

## CRECIMIENTO URBANO DISPERSO EN LA FRONTERA NORTE DE MÉXICO. ORGANIZACIÓN ESPACIAL Y EFICIENCIA DE LOS PATRONES DE CRECIMIENTO URBANO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA

**Cristina Mendoza Terrazas**

Estudiante de Posgrado. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez  
[arqchristinamendoza@gmail.com](mailto:arqchristinamendoza@gmail.com)

**Erick Sánchez Flores**

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez  
[esanchez@uacj.mx](mailto:esanchez@uacj.mx)

Maestría en Planificación y Desarrollo Urbano  
Henry Dunant 4016, Pronaf (IADA,G1-205)  
Ciudad Juárez, Chih. 32310, México  
Teléfono. +52 656 688 4820, Ext. 6586 y 5501  
Fax. +52 656 688 4620

**Palabras Clave:** Crecimiento urbano disperso, frontera norte de México, teledetección, métricas de organización espacial

### Resumen

En este trabajo se analizan las transformaciones del patrón de crecimiento del área urbana de Ciudad Juárez, Chihuahua, México durante el periodo 1990-2008 y sus efectos en la eficiencia de ocupación del suelo, utilizando imágenes de satélite multispectrales para detectar los cambios. Para este propósito se exploraron diferentes metodologías para desarrollar indicadores de eficiencia. En una primera etapa, se estudiaron las transformaciones del patrón de crecimiento urbano durante el periodo de estudio, en el que se han producido algunos de los cambios más importantes en la estructura urbana de Ciudad Juárez. Esta etapa se realizó a través de técnicas de teledetección con imágenes Landsat adquiridas cada 5 años para el periodo correspondiente. A estas imágenes se les aplicó el método de clasificación supervisada Support Vector Machine para extraer las áreas urbanas. Posteriormente se seleccionaron sólo las áreas de nuevo crecimiento con la finalidad de evaluar la organización espacial de los patrones de crecimiento urbano con el enfoque de métricas del paisaje. Los índices que se seleccionaron para este fin fueron los de contigüidad, conectividad y dispersión, calculados en el programa estadístico Fragstats. Después se evaluó la eficiencia de los patrones de crecimiento a través del análisis espacial de la accesibilidad a servicios básicos de salud, educación y comerciales. Este análisis consistió en calcular en SIG superficies densidad en las que se detectaron la concentración o dispersión de estos servicios en el área urbana en función de su área de cobertura. Con el fin de evaluar la eficiencia en términos de ocupación poblacional, las superficies de densidad se compararon con la variable densidad de población, definida por el número de habitantes por Área Geoestadística Básica (AGEB). De la misma manera, se incluyeron la densidad en la dotación de infraestructura vial y la dotación de equipamiento urbano. Los resultados de este análisis muestran patrones de crecimiento caracterizados por un aumento en la fragmentación y una disminución de la contigüidad y conectividad de los usos urbanos, lo que sugiere una baja eficiencia en la ocupación del suelo. Al mismo tiempo, sin embargo, se hace evidente una ocupación eficiente del suelo urbano desde el punto de vista de la densidad de población, pero con baja accesibilidad a infraestructura y servicios urbanos. A partir de estas observaciones es posible concluir que el crecimiento urbano de las últimas dos décadas en Ciudad Juárez se caracteriza por un patrón de alta desorganización espacial y un uso poco eficiente del suelo, que se traduce en un crecimiento urbano disperso, que genera problemas de conectividad, acceso a la infraestructura y servicios urbanos. La inclusión de estas variables constituye la principal aportación de este trabajo que se espera sea de utilidad en la actualización y seguimiento de los planes de desarrollo de la localidad que ayuden a guiar una ocupación sostenible del suelo urbano.

## 1. Introducción

Las ciudades en el mundo entero son diferentes desde varios puntos de vista, pero a pesar de estas diferencias, cuentan con algunas características que las hacen similares. El dinamismo y el crecimiento son dos de los elementos que caracterizan a la mayoría de las zonas urbanas. Sin embargo modelar el dinamismo y el crecimiento puede ser en algunas instancias difícil de controlar sin las herramientas que implica entender su complejidad (Barredo et al., 2003).

Las ciudades se caracterizan por patrones de uso de suelo muy complejos debido a la mezcla y diversidad de las actividades urbanas que las ocupan. Esto constituye un factor importante en las investigaciones relacionadas con la planificación de las áreas urbanas, debido a que la complejidad y naturaleza de las relaciones entre los distintos usos de suelo, resulta algunas veces difícil de ordenar (White y Uljee 1997). Esta complejidad generalmente se manifiesta en patrones de crecimiento desordenado producto de la limitada observación a las regulaciones de crecimiento expresadas en los planes de desarrollo urbano.

El modelo contemporáneo de desarrollo urbano en los países industrializados se caracteriza por una baja densidad y la existencia de desarrollos residenciales y comerciales descentralizados. El término disperso ahora es comúnmente utilizado para describir este patrón de crecimiento, convirtiéndose en tema de investigación y debate debido a su incidencia e impactos negativos en el medio ambiente, cobertura y uso de suelo, tanto en áreas urbanas como rurales (Jantz et al. 2003). La preocupación principal con este nuevo modelo de crecimiento es que el uso ineficiente del suelo acentúa de forma crítica la pérdida de los recursos naturales en relación con el crecimiento de población (Hasse y Lathrop 2003).

