



**El Colegio  
de la Frontera  
Norte**

**ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DEL CRECIMIENTO  
URBANO UTILIZANDO SISTEMAS DE INFORMACIÓN  
GEOGRÁFICOS: CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA**

Tesis presentada por

**Bogart Yail Márquez Lobato**

para obtener el grado de

**MAESTRO EN ECONOMÍA APLICADA**

Tijuana, B. C., México  
2008

DEDICATORIA:

Este trabajo se lo dedico a toda mi familia por todo su apoyo,  
en especial a mi padre que es el maestro que más admiro y  
al que le debo la base principal de todos mis estudios;  
a mi madre quien siempre me ha apoyado incondicionalmente;  
a mi hermano que ha compartido momentos de felicidad conmigo  
y a la mujer que amo mi esposa que me da los ánimos de superarme y  
seguir adelante.

#### AGRADECIMIENTOS:

Agradezco a todas aquellas personas que me apoyaron en mi estancia del posgrado y en la realización de mi tesis de maestría, en primer lugar al Colegio de la Frontera Norte, quien me dio la oportunidad de ingresar al posgrado de maestría, a CONACYT por el apoyo económico, durante el transcurso de mis estudios; a mí director de tesis Alejandro Brugués quien me orientó y ayudo en la realización de mi investigación y a cada uno de los doctores del COLEF que me impartieron clases, pues sin ellos no hubiera sido posible este logro.

## **RESUMEN**

En las últimas décadas la frontera norte de México ha sido testigo de un crecimiento sin precedentes de sus poblaciones con patrones de ocupación del territorio donde la eficiencia en el uso del suelo no se ha promovido activamente, lo que ha generado ciudades fragmentadas con manchas urbanas muy extensas y densidades poblacionales relativamente bajas. En adición al crecimiento natural de la población, la conjunción de diversos factores entre los que destacan los flujos migratorios, el proceso de la industrialización, la generación de empleo, la demanda de servicios públicos y las rentas urbanas generadas, han presionado el crecimiento urbano. Tomando como caso de estudio a Ciudad Juárez, Chihuahua se generó un modelo de autómatas celulares que considerando las tendencias históricas del crecimiento genera una predicción de la demanda del suelo urbano a futuro, el estudio concluye sobre tasa de crecimiento, la magnitud y la dirección predominante del mismo. El modelo generado permite además la evaluación de escenarios alternativos, entre ellos el que considera los resultados del proyecto de "Zonificación y Ordenamiento Ecológico y Territorial del municipio de Juárez" y los instrumentos para el control del crecimiento de los Planes de desarrollo, de donde resultan escenarios de crecimiento más controlados y orientados a las zonas con mejores aptitudes por lo que sin dudas se constituye como una poderosa herramienta de planeación.

## **ABSTRACT**

In recent decades the northern border of Mexico has witnessed an unprecedented growth in their populations with patterns of occupation of the territory where the efficiency in land use has not been actively promoted, leaving behind stains urban cities with very fragmented extensive and relatively low population densities. In addition to natural population growth, the combination of various factors including migration, the process of industrialization, employment generation, demand for public services and urban incomes generated, have pressed urban growth. Taking as a case study in Ciudad Juarez, Chihuahua was generated a model of cellular automaton that considering the historical trends of growth generates a prediction of demand of urban land in future, the study concludes on growth rate, the magnitude and direction predominant the same. The model generated also allows the evaluation of alternative scenarios, including that considers the results of the draft "Zonificación y Ordenamiento Ecológico y Territorial del municipio de Juárez" and instruments to control the growth of development plans, which are scenarios of growth more controlled and targeted to areas with better skills and therefore undoubtedly constitutes a powerful tool for planning.

# ÍNDICE

<b>I INTRODUCCION GENERAL</b> .....	1
<b>II. TEORÍAS Y MODELOS DE CRECIMIENTO URBANO</b> .....	7
2.1 La renta residual del suelo.....	8
2.2. El Modelo de Von Thünen .....	10
2.3 Teoría de Zona Concéntrica .....	13
2.4 Teoría de Sector.....	14
2.5 Teoría de Núcleos Múltiples .....	14
2.6 Teoría de Oferta de Alquiler.....	15
2.7 Modelo latinoamericano de Griffing-Ford .....	17
2.8 Autómatas Celulares.....	20
2.8.2. Antecedentes de los autómatas celulares.....	20
2.8.3 Complejidad del autómata celular .....	21
2.8.4 Modelo de Autómata Celular Standard .....	23
2.8.5 Eficiencia del autómata celular.....	26
2.8.6 Adaptación del Modelado de Autómatas Celulares al Proceso de Crecimiento Urbano. 27	
2.8.7 Calibración de Modelos de Urbanización celular.....	29
<b>III DESARROLLO SOCIOECONÓMICO Y URBANO DE CIUDAD JUÁREZ</b> .....	31
3.1 Ubicación del campo de estudio.....	33
3.2 Fundación de Ciudad Juárez.....	34
3.3 Evolución Histórica del crecimiento urbano. ....	34
3.4 Demografía de Ciudad Juárez.....	44
3.4.1 Inmigración.....	47
3.4.2 Indicadores relativos sobre la población .....	48
3.5 Desarrollo Económico .....	49
3.5.1 Antecedentes del crecimiento económico de Ciudad Juárez.....	50
3.5.2 Densidad de empleo .....	53
3.5.3 Economía actual .....	56
3.6 Usos del suelo.....	58
3.6.1 Datos históricos del uso del suelo .....	58
3.6.2 Usos del suelo urbano.....	61
3.6.2.1 Suelo residencial.....	63
3.6.2.2 Suelo Industrial.....	63
3.6.2.3 Suelo Comercial y de servicios. ....	64
3.6.2.4 Suelo rural .....	64
<b>IV METODOLOGÍA PARA LA PREDICCIÓN DEL CRECIMIENTO URBANO</b> .....	69
4.1 Elección del modelo de crecimiento urbano.....	71
4.2 El modelo de simulación de crecimiento urbano .....	72
4.3 Base de Datos Espaciales .....	74
4.3.1 Urbanización.....	77

4.3.2 Transporte.....	81
4.3.3 Topografía / Pendientes.....	84
4.3.4 Zona de Exclusión/ Prescindida.....	86
4.3.5 Usos del suelo.....	88
4.3.6 Antecedente Hillshade.....	91
4.4 Formato de Imagen de Entrada.....	92
4.5 Reglas y Coeficientes de crecimiento.....	93
4.5.1 Coeficientes de Crecimiento.....	94
4.5.1.1 Coeficiente de Dispersión.....	94
4.5.1.2 Coeficiente de Breed.....	95
4.5.1.3 Coeficiente de propagación.....	95
4.5.1.4 Coeficiente de Inclinación.....	95
4.5.1.5 Coeficiente de influencia de carretera.....	97
4.5.2 Reglas de Crecimiento.....	97
4.5.2.1 Crecimiento espontaneo.....	98
4.5.2.2 Difusión de nuevos centros de crecimiento.....	98
4.5.2.3 El borde de crecimiento.....	99
4.5.2.3 La influencia de la carretera en el crecimiento.....	100
4.5.3 Auto-Modificación.....	102
<b>V CALIBRACIÓN Y PREDICCIÓN DEL MODELO.....</b>	<b>103</b>
5.1 Calibración del Modelo.....	103
5.1.1 Método de Monte Carlo.....	104
5.1.2 Clasificación de Resultados del Modelo de Simulación.....	104
5.2 Proceso de calibración.....	106
5.2.1 Calibración gruesa.....	106
5.2.2 Calibración Fina:.....	108
5.2.3 Calibración Final.....	109
5.3 Predicción del Modelo.....	110
5.4 Escenarios de calibración.....	112
5.4.1 Escenario sin restricción.....	112
5.4.2 Escenario ZOET.....	119
5.4.3 Escenario FLCP.....	122
5.4.4 Escenario <i>Zoet_Flcp</i> ,.....	124
5.5 Comparación de resultados.....	125
<b>VI CONCLUSIONES.....</b>	<b>129</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>135</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>139</b>

## **I INTRODUCCION GENERAL**

El análisis y simulación del crecimiento urbano en Ciudad Juárez, que se desarrolla en el presente trabajo, es motivado inicialmente porque la dinámica de la población en la frontera norte de México está claramente ligado a un crecimiento desbordado de las ciudades fronterizas en las últimas décadas, el crecimiento importante se deriva de flujos de migración procedentes de diferentes regiones de México (Zabala 1997) y (Margulis, Tuiran, 1986). Esta tendencia, junto a patrones de ocupación del territorio donde la eficiencia en el uso del suelo no se ha promovido activamente, ha generado ciudades fragmentadas con manchas urbanas muy extensas, un alto porcentaje de lotes baldíos intraurbanos y densidades poblacionales medias. Evidencia de ello es que actualmente la mancha urbana de Ciudad Juárez ha alcanzado ya las 31,246 ha en el 2005 y se consideran reservas adicionales para el crecimiento futuro (plan de desarrollo urbano), sin embargo (Díaz, Arcos 2004) da cuenta de la existencia de un alto porcentaje de lotes baldíos dentro del área urbana muestra las densidades poblacionales 1'313,338 en los últimos años (ZOET 2008).

Ciudad Juárez, el más antiguo y poblado centro urbano de la frontera norte de México, fue fundado en 1659; ha tenido varias etapas de evolución. En los años cuarenta Ciudad Juárez tuvo su primer gran crecimiento, y fue originada por el aumento del turismo, el comercio en la frontera y la migración, así como la instalación de varias industrias en la localidad, casi todas pequeñas. Pero, estas actividades se interrumpieron en gran medida por el inicio de la segunda guerra mundial, cuando se solicitaba mano de obra en abundancia, provocando la migración a Estados Unidos. En contra parte, la guerra propició la concentración de soldados en Fort Bliss, quienes visitaban Ciudad Juárez en busca de diversión, aumentando el turismo, creando una fuente mayor de empleos y la entrada de divisas por esta área, transformando las actividades económicas de la ciudad (Simental 1995). Para 1942 se estableció el Programa Bracero, debido a la necesidad de la economía norteamericana de contar con mano de obra agrícola. Lo que generó el crecimiento acelerado de las ciudades fronterizas debido a la gran migración. Al finalizar este programa (1964) llegó de manera masiva miles de trabajadores deportados de Estados Unidos, y se establecieron en Ciudad Juárez. A principios de los sesenta la actividad agropecuaria de la región sufrió un grave descenso, provocando que

muchos de los braceros se quedaron sin empleo, lo mismo ocurrió en la actividad turística por el fin de la guerra, lo que generó gran desempleo en la ciudad (Santiago 2007).

Ciudad Juárez desarrolló una fuerte economía con orientación externa, característica de las fronteras mexicanas, afirmando que los sucesos económicos de los Estados Unidos, trascienden inmediatamente en Ciudad Juárez. (Martínez 1943).

Por otra parte, se analizará la estructura urbana; investigaciones anteriores como Fuentes, nos dicen que los nuevos subcentros son resultado de las fuerzas de expansión industrial, esto alrededor de los cruces internacionales y la construcción lejana de nuevas zonas habitación que demandaron nuevos centros de comercio a distancia, además define que la expansión habitacional transformó la estructura urbana, apareciendo la forma multicéntrica en la actual Ciudad Juárez. (Fuentes 2003); por esto, diferentes morfologías deberán ser analizadas para nuestro estudio.

El impulso de la construcción de nuevos puentes, para satisfacer la demanda de los cruces internacionales, en la isla de Córdova y en Zaragoza., también utilizaron los modelos zonales elaborados para ciudades del tercer mundo, pretendieron explicar los patrones en el uso de suelo, con la identidad de grupos sociales, en el que se buscaba establecer comportamientos hegemónicos dentro del espacio urbano. (Arreola y Curtis 2004).

Como se mencionó anteriormente, en este crecimiento sin precedentes de la población el elemento de mayor dinamismo ha sido la componente social, (Rubio 2006) y muestra como las migraciones a la ciudad han tenido su origen en los años 40.

Los datos del reciente II Censo de Población y Vivienda del 2005 dan cuenta de 1,313,338 habitantes, cifra que se ha duplicado desde 1990, siendo 797,679 los orígenes de la migración reciente (Rubio 2006).

A través de los distintos planes de desarrollo urbano de Ciudad Juárez, la ampliación de los límites de la mancha urbana se dan como un proceso de ocupación continua del suelo, en la práctica ocurre algo muy diferente, pues la ocupación del espacio es muy irregular y, se da sobre zonas que suelen estar aisladas entre sí, o en el mejor de los casos conectadas por vías de enlace tradicionales, como brechas o caminos de terracería. (Santiago, Chávez 1996).



En este estudio se abordará la problemática mencionada y se generará un modelo que considerando las tendencias históricas del crecimiento de la mancha urbana, asocie el mismo a principios económicos básicos de la distribución de la población, y las actividades económicas en el territorio. Además, el estudio aumentará la precisión sobre los rumbos y direcciones predominantes, asociados a la dispersión de la mancha urbana en distintos momentos, los que pueden establecerse mejor al relacionarse la apertura de nuevos espacios a la urbanización, con el desarrollo de grandes proyectos públicos, privados y populares, y, desde luego, a la atracción que los mismos suelen generar.

Por otro lado, la presentación más difundida de la expansión física está desprovista de un aparato formal que dé cuenta de su comportamiento, sustentado en un cuerpo teórico, la investigación propuesta, busca llenar ese vacío, valorando la importancia que los fenómenos de distinta índole han tenido en la delimitación espacial de la ciudad. Al respecto, el desarrollo de ésta investigación se sustentará de manera general en la Economía Urbana, que puede definirse como *“un campo de estudio en el cual se utilizan las herramientas analíticas de la economía para explicar la organización espacial y económica de las ciudades y áreas metropolitanas y para abordar los problemas económicos que les son inherentes”* (James Heilbrun).

Por otra parte la economía urbana también es la parte de la ciencia económica que explica y predice la asignación de recursos y la distribución de las rentas dentro de las zonas urbanas. (Girardotti 2002), así que se puede afirmar que el estudio de la simulación del crecimiento urbano como tal es un estudio de economía urbana.

Además cabe destacar con ayuda de dicha ciencia se analizara, la formación de los núcleos urbanos que se basan en la aparición de los procesos productivos, luego de la especialización del trabajo, partiendo de que los primeros asentamientos urbanos estaban compuestos por obreros, artesanos y comerciantes, que se agrupaban para aprovechar las ventajas de las economías de escala y la complementación de las actividades. Estos grupos proveían de productos y servicios a los gobernantes, burócratas y militares, que eran pagados por las rentas públicas y a su vez retribuían con dinero, generándose un mutuo beneficio.

El proceso de desarrollo y crecimiento de la población y urbano se acelera con la aparición de la industrialización. Este proceso es generador de empleos y demandante de servicios, dado que los trabajadores deben localizarse próximos a esos lugares, mismos que mandan vivienda, servicios urbanos, alimentos, vestidos, etc. Los aglomerados urbanos surgen entonces para que los habitantes puedan desarrollar sus actividades y reciban los bienes y servicios que demandan. Además del crecimiento vegetativo, el fenómeno del crecimiento urbano se va incrementado con el aporte de los flujos migratorios; por lo cual el proceso de la industrialización, la generación de empleo, la demanda de servicios públicos y las rentas urbanas generadas, son factores necesarios para analizar el crecimiento urbano de Ciudad Juárez; y predecir una demanda del suelo urbano.

Las fuentes de información básica y complementaria, en la basaremos nuestro estudio son: Instituto nacional de estadística geografía e informática; El instituto municipal de investigación y planeación; Consejo Nacional de Población; El Colegio de la frontera norte; e información del proyecto: “Zonificación y Ordenamiento Ecológico y Territorial del municipio de Juárez”

Se utilizarán imágenes satelitales, de los años 1973, 1986, 1992, 1999, 2003 y 2007. las cuales serán procesadas en Sistemas de Información Geográficas, esto nos ayudará a editar diferentes planos temáticos de información, a partir de los cuales se cuantifica la estructura espacial para visualizar e interpretar el uso del suelo y diferentes patrones espaciales de las áreas urbanas de Ciudad Juárez.

En el siguiente capítulo se presentarán las diferentes teorías y modelos de crecimiento urbano; se analizarán los primeros estudios sobre economía urbana, teorías monocéntricas, policéntricas, y polínucleares así como las teorías del sector. Partiendo de que estas teorías del crecimiento urbano no son un resultado estático sino que a través de la historia se han generado explicaciones alternativas de las razones del mismo y que se pueden relacionar con el tamaño y nivel de desarrollo de la ciudad y finalizaremos con el modelo de autómatas celulares en el que se basará nuestro estudio de predicción.

En el capítulo tres se describe la fundación de Ciudad Juárez, se analiza la evolución histórica del crecimiento urbano, la demografía de Ciudad Juárez, así como el desarrollo económico y

los usos del suelo. Todos estos factores explican el crecimiento urbano.

En el capítulo cuatro se explicará el modelo básico que ayudará a la simulación de crecimiento urbano, nombrado SLEUTH; pero además se describen las condiciones iniciales, los coeficientes y las reglas de crecimiento, aplicando esta metodología en la ciudad fronteriza dando los insumos necesarios para el modelo,

En el capítulo cinco se describen, las distintas calibraciones necesarias para el modelo de simulación de crecimiento urbano y el pronóstico de crecimiento para el año 2030, adoptando diferentes escenarios para el pronóstico futuro de la mancha urbana de Ciudad Juárez.

Este trabajo finaliza con las conclusiones sobre la aplicación del modelo de simulación de crecimiento urbano en Ciudad Juárez.

## II. TEORÍAS Y MODELOS DE CRECIMIENTO URBANO

Introducción al marco teórico.

Las zonas metropolitanas de México, viven hoy una dinámica económica, social y política muy compleja, interconectada y cambiante. Las presiones internas y externas hacen que dichas zonas se encuentren inmersas en un proceso de crecimiento desordenado, donde son recurrentes los problemas de uso de suelo, transporte y abastecimiento de agua.

Este conjunto de situaciones dificultan la tarea de los planificadores y administradores urbanos, debido a que en el abordaje de estas problemáticas existe un alto índice de ambigüedad en los objetivos a lograr. Por ello, la necesidad actual de generar modelos analíticos alternativos, los cuales sean capaces de plantear soluciones viables a esta realidad compleja.

El sustento analítico a utilizar en la construcción del modelo tiene sus orígenes en la economía de la localización, para ello se presentan las diferentes teorías relacionadas.

En primer término iniciaremos con los orígenes de las teorías de ubicación, que se remontan a los trabajos de Johann Heinrich Von Thünen, en Alemania de 1820 - bajo el título “El estado aislado”. En esta investigación se estudian las diferencias de renta con respecto al mercado, siendo el ejemplo para todas las teorías posteriores. La idea central de este autor se basa en que la renta varía con la distancia con respecto al mercado, en un “espacio isótropo y aislado”. Definiendo a este tipo de renta como “renta de ubicación”. Por otra parte, el investigador reconoció que el hombre trata de resolver sus necesidades económicas en el entorno inmediato, reduciendo sus desplazamientos al mínimo y explica lo que es la distancia al mercado.

Posteriormente se retomara el modelo concéntrico de la Universidad de Chicago encabezados por Ernest W. Burgess, cuyo trabajo fue realizado en 1925, en esta investigación se resalta que la estructura interna de la Ciudad, no evoluciona a consecuencia de la planificación directa sino por medio de la competencia, la cual cambia áreas por medio de los procesos ecológicos de invasión, sucesión, y segregación de nuevos grupos. En cuanto al modelo sectorial

propuesto por Homer Hoyt en 1939, y el de centros múltiples, realizado por los geógrafos Chauncy Harris y Edward Ullman en 1945; son algunas de las teorías que se estudiarán para ver parte de estas propuestas que puedan adaptarse al presente trabajo. Pero continuando con la enumeración de los modelos existentes, el propuesto por Ford nos dice que el explosivo crecimiento demográfico que detonó una expansión moderna de la ciudad, implica un desplazamiento de la elite en búsqueda de mejores espacios residenciales hacia lugares más lejanos del centro de la ciudad provocando una sub urbanización. Los últimos estudios de Oscar Yujnovski para las ciudades Latinoamericanas, se centra en el desarrollo histórico y a las características del proceso de una distribución concéntrica propiciada por una estrategia del uso del suelo.

El presente trabajo utilizará la técnica de Autómatas Celulares de John von Newman, siguiendo la sugerencia planteada en la Red Infinita de Stanislav Ulam con el objetivo de crear un modelo real del comportamiento de sistemas extensos y complejos, basándonos en que los Autómatas Celulares son el más claro ejemplo de la búsqueda de la inteligencia, pues en ocasiones sólo es necesario identificar su comportamiento global y con ello deducimos un conjunto de reglas de evolución que son útiles en la construcción de modelos donde los elementos del sistema son de similar naturaleza y comportamiento y con ello se logran solucionar problemas o tener una comprensión más detallada de la dinámica del sistema como es el caso del crecimiento urbano.

