

## Identificación de asentamientos irregulares y diagnóstico de sus necesidades de infraestructura en Ciudad Juárez, Chihuahua, México

Recibido: 13 de septiembre de 2013. Aceptado en versión final: 24 de marzo de 2014.

Iván Elías Ruiz Hernández\*

**Resumen.** Más de la mitad de la población mundial vive desde el 2007 en ciudades, provocando que uno de los más grandes retos de esta transición demográfica, el cual ocurre principalmente en los países en desarrollo desde la década de 1970, sea el de proveer vivienda digna a una creciente población urbana. Este fenómeno, aunado a las particularidades de los mercados del suelo, produce asentamientos espontáneos que ocurren en las ciudades de una manera informal y con grandes deficiencias tanto en la infraestructura como en la calidad de la vivienda.

Aproximadamente mil millones de personas alrededor del mundo viven en condiciones deplorables de vivienda, servicios básicos urbanos e infraestructura. En el 2000 la organización UN-HABITAT de las Naciones Unidas (ONU) emitió la “Declaración del Milenio” cuyos objetivos primordiales fueron adoptados por los principales líderes del mundo para mejorar las condiciones de vida de la población que habita en los asentamientos irregulares (AI).

A pesar de que la ocupación irregular del suelo es un fenómeno frecuente en las ciudades, en la actualidad no se cuenta con técnicas de estimación confiable que permitan conocer su extensión y características de forma confiable y expedita. Es a partir de esta problemática que surge la necesidad de elaborar una propuesta de análisis que permita identificar y delimitar los AI a escala urbana y realizar un diagnóstico de sus necesidades de infraestructura urbanas.

Este trabajo de investigación presenta así una alternativa para identificar de forma oportuna, confiable y eficaz los AI,

para que las diferentes instancias del gobierno puedan brindar respuesta ágil a los problemas de regularización, falta de infraestructura y servicios urbanos. El trabajo consiste en el desarrollo de un modelo de análisis basado en la integración de atributos físicos, socioeconómicos y de organización espacial del entorno urbano, utilizando técnicas de percepción remota, análisis espacial e información censal. Los atributos físicos incluyen las condiciones del terreno, disección vertical y zonas de riesgo geológico y de inundación. Los atributos socioeconómicos incluyen, polígonos de pobreza, cobertura de agua potable y drenaje, nivel de hacinamiento, relación centro-periferia y valor del suelo. Los atributos de organización espacial y tipo de materiales de construcción, fueron recabados de imágenes satelitales de alta resolución y métricas de paisaje. Estos tres grupos de variables fueron integrados en un modelo multicriterio para la identificación de AI en Ciudad Juárez, Chihuahua, México. El modelo permite no solo la identificación de dichos AI sino también la realización de un diagnóstico de sus necesidades de infraestructura y servicios urbanos contando con un nivel de exactitud del 97.66%. Esta investigación presenta un método nuevo y confiable para la identificación de AI y a su vez los resultados obtenidos proveen una importante herramienta para los responsables del desarrollo urbano en la toma de decisiones.

**Palabras clave:** Sistemas de información geográfica (SIG), percepción remota (PR), evaluación multicriterio y asentamientos irregulares.

\* Universidad Autónoma de Ciudad Juárez Avenida Plutarco Elías Calles, Alfa, 32317 Juárez, Chihuahua. E-mail ruiz.reset@gmail.com

Cómo citar:

Ruiz H., I. E. (2015), “Identificación de asentamientos irregulares y diagnóstico de sus necesidades de infraestructura en Ciudad Juárez, Chihuahua, México”, *Investigaciones Geográficas, Boletín*, núm. 87, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 88-101, [dx.doi.org/10.14350/ig.41793](http://dx.doi.org/10.14350/ig.41793).

## Spatial modeling for irregular settlements identification and diagnosis in Ciudad Juárez, Chihuahua, Mexico

**Abstract.** Since 2007, more than half of the world population lives in cities, causing that one of the biggest challenges of this demographic transition, which occurs mainly in developing countries since the 1970s, is providing decent housing to a growing urban population. This phenomenon, coupled with the particularities of land markets, triggers spontaneous settlements that occur in cities in an informal way and with major deficiencies in both the infrastructure and the quality of housing.

Approximately one billion people worldwide live in deplorable housing conditions, lack of basic urban services and infrastructure. Most of this population lives in irregular settlements with extreme poverty within the major developing countries. The expansion of this type of settlement is considered as a visual manifestation of poverty itself. In 2000, the UN-HABITAT, organization of the United Nations, issued their "Millennium Declaration" in which primary goals were adopted by major world leaders to improve the living conditions of the population living in informal settlements.

Although irregular land occupation is a frequent occurrence in the cities, currently there are no reliable estimation techniques to determine its extent and characteristics reliably and expeditiously. It is from this issue, that there is a need to develop a proposal for analysis to identify and delineate the irregular settlements to an urban scale and make a diagnosis of urban infrastructure needs.

### INTRODUCCIÓN

Debido al crecimiento demográfico y a los procesos migratorios campo-ciudad, la mitad de la población mundial vive desde el 2007 en las ciudades. Estas migraciones han ocurrido principalmente en los países en desarrollo, desde la década de 1970 (Graizbord, 2007). Este fenómeno, aunado a las particularidades de los mercados de suelo urbano, crea asentamientos espontáneos en las ciudades, que ocurren de una manera informal y con grandes deficiencias tanto en la infraestructura como en la calidad de la vivienda. Ello ha provocado que uno de los más grandes retos para los gobiernos sea el de proveer de una vivienda digna a esta creciente población.

A partir del 2005 más de mil millones de personas en todo el mundo habitan tanto en condiciones de irregularidad legal como de precariedad. Esto significa que una de cada seis personas se encuentra viviendo en un asentamiento irregular (Davis,

This dissertation presents an alternative to identify in a timely, reliable and effective manner irregular settlements, so that different levels of government can provide quick response to regularization problems, lack of infrastructure and urban services. This research work involves the development of a model of analysis based on the integration of physical attributes, socioeconomic attributes and the spatial organization of the urban environment, using remote sensing techniques, spatial analysis and census data. These physical attributes include terrain conditions, cooperative, flood, and risk zones. Socioeconomic attributes include income levels, sewage and adaptable water coverage, overcrowding level, center-periphery relationship and land value. The attributes of spatial organization and type of building materials were collected from high-resolution satellite imagery and landscape metrics. These three groups of variables were integrated into a multi-criteria model for irregular settlement identification at Ciudad Juárez, Chihuahua, Mexico with a 97.66% of accuracy. The contribution of this research is to present a new reliable method to identify irregular settlements. The achieved results can provide a great asset to help urban development officials in decision making.

**Key words:** Geographical Information Systems (GIS), remote sensing, multicriteria evaluation, irregular settlements, slums.

2007). La expansión de los AI es considerado por la ONU como una manifestación visual de la pobreza misma. Uno de los principales objetivos en la "Declaración del Milenio" adoptado por los principales líderes del mundo en el 2000, fue la de mejorar las condiciones de vida de las personas que habitan en los AI (UN-HABITAT, 2002).

