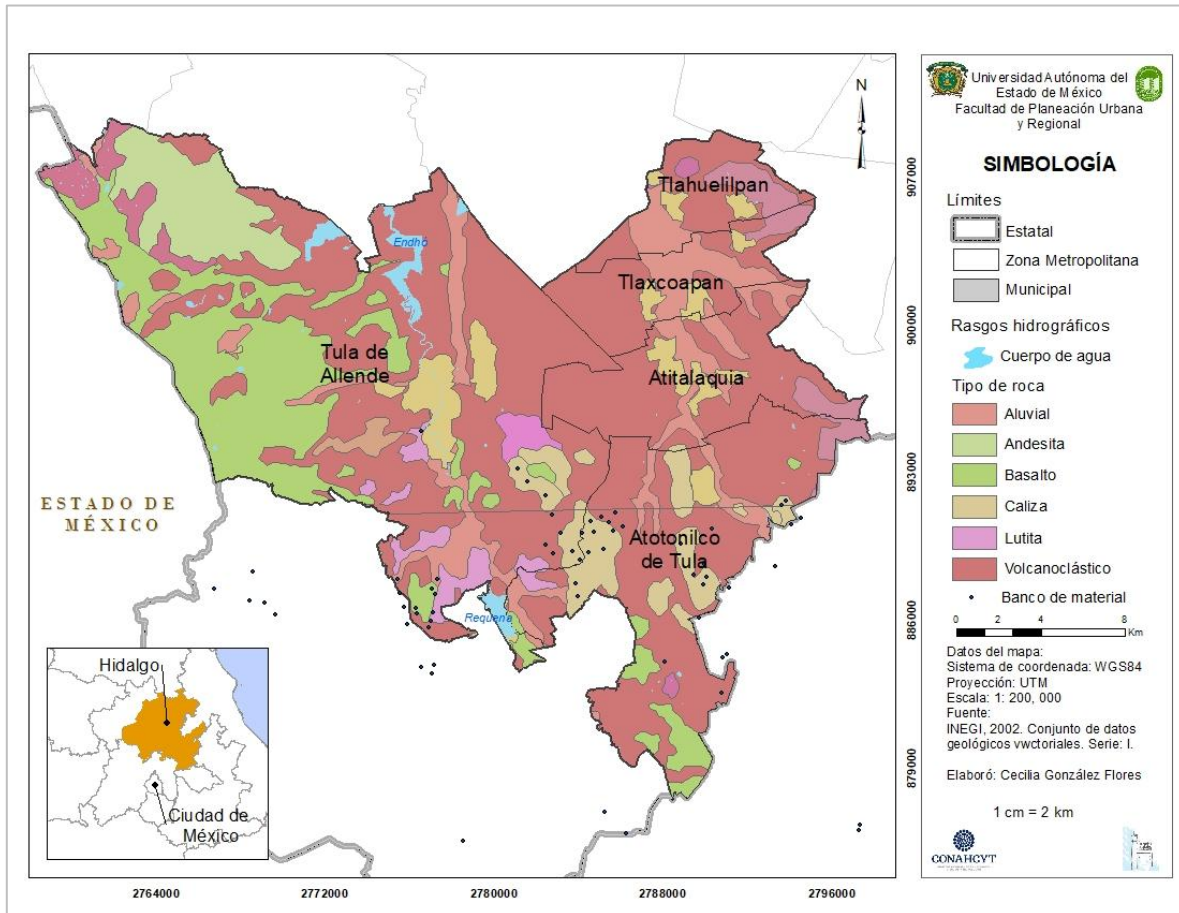
Por lo anterior, se ha considerado realizar la descripción de los tipos de roca predominantes en la ZMTu con base a la información obtenida de las cartas geológicas de INEGI, la zona de estudio presenta siete tipos de roca, estrechamente vinculadas con la extracción minera como recurso para la producción de cemento y bancos de arena que a continuación se describen:

- Aluvial: se refiere a depósitos de material sueltos de gravas y arenas de rocas que han sido transportadas por cuerpos de agua, estos se encuentran en zonas de inundación y valles de los ríos (INEGI, 2005)

En el mapa 4.3, este tipo de material está presente principalmente en los escurrimientos del río Tula que atraviesa en Tula y los municipios de del lado oeste (Tlahuelilpan, Tlaxcoapan y Atotonilco).

- Basalto: Es un tipo de roca volcánica que consiste en plagioclasa cálcica, de colores grises y se presenta en bloques, este tipo de roca se presenta al este del municipio de Tula, y en una pequeña parte del sur de Atotonilco. Es utilizada como piedra brasa en la cimentación y en vías férreas
- Caliza: Una de las rocas de mayor peso para la industria del cemento, constituida de calcio, es un material de gran utilidad para la construcción (INEGI, 2005). Se encuentra con mayor predominancia en el municipio de Atotonilco y al suroeste de Tula, ubicados en las zonas de cementeras (Tolteca y Cruz Azul).
- Lutita: tipo de roca constituida por material fino (arcillas) con presencia calcárea. La lutita se presenta en menor superficie al sur de Tula de Allende en las localidades de San Miguel Vidhó, Santa María y una parte de la colonia San Marcos. Este material es utilizado para la fabricación del cemento, a pesar de mostrar una superficie menor es donde se establecen las minas de extracción.
- Volcanoclástico: esta roca está constituida por la combinación textura-estructural de rocas piroclásticas y sedimentarias su tamaño va desde arcillas-cenizas a bloques-bombas (INEGI, 2005). La roca se muestra en casi todo el territorio de la ZMTu.

Mapa 4.3. Geológico de la Zona Metropolitana de Tula



Fuente: Elaboración propia con base a INEGI, 2022.

El mapa 4.3 representa los principales tipos de roca presentes en la zona de estudio, y donde la mayor predominancia es de la roca volcanoclástica, constituida por tobas y arenas en color crema, concentrados en yacimientos de arenas y utilizados para la producción de arena y está presente en todos los municipios, desvaneciéndose al este del municipio de Tula de Allende.

La zona en color verde (ver mapa 3), al este del municipio mencionado es basalto, además se muestra en la zona noreste de Tula un área de andesita. No obstante, la roca caliza, a pesar de contar con una superficie menor su uso industrial y comercial es mayor en comparación con otro tipo de roca y su localización coincide con los bancos de material en gran medida

en los límites de Atotonilco y Tula de Allende. Mismos que se observaron en el recorrido de campo realizados en el mes de marzo de 2025.

**Figura 4.1. Mina de material perteneciente a Caleras Beltran, Atotonilco de Tula, Hidalgo, 2025**



*Fuente:* Recorrido de campo, banco de cantera, Atotonilco de Tula, Hidalgo. (07-03-2025).

En la figura 4.1. se aprecia uno de los bancos de material perteneciente a caleras Beltrán en Atotonilco de Tula, con presencia de extracción de material, principalmente de mármol. En este punto de observación se aprecia una mina a cielo abierto con actividades de extracción de roca caliza y desde este punto se observaba el establecimiento de Caleras Beltrán a una distancia aproximada de 1 km.

### **5.1.3 Situación hidrológica**

La condición hidrológica en la ZMTu presenta un desarrollo significativo durante la época del Porfiriato cuando en 1900 el presidente Porfirio Díaz inauguró la obra llamada: el Gran Canal de Desagüe del Valle de México con la finalidad de evitar las inundaciones de la capital

del país, que a su vez originaban hundimiento. La red de alcantarillado se realizó conectando a las viviendas, edificios públicos, hospitales y mercados, por lo que este desalojo de residuos y aguas negras dirigidas hacia la zona del Valle del Mezquital (Archivo General de la Nación, 2022).

El agua residual generó una oportunidad en el desarrollo de producción en agricultura de riego en la zona del Valle del Mezquital y que representa una zona importante de producción agrícola principalmente para el forraje (avena forrajera alfalfa) destinado a la ganadería. Sin embargo, en los últimos años parte de este recurso hídrico proviene de los distritos de riego 003 Tula, 100 Alfajayucan y 112 Ajacuba con un abastecimiento aproximado de 80,000 has. mayormente de alfalfa y maíz (García-Salazar, 2020).

No obstante, también se presentaron problemas para evitar inundaciones en la capital del país, mismo que originó en 2021 una inundación por el desbordamiento del río Tula, que afectó a la población. Las causas fueron las precipitaciones, rebasando la capacidad de los ríos Tula y Tepeji, afectando a la población de esa zona (Castañeda-Ovando, *et.al.*, 2022).

La ZMTu, pertenece a la Región Hidrológico-Administrativa XIII, Aguas del Valle de México (Gobierno de Tula, 2020), cuenta con cuerpos de agua importantes, como el río Tula que inicia desde el Estado de México y atraviesa el municipio que lleva su nombre, se controla con la presa Requena y Endhó al norte de la zona de estudio. Esta presa tiene una capacidad de 182 millones de m<sup>3</sup> y es utilizado principalmente para uso de agricultura de riego en la zona del Valle del Mezquital (Atlas de Riesgos del Estado de Hidalgo, 2020).



23m<sup>3</sup>/s (nivel del tratamiento del 90%), que es superior al de la Ciudad de México del 6%. (SEMARNAT, 2017)

En la *figura 4.2.* se observa la condición del río Tula, uno de los principales cuerpos hidrológicos de la ZMTu, con presencia de descargas de residuos residenciales e industriales, además de arrastre de residuos sólidos provenientes de todo el trayecto del río. También se observa la cercanía a la planta cementera Cruz Azul al cuerpo de agua de 145 mts. de distancia, aspecto que influye en las condiciones presentes de contaminación.

**Figura 4. 2. Condición del río Tula, desde Cooperativa Cruz Azul, Hidalgo**



*Fuente:* Recorrido de campo al municipio de Tula, Hidalgo, junio, 2024.

Las características físicas descritas en este apartado fueron consideradas por la relación a la actividad industrial, que desempeñan un papel importante y forma parte de la problemática en la ZMTu y parte de la zona del valle del mezquital.

Durante su desarrollo se encontró información ambiental relevante para la investigación, sin embargo, es importante señalar que esta zona del estado de Hidalgo y otra parte como la zona del valle del mezquital ofrecen elementos indispensables para el desarrollo de la actividad económica manufacturera, en específico, las industrias cementeras, caleras y marmolerías por la riqueza geológica y la construcción del gran canal de desagüe durante el porfiriato incrementó la actividad agrícola intensiva.

## **5.2 Antecedentes históricos y conformación de la ZMTu**

### **5.2.1 Trayectoria de las actividades industriales en la zona de estudio**

A partir de la revolución industrial en el siglo XVIII, el desarrollo de las actividades económicas secundarias tuvo un papel importante para el crecimiento poblacional a nivel mundial, y a la vez en la determinación de los espacios de producción con una compleja dimensión y funcionalidad de acuerdo con el giro de la industria y las condiciones de los territorios en donde se establecieron (CEPAL, 1965).

En México y Latinoamérica el desarrollo industrial se dio durante la época del Porfiriato, entre 1876 y 1911, con la fase de desarrollo económico impulsado por la construcción del sistema ferroviario que permitió la apertura y conexión interna y externa del territorio nacional (Harber, 1993). Fue en el siglo XX que en México se inició la producción del cemento Portland, proveniente de Inglaterra, con la apertura de la industria en Toluca en el Estado de México.

En el país, la ubicación de las plantas cementeras se dio conforme a las necesidades de crecimiento en los principales centros industriales y urbanos del (Badu y Martínez, 2008). En este sentido, Quiroga (2007), identificó impactos en países desarrollados por las actividades industriales que inciden entre otros, en los cambios de uso de suelo y problemas ambientales, pues las actividades económicas están condicionadas por elementos biofísicos del territorio, que proporcionan los insumos necesarios como la materia prima, tal es el caso

de las actividades extractivas para la producción de cemento, mismas que generan beneficios económicos, pero también problemas ambientales y modifican el uso de suelo, limitando o condicionando su uso una vez concluido su explotación.

La industria del petróleo en el país fue parte importante en la conformación del desarrollo industrial en la Zona Metropolitana de Tula (ZMTu). En 1918, la producción petrolera en el país fue la principal abastecedora para el mercado mundial, la demanda de esta industria modificó la escala local, ejemplo de ello fue la creación de la zona industrial Vallejo ubicada en Azcapotzalco entre 1929 a 1944, con una superficie aproximada de 50 hectáreas (Hernández y Cantú, 2015) con la refinería “El Águila”, misma que inició operaciones en 1932 con una capacidad del 10.7% del país (Uthhoff, 2008).

Posteriormente, entre los años de 1930 a 1970 el crecimiento de la población se dio de manera acelerada, incrementando las zonas urbanas del país pasando de acuerdo con Garza (2003) de 45 a 174 ciudades y un grado de urbanización de 17.5% a 47.1%, en este lapso temporal. Durante este periodo la idea de extender la industria se regía bajo el Estado de Bienestar, así la compañía petrolera “El Águila” en Azcapotzalco que comenzó sus operaciones con 7,500 barriles diarios para 1946, había refinería aumentado su producción, lo que permitió ampliar la superficie a 174 has. (Hernández y Cantú, 2015).

En 1976, la refinería Azcapotzalco producía 105,000 barriles de petróleo al día, para este momento, la refinería realizaba otras funciones como taller de reparación y elaboración de partes de maquinaria de la refinería, contaba con una planta de tratamiento de aguas residuales y una central de distribución de combustibles (Uthhoff, 2008).

Durante su operación la refinería ocasionó contaminación debido a fugas y derrames de hidrocarburos por falta de regulaciones ambientales en el país, por lo que el gobierno decidió clausurar la refinería en 1991 buscando un sitio en las periferias de la ciudad, ubicando predios de los municipios de Tula de Allende y Atitalaquia por su conectividad y cercanía al

centro del país (Soto, 2021), aspecto que contribuyó a la consolidación de la actividad industrial en estos municipios y la atracción de población en busca de empleos.

Considerando lo anterior, en la Zona Metropolitana de Tula existieron cambios de uso de suelo agrícola a urbano-industrial a partir del establecimiento de otras grandes industrias como la cementera “Tolteca” (1909) que se encuentra ubicada al sur de la cabecera municipal de Tula en colindancia con las colonias del Carmen y San Marcos (Cruz, 2011).

Para 1939 se asigna el control del combustible fósil a Petróleos Mexicanos (PEMEX) para dar impulso al desarrollo nacional, por lo que la demanda requiere de nuevos establecimientos y la Refinería Azcapotzalco se vuelve insuficiente para atender el aumento de la demanda energética del centro del país, motivando el establecimiento de la Refinería “Miguel Hidalgo” en 1974 en los municipios de Atitalaquia y Tula de Allende, Hidalgo. Que requirió de la adquisición de predios mediante un proceso de expropiación de 749 hectáreas de los ejidos de Atitalaquia (75% de hectáreas de superficie) y Tula de Allende (15%) (Martínez, s/a, citado por de la Mora, 2012).

Al mismo tiempo se instala la termoeléctrica “Francisco Pérez Ríos” en Atitalaquia en 1975 y es encargada de producir energía eléctrica para abastecer al centro del país, combinando ambas industrias que requerían de 35 millones de barriles por día de combustóleo (De la Mora, 2012). Durante este año se inicia el impulso al desarrollo industrial en la zona de estudio.

Para el año 2000 se decretó la conformación de la Zona Metropolitana de Tula (ZMTu), Hidalgo, partiendo de la propuesta de delimitación de zonas metropolitanas que cuentan con una ciudad de 50 mil o más habitantes, como ciudad definida se encuentra a Tula de Allende por el grado de importancia política y fueron reconocidas en el Programa Nacional de Desarrollo Urbano y Ordenación del Territorio 2001-2006 (CONAPO, 2004).

### **5.2.2 Conformación de la Zona Metropolitana de Tula (ZMTu)**

La Zona Metropolitana de Tula (ZMTu) se integró y reconoció formalmente a partir del año 2000, y está conformada por cinco municipios: Atitalaquia, Atotonilco de Tula, Tlahuelilpan, Tlaxcoapan y Tula de Allende de acuerdo SEDESOL (2007) (ver mapa 4.1). Donde la ciudad de Tula es el considerada como centro de esta concentración urbana. Además, es considerada por su tamaño como la 19 zona metropolitana.

De acuerdo con la información de SEDATU (2016), la zona metropolitana tiene una superficie territorial de 591 km<sup>2</sup>, mismos que representan el 2.84% del total de la superficie del Estado de Hidalgo. En cuanto a superficie total por municipio de los 5 municipios, Tula de Allende además de ser el centro de esta concentración metropolitana, es también el municipio de mayor extensión territorial seguido de Atotonilco de Tula y el de menor extensión territorial es Tlahuelilpan (ver tabla 1).

**Tabla 4.1. Superficie urbana de la ZMTu por municipio**

<b>Municipio</b>	<b>Superficie (km2) 2020</b>
Atitalaquia	62.5
Atotonilco de Tula	122.3
Tlahuelilpan	31.5
Tlaxcoapan	39
Tula de Allende	336.1

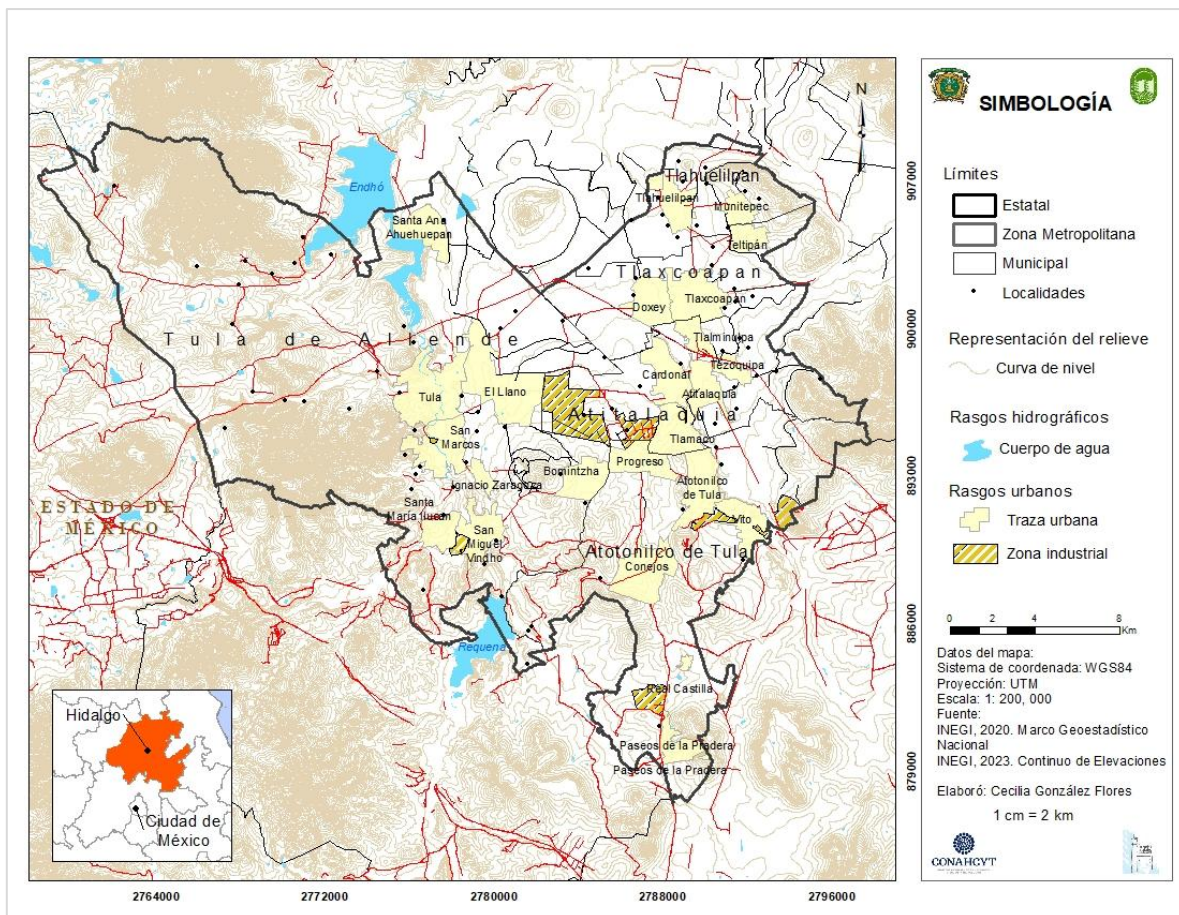
Fuente: Elaboración propia con base a SEDATU, 2023.