El modelo de SLEUTH en el cual basaremos nuestro estudio, se centra en el comportamiento histórico de las relaciones entre mancha urbana y los espacios rurales susceptibles de ser urbanizados mediados por el comportamiento espacial de variables como las pendientes del terreno, la factibilidad de ser urbanizado, las distancias a la mancha urbana actual, las redes de carreteras.

## 2.1 La renta residual del suelo.

Los antecedentes de los estudios modernos sobre Economía Urbana se remontan al siglo XIX, siendo dos de sus principales exponentes los trabajos del economista inglés David Ricardo (1817) y de Johann Heinrich Von Thünen (1826). Si bien ambos autores se centran en explicar los factores que determinan la renta del suelo que, en su caso, es agrícola, sólo Von Thünen

(1826) realiza realmente un análisis en términos de estructura espacial, considerando el caso del Monocentrismo. Su importancia en la Economía Urbana se deriva de ser el primero en señalar el carácter residual de la renta del suelo, es decir, en considerar que ésta se iguala a los ingresos residuales de la producción agrícola, después de remunerar competitivamente al resto de factores productivos. Una cuestión importante que estudia Ricardo es el de las diferencias en las rentas de diferentes parcelas de suelo. Ricardo parte de la hipótesis de que estas parcelas se pueden ordenar de mayor a menor fertilidad o, en otras palabras, de mayor a menor rendimiento. Volviendo a suponer la remuneración competitiva de factores, así como el uso de una misma cantidad de éstos por superficie de suelo, las diferencias en las rentas del suelo provienen de las diferencias en los niveles de fertilidad, concretamente de la diferencia con la fertilidad más pequeña.

En resumen, según David Ricardo (1817) la renta del suelo es el residuo que se obtiene de los ingresos del producto, una vez se han descontado los costes de producción. Además, esta renta es proporcional a la diferencia entre la fertilidad del suelo considerado y la fertilidad más pequeña de las parcelas del uso del suelo.

Esta teoría hace derivar la renta de la diversa fecundidad del suelo; clasificando los terrenos en clases, según su grado de fertilidad y supone que las de primera o sean las más feraces se cultivan primero por ser las más productivas; que cuando por el acrecentamiento de la población fueren insuficientes sus productos para las subsistencias se explotasen las de segunda; que cuando la producción de unas y otras no basten para el consumo, se labren las de tercera, y no las otras industrias, porque suponen que los resultados de los demás trabajos humanos sólo re-presentan una indemnización de gastos, pues según ellos la tierra es la causa exclusiva de la riqueza y la única fuente de producción.

Esta teoría tiene como limitantes que no estima la influencia que ejercen en la renta, la limitación del suelo, el concurso del capital y el beneficio de las demás industrias. En general, el trabajo de David Ricardo se caracteriza por no considerar la importancia del ámbito espacial en el análisis económico, de aquí que no tenga en cuenta la estructura espacial de las rentas del suelo.

## 2.2. El Modelo de Von Thünen.

Su teoría de la renta del suelo es considerada como uno de los cimientos de la Economía Urbana moderna. La Teoría de ubicación de Von Thünen, se remontan a los trabajos del economista Johann Heinrich von Thünen, en Alemania en 1820 bajo el título de “El estado aislado”. Este modelo estudia las diferencias de renta con respecto al mercado, e intentan explicar los factores que determinan la renta del suelo agrícola bajo la consideración de una estructura espacial de tipo monocéntrico, y trata de una teoría sobre los usos del suelo (agrícola).

Von Thünen reconoció que el hombre trata de resolver sus necesidades económicas en el entorno inmediato, reduciendo sus desplazamientos al mínimo. Y se preguntó por qué los lotes de tierra, con las mismas características tenían diferentes usos, concluyó que se explicaba por la distancia al mercado.

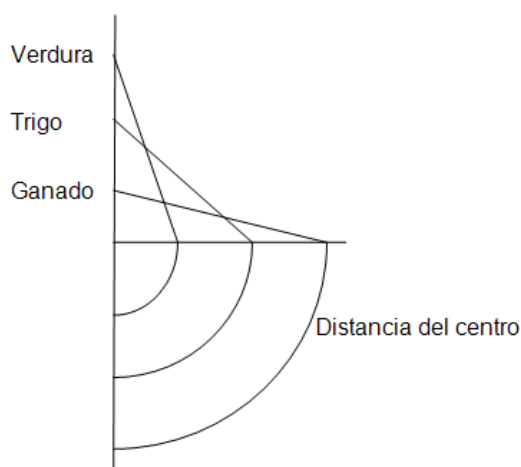
El modelo de Von Thünen aborda lo que es una distribución espacial de cultivos en términos de la cantidad de cosecha por unidad de superficie de suelo utilizada alrededor de una ciudad central. Esta ciudad, que es hacia donde se dirige la producción agrícola para ser consumida, es tratada como un punto, alrededor del cual se extiende concéntricamente una llanura homogénea. En este el suelo, tiene la misma calidad en términos de fertilidad a diferencia de Ricardo.

Al igual que Ricardo, la renta del suelo se considera residual, pero, a diferencia de él, los costes de producción que se restan a los ingresos del producto incluyen de forma explícita el coste del transporte que, en este caso, ostenta el protagonismo como factor explicativo de los diferenciales de renta del suelo. En este sentido, si se considera un único producto agrícola y se asume que los precios están dados, que la producción por unidad de superficie es fija y constante en el espacio, y que los otros costes de producción son fijos, entonces la renta del suelo varía con el coste del transporte que, a su vez, depende de la localización de las parcelas de suelo en términos de su accesibilidad al centro urbano. Si esta accesibilidad se mide en términos de distancia, se puede decir que la renta del suelo varía proporcionalmente con la distancia al centro urbano.

Esta renta residual, que varía con la distancia al mercado central, es la máxima renta que pueden ofertar los agricultores a los propietarios del suelo por su uso. De esta manera, Von Thünen es el primero en introducir el concepto de renta ofertada (*bid rent*) que tanta repercusión ha tenido en esta disciplina, aunque su aplicación se restringe al caso de la renta agrícola.

Otra aportación importante de la teoría de Von Thünen es el tratamiento que da a los denominados usos del suelo. Por ejemplo si en lugar de considerar un solo producto agrícola, se considera la existencia de varios tipos de cultivos, habrá una competencia entre éstos por el suelo. Teniendo en cuenta la idiosincrasia de su producción, los diferentes agricultores competirán por el uso de las parcelas más centrales a través de sus pujas. En general, estas rentas serán mayores para los agricultores que tengan una mayor producción neta por unidad de superficie de suelo. Además, la superficie de suelo central, definido a partir del número de agentes localizados concéntricamente bajo unas condiciones de densidad elevadas, dependerá de los costes de transporte: cuanto mayor sean, menor será la superficie ocupada.

Figura 2.1: Modelo de Thünen (Rentay localización de 3 producciones agrícolas).



Fuente: de libro Economía Urbana de Roberto Camagi

Se concluye matemáticamente asumiendo que la renta de ubicación es:

$$U_i = ((p_i - c_i) - t_i x_i) q_i$$

La renta ( $U$ ) es igual la rendimiento ( $q$ ) multiplicado por el precio ( $p$ ) menos el coste ( $c$ ), menos el rendimiento por la tasa de embarque ( $t$ ) y la distancia ( $x$ ).



En esta ecuación existe una sola variable: la renta, que depende de un solo factor que puede variar, la distancia; el resto de los parámetros varían para cada tipo de mercancías pero son constantes en todas partes para un mismo tipo de mercancía.

Lo que significa que un incremento de la renta; ya sea generada por el aumento de precio en el mercado, o por la disminución del coste de producción; provocara un alejamiento de la distancia al mercado, y viceversa.

Ahora se explica que si lo que varía es la tasa de embarque, entonces la distancia al mercado aumenta con la disminución de la tasa de embarque; y disminuye con su aumento. En conclusión, Von Thünen habla de que la renta del suelo agrícola varía inversamente en proporción a los costes de transporte que soportan los agricultores al llevar sus productos a un mercado central. Es decir la renta del suelo se reduce al aumentar la distancia respecto el centro urbano. Además, la asignación del suelo entre diferentes productos se realiza a través de la oferta que los agentes llevan a cabo, dibujándose un patrón de usos del suelo que, desde el centro urbano, forma anillos concéntricos segregados espacialmente los unos de los otros.

A pesar de que el modelo de Von Thünen es simple y fue creado en una época antes de las fábricas, carreteras, e incluso vías férreas, todavía es un modelo importante en la Economía Urbana. El modelo de Von Thünen es un excelente ejemplo de equilibrio entre el costo del suelo y los costos de transporte. Como uno se acerca a una ciudad, el precio de la tierra aumenta. Los agricultores del Estado Aislado balancean los costos de transporte, la tierra, y ganancias para producir la mejor relación costo-eficacia del producto para el mercado.

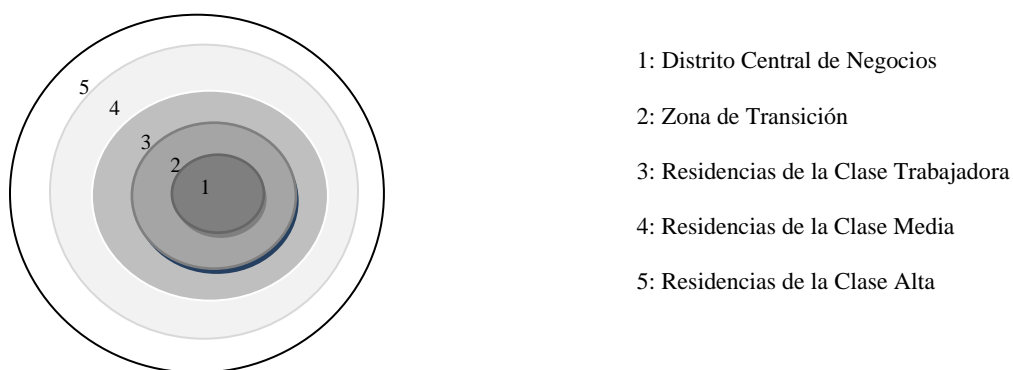
Como parte de la validez del modelo que resalta que evidentemente en el mundo real no se dan las condiciones de espacio isotrópico planteadas, sino que existen diferencias de fertilidad de la tierra, diferencias de topografía y de acceso a los mercados a causa de las vías de comunicación (más rápidas o más baratas), y suele haber más de un mercado en la región. Todo ello provocaría que el modelo concéntrico adopte un aspecto irregular, aunque básicamente válido. Pero curiosamente el modelo es más válido en los grandes mercados, con capacidad para transportar la mercancía de lugares lejanos. La distribución de las actividades económicas en los países menos desarrollados se explica en gran medida con este modelo; pero también la de los países desarrollados: así se explica el patrón de zonificación económica

(a escala continental) dentro de Estados Unidos y Canadá, y también buena parte de la localización de las actividades económicas en la península ibérica.

### 2.3 Teoría de Zona Concéntrica

Propuesto por Ernest Watson Burgess en 1926, la Teoría de la Zona Concéntrica evoluciona como una explicación histórica del desarrollo del uso de los terrenos urbanos en Chicago. A diferencia del enfoque de Von Thünen, Burgess ofrece una descripción más que analítica de estas dinámicas urbanas. Se propone que el uso de tierra de la ciudad puede ser clasificado como una serie de zonas concéntricas (Figura 2.2) y que la ciudad crece por expansión de estas zonas hacia el exterior. Zona I, es el distrito central de negocios (DCN) y se encuentra en el centro de la ciudad. La siguiente zona multi-uso es de transición Zona II con algunos migrantes colonias, residencias mixtas con la industria manufacturera. Zona III se caracteriza por ser un barrio de clase trabajadora. Entre las fábricas de segunda generación están los inmigrantes que viven en casas viejas con pocas comodidades. Zona IV está ocupada por la clase media del comienzo. Las casas son más nuevas y más amplias que las de la zona III. Zona V es para la clase alta y está dominada por la mejor calidad de las viviendas y muchas comodidades.

Figura 2.2: Modelo de Zona Concéntrica



Fuente: <http://www.bennett.karoo.net/topics/landuse.html> Consultada 2007.

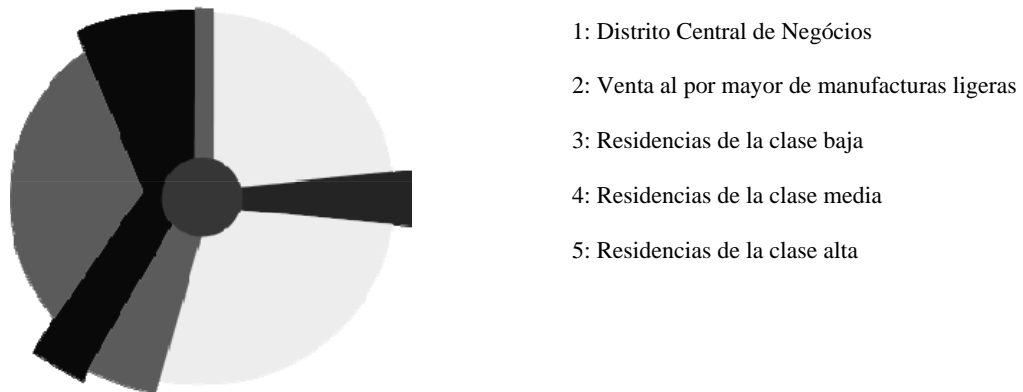
Al igual que von Thünen, Burgess asume un espacio geográfico generalizado y un estricto espacio de acción. Además, la importante influencia de la topografía y el transporte no son

considerados, y la ciudad monocéntrica no es razonable para representar patrones reales de uso del suelo. Ya el crecimiento no siempre es concéntrico y el crecimiento no es un proceso natural y si una producción social.

## 2.4 Teoría de Sector

Propuesto por el economista Homer Hoyt en 1939 fue capaz de mejorar el modelo de Zonas Concéntricas de Burgess adelantando la Teoría Sector de la utilización del suelo urbano. Basado en patrones de suelo residencial en los Estados Unidos, la ubicación de las empresas se describe indirectamente. El modelo trata de explicar la tendencia de los diversos grupos socio-económicos para segregarse en términos de sus decisiones de localización residencial. El modelo sugiere que, con el tiempo, alta calidad de las viviendas tiende a ampliar hacia el exterior de un centro urbano a lo largo de las rutas de viaje más rápido. El modelo del sector (Fig. 2.3) considera la dirección, además de la distancia como los factores que determinan la ubicación de viviendas. Asimismo, reconoce que el DCN no es el único centro de coordinación de la actividad urbana.

Figura 2.3: Modelo de Sector



Fuente: <http://www.bennett.karoo.net/topics/landuse.html> Consultada 2007.

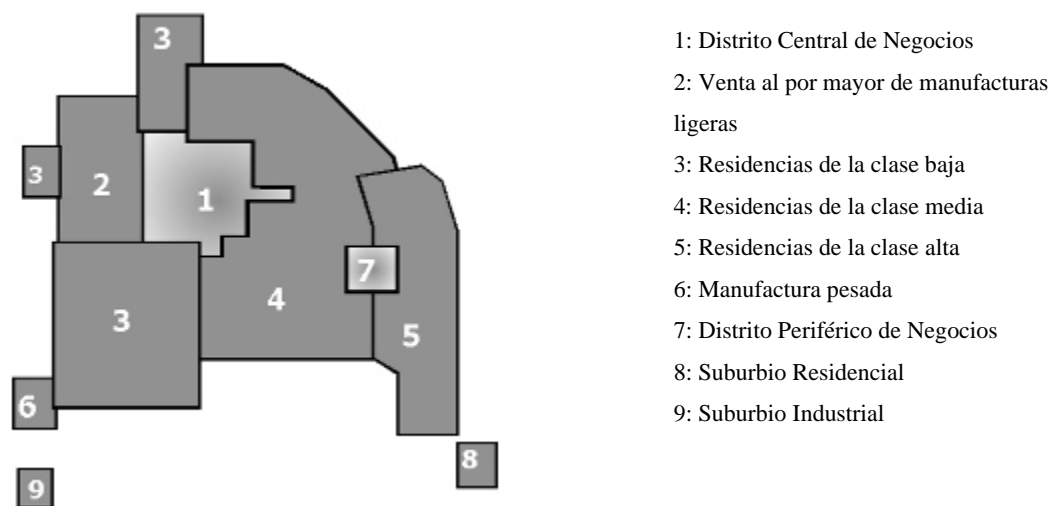
## 2.5 Teoría de Núcleos Múltiples

La teoría de núcleos múltiples Teoría, desarrollada por C. D. Harris y E. L. Ullman en 1945 se basa en el hecho de que muchas ciudades y casi todas las grandes ciudades tienen muchos núcleos que sirven como centros de crecimiento aglomerante más que una simple DCN en

torno a la cual giran todas las actividades urbanas.

Algunos de estos núcleos son asentamientos pre-existentes, otros surgen de la urbanización y economías externas. Específicas zonas de uso de la tierra son desarrolladas porque algunas actividades unos a otras; casas de alta calidad no suelen surgir cerca de zonas industriales, y otras actividades no pueden pagar los altos costos de los lugares más convenientes. Nueva zonas industriales se desarrollan en lugares suburbanos, ya que requieren un fácil acceso, y distritos de negocios periféricos se pueden desarrollar por la misma razón. A partir de este trabajo, la idea de ciudad como estructura espacial predominantemente celular ha evolucionado. Esta teoría ha superado los intentos anteriores para explicar la distribución espacial de la actividad urbana por reconocer influencias importantes, como la topografía, accesibilidad, y las tendencias históricas. Es importante, reconocer la estructura policéntrica de la teoría de ciudades con múltiples núcleos que se acerca a explicar por qué emergen patrones espaciales de urbanización.

Figura 2.4: Modelo Polinuclear



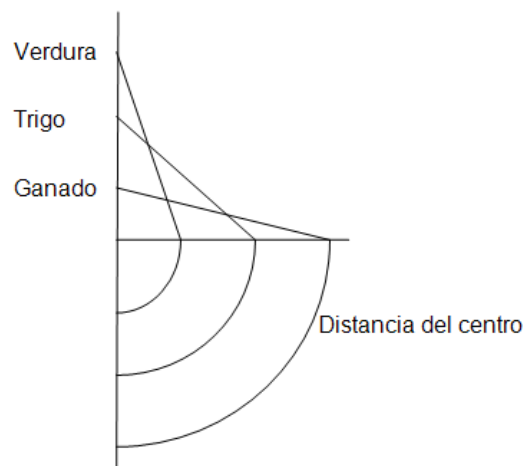
Fuente: <http://www.geography.learnontheinternet.co.uk/topics/landusemodels.html> consultada 2007

## 2.6 Teoría de Oferta de Alquiler

Tomando el modelo de Von Thünen un paso más lejos, la teoría de la oferta de se popularizó por el economista argentino William Alonso en 1964, ofrece una explicación de la

distribución espacial que describe Von Thünen. Dado que el costo de transporte aumenta con la distancia al mercado, los alquileres en general, tienden a disminuir correlativamente, pero diferentes formas de uso del suelo (al por menor, servicio, industrial, vivienda, o agrícolas) generan otras curvas de oferta de alquiler (Fig. 2.5). El usuario de suelo urbano busca lugares céntricos, pero está dispuesto a aceptar un lugar más alejado del centro de la ciudad si los alquileres son más bajos en compensación. El uso que puede extraer el mayor rendimiento de un sitio será éxito del ofertante. Ilustrando la teoría de la oferta de alquiler en una alteración del modelo de Von Thünen, Alonso en un estudio de la vivienda, comparando a la cantidad de tierra necesaria, y las variaciones en la cantidad de ingresos utilizados en la tierra, costos de transporte, y en todos los bienes y servicios. Si la cantidad de bienes y servicios se mantiene constante, el precio de la tierra debería disminuir al aumentar la distancia desde el centro y un patrón de viviendas disponibles surgirá.

Figura 2.5: El modelo Alonso



Fuente: Economía Urbana de Roberto Camagi

La cantidad de tierras que pueden ser compradas deben aumentar con la distancia desde el centro, pero conmutando los costos aumentan con la distancia desde el centro. A partir de este principio básico Alonso ilustra la forma en que la clase alta optará por las instalaciones de baja densidad de vivienda en las afueras de la ciudad, y pagar el precio de los desplazamientos por la distancia, mientras que los pobres permanecen en residencias de alta densidad cerca del centro de la ciudad. Cada hogar representa un equilibrio entre la tierra, los bienes, y la accesibilidad a los lugares de trabajo.

La hipótesis de Von Thünen y Alonso presentan una gran simplificación de la distribución geográfica y la decisión del espacio que está lejos de la realidad. Sin embargo, sus modelos reflejan algunos aspectos de la morfología de la dinámica urbana y las curvas de oferta de alquiler describen la forma en que estos patrones de surgieron.