A pesar de que la ocupación irregular del suelo es un fenómeno frecuente en las ciudades, en la actualidad no existen técnicas de estimación que permitan conocer la extensión de los AI de forma confiable y expedita. Es a partir de esta problemática que surge la necesidad de realizar una propuesta de análisis que permita identificar y delimitar los AI a escala urbana, y generar un diagnóstico de sus necesidades de infraestructura urbana.

El primer *ghetto* o barrio precario marginal de la historia ocurrió en Venecia en 1516 y fue descrito como "un condón urbano" ya que fue diseñado para permitir la penetración de la ciudad cristiana

por los judíos. Este barrio surgió como un puente de explotación económica y social, donde se les permitía a los judíos realizar labores económicas durante el día, para después permanecer detrás de puertas cerradas durante la noche. Fuera de su barrio los judíos eran obligados a portar un gorro amarillo para que los cristianos pudieran reconocerlos y evitar su contacto (Wacquant, 2010).

En 1835 Mumford encuentra este tipo de barrios en Nueva York, carentes de atención por parte de las autoridades en relación con las necesidades elementales de higiene y a las comodidades particulares del desarrollo de una ciudad comercial. En este caso la creación de estos AI fue impulsada por el alto índice de migración hacia esta ciudad y las rentas costosas de las viviendas.

El problema de los AI persiste hasta la fecha en muchas ciudades, así como la indiferencia o incapacidad de las autoridades por resolver las necesidades elementales de la población en AI. El crecimiento de la población urbana desde las últimas décadas del siglo XX ha venido a plantear nuevos retos en la atención de problemas y la provisión de servicios básicos e infraestructura en las ciudades. Según el Fondo de Población de las Naciones Unidas (UNFPA) desde el 2007 el 50% de la población vive en áreas urbanas (UN-HABITAT, 2007a).

Se prevé que la mayoría de este crecimiento urbano sucederá en países en desarrollo; generalmente estos países no se encuentran preparados para recibir a este gran número de personas en sus principales ciudades. Esto obliga a que los nuevos inmigrantes se instalen en las periferias en condiciones de pobreza extrema. Con una falta total o parcial de los servicios básicos y muchas veces en condición de irregularidad por no ser dueños o no contar con el permiso de instalarse en esas áreas (UN-HABITAT, 2006).

Investigaciones recientes del organismo UN-HABITAT muestran que 924 millones de personas, es decir, el 31.6% de la población urbana en el mundo, se encuentra en condiciones inaceptables de vivienda. Esta cifra seguirá creciendo a menos que las agencias de desarrollo incrementen sus esfuerzos para mejorar las condiciones de vida de la presente y futura población urbana (Turkstra y Raithelhuber, 2005).

En resumen, la problemática radica en la falta de metodologías de análisis que se necesitan para comprender la magnitud de la misma, de una manera rápida, accesible y confiable. Así mismo, de una continuidad en este tipo de metodologías, para conocer el comportamiento de este fenómeno. De esta manera se podría entender la funcionalidad de los distintos planes y políticas que se emplean para eliminar esta problemática.

El primer paso para poder cuantificar y localizar a la población en AI es definir el término "AI", según los expertos del organismo UN-HABITAT en su reunión del 2002, acordaron que un AI es un asentamiento contiguo donde sus habitantes son caracterizados por vivir en una vivienda inadecuada y por la carencia total o parcial de los servicios básicos.

La falta de una definición exacta de este concepto contribuye a no tener una respuesta política efectiva y hecha a la medida. Aunque este término alrededor del mundo presenta algunas similitudes, también tiene características diversas, definidas de forma diferente en varias zonas del mundo (Wanjiku, 2011). Lo cual hace muy difícil hacer comparaciones internacionales y el monitoreo global de AI para los planes de intervención de este fenómeno. Existen regiones como Nairobi, Kenia, sin una definición oficial por parte del gobierno y otras como Bogotá, Colombia, en la que se cuenta con una definición oficial y con una definición no oficial (*Ibid.*).

Es por esto que la Organización de las Naciones Unidas (ONU) encargada de la vivienda, la UN-HABITAT, reunió a un grupo de expertos en el 2002 para delimitar el concepto y definirlo en un contexto internacional para su uso global (UN-HABITAT, 2003). Es esta misma definición de asentamiento irregular la que es usada en esta investigación; donde un asentamiento irregular es una vivienda o grupo de viviendas que carece(n) de uno de los siguientes cinco elementos: *a)* acceso a agua potable; *b)* drenaje; *c)* seguridad en la tenencia; *d)* durabilidad de la vivienda (materiales de desecho y también incluye la localización en zonas de riesgo), y *e)* área suficiente para vivir (hacinamiento), (Turkstra y Raithelhuber, 2005).

En el contexto mexicano y local, la definición de AI sigue simplemente un enfoque legal. El título

de propiedad de la tierra; sin éste, se considera esa vivienda como AI sin importar los demás aspectos que maneja la ONU. La metodología planteada en esta investigación sugiere su replicación en diferentes ciudades, por lo cual se utiliza la definición de la UN-HABITAT de AI.

## MARCO TEÓRICO

En primer lugar se tienen que tomar en cuenta los modelos de ciudad, ya que éstos intentan reducir un conjunto urbano complejo y tratan de obtener una imagen clara de la dinámica compleja de la ciudad reduciendo sus componentes. A lo largo del siglo XIX, el desarrollo de modelos estructurales en estudios urbanos ha sido una herramienta en continua evolución.

Los modelos, como abstracciones de la realidad, cuentan con una larga tradición en las ciencias regionales, tanto en Europa como en Estados Unidos (Borsdorf, 2003). Uno de los principales expositores de estos estudios fue la famosa Escuela de Ecología Social de Chicago. Los principales exponentes de esta escuela contaban con modelos desarrollados ya en la década de 1920 (*Ibid.*) y que han sido ampliamente difundidos y utilizados en el ámbito internacional. En resumen, los modelos de ciudad desde sus inicios con Burgess (1925) hasta Janoschka (2006), entre otros autores, muestran la relación que tienen los AI con algunos elementos físicos; en su mayoría, concuerdan que los AI aparecen en las periferias, por lo que se puede concluir que tienen una relación directa con ellas. También, se tiene una relación con las zonas que cuentan con un valor de suelo bajo. Por último, en los modelos de ciudad se habla de situaciones geográficas adversas para la vivienda, como pueden ser zonas de inundación, riesgo geológico, composición irregular del suelo y áreas peligrosas para la construcción de vivienda.

Las bases teóricas de estos modelos delimitan la relación de los AI con varias variables que identifican a los AI en la ciudad. Estas variables son: relación centro-periferia, valor del suelo, pendiente, disección vertical, zonas de riesgo geológico y de inundación.

Las bases teóricas de la marginalidad urbana y cultura de la pobreza indican elementos socioeconómicos que caracterizan a los AI. El Consejo Nacional de Población (CONAPO) identifica a la marginalidad urbana como un problema social asociado con las privaciones y la carencia de oportunidades de la población a los servicios como la educación, salud e ingreso; asimismo, a la dificultad para el acceso a los servicios básicos urbanos como agua potable, drenaje y electricidad (Peña, 2003). De acuerdo con Peña (2003), estas carencias o condiciones de marginalidad urbana están generalmente presentes en la mayoría de los AI.