En la actualidad existe una preocupación global acerca de entender y definir la eficiencia o deficiencia del crecimiento expansivo territorial no proyectado, el cual ha sido suscitado por los impactos negativos que genera en los recursos naturales, económicos y en carácter espacial. No existe una definición universalmente aceptada para el concepto crecimiento urbano disperso (CUD) –Urban sprawl– simplemente ha sido estudiada por medio de medidas cuantitativas, descripciones cualitativas, explicaciones de actitudes e indicadores del paisaje (Wilson et al. 2003). Para los efectos de este estudio lo definiremos como una forma específica de crecimiento urbano expansivo con baja densidad poblacional, dependiente del automóvil, con características e impactos negativos asociados al medio ambiente y a la sociedad en general (Hasse y Lathrop 2003).

Con el objetivo de comprender mejor el proceso de expansión urbana, se han abordado las dinámicas de crecimiento y la posible evolución en la gestión de estrategias adecuadas, las cuales contribuyen a un desarrollo sostenible en la ciudad. Entender el fenómeno y sus patrones espaciales y temporales ayuda a una planificación eficaz de los recursos naturales y a una utilización y suministro de infraestructura básica. En Ciudad Juárez es notable el acelerado proceso expansivo de ocupación del territorio, enmarcado por un importante crecimiento de tipo horizontal en los últimos años. Dicho crecimiento ha sido acotado con diferentes niveles de éxito dentro los planes de desarrollo que han tratado de guiar el proceso de uso y ocupación del suelo. Este proceso ha resultado en la ampliación de los límites del área urbana, generando una ocupación irregular del suelo, en un esquema que parece no proyectada y en ocasiones hasta desordenado, lo que causa grandes problemas de conectividad y eficiencia en su utilización dentro del contexto urbano. Frente a este problema de aparente dispersión en el crecimiento urbano se prevé la necesidad de estudiar e interpretar la expansión física de la ciudad, modelando la dinámica espacio-temporal del crecimiento para ayudar a evaluar la eficiencia en la ocupación del suelo urbano.

Aunque el fenómeno del CUD, la forma como se manifiesta y sus efectos en las funciones económicas, sociales y ambientales de las ciudades y sus entornos ha sido estudiado en países desarrollados, no existe un conocimiento integral de la forma como se manifiesta y sus efectos en la ineficiencia ocupacional del suelo urbano en Ciudad Juárez. Por esta razón es necesario enfocarse en la forma como se ha ido desarrollando el crecimiento en la ciudad, mediante indicadores que provean medidas cuantificables para evaluar la eficiencia de ocupación del territorio.

El proceso de expansión actual del área urbana, siguiendo los lineamientos de la demanda, hace que los mayores problemas derivados del crecimiento disperso, ya estén presentes en Ciudad Juárez. Estos problemas incluyen una excesiva utilización de suelo, mayores requerimientos de redes de servicios, mayor consumo de energía, altos costos en transporte y la separación o zonificación funcional, lo que contribuye a la desintegración social (Lochet 2008).

La creación un modelo de crecimiento urbano orientado a caracterizar los patrones de expansión del área urbana y cuantificar su eficiencia proporcionará elementos de apoyo para evaluar las decisiones de orientación del crecimiento de la ciudad. Los resultados de este estudio ofrecerán a los planificadores, las distintas instancias de gobierno involucradas en el proceso de planificación, los desarrolladores y académicos, tomadores de decisiones y al público en general una visión integral de la forma como se ha dado el proceso de crecimiento en Ciudad Juárez y lo que éste significa en términos de eficiencia en la utilización del suelo. Esta visión podría así significar una manera de cuantificar y clasificar el crecimiento urbano de una forma útil y significativa para la toma de decisiones futuras.

### 1.1 *Sensores remotos para el monitoreo del crecimiento urbano*

En años recientes, los modelos de crecimiento urbano han generado un considerable renovado interés. Los modelos espaciales han evolucionado y por lo tanto son considerados como una herramienta viable para los planificadores, economistas, ecologistas y administradores orientados hacia la sustentabilidad del desarrollo de las regiones (Herold et al. 2007). El estudio de los modelos de crecimiento urbano ha sido impulsado por las nuevas fuentes de datos, por la capacidad de procesamiento computacional y un avanzado proceso de técnicas utilizadas en imágenes, logrando así, mejorar la capacidad de integración de datos en Sistemas de Información geográfica (SIG). Esto ha generado a la par una gran necesidad de innovación en herramientas de planeación que sirvan en la toma de decisiones futuras.

Los modelos de crecimiento han demostrado un potencial tanto en el soporte como en la gestión de la planeación (Martinuzzi et al. 2007). Esto incluye las Parte del reciente progreso en los modelos urbanos son atribuidos a los sensores remotos, sin embargo, hasta la fecha son vistos como fuente de información para visualización en lugar de un instrumento directamente aplicable en el estudio del crecimiento urbano (Herold et al. 2005). Aunque los sensores remotos suelen ser cuestionados por la heterogeneidad espacial y espectral de los entornos urbanos, son utilizados con bastante éxito para delimitar, clasificar y medir una gran variedad de fenómenos a múltiples resoluciones (Herold et al. 2003). La observación o monitoreo mediante sensores remotos proveen un marco conceptual estático de los patrones espaciotemporales asociados con los cambios urbanos. Esto se logra a través de la toma y análisis de secuencias temporales de imágenes que son utilizadas para generar descripciones cuantitativas de la dinámica espacial.