Modelos de precios hedónicos, una variante de los modelos de la oferta de alquiler, han sido más eficaces en poner en práctica algunos de los factores que pesan en el cálculo de la oferta de alquiler. Modelos de precios hedónicos reducen los valores de bienes raíces en sus elementos fundamentales, cada uno de los cuales tiene un valor asociado de modo que amplió el desglose. Dos factores principales dificultan la aplicación del modelo hedónico: Ellos se ven debilitadas por la dependencia a valor de mercado para la formulación de hipótesis sobre la dinámica urbana, y los datos de valor de mercado pueden ser difíciles de adquirir, especialmente a través de múltiples períodos de tiempo, debido a la protección de la intimidad.

A manera de conclusión, Alonso retoma el concepto de *renta ofertada* con el que demuestra, la relación negativa entre renta y distancia al CBD, haciendo uso de los conceptos *microeconómicos* típicos de la Escuela Neoclásica. Siendo un modelo general en cuanto a usos del suelo urbano que puede considerar, su gran influencia sobre la Economía Urbana moderna y esto se explica principalmente por las predicciones respecto al patrón de localización residencial de las familias en general.

## 2.7 Modelo latinoamericano de Griffing-Ford

Existen pocos estudios del uso del suelo que han sido realizados en ciudades fronterizas mexicanas como son: (Palmore et al. 1974; Gildersleeve 1978; Hoffman 1983; Lloyd 1986), la morfología básica de estructuras urbanas Latinoamericanas aplicable para los “grandes y dinámicos centros urbanos de la región” han sido analizado por el modelo Griffin-Ford (Griffin y Ford 1980). La construcción de este modelo fue basado en evidencia empírica de Bogotá, Colombia, y de la ciudad mexicana fronteriza Tijuana. (Griffin y Ford 1980: 399).

La estructura básica del modelo consiste en círculos concéntricos y sectores radiales arreglados en una configuración distintiva (Figura 2.6). El modelo es definido y próspero por

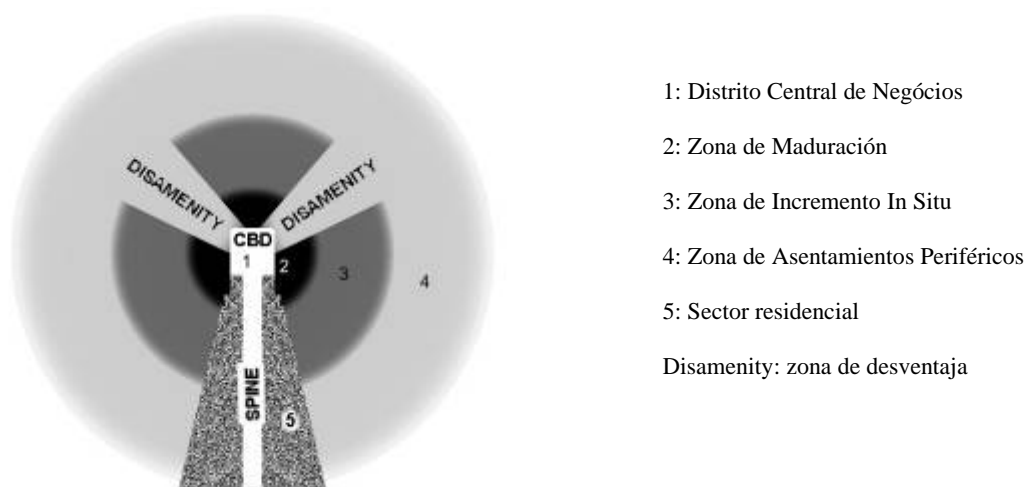
el *distrito central de negocios* (CBD por sus siglas en inglés), el cual sigue siendo la primera fuente de empleo, actividad comercial, y entretenimiento. Emanando desde el corazón y representando su extensión lineal a lo largo del corredor de la ciudad es una gran *columna vertebral comercial* que cruza a través de todas las zonas urbanas subsecuentes. Conteniendo oficinas, tiendas de lujo, restaurantes, comercios, teatros, y demás comodidades como parques entre otros, bordeando esta amplia gama de ejes es considerado un *sector residencial elite* incluyendo desarrollos del tipo suburbano, especialmente hacia su término final. En el resto de las zonas residenciales, la calidad de la vivienda y los niveles socioeconómicos disminuyen su distancia del distrito central de negocios. La zona privilegiada más antigua y cercana a la plaza y alrededor de esta incluye el envejecimiento de los edificios, aunque a menudo se encuentran residencias en buen estado que han filtrado a las poblaciones de clase media. La *zona de madurez* contiene las mejores viviendas y servicios públicos ubicados fuera del nuevo sector residencial elite. Más allá de este círculo la *zona de adición in situ*, un área de transición donde la vivienda es diversa y “en un constante estado de construcción en curso” (Griffin y Ford 1980: 409). Se caracteriza por grupos de ingreso medio y aspirantes a ingreso medio-bajo que viven en una ocupación mezclada. El círculo más alejado de esta zona, es considerado como de ocupación ilegal periférica acordada, en donde se supone se encuentra la más baja calidad de vivienda y solo algunos servicios públicos, las poblaciones más pobres y los migrantes más recientes de la ciudad. El modelo también incorpora *sectores de ocupación*, que son ambientes marginales, como los costados de los ríos, pasillos de ferrocarriles, ese transepto de círculos concéntricos y alta densidad, damnificados pobres, persistentes barrios bajos de grandes viviendas de auto-ayuda. Mientras que el modelo ofrece una aproximación a la estructura de las ciudades Latinoamericanas, se ha señalado su compartición de críticas académicas. Algunos investigadores han errado en sus “parámetros imprecisos” y fallado en diferenciar entre los usos comerciales e industriales del suelo (Hoffman 1983: 70). Algunos otros han notado la necesidad de incorporar “un elemento de tiempo más fuerte” (de Blij y Muller 1988: 325), mientras que otros aun han opinado que sus autores aparentan haber tenido “más influencia de la apariencia de las ciudades” físicamente fabricadas (Lowder: 1986: 212).

Pero además, Griffin y Ford (1980) observaron una distinción entre las ciudades norteamericanas y las latinoamericanas. En éstas últimas, los centros urbanos pequeños no

habían modificado su organización espacial colonial, mientras que las grandes ciudades, de rápido crecimiento iban acercándose al modelo norteamericano. La expansión del centro de la ciudad impulsa a los niveles socio económicos más altos a relocalizarse en la periferia de la ciudad, en nuevas áreas residenciales donde aparecen servicios y vías de comunicación.

Los grupos con bajos ingresos, al principio, se ubican en el centro de la ciudad ya algo deteriorado. Pero luego se trasladan a la periferia pues es allí donde tienen posibilidades de acceder a una propiedad. El desarrollo de los medios de transporte colabora a la relocalización.

Figura 2.6: Modelo Griffin-Ford



Fuente: “*The Mexican Border Cities, Landscape Anatomy and Place Personality*” de Arreola y Curtis (1993).

Griffin y Ford (1980) propusieron un modelo de ciudad que combina elementos tradicionales de la estructura urbana y elementos modernos que ya venían alterando la estructura de las ciudades latinoamericanas.

La estructura de Griffin y Ford (1980) es sectorial y se basa en el modelo de Hoyt (1939). En otras palabras el anillo del medio es una zona intermedia, de transición entre el centro y las zonas residenciales donde se registran diferentes tipos de vivienda y de diferentes calidades y tamaños. La zona exterior corresponde a los asentamientos periféricos que se presenta como una zona residencial, que carece de servicios y donde vive la gente de menores recursos. Para Griffin y Ford, las ciudades latinoamericanas se desarrollan según aspectos culturales, económicos y sociales.



## 2.8 Autómatas Celulares

### 2.8.1 Introducción al autómata celular.

Las anteriores teorías se basan principalmente en la observación empírica. Muchas hipótesis sobre la forma en que surgen estas estructuras urbanas (como el equilibrio entre las fuerzas de concentración y dispersión, la aglomeración de economías, o la maximización de la interacción social) proponen una limitación que controla la evolución del sistema. Sin embargo, las pruebas en apoyo de esas limitaciones universales no han sido demostradas. Por el contrario, la interpretación más convincente viendo patrones a macro-escala como derivadas de la interacción a micro-escala de los componentes que conforman el sistema. Pioneros en este enfoque no llegó desde el campo de la investigación urbana, pero si a la física y a las matemáticas.

### 2.8.2. Antecedentes de los autómatas celulares.

En la década de 1930 Alan Turing propuso una hipotética máquina con especificaciones limitadas y rangos de acción que era capaz de calcular todo lo que podía ser calculada. Usando reglas sencillas y dado un estado inicial apropiado, esta máquina, o autómata, podría convertirse en una réplica de sí mismo y tener la capacidad para producir más copias.

Hipotéticamente, esta "Máquina Universal de Turing" es una meta-máquina necesaria para construir cualquier sistema. (Turing) Encontró que los matemáticos, a diferencia de carpinteros, sólo necesitaban de una herramienta en su caja de herramientas, si esta fuera la herramienta del tipo correcto.

En la década de 1940, inspirado por el trabajo de Turing, John von Neumann,<sup>1</sup> en colaboración con el renombrado matemático Stanislaw Ulam,<sup>2</sup> desarrollaron los autómatas celulares (AC) como un marco para la investigación de los fundamentos lógicos de la vida. "Ellos estaban interesados en explorar las características biológicas de autómatas de auto-reproducción de cómo podría reducirse puramente a funciones matemáticas - si las fuerzas que

---

<sup>1</sup> John Von Neumann a demás de haber desarrollado los autómatas celulares fue iniciador de la teoría del juego y pionero en teoría de conjuntos y la mecánica cuántica.

<sup>2</sup> Stanislaw Ulam trabajó en simulación de Monte Carlo y el Proyecto Manhattan bomba atómica.

gobiernan la reproducción pueden reducirse a reglas lógicas".

Von Neumann propone en su libro "Theory of Self-reproducing Automata" conceptos y principios relativos a:

1. la estructura y la organización de ambos sistemas naturales y artificiales.
2. el papel de la lengua y la información en tales sistemas.
3. la programación y control de tales sistemas.

Una actualización de esta teoría sería la creación de autómatas que contienen una máquina de Turing que es capaz de calcular cualquier cosa que sea calculable. Esta teoría se expresó en *Conway's CA Game of Life* (Juego de la vida) popularizado por Gardner en 1970. Un vínculo formal entre AC y los fenómenos geográficos fue hecho por Tobler *celular de Geografía* (1979), donde implícitamente la naturaleza espacial de las normas de transición hicieron AC "el lugar de tipo geográfico del modelo por excelencia". En 1985 Helen Couclelis presentó un simple marco de modelado celular para el uso del suelo sobre la base de la teoría de estructura discreta. También durante la década de 1980 y principios de 1990 la gran parte del trabajo se realizó identificando sistemas urbanos como las formas fractales y sistemas complejos, como se podrá explicar mas adelante el sistema complejo apunta al modelado urbano, especialmente a través de la metodología de AC, que se explora más a fondo.

### 2.8.3 Complejidad del autómata celular

Sistemas complejos sugieren una multitud de interacciones que tienen lugar en gran escala, o nivel individual, forman la base de todo el sistema, o actúan en el comportamiento.

En los sistemas emergentes, que son fundamentales para la idea de complejidad, un pequeño número de normas sencillas aplicadas a nivel local pueden dar lugar a un sistema que sea sorprendentemente complejo, pero no necesariamente caótica. Una estructura subyacente, normalmente, pueden ser descubiertos. Lo que es importante acerca de este enfoque es el poder de los agentes locales, sin hacer referencia a cualquier nivel de todo el sistema conductor, para generar organización, reconocimiento, macro-escala, características que cambian con el tiempo.

Un problema que se enfrentan al tratar de modelar sistemas humanos es la agregación de las acciones de un individuo a la dinámica de todo el conjunto. Esto es especialmente difícil cuando las acciones a escala local son interdependientes. La información puede no ser simplemente agregados a la generalización de sistemas dinámicos en pequeña escala. En lugar de ello, la comprensión de la dinámica *interactiva* que vinculan a escala local y fenómenos de pequeña escala" debe llevarse a cabo. En esencia, en sistemas emergentes, el conjunto no es la suma de sus partes, sino el resultado de la dinámica de sus partes. Un enfoque sintético, con lo cual las partes para formar un todo interactivo, en oposición a un reduccionismo, que separa el conjunto en sus partes, es cada vez más popular entre los investigadores el estudio de complejos, sistemas dinámicos. Una forma de entender las interacciones de un sistema es mediante la aplicación de reglas sencillas a los componentes, y observar cómo estas reglas afectan al comportamiento de los agentes individuales en el tiempo, hasta que los procesos de gran escala emerjan. El aprendizaje se produce juntando las piezas juntas, en lugar de dividir las partes.

La complejidad de la simulación computacional de sistemas complejos. Esta condición llama la atención sobre la forma en una simulación de tipo biológico o fenómeno físico.

Asimismo, la modificación de los formalismos de complejidad por ejemplo la modificación de los autómatas celulares simples para simular un mejor proceso puede producir resultados más relevantes, pero corre el riesgo de crear un modelo tan complejo, que la simplicidad y la transparencia de las reglas sencillas se pierdan. Además, mientras que los modelos computacionales son necesariamente basados en normas, y, por tanto, se prestan a la síntesis, no hay ninguna razón para creer que todos los fenómenos en el mundo natural están basados en normas y deben ser modelados como tal.

Los proponentes de la complejidad no han deliberado en todo lo que se prometió, entre ellos un todo que abarca "teoría unificada" de los sistemas complejos. Algunos incluso admiten que "no estamos ni siquiera cerca" a su desarrollo.

Pero estas críticas no deben ser suficientes para provocar la destitución del enfoque del sistema complejo. Una cosa que es evidente es que los sistemas complejos no se prestan a simple examen científico. El campo todavía tiene mucho que ofrecer en el entendimiento de

sistemas dinámicos e interactivos. Las ciudades tienen varias cualidades para aliarse con las definiciones de complejidad. Hay que reconocer sin embargo que no todos los procesos del medio ambiente urbano serán apropiados para este tipo de examen.

Una primera aplicación de métodos de complejidad se introdujo a partir de la disciplina de ciencias de la computación. John Von Neuman (1966) presentó la idea de que un tipo de máquina de computación no sólo podía reproducir en sí, sino que podría generar una máquina de mayor complejidad que el original. Este concepto se expresó en forma de una AC. El ejemplo más conocido de un AC es el *Juego de la Vida* desarrollado por John Conway (Gardener, 1972). El formalismo del AC tiene unos principios básicos: La zona del AC, o "espacio de juego" es un mosaico regular de células. Un número finito de células discretas se definen, y una célula pueden existir en un solo estado en un período discreto de tiempo (t).

#### 2.8.4 Modelo de Autómata Celular Standard

Autómatas celulares son sistemas dinámicos discretos cuyo comportamiento es totalmente especificado en términos de una relación local. Estos se componen de cuatro elementos: células, estados, reglas de vecindad y reglas de transición. Las células son los objetos en cualquier espacio dimensional que se manifiestan algunos de adyacencia o proximidad el uno con el otro.

Cada celda puede tener un solo estado en todo momento de un conjunto de estados que definen los atributos del sistema. El estado de cualquier célula depende de los estados de otras células en el barrio de que la célula, el barrio sale del conjunto inmediatamente adyacente de células que son "próximas" a la célula en cuestión. Y, por último, hay normas de transición que impulsan los cambios de estado en cada celda, como algunas funciones de lo que existe o que está ocurriendo en el barrio de la célula (Batty y Xie 1997).

Formalmente, un autómata celular se describe como sigue:

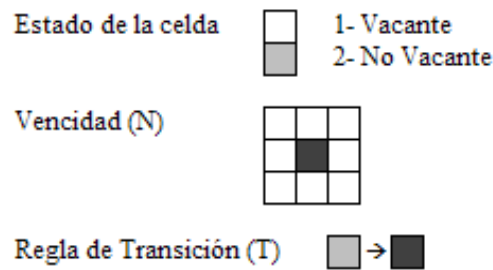
$Q = (S, N, T)$  donde  $Q$  = el estado global del sistema;

$S$  = conjunto de todos los posibles estados del autómata celular;

$N$  = vecindad de todas las celdas que proporcionan valores de entrada para la función de transición  $T$ ; y

$T$  = función de transición que define el cambio de estado del autómata celular de su estado actual al estado en el próximo paso del tiempo.

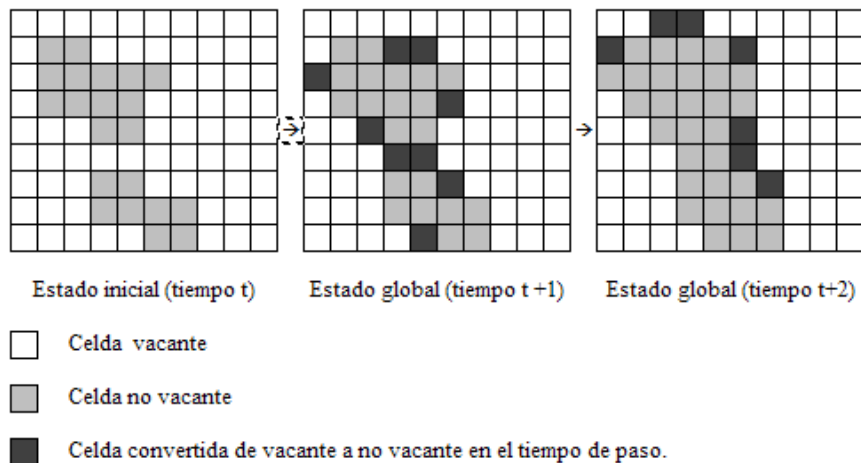
Figura 2.7 Componente de autómata celular genérico



Fuente: “*Simulating Urban Growth in a Developing Nation’s Region Using a Cellular Automata-Based Model*” (Simone Leao 2007)

En la figura 2.7 ilustra los principales componentes de un autómata celular genérico mediante un ejemplo: el estado de las células en el espacio celular puede ser el vacante o no vacante; el barrio consta de ocho células adyacentes en torno a una central de células y la regla de transición dicta cómo los estados de las células cambian con el tiempo basados en los estados de las células en el barrio.

Fig. 2.8 Proceso de transición de autómatas celulares



Fuente: “*Simulating Urban Growth in a Developing Nation’s Region Using a Cellular Automata-Based Model*” (Simone Leao 2007)

En la figura 2.8 ilustra el proceso de transición realizado por el autómata celular descrito en la figura 2.7. En primer lugar, el estado inicial se presenta. Consiste en la distribución espacial de los estados de las células (libre u ocupada) en un espacio celular en el primer paso (tiempo t). A continuación, los estados globales para dos pasos subsecuentes en el tiempo se presentan. Son el resultado de la aplicación simultánea de la norma de transición a todas las celdas del

espacio de la cuadrícula. El autómata celular analiza la vecindad de cada célula vacante. De acuerdo con la norma establecida en la figura 2.7, si hay tres o más células ocupadas en el barrio, la central de células convierte su estado de vacantes en ocupado; de lo contrario se mantiene sin cambios. Un solo paso de tiempo termina cuando todas las células vacantes se analizaron y se hicieron las conversiones adecuadas. A continuación, este nuevo estado global se convierte en la base de otro plazo.

Normas de transición, que se aplica de manera uniforme en el espacio de juego se refieren un estado de celda que es de sus vecinos inmediatos en el tiempo ( $t$ ) para determinar su estado en ( $t + 1$ ). Celdas estados se actualizan sincrónicamente para el próximo período de tiempo. En el proceso de transición, cada célula actúa en el sistema como un agente independiente. Su condición está dictada no a través de los factores determinantes externos, sino que, como consecuencia de la situación actual de una celda y el estado de sus vecinos. Además, puesto que todas las transiciones son marcadas en el espacio de juego, al mismo tiempo, el cambio es a la vez espacial y temporalmente correlacionados.

Se descubrió que, dependiendo de la configuración de las condiciones iniciales, complejos patrones espaciales podrían surgir aunque en repetidas ocasiones aplicando de sencillas normas de comportamiento a la red. Estos modelos demuestran con la poderosa inmediatez que generalmente la imprevisible relación dinámica entre los eventos locales y la estructura global. AC tienen varios rasgos que los hacen parecer herramientas naturales para la simulación de la dinámica urbana. Las células pueden representar muchos de los elementos que componen un sistema urbano: construcciones, parcelas, censo de unidades, automóviles, análisis de zonas de tráfico, etc. Del mismo modo, los estados de células pueden ser asignados para los atributos de una zona urbana. Un ejemplo sencillo es el de atributos binarios de zonas urbanas y no urbanas. Varios otros se pueden utilizar: la densidad de población, el uso del suelo, la cubierta vegetal, etc. Cualidades espaciales inherentes de los modelos de AC también los hacen singularmente calificados para aplicaciones a fenómenos geográficos. La vecindad en un contexto espacial influye en las transiciones en lugares discretos. Cambiar a cada célula tiene una autocorrelación espacial y temporal que imita las propiedades interactivas de decisiones de asentamiento urbano espacial. Las normas de transición pueden ser creadas para reflejar la manera real del funcionamiento de los sistemas urbanos y codificarlo como

algoritmos dentro de la simulación. Al colocar elementos urbanos como las células con atributos dentro de una dinámica AC, los procesos urbanos pueden estudiarse como un sistema de sintético.