La cultura de pobreza es una teoría social, extensión del ciclo de pobreza. El creador de esta teoría (Lewis, 1969) debate que el “pobre” no solamente carece de recursos, sino que también cuenta con un sistema de valores único. La subcultura del ciclo de pobreza o cultura de la pobreza desarrolla mecanismos que tienden a perpetuar a esta condición social. Estos mecanismos son creados por lo que ocurre con la visión del mundo, aspiraciones y al carácter que adquirieron de niños creciendo en la miseria (*Ibid.*).

En conclusión, los AI concentran viviendas con familias de bajos ingresos. Lo que provocan repercusiones negativas, ya que se crea este ciclo de reproducción de pobreza y a su vez de AI. Lo anterior dificulta la creación de políticas de planeación urbana y vivienda (SEDESOL, 2010).

La marginalidad urbana, como fenómeno social nos muestra una relación con los AI, abarca términos espaciales que pueden ser la periferia, viviendas en laderas, pendiente, etc. A su vez, términos sociales, como concentraciones de pobreza, bajo valor de suelo, mercado inmobiliario irregular, hacinamiento. En sus términos más crudos, el acceso a servicios, como agua potable, drenaje, autoconstrucción, etc. Por otro lado, la teoría de la cultura de pobreza relaciona a los AI con variables parecidas; el bajo ingreso y la concentración de la pobreza son las principales.

En una dimensión legal, el AI es aquella vivienda que se encuentra en terrenos de propiedad ejidal, comunal, pública federal, estatal o municipal y particular; también un AI es aquella vivienda que no cuenta con un título de propiedad. La variable extraída de este marco legal es la tenencia de la tierra.

## MÉTODO Y DATOS DE ESTUDIO

Una vez comprendido el fenómeno del AI desde sus bases teóricas y su delimitación espacial, se pueden encontrar los elementos necesarios que definen estas instalaciones irregulares y, además, los componentes esenciales para determinar su nivel de precariedad tanto en servicios básicos urbanos como en la calidad de los materiales empleados en la construcción de las viviendas en AI.

Con esta información se escogieron los diferentes componentes que se integraron en el modelo. Con ayuda de las diferentes herramientas de los SIG y análisis espacial se plasmaron los modelos de condiciones físicas y socioeconómicas, con ayuda de la PR se configuró el modelo de organización espacial para, al finalizar, integrar estos tres modelos en un modelo final con ayuda de un esquema de evaluación multicriterio.

Un SIG es un sistema diseñado para capturar, almacenar, manipular, analizar, manejar y representar todo tipo de información geográficamente referenciada. En términos simples, los SIG son la mezcla de cartografía, análisis y bases de datos (Foote, 2000). En un sentido general, el término describe a cualquier sistema que integre, almacene, edite, analice, comparta y represente geográficamente información para la toma de decisiones (NAGCS, 2012). Los SIG funcionan como una base de datos con información geográfica asociados a los objetos gráficos de un mapa digital. La principal razón para utilizar los SIG es el análisis de la información espacial, ya que esta herramienta permite separar los diferentes tipos de información en capas y almacenarlas independientemente. De esta manera se puede trabajar con estas capas de una forma rápida y sencilla. A su vez, mezclando diferentes bases de datos se pueden crear nuevas capas y así generar una ilimitada fuente de información (GBIF, 2005).

La PR es simplemente la observación o medición de datos desde una distancia. La tecnología de la PR detecta la energía radiante electromagnética reflejada o emitida de los objetos y de las superficies de los suelos. Esa radiación puede ser interpretada y analizada para indicar información práctica sobre estos objetos o superficies. Los sensores de los

satélites recolectan valores en diferentes bandas de longitudes de onda espectral para cada píxel. Esta información después puede ser introducida en diferentes programas de cómputo para su interpretación. La utilidad real de ésta es que está en forma digital y puede ser usada en combinación con otra información espacial en SIG (Randolph, 2004).

La evaluación multicriterio es una técnica para la ayuda de la toma de decisiones. Con ella se pueden contabilizar diferentes factores que influyen en determinado fenómeno, así se pueden investigar diferentes alternativas o escenarios con diferentes criterios. Esta técnica permite representar bajo un mismo criterio diferentes aspectos (Gómez y Barredo, 2005).

En pocas palabras, las técnicas de PR y las herramientas de los SIG son instrumentos importantes para el ordenamiento del territorio de las ciudades. Las contribuciones de estas tecnologías utilizadas en conjunto con otras técnicas innovadoras, como el análisis espacial y la evaluación multicriterio, son esenciales para solucionar o tener una mejor perspectiva de este tipo de problemas. La principal ventaja que la identificación, caracterización y otros estudios hechos con estas herramientas, es que pueden ser realizadas de forma rápida con una precisión satisfactoria (Esdras, 2012).

## ÁREA EN ESTUDIO

Ciudad Juárez, Chihuahua, fundada en 1659, es una ciudad fronteriza con Estados Unidos caracterizada por su actividad económica dominada por la industria maquiladora y cambio constante. Cuenta con una extensión territorial aproximada de 290 km<sup>2</sup>, siendo una de las ciudades más importantes por su tamaño y actividad económica de México y de las fronteras del mundo. Se encuentra localizada al sur del río Bravo y cuenta con una población cercana a los 1 321 004 habitantes (INEGI, 2011). En la Figura 1 se muestra un mapa de la localización del polígono que comprende el fundo legal de Ciudad Juárez y en el recuadro inferior izquierdo la ubicación geográfica de Ciudad Juárez, Chihuahua, México, localizada en la ribera sur del

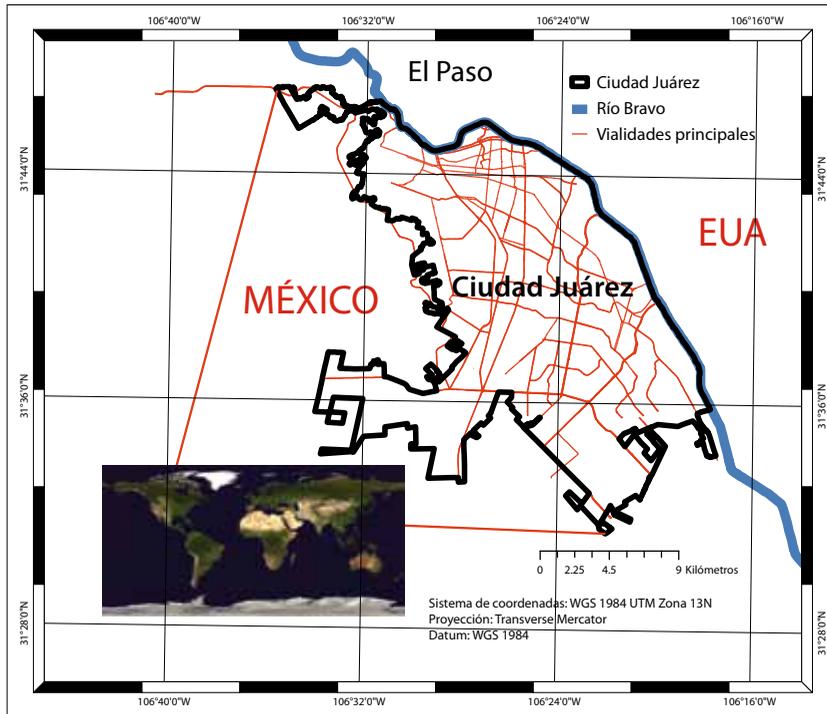


Figura 1. Localización de Ciudad Juárez.

río Bravo, en las planicies septentrionales del desierto del estado de Chihuahua. El río Bravo es un límite natural entre los Estados Unidos de Norteamérica y México. Este límite da lugar a una extensa franja fronteriza entre ambos países.