La ZMTu pertenece a la macrorregión del Valle del Mezquital, el cual se caracteriza por el clima semiárido con una precipitación media anual de 409 milímetros, siendo una tercera parte de las lluvias que se presentan en la Ciudad de México (Reyes, 2018).

El bajo volumen de precipitación no influye en la escasez del recurso hídrico, dado que en la ZMTu se ubica la Presa Endhó, al norte; el río Tula que se extiende y atraviesa la zona urbana

del municipio de Tula y la presa Requena, ubicada al sur de Tula de Allende y el Estado de México, esto se puede observar en el mapa 2 que representa la integración topográfica de la zona de estudio, observando la zona urbana de las cabeceras municipales y localidades urbanas, además de las zonas industriales obtenidas del Marco Geoestadístico Nacional 2020, ubicados principalmente en Tula de Allende y Atitalaquia con la Termoeléctrica “Miguel Hidalgo” y la Refinería “Francisco Pérez Ríos”, asimismo se aprecia uno de los parques ubicados al sur de Atotonilco.

**Mapa 4.2. Topográfico de la Zona Metropolitana de Tula, Hidalgo.**



Fuente: Elaboración propia, con base al Marco Geoestadístico Nacional, INEGI, 2023.

Siguiendo con la descripción de la ZMTu, otro aspecto importante es la población, que presenta una evolución de crecimiento que modificó en los últimos 15 años la dinámica de su población, principalmente en el municipio central (Tula de allende) y Atotonilco de Tula.

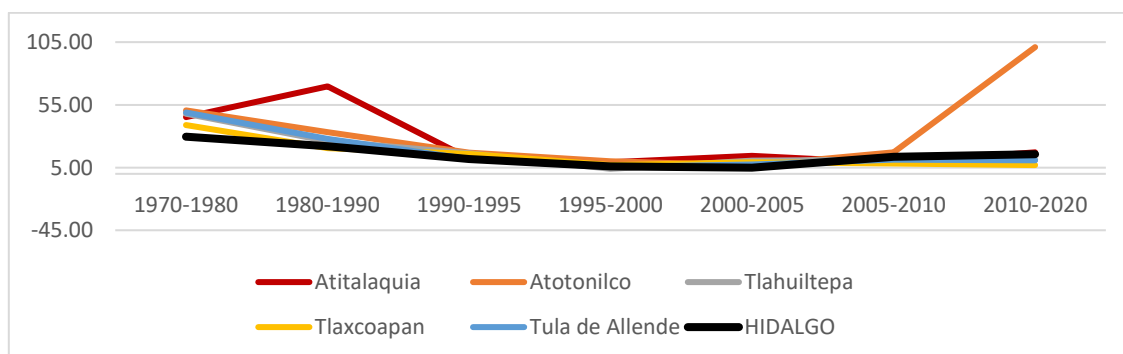
### 5.3 Características sociodemográficas

#### 5.3.1 Crecimiento de la población

El siguiente apartado, se realiza un análisis de la evolución demográfica de la población de los municipios que integran la ZMTu a partir del año de 1970 y hasta el 2020, para ello se retoma la descripción de gráficos e indicadores demográficos y económicos en el periodo mencionado, a partir de la información estadística de Censos de Población y Vivienda y Económicos de INEGI. Crecimiento poblacional 1970-2020 de la ZMTu

En materia demográfica el estado de Hidalgo en el periodo de estudio presenta una evolución estable de su población a partir de 1980 y hasta el año 2020; por su parte 3 de los 5 municipios (Tlahuiltepa, Tlaxcoapan y Tula de Allende) tienen una dinámica demográfica similar a la del Estado, mientras que el municipio de Atitalaquia en el periodo de 1980 a 1990 registró un crecimiento mayor al resto de los municipios de la ZMTu y en el último periodo (2010-2020) Atotonilco registro un crecimiento muy por arriba del resto de los municipios de la zona metropolitana y de la propia entidad (ver figura 4.3).

**Figura 4.3. Porcentaje de cambio de la población de la ZMTu y el Estado de Hidalgo, 1970-2020.**



*Fuente:* Elaboración propia, con base a Censos de Población y Vivienda, 1940 al 2020.

La figura 4.3 refleja el crecimiento relativo por municipio durante el periodo temporal de estudio y se identifica que presenta una ligera disminución en los primeros dos periodos (1970-1980 y 1980-1990), para después estabilizarse y nuevamente recuperarse a partir del año 2005; este comportamiento es coincidente con el comportamiento demográfico registrado en la entidad federativa, no obstante, un caso atípico fue Atotonilco de Tula, que en 2010 pasa de un crecimiento del 17.3% al 101.1% de crecimiento en 2020, este incremento coincide con el lapso de tiempo en que se inició con la construcción de unidades habitacionales al sur del municipio, y con la intención de que este municipio y en particular su cabecera municipal se convierta en ciudad dormitorio (J. T., Vargas, comunicación personal, 7 de marzo de 2025).

**Tabla 4.2. Evolución demográfica por municipio de la ZMTu de 1970 a 2020**

<b>Año</b>	<b>Atitalaquia</b>	<b>Atotonilco de Tula</b>	<b>Tlahuelilpan</b>	<b>Tlaxcoapan</b>	<b>Tula de Allende</b>	<b>Total</b>
<b>1970</b>	7147	9634	6177	10912	38685	72555
<b>1980</b>	10384	14519	9136	15156	57604	106799
<b>1990</b>	17,626	19,327	11,508	18,264	73,713	140,438
<b>1995</b>	19,794	22,607	13,400	21,159	82,333	159293
<b>2000</b>	21,636	24,848	13,936	22,641	86,840	169901
<b>2005</b>	24,749	26,500	15,412	24,734	93,296	184691
<b>2010</b>	26,904	31,078	17,153	26,758	103,919	205812
<b>2020</b>	31525	<b>62,470</b>	19067	28,626	115,107	256795

*Fuente:* INEGI, Censos de Población y Vivienda 1970, 1980, 1990, 2000, 2010 y 2020 y Encuesta Intercensal 1995 y 2005.

La expansión urbana y demográfica en Atotonilco de Tula se originó por el desarrollo de unidades habitacionales construidas sobre suelo ejidal, estos desarrollos inmobiliarios concentran los siguientes porcentajes de población: Paseos de las praderas (38.2%), Real

Castilla (4.25%) y Senderos de Pedregal (3.94%) en 2020, es decir, el 46.4% se concentra en estas 3 unidades de “interés social” (Caballero, 2023).

Este comportamiento demográfico, así como el incremento de la población en 4 de los 5 municipios de la ZMTu (a excepción de Tlaxcoapan) contribuyó a la “desintegración de la ZMTu”, por considerar que ésta ya contaba con una dinámica distinta presentada en 2023; de ahí que la SEDATU considera pertinente dentro de la nueva delimitación de las zonas metropolitanas de México “Metrópolis de México”, integrar a Tula de Allende a la megalópolis de la Ciudad de México debido a la modificación y arreglos en la dinámica laboral de Atotonilco hacia la zona metropolitana de la Ciudad de México, cambiando su centralidad a conurbación intermunicipal con Atitalaquia y Tlaxcoapan (SEDATU, 2020).

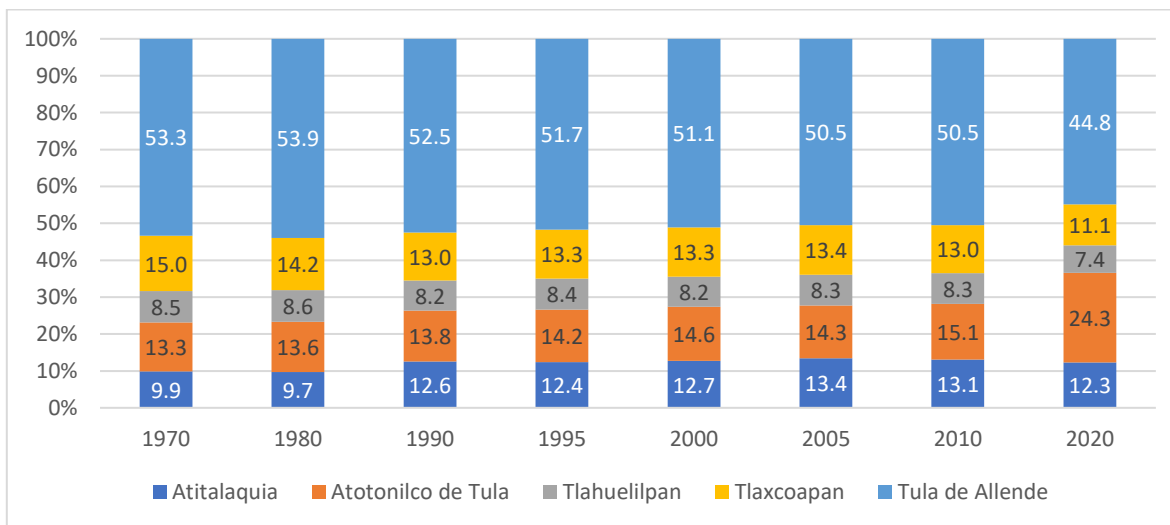
Siguiendo con la representación del crecimiento de la población total en la figura 4.4. se aprecia, en el periodo considerado entre los años de 1970 al 2020, el porcentaje de población que cada uno de los 5 municipios aporta a la ZMTu creada oficialmente a partir del año 2020, donde el municipio de Tula de Allende presenta un porcentaje por encima del 50% en prácticamente todos los cortes temporales, con la mayor participación de población en comparación con el resto de los municipios, de ahí entonces que Tula de Allende se ha considerado como el municipio central de esta conformación metropolitana.

No obstante, en el último periodo (2020) esta participación porcentual de la población a la ZMTu disminuyó al 44.8%, motivo por el cual se desintegró como zona metropolitana. Estos datos indican que la ciudad central que dio origen a la zona metropolitana ha ido perdiendo importancia en cuanto a lugar de residencia de la población.

El siguiente municipio en cuanto al aporte demográfico porcentual a la ZMTu es Atotonilco de Tula, con un comportamiento de crecimiento porcentual lento pero estable hasta el año 2010 en donde aportaba poco más del 15.1% de la población de la zona metropolitana. Sin embargo, para el año 2020 registró un crecimiento demográfico importante con un del 9.2%, con lo cual su aporte demográfico es cercano un cuarto de la población total de la zona

metropolitana (con un 24.3%). Este cambio hace suponer que Atotonilco se está consolidando como zona de residencia de población que labora dentro de alguno de los 5 municipios de estudio.

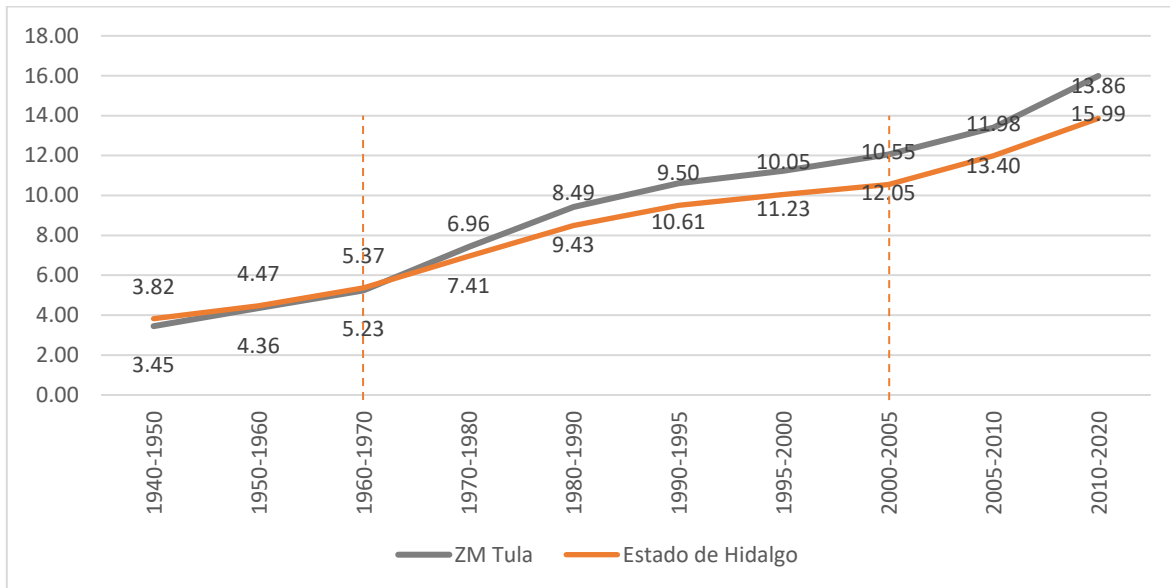
**Figura 4.4. Participación porcentual de la población por municipio de la ZMTu por año 1970-2020**



*Fuente:* Elaboración propia, con base a Censos de Población y Vivienda, 1970 al 2020.

El municipio con la menor aportación de población a la integración de la ZMTu es Thahuelilpan que en 1980 registró su mayor porcentaje de población con un 8.6% del total metropolitano, mientras que para el año 2020 ha registrado una disminución porcentual hasta representar solamente el 7.4% del total de la población metropolitana, asimismo, Tlaxcoapan reportó una disminución con un porcentaje inicial del 15% al 11.1% en 2020, siendo estos dos municipios con mayor categoría en actividades económicas agrícolas y menor porcentaje de urbanización, aspectos que pueden explicar la disminución en el aporte demográfico a la zona metropolitana.

**Figura 4.5. Crecimiento de la ZMTu y el Estado de Hidalgo, 1940-2020.**



Fuente: Elaboración propia, con base a Censos de Población y Vivienda, 1940 al 2020.

La figura 4.5 muestra un comparativo del crecimiento de la población total de la ZMTu y la entidad federativa, que reflejan una tendencia ascendente, con puntos de inflexión en dos lapsos de tiempo; el primero ocurrido entre el final de 1960 al 1970 con un incremento del 0.9% en la ZMTu. Este periodo fue durante el auge de la actividad industrial en el país y motivo para considerar el periodo de estudio de la investigación que coincide con el crecimiento de la población en la ZMTu. El segundo momento se da en el lapso entre el final de 2000 al 2005, con un incremento del 0.5%.

El crecimiento de la población tanto en la zona metropolitana de Tula de Allende y el Estado de Hidalgo de 1940 a 2020 en esta representación muestra una tendencia de incremento en la ZMTu presentó un incremento de la población del 10.04% y a nivel entidad fue del 12.54%, a pesar de que la tendencia es similar en ambos niveles, con puntos de inflexión en los mismos periodos, tiene una diferencia de crecimiento del 2.5%. Las condiciones demográficas reflejan momentos de impacto sobre el crecimiento de la población influidos por el inicio y desarrollo de la actividad industrial que al mismo tiempo modificó las actividades económicas en la zona de estudio.

### **5.3.2 Estructura de la población**

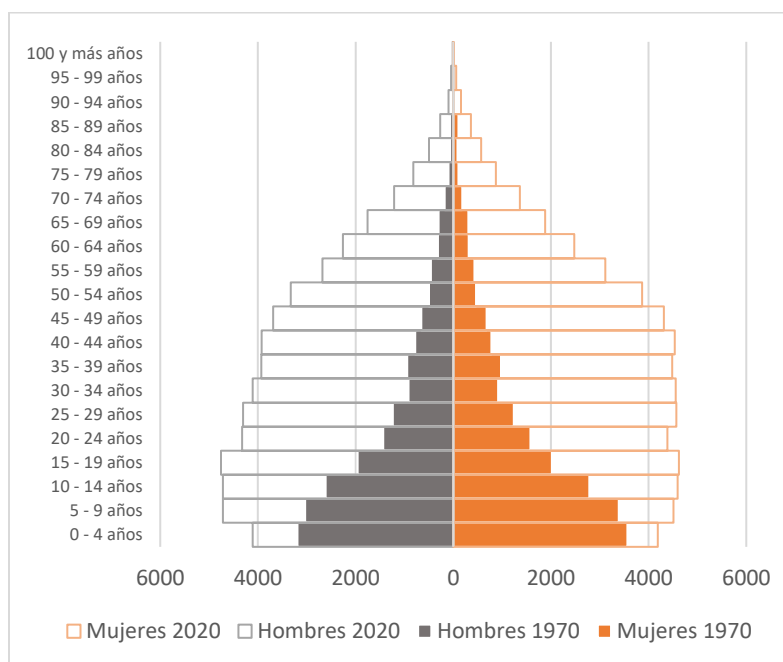
Respecto a la estructura de la población de los cinco municipios con mayor crecimiento urbano y participación industrial: Tula de Allende (ciudad central), Atotonilco de Tula, Atitalaquia, Tlaxcoapan y Tlahuelilpan; estos dos últimos con menor crecimiento urbano y enfocado a la agricultura de riego, correspondientes a 2 periodos; 1970 y 2020. La pirámide poblacional permite el análisis de una población por edad y sexo, es decir, el comportamiento de la dinámica demográfica y que de acuerdo con los acontecimientos ocurridos se ve modificado a lo largo del tiempo (Welti, 1997).

Dependiendo de las características de la estructura, existen tres tipos de pirámides:

- Progresiva: se caracteriza por poblaciones con alta fecundidad y se ve reflejado con una base ancha en los primeros grupos quinquenales que se va reduciendo hasta llegar a la punta.
- De tambor o rectangular: en esta se ha perdido la forma piramidal, donde la base tiene menor longitud a diferencia de las barras o grupos intermedios (Welti, 1997).
- Inversa: presente en países europeos, que muestran los estragos de las dos guerras mundiales con mayor número de población senil que joven (Welti, 1997).

Las pirámides de población permiten identificar las características principales de la población de acuerdo con cada uno de sus rangos etarios y de esta forma identificar las necesidades actuales de acuerdo con los grupos predominantes y los requerimientos a futuro, en función de la evolución de los distintos grupos de edad. En este sentido el análisis de dos cortes temporales permite vislumbrar la evolución demográfica de cada uno de los municipios y su evolución en un periodo de 50 años (1970-2020).

**Figura 4.6. Pirámide de población de Tula de Allende 1970-2020**



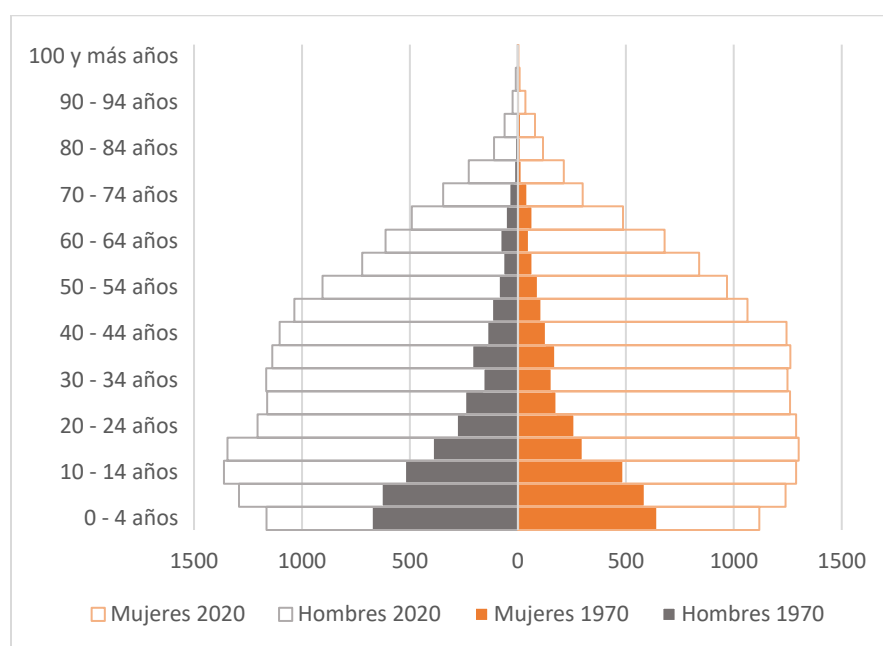
Fuente: Elaboración propia con base a INEGI, 1970-2020.