Para la interpretación de los atributos de los rasgos presentes en el territorio se ha recurrido generalmente a la interpretación visual de imágenes y la clasificación digital. En estos casos, un atributo de la superficie terrestre, por ejemplo un tipo determinado de cobertura, se relaciona con un comportamiento espectral determinado. Este comportamiento espectral se refiere a los valores de reflectancia o emisión del objeto en distintas longitudes de onda. Si bien este uso de sistemas de percepción remota ha permitido avances importantes en el urbanismo, es necesario superar aun una serie de obstáculos derivados de las limitaciones en la resolución temporal y espacial de las fuentes de datos disponibles actualmente. Entre las diferentes alternativas que permitirían hacer un uso más eficiente de la información generada por sensores destaca la posibilidad de integrar datos de múltiples sensores y resoluciones para caracterizar. La caracterización funcional de la dinámica territorial mediante sensores remotos es una técnica de la que también se ha beneficiado la investigación de la dinámica espacial del crecimiento urbano. Los sensores remotos han sido valiosos auxiliares de los planificadores en las últimas décadas debido a sus ventajas inherentes, entre las que se incluyen la capacidad de proporcionar una visión sintética del territorio, ofrecer una visión de los fenómenos desde diferentes regiones del espectro electromagnético y almacenarse los datos en un formato digital de fácil procesamiento (Lu et al. 2004).

## 2. Datos y métodos de estudio

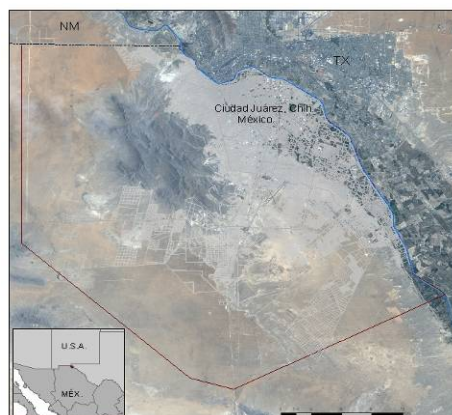
Debido a que el objetivo de este trabajo es caracterizar los patrones espaciales del CUD en el periodo 1990-2008, la capacidad de interpretar dichos patrones mediante un modelo de crecimiento urbano es de vital importancia. El reto principal de la metodología de este estudio consistió en investigar, analizar y confirmar o rechazar la presencia del fenómeno en Ciudad Juárez, mediante datos e información que sirva como herramienta en planes futuros. Para este propósito se desarrolló un modelo de crecimiento urbano, basado en los cambios en el uso de suelo derivados de la clasificación de imágenes satelitales. A partir de este modelo se evaluó la organización espacial y la eficiencia de los patrones de crecimiento para determinar la presencia del fenómeno en el periodo de estudio.

### 2.1 Área de estudio

La investigación se llevo a cabo en un área localizada en la porción norte del Estado de Chihuahua, aproximadamente entre los 106° 12' y los 106° 43' de longitud Oeste y los 31° 25' y 31° 46' de latitud Norte. El área de estudio abarca la zona urbana de Ciudad Juárez y está delimitado al oeste y suroeste por el libramiento San Jerónimo, al norte con Nuevo México, al noreste por el Río Bravo y al sureste por lo que podría ser la continuación del libramiento (Figura 1).

Ciudad Juárez es considerada la cuarta ciudad más grande de México con más de 1,300,000 habitantes, localizada al norte del municipio de Juárez. Esta área que limita al norte con los Estados de Texas y Nuevo México en los Estados Unidos, tiene como actividad económica dominante a la Industria Maquiladora, la cual genera una atracción de migrantes a la ciudad y provoca a su vez un proceso de expansión urbana acelerado y disperso. Ciudad Juárez ha experimentado históricamente una de las más altas tasas de crecimiento poblacional y de la superficie urbana de todo el país. Entre 1960 y el año 2005 la población de la ciudad se quintuplicó, es decir, incremento de 276,995 a 1'313,338 habitantes. Por su parte, la mancha urbana creció 16 veces, lo que significa a una tasa tres veces mayor que el crecimiento de la población (Fuentes Flores 2008)

**Figura 1. Localización del área de estudio**



Fuente: Elaboración propia

### 2.2 Datos

El principal insumo de datos que se utilizó en la investigación, consiste en imágenes de satélite Landsat las cuales registran las características físicas del territorio a partir de los valores de reflectancia de los materiales expuestos en la superficie. Las imágenes que se utilizaron fueron multiespectrales Landsat de los sensores Thematic Mapper (TM) y Enhanced Thematic Mapper plus (ETM+). El sensor TM a bordo de las plataformas Landsat 4 y 5 provee imágenes en las bandas visibles e infrarrojo cercano con 30 de resolución espacial. Otra fuente de datos para el estudio fueron los censos de población y vivienda del año 2000, del cual se extrajeron estadísticas de población, educación, vivienda, servicios e infraestructura con la finalidad de evaluar la eficiencia en la utilización del espacio urbano.

Las escenas seleccionadas (WRS Path/Row 33/38) se obtuvieron georeferenciadas en el sistema UTM de la zona 13 norte con Datum WGS84. Estas imágenes fueron suministradas por el United States Geological Survey (USGS) a través de Glovis y Earth Explorer. Las fechas seleccionadas para el análisis fueron 1990, 2000, 2005, 2008. Estas escenas se pre procesaron para estandarizarlas en términos de resolución espacial y espectral para adecuarlas a los requerimientos del proyecto.