Para cumplir el objetivo de este estudio, se creó un modelo de análisis basado en la integración de atributos físicos (condiciones físicas, disección vertical, zonas de inundación, zonas de riesgo geológico y

de inundación), socioeconómicos (nivel de ingresos, cobertura de drenaje, cobertura de agua potable, nivel de hacinamiento, relación centro periferia y valor del suelo), y de organización espacial (organización espacial del ambiente construido y materiales de construcción de la vivienda), utilizando técnicas de PR junto con análisis espacial mediante una evaluación multicriterio, como se representa en el siguiente diagrama (Figura 2).

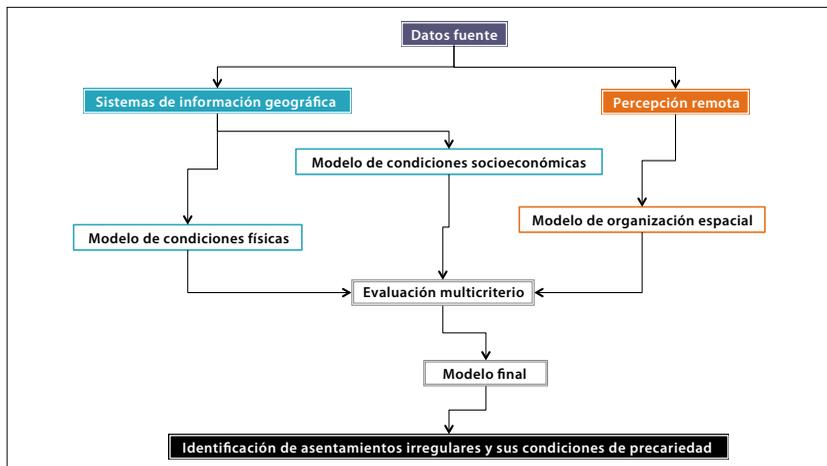


Figura 2. Estrategia metodológica para la integración de un modelo de identificación y caracterización de asentamientos irregulares y sus condiciones de precariedad.

A partir de la combinación de procesos de PR con procesos de análisis espacial, se propone resolver la idea de este estudio: la identificación de AI. Con estas herramientas se creó un modelo que incorpora diversos factores y variables que puede describirse mediante la siguiente función:

$$AI = \underbrace{MC + OEAC + ZR + DV}_{\text{Organización espacial}} + \underbrace{ZI + P + H + I}_{\text{Condiciones físicas}} + \underbrace{VS + A + D + CP + T}_{\text{Condiciones socioeconómicas}}$$

donde:

- MC = Materiales de construcción.
- OEAC = Organización espacial del ambiente construido.
- ZR = Zonas de riesgo geológico y de derrumbe.
- DV = Disección vertical.
- ZI = Zonas de inundación.
- P = Pendiente. Nivel de elevación natural del suelo.
- H = Nivel de hacinamiento.
- I = Nivel de ingreso.
- VS = Valor del suelo.
- A = Cobertura de agua potable.
- D = Cobertura de drenaje.
- CP = Relación centro periferia.
- T = Tenencia.

Con las imágenes satelitales del sensor Thematic Mapper a bordo de la plataforma Landsat 5 con una resolución espacial de 30 m utilizando las tres bandas correspondientes a las regiones azul, verde y rojo, junto con la banda espectral del infrarrojo cercano, se obtuvieron las variables de MC y OEAC. Generalmente se utilizan materiales de desecho, lámina, madera, cartón, triplay, entre otros, en las viviendas típicas de los AI (Arista, 2006). Para identificar el tipo de material empleado en la construcción se realizó una clasificación supervisada basada en píxeles por medio de un catálogo de firmas espectrales utilizando el programa ENVI. Esta clasificación fue hecha con el algoritmo de probabilidad máxima que se aplicó a una imagen satelital Landsat 5 TM. La imagen satelital es de noviembre del 2012, con una resolución espacial de treinta metros.

Esta clasificación se llevó a cabo con base en las características espectrales de dichos materiales. Se utilizó un enfoque de clasificación supervisada con el algoritmo de máxima probabilidad (MAXILIKE) disponibles el software ENVI para procesamiento de imágenes. Con estos datos se identificó la respuesta espectral de los materiales comparándolos con las librerías para determinar su firma espectral particular y saber de qué material se trata. Esta clasificación se hizo para obtener dos clases: materiales no consolidados y el resto

Después esta clasificación fue corregida mediante un análisis visual. Este análisis se llevó a cabo utilizando imágenes satelitales de alta resolución *GeoEye* y *Digital Globe* mediante el programa *Google Earth*; las cuales cuentan con hasta 60 cm de resolución espacial. Las imágenes comprendidas dentro del programa son de 2012 y 2013. Al terminar de corregir esta clasificación se realizó una evaluación de exactitud con 100 puntos de control. Lo último se basa en tomar 100 puntos aleatorios dentro de la zona en estudio y revisarlos uno a uno y así comprobar si la clasificación es correcta o no. La clasificación final se evaluó con datos de campo, a partir de una muestra aleatoria de la zona en estudio. Esta evaluación se hace para calcular la exactitud de la clasificación. Una clasificación se considera válida o buena, si ésta alcanza una exactitud de 85% o superior (ENVI, 2010).

Los AI por lo general ocurren de una manera difusa y desorganizada (Wanjiku, 2011). La variable OEAC se creó a partir de una nueva clasificación supervisada con la misma imagen *Landsat* de la variable MC. Esta imagen fue sometida a un proceso de clasificación supervisada basada en píxeles con un algoritmo de soporte vectorial para identificar la superficie impermeable de la natural. La utilidad de emplear esta clasificación sobre las demás existentes radica en sus buenos resultados, la velocidad de procesamiento, y su espacial aplicación en clasificaciones binarias. Primero se hizo una pre-clasificación, agregando otras variables como bandas adicionales; supresión de la vegetación, textura y *hipass*. Esta pre-clasificación se hizo para darle una exactitud más fina a la clasificación final. Estas clasificaciones fueron realizadas utilizando la plataforma ENVI 4.4 de la compañía

del mismo nombre (Exelis, 2013). Una vez que se hubieron integrado estas clasificaciones, se realizó la clasificación de soporte vectorial.

Después de obtener la clasificación con el algoritmo de soporte vectorial, se le aplicó un proceso de post-clasificación con el comando *CLUMP* para absorber los píxeles aislados que producen “ruido” en la clasificación. Estos resultados binarios se sometieron a un proceso de cálculo de métricas de paisaje o arreglo espacial por medio del programa *FRAGSTATS*. Con este programa se identificó el índice de contigüidad, clase de área, total de bordes, parche mayor y densidad de borde de las áreas construidas. Con estos índices fue posible observar y medir los patrones de organización espacial por medio de estas métricas de paisaje. Las métricas de paisaje son algoritmos que miden las características espaciales del paisaje, esto dividido por mosaicos o parches, calculados a partir de matrices de píxeles formados en la imagen. De acuerdo con Herold (2001), las métricas espaciales pueden ser definidas como medidas derivadas del análisis digital de mapas, exhibiendo su complejidad espacial a una resolución y escala específicas (*Ibid.*). Existen varias métricas de paisaje basadas en el área, forma y organización de las unidades de análisis, en este caso, unidades de ambiente construido.