Muchos buenos enlaces pueden ser encontrados para sujetar la dinámica urbana a la complejidad y la simulación de AC. Decisiones tomadas por los individuos en la escala local son interdependientes y pueden ser agregados en gran escala, o al fenómeno global. Además, la forma física de la ciudad exhibe varias de las firmas características de los sistemas complejos incluyendo dimensionalidad fractal y auto-similitud a través de las escalas, emergencia, y auto-organización.

### 2.8.5 Eficiencia del autómata celular

Como se ha indicado anteriormente, AC son ventajosos como modelos de los sistemas urbanos, debido a su dinámica y cualidades espacialmente explícitas, y la expresión de características de los sistemas complejos. Además, el espacio enrejado juego utilizados por AC facilita la integración con sistemas de información geográfica y datos obtenidos por teledetección. Asimismo, la celosía de los AC es un formato fácil de visualizar medio que puede ser compilado en animación para la presentación dinámica de comportamiento simulado.

El modelado informal urbano en un espacio celular fue demostrado por Tobler (1970), que finalmente formalizó el enfoque en su definición de la geografía celular. Ejemplos de aplicación de AC de diversos sistemas urbanos abundan en los últimos años, se han utilizado para estudiar las zonas urbanas y metropolitanas de crecimiento. La dinámica urbana y de otras transiciones de la cubierta vegetal debido al desarrollo urbano ha sido explorada. Un modelado de sistemas específicos con respecto a las ciudades y regiones ha sido aplicado.

La mayoría de los modelos requieren relajarse de la estructura formal de AC con el fin de representar más realísticamente los fenómenos del mundo real. Unos pocos ejemplos interesantes de variaciones de AC incluyen: la ampliación, 112 celdas, condiciones de celosía uniformes, normas de transición asincrónicas, normas de transición de automodificación. Hay algunos procesos de urbanización, como zonas planeadas y la infraestructura de transporte,

que no se producen a escala local. La formal carencia de AC de la indemnización de acciones a distancia, pero los casos de influencia a distancia que permite también existe. Hasta el momento AC en el desarrollo de modelos multidimensionales se han evitado, y la preponderancia de modelos de AC urbanos sigue siendo en dos dimensiones espaciales, a pesar de que esta restricción limita en gran medida la aplicabilidad de AC para el entorno urbano. Esto es principalmente un resultado de la codificación y dificultades computacionales que envuelven el trabajar en un piso plano.

Uno de los atractivos de AC es que mediante la observación de acciones a nivel local, algo se puede aprender sobre la dinámica del sistema urbano. Sin embargo, como los formalismos de los AC son relajados, el comportamiento resultante de las normas de crecimiento se vuelve más complejo, lo que genera la posible paradoja: Si bien podría ser capaz de simular fenómenos urbanos simplificados mediante una modificación de AC, Asimismo, la dependencia de acción a nivel local asume un sistema cerrado, que las ciudades no son. La evolución de la configuración de un sistema urbano es un proceso influido por un gran número de fuerzas naturales del medio ambiente, tales como incendios forestales y las inundaciones, e acciones del hombre, tales como los sistemas de transporte y las políticas de zonificación o las presiones de auge económico o la depresión. Estos efectos pueden ser globales o discretos y actuar fuera de interacción local. En la actualidad, no existe una clara manera de resolver estas cuestiones. Pero los AC puede ofrecer criterios importantes para esos modelos operacionales debiendo ser la medida en que modelo de comportamiento son teóricamente posibles y, por tanto, creíbles.

#### 2.8.6 Adaptación del Modelado de Autómatas Celulares al Proceso de Crecimiento Urbano.

Couclelis (1997) observa que la aplicación de AC al modelado de la ciudad se ha visto acompañada por una relajación general en muchos de los supuestos del AC estándar que no se ajustan a la experiencia de las ciudades y regiones. Los modelos urbanos interpretados en el espacio representan a una parcela de la superficie terrestre.

Los estados representan datos reales, como los usos del suelo y cobertura vegetal, que se distribuyen en todo el espacio. La mayoría de las aplicaciones para los sistemas urbanos también tiene efecto de la vecindad que incorporar la acción a distancia, desde que



interacciones socioeconómicas tienen lugar a lo largo de distancias y se extienden más allá de los vecinos más cercanos.

Reglas de transición reflejan los conductores del proceso de desarrollo urbano espacial. Las formas en que están construidas varían de una aplicación a otra. Por ejemplo, funciones de distancia, ya que representan de un modo general las preferencias de ubicación espacial y la interacción de mecanismos, y aglomeración o los efectos de competencia (White y Engelen 1997).

Evaluación de sustentabilidad del suelo también se ha incluido en algunas aplicaciones como un importante factor impulsor del crecimiento urbano espacial y, por tanto, se está traduciendo en la forma de una norma de transición (Wu 1998; Li y Yeh 2000).

Las propiedades del suelo varían a través del espacio, y hay zonas que serán preferidas para algunos usos sobre los demás. Otro ejemplo es una aplicación del conjunto de normas que reflejan los diferentes tipos de crecimiento que se construyen y controlan el comportamiento del sistema en su conjunto; la propagación de las áreas existentes, a partir de una nueva área, el crecimiento impulsado por la proximidad a las carreteras, entre otros factores (Clarke et al. 1997).

El crecimiento urbano es el resultado de muchas decisiones individuales de localización e interacciones. La mayoría de los individuos no tienen un conocimiento completo de todas las alternativas de ubicación y de sus ventajas y desventajas. Por lo tanto, el proceso de ubicación urbana no sigue un patrón óptimo, y las zonas con bajo potencial o de idoneidad pueden ser seleccionadas y convertidas en un nuevo desarrollo.

Con el fin de replicar este proceso no optimizado, algunos modelos incluyen un factor estocástico en las reglas de transición (White y Engelen 1997), o han llevado a cabo un proceso de simulación al azar sobre normas probabilísticas (Clarke y Gaydos 1998). Otra característica importante que ha sido adaptada para simular fiablemente los futuros sistemas urbanos es el uso de mecanismos externos de control de la tasa de crecimiento urbano, en términos de demanda de suelo para la expansión. El control de crecimiento también es importante como un mecanismo para relacionar el modelo AC pasos en el tiempo

(interacciones) en tiempo real. La forma más sencilla para controlar el crecimiento es estipular la entrada de una tasa de crecimiento, que puede ser constante o cambiar con el tiempo (White y Engelen 1997). La expansión entre el tiempo  $t$  y el tiempo  $t+1$  se detiene cuando la reconversión de tierras para la tasa de crecimiento establecida es suficiente. Una mayor expansión sigue en la próxima etapa de crecimiento. La tasa de crecimiento no se estipula el exterior, pero se calcula por el modelo en función de un submodelo socioeconómico. En el modelo desarrollado por Clarke et al. (1997), la futura tasa de crecimiento que cambia con el tiempo, se calcula por el modelo basado en el histórico proceso de crecimiento urbano en la zona.

### 2.8.7 Calibración de Modelos de Urbanización celular

El objetivo de los modelos urbanos es simular algún aspecto del sistema urbano. Si el modelo es desarrollado para una determinada ciudad o región de su aplicabilidad a otro lugar, es probable que sea imposible. Si este es el caso, el modelo de uso es muy limitado. Por otra parte, si un modelo simula las características que son generales para el proceso de urbanización, tales como el crecimiento y el relleno del borde, pero permita el ajuste más realista al retratar una instancia específica de ese proceso, la utilidad del modelo es mucho mayor. Tales modelos de fines generales pueden ser aplicados a varias ciudades y se refina para cada nueva aplicación a través del proceso de calibración.

Los parámetros afectan como el modelo de simulación evoluciona. El objetivo de la calibración del modelo es determinar los valores numéricos de los parámetros del modelo.

Ejemplos de modelos de AC urbanos son abundantes, pero los métodos de calibración siguen siendo escasos. Esto se debe en parte al hecho de que las necesidades computacionales que requieren los AC para su calibración son considerables, mientras que las previsiones se generan con relativa facilidad. Asimismo, los modelos AC son difíciles de calibrar porque las cifras que describen exhaustivamente el proceso dinámico de la urbanización es difícil de relacionar.

### III DESARROLLO SOCIOECONÓMICO Y URBANO DE CIUDAD JUÁREZ

#### Introducción

El concepto de ciudad para Fernand Braudel se basa en un proceso de generalización, que parte de la existencia histórica y geográfica de las ciudades para llegar a la consideración de la ciudad como totalidad significativa y su teorización como entidad socioeconómica autónoma (Camagni 2005). Partiendo de que la ciudad constituye una unidad de producción, en la que un conjunto bienes y servicios son producidos internamente; el patrimonio, la infraestructura, las actividades productivas, el consumo y las externalidades son factores que lo engloban; importando lo que no se produce y exportando los excedentes. Esta aglomeración y complementación producen beneficios por el aprovechamiento de las economías a escala, creando procesos eficientes, pero también produce efectos negativos. Estos procesos se les llaman externalidades<sup>1</sup>. Entre las externalidades positivas está la creación de fuentes de trabajo, la provisión de servicios, etc. y entre las negativas se cuentan los accidentes, la delincuencia y la contaminación, todo producto de la aglomeración.

El crecimiento urbano de la ciudad está conformado por el “Crecimiento vegetativo + saldo migratorio”. Ambos elementos se estudian mediante las herramientas que provee la demografía. El crecimiento de las ciudades está motorizado por el crecimiento económico. Se evidencia una tendencia mundial hacia la urbanización, producida por la tecnificación del agro<sup>2</sup> y los mayores ingresos por los empleos urbanos. A través de modelo teórico y luego de algunas simplificaciones se puede estudiar el crecimiento y el tamaño óptimo de las ciudades. Cuando la población aumenta, aumenta la escala de la producción y el mercado de trabajo, se incrementa el desarrollo tecnológico y aumenta la eficiencia de los servicios públicos. Paralelamente aumentan también las deseconomías: desempleo, congestión, contaminación, delincuencia y disturbios sociales, que son externalidades que no son pagadas por los que toman las decisiones.

---

<sup>1</sup> Efectos indirectos que afectan no solamente los causantes sino también a terceros pasivos)

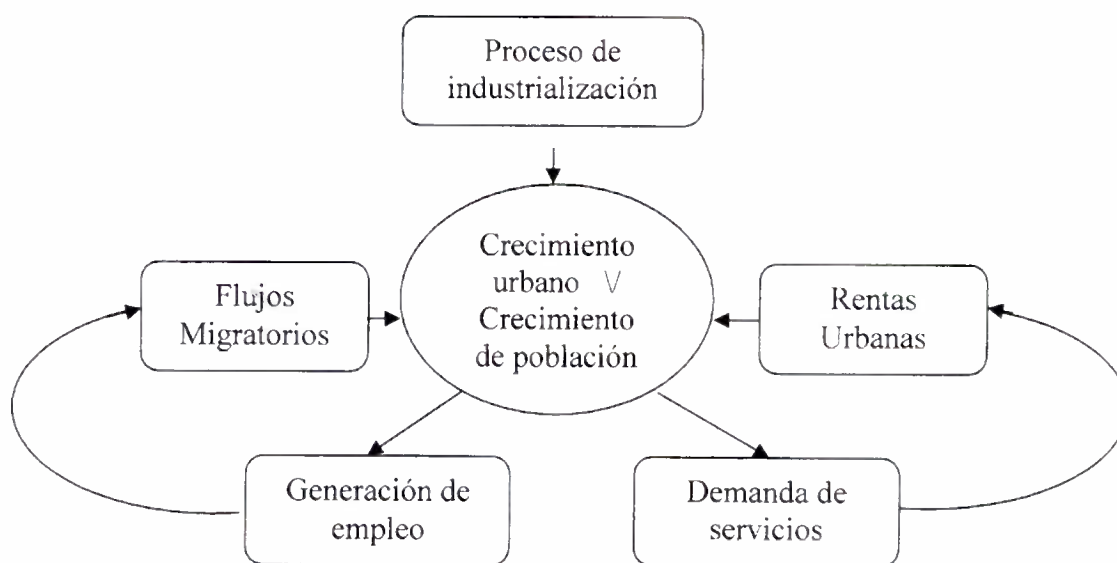
<sup>2</sup> Agro son todos los productos agrícolas y ganaderos puedan tener iguales. oportunidades de desarrollo.

En el estudio del crecimiento urbano de la ciudad es importante analizar el proceso de su crecimiento desde su fundación sin perder de vista los factores importantes como el surgimiento de la industrialización, la generación de empleo, los flujos migratorios y el comportamiento de las rentas urbanas y demanda de servicios públicos.

El proceso de desarrollo y crecimiento de las poblaciones y ciudades se acelera con la aparición de la industrialización. Este proceso es generador de empleos y demandante de servicios, dado que las personas que ocupan los puestos de trabajo deben localizarse próximos a esos lugares. Estas personas demandan vivienda, servicios urbanos, alimentos, vestidos, enseres, etc. Los aglomerados urbanos surgen entonces para que los habitantes puedan desarrollar sus actividades y reciban los bienes y servicios que demandan.

Además del crecimiento vegetativo, el fenómeno urbano se ve incrementado con el aporte de los flujos migratorios. Estos flujos están compuestos de personas que en forma continua, y en algunos momentos en forma aluvional, van llegando a las ciudades en busca de mejores condiciones de vida, comparadas con las de sus lugares de origen, generalmente áreas rurales o países de menor desarrollo relativo.

Figura 3.1 Diagrama del proceso del crecimiento urbano

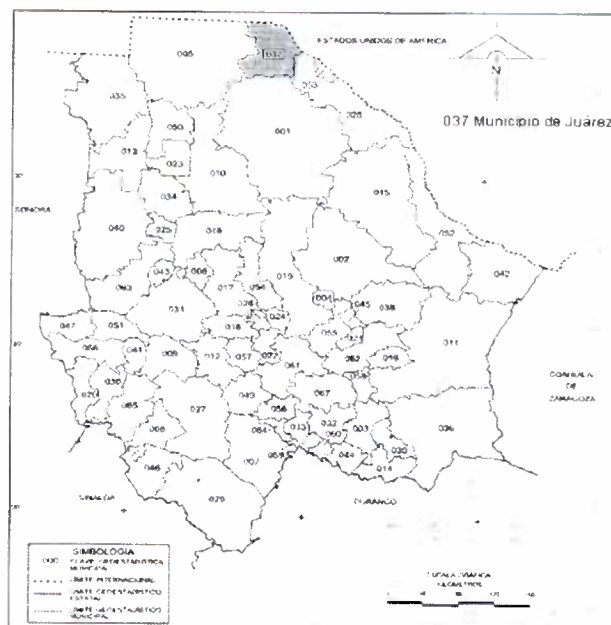


Fuente: <http://materias.fi.uba.ar/6808/contenidos/EconomiaUrbana.pdf> (Girardotti 2007)

### 3.1 Ubicación del campo de estudio

Ciudad Juárez es una ciudad mexicana se localiza en la parte norte del estado de Chihuahua en una región conocida como Paso del Norte, frente a El Paso, Texas, Estados Unidos. Su entorno geográfico, puede delimitarse por el municipio de Juárez, mismo que tiene una extensión de 3,599 kilómetros cuadrados. Se ubica al norte  $41^{\circ} 47'$ ; al sur  $31^{\circ} 07'$  de Latitud norte; al este  $106^{\circ} 11'$ ; al oeste  $106^{\circ} 57'$  de Longitud oeste (Figura 3.2). La ciudad está asentada entre la Sierra de Juárez y el Valle de Juárez en una unidad geológica formada históricamente por los depósitos fluviales de la corriente del Río Bravo. Su orografía es accidentada en su parte poniente sobre las colinas de la Sierra de Juárez y con pendientes suaves con dirección oriente poniente en la parte del Valle. Las cotas de terreno más elevadas y localizadas en la Sierra de Juárez están sobre los 1,800 metros sobre el nivel medio del mar (msnm). La parte habitada sobre las colinas de esta sierra comprenden elevaciones entre los 1,250 y 1,350 msnm. La mayor parte de la superficie ó mancha urbana está asentada entre las cotas topográficas 1,200 y 1,150 msnm y distribuida básicamente sobre el Valle de Juárez y al sur del mismo. (ZOET 2008).

Figura 3.2 Mapa del municipio de Ciudad Juárez



Fuente: ZOET 2008

Ciudad Juárez es la urbe más poblada de la frontera norte y del estado de Chihuahua. Su población, de acuerdo al Segundo Censo de Población y Vivienda 2005 efectuado por el INEGI fue de 1,301,452 habitantes para la ciudad, y 1,313,338 habitantes en todo el municipio, ubicándose en séptima zona metropolitana más grande del país. (INEGI 2005).

### 3.2 Fundación de Ciudad Juárez

Ciudad Juárez fue habitada a casi 100 años antes de lo que se denomina su fundación (1659 d.c.). La región fungía como puesto de avanzada y barracas para los conquistadores españoles. En 1595 con el permiso de Felipe II inician las exploraciones españolas para colonizar el territorio que ahora se conoce como Texas y Nuevo México, en 1598 el explorador Juan de Oñate reclama para el Virreinato de La Nueva España la posesión de los territorios más allá del Río Bravo en el punto Paso del Norte. (Chávez 1991).

Los frailes franciscanos españoles fundaron la misión de Guadalupe en el Paso Norte en 1659 siendo esta la fecha de su fundación, en 1683 se le llamó Presidio Paso del Norte, hasta 1826 el primer Congreso Constituyente del Estado de Chihuahua decretó que fuera elevada esta población al rango de Villa llamándola Paso del Norte. Posteriormente el 14 de agosto de 1865, ciudad Juárez se convertiría en la capital de la república durante la segunda intervención Francesa, con el entonces presidente de México, Benito Juárez, razón por la que en 1888, Porfirio Díaz decretara que el Paso del Norte recibiría el nombre de "Ciudad Juárez" en honor a este personaje. (Chávez 1991).

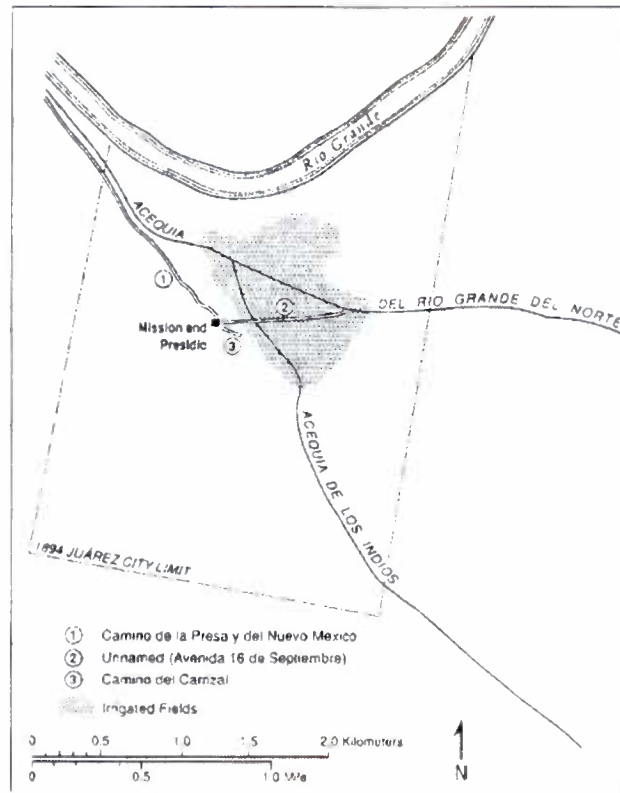
Por las diferencias en el curso del Río Bravo, ocasiono un problema de territorio con ciudad Juárez por 2.4 km en esta frontera, conocida como la disputa del Chamizal en 1852 y el actual canal del río, este territorio fue devuelto a México hasta 1968, siendo de los pocos territorios devueltos por Estados Unidos a otro país, posteriormente fue convertido en un parque público federal. (Chávez 1991).

### 3.3 Evolución Histórica del crecimiento urbano.

En el mapa Urrutia de 1766 (Figura 3.3), nos permite observar la situación de la frontera norte durante el siglo dieciocho, partiendo de la posición de la misión de Guadalupe, el corazón del asentamiento colonial (Gerald 1966), misma que se encontraba situada en una

tierra ligeramente elevada a menos de una milla al sur de Río Grande, la comunidad tenía vista de una planicie aluvial de campos irrigados. (Curtis, Arreola 1993:36).