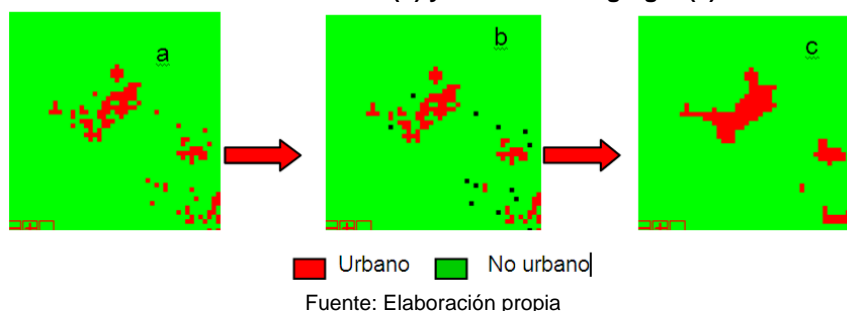
Las escenas de 2005 y 2008 se obtuvieron en modo Scan Line Corrector off (SCL-Off), por lo que tuvieron que corregirse para rellenar las líneas de datos faltantes por la falla del corrector de movimiento longitudinal de la plataforma con que se capturan las imágenes de Landsat 7 desde el 2003. Con el mecanismo de corrección de escaneo lineal apagado permanentemente, el sensor ETM+ pierde aproximadamente el 22% de información debido a la brecha que dejó el scanner sin detectar datos. Por esta razón tuvieron que rellenar las brechas o espacios vacío debido al error de escaneo utilizando una corrección lineal.

### 2.3 Clasificación de uso/cobertura de suelo

En la clasificación de uso y cobertura de suelo, usualmente se utilizan sensores remotos en orden a formar un modelo de crecimiento, a través de técnicas de clasificación supervisada y no supervisada, ambos utilizan algoritmos de estadística clasificados con imágenes satelitales. En este caso utilizamos una clasificación supervisada, la cual depende de tres pasos generales, la etapa de entrenamiento, la etapa de clasificación y la etapa de resultados. En la etapa de entrenamiento se identifican las áreas de entrenamiento, representativas para cada cobertura de uso de suelo. En la descripción de una zona de entrenamiento se expresa numéricamente de acuerdo con los atributos espectrales de cada cobertura de suelo recolectada. El éxito de la clasificación depende directamente de la recolección de muestras representativas, ya que estos atributos espectrales se convierten en una representación estadística. En la etapa de clasificación, cada pixel en la imagen satelital es asignado a una clase de cobertura de suelo; la clase o valor asignado a cada pixel en el proceso resulta en la creación de una imagen clasificada, caracterizando y mostrando como resultado un mapa temático con las clases de cobertura de suelo.

En la preparación y clasificación espectral de las imágenes satelitales se utilizó el software ENVI. Para la clasificación supervisada de las imágenes se utilizó el método Support Vector Machine. Este algoritmo permitió clasificar con mejores resultados los datos complejos o con ruido contenidos en las escenas. Este algoritmo utilizó "áreas de entrenamiento" para dos clases de cobertura de suelo urbano y no urbano. Dentro de estas clases están incluidas como urbano los usos de suelo habitacional, industrial, comercial, de servicios que incluyen coberturas de distintos materiales construidos, tales como pavimentación, concreto, metales, los cuales dan una respuesta espectral distinta. Dentro de la clase no urbano, se encuentra los tipos de cobertura de suelo tales como matorral desértico, área montañosa, área agrícola, vegetación y suelo expuesto. Una vez concluida la clasificación supervisada, se corrigieron errores de ruido o pixeles aislados utilizando las herramientas eliminar y agregar. Estas herramientas permitieron la integración de pixeles aislados del vecino más cercano con un parámetro de clasificación de 3 vecinos para asignar un objeto a una clase determinada y disminuir el ruido en las clasificaciones. (Figura 2)

**Figura 2. Imagen resultante de Clasificación supervisada (a) aplicando herramienta eliminar (b) y herramienta agregar (c)**



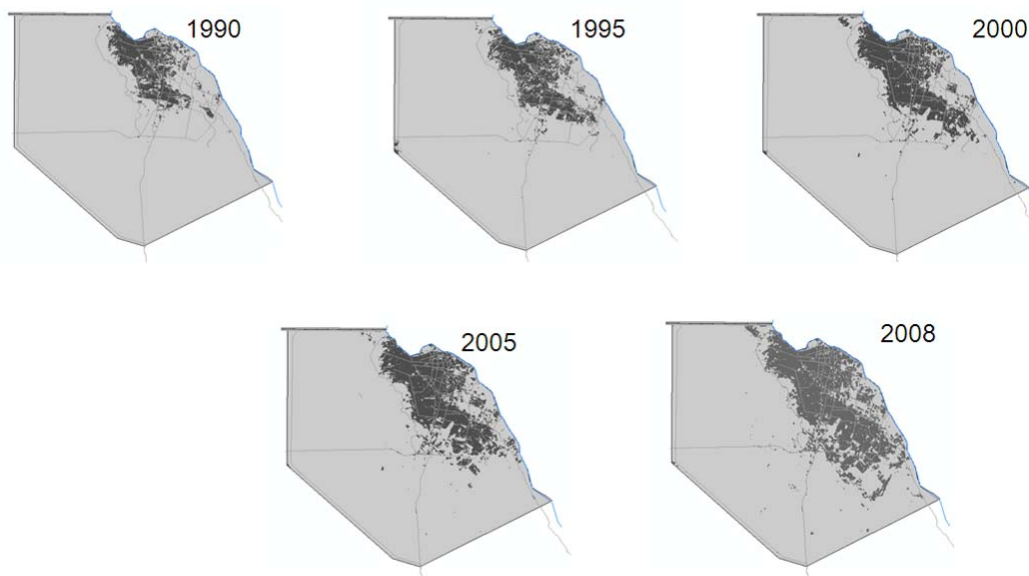


La evaluación de exactitud de la clasificación se hizo con una muestra de puntos distribuidos aleatoriamente, las estadísticas de estos cálculos se presentan en forma de matriz de error con la finalidad de mostrar la confiabilidad de la clasificación en campo.