La selección de las métricas de paisaje para esta investigación está relacionada con las métricas e índices que son útiles para discriminar áreas con AI (Wanjiku, 2011). En su investigación, los valores altos de estas métricas representan las zonas susceptibles a tener asentamientos irregulares en ellas. El área de clase es igual a la suma de las áreas en metros cuadrados de todos los parches correspondientes al tipo de clase. El índice de parche mayor es una medición de la dominancia de las clases. Este índice cuantifica el porcentaje total del área de paisaje entre el parche mayor de la clase. El borde total es una medida absoluta de la longitud total del borde del parche del tipo correspondiente. El borde total representa la suma de todas las longitudes, de todos los bordes que corresponden al parche del mismo tipo. La densidad de borde es igual a la suma de las longitudes en metros de todos los segmentos del borde que envuelven al parche de la clase correspondiente. El índice de contigüidad es una medida

de la configuración del borde del parche, y por lo tanto de su forma. Este índice se obtiene evaluando el grado de conectividad estructural de los píxeles dentro del parche (McGarigal y Marks, 1994).

Si bien es cierto que una de las características principales de los AI es su forma difusa y desordenada en el espacio; en Ciudad Juárez las invasiones de los terrenos han ocurrido siguiendo patrones espaciales bien delimitados. Los mismos colonos trazan los predios y vialidades de una manera austera pero ordenada. Lo que provoca que los altos valores en estos índices no precisamente identifiquen a los AI en esta ciudad. Aunado a lo anterior, la ausencia de construcciones de altura en la ciudad provoca un ambiente uniforme, en cuanto a la altura de las construcciones se refiere, lo que hace aún más difícil esta diferenciación.

Por esta razón, se propone en esta investigación utilizar los valores medios de cada uno de estos índices para identificar a los AI. Por medio de análisis visual se concluyó que en Ciudad Juárez los valores altos de estos índices identifican a los lugares consolidados y con grandes densidades de construcciones; mientras que los valores bajos identifican a los lugares con amplias áreas de terreno sin construcciones o áreas de desierto natural. Sin embargo, los valores medios de cada uno de los índices identifican a las zonas de la ciudad más marginadas y por lo tanto la probabilidad de la existencia de AI.

Una vez obtenidos los datos de MC y OEAC se realizó una evaluación de exactitud. En esta evaluación se aplicó un levantamiento en campo utilizando una muestra representativa aleatoria mediante un análisis visual para comprobar que la información arrojada en este modelo es fiable. En este caso, la exactitud es de 95%; por lo que esta clasificación es buena y se trabajó con ella. Aparte de esta evaluación se sacó el índice Kappa. Este índice es útil para comparar mapas de características similares e identificar si son significativamente diferentes. El índice Kappa de esta clasificación fue de .79; lo que significa que es muy buena clasificación.

Con datos de una imagen LIDAR proporcionados por el Centro de Información Geográfica (CIG) de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ), se obtuvo la variable de curvas de nivel o P

para este modelo. La gran ventaja de utilizar datos LIDAR es la gran resolución espacial con la que cuenta, en este caso particular de un metro. Esta imagen fue tomada en 2012, con ella se creó un modelo de elevación en formato *raster*. La pendiente fue calculada en porcentaje para identificar las condiciones físicas no aptas para los asentamientos.

Utilizando información del Censo Nacional de Población y Vivienda elaborado en el 2010 (INEGI, 2010), se realizó la variable H. Esta información está representada geográficamente en manzanas o Área Geoestadística Básica (AGEB), las cuales son áreas geográficas delimitadas de tamaño pequeño para facilitar los censos. La variable H se obtuvo a partir de dividir el número de viviendas con 2.5 personas en un mismo dormitorio, entre el número de viviendas habitadas, por cien, para obtener el resultado en porcentaje por AGEB. Se toma la variable por dormitorio y no por cuarto ya que en las viviendas existen cuartos que no necesariamente son utilizados para dormir, como la cocina o la sala. Al obtener el hacinamiento con la variable de habitantes por cuartos nos muestran resultados mucho más favorecedores en cuanto al hacinamiento. En esta investigación se utilizó la variable de habitantes por dormitorio.

Con los datos comprendidos dentro del plan de desarrollo urbano en su Atlas de Riesgo del 2012, elaborado por el Instituto Municipal de Investigación y Planeación (IMIP), se desprendieron las variables de ZR, ZI y DV. DV es la diferencia en altitud que existe en un kilómetro cuadrado, generalmente medida en metros por kilómetro cuadrado ( $m/km^2$ ). Esto permite visualizar qué tan diseccionado o accidentado es el terreno en un área determinada. De esta manera se observan las condiciones de estabilidad del suelo sobre el que se construyó una vivienda en el asentamiento irregular (SEMARNAT, 2010).

Utilizando la traza urbana y la localización del centro histórico y subcentros de la ciudad reconocidos por el IMIP, se elaboró la variable de CP. Como varios autores muestran en sus modelos de ciudad (Borsdorf, 2003; Burgess, 1925; Janoschka, 2006, entre otros), los AI ocurren con regularidad alejados de los principales centros de actividades. Para crear esta variable se partió de dos mapas en

formato vectorial: uno de la traza urbana de la ciudad y otro con los centros y subcentros, ambos obtenidos del IMIP del 2012 (IMIP, 2012). En este mapa se localizaron los principales centros de la ciudad así como el centro histórico, y utilizando la medida “distancia Euclidiana” o radios de influencia, se identificaron las zonas de la ciudad que se pueden considerar como periféricas en relación con su localización con respecto a dichos centros. La distancia desde cada uno de los círculos que marcan estos subcentros es de un kilómetro. Además se utilizaron los polígonos de pobreza reconocidos por el IMIP para elaborar la variable de I.

Con la ayuda de agentes inmobiliarios y expertos valuadores se elaboró un mapa con el VS. La variable VS está representada geográficamente por colonias, lo cual puede no corresponder al tamaño del AGEB, sin embargo, se puede trabajar con estos datos gracias a la evaluación multicriterio que se realizó. Con ayuda de datos del catastro se elaboró la variable de zonas con inseguridad en la tenencia. Estas zonas son las que no cuentan con un título legal de propiedad del terreno (Morales, 2011). Uno de los principales problemas en los AI es la seguridad en la tenencia. El contexto de Ciudad Juárez en la seguridad en la tenencia es un riesgo de poca vulnerabilidad; ya que según la dirección de asentamientos humanos de Ciudad Juárez (*Ibid.*), el riesgo de que una persona pueda ser desalojada de una propiedad que ha invadido es mínimo, ya que constitucionalmente se defiende el derecho de posesión. Sin embargo, la base de datos no está actualizada ni cuenta con el estado actual de las condiciones de los predios. En Ciudad Juárez se desconoce el registro de la propiedad de la tierra en cerca de  $138 km^2$ . Lo que corresponde a más de 129 mil personas y casi 34 mil viviendas (INEGI, 2011).