Figura 3.3 Mapa del Paso del Norte, 1766

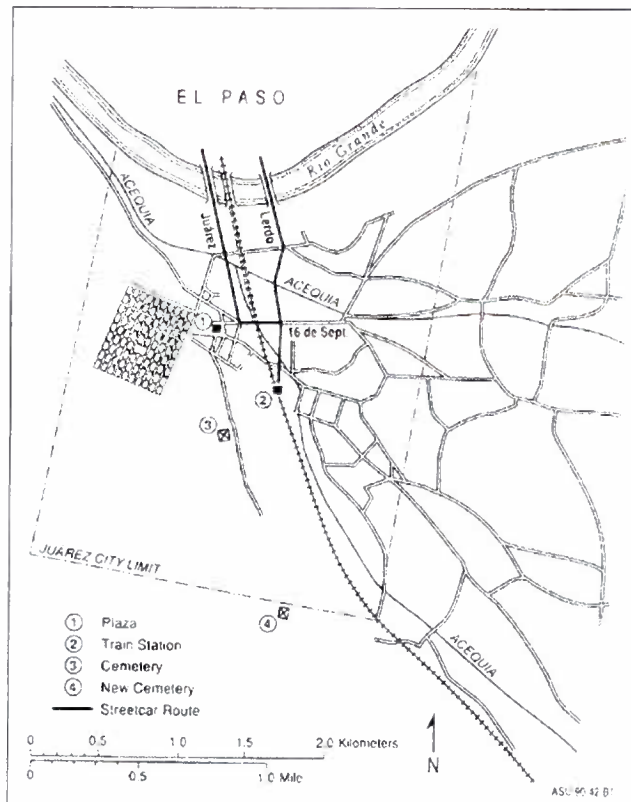


Fuente: Urrutia 1766 como muestra Gerald 1766 del Libro *"The Mexican Border Cities, Landscape Anatomy and Place Personality"* de Arreola y Curtis (1993).

Para 1800, esta zona contaba con poblaciones periféricas que se extendían cerca de veinte millas hacia el valle (Cruz 1988: 50 Schmidt y Lloyd 1986: 28). Durante la creación de la frontera internacional en 1848, Paso del Norte seguía siendo un asentamiento de entrada, sirviendo como cruce de comercio y viaje en la nueva frontera. Su población descendió ligeramente a mediados del siglo, pero se recuperó momentáneamente en 1880 con la llegada de las líneas férreas provenientes de cuatro direcciones y de las Tres líneas férreas convergentes en El Paso, Texas y una de México que llegaba a Ciudad Juárez, creando cruces en el lado Americano del Río Grande que en última instancia afectarían el crecimiento de Ciudad Juárez (Martínez 1978: 21).

Ciudad Juárez creció significativamente como pivote del comercio de líneas férreas, permitiendo la importación y exportación de una variedad de productos agrícolas y ganaderos. Con este crecimiento, el esqueleto del marco de la ciudad moderna empezó a emerger. Un mapa de 1894 (Figura 3.4) revela el corazón colonial de las calles irregulares y los caminos y extensiones este de asentamientos de este lado siguiendo los canales de irrigación. Las líneas férreas del Ferrocarril Central, dividían la ciudad vieja y conectaba Ciudad Juárez con líneas férreas a través del río en El Paso por un camino de un puente separado. Un bucle que daba a vuelta a la estación de trenes ilustraba la primera ruta de tranvía que conectaba Ciudad Juárez con El Paso a través de dos puentes separados. Estos puentes incluirían acceso automovilístico para los años veinte. Una subdivisión trezada al oeste del centro del pueblo apareció como el primer intento de desarrollo de tierras públicas. Serviría como modelo por mucho de la expansión urbana que seguiría en el siglo veinte (Valencia 1969:59).

Figura 3.4 Mapa de Ciudad Juárez, 1894



Fuente: Arrellano 1894 como muestra Valencia 1964 del Libro *"The Mexican Border Cities, Landscape Anatomy and Place Personality"* de Arreola y Curtis (1993).



Entre 1894 y 1919, los nuevos bloques de la ciudad fueron divididos en 6 lotes de menos de 627.10 metros cuadrados cada uno. Sin ninguna restricción en el uso del suelo, los dueños de las propiedades frecuentemente vendían porciones de sus lotes a sus familiares y amigos. Los lotes individuales se convirtieron rápidamente en fragmentos, lo que dio como resultado una alta densidad de residencias (Valencia 1969:64-69).

Después de la Revolución Mexicana de 1910, la ciudad comenzó a experimentar presiones de la población como resultado de las corrientes de inmigración del centro México. Para 1919, Ciudad Juárez se había expandido al oeste del corredor de las líneas férreas en un típico modelo de cuadrícula al modelo con bloques rectangulares orientados ligeramente al noreste de Rio Grande; también, un cuarto puente fue construido para acomodar tráfico ferroviario entre la ciudad y El Paso. Una segunda línea ferroviaria se unió a la ciudad desde el sur para crear un cruce de dos líneas férreas dentro de la estación ubicada en la actual avenida 16 de Septiembre. (Curtis, Arreola 1993:38).

En 1921, la población de Ciudad Juárez fue creciendo a una tasa anual de 5,5% y llegó a una población de casi 20,000 habitantes. En los próximos diez años la población casi se duplicó y la Zona urbana abarca 471 hectáreas. Durante la década de 1930 la densidad se redujo de 482 a 85 habitantes por hectárea. (Fuentes 2000).

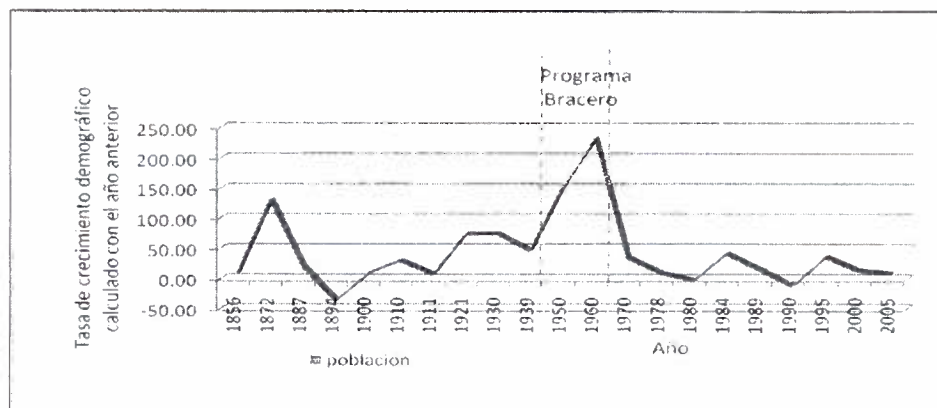
En la década de 1940, estos indicadores desaceleraron su ritmo. La medida anual de la tasa de crecimiento de la población en Ciudad Juárez fue de sólo de 2,0% y de la zona urbana de 9200 hectáreas (Fuentes, 2000). La población de Ciudad Juárez creció cerca de una cuarta parte de 1910 a 1940.

El crecimiento urbano en los años 20's hasta los 40's fue dirigido hacia el oeste, desde el centro y el corredor de líneas férreas, especialmente a lo largo de las avenidas 16 de Septiembre y Vicente Guerrero (Schmidt y Lloyd 1986:36). A partir de la década de 1950, la ciudad se embarcó en una fase de ordenación del territorio de expansión.

Ciudad Juárez ha experimentado la mayor tasa de población y crecimiento de su historia, sobre todo como consecuencia de la inmigración, debido a la repatriación de los mexicanos al final del programa bracero en EE.UU en 1965. y la solución política del gobierno

mexicano para poblar la casi vacía parte norte del país a través de la reforma de la tierra de riego y las políticas para impulsar la agricultura. La población creció un 9,2% de un año a otro y su área urbana extendida a 800 hectáreas con una densidad de población de 164 habitantes por hectárea. La gran mayoría de los residentes de la ciudad vivían en un radio de una milla de la plaza central. (Santiago 2007).

Figura 3.5 Grafica de,la tasa de crecimiento demográfico



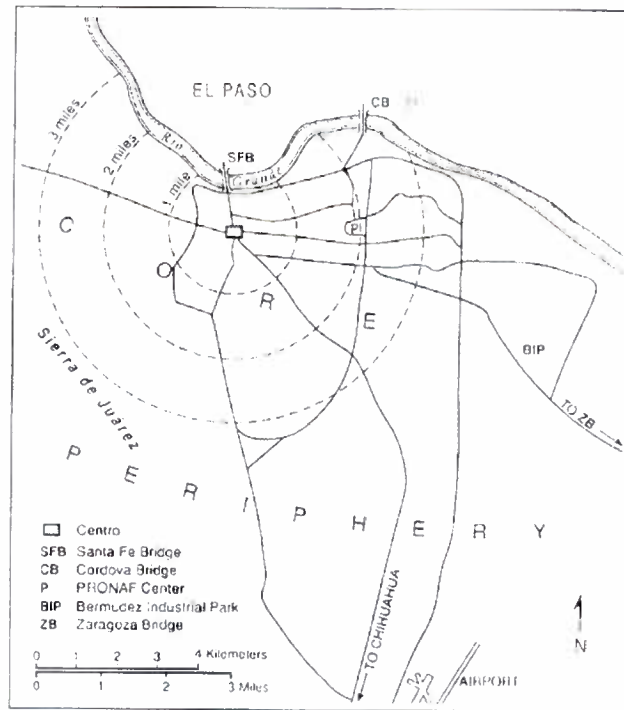
Fuente: Elaboración propia con datos de Oscar J. Martínez "Border Boom Town Ciudad Juárez since 1848", INEGI 1980, 1990, 2000 e INEGI 2005

Para 1960, la Ciudad siguió creciendo a un alto índice de población del 7,2% y la urbanización alcanzó aproximadamente un radio de dos millas desde el centro, su área urbana llegó a 1.894 hectáreas; desde 1960 a 1970, la población casi se duplicó de nuevo de 276,995 a 424,135, pero el tamaño de la zona urbana creció al triple. (Fuentes 2000).

Mientras que los desarrollos de la PRONAF y el PIF en los 60's ciertamente ejercieron influencia migratoria, la población en la ciudad creció en 1970, principalmente por un incremento natural que migratorio (Margulis y Tuiran 1984: 415). De acuerdo con una investigación de hogares reciente, 52% de la población es de dieciocho años o más joven.

El área urbana en 1960 aumentó a 1894 hectáreas a 5608 hectáreas en 1970, con una tasa de crecimiento anual del 10,8%. La densidad de población disminuyó de 146 habitantes por hectárea en 1960 a 75 habitantes por hectárea en 1970 (Fuentes, 2000). En otras palabras, durante este decenio la ciudad inauguró un patrón de expansión urbana, para 1980, más o menos tres millas desde el centro.

Figura 3.6 Mapa de Ciudad Juárez 1960



Fuente: Schmidt y Lloyd 1986 como muestra Valencia 1969 del Libro *"The Mexican Border Cities, Landscape Anatomy and Place Personality"* de Arreola y Curtis (1993).

Durante las próximas décadas la tendencia de crecimiento continúa, la zona urbana crece a un ritmo más rápido que la población, por lo tanto, la continuación de la disminución de la densidad. La población de la ciudad aumentó de 567,365 habitantes en 1980 a 798,499 habitantes en 1990. El suelo urbano alcanzó 9,395 hectáreas en 1990 y la continuación de la disminución de la densidad de población de 57 habitantes por hectárea. Este reciente crecimiento poblacional ha transformado las dimensiones de la ciudad, empujando paisajes urbanos a zonas previamente del borde. Mientras que en 1910 la ciudad ocupaba 1,177 acres equivalente a 476.32 hectáreas, en 1980 se extendió más de 8,801.92 hectáreas. Para 1986, 121,405.70 hectáreas (Cabral1991). El crecimiento en la periferia ocurrió principalmente hacia el oeste en las partes bajas de la Sierra de Juárez, al sur de las líneas férreas y la autopista Panamericana (autopista de México 45), corredor a Chihuahua, y al este en una tierra previamente cultivada. Hoy, tierras de agricultura pueden ser encontradas en los límites de la ciudad, especialmente al sureste a lo largo del río. La expansión oeste y

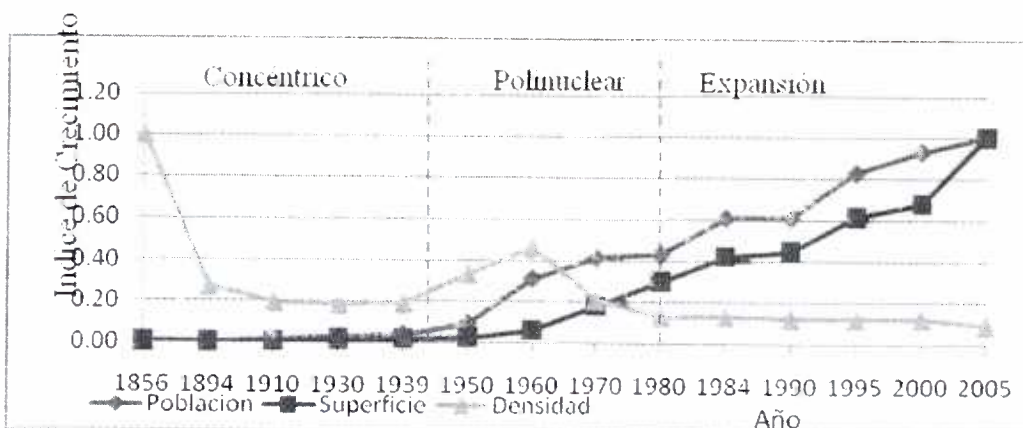
suroeste es principalmente en áreas residenciales, organizadas en un radio de uno a tres millas de la plaza central y poblada por ocupantes ilegales que han invadido tierras públicas desde 1960 (Ugalde 1974: 10-15; Valencia 1969: 86-105). El crecimiento este y sureste es similar de una a tres millas del centro pero en su mayoría es de ingresos medios a altos, desarrollo residencial (Lloyd 1986: 51). Este crecimiento ha llevado a la construcción de dos puentes adicionales (vea fig. 2.15). El primero, que se llama Puente Córdoba, conecta la Avenida de Las Américas con El Paso en el este de su distrito central de negocios. Provee de un fácil acceso al centro turístico de PRONAF de Ciudad Juárez, ubicado solamente después del borde. El segundo puente, Zaragoza, está abajo del río cruzando Las Américas. Da un mucho mejor acceso a el lado este de expansión de Ciudad Juárez y provee a las maquiladoras en el parque industrial Río Bravo de un cruce separado al El Paso.

La ciudad representaba su primera zona de ordenanza en 1984 y sus primeras regulaciones subdivisionales en 1988. Debido a lo imprevisible, el desarrollo de los barrios periféricos, cubre tres quintas partes del área de tierra de la ciudad, un extenso plan municipal fue aprobado en 1990. Las claras indicaciones del plan llevaron a un nuevo crecimiento residencial dirigido al sur a lo largo de la autopista Panamericana y para el desarrollo informal de la tierra en el accidentado lado oeste. (Cabral 1991:22).

En 1995, el total del área urbana ocupada fue de 18,767 hectáreas de tierra. Los usos residenciales consumen aproximadamente el 44% o alrededor de 8,416 hectáreas, los usos industriales sólo el 6% para un total de 1,209 hectáreas, el comercio y servicios 1,075 hectáreas (5,7%), uso mixto 617 hectáreas (3,3%). Abrir espacios de 446 hectáreas (2,4%), caminos internos de 4,785 hectáreas (25,5%) y suelo urbano vacante 2,219 hectáreas (11,9%). Los usos residenciales y carreteras, que están intrínsecamente relacionados, representan casi tres cuartas partes de la utilización del suelo urbano de la ciudad. De 1995 a 2001 la tasa anual de crecimiento de suelo residencial fue de 3,4%, sin embargo, industrial y comercial de la tierra creció a un ritmo más rápido -8,4% y 8,2%, respectivamente. En términos absolutos, de 1995 a 2001 aumentó el uso residencial de 1,576 hectáreas, 635 hectáreas uso industrial, el comercio y el uso de los servicios 563 hectáreas, 159 hectáreas de espacios abiertos, carreteras 225 hectáreas y 281 hectáreas de

tierras vacantes. El crecimiento urbano se convierte en Ciudad Juárez alrededor de 180 hectáreas de tierras agrícolas por año, dependiendo de la medida en que la nueva población puede tener cabida a través de la reconversión y la densificación. (Peña, Fuentes 2007).

Figura 3.7 Grafica del Crecimiento Histórico de la población y superficie de Ciudad Juárez



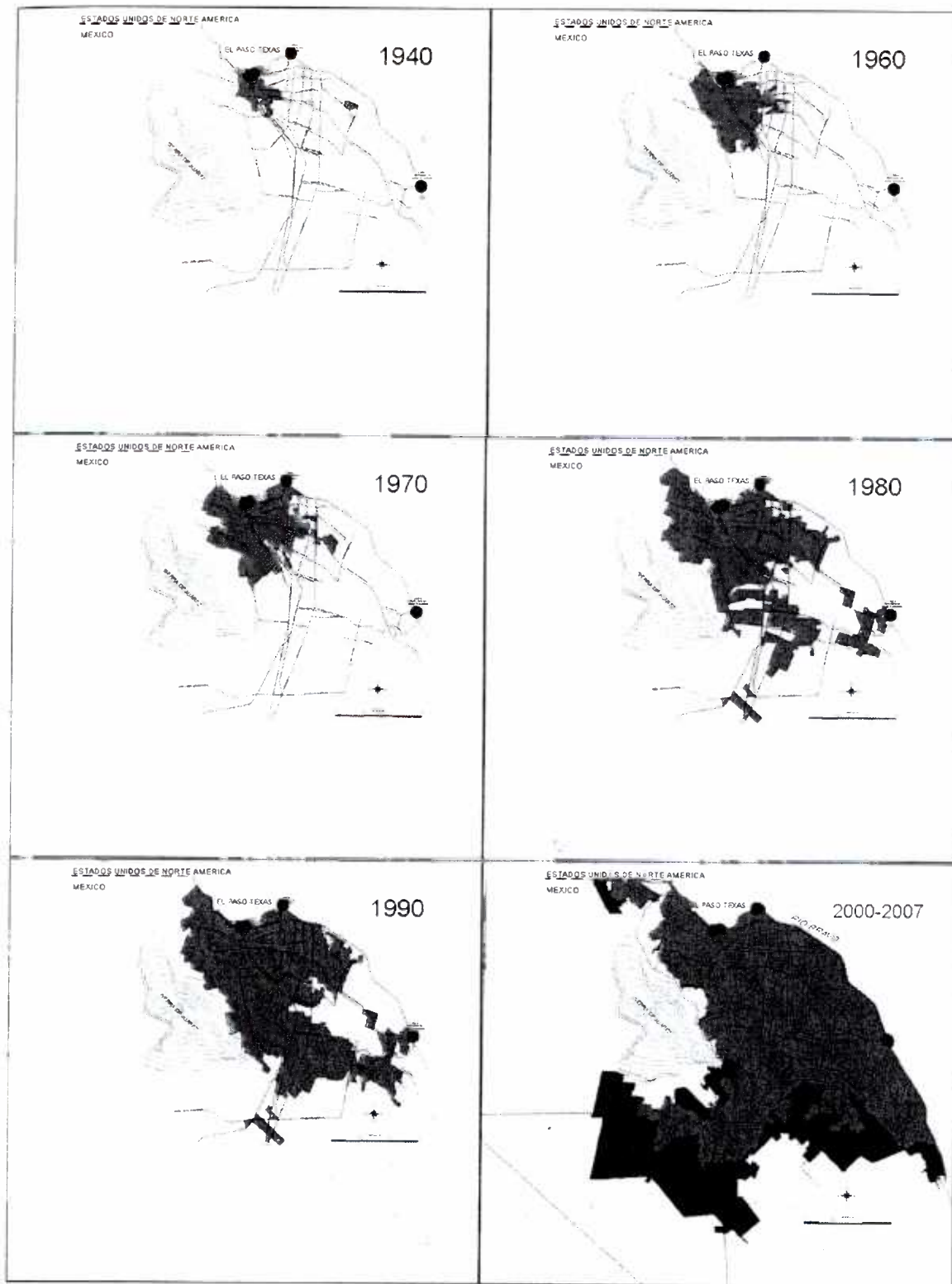
Fuente: con base en superficies y población IMIP, Ayuntamiento de Juárez, INEGI 1995, 2000.

El crecimiento de la mancha urbana fue concéntrico en los primeros años, a partir de los años 40 con el programa bracero surgió un crecimiento acelerado y con ello ciudad Juárez toma la forma polinuclear; para finales de los 60 programas como el Programa Industrial Fronterizo (PIF) que fomentó la industrialización de la frontera norte y generación de otras actividades económicas en zonas agrícolas como el Parque Industrial Bermúdez o (PRONAF) (Gutiérrez, 1993) se empieza a fomentar la expansión urbana.

La introducción de la industria maquiladora y los flujos migratorios que se generan del interior del país a esta frontera; el crecimiento en forma expansión se refleja a partir de los años 70, la densidad de población empiezan a bajar drásticamente, reflejado con un patrón de ocupación disperso, para el 1994 el resto de los subcentros se han conformado según la tendencia de expansión de la ciudad. El centro de mayor jerarquía se localiza en la zona histórica, seguido de los subcentros ubicados en la zona del PRONAF Existen otras áreas de comercio especializado que se ubican sobre vialidades primarias, como las avenidas 16 de Septiembre, Tecnológico, Henequén, de los Aztecas y el Perimetral Carlos Amaya (ZOET 2008).