La figura anterior se refiere a la pirámide población para el municipio central de la ZMTu (Tula de Allende) en su año inicial (1970) se muestra de tipo progresiva que se describe con una base mayor y disminución a medida que pasan los grupos quinquenales. En este sentido, para el año inicial, Tula presentaba una estructura de población mayoritariamente infantil, con predominancia de grupos de edad de 0 a 14, aspecto que denota una alta natalidad y una disminución de la población de los 15 años o más, situación que podría haber estar asociada con aspectos de migración, en busca de mejores condiciones de vida y una alta mortalidad, derivado de la falta de servicios médicos. También se aprecia un ligero predominio de las mujeres en los distintos grupos etarios.

Después de 50 años la estructura de la población se modificó radicalmente a una pirámide estacionaria (regresiva), cuya característica es la presencia de una base más estrecha que la parte inicial y un ensanchamiento de los grupos etarios intermedios, esto es indicador de un incremento del número de población central (población joven en edad laboral de 15 a 54 años).

Este aspecto sin duda coincide con el desarrollo e impulso de actividades económicas en el municipio de Tula, especialmente con actividades relacionadas con la cementera, la termoeléctrica y la refinería, así como la demanda de mano de obra requerida en cada una de ellas. Un aspecto importante de este cambio en la estructura de la población del municipio se asocia con la inmigración de población proveniente de otros estados durante los últimos años; aspecto que se contrasta en las pirámides de población.

**Figura 4.7. Pirámide de población de Atitalaquia 1970-2020**



*Fuente: Elaboración propia con base a INEGI, 1970-2020*

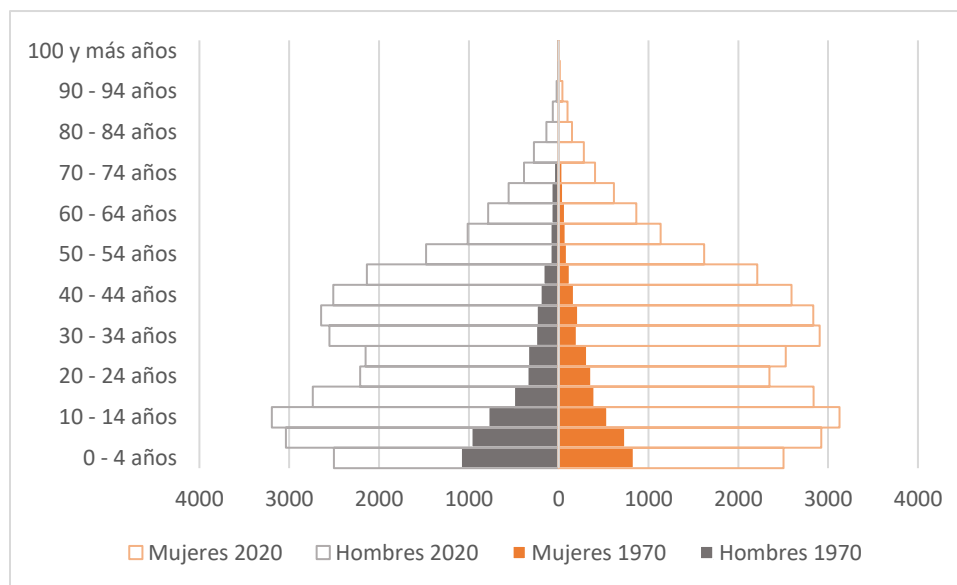
Por su parte, el municipio de Atitalaquia presenta un incremento de la población más marcada que Tula, con una de estructura progresiva como la mayoría del comportamiento de la población en México y caracterizada por una alta tasa de fecundidad, aunque a diferencia de la pirámide anterior, la base de la población con mayor número de población masculina y un marcado incremento en los grupos etarios de 35 a 39 años, pero para 2020, la población incrementó de 1,322 en su base a 2,282 habitantes, es decir, cerca del 50% de crecimiento de

la población, también se aprecia una ligera disminución de la base en 2020 con una pirámide rectangular con mayor población madura de acuerdo a los grandes grupos de edad, presente en la población en edad de laborar, en los grupos etarios de 15 a 54 años con una disminución.

Este municipio presenta una de las industrias más grandes y la relación respecto a la población no nacida en la entidad, que indica un incremento de la población más visible que la ciudad central, Tula, la relación entre el incremento de población y el desarrollo industrial también es evidente en la estructura de la pirámide entre 1970 a 2020, sin embargo, en el último año refleja un comportamiento de tipo estacionario y con la disminución de la base, que indica la disminución de natalidad en el municipio.

Aunque Atitalaquia cuenta con grandes industrias y comparte la refinería con Tula de Allende, la estructura de población en el último año (2020) registrado en el censo de población refleja la disminución poblacional, una de las causas deriva de las condiciones ambientales, de salud y laborales que buscan los grupos etarios entre 20 a 40 años de edad, que se han desplazado hacia otros estados en busca de una mejor calidad de vida, lejos de las problemáticas sobre todo de salud en la zona metropolitana.

**Figura 4.8. Pirámide de población de Atotonilco de Tula 1970-2020**

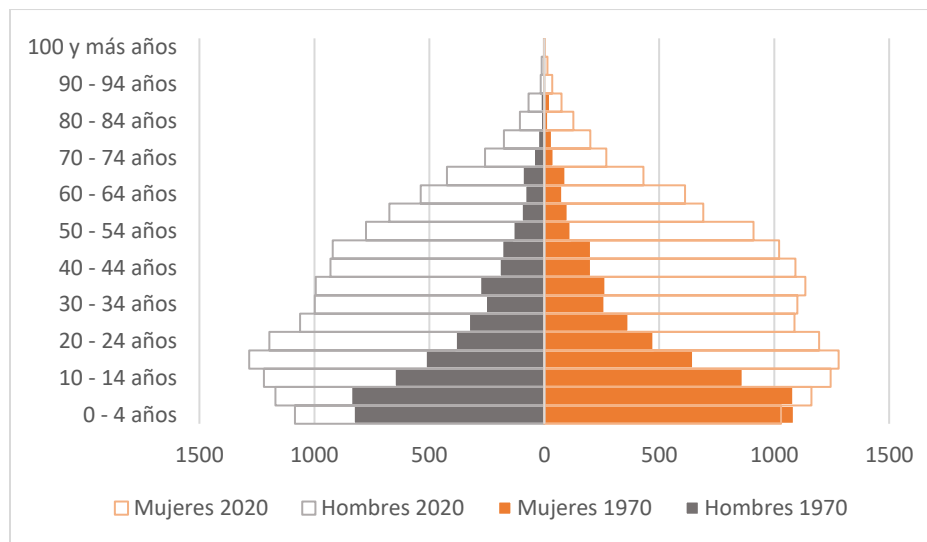


*Fuente:* Elaboración propia con base a INEGI, 1970-2020

La figura 4.8 representa la estructura de la población de Atotonilco de Tula que tuvo un incremento significativo de la población del periodo de análisis. En 1970 la población predominante se ubica en los grupos de edad de 14 años o menos, y una disminución importante en los grupos de población a partir de los 15 años, por lo que la pirámide se considera como progresiva formada con un pico en los últimos grupos de edad, sin embargo, la dinámica demográfica presenta un incremento de la población importante para el año 2020, aunque se aprecia una importante disminución de nacimientos en el grupo de 0 a 4 años y un incremento en los siguientes grupos de edad, seguido de otra disminución de la población en edad de laborar entre los 20 a los 29 años y nuevamente con un incremento de la población a partir de los 30 años y a partir de los 55 años en adelante comienza a disminuir.

Cabe destacar que el comportamiento de Atotonilco en la cuestión demográfica y económica presentó un incremento en el crecimiento de las variables analizadas sobre todo por la atracción laboral y la conexión con los estados del centro del país. El caso de Atotonilco muestra un incremento de la población significativa que de acuerdo con Hernández y García (2023) la causa son las tasas migratorias que durante el periodo de 2010 a 2020 tuvo una tasa de crecimiento aproximado de 7.2% anual.

**Figura 4.9. Pirámide de población de Tlaxcoapan 1970-2020**



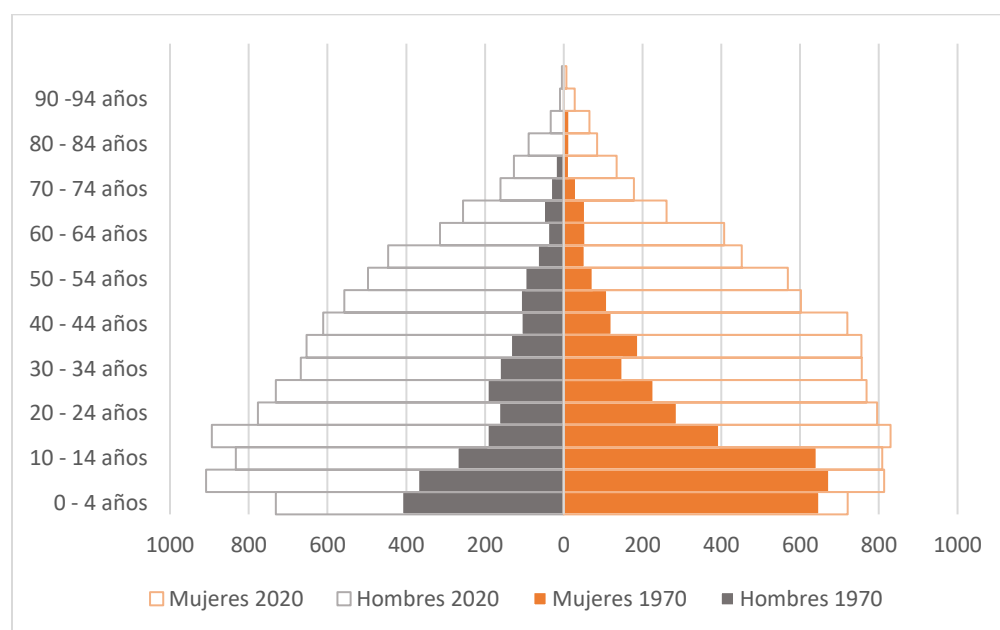
*Fuente:* Elaboración propia con base a INEGI, 1970-2020

Para el municipio de Tlaxcoapan la estructura demográfica en el periodo inicial (1970) presenta una pirámide progresiva con una base amplia cercano a los 2000 habitantes, no obstante, se aprecia de manera notoria un mayor número de población femenina en los primeros grupos etarios.

Cincuenta años más tarde, en 2020 se observa un incremento de la población con menor definición en la estructura, la base de la pirámide muestra una ligera disminución en el número de nacimientos, debido a la reducción del primer grupo de edad (0 a 4 años), pero con una población mayoritaria en los grupos etarios de 10 hasta 24 años, en los siguientes grupos se muestra un estancamiento de población, pero considerando que Tlaxcoapan presenta un mayor número de localidades rurales, el tipo de pirámide mantiene aún una estructura de población progresiva con tendencia a ser estacionaria.

En comparación con los 3 municipios anteriores, Tlaxcoapan tuvo un crecimiento demográfico de 2010 a 2020 del 6.98% (Secretaría de Economía, 2022), además de considerar que en el municipio no existen industrias establecidas, y donde la población económicamente activa se encuentra inserta en la agricultura de riesgo y de temporal, al igual que en el municipio de Tlahuelilpan.

**Figura 4.10. Pirámide de población de Tlahuelilpan 1970-2020**



*Fuente:* Elaboración propia con base a INEGI, 1970-2020

En la figura 4.10. se representa la pirámide poblacional de Tlahuelilpan, con una característica con menor población masculina en 1970, con una estructura progresiva, pero con menor población en el municipio, con cerca de 1000 habitantes. Para 2020, la pirámide muestra un incremento de la población masculina, sin embargo, también puede observarse una reducción mayor en su base, es decir, la natalidad se ve reducida respecto a los siguientes grupos de edad, sobresaliendo la población masculina de 10 a 14 años y de 19 a 23 años.

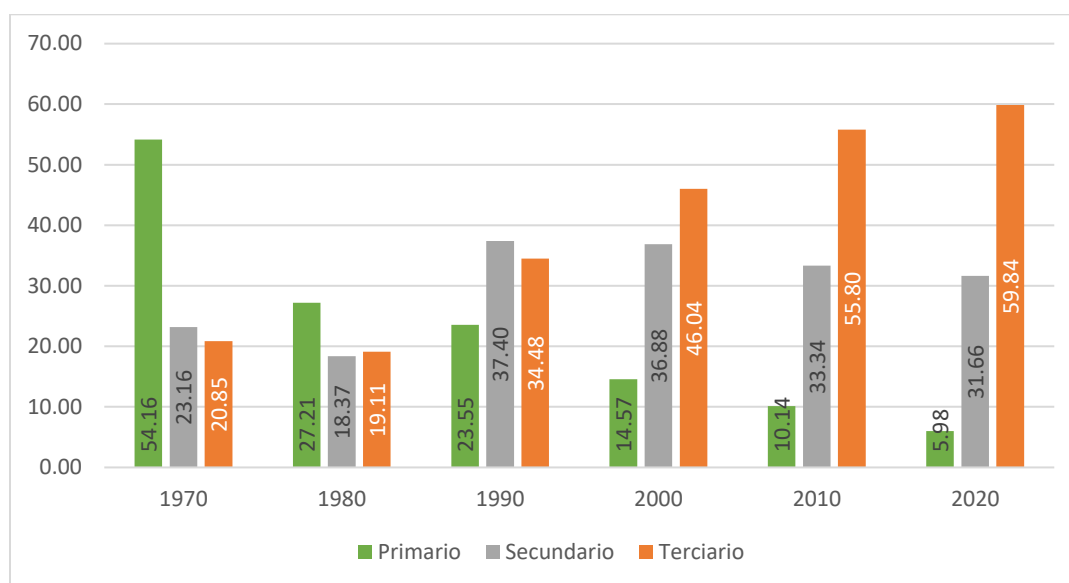
La estructura de la pirámide se muestra similar la de Tlaxcoapan, con una ligera tendencia a ser estacionaria, pero aún conserva la forma de pirámide progresiva, al igual que Tlaxcoapan, el municipio de Tlahuelilpan presenta una población menor en zonas urbanas y con predominio en los sectores de actividad primarios y en servicios, esto debido a las zonas de agricultura y que se ubican más alejados de la capital del país y el Estado de México.

#### **5.4 Características socioeconómicas**

En este apartado se describen las características socioeconómicas de la población de la zona de estudio, desde el año inicial (1970) al año final (2020), considerando el primer aspecto sobre la población ocupada por actividad económica en el periodo de referencia.

Posteriormente se describe las condiciones de calidad del aire a partir de indicadores presentados por SEMARNATH en 2023, y donde se muestra ciertos vacíos de información respecto a los reportados en las estaciones de monitoreo.

**Figura 4.11.** Porcentaje población ocupada por sector económico de la ZMTu, 1970-2020.



*Fuente:* Elaboración propia, con base a Censos de Población y Vivienda, 1970 al 2020.

En la figura 4.11, se muestra la evolución de las actividades económicas de la zona metropolitana con la reconversión del sector económico primario (agrícola), que predominaba en 1970 con el 54.16%, que se redujo al 27.21% en una década, mientras que la actividad secundaria (industria) iniciaba con el 23% de población ocupada, seguido de las actividades terciarias con el 20%. Durante este primer intervalo de tiempo la actividad agrícola era intensiva debido al abastecimiento de las aguas residuales del centro del país a esta zona; la llegada del ferrocarril intensificó la agroindustria, permitiendo la distribución y producción agrícola de en un 60% a nivel nacional (Piedra, 2019).

Durante 1980, los tres sectores económicos disminuyeron su población ocupada, sin embargo, el sector primario se redujo considerablemente al 27%, es decir, 26% de su capacidad, durante este periodo la información obtenida de los censos económicos reporta

un número por encima de 1000 personas con “actividades insuficientemente especificadas”, por ello se presenta un total de población ocupada cercana al 70%.

Para la siguiente década (1990) se aprecia considerablemente el inicio de la conversión de actividades económicas, con el mayor porcentaje de personal en la industria con cerca del 40% seguido de las actividades terciarias y una disminución aproximada del 4% de las actividades agrícolas. Entre 1950 a 1980 se proporcionó un impulso al sector industrial mediante la inversión pública y empresas paraestatales en el país, (Gaytán *et. al.* 2019), esto se reflejó en la ZMTu hasta 1980.

En el año 2000, el sector industrial presentó una ocupación significativa, sin embargo, la actividad predominante durante este intervalo fue el crecimiento del comercio y los servicios, con poco más del 46% de ocupación, desplazando considerablemente al sector primario con el 14.57%, este corte temporal muestra un cambio importante de predominancia y producción económica en la zona de estudio, sin embargo, se debe considerar que el tipo de empleo o rama de actividad del sector terciario implica mayores empleos informales en comparación con la industria, lo que implica el aumento de ocupación en comercio y servicios.

Siguiendo con los periodos censales, se destaca en 2010 que existe una ligera disminución en el sector manufacturero del 3% y el incremento de las actividades terciarias, considerando la premisa expuesta sobre los tipos de empleos en este sector. También las actividades agrícolas reportaron una disminución del 14% al 10%, (redujo un 4%) en un lapso de 10 años, otro factor importante es la ocupación del suelo con el incremento de la población y aumento de las zonas urbanas en la ZMTu.

Finalmente, en 2020 se destaca el impacto en las actividades de comercio y servicios con cerca del 60% de la población ocupada, mientras que la industria mostró una disminución al 33%, en la última década censada se redujo 2% de personal ocupado, así como en el sector primario con la mitad de PEA que en 2010. Cabe señalar que el análisis de la evolución de

las actividades económicas presenta periodos de tiempo importantes a nivel país, teniendo un impacto importante en el territorio de la ZMTu.

El incremento de la población ocupada en el sector terciario fue del 70% en los últimos 50 años censales con un cambio en la actividad agrícola y una ligera disminución en la población ocupada en la industria, sin embargo, la producción de la industria, en específico de la producción del cemento en 2020 mostró un incremento significativo.

Por su parte, la Secretaría de Energía (2023), en su informe de labores de 2002-2023, menciona que energía eléctrica y combustibles son esenciales para el bienestar de la población, siendo un insumo indispensable, incrementando la productividad energética encaminada a la autogeneración, considerando a la Central Termoeléctrica “Francisco Pérez Ríos” y la Refinería “Miguel Hidalgo”.

Asimismo, los cambios de intensificación y conversión de las actividades económicas presentan esa tendencia y se concluye que la actividad primaria que inició con el 54% en 1970 muestra una reducción significativa para el año 2020 donde apenas represento poco menos del 6% de la población ocupada de la población de la ZMTu. Sin embargo, el estancamiento y las cifras presentadas en la figura 4.10, reflejan un periodo de desarrollo marcado a partir de 1990 de la industria en el territorio de la ZMTu.

### **5.5 Afectaciones ambientales: calidad del aire**

El presente apartado presenta las condiciones ambientales reportadas por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales del Estado de Hidalgo (SEMARNATH), a través del Programa de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire del Estado de Hidalgo, 2021-2030.

Para la medición de indicadores de calidad del aire, la SEMARNATH utilizó las fuentes de datos proporcionadas por el Sistema de Monitoreo Atmosférico del Estado de Hidalgo (SIMAEH, 2021), en el Programa se manejan 20 estaciones de monitoreo automático y

manual, pero para el caso de estudio, se tienen en cuatro de los cinco municipios: Tula de Allende, Atitalaquia, Atotonilco de Tula y Tlaxcoapan. Este último reporta como información referente a los contaminantes de partículas menores a 10 micrómetros (PM<sub>10</sub>).