### 3. Resultados

La primera parte de los resultados consistió en el modelo de cambios del uso y cobertura del suelo producto del proceso de clasificación supervisada basada en el algoritmo Support Vector Machine. La segunda parte está conformada por los resultados del análisis de la dinámica del paisaje a través de los índices de configuración espacial.

**Figura 3. Clasificaciones del uso y cobertura del suelo del área de estudio derivadas de Landsat**



Fuente: Elaboración propia

En la clasificación (Figura 3) se puede apreciar a la derecha de la imagen una extensa área agrícola que está suficientemente diferenciada de las áreas desocupadas en lo fundamental por la diferencia entre la cobertura vegetal inducida (agricultura) y su entorno. Finalmente, a la izquierda se aprecia como existe una extensión considerable de áreas de reserva, matorral desértico y suelo expuesto que también son clasificados y se representan en gris claro en la imagen clasificada.

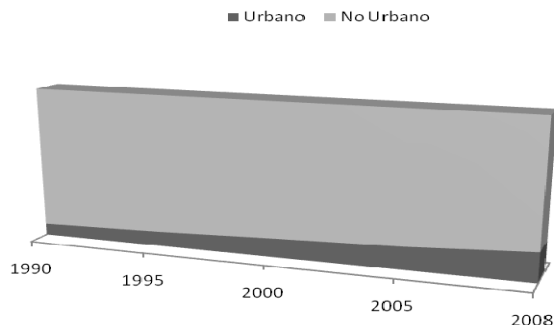
Los resultados de la clasificación para las clases consideradas (Urbano, No Urbano) se muestran en la siguiente gráfica (Figura 4), donde se presentan los resultados de la clasificación, existiendo una correspondencia espacial entre ambas. En ella se puede apreciar a las áreas urbanas representadas en gris oscuro y las áreas con cobertura vegetal que en la imagen aparecen en gris claro que se han clasificado como tales representadas en la imagen clasificada.

**Tabla1. Porcentaje de crecimiento, cobertura de uso de suelo (Ha)**

	1990	1995	2000	2005	2008
Urbano	79766.1	99420.3	130211.1	157239.9	203787.9
No Urbano	977985.9	958331.7	927540.9	900512.1	854417.7
% Crecimiento Urbano		25%	31%	21%	30%

Fuente: Elaboración propia

**Figura 4. Porcentajes de uso y cobertura del suelo de las clasificaciones de 1990 al 2008 en el área de estudio**



Fuente: Elaboración propia

Las imágenes muestran el crecimiento que se ha efectuado en la ciudad en el periodo de estudio, que comprende desde 1990 al 2008 en series de 5 años entre cada periodo, las cuales muestran un notable crecimiento que se generó en Ciudad Juárez, tal como se muestra en la (tabla 1), en donde, las cifras empiezan desde 1990 a 1995 en donde creció un 25 %, del cual corresponde a suelo urbanizado de 79,766.10 km<sup>2</sup> a 99420.3 km<sup>2</sup>, pasando al siguiente periodo de 1995 al 2000 con un 31% de crecimiento subiendo a 130,211.1 km<sup>2</sup> en ese año, no obstante sigue el crecimiento en una variable constante con un 21% de crecimiento del 2000 al 2005 partiendo de 157239.9 km<sup>2</sup> en el último año, destacando un aumento en la secuencia de crecimiento en el último periodo con un 31% abarcando 203787.9 km<sup>2</sup> en el 2008. Otorgando como resolutivo, lo que se traduce como un consumo de tierra agrícola o no urbanizable convirtiéndola en uso urbano, en un tiempo acelerado y en espacio interpretado como un crecimiento expansivo y no proyectado.

La exactitud de las clasificaciones generadas se evaluó utilizando el conjunto de puntos de verificación de campo. En la evaluación, la clasificación de los años 1995, 2000 y 2005 se mantuvieron con un 92.5% de exactitud en el 2008 se produjo con una exactitud del 93.1% y 1990 con la mayor exactitud de 97.1% (Tabla 2). Aunque para el segundo año se observa una disminución en la exactitud, producto del aumento de complejidad en la distribución de los usos y coberturas, estos resultados aun superan a los que arrojaron pruebas de clasificación que realizaron previamente basadas solamente en atributos espectrales.

**Tabla2. Matriz de evaluación de exactitud de la clasificación de uso y cobertura del suelo**

		Clasificación 1990			%Exactitud usuario	Error de comisión
		1	2	Total		
Verificación	1	151	6	157	96.2	3.8
	2	8	18	26	69.2	30.8
	Total	159	24	174		
	% exactitud de producción	95.0	75.0			
Error de omisión		5.0	25.0			97.1%