En los últimos 15 años esta expansión se ha dado principalmente al sureste de la ciudad, la cual coincide con la apertura nuevas reservas urbanas en 1995. De 1990 a 1995 el centro de gravedad de la población en la ciudad se deslizó hacia el este aproximadamente 200 metros, para el año 2000 fueron 100 metros, pero para el año 2005 se modificó por casi 1000 metros, esto principalmente por la ocupación de la reserva sur y Oriente Zaragoza (ZOET 2008).

Figura 3.8 Mapas de la cronología del crecimiento Urbano



— Vialidad ● Cruces Internacional ■ Mancha Urbana ■ Ultima mancha urbana registrada

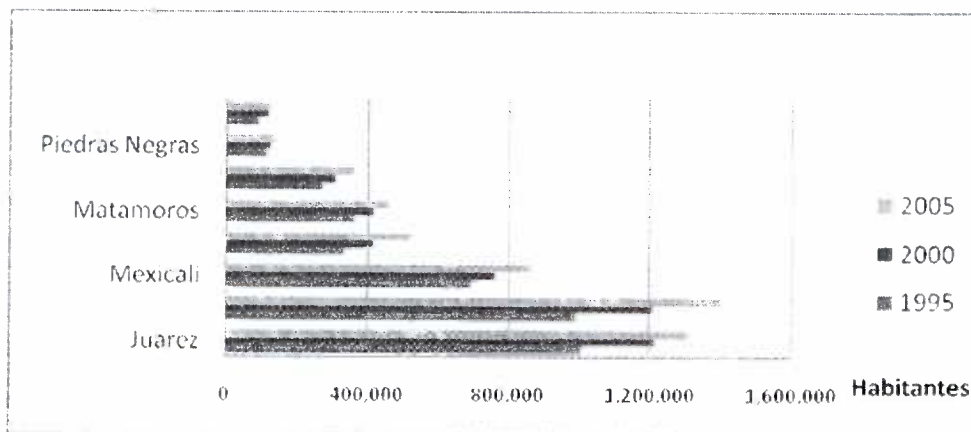
Fuente: Santiago y Chávez, "Expansión física y colonias populares" y ZOET 2008

### 3.4 Demografía de Ciudad Juárez

La población de residentes y migrantes en el municipio han contribuido y contribuyen al crecimiento y el desarrollo de la región.

El municipio de Juárez es de las ciudades fronterizas con más número de habitantes, seguido por Tijuana hasta el año 2000 era el asentamiento más grande y uno de los centros urbanos más grandes de México; la relevancia de esta dinámica tiene lugar a sucesos históricos; su condición fronteriza y localización geográfica hace que Ciudad Juárez exista un escenario de alta movilidad poblacional tanto nacional e internacional.

Figura 3.9 Grafica del crecimiento poblacional de las ciudades fronterizas del norte de México.



Fuente: INEGI. Elaboración propia.

En Ciudad Juárez el incremento poblacional de los años 50 a finales del siglo, ha sido del 1000%, siendo casi 3 veces mayor que el crecimiento del estado de Chihuahua y sigue siendo el más relevante.

En 1950 la población de Ciudad Juárez ocupaba el 15.51% de Chihuahua, y este mismo estado ocupaba el 3.28% con respecto a la república mexicana; para el 2005 la población de Ciudad Juárez ocupaba el 40.51% de su estado, mientras que Chihuahua el 3.13% de México, no habiendo un cambio significativo en Chihuahua pero si en Ciudad Juárez.



Figura 3.10. Cuadro de Evolución de la población: Chihuahua y Juárez en los años censales, 1950-2005

Año	México	Chihuahua	Juárez
1950	25779254	846414	131308
1960	34923129	1226793	276995
1970	48225238	1612525	424135
1980	66846833	2005477	567365
1990	81249645	2441873	797679
2000	97361711	3047867	1217818
2005	103263388	3241444	1313338

Fuente: CONAPO, *La población de México 1950-1990*; XIII Censo General de Población y Vivienda, 2000, y II Censo Nacional de Población y Vivienda, 2005. Elaboración: ZOET 2008.

Son varios los factores que influyeron en el proceso demográfico. La Región Paso del Norte (Ciudad Juárez y El Paso) tienen como principal antecedente un centro poblacional relacionado con actividades agrícolas que dependían de la ribera del Río Bravo; posteriormente se convirtió en un lugar importante para los viajeros que cruzaban la zona con destino hacia el norte, de allí surge el nombre de El Paso del Norte (González, 2002).

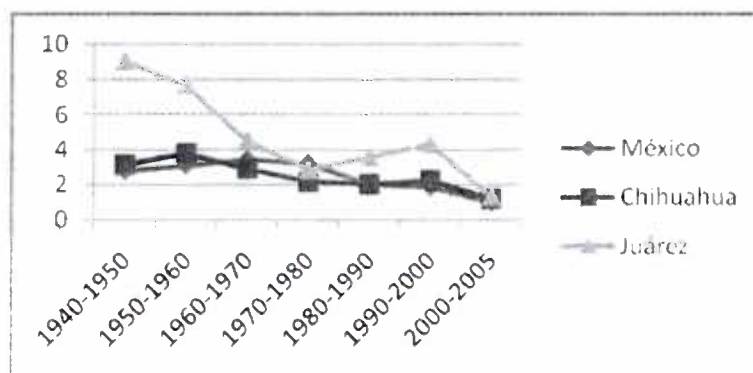
Las concesiones fiscales que se han concedido a este tipo de zonas a través del tiempo permitieron, primero, la posibilidad de tener acceso al mercado de bienes y servicios en territorio norteamericano, durante el primer tercio del siglo pasado, cuando los canales de distribución y comercialización en territorio mexicano no eran eficientes o bien no existía la infraestructura de transporte y distribución adecuada, sobre todo para una región como ésta, alejada de las principales zona de producción nacional de ese tiempo. La reivindicación de la zona libre permitió la entrada, en la segunda mitad de los años sesenta, de las actividades manufactureras relacionadas con la industria maquiladora, como parte del proceso de internacionalización de procesos productivos que las grandes empresas empezaron a llevar a cabo desde mediados de los sesenta. Este hecho significó un hecho importante a nivel económico en el municipio, convirtiéndolo en los años posteriores, en uno de los destinos más solicitados por esas empresas (ZOET 2008).

Los empleos generados por la actividad maquiladora, conjuntamente con los efectos multiplicadores sobre el resto del mercado laboral de Juárez, significaron el comienzo de una etapa de crecimiento demográfico mucho más relacionada con migraciones internas.

Este escenario significó un cambio extremo con respecto a lo que había acontecido en los años de un sobresaliente crecimiento poblacional y que comenzaron en 1940 hasta finales de los sesenta.

Un indicador del precipitado crecimiento demográfico de ciudad Juárez son las tasas de crecimiento de la población, que han tenido niveles altos, prácticamente desde la década de los cuarenta. Durante casi todos los periodos inter-censales las tasas de crecimiento promedio anuales que tuvieron lugar en Ciudad Juárez estuvieron por encima de los niveles alcanzados en las escalas nacional y estatal. Inclusive en los años de mayor crecimiento poblacional (1940 a 1980), en donde saltaron las alarmas con respecto al espiral de crecimiento demográfico en que se encontraba el país, las tasas que tuvieron lugar en Juárez son sumamente, por encima del 9 por ciento anual en la década de los cuarenta y cerca de 8 por ciento en el decenio siguiente. La única excepción de todo ese periodo fueron los años setenta, en el que algunos autores, como Zenteno y Cruz (1988) argumentan que sucedió una importante salida de personas, tanto en Juárez como en los principales municipios fronterizos, con destino a Estados Unidos, efecto que fue el más sobresaliente, considerando los niveles de crecimiento de las décadas anteriores.

Figura 3.11 Grafica de las tasas de crecimiento poblacional promedio anual por periodos inter-censales en México, Chihuahua y Juárez, 1940-2005



Fuente: ZOET 2008, con datos de CONAPO, *La población de México 1950-1990*; XIII Censo General de Población y Vivienda, 2000, y II Censo Nacional de Población y Vivienda, 2005.

El efecto mencionado de la generación de fuentes de trabajo en los veinte años que van de 1980 a 2000 implicó un cambio de ritmo en las tasas de crecimiento demográfico con

respecto a la década anterior, mismas que fueron considerablemente más altas que lo acontecido en el propio estado de Chihuahua y en el país. Asimismo, en este periodo no se alcanzaron los niveles extraordinarios de crecimiento en los cuarenta y cincuenta, pero las tasas de Juárez implicaron la más alta adición en términos de la cantidad de personas, pues tan sólo en la década de los noventa fue del orden de 450 mil habitantes adicionales (Rubio, 2006). Sin duda, los flujos migratorios fueron la principal variable demográfica que incidió sobre este proceso.

Los primeros años del presente siglo dieron un cambio importante a la dinámica de crecimiento poblacional que Juárez había sufrido en los 20 años anteriores. En efecto, la producción de la industria maquiladora, principal generadora de empleo en la ciudad, depende en gran medida de la capacidad de compra de la población estadounidense, de tal manera que cuando se presentan casos de baja en la capacidad de consumo impactan de manera directa sobre esta actividad esencial en el municipio. De tal forma que la tasa de crecimiento poblacional promedio anual en el lustro 2000-05 bajo casi tres veces con respecto a lo acontecido la década pasada, descendiendo desde un nivel de 4.34% a solamente 1.3%.

Como resultado del nivel de crecimiento, las proyecciones de población que se habían elaborado con los resultados del censo de población de 2000 fueron corregidas y reelaboradas, de tal forma que para el año 2006 se presentaban resultados con base en lo acontecido en el primer lustro del presente siglo, como ya se vio la tasa de crecimiento promedio anual se redujo considerablemente. De cualquier manera, lo acontecido entre 2000 y 2005 es un reflejo de los cambios que puede experimentar Juárez, mientras siga siendo un municipio con una alta dependencia de su proceder económico con los cambios en la economía estadounidense.

#### 3.4.1 Inmigración.

La característica más sobresaliente del acontecer demográfico del municipio de Juárez, pero en particular de la ciudad, tiene que ver con el importante rol que juega la atracción de flujos migratorios. Es imposible referirse a la historia sociodemográfica y socioeconómica de la ciudad sin hacer mención de los migrantes que han llegado en los últimos 70 años. Ya

sea porque algunos de ellos se quedaron a residir en ella cuando se encontraban en tránsito hacia Estados Unidos, tanto de ida como de regreso.

A nivel nacional, Ciudad Juárez ha sido uno de los municipios de mayor atracción migratoria. Ello quiere decir que el saldo migratorio (inmigrantes-emigrantes) tiene desde hace varios años un signo positivo. De hecho este municipio, al igual que sucede en varios de los que se localizan en la frontera con Estados Unidos, están catalogados como de alta atracción migratoria. En este sentido la proporción de habitantes que viven en Juárez y nacidos en otra entidad federativa con los datos del censo de población de 2000 fue de 36 por ciento, proporción que representa un promedio por encima de los principales municipios con localidades urbanas en el país.

Sin embargo, los datos del conteo de población mostraron que la capacidad de atracción residente (CAR) de Juárez se vio fuertemente disminuida entre 2000 y 2005, de tal manera que de casi un 12 por ciento en el periodo anterior se pasó a únicamente un 3.5 por ciento. No obstante el municipio de Juárez siguió acumulando la mayor cantidad de inmigrantes llegados al estado de Chihuahua, pues en este periodo el porcentaje alcanzado fue del orden del 69 por ciento.

#### 3.4.2 Indicadores relativos sobre la población

Las diferencias en los ritmos de crecimiento del municipio con respecto al país y al estado han propiciado que, con el del tiempo, ciudad Juárez vaya concentrando una cantidad cada vez mayor de habitante. En cuanto al país, los cincuenta años transcurridos entre 1950 y 2005 muestran que de apenas se concentro el 0.51 por ciento de la población nacional y se paso a 1.27 por ciento. La dimensión de los dos indicadores puede reducir el explosivo incremento que estas proporciones representan, sin embargo comparando dicha evolución con la inmensa mayoría de los municipios del país, difícilmente se pueden encontrar escenarios similares. Algunos de los casos en que este proceso pudiera tener un patrón semejante, con sus propias particularidades, son municipios de la frontera norte, como Tijuana y Mexicali y desde luego las tres grandes metrópolis del país: Guadalajara, Monterrey y la ciudad de México.

El peso del crecimiento dentro del municipio ha recaído, desde siempre, en: Ciudad Juárez. La última columna del cuadro 5 muestra que prácticamente el total de la población se ha asentado en el municipio.

Esta misma escena otorga un carácter urbano a la concentración poblacional del municipio, considerando el total de localidades que le constituyen. Es decir, el porcentaje de población ubicado en localidades rurales o no urbanas es minúsculo. Incluso en el transcurso de la historia del municipio, el crecimiento de la mancha urbana ha alcanzado poblados que anteriormente eran consideradas localidades con su propio contorno espacial, tal es el caso de Zaragoza y otros pueblos de la zona del Valle de Juárez.

Los datos del cuadro 6 muestran los rasgos de este proceso. Por un lado la densidad poblacional del municipio evoluciono de un incipiente indicador de 27 habitantes por kilómetro cuadrado a 272 en los inicios del presente siglo.

Tomando en cuenta el hecho de que prácticamente el total de la población se concentra en Ciudad Juárez, se construyó un indicador en el que se mostrara la densidad poblacional con respecto al área que limita el contorno espacial de esta localidad. En este sentido, los casi 2000 habitantes promedio asentados por kilómetro cuadrado a la mitad del siglo pasado, aumentaron alrededor de tres en los últimos años, de tal forma que actualmente se concentran cerca de 6000 habitante. Todo a pesar de que dentro de la ciudad es posible identificar grandes espacios de terreno sin habitar. Algunos de ellos se ubican, inclusive, a un costado de las principales calles y avenidas, en donde se concentra buena parte del comercio y servicios de la ciudad. La información sobre del área urbana que alcanza este tipo de terrenos abarca el 13.8 por ciento del total del espacio urbano en 2004 (Colef e IMIP, 2005).

### 3.5 Desarrollo Económico

La economía que rige en las ciudades es la economía de mercado. Los sueldos y salarios, en general que son regulados por convenios, a mediano y largo plazo se encuentran sujetos a las reglas del mercado. Lo mismo sucede con los bienes y servicios necesarios para la vida urbana.

No obstante, la economía de mercado no siempre conduce a una asignación eficiente de recursos en la provisión de servicios públicos. Para la determinación óptima de las inversiones públicas es necesario realizar un análisis beneficio-costos y una priorización desde el punto de vista social y teniendo en cuenta las externalidades, tendiendo a lograr un equilibrio entre las economías de la aglomeración y las deseconomías producidas por este mismo agrupamiento. Por ejemplo las inversiones en saneamiento básico (agua potable y desagües cloacales) no deben ser evaluadas a partir de la capacidad de pago de los usuarios, sino de los beneficios producidos por menores tasas de mortalidad y morbilidad, lo que mejora la eficiencia productiva de la población, generando mayores ingresos y mejor calidad de vida. Esto puede llevar a la conveniencia de aplicación de subsidios directos y a veces de subsidios cruzados<sup>3</sup>.

El proceso de industrialización y la concentración de inversiones a causa de especialización del trabajo y del aprovechamiento de las economías de escala generan el proceso de urbanización. Las actividades que se desarrollan en el núcleo urbano generan puestos de trabajo que son primeramente ocupados por los habitantes naturales pero también atraen a personas de afuera que buscan mejores condiciones de vida, generándose un ciclo que lleva al crecimiento sostenido de la población. Esta población demanda servicios públicos, que a su vez requieren de rentas que deben ser aportadas por los habitantes, generándose otro ciclo, que es el de la provisión de servicios y la administración de las rentas públicas.

### 3.5.1. Antecedentes del crecimiento económico de Ciudad Juárez

Su desarrollo económico nace en el periodo colonial español, Paso del Norte fue un clásico asentamiento de entrada. Unía las áreas de ranchos y granjas de la parte alta del Río Grande con lo que hoy es el territorio de Nuevo México así como con las áreas mineras y administrativas del norte y centro de México a la vía sur de Chihuahua. Particularmente no se trataba de un asentamiento próspero, no obstante, estaba estratégicamente ubicado beneficiando al comercio y era capaz de sostener la agricultura con irrigación del Río Grande. Los primeros elementos del cambio de la estructura económica de la zona, de las

---

<sup>3</sup> Existen subsidios cruzados cuando, por ejemplo, un sector de usuarios de medios y altos ingresos paga tarifas más elevadas para que los sectores de bajos ingresos puedan disponer del servicio de acuerdo a su capacidad de pago.

actividades primarias hacia la diversificación de la economía, es la primera declaratoria de zona libre en 1885 que, junto a la construcción de las vías del ferrocarril, provocó un impulso importante a la actividad comercial en Ciudad Juárez. Para 1891 las tensiones ocurridas provocan el cierre y la necesidad de generar actividades económicas que movieran la economía local (Ampudia, 2006). La ideal fue el desarrollo de las actividades turísticas, impulsadas durante la época de la prohibición en Estados Unidos, que para los años treinta lograron que la economía girara en torno a la compra de los turistas en restaurantes, casinos, cantinas y el hipódromo (Ampudia, 2006).

Para mediados de 1940 las principales fuentes de trabajo estaban asociadas a la agricultura, el pequeño comercio y el turismo. Las zonas ocupadas por aglomeraciones urbanas se habían asentado en los bordes del centro comercial y eran principalmente habitadas por trabajadores, quienes habían pagado precios simbólicos al municipio por los predios en donde habían construido sus viviendas. Las clases medias y altas residían sobre las avenidas principales y en caseríos localizados en la extensa zona agrícola, situada en el oriente y suroriente de la ciudad.

La entrada de los Estados Unidos en la segunda guerra mundial impulsó la necesidad de mano de obra de trabajadores mexicanos lo que generó un importante flujo de migrantes. Dando lugar en 1942, el Programa Bracero que permitía la contratación temporal de trabajadores agrícolas mexicanos con el compromiso de regresar a México una vez terminado el programa.

En 1951 se aprobó la Ley Pública 78, debido a la fuerte demanda de mano de obra. Con esto se pretendía controlar la inmigración de trabajadores agrícolas a territorio estadounidense (Santiago 2007).

Para 1964, al finalizar el Programa Bracero, se contabilizó la participación de más de 4.5 millones de mexicanos (Bustamante, 1975) que al regresar a México muchos se establecieron en la frontera movidos por la esperanza de regresar a trabajar a Estados Unidos en la primera oportunidad o porque sus familiares se habían establecido en la frontera por la cercanía que representaba a las familias involucradas en el programa. Este, y otros factores, generaron las altas tasas de crecimiento de la población en las ciudades

fronterizas desde 1940.

En 1961, con la creación del Programa Nacional Fronterizo (PRONAF), se generó un crecimiento de las actividades comerciales y turísticas en virtud del impulso al desarrollo de infraestructura, de centros comerciales y a la intención de generar alternativas de empleo para los residentes fronterizos (Martínez, 2006). Sin embargo, el propósito de integrar la economía de las ciudades fronterizas a la economía mexicana, enfrentó algunas dificultades en especial Ciudad Juárez, pues representaba un reto al abastecimiento de productos nacionales por su lejanía de los centros productores.

A mediados de los 60's, el desempleo de las ciudades fronterizas fue la principal fuente de preocupación gubernamental. Con el objetivo de abatirlo, en 1965 se aprobó el PIF que permitía la instalación de plantas maquiladoras en las ciudades fronterizas y otorgaba excepciones fiscales al pago de impuestos de las materias primas importadas para los productos de exportación y a la importación de la maquinaria necesaria (Quijada, 2006). Durante su desarrollo, el decreto ha tenido modificaciones importantes como la eliminación de las restricciones a la entrada de los productos a la economía nacional o las zonas donde se permite la instalación de plantas. En su evolución, se reconoce una alta dependencia con los ciclos económicos en Estados Unidos (Fuentes, 1993) y en las devaluaciones del peso mexicano, la primera con una asociación directa y la segunda relacionada de manera inversa.

Durante el siglo XIX la economía de Ciudad Juárez estaba basada en producción agrícola de trigo, vid, frijol, maíz y ciruela, desde 1923 la producción de algodón cultivado en el Valle de Juárez alcanzó gran calidad hasta los años 1960, en parte por la caída del precio del algodón y debido al fin del Programa Bracero, un programa que se instituyó durante la Segunda Guerra Mundial con la intención que los extranjeros afines a la política de Estados Unidos suplieran los brazos de los ciudadanos estadounidenses que partieron al frente de guerra, cosa que permitió que trabajadores agrícolas mexicanos encontraran trabajo agrícola temporal en los Estados Unidos. El final de este programa en 1964 aumentó el índice de desempleo en la región fronteriza. El gobierno de México creó un programa de apertura a la industria maquiladora para aliviar este problema y desde entonces se convirtió en la principal base de la economía de Juárez.