**Figura 4.13 Estaciones y parámetros que conforman el sistema de monitoreo atmosférico del Estado de Hidalgo**

Municipio	Estación	Clave	Coordenadas geográficas		Tipo de equipo	Año de inicio de operación	Contaminantes medidos						Parámetros meteorológicos						
			Latitud	Longitud			PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	O <sub>3</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	UVA	UVB	Temp	HR	DV	VV	PB
Pachuca de Soto	Jardín del Maestro	JDN	20.120322	-98.739872	Automático	2010	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Museo del Rehilete	REH	20.077191	-98.778097	Automático	2011	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Casa de la Mujer Hidalguense	CMH	20.123356	-98.736741	Manual	2012	✓												
	Instituto Tecnológico de Pachuca	ITP	20.123356	-98.736741	Manual	2016		✓											
Tula de Allende	Centro de Salud	CSA	20.053818	-99.340133	Automático	2006	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
			20.053786	-99.340159	Manual	2016	✓												
			20.053786	-99.340159	Manual	2016		✓											
Atitalaquia	Centro de Salud	ATI	20.06018	-99.222152	Automático	2009	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
			20.060122	-99.221974	Manual	2004		✓											
Atotonilco de Tula	Primaria Revolución	ATO	20.006633	-99.218593	Automático	2011	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
			20.006629	-99.218652	Manual	2015		✓											
			20.006629	-99.218652	Manual	2018	✓												
Tepel del Río de Ocampo	Primaria Melchor Ocampo	TPJ	19.906096	-99.341702	Automático	2010	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
			19.906085	-99.341604	Manual	2004		✓											
Tlaxcoapan	Centro de Salud	TCP	20.091757	-99.228025	Manual	2004	✓												
Tizayuca	Biblioteca	TIZ	19.840517	-98.98126	Automático	2010	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
			19.840715	-98.98099	Manual	2012	✓												
			19.840705	-98.980955	Manual	2016		✓											
Lolotla	Presidencia Municipal	LOL	20.841113	-98.717052	Manual	2012		✓											
Tepeapulco	Bomberos	TEP	19.771692	-98.577539	Automático	2014	✓		✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓		
Huichapan	Hospital	HUI	20.375104	-99.654448	Automático	2014	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓		
Zapotlán de Juárez	Palacio Municipal	ZAP	19.973984	-98.861964	Manual	2014	✓												
Tulancingo de Bravo	DIF municipal	TLN	20.085231	-98.366539	Automático	2015	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓		

Fuente: SEMARNATH, 2023. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/810373/39\\_ProAire\\_Hidalgo.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/810373/39_ProAire_Hidalgo.pdf)

Las estaciones de monitoreo en la ZMTu tienen diferentes años en su construcción e inicio de operación, pero los indicadores reportados son de los años 2016 al 2020. El Programa tiene la finalidad de realizar una evaluación continua de los contaminantes, a través de los indicadores de la calidad del aire para las partículas menores o iguales a 10 y 2.5 micrómetros (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>), ozono (O<sub>3</sub>), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), y monóxido de carbono (CO).

La información se clasifica en comportamiento mensual, diario y por horario, este último cada 8 horas o cada hora (SEMARNATH, 2023).

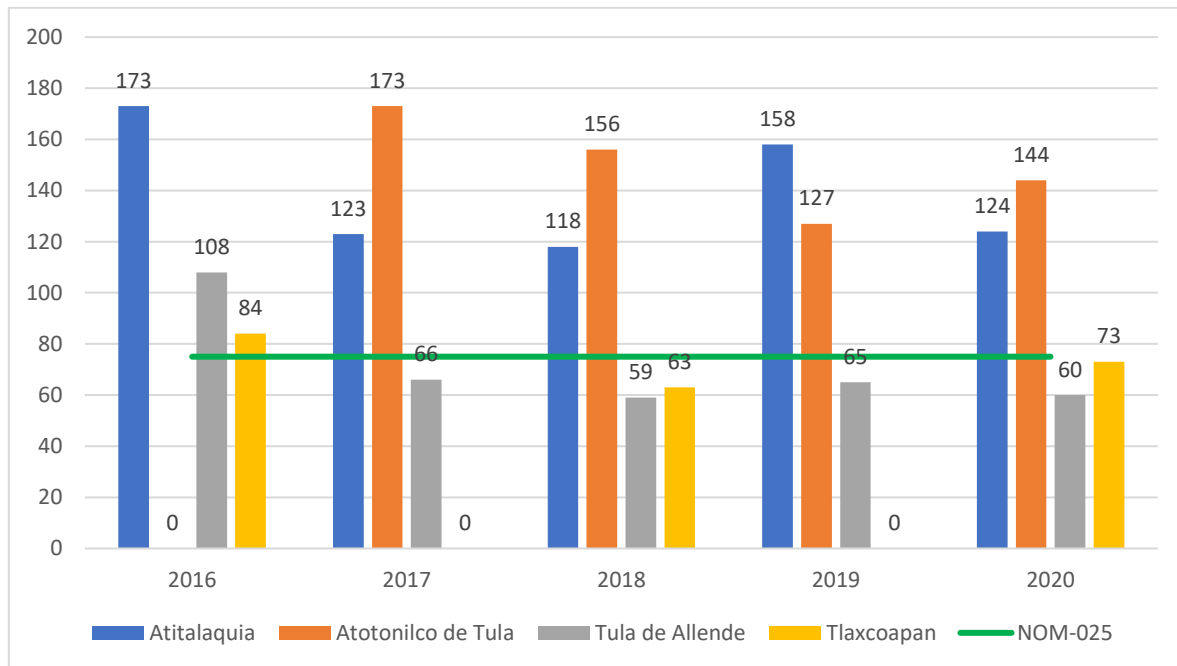
**Figura 4.14 Índice de aire y salud: calidad del aire, intervalos y colores de acuerdo con rango de concentración por contaminante.**

Color	Calidad del aire	PM <sub>10</sub> µg/m <sup>3</sup>	PM <sub>2.5</sub> µg/m <sup>3</sup>	O <sub>3</sub> 1 hora ppm	O <sub>3</sub> 8 horas ppm	SO <sub>2</sub> ppm	NO <sub>2</sub> ppm	CO ppm
Verde	Buena	0-50	0-25	0.0-0.051	0.0-0.051	0.0-0.008	0.0-0.107	0.0-8.75
Amarillo	Aceptable	>50-75	>25-45	>0.051-0.095	>0.051-0.070	>0.008-0.110	>0.107-0.210	>8.75-11.00
Naranja	Mala	>75-155	>45-79	>0.095-0.135	>0.070-0.092	>0.110-0.165	>0.210-0.230	>11.00-13.30
Rojo	Muy mala	>155-235	>79-147	>0.135-0.175	>0.092-0.114	>0.165-0.220	>0.230-0.250	>13.30-15.50
Morado	Extremadamente mala	>235	>147	>0.175	>0.114	>0.220	>0.250	>15.50

Fuente: SEMARNATH, 2023. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/810373/39\\_ProAire\\_Hidalgo.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/810373/39_ProAire_Hidalgo.pdf)

Los rangos de calidad de aire se miden a partir de los parámetros establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas, considerando calidad de aire buena, aceptable, mala, muy mala y extremadamente mala identificándolos con colores representativos de semáforo.

**Figura 4.15. Cumplimiento de la NOM de PM<sub>10</sub> 24 horas promedio.**



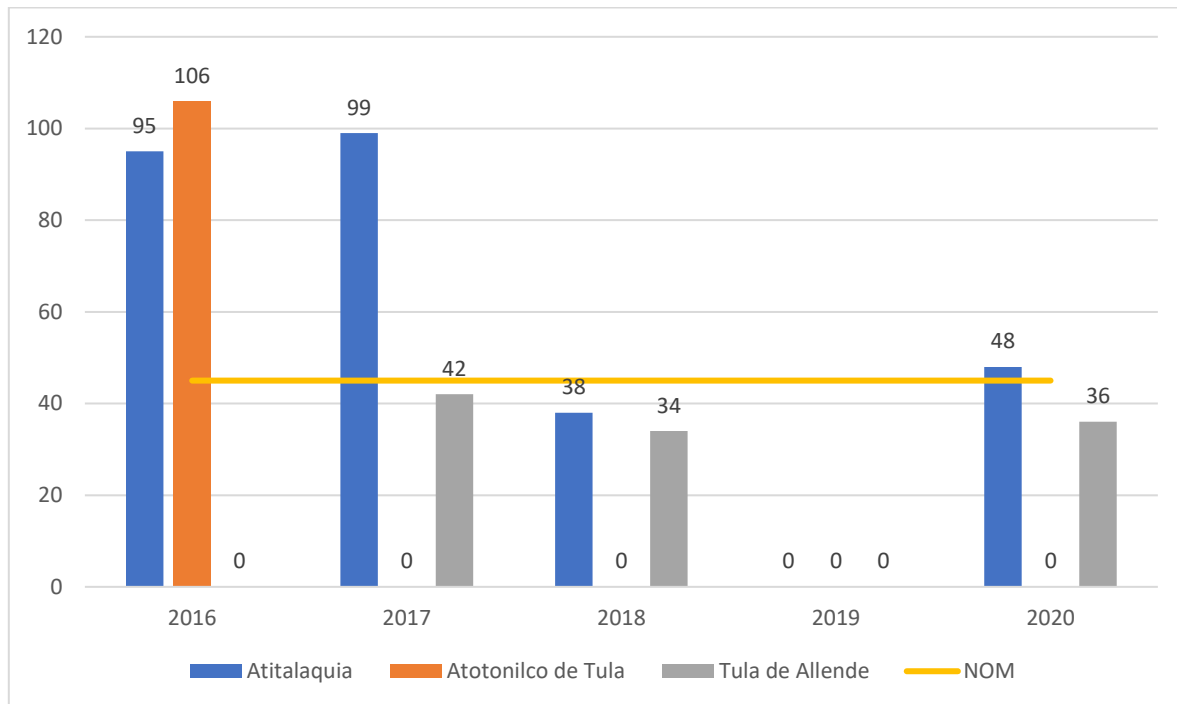
Fuente: Elaboración propia, con base a los datos de SIMAEH y ProAire.

La figura 4.15 ilustra el comportamiento de la NOM-025-SSA1-2014 de partículas menores a 10 micrómetros con un límite de 75 µg/m<sup>3</sup>, donde se incumplieron en todas las estaciones

en al menos un año, siendo Atitalaquia y Tula con los valores más altos y Tlaxcoapan solo en el año 2016. Existen "datos insuficientes" en la mayoría de las estaciones y periodos. Estos altos valores en Atitalaquia y Tula se deben a la concentración de establecimientos industriales de gran tamaño y la generación de producción elevada mencionada anteriormente.

Las estaciones de Atitalaquia y Atotonilco en 2016 y 2017 rebasaron el límite establecido por la norma a más del 43%, aunque ambas estaciones en el último año redujeron a cerca del 10%, aún se encuentra por encima del límite permitido (ProAire, 2023).

**Figura 4.16. Cumplimiento de la NOM de PM<sub>2.5</sub> 24 horas promedio**



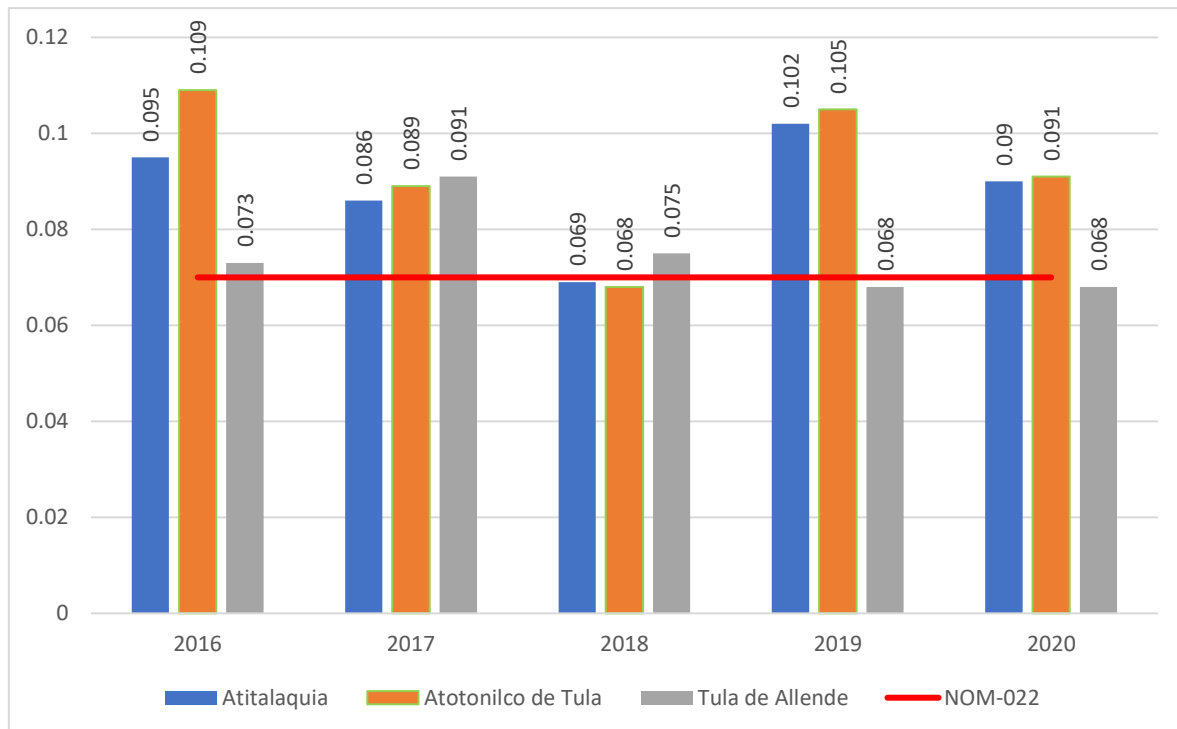
Fuente: Elaboración propia, con base a los datos de SIMAEH y ProAire, 2023.

En la figura 4.16 muestra el cumplimiento de la NOM-025-SSA1-2014 de PM<sub>2.5</sub>, donde los datos insuficientes fueron en más estaciones que en la de PM<sub>10</sub>, para llevar a cabo la evaluación. El límite para esta norma es de 45 µg/m<sup>3</sup>, por lo que en el primer año Atotonilco

presenta el mayor registro con  $106 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , es decir, más del 40% del límite permitido, Atitalaquia también refleja valores similares en 2016 y 2017.

En 2019 ninguna de las estaciones contó con los datos suficientes para ser evaluados, ante la falta de información no se puede observar una tendencia en los años referidos. Incluso en el documento original para este año solo se reporta los datos de dos estaciones de las 20 establecidas en la entidad federativa.

**Figura 4.17. Cumplimiento de la NOM-022 de  $\text{O}_3$  en promedio cada 8 horas**



Fuente: Elaboración propia, con base a los datos de SIMAEH y ProAire, 2023.

Para el caso de ozono en la ZMTu todas las estaciones presentaron indicadores de tres estaciones de monitoreo con incumplimiento de la NOM-020-SSA1-2014, en todas las estaciones, en los dos primeros años, las tres estaciones rebasaron el límite permitido de 0.070 ppm. En 2018 se presentaron los valores más bajos en las tres estaciones, solo Tula rebasó el límite establecido en la norma.

Es Tula de Allende que presenta los valores más bajos en comparación con las otras dos estaciones, rebasando el límite de la norma en 2017 y en menor cantidad en 2018. Atotonilco es el que presenta el mayor valor en el primer año con el 64% más de ozono. Puede observarse una tendencia de mayor grado de emisiones de O<sup>3</sup> en dos de las tres estaciones.

El desarrollo de este apartado consideró aspectos vinculados a la industria y el crecimiento demográfico y urbano de la Zona Metropolitana de Tula, además de un apartado general de las condiciones ambientales con limitantes en la información retomada. Sin embargo, es importante mencionar que la elaboración de este apartado permitió describir mediante los periodos de tiempo lapsos de tiempo importantes en el desarrollo industrial, cambios en las dinámicas económicas y demográficas, mismas que permiten abordar un análisis de la expansión urbana mediante los indicadores establecidos en la metodología que se describen en el siguiente apartado.

## **6. Resultados: análisis del desarrollo industrial, expansión urbana y transformaciones territoriales en la ZMTu**

Este apartado final comprende de tres partes: el primero refiere al desarrollo industrial, considerando la distribución de las industrias y parques industriales establecidas por municipio que comprende 3 parques industriales y un corredor. Posteriormente se presenta el análisis a partir de los indicadores demográficos y urbanos como el grado de urbanización y proyecciones de población para los años 2030 y 2040 con las superficies urbanas requeridas para ambos periodos. Como parte fundamental para la comprensión de la dinámica y evolución urbana en la ZMTu.

Finalmente se presenta el análisis de la transformación territorial desde un enfoque espacial, a través de la medición del cambio de uso de suelo conforme a las 6 clasificaciones de suelo mediante el uso de sistemas de información geográfica, que permitieron identificar los cambios en el territorio y mostrando la expansión urbana. Es importante mencionar que para este análisis, se realizó a partir de 1985 como año inicial debido a que las imágenes satelitales iniciaron en este año en México, hasta el 2020.

### **6.1 Desarrollo industrial en la ZMTu 1970-2020**

Las actividades económicas de la ZMTu presentan en el periodo de 1970 una reconversión de las actividades económicas, debido al impulso del desarrollo industrial en el país, entre 1950 y 1970 con el crecimiento de la población y la demanda de energéticos, la industria comienza la expansión de refinerías alejadas de los centros de consumo para atender y cubrir las necesidades de las principales ciudades (Rojas, 2009).

Ejemplo de lo anterior es que para el año de 1974 se construye la Refinería Miguel Hidalgo con la finalidad de abastecer la demanda energética del Distrito Federal (ahora Ciudad de México) y los Estados del centro del país, quienes en conjunto concentran una demanda nacional del 30% (De la Mora, 2012).

**Cuadro 4.1. Parques industriales de la ZMTu**

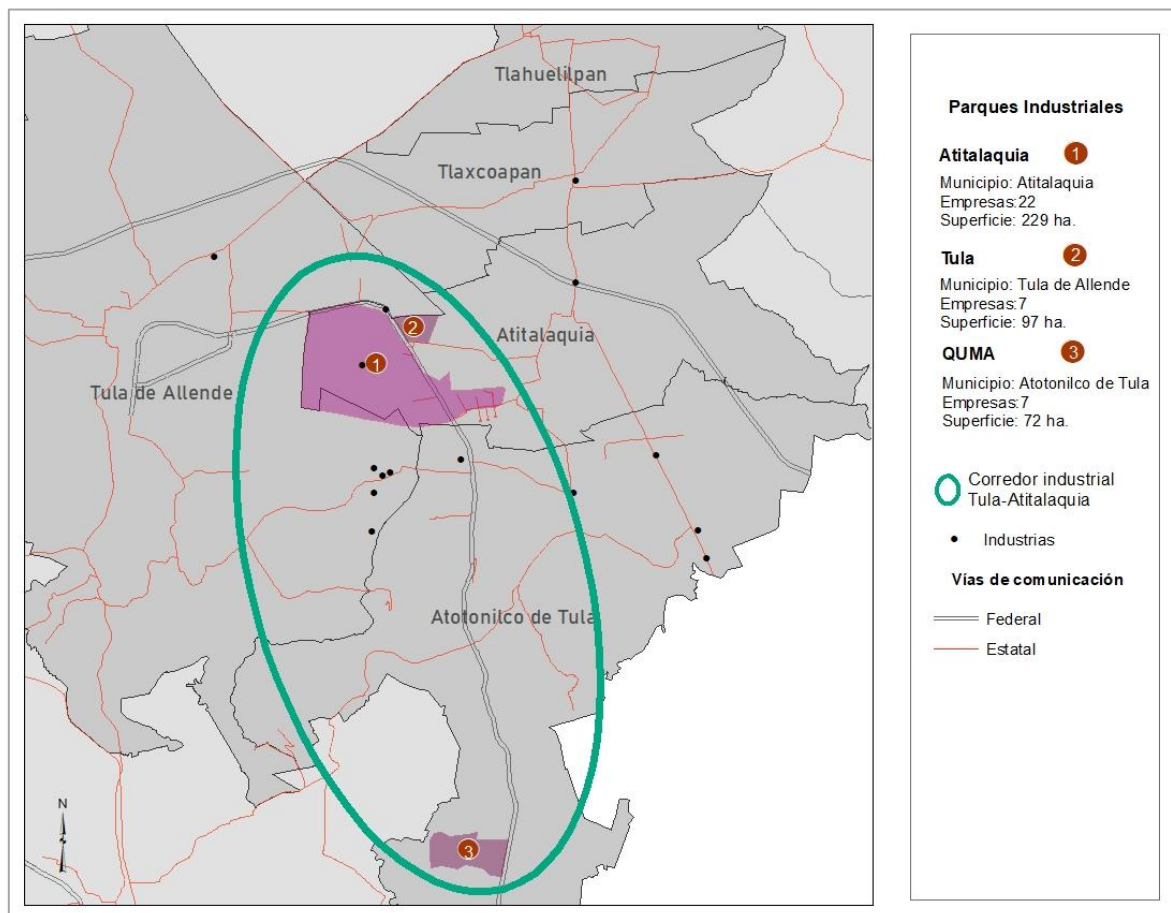
<b>Municipio</b>	<b>Parque industrial</b>	<b>Año de creación</b>
<b>Tula de Allende</b>	Parque Industrial de Tula	2008
<b>Atitalaquia</b>	Parque Industrial de Atitalaquia	2010
<b>Atotonilco de Tula</b>	Parque industrial de QUMA	2014

*Fuente:* Elaboración propia con base al DENUE, INEGI, 2023.