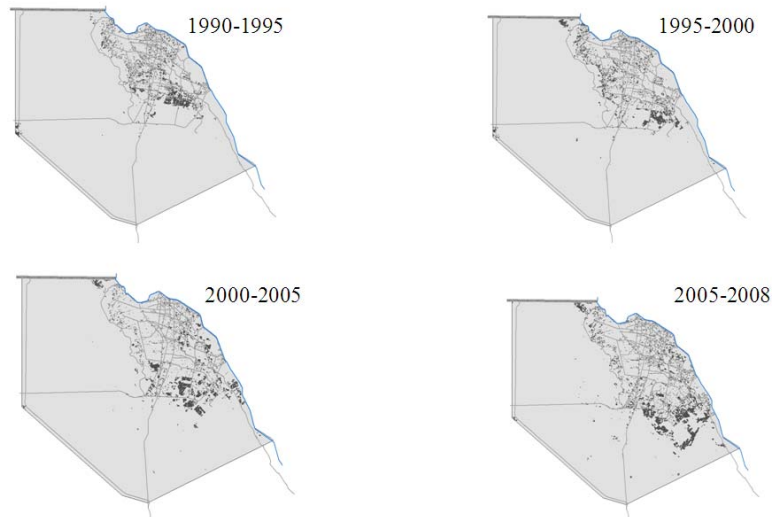
Fuente: Elaboración propia

### 3.1 Integración del modelo de crecimiento urbano de Ciudad Juárez suelo

La expansión urbana es un proceso complejo que está determinado mediante las interacciones de factores biofísicos y humanos en el espacio y tiempo a diferentes escalas (Barredo, et al. 2003; He, et al. 2006; Dappen, et al. 2007). El desarrollar un modelo de crecimiento es una forma viable para entender el proceso del CUD, interpretándolo explícitamente, en modelos espaciales de expansión urbana los cuales efectivamente rastrean y predicen posibles escenarios de expansión (He, et al. 2006).

Lo cual se reduce a que los modelos de crecimiento son herramientas viables utiles para comprender el proceso de cambio del crecimiento en la ciudad. en la investigacion el modelo contiene la información que se utilizó para el análisis del crecimiento urbano en donde se identificaron dos clases: urbano y no urbano, de acuerdo con el sistema de clasificación supervisada propuesto por Wilson (2003). La información que arrojó el modelo de crecimiento urbano es una visión y un asentamiento cuantitativo de las clases de crecimiento urbano que ha ocurrido sobre el paisaje comprobando que el CUD puede ser caracterizado mediante el uso de modelo en secuencias de tiempo, ilustrando así la dinámica de crecimiento urbano.

**Figura 4. Modelo de crecimiento urbano 1990- 2008**



Fuente: Elaboración propia

El patrón de crecimiento urbano mostrado (Figura 5), en la secuencia de mapas de densidad, ofrece como una visión del núcleo urbano notable en Ciudad Juárez, en donde se aprecia que sufrió una importante expansión con rumbo hacia el noreste, fundamentalmente siguiendo el eje hacia el rio bravo, expandiéndose hacia las zonas agrícolas y de reserva de Ciudad Juárez, ocasionando un surgimiento de núcleos urbanos alejados de la urbanización principal. Para 1990 la ciudad sufrió una de sus expansiones más notables con un acentuado patrón hacia el sur este de la ciudad y donde ya comienzan a ser notable la conformación de la zona metropolitana de la ciudad, desarrollando en 1995 a la vez nuevas zonas de crecimiento periférico hacia el noroeste u suroeste. Hacia el año 2000, se continúa con el patrón de crecimiento sur este aunque con una ocupación importante al sur de la ciudad, se consolidan además las dos áreas urbanas mencionadas. Para 2008, disminuye la velocidad de la expansión urbana pero es notable nuevamente el surgimiento de núcleos urbanos relativamente alejados del área urbana con conexiones viales de importancia al norte de Ciudad Juárez y otros altamente asociados a la estructura vial en particular en las carreteras a Chihuahua.

Tal como se ha expresado gráficamente, la principal característica del avance de la población de Ciudad Juárez es el proceso expansivo acelerado y no proyectado. Tan sólo en las últimas cinco décadas, el número de habitantes de esta ciudad pasó de 131,308 en 1950 a 1, 218,816 en 1990, cifras que significan que la población se multiplicó más de nueve veces en el transcurso de los 50 años transcurridos en el periodo señalado (Fuentes Flores, 2008), tomando como referencia la cantidad de crecimiento en la fecha anterior partimos de 1990 a la fecha.

La gráfica (Figura 6) muestra la sincronización de crecimiento urbano de Ciudad Juárez de 1990 al 2008. En todo el periodo de tiempo de análisis considerado las tasas de crecimiento ,se ha comprobado que ha sobrepasado los porcentajes de crecimiento de periodos pasados, en donde se especifico como un crecimiento explosivo, sobre todo entre 1940 y 1980 (Fuentes Flores, 2008). En la (tabla 3) se describe el porcentaje de crecimiento y la cobertura de uso de suelo en km2 la cual se analiza desde 1990 al 2008 mostrando un aumento en el crecimiento de un 6% en el primer periodo de 1990-1995, 1995 -2000 y de un 9% en el periodo que comprende 2000-2005 y haciendo un énfasis importante del 59% en el último



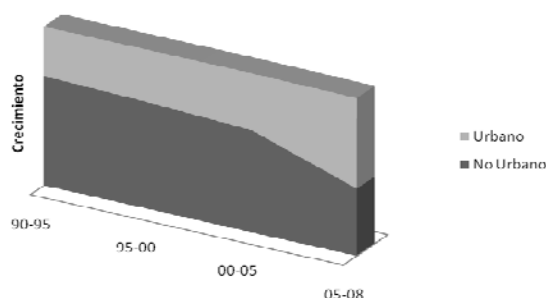
periodo hasta el 2008. Asimismo, es necesario subrayar los más de 400 mil habitantes en que creció el total de población en la última década del siglo pasado, con una tasa de crecimiento promedio anual significativamente alta, comparada con las condiciones de expansión demográfica actuales.