A lo largo de la historia, la economía de Juárez ha transitado por diferentes actividades productivas. En el siglo XVII, durante la colonia, fue parte del sistema de misiones del norte del país, basando su economía en la agricultura. Posteriormente, a fines del siglo XIX la declaratoria de zona libre junto a la existencia de las vías del ferrocarril generó un impulso importante a la actividad comercial. A principios del siglo XX, la construcción de las presas Elefante y Caballo en Nuevo México, para el control de las avenidas del Río Bravo, disminuyó la cantidad de agua en las zonas agrícolas y las nuevas demandas comerciales de productos como el algodón modificó totalmente los patrones de cultivo, de esta forma, de ser una región vitivinícola y de siembra de productos de autoconsumo pasó a producir algodón y forrajes.

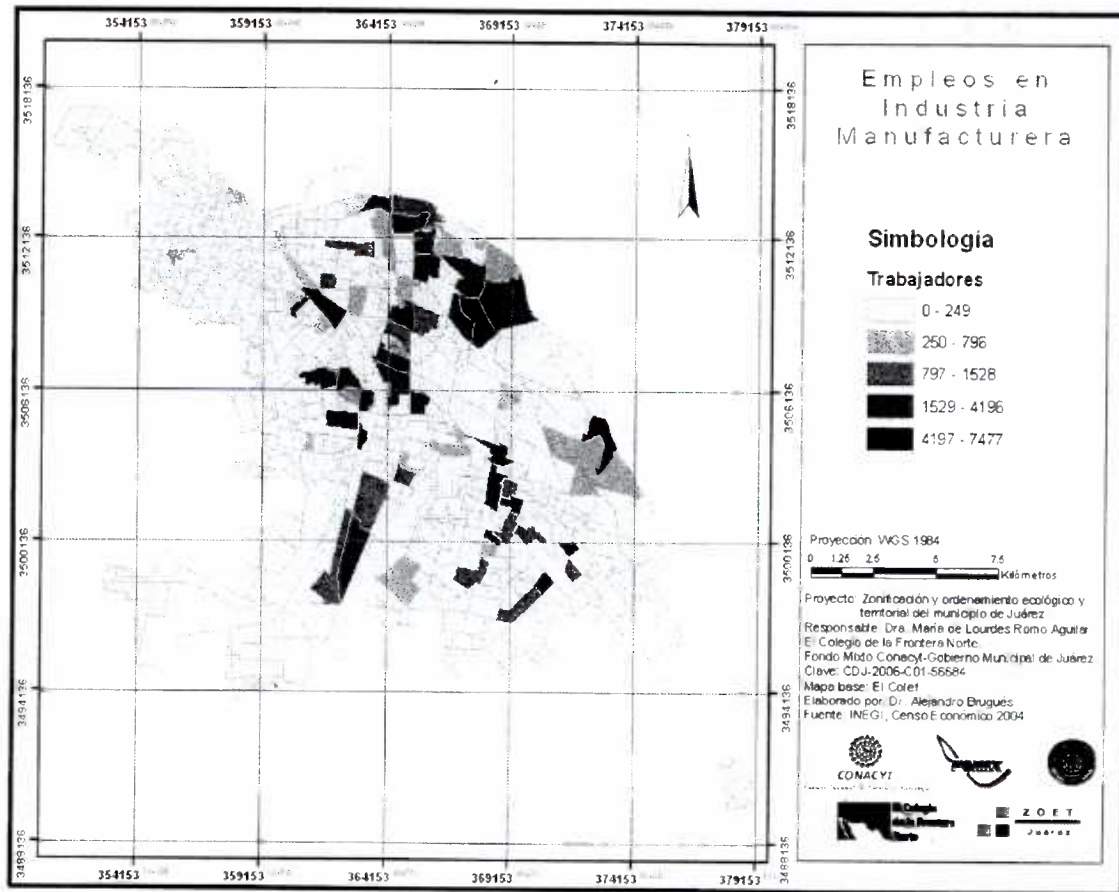
Posteriormente, la política de prohibición en Estados Unidos beneficio las actividades turísticas en Ciudad Juárez en los años 30's. Más tarde, para los 60's los programas económicos como el de Programa Nacional Fronterizo (PRONAF) apoyaron las actividades comerciales y turísticas. No obstante, el Programa Industrial Fronterizo (PIF), influyó totalmente en el cambio de la base productiva al iniciar el proceso de industrialización del municipio.

### 3.5.2 Densidad de empleo

Los espacios con la mayor jerarquía urbana corresponden a altos niveles de empleos, esto quiere decir que la densidad de empleo sigue un patrón de centralidad urbana. En forma general, la localización física de los niveles de densidad de empleo define un esquema en donde los valores disminuyen a mayores distancias del centro principal. Los empleos industriales en Ciudad Juárez se concentran principalmente en las zonas industriales. El aumento del empleo en este sector de la producción, y por ende la concentración de los espacios industriales, los convierte en elementos importantes en la estructura urbana de la ciudad. Su manifestación como uno de los principales elementos que influyen en la estructura urbana es notoria a partir del incremento de este tipo de empleo. Antes de la década de los setenta, la actividad principal en Ciudad Juárez era la agrícola y la de servicios; los empleos industriales eran escasos y su ubicación principalmente era hacia el sur, cercanos a las vías del ferrocarril, pues era industria pesada como madereras o se reducían a bodegas, ya que el intercambio comercial con Estados Unidos se hacía

principalmente por este medio de transporte. La instalación del Parque Industrial Bermúdez cambió el patrón de ocupación de la industria en la ciudad, alcanzando la importancia que representa ahora (ZOET 2008), véase (Figura 3.12).

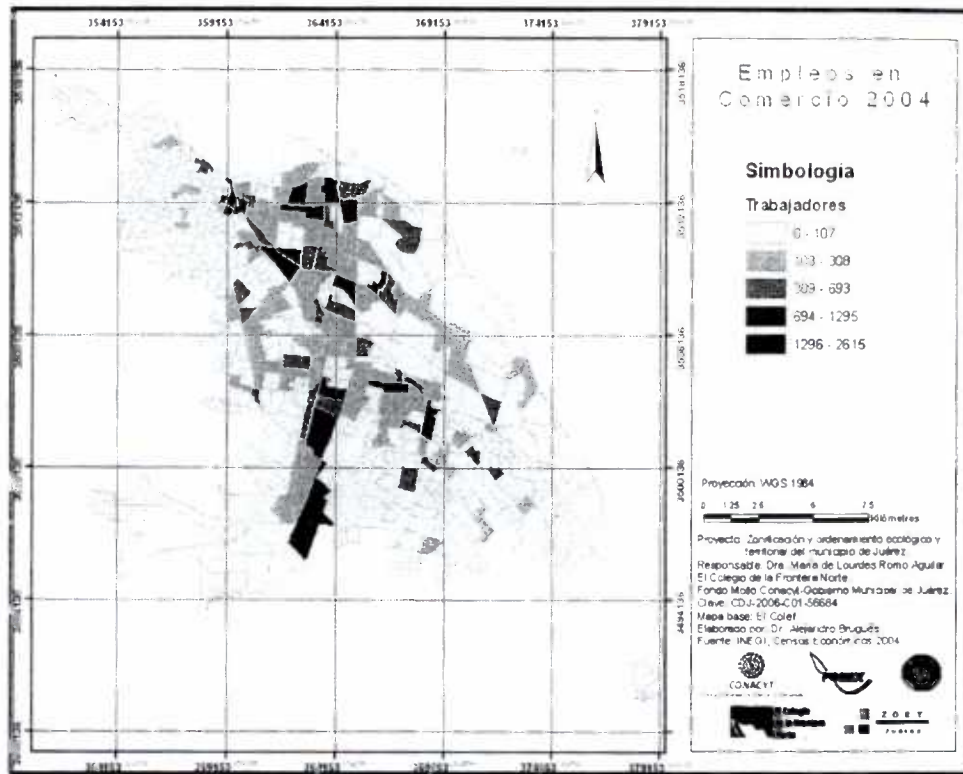
Figura 3.12 Mapa de la densidad de empleos en manufacturas



Fuente: ZOET a partir de INEG, 2004.

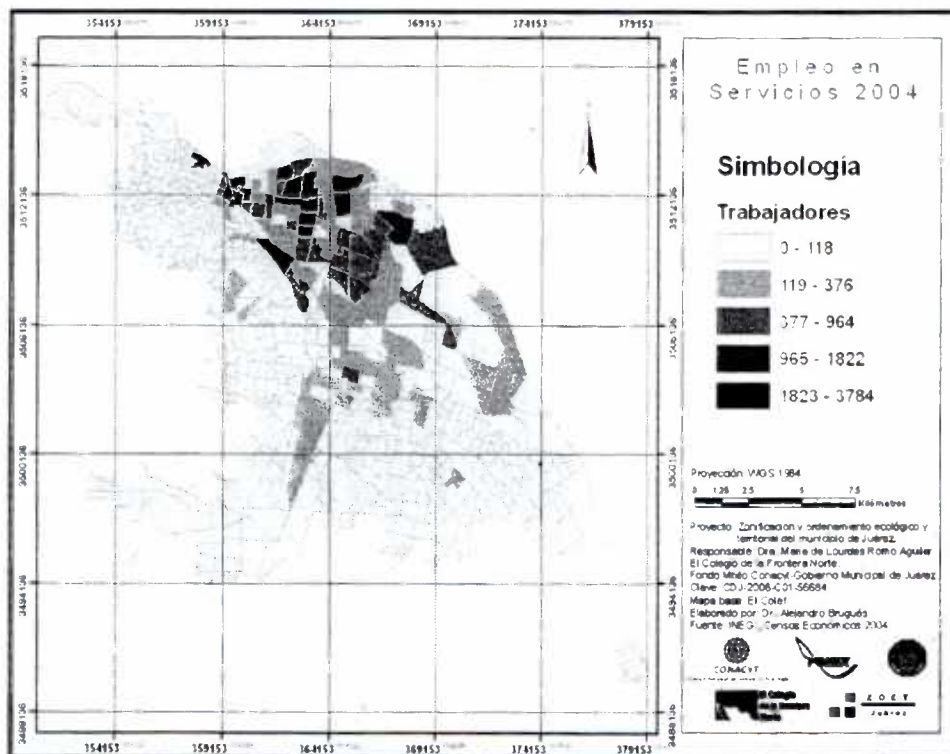
La densidad de empleo en el comercio y los servicios, esta concentración de comercios coincide con los subcentros urbanos como son el centro de la ciudad y parte del PRONAF, y coincide principalmente con las vialidades principales como las avenidas 16 de septiembre, Tecnológico, Casas Grandes, Oscar Flores, Henequén, de las Torres (entre Santiago Blancas y Jilotepec) y de los Aztecas véase (Figura 3.13). Sin embargo en el caso de los servicios se ubica principalmente en la parte norte de la ciudad, en el área de influencia del centro, del PRONAF, de los parques industriales Omega y Bermúdez, y en menor proporción sobre las avenidas Tecnológico, Casas Grandes y Oscar Flores (ZOET 2008) (Figura 3.14).

Figura 3.13 Mapa de la densidad de empleos en comercio



Fuente: ZOET a partir de INEGI, 2004.

Figura 3.14 Mapa de la densidad de empleos en servicios



Fuente: ZOET a partir de INEGI, 2004.

### 3.5.3 Economía actual

Los índices de la actividad productiva y la cantidad de personas ocupadas en cada sector sirven para conocer los grados de especialización económica de los municipios. Dicho grado puede ser comparable con otras referencias espaciales como el estado, la región y el país. Es importante destacar que la información que estos censos económicos registran se refiere, ante todo, a las unidades económicas formales. En otras palabras no se encuentran incluidas las unidades económicas ni la población ocupada y que pertenece a la economía informal. De tal manera que los índices y los grados de especialización son un reflejo de información captada en unidades económicas registradas. Asimismo, los censos económicos no incluyen las actividades relacionadas con el funcionamiento de los distintos gobiernos, incluyendo a los que tienen que ver con los servicios educativos de carácter público.

Los resultados de los índices de especialización tanto económica como ocupacional muestran las actividades o la actividad esencial para el desenvolvimiento productivo del municipio y que se separa o se aleja de lo que sucede en el total del país. La única actividad económica que se puede definir como especialidad del municipio de Juárez es la industria manufacturera. La especialización económica y ocupacional en este sector permite constatar que en este municipio es la actividad económica primordial. En este escenario, las actividades relacionadas con la industria maquiladora son esenciales en el perfil. Del resto de actividades, la única que se acerca a la unidad son los servicios turísticos que en el caso de Juárez se reducen a la oferta hotelera y de restaurantes; no obstante, en términos de especialización ocupacional, el índice es relativamente bajo. Las actividades agropecuarias y extractivas están prácticamente ausentes o tienen muy poco peso en la economía del municipio.

Hoy en día, de acuerdo a los censos económicos del 2004, el municipio concentra la el 50% de la economía del Estado de Chihuahua, no obstante esta disminuyo, pues en el 1998 era del 60%. La dependencia de los ciclos económicos de EEUU afecta directamente las condiciones económicas del mercado industrial, pues estas no dependen de decisiones locales sino de las estrategias de los corporativos industriales internacionales (Fuentes, 1993). Por ejemplo, en el periodo entre 1998 al 2003, el nivel de ocupados en el municipio disminuyó de poco más de 375 mil a casi 359 mil contrastando con un contexto nacional que alcanzó un crecimiento del

17% y de 7% en el estado.

En el crecimiento de las Remuneraciones y el Valor Agregado, el comportamiento del municipio tuvo un crecimiento inferior a la media nacional y también contrario al contexto estatal que crece por encima de la media nacional, implicando un contexto desfavorable para Juárez.

Juárez ha alcanzado un grado de especialización, dentro de la economía como la capacidad de exportación, lo que permite que por cada empleo relacionado a las exportaciones, el empleo local de la economía se incremente en 1.26 empleos. De acuerdo al cociente de localización, los sectores catalogados como exportadores destacan por la magnitud del mismo los industriales como los de fabricación de equipo eléctrico, maquinaria y equipo, plástico, metálicos, y textiles, pero también destacan algunos sectores como los de acceso a Internet y servicios de información, y el autotransporte de carga, relacionados ambos como servicios productivos con el resto de las actividades económicas, también el comercio al por menor relacionado con la población y las edificaciones que pueden ser relacionadas tanto a la actividad económica como a la población.

Por otro lado, la actividad agrícola ha disminuido drásticamente en la economía local, debido en gran medida a la disminución del mercado, a las restricciones de cultivos por las condiciones de salinidad del agua y suelo, además tiene graves problemas de calidad y cantidad del agua, así como al crecimiento de las actividades industriales y de servicios que ocupan el 94% de la población económicamente activa. No obstante, existe en la región una inercia de conservar las actividades que por más de tres siglos han permanecido en la región.

Los datos del el censo del 2000 muestra que la principal fuente de empleo en el municipio es el sector secundario con 53.13% de la población ocupada, 42.48% en el sector de servicios y comercio y apenas 0.57% en el sector primario.

Los datos más recientes de la Encuesta Nacional de Empleo Urbano (ENEU) muestran como para el 2002 la principal fuente de empleo en Ciudad Juárez era la Industria de la Transformación al integrar casi al 40% de los ocupados, siendo este sector altamente industria bajo el programa maquilador, le sigue en importancia el sector de los Servicios con casi 30%

de los ocupados, después el Comercio con poco más del 17%. El resto de los sectores donde se agregan el restante 14% se distribuye de la siguiente manera: 3.9% a transportes y comunicaciones, 3.6% a los ocupados en Estados Unidos, 3% a la construcción, 2.4% a los ocupados en el sector Gobierno, a la industria extractiva le corresponde solo 0.6% y finalmente con 0.3% se presentan las actividades primarias.

En cuanto a las fuentes de la dinámica económica del municipio, considerando los niveles de empleo, el sector que arrastra a la economía local es la Industria de la Transformación, destacando la industria maquiladora con destino superior de sus productos a los mercados de exportación lo cual es un hecho considerado positivo basado en la teoría de la base exportadora que define a los sectores asociados a la exportación como fuentes clave para el crecimiento de las regiones. Adicionalmente, se debe considerar también que los sectores de comercio y servicios también se consideran como generadores de exportaciones, aunque en este caso las prácticas de la contabilidad nacional se registran a partir de las transferencias entre los residentes y los no residentes del ámbito geográfico de referencia, y en este sentido se rebasa la visión tradicional de la necesidad de la existencia de un bien físico que al cruzar la frontera, se transforma en exportaciones al considerar que el traslado en este tipo de sectores es del consumidor y las exportaciones son las transferencias por el consumo del bien comercializado o del servicio recibido.

### 3.6 Usos del suelo

#### 3.6.1 Datos históricos del uso del suelo

Como se menciona anteriormente la presencia de alta densidad de residencia fue hasta el siglo diecinueve, debido a la división de seis lotes de menos de 627.10 m<sup>2</sup>. Sin ninguna restricción en el uso del suelo, los dueños de las propiedades frecuentemente vendían porciones de sus lotes a sus familiares y amigos (Valencia 1969:64-69). Los lotes individuales se convirtieron rápidamente en fragmentos, lo que dio como resultado una alta densidad de residencias Arreola y Curtis (1993)

Para los cuarenta, en el que la ciudad era menos de cincuenta mil habitantes, las principales fuentes de trabajo estaban asociadas a la agricultura, el pequeño comercio y el turismo. Las

zonas ocupadas por aglomeraciones urbanas se habían asentado en los bordes del centro comercial y eran principalmente habitadas por trabajadores, quienes habían pagado precios simbólicos al municipio por los predios en donde habían construido sus viviendas. Las clases medias y altas residían sobre las avenidas principales y en caseríos localizados en la extensa zona agrícola, situada en el oriente y suroriente de la ciudad. Aunque las autoridades municipales, cumplieron la facilidad al acceso de predios donde se fundaron las primeras colonias populares, su papel como promotor, constructor o en el financiamiento era inexistente. Algo muy semejante ocurría con los promotores privados que seguramente limitaban sus operaciones a tratos con las clases medias y altas. Se trata también de una etapa en que se ocupan zonas planas, cuyo costo de oportunidad en términos de su potencial agrícola -en especial al poniente de las vías- era relativamente bajo. (Santiago y Chávez 1996).

Para la segunda Guerra mundial y primeros quince años de la Posguerra, la ciudad sufre una expansión física y su espacio físico llega a ocupar casi dos mil hectáreas, los asentamientos dentro de la mancha urbana son mucho más variados, en el poniente siguen predominando los que adquieren el suelo a precios muy bajos, pero empieza a perfilarse otra vía para adquirir predios urbanos en las zonas marginales, alejada del mercado y estrechamente ligada a las nuevas oportunidades que ofrecen las disputas políticas. Bajo el auge de las construcciones de todo tipo incluidas las de equipamiento, infraestructura y edificaciones comerciales e industriales, emergen los negocios asociados a todo el ciclo constructivo, que arranca con el fraccionamiento y cierra con la comercialización de viviendas y edificios. Este proceso no sólo pasa por las manos de la empresa, también deja un lugar al estado que empieza a figurar como un actor de mediana importancia. En razón de esta segregación del espacio la ciudad se divide: el oriente para los trabajadores establecidos y para las clases medias y altas; el poniente para los que no se han acomodado en el mercado laboral y para los recién llegados. Ecológicamente la división se acentúa, los nuevos asentamientos del poniente se levantarán en zonas agrestes, sobre picos, cuestras, barrancos y arroyos, todos estos espacios sin cubierta vegetal; mientras en el oriente los negocios y las residencias del otro segmento de la población empezarán a pujar por los espacios más dignos, por las legendarias zonas de cultivo, ubicadas en terrenos planos, donde el auge suele ser abundante, después de que el Valle de Juárez se había alzado como una barrera infranqueable para el desarrollo de nuevos fraccionamientos hacia el oriente, a fines de este periodo, la nueva orientación económica de la ciudad,

determine la caída de la vieja barrera natural y el arranque de una acelerada ocupación de las antiguas zonas agrícolas (Santiago y Chávez 1996).