La ZMTu cuenta con 3 parques industriales ubicados en 3 de los 5 municipios que lo conforman, el primero fue el Parque Industrial Tula en 2008, con una superficie de 97 hectáreas y 7 industrias. El Parque Atitalaquia inició sus operaciones en 2010 con la mayor superficie de la zona (229 ha.) ubicado en el municipio con el mismo nombre y como se observa en la figura 4.11 se encuentra a un costado del Parque Tula, se conforma de 22 empresas. El parque más reciente es el QUMA que operó a partir de 2014 al sur de Atotonilco con una superficie total de 72 ha. (SEDECO, 2019).

Dentro de los 3 municipios con parques industriales está conformado el corredor industrial Tula-Atitalaquia formado por los 3 parques industriales mencionados, el corredor industrial es definido como la agrupación de ciudades o parques industriales localizados en vías de comunicación conectadas (carreteras federales y estatales) en dos o más municipios incluyendo zonas urbanas y rurales (INEGI, 2010). La carretera federal libre Jorobas-Tula y la autopista del Arco norte que conectan con el Estado de México y la capital del país (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2020).

Figura 4.12. Parques y corredor industrial de la ZMTu, Hidalgo



Fuente: Elaboración propia con base a la Asociación Mexicana de Ferrocarriles, 2019.

La figura anterior (4.12) muestra los parques industriales presentes en la zona metropolitana que juntos conforman el corredor industrial Tula-Atitalaquia, con un área total de 398 ha. y 36 empresas establecidas, esas conectadas por vías principales. En este sentido, se observa la red de vías de comunicación conectada para las distintas ciudades del país.

La concentración de estas empresas representa una fuente de empleo en este sector, por lo que se muestra el personal ocupado en las industrias destinadas a la fabricación de caliza, cementos y sus derivados, así como la Termoeléctrica y la Refinería que se describe a continuación.



En Tula también se encuentra una mina de roca caliza llamada “Cooperativa Bomintzha SCL” con 100 empleados, en Tula de Allende se concentran algunas empresas con menor número de personal ocupado. Por su parte, Atitalaquia cuenta con una mina de arcillas al norte del municipio con 50 personas empleadas, además de Cementos Fortaleza que se localiza al oeste de la cabecera de Atotonilco y algunas minas de explotación con personal ocupado entre 10 a 50 personas.

La concentración de personal ocupado en la industria se muestra principalmente en el centro de la ZMTu, en los municipios de Tula y Atotonilco, Atotonilco por su parte cuenta con un parque industrial y dos cementeras: CEMEX y Fortaleza, mientras que los municipios de Tlaxcoapan y Tlahuelilpan no cuentan con zonas, parques industriales o minas, sin embargo, cuentan con agricultura de riesgo intensiva descrita anteriormente. Esto se vincula con las características físicas del tipo de roca presente con yacimientos de caliza en estas zonas, siendo un factor importante para la explotación del recurso.

La existencia de industria en gran parte del área metropolitana influye en diversos aspectos descritos en los apartados anteriores como el crecimiento de la población, expansión urbana, modificaciones en las actividades económicas, sin embargo, un punto que se ha considerado son las condiciones ambientales de manera general sobre estudios realizados por instituciones con base en las Normas Mexicanas.

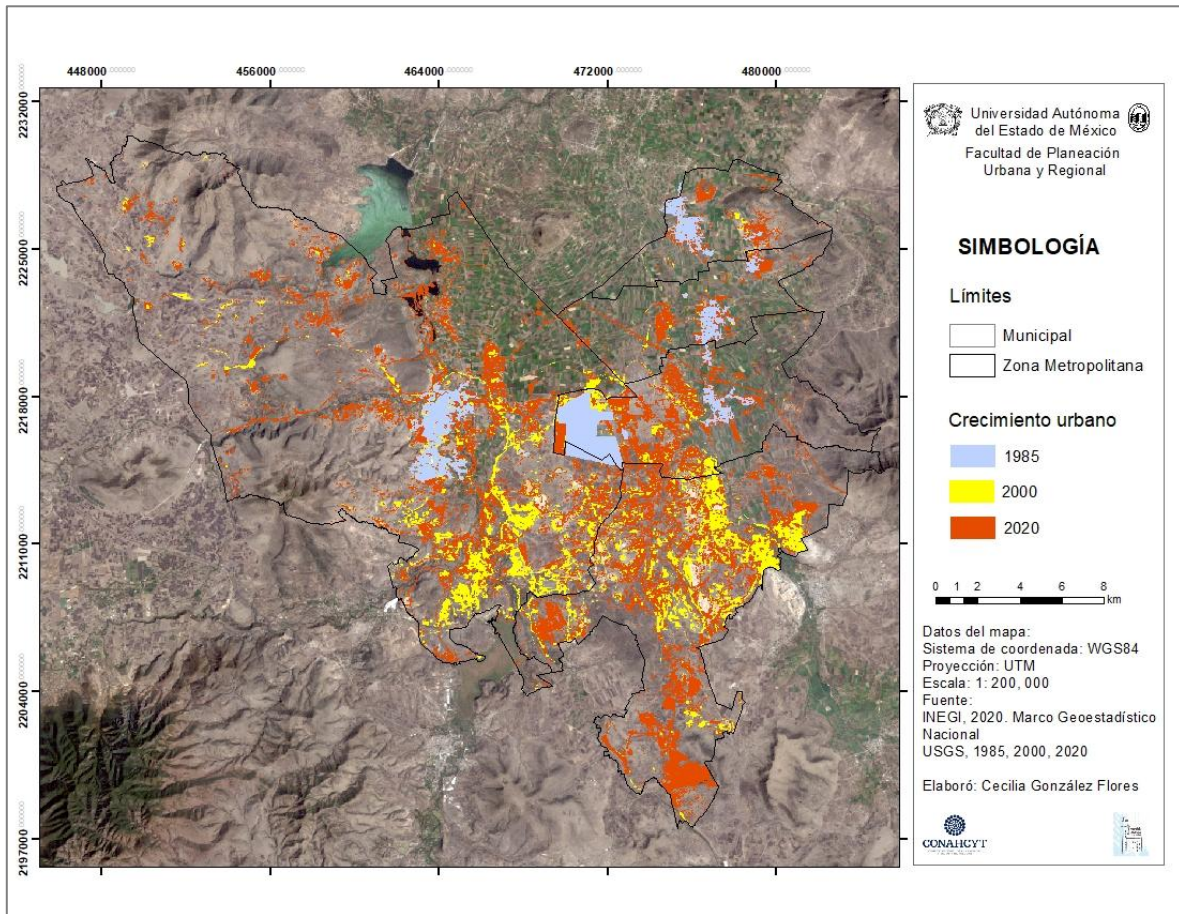
## **6.2 Análisis de los indicadores de expansión urbana**

### **6.2.1 Tendencia de crecimiento urbano de la ZMTu**

Durante este apartado se presenta el crecimiento urbano en la ZMTu, en tres periodos de tiempo; 1985, 2000 y 2020, donde se muestra las tendencias que han surgido en el territorio hidalguense, esto partiendo de las imágenes de satélite, y una marcada tendencia de crecimiento hacia la zona sur.

Las tendencias de crecimiento reflejan la dirección y actividades urbanas que modifican la ocupación del suelo a partir del crecimiento acelerado de la población o las actividades económicas que se establecen, surgiendo asentamientos humanos dispersos en forma inicial.

**Mapa 5.3. Tendencia de crecimiento urbano de la ZMTu en los años 1985, 2000 y 2020**



*Fuente:* Elaboración propia con estimaciones realizadas con imágenes satelitales LANDSAT.

El mapa 5.3 presenta el crecimiento urbano de tres periodos del área de estudio, realizado a partir de la clasificación de usos de suelo, donde el crecimiento de área urbana en el periodo inicial (1985) se encuentra concentrado en las cabeceras municipales de Tula, Atitalaquia y en menor dimensión en los municipios de Tlaxcoapan y Tlahuelilpan, se observa que en Atotonilco no cuenta con zona urbana durante este periodo.

Para el siguiente corte temporal, es decir en el año 2000, existe un crecimiento considerable en toda la zona metropolitana, en mayor incremento en los municipios de Tula de Allende, Atitalaquia y Atotonilco, este último con una diferencia significativa de superficie ocupada. En contraste con los dos municipios del norte se muestra un proceso de crecimiento más ralentizado en contraste con los municipios antes mencionados.

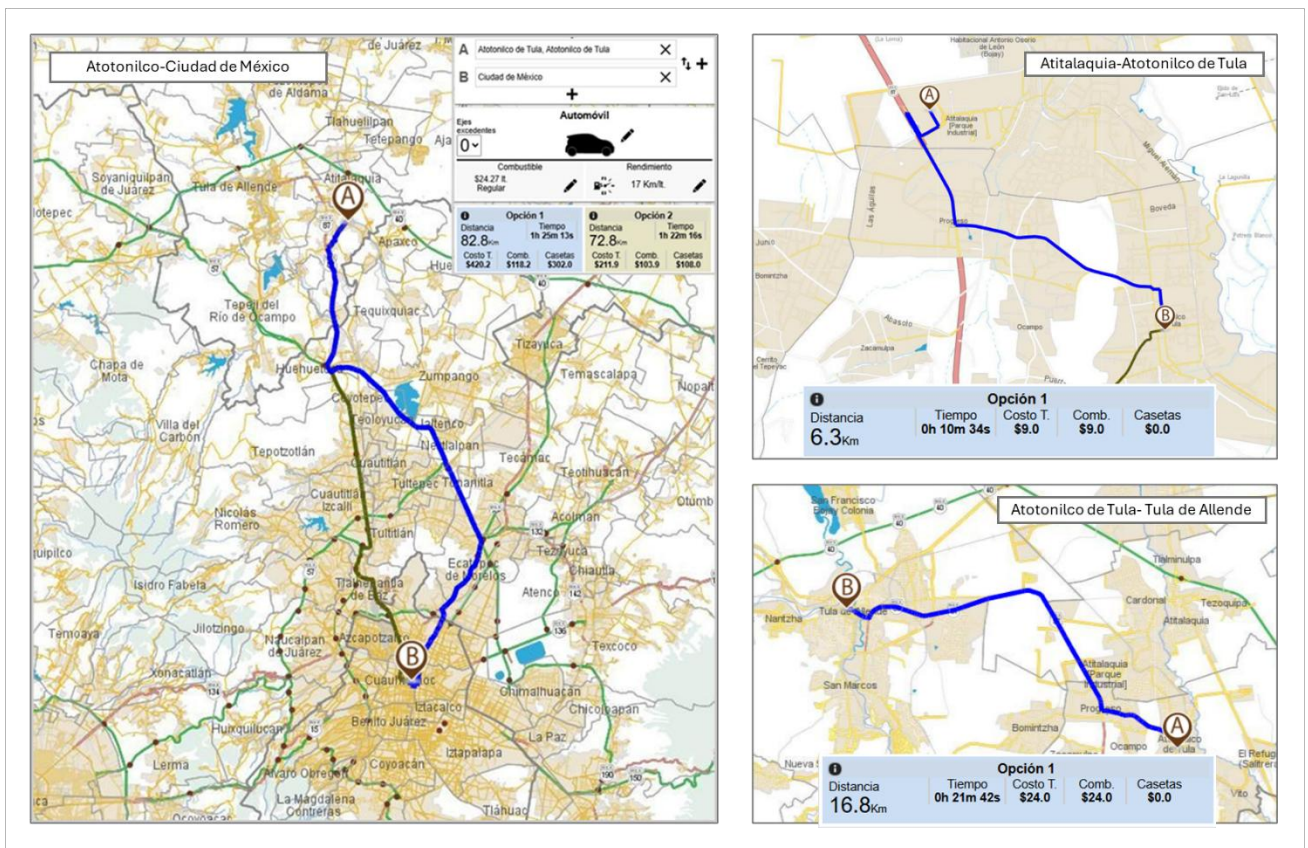
Finalmente, para el año 2020 se muestra una tendencia de crecimiento importante al sur de la ZMTu, derivado de la dinámica laboral en Atotonilco durante los últimos diez años, hacia la Ciudad de México y ciudades conurbadas. En los municipios de Atitalaquia y Tula se observa un crecimiento urbano de manera dispersa y en Atitalaquia con mayor ocupación urbana homogénea en el municipio, esto puede deberse a la cercanía con Atotonilco que incide en el desplazamiento de población y las industrias compartidas con Tula de Allende de gran tamaño que son la termoeléctrica y refinería.

La expansión urbana más significativa se observa en Atotonilco de Tula que durante 2010 implementó programas de construcción de unidades habitacionales con capacidad de cerca del 46% de población residente, para generar una ciudad dormitorio para la Ciudad de México y las industrias de la ZMTu. A continuación, se desarrolla los indicadores de grado de urbanización de 1950 a 2020 para analizar el y vincular el crecimiento urbano a partir de su evolución temporal.

Lo anterior, se puede mostrar a partir de la estimación de rutas del Mapa Digital de INEGI, en la figura 5.1. del punto A (Atotonilco de Tula) al punto B (Ciudad de México), con una distancia de 82.8 km, partiendo de las Unidades Habitacionales al sur del municipio hidalguense, con un tiempo estimado de 1 hora y 30 minutos, siendo una opción para los habitantes de la capital del país para trasladarse y funcionar como ciudad dormitorio, considerando los datos de crecimiento poblacional desde 2010 y la construcción de las viviendas.

Para Atitalaquia, la distancia con Atotonilco es de 6.3 km, alrededor de 10 minutos y entre Tula de Allende y Atotonilco, la distancia es de 16.8 km, con una estimación de 21 minutos entre ambos municipios, por ello, Atotonilco puede considerarse un punto intermedio de la ZMTu y la Ciudad de México, y debido a la conexión de vías de comunicación, con la autopista México-Querétaro acorta tiempo y distancia.

**Figura 5.1. Distancias de Atotonilco de Tula, Atitalaquia y Tula de Allende a la Ciudad de México**



Fuente: Mapa Digital de INEGI, 2025. Las vías de comunicación en el territorio permiten que varias poblaciones aumenten su población y con ello el crecimiento de zonas urbanas a través del tiempo, que pueden concentrar a la población.

## 6.2.2 Grado de urbanización

De acuerdo con Sobrino, (2023), el grado de urbanización es un indicador que permite medir el porcentaje de la población que habita en zonas urbanas respecto al total de habitantes de un territorio. Con el paso del tiempo la medida muestra la concentración de la población en las ciudades y el aumento del número de localidades. Basados en la clasificación que realiza INEGI (2010) conforme al tamaño de localidad; cuando la población total de la localidad es de 1 a 2499 se considera como localidad rural. Mientras que una localidad urbana se considera cuando el tamaño de la localidad es mayor a 2500 habitantes.

Los porcentajes obtenidos para este indicador en la ZMTu se presenta por municipio incluyendo el comparativo de la entidad federativa. Se realizó el cálculo desde 1950 a 2020 con datos obtenidos de los Censos de Población y Vivienda. En este primer año solo dos municipios presentaban localidades urbanas (Tula de Allende menor al 50% y Tlaxcoapan por encima del 50%). Para Atitalaquia, fue hasta 1990 que presenta grado de urbanización cercana al 50% de la población y en el último año alrededor del 90% de la población que habita en zonas urbanas.

Tlaxcoapan es un caso con incremento de este indicador a pesar de ser un municipio con menor población que los tres principales. Atotonilco de Tula también es en 1990 que presenta grado de urbanización por debajo del 50% y que en 2020 ya cuenta con más del 80% de población urbana.

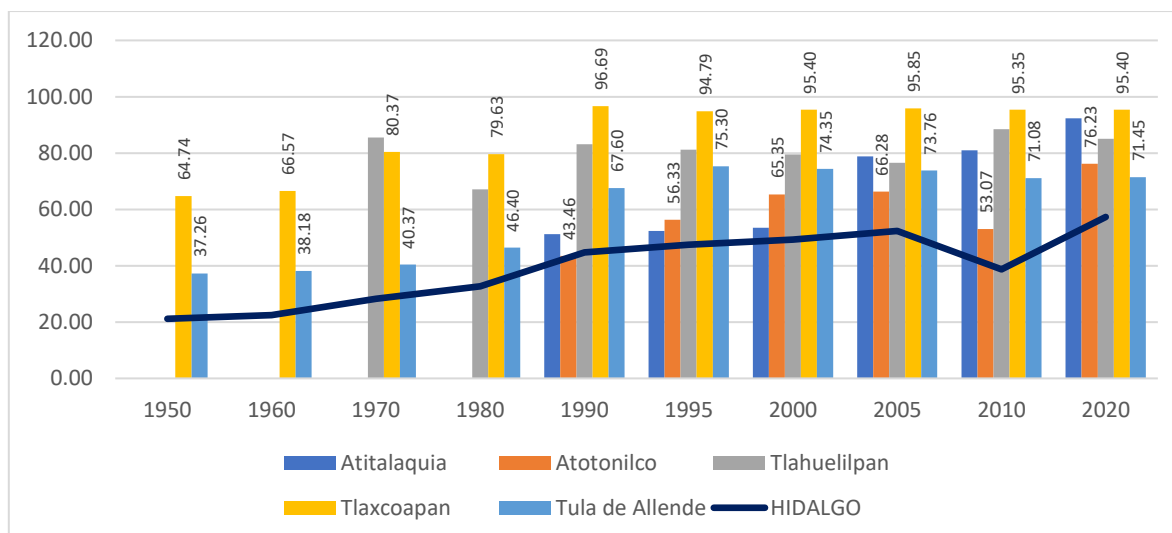
El municipio de Tlahuelilpan en 1970 presenta un grado de urbanización alto cercano al 80%, pero diez años después existe una disminución de 20%, para 2020 cerca del 70% de población urbana, este municipio desde 1990 al 2020 muestra un grado de urbanización más lento. Finalmente, el comportamiento del Estado de Hidalgo muestra un grado de urbanización más estable o lineal, sin variaciones, en 2010 se observa una disminución, sin embargo, es inferior a los presentados en los municipios de la zona de estudio.

**Cuadro 5.2. Relación de grado de urbanización de la ZMTu por municipio de 1950 al 2020**

Año	Atitalaquia	Atotonilco	Tlahuelilpan	Tlaxcoapan	Tula	HIDALGO
1950	0.00	0.00	0.00	64.74	37.26	21.15
1960	0.00	0.00	0.00	66.57	38.18	22.41
1970	0.00	0.00	85.54	80.37	40.37	28.22
1980	0.00	0.00	67.12	79.63	46.40	32.72
1990	51.19	43.46	83.14	96.69	67.60	44.79
1995	52.32	56.33	81.18	94.79	75.30	47.47
2000	53.52	65.35	79.46	95.40	74.35	49.32
2005	78.86	66.28	76.55	95.85	73.76	52.32
2010	81.01	53.07	88.46	95.35	71.08	38.73
2020	92.32	76.23	85.07	95.40	71.45	57.30

Fuente: Elaboración propia con base a Censos de Población y Vivienda, 1950, 1960, 1970, 1980, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 y 2020.

**Figura 5.2. Grado de urbanización por municipio de la ZMTu de 1950 al 2020.**



Fuente: Elaboración propia con base a CPyV, 1950 al 2020.

La figura 5.2. muestra una comparación del grado de urbanización por municipio y el Estado de Hidalgo, a partir de 1950, por las características en ese año con menor población entre 1950 a 1960 solo existía información de Tula de Allende y Tlaxcoapan con población urbana, con información obtenida por los Censos de Población y Vivienda de 1950 a 2020, de

acuerdo con las características de población urbana y por tamaño de localidad mayor a 2500 habitantes.