Utilizando la información proporcionada por la Junta Municipal de Agua y Saneamiento (JMAS, 2012) se obtuvieron las variables de A y D. A partir de una lista de las colonias que no cuentan con estos servicios, se trazó un polígono en estas colonias para utilizar esta información en el modelo. Las colonias que no cuentan con el servicio de agua potable son las mismas que no tienen servicio de drenaje, por lo que esta variable se tomó como una sola.

Todas estas variables fueron transformadas a formato *raster* con una resolución espacial de 30 m por pixel. Una vez teniendo todas las variables en este formato se realizó una reclasificación a cada una de ellas. En esta reclasificación se cambiaron sus valores en un rango del 1 al 9, siendo el 9 el valor más alto en la probabilidad de que exista un AI. Al obtener todas las reclasificaciones de todas las variables se creó un modelo por cada dimensión (físico, socioeconómico, OEAC) donde se suman los valores de las variables que representan cada uno de estos modelos, como se puede observar en la Figura 3.

Una vez obtenidos los tres modelos, mediante una evaluación multicriterio, se integraron con el método de suma de rangos. Este método consiste en otorgar jerarquía al total de elementos a integrar y así por medio de porcentajes darles un peso a cada elemento; para después integrarlo en un solo modelo. En la Figura 2 se observa un esquema de este proceso. Esta ponderación se muestra en la Tabla 1.

En Ciudad Juárez uno de los factores más importantes es el de las condiciones físicas; ya que delimitan a la ciudad como tal y a la periferia de ella misma. Las condiciones de riesgo y peligro en la que se encuentran las zonas aledañas a la Sierra de Juárez, marcan esta área como la mayor probabilidad de que ocurran invasiones en estos terrenos. Esto sucede ya sea por sus bajos costos o por la falta de atención a estas zonas. Estas condiciones físicas son las que de cierta manera forman al anillo concéntrico de la ciudad para separar el centro urbano de las periferias.

Las condiciones socioeconómicas cuentan con el rango medio, ya que en ellas se integran tres de los cinco componentes que utiliza la UN-HABITAT (2007b) para definir al asentamiento irregular. Esto más que nada responde al contexto local de la ciudad. En Ciudad Juárez estos tres elementos (agua, drenaje, tenencia) están distribuidos en toda la ciudad. El servicio de agua y drenaje tiene una cobertura del 97%, mientras que el riesgo a un desalojo por la inseguridad en la tierra es muy bajo. El nivel de hacinamiento, por ejemplo, no representa un problema grave, ya que por cultura, la población juareense está acostumbrada a vivir en terrenos grandes que, conforme vaya creciendo la familia, pueden ir anexándose nuevos cuartos por medio de procesos de autoconstrucción. A diferencia de

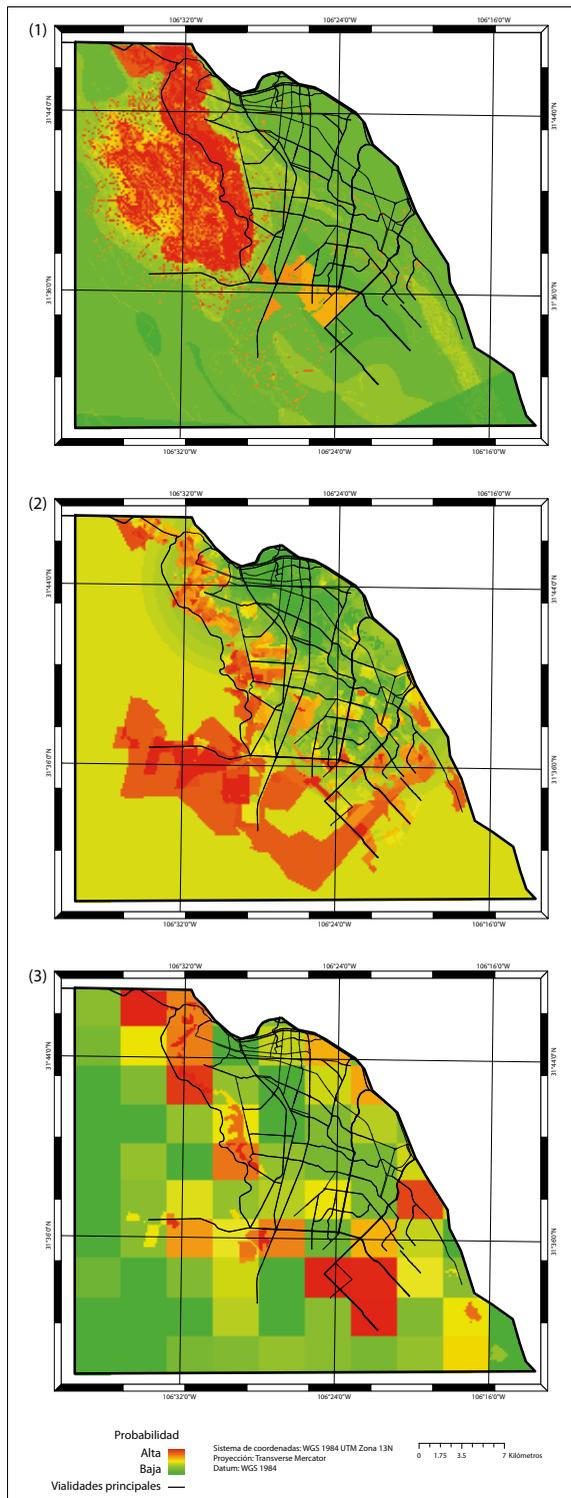


Figura 3. Modelos físico (1), socioeconómico (2) y de OEAC (3).

Tabla 1. Ponderación de los modelos para su integración final

Variable	Rango	Rango inverso	wj	Peso	Porcentaje
Condiciones físicas	1	3	3/6	.5	50%
Condiciones socioeconómicas	2	2	2/6	.333	33%
Condiciones de OEAC	3	1	1/6	.166	17%
		6			100%

otros países o ciudades donde el hacinamiento sí es un problema grave por la densidad de la población.

El último lugar en la jerarquía del modelo final se le otorgó al modelo de condiciones de organización espacial del ambiente construido, debido principalmente por el resultado ambiguo de los índices de métricas espaciales. El comportamiento de estos índices solamente confirma que este modelo, para poder ser usado en otras ciudades, tendría que existir un conocimiento previo de la ciudad. Lo anterior para poder intervenir en las reclasificaciones y al final en las ponderaciones finales, y así, otorgar un resultado mucho más confiable. Este modelo final se muestra en la Figura 4.

Una vez obtenido el modelo final se procedió a evaluar el modelo y así contar con un nivel de exactitud. Este proceso de evaluación se hizo utilizando la lista de las colonias que el IMIP (2012) marca como las más precarias y pobres. Después, a partir de un análisis de interpretación visual junto con los números indicadores encontrados en esa colonia, se creó una caracterización de sus necesidades de infraestructura y nivel de precariedad. Este análisis se realizó con una imagen satelital de alta definición del sensor *QuickBird* del 2007 y cuenta con una resolución espacial de 60 cm en conjunto con los datos censales del 2010.