**Tabla 3 Periodos y porcentaje de crecimiento, cobertura de uso de suelo (Ha)**

Periodo	90-95	95-00	00-05	05-08
No Urbano	102102.48	101893.68	101548.08	98971.2
Urbano	3672.72	3881.52	4227.12	6703.74
%Crecimiento		6%	9%	59%

Fuente: Elaboración propia

**Figura 6 Uso y cobertura del suelo resultado de modelo de crecimiento 1990 al 2008 en el área de estudio**



Fuente: Elaboración propia

Enfocándose en el periodo de estudio se muestra como resultado que el crecimiento urbano que se ha traducido en un desarrollo urbano extensivo que va en aumento, periodo tras periodo, en sentido continuo además de originar desplazamiento y creación de nuevos centros de servicios que no han alcanzado una consolidación óptima, lo cual se exterioriza espacialmente como una estructura urbana difusa. Aunado a estos resultados se manifiestan las condiciones en las que se encuentra cada uno de los sistemas de infraestructura que conforman la ciudad, los cuales se explican a continuación.

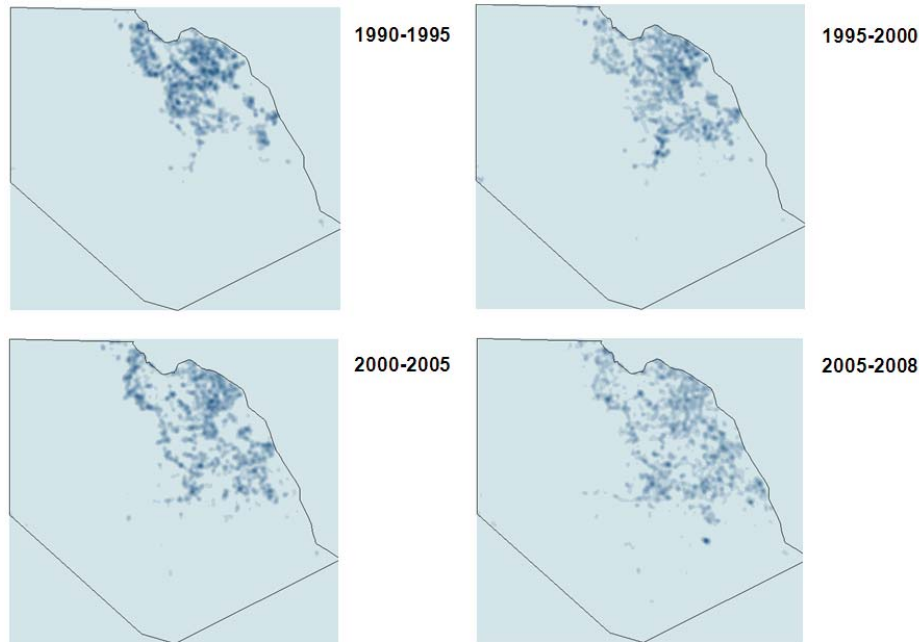
### 3.2 Dispersión del crecimiento urbano

El índice de dispersión se refiere a la tendencia de los parches que se distribuyen de forma regular o en forma de contagio es decir agrupados con respecto a los demás. Existen varios índices de dispersión desarrollados para la evaluación de los puntos de los patrones espaciales, algunos de ellos han sido aplicados a mapas categóricos. Un enfoque común se basa en las distancias del vecino más cercano entre los parches del mismo tipo. En este caso se convirtieron en polígonos los parches creando un centroide y se calcula una superficie de densidad dando como resultado en donde se concentran las densidades más alta especificando donde existe la fragmentación más alta.

El análisis mediante mapas densidad de ocupación de suelo urbano en nuevos crecimientos (Figura 7) proyecta como resultado en el periodo 1990–1995 una densificación en el centro de la ciudad, como es notoria el área urbana consolidada, en la cual, no se encuentra un nivel de fragmentación alto, consecuentemente una conectividad adecuada interpretándolo en accesibilidad a espacios contiguos. El análisis está basado en un radio de 500 m el cual se determino mediante el ensayo con varios radios, reflejando ser la opción adecuada a utilizar, debido al resultado expresado gráficamente, en cual se considera una distancia factible entre parche y parche. En el siguiente periodo de análisis de 1995-2000 se ubica en determinado caso una fragmentación del paisaje relativamente media ya que el crecimiento se enfoca en áreas aledañas provocando una conectividad suficiente para las actividades que se generaron en subcentros cercanos al área consolidada abarcando las vialidades principales.

En el año 2000-2005 con un enfoque diferente en donde la demanda se concentra en aquellas fracciones rurales, con buenas condiciones de accesibilidad urbano-metropolitana y cualidades ambientales. Se confirma que el 21% de crecimiento urbano el porcentaje mayoritario se trata de casos de urbanizaciones residenciales especiales que se localizaron en áreas rurales, que posteriormente se anexaron a la mancha urbana, de los cuales son casos que se localizaron en espacios vacantes o áreas especiales existentes dentro del perímetro urbano.

**Figura 6 Superficies de Densidad, específicamente en modelo de crecimiento 1990- 2008**



Fuente: Elaboración propia

En el último periodo comprendido 2005-2008, es notable la continuación de nuevos desarrollos en los cuales, los cambios en el uso del suelo, tienen como objetivo resolver problemas sociales y posibilitar una mejor calidad de vida a través del acceso a los servicios y el equipamiento urbano, como es el caso de las urbanizaciones irregulares, localizadas fuera del perímetro urbano que se ven limitadas en sus posibilidades de acceder a los servicios urbanos, dada su localización en nuevas zonas.