La interpretación de la información obtenida refleja un grado de urbanización de Atitalaquia se presenta hasta 1990 de acuerdo con la información reportada en los censos de población, con el 51% y un incremento en 2005 al 78% y para el último año reportado (2020) del 92%, es decir, un incremento del 41% en 30 años. Por su parte Tlaxcoapan presenta un grado de urbanización alto desde el censo inicial (1950) con cerca del 65% llegando al 95% en 2020, sin embargo, el grado de urbanización se dio de manera lenta, considerando que en 70 años creció un 30%, esto debido a lo argumentado sobre las actividades económicas predominantes en la zona, y una menor expansión urbana.

Un caso similar lo presenta Tlahuelilpan, que desde 1970 rebasa el 80% de grado de urbanización alcanzando un máximo del 88.4% en 2010, no obstante, para 2020 este municipio bajó el grado de urbanización al 85%, Tlahuelilpan no cuenta con actividades industriales y con mayor presencia de zonas agrícolas y de comercio al por menor que son un factor clave para el incremento de la población. Una diferencia de esto es Atotonilco, que muestra grado de urbanización a partir de 1990 con 43.4% y en 2020 presenta un porcentaje del 76.2%, es decir, un incremento del 32.8% en 30 años, es uno de los municipios con mayor crecimiento de población principalmente a partir de los fraccionamientos mencionados en apartados anteriores.

Finalmente, Tula de Allende, en 1950 contaba con el 37% de grado de urbanización con un porcentaje de urbanización más alto en 1995 del 75% y que se redujo al 71% en 2020, sin embargo, esto es reflejo de las dinámicas que presentó Atotonilco de Tula que modificó las actividades y atracción de empleo y residencia en a ZMTu. Respecto al grado de urbanización del estado de Hidalgo, inicia con el 21% alcanzando el 57% en 2020, con un ligero decremento en 2010 del 14%

El grado de urbanización en la ZMTu muestra dinámicas distintas desde cada municipio y evolución en el tiempo, aunque es importante considerar que las definiciones de población urbana definidas por INEGI por tamaño de localidad limitan el establecer localidades rurales y urbanas. Por lo que es importante considerar a futuro las dinámicas de población para establecer condiciones óptimas en las zonas metropolitanas.

### **6.3 Proyección de población**

Las proyecciones de población son el resultado de cálculos para determinar la evolución o tendencia futura de crecimiento de la población, partiendo de determinadas características. (Aparicio et al., 2010, citado por Hernández *et. al.* 2023). Para esta investigación las proyecciones se realizaron a corto y mediano plazo (2030 y 2040) a partir de la población total del último censo de población de INEGI, 2020, la densidad media urbana (DMU) por medio de estimaciones con datos obtenidos del Marco Geoestadístico Nacional por Área Geoestadística Básica de INEGI, 2023. De los resultados obtenidos de las proyecciones se estimó la superficie requerida para ambos periodos por hectárea. Es importante mencionar que para la realización de las proyecciones de población se tomó como supuesto de crecimiento el valor de la tasa de crecimiento media anual registrada en el periodo 2015-2020, la información se presenta en el cuadro 6.

El cuadro 5.3, contiene las estimaciones de 2030 y 2040 por municipio, así como la superficie requerida, determinado por las estimaciones de la Densidad Media Urbana (DMU) 2020 los municipios con mayor población proyectada en ambos periodos son Atotonilco con una superficie urbana requerida de 506.113 ha en 2030 aumentando al doble para la población proyectada al 2040 con 1,099.32 ha.

Tula de Allende tiene una proyección estimada similar a Atotonilco, con superficies requeridas de cerca de 600 ha en 2030 y 1,254.39 ha para 2040, por su parte, Atitalaquia requiere alrededor de la mitad de la superficie para la población proyectada en ambos periodos, mientras que los municipios restantes (Tlaxcoapan y Tlahuelilpan) como se ha visto

a lo largo de la investigación, son los municipios con menor cifras inclusive presentando condiciones con menor tendencia de crecimiento urbano.

Estas cifras proyectadas permiten tener estimaciones futuras de las poblaciones relevantes para la toma de decisiones en instalaciones de nuevas empresas o zonas de expansión en las ya existentes, vinculadas a la población por grupos de edad en las pirámides poblacionales, que para el sector público permitirán conocer la tendencia de la población para acciones de planificación en el ámbito económico y demográfico.

**Cuadro 5.3. Relación de población proyectada y la superficie requerida para 2030 y 2040 por municipio de la ZMTu.**

<b>Municipio</b>	<b>Población total 2020</b>	<b>DMU* (2020)</b>	<b>Ha (2023)</b>	<b>Población proyectada 2030</b>	<b>Superficie requerida 2030 (ha)</b>	<b>Población proyectada 2040</b>	<b>Superficie requerida 2040 (ha)</b>
<b>Atitalaquia</b>	31,525	18.73	1,553.6	36,948	289.50	43,304	628.81
<b>Atotonilco</b>	62,470	21.23	2,243	73,216	506.113	85,812	1,099.32
<b>Tlahuelilpan</b>	19,067	28.59	567.4	21,187	74.17	23,543	156.60
<b>Tlaxcoapan</b>	28,626	23.83	1,146	30,633	84.23	32,781	174.37
<b>Tula</b>	115,107	20.87	3,940.6	127,528	595.09	141,289	1,254.39
<b>Total</b>	256,795		9,450.5	289,513	1,549.12	326,729	3,313.48

*Fuente:* Elaboración propia con base a Censos de Población y Vivienda, 2020

*\*Densidad Media Urbana con estimaciones de la población total del CPyV 2020 y la superficie del Marco Geoestadístico Nacional de las Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEB, 2023).*

La información del cuadro 5.3 se presenta por municipio de la ZMTu con la población total del 2020, la DMU 2020 y la superficie en hectáreas más recientes del área urbana de 2023, estos datos son necesarios para la obtención de las proyecciones para 2030 y 2040 considerando la superficie requerida para ambos años.

Los municipios de mayor población son: 1) Tula con 115,107 con una DMU del 20.87 y para 2030 se tiene una proyección de 127,528 habitantes, es un incremento de 12, 421 (10.7%) que requieren una superficie de cerca de 600 has. y para 2040 se espera una población total de 141,289 (que requiere de 1,254 has. es decir, un incremento en 20 años del 20% de población y superficie requerida para Tula de Allende.

Para Atitalaquia las proyecciones muestran un incremento del 17.2% para 2030 de crecimiento en población que requerirá 289.5 has que equivalen al 18.6%, después de 10 años, la proyección se duplica, es decir, que en 20 años el incremento de población estimado es del 34.4% con 37.2% de superficie requerida para esta población, mostrado un crecimiento mayor al de Tula.

Las estimaciones para Atotonilco de Tula muestran un porcentaje igual al de Atitalaquia en población proyectada (17.2%), sin embargo, la superficie requerida es del 22% para la primera proyección (2030), lo que sugiere que para 2040 su población incrementará al 34.4% y requerirá 44% de superficie, aunque es importante recordar que este municipio está pensado para un crecimiento más compacto como por ejemplo en unidades habitacionales. Tlahuelilpan y Tlaxcoapan por su parte son presentan un mejor porcentaje población proyectada y superficie requerida, aunque son los que cuentan con mayor superficie que puede ocuparse.

Es importante considerar que el desplazamiento de la población es un factor importante para el crecimiento y disminución de población en un territorio, por lo que se consideró mostrar la población nacida en otra entidad de 1970 a 2020 que se describe a continuación.

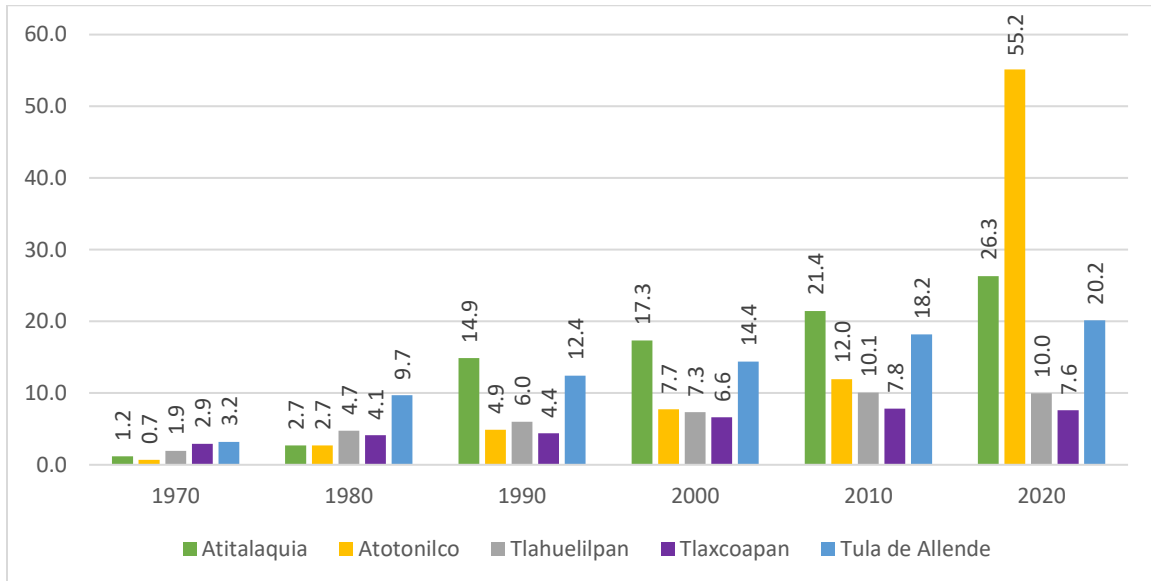
La relación de la población nacida en otra entidad permite mostrar el incremento o disminución de la población en una entidad, municipio o localidad, de acuerdo con el INEGI (2010), esta información muestra a la población que cambió de su residencia de origen hacia otro destino, estos datos son características de la migración que permiten medir el volumen y dirección de movimientos migratorios internos o externos partiendo del lugar de nacimiento de las personas.

La figura 5.2 refleja la población nacida en otra entidad de los cinco municipios de la ZMTu de acuerdo con la información obtenida de los censos de población y vivienda desde 1970 al 2020 que se describen a continuación. Durante el primer censo se presenta un desplazamiento de la población mínima que va de entre 1.2 a 3.2% de la población total de los municipios,

siendo Tula de Allende el que registró la mayor proporción de personas nacidas en otra entidad el 3.2% de su población, por su parte Atotonilco registró el menor porcentaje (0.7%), En los siguientes intervalos de tiempo, la ciudad central (Tula de Allende) experimento importantes ganancia de población ya que la población nacida en otra entidad representó el 17%, y en el último periodo un 20.2% de población nacida en otra entidad.

Un caso atípico se observa en Atotonilco, donde el primer año inicia con el menor porcentaje de población externa del 0.7% con un incremento en los intervalos temporales de forma regular, pero en 2010 pasa de 12% al 55.2% en el último año de estudio, es decir, un incremento mayor al 50% de su población inicial, esto derivado del incremento de viviendas particulares habitadas reflejadas en las cifras de los censos de población y vivienda de INEGI (2010 y 2020).

**Figura 5.3. Porcentaje de la población nacida en otra entidad por municipio de la ZMTu (1970-2020)**



Fuente: Censos de Población y Vivienda, INEGI, 1970,1980,1990,2000,2010 y 2020.

Por su parte, el municipio de Atitalaquia también presentó un incremento migratorio desde el año inicial (1970) pasó de 1.2% al 26.3% para 2020, siendo un incremento del 25.1%, sin embargo, el periodo de 1990 se mostró un incremento significativo entre 1980 a 1990 del

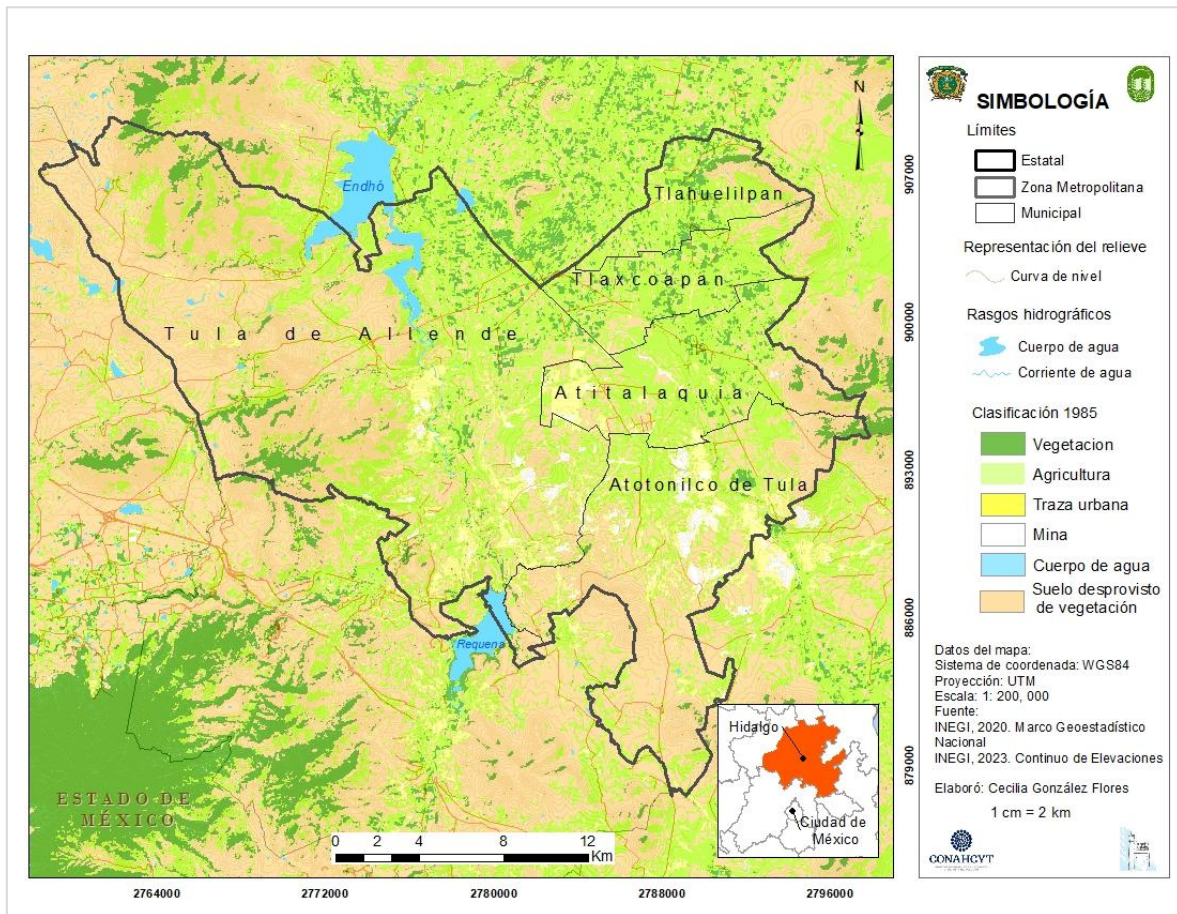
12.2%, este incremento puede observarse también en el crecimiento de población e industrial de la zona metropolitana. Los municipios con menor crecimiento fueron Tlahuelilpan y Tlaxcoapan desde 1970 Tlahuelilpan presentó apenas el 1.9% al 10% en 2020, con un crecimiento del 8.1% en cincuenta años, en el caso de Tlaxcoapan que inicia con 2.9% alcanzó apenas el 4.7% de la población, estos municipios.

#### **6.4 Transformación territorial a partir de los cambios de usos de suelo**

Para el cálculo de cambio de uso de suelo se realizó el tratamiento de imágenes satelitales LANDSAT 4 y 5 obtenidos a través de la plataforma de la *United States Geological Survey* (USGS), con la realización de una clasificación supervisada de 6 usos de suelo (vegetación, agricultura, zona urbana, minas, cuerpos de agua y suelo desprovisto de vegetación), siendo las de mayor prioridad la zona urbana para analizar la expansión urbana, área agrícola presente al norte en la zona, las áreas de minas que son muestra de la explotación del recurso de cal y mármol para la elaboración de productos de construcción, asimismo, los cuerpos de agua como recurso para las actividades humanas.

A continuación, se describe las clasificaciones obtenidas de los dos periodos de 1985 y 2020 utilizando sistemas de información geográfica (ArcMap 10.8) y un mapa resultante del crecimiento urbano en los periodos de 1985, 2000 y 2020.

#### **Mapa 5.1. Clasificación de uso de suelo de la ZMTu de 1985**



Fuente: Elaboración propia.

El mapa 5.1 resultante del uso de suelo para 1985 presenta áreas dispersas de vegetación, principalmente en la parte norte del mapa, en los municipios de Tlaxcoapan y Tlahuelilpan con mayor presencia de esta zona y al sureste, que pertenece al Estado de México.

La agricultura se encuentra en mayor superficie en toda la zona de estudio, que se dispersa al este de Tula y el sur de Atotonilco, este uso de suelo tiene una extensión densa por la capacidad de abastecimiento de aguas residuales provenientes de la Ciudad de México (antes Distrito Federal).

La zona urbana en este periodo se aprecia en menor superficie y solo en tres de los cinco municipios (Atotonilco, Tula y Atitalaquia), en Tula de Allende se observan dos zonas

urbanas; la primera en la cabecera municipal y la segunda está formada en la parte del río Tula hasta llegar al sur hacia la colonia Vidhó, donde se ubica la Cooperativa Cruz Azul. Durante este año, el crecimiento urbano está en desarrollo, considerando la información sobre la evolución de la población ocupada en el sector secundario con un crecimiento entre 1980 y 1990 (figura 4.11).

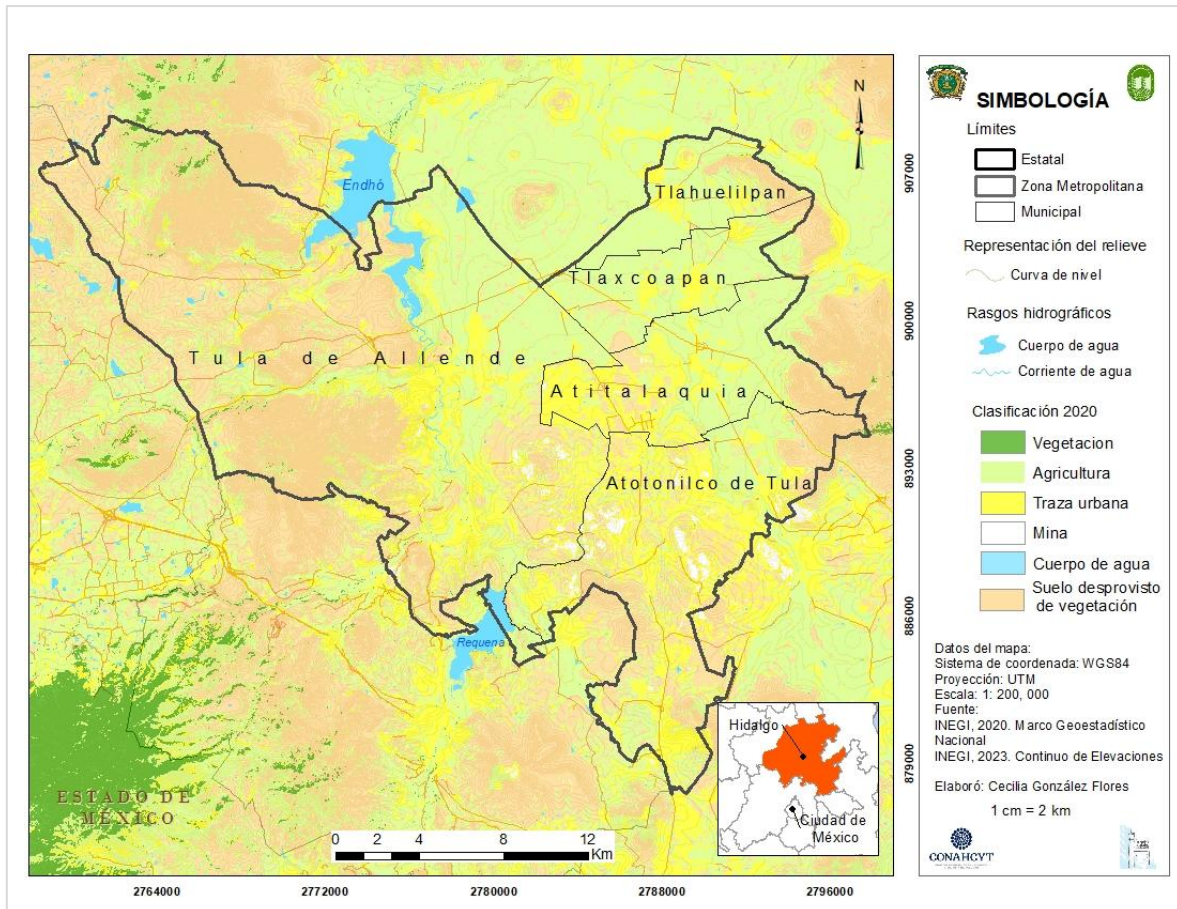
Por su parte los sitios de minas corresponden a la ubicación de yacimientos del tipo de roca caliza y que se presentó en el mapa 3 así como la ubicación de cementeras, que para el año 2020 presenta un cambio de uso de suelo a urbano. No obstante, es importante considerar que el crecimiento urbano alrededor de este suelo se dio desde los inicios del establecimiento de las minas, con la finalidad de crear zonas obreras cercanas a las cementeras principalmente para la concentración de los trabajadores para un desplazamiento mínimo vivienda-hogar, como es el caso de Cementos Tolteca que entre 1949 a 1972 mostró su mayor auge de producción de cemento (Cruz, 2011). Además, la construcción de viviendas cercanas a los cuerpos de agua principales se observa en a lo largo del río Tula.