Para poder evaluar el modelo final se utilizó el mapa con las colonias más pobres, marginadas y con alto índice de rezago social. Las colonias antes mencionadas fueron obtenidas de una investigación realizada por el IMIP (2012). El IMIP identifica trece

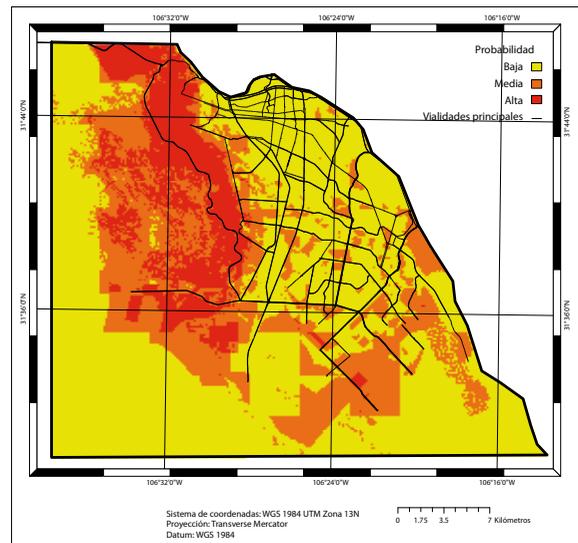


Figura 4. Modelo final ponderado de probabilidad de asentamiento irregular.

colonias en estas condiciones: Granjas Unidas, Palo Chino, Lomas de Poleo, Kilómetro 28, Villa Esperanza, Manuel Valdez, Ladrillera, Puerto Anapa, Felipe Ángeles, Guadalajara, 16 de Septiembre, Mariano Escobedo y Rancho Anapa.

Estas trece colonias dentro de la ciudad comprenden a casi 1 600 ha de territorio (1 598.93 ha). Lo que corresponde al 2% del total del área de estudio utilizada en esta investigación. Estas colonias cuentan con una población aproximada de 86 639 habitantes en 22 090 viviendas. En el mapa de la Figura 5 se puede observar como la mayoría de las colonias queda comprendida en su totalidad por valores muy altos dentro de este rango. Las calificaciones más altas se localizan en la colonia de Lomas de Poleo.

Se observa como la mayoría de las colonias están conformadas por probabilidades muy altas de contener un asentamiento irregular. También se aprecia como el trazo de estos polígonos siguen los linderos de la Sierra de Juárez. De igual forma las calificaciones más altas se encuentran dentro de la colonia Lomas de Poleo.

Para la evaluación de este modelo se tomó el área total en contraste con la ponderación del modelo final ponderado. Esta evaluación arroja que el 97.66% del total de las trece colonias se encuentra

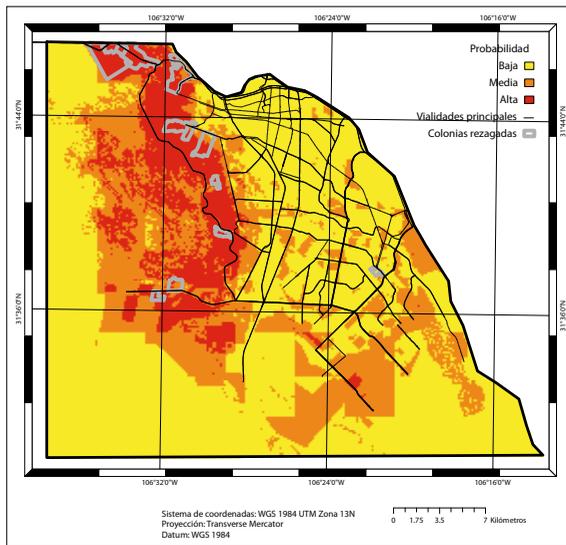


Figura 5. Contraste con el modelo final ponderado de probabilidad de asentamiento irregular.

con altas probabilidades de pertenecer a un asentamiento irregular. Por lo que se puede concluir que es un modelo muy bueno. En este modelo se registraron dentro de las trece colonias 1 562 ha con alta probabilidad y 37 con probabilidad media.

Se utilizó la colonia de Lomas de Poleo para la caracterización, debido a que en ella se registraron los valores más altos de probabilidad de AI dentro de los tres modelos. Esta colonia fue creada en la década de 1970; se localiza al poniente de la ciudad y se puede entrar por las avenidas Rancho Anapra y el periférico Camino Real. Toda la zona se encuentra caracterizada por la SEDESOL con un perfil socio-demográfico de bienestar muy bajo; el 44.31% de la población de esta colonia carece de algún tipo de servicio de salud (SEDESOL-IMIP, 2009). Cuenta con una población total de 2 872 habitantes en 800 viviendas; con una población económicamente activa de 1 052. La población masculina es de 1 473 individuos y la femenina de 1 399 (INEGI, 2011). Se encuentra localizada en una zona catalogada como llanura colinosa ligeramente diseccionada; además, está dentro de una zona con potencial de derrumbe alto. En cuanto a sus condiciones socioeconómicas, se encuentra con un nivel de hacinamiento en el que solo 20% de la colonia sufre de este elemento. No cuenta con drenaje ni agua potable y su

abasto es por pipas proporcionadas por la JMAS; éstas pasan con una regularidad de cuatro días por semana. Se encuentra desde el 2003 en una lucha legal por la tenencia de la tierra con el empresario Pedro Zaragoza; el cual no ha podido comprobar el derecho de propiedad del terreno y a los colonos no se les ha respetado su derecho constitucional de posesión. Este derecho especifica que si llevan más de cinco años viviendo en ese lugar, el terreno se considera suyo; sin embargo, a pesar de que existe gente con más de 30 años habitando esa zona, no se ha aclarado nada.

Su relación centro periferia es interesante, ya que se encuentra a 9.5 km del centro más próximo que es el centro histórico de la ciudad; no cuenta con un equipo comercial, el más cercano está a 7.2 km (Súper mercado González); dos centros de educación primaria (Alfredo Nava Sahagún y Pedro Zaragoza); cuenta con una secundaria general Estatal # 95; no hay hospital, el más cercano está a 7.2 km (clínica municipal Quiroz); solo existe un parque con un área de 8 731.882 m, sin embargo, no cuenta con vegetación; en total tiene 29 ha de vialidad, completamente sin pavimentar, además estas vialidades precarias no cuentan con ningún tipo de señalización.

En cuanto a sus condiciones de organización espacial del ambiente construido, las 76 ha que corresponden a vivienda están construidas con materiales no consolidados. Entre los materiales más típicos en la zona destacan la madera y el cartón.

## CONCLUSIONES

El modelo resultado de esta investigación es una herramienta importante para conocer la situación actual de la ciudad. Sin embargo, a pesar de ayudar a la toma de decisiones con respecto a las políticas sobre los AI, la solución real se encuentra en la prevención. Este modelo es un primer paso para esta solución. Conociendo la situación actual se pueden prever y visualizar los posibles patrones que estos AI toman. Así, se pueden tomar las decisiones preventivas para que dichos asentamientos no se multipliquen y expandan.