Aunque se manifiesta una densidad alta en cuestión de contigüidad de zonas en los nuevos crecimientos, sin embargo, no corresponden a una accesibilidad o mejora con respecto a las áreas consolidadas o mancha urbana existente, la situación inversa que se presenta con la incorporación de tierra al perímetro urbano que no va acompañada de la posibilidad de extensión de infraestructura y servicios, proporciona como consecuencia el no alcanzar una dinámica de urbanización en un corto plazo. La expansión de la mancha urbana se localiza como ya se menciono en áreas extensas fuera de la mancha urbana, en donde es factible mencionar que la mayoría no están en los Planes de Desarrollo Urbano de la Ciudad, tomando solo en cuenta que aun con disponibilidad de esta tierra para ser urbanizada dentro del perímetro urbano y en términos generales, cuentan con una baja densidad de ocupación.

#### 4. Conclusiones

El fenómeno analizado en este proyecto pone en evidencia la dinámica de crecimiento urbano de Ciudad Juárez en las últimas dos décadas. El análisis se concentro en las áreas específicas de nuevo crecimiento. En los últimos años la población de la ciudad creció considerablemente reafirmando el papel de la inmigración y las políticas de vivienda como actores importantes que impulsan este fenómeno.

El dinamismo y las actividades urbanas que enmarcan y dirigen al mismo tiempo un crecimiento ya identificado, como expansivo y no proyectado, resaltan una estructura urbana difusa, emergente en base a lineamientos indeterminados e incluso de última adición. Esto ha sido el resultado de las políticas de planeación que favorecen los desarrollos habitacionales y conjuntos Industriales, logrando una evasión a los elementos que integran un espacio urbano funcional.

La dinámica de crecimiento urbano disperso detectada en este estudio se expresa también en la falta de conectividad, accesibilidad y déficit en la dotación de infraestructura y servicios básicos en los nuevos crecimientos, dificultando su consolidación a largo plazo. Al mismo tiempo, el fenómeno está relacionado con el abandono y deterioro de las zonas consolidadas, provocando un uso ineficiente del suelo urbano. Por esta razón consideramos necesario atender al reto de direccionar el crecimiento de forma adecuada, de modo que sea posible un uso eficiente del suelo urbano que provea mejores oportunidades de desarrollo para la sociedad de esta ciudad fronteriza.

### Bibliografía

- Antrop**, Marc. «Landscape change and Urbanization process in Europe.» *Landscape and Urban Planning*, 2004: 9-26.
- Barredo**, Jose I., Kasanko Marjo, Niall McCormick, y Carlo Lavalle. «Modelling dynamic spatial processes: simulation of urban future scenarios through cellular automata.» *Landscape and Urban Planning* 64, 2003: 145-160.
- Dappen**, Patti, Jim Merchant, Ian Ratcliffe, y Cullen Robbins. «Delineation of 2005 Land Use Patterns for the State of Nebraska.» *Final Report, School of Natural Resources*. Nebraska: Center for Advanced Land Management Information; Technologies (CALMIT), September de 2007.
- Fuentes** Flores, Cesar M. «La Estructura Urbana y las Diferencias Espaciales en el Tiempo de Traslado del Viaje al Trabajo en Ciudad Juárez, Chihuahua.» *Estudios Demográficos y Urbanos*, Vol. 23, Num. 1., 2008.
- Hasse**, J. E., y R. G. Lathrop. «Land Resource impact indicators of urban sprawl.» *Applied Geography*, 2003: 159-175.
- He**, Chunyang, Norio Okada, Qiaofeng Zhang, Peijun Shi, y Jingshui Zhang. «Modeling urban expansion scenarios by coupling cellular automata model and system dynamic model un Beijing, China.» *Applied Geography* 26 , 2006: 323-345.
- Herold**, M., H. Couclelis, y K. C. Clarke. «The role of spatial metrics in the analysis and modeling of land use change.» *Computers, Environments and Urban Systems*. 29 (4), 2005: 369-399.
- Herold**, M., J. Hemphill, C. Dietzel, y K. C. Clarke. «Remote Sensing derived mapping to support Urban Growth Theory.» En *Urban Remote Sensing*, de Qihao Weng y Dale A. Quattrochi, 201-219. Boca Raton, Florida: Taylor & Francis Group, LLC, 2007.
- Herold**, M., N. C. Goldstein, y K. Clarke. «The spatiotemporal form of urban growth: measurement, analysis and modeling.» *Remote sensing environment* 86, 2003: 286-302.
- Jantz**, Claire A., J. Goetz Scott, y Mary K. Shelley. «Using the SLEUTH urban growth model to simulate the impacts of future policy scenarios on urban Land use in the Baltimore, Washington metropolitan area.» *Environment and Planning B: Planning and Design, Volume 30* (Environment and Planning B: Planning and Design, volume 30 ), 2003: 251-271.
- Lochet**, Sophie. «Crecimiento urbano de Ciudad Juárez: El papel de la autoridad pública.» Ciudad Juárez, Chihuahua, 2008.
- Lu**, D., P. Mausel, E. Brondizio, y E. Moran. «Change detection techniques.» *International Journal of Remote Sensing* , 2004: 2365-2407.
- Martinuzzi**, Sebastian, William A. Gould, y Olga M. Ramos Gonzalez. «Land development, land use, and urban sprawl in Puerto Rico, integrating remote sensing and population census data.» *Landscape and Urban Planning* (79), 2007: 288-297.
- White**, Engelen R., y G. Uljee. «The use of constrained cellular automata for high resolution modelling of urban land dynamics.» *Environmental Planning* , 1997: 323-343.
- Wilson**, Jeffrey S., Michaun Clay, Emily Marti, Denise Stuckey, y kim Vedder-Risch. «valuating environmental influences of zoning in urban ecosystems with remote sensing.» *Remote Sensing of Environment* 86 , 2003: 303-321.