Los cuerpos de agua son los que mantienen una superficie similar en ambos periodos. Considerando que la ZMTu cuenta con dos presas importantes y los ríos Tula y Salado con la función de abastecer las áreas de riego provenientes de la Ciudad de México y municipios conurbados del Estado de México, así como la descarga de residuos urbanos e industriales, que han contaminado estos cuerpos de agua afectando la calidad ambiental y de salud en la zona y hacia la sociedad.

Finalmente, el uso de suelo desprovisto de vegetación se presenta en gran parte del mapa, al noreste de Tula de Allende y hacia la zona del Valle del Mezquital y sur de Atotonilco, estas áreas no refieren una importancia significativa en el estudio de la expansión urbana, pero forman parte de las transformaciones en el territorio por el cual es motivo para considerar, que además está relacionado con el clima semiárido y la orografía de la zona. Esta clasificación se observa en toda la ZMTu, principalmente al este del municipio de Tula de Allende y al sur de Atotonilco de Tula. Este último presenta una transformación en el

territorio en el año 2020, sustituido principalmente para las zonas de vivienda que se muestran a continuación.

**Mapa 5.2. Clasificación de uso de suelo de la ZMTu de 2020**



Fuente: Elaboración propia.

Para el año 2020 existen variaciones significativas de cambio de uso de suelo de la clasificación realizada. La vegetación dispersa que se observaba en 1985 al norte de la ZMTu se convirtió en área de cultivo. Por su parte, la agricultura de riego incrementó en esta zona y en gran medida en el Estado de México al sureste del mapa.

La traza urbana muestra el incremento, es decir existe zonas de crecimiento urbano en las cabeceras municipales, principalmente en el municipio de Atotonilco y Atitalaquia, este

último compartiendo parques industriales importantes (Parque industrial Tula y Parque industrial Atitalaquia).

Las áreas de minas redujeron su superficie y siendo ocupadas por áreas urbanas, aunque en las cifras que se muestran más adelante, las minas son de menor porcentaje, pasa a un porcentaje mínimo y donde las condiciones de extracción de este recurso afectan significativamente a la dimensión ambiental, transformando el espacio al ser ocupado por construcciones para uso urbano.

Para los cuerpos de agua que no se aprecia el cambio entre cada periodo, los datos obtenidos mostraron un incremento de estos, que se vincula con el incremento de la agricultura y la creación de canales de riego para esta actividad. El suelo desprovisto de vegetación se observa un incremento en zonas con pérdida de vegetación en menor medida o que no pertenecen a la ZMTu.

**Cuadro 5.1. Resultados de superficie de los cambios de uso de suelo clasificados en la ZMTu 1985-2020**

Clasificación uso de suelo	1985		2020		Tasa de cambio
	mts <sup>2</sup>	%	mts <sup>2</sup>	%	Mts <sup>2</sup> año
<b>Vegetación</b>	61,836,963	30.77%	1,280,579	0.34%	-30.43%
<b>Agricultura</b>	84,497,007	42.04%	234,063,998	62.87%	20.83%
<b>Zona urbana</b>	42,817,235	21.30%	125,611,361	33.74%	12.44%
<b>Minas</b>	11,626,693	5.79%	7,146,323	1.92%	-3.87%
<b>Cuerpos de agua</b>	193,906	0.10%	4,201,331	1.13%	1.03%

Fuente: Estimaciones propias con base a los resultados de la clasificación de uso de suelo.

El cuadro 5.1. representa los cambios de uso de suelo desde el primer periodo (1985)<sup>3</sup> hasta 2020, considerando la vegetación con un cambio decreciente del 30%, debido a los efectos de la urbanización y el incremento de áreas destinadas a la agricultura para la producción de forraje y maíz.

La agricultura, presenta un incremento de cerca del 20%, contrastando con los niveles de pérdida de la vegetación, estas zonas de cultivo se ven reflejadas en los municipios de Tlaxcoapan, Tlahuelilpan, municipios con nula o escasa actividad industrial, pero también de forma importante en Tula de Allende y Atitalaquia, que también se pueden observar cerca de las industrias como la refinería.

La tercera clasificación corresponde a la zona urbana, con un incremento del 12.44%, aunque menor al de la agricultura, el incremento de la población en consideración con las tasas de crecimiento de la población a lo largo de este periodo representó un incremento significativo en la zona de estudio y principalmente en el municipio de Atotonilco.

El área de minas, en superficie no presenta un porcentaje mayor al 6% en 1985, pero si un decremento a menos del 2% de superficie ocupada para el 2020. Esto debido al cambio de uso de suelo a zonas urbanas, que se observan principalmente en el municipio de Tula de Allende y Atitalaquia, esto relacionado a que son los municipios con mayor población de la zona de estudio y que albergan instalaciones industriales.

Finalmente, la superficie ocupada por los cuerpos de agua tuvo un incremento pasando del 0.10% al 1.13% es decir el 1% aproximadamente. Este resultado se encuentra relacionado con el incremento de la agricultura de riego, que requiere de canales de riego y el incremento de inundaciones en la zona que ha rebasado su capacidad en los últimos años.

---

<sup>3</sup> Se consideró a partir de 1985 debido a la falta de imágenes Satelitales que, surgen a partir del lanzamiento del satélite Morelos I, con el que México adquiere su propio sistema satelital, que permite una mayor cobertura en el país (Agencia Espacial Mexicana, 2023).

## **7. Conclusiones**

El estudio del proceso de la expansión urbana, vinculado a las actividades industriales genera un crecimiento, principalmente observado en la población que generan necesidades de nuevas zonas para establecerse, creando a lo largo del tiempo distintas dinámicas en una zona, que traspasan las delimitaciones políticas. El desarrollo de esta investigación permitió observar dinámicas en la evolución de la ZMTu y cambios en el territorio.

Por lo que es importante recordar la hipótesis: *“El desarrollo industrial presentado en los 5 municipios que conforman la ZMTu de 1970 al 2020, ha ocasionado una serie de transformaciones urbanas entre las que se pueden identificar cambios en los usos de suelo, cambios en las actividades económicas y en consecuencia crecimiento urbano”* y pregunta de investigación: *“¿Como ha sido el proceso de expansión urbana vinculado al establecimiento de las industrias en la Zona Metropolitana de Tula, Hidalgo y cómo ha modificado el territorio?”*.

Como resultado de la investigación, se identifica que el desarrollo industrial presentado en los cinco municipios que conforman a la ZMTu de 1970 al 2020, ha ocasionado una serie de transformaciones territoriales entre las que se pueden identificar cambios en los usos de suelo, cambios en las actividades económicas y en consecuencia expansión urbana, el cual se cumple la hipótesis, derivado de la identificación de los cambios en los usos de suelo y las actividades económicas, en el que se observaron principalmente una expansión urbana mayor en el municipio de Atotonilco de Tula, asimismo, este crecimiento modificó la dinámica económica y urbana, respondiendo a la pregunta de investigación.

Lo anterior está estrechamente vinculado al objetivo general el cual se explicó mediante las variables demográficas y económicas que la industria en la zona de estudio generó importantes transformaciones urbanas y dinámicas en la funcionalidad de los municipios,

donde los cambios presentados se ven reflejados en los cambios de usos de suelo, reconversión de las actividades económicas, que durante la última década muestra un incremento en las actividades terciarias, el sector secundario continúa con una importante participación económica que mantiene la atracción laboral y crecimiento en la ocupación del suelo expandiendo las zonas urbanas, principalmente al sur de la zona metropolitana.

El objetivo general de la investigación se describió cómo: “Analizar el proceso de expansión urbana, las transformaciones territoriales en relación con las actividades industriales en la Zona Metropolitana de Tula, Hidalgo, con la finalidad de identificar tendencias de crecimiento urbano”, del cual se describe a continuación los alcances obtenidos:

El proceso de expansión urbana surgió como resultado de la llegada, desarrollo e impulso industrial a inicios de la década de los años 60, que a pesar de que la industria cementera se estableció en Tula por materia prima desde inicios de 1900 fue hasta 1970 que tuvieron un mayor desarrollo industrial, durante este periodo, la contaminación industrial y la expansión en la capital del país, se buscó dar una solución reubicando la termoeléctrica ubicada en la ciudad dirigiéndola hacia las periferias del entonces Distrito Federal.

Con el paso del tiempo esta estrategia generó el establecimiento de barrios obreros para la población ocupada en estas industrias, resultando la conformación de nuevos asentamientos humanos y conglomerados industriales que a su vez presentaron crecimiento económico en el país, pero también afectaciones en el territorio como agentes contaminantes presentes en el ambiente.

En este sentido, se puede concluir que el proceso de expansión en la Zona Metropolitana de Tula surgió de manera distinta a la que generalmente se establece cuando ya existe la conformación de asentamientos humanos o zonas adaptables, y es resultado del establecimiento de la actividad industrial, atracción laboral y en los últimos años la conectividad hacia la Ciudad de México y el Estado de México, por lo que se afirma que se cumplió con el primer apartado del objetivo general sobre el análisis de la expansión urbana.

En relación con el siguiente apartado sobre las transformaciones territoriales, el análisis a lo largo de este periodo se refleja sobre los porcentajes de cambio de uso de suelo obtenidos de las imágenes satelitales, principalmente con superficies de expansión urbana con mayor presencia en el municipio de Atotonilco de Tula.

Desde la mirada teórica, el proceso de expansión urbana tiene sus inicios con las teorías de localización los cuales son condicionados a partir de la dinámica industrial de un lugar determinado, donde este proceso de crecimiento industrial se considera como principal detonante en la expansión urbana de la zona metropolitana, que considera varios factores y teorías basadas en el comportamiento y dinámicas de las industrias, que como se menciona en párrafos anteriores, el modelo de localización de la ZMTu muestra una aglomeración central que abastece al país de insumos para la construcción provenientes de la materia prima, y la generación de energía eléctrica y petroquímica de las dos industrias importantes del país.

La revisión de estos modelos de localización permitieron identificar los distintos factores que intervienen para el establecimiento de las empresas en cuanto a distancia, áreas de mercado, insumos y vías de comunicación para la optimización de transporte dando una comprensión de la dinámica de las localizaciones industriales, como es el caso de la zona de estudio, vinculando la parte de los antecedentes, la ZMTu se establece como una necesidad de la población por alejar las zonas industriales de las ciudades, pero también la llegada de la revolución industrial en México impulsado por proyectos del Estado, permitió la creación y crecimiento de la actividad industrial en la región de Tula.

Por lo anterior, se expone que la teoría de localización que se apega más a la dinámica de localización industrial en la Zona Metropolitana de Tula es la presentada por Alfred Weber con el modelo de localización industrial y la postura de Marshall, donde el primero considera el factor de localización regional y el de aglomeración, estos vistos en la zona de estudio, se encuentra una similitud al modelo, donde el factor de aglomeración se observa en el conjunto

de industrias con giros destinados a la fabricación de productos para construcción y generación de energía eléctrica.

Es importante señalar que el desarrollo industrial en Tula de Allende (como municipio central de la ZMTu) generó la reestructuración económica de la ciudad y la dinámica de población, donde la población local se ha visto afectada en este proceso de industrialización desde los ámbitos económicos, sociales y ambientales.

Al inicio de la investigación, el análisis de la expansión urbana se consideró como zona de estudio únicamente al municipio central (Tula de Allende), sin embargo, las limitaciones político administrativo salen de contexto en cuanto las redes de comunicación, dinámicas urbanas y funciones que cada municipio desarrolla a lo largo del tiempo, lo que motivó ampliar el área de estudio, tomando como referente al momento inicial de la investigación, la delimitación de las zonas metropolitanas de México de 2015 que se encontraba vigente, sin embargo en octubre de 2023 fue publicado la nueva delimitación de las zonas metropolitanas con la “*Metrópolis de México, 2020*”, que para este momento ya existía un avance significativo de la investigación, por lo que se consideró continuar con la establecida en 2015.

Esto significó una limitante en el proyecto, porque en la nueva delimitación cambió de categoría derivado a la población ocupada de Atotonilco de Tula modificó su dinámica laboral hacia la Ciudad de México, integrándose a ésta y su centralidad cambió a la conurbación entre los municipios de Atitalaquia y Tlaxcoapan (SEDATU, 2023).

Como se menciona al inicio del documento, la metodología se basó con la revisión de los estudios referenciales que coinciden sobre todo en el uso de sistemas de información geográfica y el resultado de cambio de usos de suelo, en este sentido, los indicadores como tasas de crecimiento, el grado de urbanización, la población económicamente activa y cambios de uso de suelo mostraron la dinámica de crecimiento.

Durante este proceso, las dificultades encontradas fueron principalmente en la obtención de las imágenes satelitales, para el periodo inicial de estudio de 1970, por lo que se utilizaron los de 1985, esto muestra un vacío de 15 años sobre el crecimiento urbano en la ZMTu, no obstante, los resultados muestran transformaciones en el territorio importantes presenten principalmente por esta dinámica laboral en el municipio de Atotonilco de Tula, que como se menciona anteriormente, modificó la integración misma de la zona metropolitana, debido al incremento significativo de la población en este municipio a partir de 2010, surgiendo como uno de los municipios de concentración de población debido a la construcción de unidades habitacionales principalmente al sur de Atotonilco, con la cercanía a la Ciudad de México con un aproximado de 83 km, con un tiempo de recorrido aproximado de 1 hora y media.

La investigación permitió medir la expansión urbana considerando los antecedentes históricos del impulso y crecimiento de la industria en el país a partir de 1970, reflejado en las cifras de distintos ámbitos, en el sector económico, demográfico y de migración. Aunque la parte de migración o atracción laboral no se abordó con mayor detalle, los datos utilizados permitieron mostrar un panorama del comportamiento y crecimiento urbano de los últimos 50 años, con repuntes en ciertos intervalos de tiempo que por diversos factores incrementaron y redujeron las cifras y generaron dinámicas importantes en la zona de estudio.

Sobre la revisión de los casos de estudio permitieron ampliar el panorama principalmente de las metodologías utilizadas para retomar parte de estos e integrarlos en la metodología utilizada para esta investigación, sin embargo, mucho de esta revisión consideraba al impacto ambiental como parte de los estudios revisados, en este caso, se omitió el realizar una medición de impacto ambiental, debido al enfoque del programa de estudios, además de la falta de información sobre parámetros ambientales, aunque durante esta revisión, se encontraron estudios realizados con estas aportaciones, pero con ciertos vacíos de información, por lo que se consideraron como hallazgos importantes incluidos en el apartado 5 referente a la caracterización, referidos como condiciones ambientales, donde se retomó la información obtenida con datos a partir de 2016, sobre los contaminantes y los límites

permitidos de acuerdo a las Normas Oficiales Mexicanas. Además de esto, la situación hidrológica del área de estudio considera una importante transformación ambiental que afecta a la población con presencia de fenómenos como inundaciones y contaminación en los cuerpos de agua, esto se constató durante el trabajo de campos realizado para el estudio.

Otra de las limitaciones durante este estudio fue la obtención del índice de expansión urbana, que plantea Treviño, 2010, debido a las variables consideradas para este indicador, sin embargo, se realizó el análisis del grado de urbanización de de 1970 al 2020, que permitió mostrar el crecimiento de la relación de población urbana y respecto a la población total, encontrando coincidencias tanto en este indicador como en otros de crecimiento en el municipio de Atotonilco de Tula con repuntes significativos a partir de 2010 y 2020, que coincide con lo mencionado en la nueva delimitación de la zona metropolitana sobre el cambio de la dinámica laboral hacia la capital del país.

En la cuestión de los resultados del análisis espacial, las estimaciones muestran un incremento de la zona urbana, aunque un caso particular en contraste a la reconfiguración de las actividades económicas con la disminución de población ocupada en el sector primario, la superficie de suelo ocupada para la agricultura muestra un incremento en estos periodos, en consecuencia, el porcentaje de los cuerpos de agua también tuvo un crecimiento en la superficie, en el supuesto del aumento la superficie de agricultura de riego, creando canales para el riego de los cultivos.

Además de este resultado, se realizó un mapa con tres periodos de tiempo estimados a partir de la clasificación utilizada únicamente para la traza urbana, donde se observa el incremento de las zonas urbanas en la zona metropolitana con mayor presencia de superficie ocupada hacia la zona sur de Atotonilco de Tula y Atitalaquia, este mapa mostró las tendencias de crecimiento y donde se apreció al norte las zonas agrícolas con mayor presencia en los dos municipios con menor participación demográfica (Tlaxcoapan y Tlahuelilpan), estos dos municipios presentan características demográficas y económicas similares con mayor presencia de actividades agrícolas y una población compacta y sin crecimiento significativo,

Tlaxcoapan con una tasa de crecimiento medio anual del 0.7 y Tlahuelilpan del 11.2% entre 2010 y 2020 (INEGI, 2020)

En la elaboración de este trabajo se identificaron líneas de investigación que pueden dar continuidad al estudio desde diversas ramas, partiendo de dinámicas de origen-destino principalmente hacia el sur de la zona de estudio y en específico en Atotonilco de Tula. Además, es importante mencionar que, en la cuestión ambiental, existen diversos estudios realizados, pero con falta de información y con un problema a nivel región (Región del Valle del Mezquital) con años de impactos que no han sido atendidos, que puede verse desde un eje articulador con la implementación de normas y políticas públicas para la reducción y mitigación de la problemática ambiental.

Otra línea sugerida desde la problemática ambiental se puede llevar a cabo desde el estudio de inundaciones por el Túnel Emisor Oriente (TEO), surgida de las problemáticas de la Ciudad de México y que son consecuencia de la falta de planificación urbana en distintas ciudades industriales, por ello, se considera importante abordarlo desde este enfoque.