El modelo final ponderado de esta investigación

arrojó como resultado un polígono de casi 50 km<sup>2</sup> con una probabilidad alta de pertenecer a un AI. El 17% del total del territorio de Ciudad Juárez; en este polígono se encuentran cerca de 331 781 habitantes y más de 85 359 viviendas. Aún falta mucho por hacer, seguir actualizando este modelo, sobre todo después de que se inicie algún plan, para evaluar las mejoras de dicho plan; replicar esta metodología en diferentes ciudades y explorar el comportamiento de las métricas de paisaje.

## REFERENCIAS

- Arista, G. (2006), "La autoconstrucción", *Revista de arquitectura, diseño y urbanismo*, Argentina, pp. 297-303.
- Barra, C. (2008), *Estudio comparativo de diferentes arquitecturas neuronales para tratamiento de imágenes hiperespectrales*, Escuela Politécnica, Extremadura.
- Borsdorf, A. (1992), "El modelo y la realidad: la discusión alemana hacia un modelo de la ciudad latinoamericana", *Revista de la Sociedad Interamericana de Planeación*.
- Borsdorf, A. (2003), "Cómo modelar el desarrollo y la dinámica de la ciudad latinoamericana", *EURE*, vol. 29, no. 86, Santiago, Chile.
- Burgess, E. (1925), *The growth of the city: An introduction*, Sociedad Sociológica Mexicana, Chicago, USA.
- Davis, M. (2007), *Planet of slums*, New Left Books, New York.
- ENVI (2010), EXELIS, obtenido de ENVI Classic Tutorial [[http://www.exelisvis.com/portals/0/pdfs/envi/Classification\\_Methods.pdf](http://www.exelisvis.com/portals/0/pdfs/envi/Classification_Methods.pdf)].
- Esdras, M. (2012), "Geotechnologies applied to the study of training and environmental risk from the slms of Montes Claros", *Ra 'E GA*, Paraná, Brasil, pp. 176-198.
- Excelis (2013), *Exelis. Visual information solutions*, obtenido de ENVI 3 de enero ][www.exelisvis.com/docs/tutorials.html](http://www.exelisvis.com/docs/tutorials.html)].
- Foote, K. (2000), <http://www.colorado.edu>, *Geographic Information Systems as an integrating technology: context, concepts and definitions*, recuperado 8 de marzo de 2013 [<http://www.colorado.edu/geography/geraft/notes/intro/intro.html>].
- FRAGSTATS (2010), *FRAGSTATS*, obtenido de FRAGSTATS Help [<http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>].
- GBIF (2005), *Sistemas de información geográfica (SIG)*, Sevilla, pp. 1-5 [<http://www.gbif.es>].
- Gómez, M. y J. Barredo (2005), *Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio*, Alfaomega, México.
- Graizbord, B. (2007), "Megaciudades, globalización y viabilidad urbana", *Investigaciones Geográficas, Boletín*, núm. 63, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 125-140.
- Herold, M. (2001), *Remote sensing and urban growth models-demands and perspectives*, Revista del Departamento de Geografía, Universidad de Santa Bárbara, USA, obtenido de Geoinformatik Jena: Fernerkundung [[http://www.eo.uni-jena.de/~c5hema/pub/herold\\_menz\\_clarke.pdf](http://www.eo.uni-jena.de/~c5hema/pub/herold_menz_clarke.pdf)].
- Hutchinson Encyclopedia (2012), *Encyclopedia*, obtenido de Cycle of poverty [[http://encyclopedia.thefreedictionary.com/Cycle+of+poverty#cite\\_note-Hutchinson-1](http://encyclopedia.thefreedictionary.com/Cycle+of+poverty#cite_note-Hutchinson-1)].
- IMIP (2012), *Atlas de riesgo 2012*. Actualización en conjunto con la SEDESOL, IMPI, Ciudad Juárez, México.
- INEGI (2010), *Censo Nacional de Población y Vivienda*, recuperado 14 de septiembre de 2011 [<http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv2010/Default.aspx>].
- INEGI (2011), *INEGI*, recuperado 11 de noviembre [<http://mapserver.inegi.org.mx/mgn2k/?s=geo&c=1223>].
- Janoschka, M. (2006), "El modelo de ciudad latinoamericana. Privatización y fragmentación del espacio urbano de Buenos Aires: el caso Nordelta1. Argentina", en Ponce Herrero, G. (ed.), *La ciudad fragmentada. Nuevas formas de hábitat*, Universidad de Alicante, España, pp. 219-253.
- JMAS (2012), Comunicación personal con el Arq. Tarin.
- Lewis, O. (1969), *Culture of Poverty*, Basic Books, New York.
- McGarigal, K. and B. Marks (1994), *Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure*, Oregon State University, Oregon.
- Morales, S. (2011), *Amenazas a la seguridad urbana y vulnerabilidad urbana en Ciudad Juárez: respuestas y ausencias en la planeación urbana municipal (2005-2009)*, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México.
- NAGCS (2012), National Association of GIS-Centric solutions, recuperado 8 de marzo [<http://www.nagcs.org/index.asp>].
- Peña, S. (2003), *Recent developments in urban marginality along Mexico 's northern border*, UTEP, El Paso, Texas.
- Randolph, J. (2004), *Environmental land use planning and management*, Islands press, Washington, D. C.
- Richards, J. A. (1999), *Remote sensing digital image analysis*, Springer-Verlag, Berlín.
- SEDESOL (agosto de 2010), *SEDESOL*, recuperado 21 de mayo de 2012 [[www.sedesol2009.sedesol.gob.mx/archivos/802567\(file/Diagnostico\\_Habitat.pdf](http://www.sedesol2009.sedesol.gob.mx/archivos/802567(file/Diagnostico_Habitat.pdf)].

- SEDESOL-IMIP (2009), Lomas de Poleo, *Polígonos de pobreza. Ciudad Juárez*, Méxco, pp. 1-12.
- SEMARNAT (13 de julio de 2010), Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, Disección vertical del relieve de México [<http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros633/anexos.pdf>].
- Turkstra, J. and M. Raithelhuber (2005), *Urban slum monitoring*, UN-HABITAT.
- UN-HABITAT (2002), *UN-HABITAT need for effective housing policies*, recuperado el 21 de mayo de 2012 [<http://www.unhabitat.org/content.asp?cid=413&catid=281&typeid=24&subMenuId=0>].
- UN-HABITAT (2003), *The challenge of slums: Global report on human settlements 2003*, Earthscan & UN Habitat, London.
- UN-HABITAT (2006), *State of the world's cities 2006/7*, United Nations, New York.
- UN-HABITAT (2007a), *Slum dwellers to double by 2030*, United Nations, Nairobi.
- UN-HABITAT (2007b), *The millenium development goals report 2007*, United Nations, New York.
- UN-HABITAT (2012), *UN-HABITAT for a better urban future*, Secure land and tenure, recuperado 21 de mayo [<http://www.unhabitat.org/content.asp?cid=2798&catid=283&typeid=24&subMenuId=0>].
- Wacquant, L. (2010), "Designing urban seclusion in the Twenty Firts Century", *Perspecta, The Yale Architectural Journal*, no. 43, pp. 164-175.
- Wanjiku, C. (2011), *Application of object oriented image analysis in slum identification and mapping – the case of Kisumu, Kenya*, University of Twente, Holanda.