## 8. Referencias

- Acebedo, L., (2003). *La expansión industrial y el urbanismo moderno*. Revista Bitácora Urbano Territorial, vol. 1, núm. 7. Universidad Nacional de Colombia. <https://www.redalyc.org/pdf/748/74810712.pdf>
- Agencia Espacial Mexicana, (2023). *Análisis del desarrollo de los satélites mexicanos y las constelaciones de órbita baja*. Secretaría de Comunicaciones. [https://comunicacioncientifica.com/wp-content/uploads/2025/01/169.-PDF-Analisis-del-desarrollo-de-los-satelites-mexicanos\\_compressed-1.pdf](https://comunicacioncientifica.com/wp-content/uploads/2025/01/169.-PDF-Analisis-del-desarrollo-de-los-satelites-mexicanos_compressed-1.pdf)
- Anderson, R. J., Hardy, E. E., Roach J. T. y R. E. Witmer. (1976). *A land use land cover classification system for use with remote sensor data*. US Geological Survey.
- Anzaldo, C. (2017). *Densidad, diversidad y policentrismo: ¿Planeando ciudades más sustentables?* CentroGeo-CONACYT. <https://centrogeo.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1012/275/1/EXPANSI%C3%93N%20URBANA%20Y%20SUSTENTABILIDAD%20DE%20LAS%20CIUDADES%20-%20CarlosAnzaldo%20-%20DENSIDAD%20DIVERSIDAD%20Y%20POLICENTRISMO..pdf>
- Badu, G., Martínez S., (2008). *Evolución reciente de la industria de cemento: un estudio comparativo entre México y la India*. PORTES. Vol 2., Núm., 3 <https://biblat.unam.mx/es/revista/portes-revista-mexicana-de-estudios-sobre-la-cuenca-del-pacifico/articulo/evolucion-reciente-de-la-industria-de-cemento-un-estudio-comparativo-entre-mexico-y-la-india> ISSN: 1870-6800
- Batres, J.J, (2012). *Crecimiento urbano e industrial, consecuencias ambientales en las lagunas urbanas y periurbanas en Tampico-Madero-Altamira del Sur de Tamaulipas (México). Análisis 1823-2010*. [Tesis doctoral. Universitat de Barcelona].
- Baquero, A., Lina, G. y Moreno N. (2019). *Civilización y salvajismo: Análisis del determinismo geográfico y su difusión a través de algunos textos escolares y otras obras geográficas en Colombia durante el siglo XX*. Revista Latinoamericana de Estudiantes de Geografía. [https://releg.org/pdf/releg2019n6\\_pp86-99.pdf](https://releg.org/pdf/releg2019n6_pp86-99.pdf)

- Bazant, J. (2010). Expansión urbana incontrolada y paradigmas de la planeación urbana. *Espacio Abierto*. 9(3), 475-503. <https://www.redalyc.org/pdf/122/12215112003.pdf>
- Benedetti, A., (2011) Territorio, lugar, paisaje. Prácticas y conceptos básicos en geografía. *ReserchGate* <https://www.researchgate.net/publication/292144156>
- Bifani, P., (1998). *La relación hombre-naturaleza. Historia del pensamiento económico*.
- Bravo, E., Osorio, M., Loor, X (2021). La calidad del desarrollo industrial y su impacto en el medio ambiente. *Polo del conocimiento*. ISSN: 2550 - 682X.
- Burgos, M. (1993). Las teorías de localización industrial: una breve aproximación. *Estudios Regionales*. Universidad de Salamanca <http://www.revistaestudiosregionales.com/documentos/articulos/pdf399.pdf>
- Caballero, D., (2023). Las transformaciones del paisaje cultural en Atotonilco de Tula, Hidalgo, México. *GeoGraphos*. Vol. 14, 2. <https://doi.org/10.14198/GEOGRA2023.14.160>.
- Cabe, E. y Prada, J. (2022). Evolución de la expansión urbana y riesgos para la agricultura de proximidad en el sur de Córdoba, Argentina. *EURE*. Vol. 48, núm. 144. <https://www.scielo.cl/pdf/eure/v48n144/0717-6236-eure-48-144-0011.pdf>
- Cabrera, J., y Moreno, N. (2014) *Teoría de la ubicación de Alfred Weber y su aplicación en los ingenios del cluster azucarero del Valle del Cauca*. [Tesis de maestría. Colombia] <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/6719/T04764.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Camagni, R. (2005). *El principio de aglomeración (o de la sinergia)*. Economía urbana. Antoni Bosch. ISBN: 978-84-95348-73-9
- Callejón, M., y Costa, M. (1995). Economías externas y localización de las actividades industriales. *Rev. Economía Industrial* no. 305. Universitat de Barcelona. [https://www.researchgate.net/publication/281408792\\_Economias\\_externas\\_y\\_localizacion\\_de\\_las\\_actividades\\_industriales](https://www.researchgate.net/publication/281408792_Economias_externas_y_localizacion_de_las_actividades_industriales)
- Carrillo, M. (1985) Concentración industrial y teoría de localización: el caso de la frontera norte de México. Colegio de Puebla. *Estudios Fronterizos*. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5196020.pdf>

- Castañeda-Ovando, E., Mendoza, Y., Añorve, J., Nieto, S., Castañeda, A., (2022). Desbordamiento del río Tula: Más allá de las lluvias. UAEH. ISSN: 2007-6363. <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/icbi/issue/archive>
- CEPAL, (1965). El proceso de industrialización en América Latina. ONU. [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/14912/S6500310\\_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/14912/S6500310_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Cruz, O. (2011). *La nave de molinos de la antigua planta de cementos "La Tolteca". Proyecto de reutilización CEMEX G.R.E.E.N.* [Tesis maestría. UAM-Xochimilco]. <https://repositorio.xoc.uam.mx/jspui/bitstream/123456789/776/1/178783.pdf>
- Cuervo, L. M., (2017). *Ciudad y territorio en América Latina. Bases para una teoría multicéntrica, heterodoxa y pluralista.* CEPAL. Naciones Unidas, Santiago, Chile. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/41943-ciudad-territorio-america-latina-bases-teoria-multicentrica-heterodoxa>
- De la Mora. (2012). Instalación de refinerías en la región de Tula en Hidalgo: análisis desde la modernidad. *SciELO*. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-45572012000200007](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-45572012000200007)
- Fernández, G., (1985). Problemas teóricos sobre las definiciones de unidades espaciales de análisis. Universidad de Oviedo. <https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/22697/problemas%20teoricos45-158-1-PB.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- FONADE (2017). Expansión urbana ordenada. KitOT. Departamento Nacional de Planeación. Colombia. <https://portalterritorial.dnp.gov.co/KitOT/Content/uploads/Cartilla%20Expansion.pdf>
- Franz, G., Gunther M., & Schröck, P., (2006). *Urban Sprawl. How useful is this concept?* ReseachGate. Vienna University. [https://www.researchgate.net/publication/23731910\\_Urban\\_Sprawl\\_How\\_Useful\\_Is\\_This\\_Concept](https://www.researchgate.net/publication/23731910_Urban_Sprawl_How_Useful_Is_This_Concept)

- García, J. (2008). *El proceso de expansión urbana y su impacto en el uso de suelo y vegetación del Municipio de Juárez, Chihuahua*. [Tesis Maestría. Colegio de la Frontera Norte]. Archivo digital. <https://www.colef.mx/posgrado/wp-content/uploads/2009/10/TESIS-Garcia-Estarron-Erika-Julieta-MAIA.pdf>
- García, M. D. (1976). El actual valor del modelo de Von Thunen y dos comprobaciones empíricas. *Revista de Geografía*. Universitat de Barcelona. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2855636>
- García, M. (2010) Determinantes teórico-históricos en la localización de la industria textil-confección de Tlaxcala. *Temas de Ciencia y Tecnología*. Universidad Tecnológica de la Mixteca. [https://www.utm.mx/edi\\_anteriores/temas40/1ENSAYO%2040\\_2.pdf](https://www.utm.mx/edi_anteriores/temas40/1ENSAYO%2040_2.pdf)
- García Salazar, E. (2020). El agua residual como generadora del espacio de actividad agrícola en el Valle del Mezquital, Hidalgo, México. SciELO. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2395-91692019000200106](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2395-91692019000200106)
- González, B. (2019) Grave situación ambiental en zonas metropolitanas de Hidalgo, desatención histórica. Boletín 423. [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglefindmkaj/http://www.congreso-hidalgo.gob.mx/Comunicacion\\_social/boletines/WEB%20Boletin%20423%20Foro%20Ambiental%20Tula%2026.07.19.pdf](http://www.congreso-hidalgo.gob.mx/Comunicacion_social/boletines/WEB%20Boletin%20423%20Foro%20Ambiental%20Tula%2026.07.19.pdf)
- Groenestein, S., (2015). Transformaciones territoriales contemporáneas. Desafíos del pensamiento latinoamericano. Universidad Nacional del Sur. Argentina.
- Harber, S., (1993). *La industrialización en México: Historiografía y análisis*. Colegio de México. <https://historiamexicana.colmex.mx/index.php/RHM/article/view/2236>
- Hernández, A., (1996). El estudio del crecimiento de las poblaciones humanas. *Papeles de Población*, (10),17-20. ISSN: 1405-7425. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=11201002>
- Hernández-Aragón, J., (2007). La localización de las actividades de los servicios superiores en el centro de la ciudad: un análisis estático del patrón de localización de los bancos y servicios especializados en la ciudad de Puebla. <http://www.eumed.net/libros-gratis/2007a/249/indice.htm>

- Hernández, G. y Cantú, R., (2015). Des-industrialización en la metrópoli: El estudio de Azcapotzalco, D.F. *Mundo siglo XXI*. ISSN 1870-2872, Núm. 35, Vol. X, 2015, pp. 85-100. <https://www.mundosisigloxxi.ipn.mx/pdf/v10/35/07.pdf>
- Hernández, J. y García, M., (2023). Proyección de la población en la región Tula. Retos para las administraciones públicas del territorio. Huellas de migración. CIEAP, UAEMéx. DOI: <https://doi.org/10.36677/hmigracion.v8i16.20483>
- Hernández, L., (2010). El concepto del territorio y la investigación en las ciencias sociales. *SciELO*. Universidad Autónoma de Chiapingo. <https://www.scielo.org.mx/pdf/asd/v7n3/v7n3a1.pdf>
- Hidalgo, R. y Borsdorf, A., (2009). El crecimiento urbano en Europa: conceptos, tendencias y marco comparativo para el área metropolitana de Santiago de Chile. *Estudios Geográficos*. ISSN: 0014-1496. Doi: 10.3989/estgeogr.0449.
- Hirschman, A., (1954). Los países industriales y la industrialización de las naciones poco desarrolladas. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2495876.pdf>
- ICM, (2021). Estudio sobre la influencia de la central termoeléctrica de Tula, Hidalgo, en la calidad del aire regional. Iniciativa Climática de México. <https://www.iniciativaclimatica.org/wp-content/uploads/2021/03/Central-Termoele%CC%81ctrica-Tula.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI, (1992). Síntesis geográfica del Estado de Hidalgo. ISBN: 968-892-711-2 [https://www.inegi.org.mx/contenido/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825220945/702825220945\\_1.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenido/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825220945/702825220945_1.pdf).
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI, (1970). Censo de Población y Vivienda 1970. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/1970/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI, (1980). Censo de Población y Vivienda 1980. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/1980/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI, (1990). Censo de Población y Vivienda 1990. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/1990/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI, (2000). Censo de Población y Vivienda 2000. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2000/>

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI, (2005). Censo de Población y Vivienda 2005. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2005/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI, (2010). Censo de Población y Vivienda 2010. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2010/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI, (2015). Censo de Población y Vivienda 2015. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2015/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI, (2020). Censo de Población y Vivienda 2020. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI, (2022). Marco geoestadístico nacional. <https://www.inegi.org.mx/>
- Lara, J, Estrada, G., Zentella, J. C. y Guevara, A. (2017). *Los costos de la expansión urbana: aproximación a partir de un modelo de precios hedónicos en la Zona Metropolitana del Valle de México*. Estudios Demográficos y Urbanos. Vol. 32, núm. I (94). <https://estudiosdemograficosyurbanos.colmex.mx/index.php/edu/article/view/1615>
- Lezama, J., (2002). Teoría social, espacio y ciudad. Colegio de México, Centro de Estudios Demográficos y de Desarrollo Urbano. ISBN: 968-12-1057-3.
- Llanos-Hernández, L., (2010). El concepto del territorio y la investigación en las ciencias sociales. Agricultura, sociedad y desarrollo. <https://www.scielo.org.mx/pdf/asd/v7n3/v7n3a1.pdf>
- MappingGIS (2019). <https://mappinggis.com/2019/05/combinaciones-de-bandas-en-imagenes-de-satelite-landsat-y-sentinel/>
- Matarrese, J., (1969). La teoría económica espacial en la historia del pensamiento económico. Universidad de Buenos Aires, Argentina. [http://bibliotecadigital.econ.uba.ar/download/tesis/1501-0994\\_MatarreseJEH.pdf](http://bibliotecadigital.econ.uba.ar/download/tesis/1501-0994_MatarreseJEH.pdf)
- Montañez, G. y Delgado, O., (1998). Espacio, territorio y región: conceptos básicos para un proyecto nacional. Cuadernos de Geografía. Vol. VII, No. 1-2. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcg/article/download/70838/pdf/377134>
- Matossian, B., (2014). Proceso de expansión urbana, actores y desigualdades. *Estudios Sociales Contemporáneos*. Núm. 10. Argentina. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=645970618012>

- Martínez, P., Toro, M. (2015) La producción del espacio en la ciudad latinoamericana. El modelo del impacto del capitalismo global en la metropolización. *Redalyc*. Universidad Santo Tomás, Colombia. <https://www.redalyc.org/pdf/4138/413838649010.pdf>
- Mesquida, A., (2020). Economía de la localización. Universitat de les Illes Balears. [Tesis].
- Moreno-Torres, E. (2017). Evaluación del impacto potencial en la calidad del aire por SO<sub>2</sub> en la zona metropolitana de la ciudad de México (ZMCM), por la contribución de una fuente estacionaria. UNAM. México. [https://repositorio.unam.mx/contenidos/evaluacion-del-impacto-potencial-en-la-calidad-del-aire-por-so2-en-la-zona-metropolitana-de-la-ciudad-de-mexico-zmcm-por-l-179133?c=rOeZjk&d=true&q=:\\*&i=2&v=1&t=search\\_0&as=0](https://repositorio.unam.mx/contenidos/evaluacion-del-impacto-potencial-en-la-calidad-del-aire-por-so2-en-la-zona-metropolitana-de-la-ciudad-de-mexico-zmcm-por-l-179133?c=rOeZjk&d=true&q=:*&i=2&v=1&t=search_0&as=0)
- Navas de García, A., Reyes Gil, R. E., y Galván Rico, L. E. (2015). Impactos ambientales asociados con el proceso de producción del concreto. *Enfoque UTE*, 6(4), 67-80. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=572260849005>
- Orihuela, M. (2019). Territorio: un vocablo, múltiples significados. *AREA*, 25 (1), pp. 1-16. [https://www.area.fadu.uba.ar/wp-content/uploads/AREA2501/2501\\_orihuela.pdf](https://www.area.fadu.uba.ar/wp-content/uploads/AREA2501/2501_orihuela.pdf)
- Palma, V., (2008). Historia de la producción de cal en el norte de la cuenca de México. *CIENCIA ergo-sum* UAEMéx. Ciencia ergo. Vol. I. <https://cienciaergosum.uaemex.mx/article/view/7083>
- PAOT, (2003). Informe anual. Apéndice temático. Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del D.F. <https://paot.org.mx/centro/paot/informe2003/index.html>
- Pombo, D., (2017). *Expansión urbana acelerada en una ciudad intermedia: Causas y consecuencias*. [Tesis Maestría. Universidad Nacional de Córdoba]. Archivo digital. <https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/6469/MGAPI%20POMBO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Scheingart, M., Salazar, C., (2006). Expansión urbana, sociedad y ambiente. El caso de la Ciudad de México, México. SCIELO. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0186-72102006000200489](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-72102006000200489)

- SEDESOL, (2004). Delimitación de las zonas metropolitanas de México. Secretaría de Desarrollo Social.  
[http://conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/zonas\\_metropolitanas2000/completo.pdf](http://conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/zonas_metropolitanas2000/completo.pdf)
- Secretaría de Economía, (2020). Perfil de mercado de la caliza. Resumen ejecutivo. Dirección General de Desarrollo Minero.  
[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/564100/Caliza\\_2020\\_\\_ENE\\_.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/564100/Caliza_2020__ENE_.pdf)
- SENER, (2023). Informe de labores. Secretaría de Energía. <https://base.energia.gob.mx/IL/5-Informe-de-Labores-SENER.pdf>
- SEDATU, (2018). Delimitación de las zonas metropolitanas de México, 2015. [http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/zonas\\_metropolitanas2000/completo.pdf](http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/zonas_metropolitanas2000/completo.pdf)
- SEDECO, (2019). Parques y corredores industriales. Asociación Mexicana de Ferrocarriles. [https://amf.org.mx/wp-content/uploads/2019/05/SEDECO\\_-Desayuno-AMF\\_07062019.pdf](https://amf.org.mx/wp-content/uploads/2019/05/SEDECO_-Desayuno-AMF_07062019.pdf)
- Segrelles, J. (2013). Los diferentes modelos de localización de las actividades económicas. Universidad de Alicante.  
[https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/29219/1/Tema\\_3\\_ECO.pdf](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/29219/1/Tema_3_ECO.pdf)
- SEMARNAT, (2017). Sistema integral de Información Ambiental. <https://old.sma.gob.mx/SRN-SIIAECC-USO-CAMBIO.php>
- SEMARNAT, (2021) Programa de gestión para mejorar la calidad del aire del Estado de Hidalgo. Gobierno del Estado de Hidalgo. ProAire.  
[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/810373/39\\_ProAire\\_Hidalgo.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/810373/39_ProAire_Hidalgo.pdf)
- SEMARNATH, (2015). Zonas metropolitanas del estado de Hidalgo. <https://www.cambioclimatico.semarnath.gob.mx/webFiles/pagesFiles/14ZonasM.pdf>
- Senado de la República, (2021). Dictamen de la Comisión de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Cambio Climático [https://infosen.senado.gob.mx/sgsp/gaceta/65/2/2022-10-18-1/assets/documentos/Dict\\_Com\\_Medio\\_Ambiente\\_Empresas\\_Cementeras.pdf](https://infosen.senado.gob.mx/sgsp/gaceta/65/2/2022-10-18-1/assets/documentos/Dict_Com_Medio_Ambiente_Empresas_Cementeras.pdf)

- Sobrino, L. J., (2023) Ciudades y zonas metropolitanas de México, 2020. *Revista Internacional de estadística y geografía*. [https://rde.inegi.org.mx/wp-content/uploads/2024/pdf/RDE43/RDE43\\_art02.pdf](https://rde.inegi.org.mx/wp-content/uploads/2024/pdf/RDE43/RDE43_art02.pdf)
- Soto, J., R. (2021). Remediación del sitio de la ExRefinería 18 de marzo. <https://es.scribd.com/document/650239536/ex-Refineria-18-de-marzo>
- Soza, (1966). Planificación del desarrollo industrial. *Siglo XXI*. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/cc3f0989-628f-41b5-8dab-d235423f38ca/content>
- Quiroga, (2007). Indicadores ambientales y de desarrollo sostenible: avances y perspectivas para América Latina y el Caribe. *CEPAL*. Santiago de Chile. ISSN: 1680-8878. [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/5498/1/S0700589\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/5498/1/S0700589_es.pdf)
- Reyes, V., (2018). Las transformaciones ambientales e implicaciones sociales en el Valle del Mezquital. [Tesis de Maestría. UAEMéx]. <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/99812/Las%20transformaciones%20ambientales%20e%20implicaciones%20ambientales%20en%20el%20Valle%20del%20Mezquital.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ríos, L., & Rocca, M. J. (2014). *Reconfiguración del territorio y política territorial: Dispersión y baja densidad en las áreas de crecimiento reciente de la ciudad de Tandil, provincia de Buenos Aires*. *Territorios*, (30), 109-126.
- Rodríguez, D., (2010) Territorio y territorialidad Nueva categoría de análisis y desarrollo didáctico de la Geografía. *Rev. UdeA*. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/unip/article/view/9582>
- Treviño C., J. A., (2018). Medición de la expansión urbana en México entre los años 2000 y 2010. *Urbana*, 19, 84-113. <http://www.urbanauapp.org/>
- Uthoff, L. M., (2008). La industria del petróleo en México, 1991-1938: del auge exportador al abastecimiento del mercado interno. Una aproximación a su estudio. *SciELO*. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-22532010000100001](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-22532010000100001)
- USGS, (2024). <https://earthexplorer.usgs.gov/>

- Vargas, G., (2012). Espacio y territorio en el análisis geográfico. *Reflexiones*.  
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=72923937025>
- Velázquez, A., Bocco, G. y Siebe, C. (2014). Cambio de uso del suelo. Red temática de CONACYT sobre Medio Ambiente y Sustentabilidad.  
[http://www.wikiensuma.mx/contenido/Cambio\\_de\\_uso\\_del\\_suelo](http://www.wikiensuma.mx/contenido/Cambio_de_uso_del_suelo)
- Walker, R. y Stroper M. (1986) Capital y localización industrial. *Documents d' Análisi Geogràfica*. <https://core.ac.uk/download/pdf/39020644.pdf>
- Welti, C. (1997). *Demografía I. Programa Latinoamericano de Actividades en Población*. PROLAP-IISUNAM. México. ISBN: 968-6605-22-3.