Para los años sesenta en la sección sur grandes extensiones, propiedad de los principales terratenientes urbanos, localizados en "La Cuesta", sin contar con los servicios básicos, son fraccionadas y vendidas a familias de escasos recursos, en lo que representa la consolidación del primer mercado del suelo orientado a la población de bajos ingresos. Otro hecho importante es que estos desarrollos residenciales no han abierto nuevas zonas a la expansión urbana, como ocurrió en los sesenta, la tendencia dominante nos muestra que están erigiéndose sobre los baldíos que todavía abundan en Ciudad Juárez. Las invasiones del Comité de Defensa Popular su actividad los llevo a levantar alrededor de 30 colonias, invadiendo algunos cientos de hectáreas, muchos de ellas al lado de los nuevos desarrollos de vivienda pública. En el interior de este sector de la ciudad. ocurren las primeras filtraciones. Al lado de las zonas residenciales se crean zonas habitacionales para los gremios de trabajadores más favorecidos, inscritas en los programas de vivienda públicos. En el año 1972 con la creación del INFONAVIT, se crean proyectos de vivienda, que ahora estarán dirigidos a los empleados de la maquila, quienes, por su cuenta, ya constituyen la rama más robusta de la población trabajadora. Junto al INFONAVIT también florecen los desarrollos residenciales para trabajadores del Estado, situándose, como en la etapa previa, en los márgenes de los fraccionamientos privados. En cuanto a los últimos su localización no desbordará la fronteras establecidas a principios de los setenta en el extremo oriente de Ciudad Juárez, en su mayoría se levantarán sobre los grandes baldíos, producto de una ocupación original del suelo demasiado discontinua. En este período se introduce la Ley General de Asentamientos Humanos, 1976 que pretende regular el comportamiento de los mercados urbanos del suelo, y aunque sus alcances fueron limitados, sirvió de base a la creación de la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas en 1977 y a la institucionalización de la planeación urbana en todo el país (1978). En tales condiciones, apoyándose en la renovada legislación, las sucesivas administraciones estatales y municipales junto con la federación alentada través proyectos de urbanización en gran escala y programas de distinta índole como "pies de casa", viviendas acabadas de interés social y unidades habitacionales en condominio, una rápida ocupación del sur, mediante desarrollos privados como el Fraccionamiento Oasis Revolución; y del suroriente con proyectos públicos como el Fraccionamiento Eréndira, las diferentes



etapas del Infonavit Aeropuerto; y otros, entre los que sobresalen el Héroes de la Revolución, las diversas ediciones de los Morelos y, Torres del PRI. Lo novedoso de esta nueva orientación es que se trata de un proceso de ocupación del suelo dirigido por el Estado, en buena medida compatible con las políticas de crecimiento vigentes; que, además, presenta otros rasgos distintivos, entre los que se pueden contar: la ocupación continua de una área muy vasta en una zona reservada a este tipo de asentamientos, la respuesta a veces exagerada para atender sus requerimientos emergentes de servicios e infraestructura; y la convergencia de diversos tipos de acciones habitacionales para asistir y apoyar la consolidación de los nuevos asentamientos. La magnitud de esta nueva dirección del crecimiento de la ciudad, inducida desde arriba, por primera vez ha provocado un reacomodo interno de los asentamientos, pues a estas nuevas colonias se ha trasladado un número muy significativo de familias que antiguamente habitaban en el poniente o en las colonias populares, aledañas al viejo centro comercial de la ciudad. En cuanto a la ocupación del suelo por los grandes desarrolladores privados, a pesar de la poca comercialización de los bienes inmuebles, la multiplicación de los polos comerciales y laborales dentro de la ciudad. Ha provocado que los fraccionamientos privados se han multiplicado, pero a la vez han disminuido su escala de operaciones se trata de los nuevos desarrollos residenciales que abundan, pero se limitan a la edificación de un número muy reducido de viviendas que difícilmente rebasan los 150 metros de construcción y donde las unidades en condominio elevan su importancia (Santiago y Chávez 1996). Debido a estos acontecimientos el suelo urbano tuvo una dirección desordenada y expansiva.

### 3.6.2 Usos del suelo urbano

Para 1995 los usos residenciales consumen aproximadamente el 44% o alrededor de 8416 hectáreas, los usos industriales sólo el 6% para un total de 1209 hectáreas, el comercio y servicios 1075 hectáreas (5,7%), uso mixto 617 hectáreas (3,3%). Abrir espacios de 446 hectáreas (2,4%), caminos internos de 4785 hectáreas (25,5%) y suelo urbano vacante 2219 hectáreas (11,9%). Usos residenciales y carreteras, que están intrínsecamente relacionados, representan casi tres cuartas partes de la utilización del suelo urbano de la ciudad. De 1995 a 2001 la tasa anual de crecimiento de suelo residencial fue de 3,4%, sin embargo, industrial y comercial de la tierra creció a un ritmo más rápido -8,4% y 8,2%, respectivamente. En términos absolutos, de 1995 a 2001 aumentó el uso residencial de 1576 hectáreas, 635

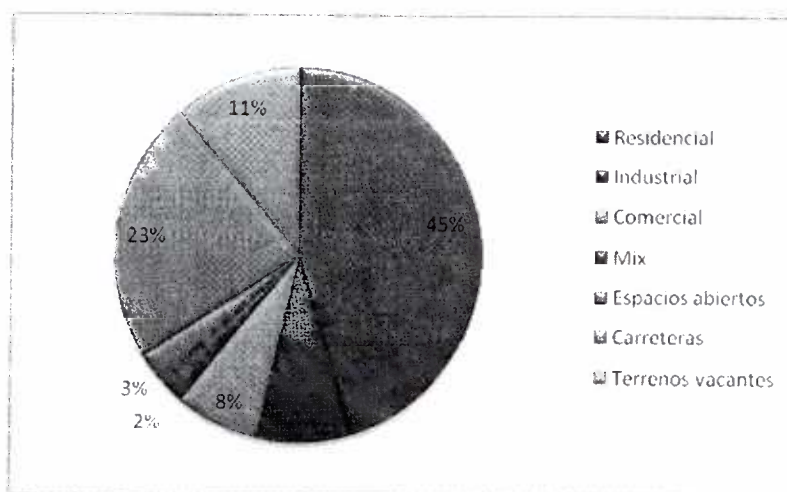
hectáreas uso industrial, el comercio y el uso de los servicios 563 hectáreas, 159 hectáreas de espacios abiertos, carreteras 225 hectáreas y 281 hectáreas de tierras vacantes. En términos relativos, el uso residencial de la tierra ha compuesto una proporción similar desde 1995. Sin embargo, el uso del suelo industrial ha aumentado su proporción del 6,44% en 1995 al 8,34% en 2001, el comercio de servicios y de la superficie terrestre se ha incrementado del 5,7% al 7,40 % (Peña y Fuentes 2007).

Figura 3.15 Cuadro del uso del suelo de Ciudad Juárez (1995 y 2000)

Uso del suelo	1995 Superficie (hectareas)	Porcentaje	2000 Superficie (hectareas)	Porcentaje
Residencial	8 416	44.8	9 992	45
Industrial	1 209	6.4	1 844	8.3
Comercial	1 075	5.7	1 638	7.4
Mix	617	3.2	503	2.2
Espacios abiertos	446	2.3	605	2.7
Carreteras	4 785	25.5	5 040	22.7
Terrenos vacantes	2 219	11.8	2 500	11.3
Otros				
Total	18 767	100	22 122	100

Fuente: "Land Use Changes in Ciudad Juárez, Chihuahua: A Systems Dynamic Model" Peña y Fuentes (2007) con datos del Plan Director de Desarrollo Urbano, IMIP, 1995, 2000.

Figura 3.16 Grafica del uso del suelo Urbano en Ciudad Juárez 2000



Fuente: Elaboración propia de estadísticas de "Land Use Changes in Ciudad Juárez, Chihuahua: A Systems Dynamic Model" Peña y Fuentes (2007) con datos del Plan Director de Desarrollo Urbano, IMIP, 1995, 2000.

El crecimiento urbano se convierte en Ciudad Juárez alrededor de 180 hectáreas de tierras agrícolas por año, dependiendo de la medida en que la nueva población puede tener cabida a través de la reconversión y la densificación.

#### 3.6.2.1 Suelo residencial

La demanda de suelo residencial se expande debido al aumento de la formación de familias y de los ingresos. Alto crecimiento de la población y de formación de familias las tasas de aumento de la demanda de vivienda. El rápido crecimiento de ciudades como Ciudad Juárez tiende a consumir más suelo a través de la expansión hacia el exterior así como el uso de la tierra urbana más intensamente a través de la reurbanización. Gradientes de densidad de población, que miden la densidad de la población por la distancia, ilustran la forma en que estos patrones de cambio como una ciudad crecen. En Ciudad Juárez, la densidad de población del centro es la más baja, cada 44 personas por hectárea. Sin embargo, la densidad de población de las áreas suburbanas va de 70 a 90 personas por hectárea (Peña y Fuentes 2007).

#### 3.6.2.2 Suelo Industrial

En Ciudad Juárez el mercado inmobiliario industrial de las instalaciones se estima en alrededor de 4 millones de metros cuadrados de espacio, lo que hace de esta ciudad uno de los mayores mercados de las instalaciones industriales en el país. El más grande de los desarrolladores en esta materia son Intermex, Prologis (Anteriormente Seguridad Capital), Cambridge, y Bermúdez. El Grupo Bermúdez, propietario y operador de 4 parques industriales-Bermúdez, Río Bravo, Panamericano, y Los aztecas en su actual cartera de 3,5 millones de pies cuadrados (cerca de 325000 metros cuadrados) de espacio industrial (Cuadro 6). Esta es una familia de propiedad y operación de negocios desde 1954, y calificado como uno de los más grandes desarrolladores, en el norte de México. El Grupo Intermex es el segundo en importancia, sino que desarrolló y es propietaria de tres parques industriales-Gemma I, II Gemma, y Juárez. Este grupo industrial desarrollado 90 hectáreas desde 1971. ProLogis grupo es propietaria de dos parques industriales de Salvarcar y Suroeste-el total de pies cuadrados disponibles es 76115 (Alrededor de 7000 metros cuadrados) (Peña y Fuentes 2007). Del gobierno del estado de Chihuahua desarrollados Complejo Industrial Aeropuerto (72 hectáreas) como vehículo para atraer maquiladoras.

### 3.6.2.3 Suelo Comercial y de servicios.

Los sectores comercial y de servicios, que tradicionalmente constituía el centro urbano en el distrito central de negocios, comenzó una fase de expansión a lo largo de las principales carreteras que conecta el centro de la ciudad histórica a la parte oriental de la ciudad. Esto dio lugar a la formación de un nuevo distrito central de negocios que también se encuentra a lo largo de las carreteras principales (Fuentes, 2001). El nuevo distrito se basa en la expansión urbana durante los años 1970 y 1980. Industrial y el crecimiento residencial hacia el noreste también exigió un nuevo distrito central de negocios. Dentro de este contexto, surgió una nueva zona con la vivienda, los grandes centros comerciales a la inversión en autopistas, y el agotamiento de las economías de aglomeración el distrito central de negocios (Fuentes, 2001).

Como se indica anteriormente, los factores demográficos y económicos condujeron la urbanización, por lo que las políticas de desarrollo urbano en gran medida son los mecanismos para asignar y con una variedad de actividades urbanas.

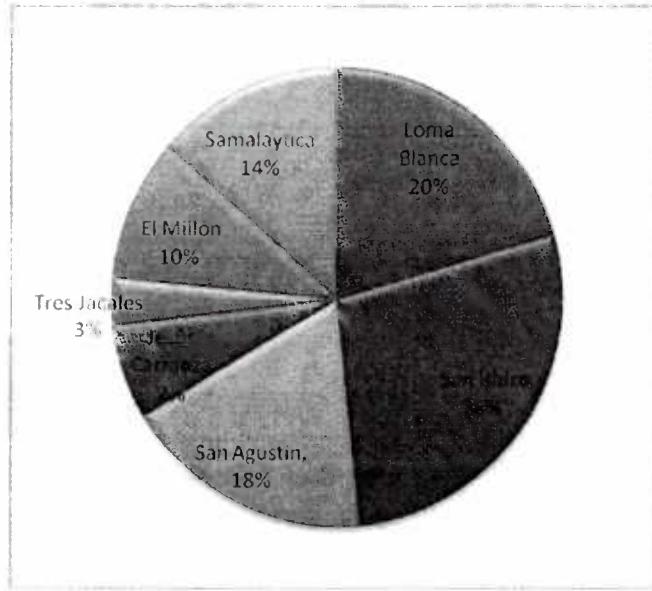
### 3.6.2.4 Suelo rural

Las localidades rurales del municipio tienen una estrecha relación con la cabecera municipal. La concentración de la población en Ciudad Juárez demanda la mayor parte de las inversiones en infraestructura, equipamientos, bienes y servicios y convierte a las localidades rurales en asentamientos suburbanos, pues la mayor parte de su población trabaja en el sector industrial y depende de esa ciudad para acceder a los bienes y servicios, por lo que gran parte de los pobladores se trasladan a la ciudad para realizar sus actividades cotidianas como el trabajo, la recreación, compras y estudio.

Durante casi tres siglos, el Valle regado por el sistema de acequias se caracterizó por ser un lugar fértil donde se sembraban toda clase de frutas como las peras manzanos, chabacanos, granadas y sobre todo la uva, volviéndose una región vitivinícola además de producir aguardiente, vinagre y pasas, trigo y frijol y todo tipo de vegetales (Santiago, 2005).

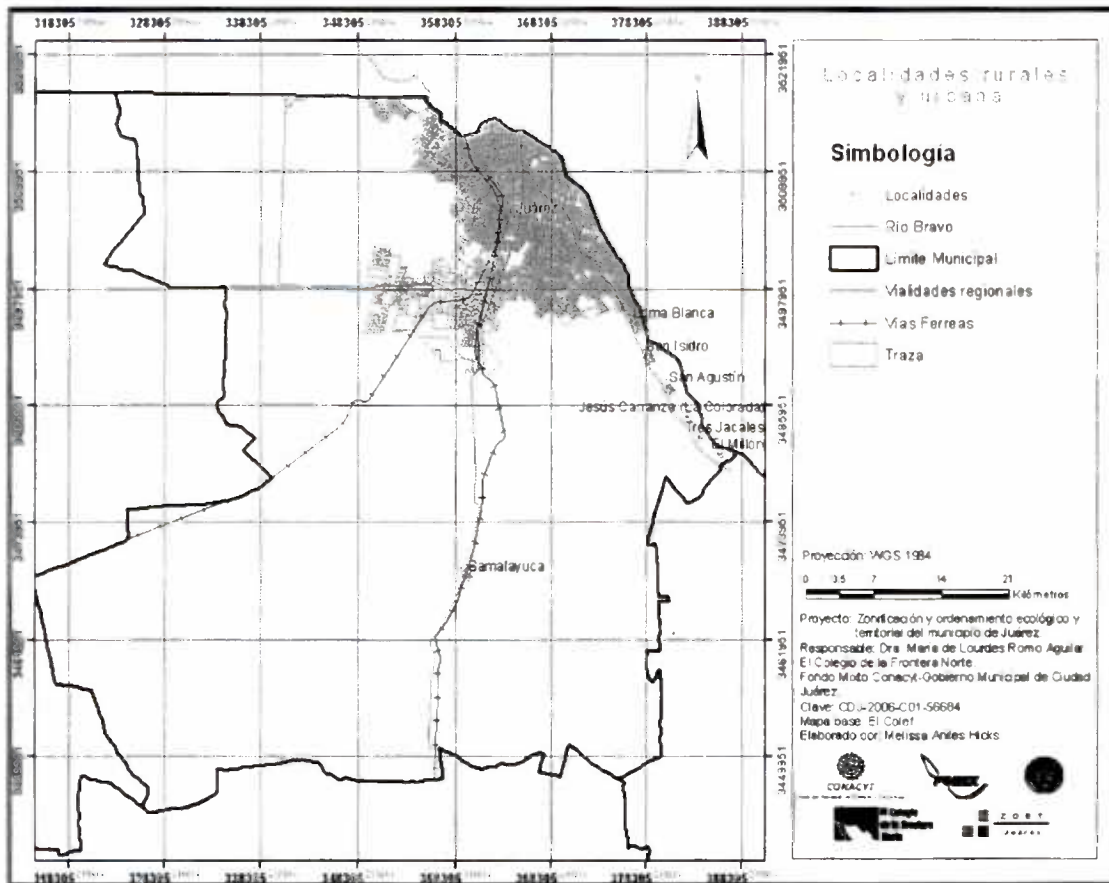
La distribución de la población rural se encuentran en rancherías e instalaciones especiales como el CERESO, comprenden solamente el 0.91% (11,886) del municipio y el resto 99.09% (1,301,452) a la población urbana siendo un total 1,313,338 en el 2005 (ZOET 2008).

Figura 3.17 Grafica de las principales localidades rurales en el 2005



Fuente: Elaboración propia con datos de ZOET 2008 de INEGI 2005

3.18 Mapa de las principales localidades en el municipio de Juárez

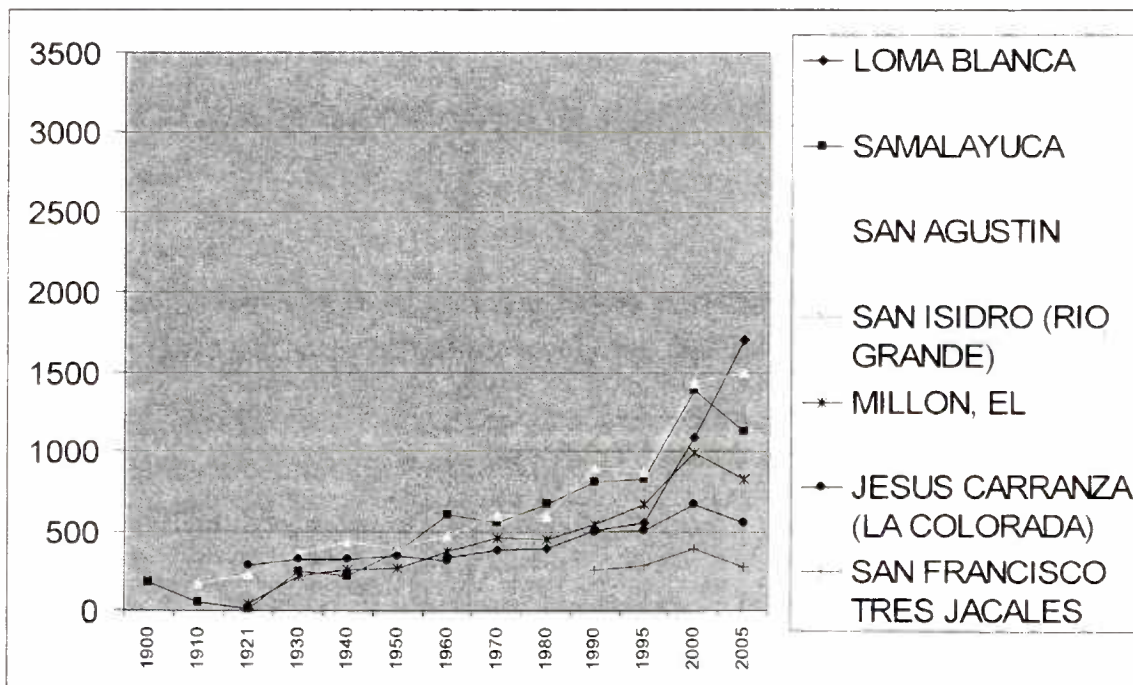


Fuente: ZOET 2008 a partir de INEGI, II Censo de Población y Vivienda 2005.

Para el año 2000 todos los poblados del Valle de Juárez tienen tasas de crecimiento mayores, Esto probable de población migrante que absorbieron estas localidades, al proceso de conurbación, esto a partir de la crisis de 1994 y a las políticas del control del crecimiento tuvieron algunas zonas suburbanas en Ciudad Juárez como el poniente y Anapra (ZOET 2008).

Para el año 2005, Samalayuca, San Isidro, El Millón, Jesús Carranza y Tres Jacales, tuvieron un descenso en su población en el periodo 2000 al 2005, sin embargo Loma Blanca y San Agustín mantuvieron el incremento poblacional por el proceso de conurbación que presenta en los últimos años con Ciudad Juárez. Este decremento de la población también afectó a Ciudad Juárez, pues la tasa de 4 % que había mantenido durante casi quince años bajo hasta 1.63%. Esto se debe principalmente al decremento de cerca de 80,000 empleos en el periodo de 1998 al 2003 (Brugués, 2007).

Figura 3.19 Grafica del comportamiento de la población en las principales localidades rurales



Fuente: ZOET 2008 de INEGI. Censos de Población y Vivienda 1900, 1910, 1921, 1930, 1940, 1950, 1960, 1980 y 2000. INEGI Censo de Población y Vivienda 1995 y 2005.

3.20 Cuadro de las tasas de crecimiento de localidades rurales

	1910	1921	1930	1940	1950	1960	1970	1980	1990	1995	2000	2005
JUAREZ	2.65	6.08	7.38	2.15	9.38	7.89	4.68	2.84	3.88	4.19	4.20	1.63
LOMA BLANCA							1.53	0.05	2.77	1.66	17.15	8.19
SAMALAYUCA	-11.76	-13.90	36.08	-1.30	5.66	4.94	-0.88	1.88	1.90	0.44	12.99	-3.65
SAN AGUSTIN		3.12	4.68	1.91	- 1.00	1.89	2.73	- 0.24	4.37	-0.46	12.37	0.60
SAN ISIDRO (RIO GRANDE)				2.27	0.05	0.05	3.83	1.93	2.21	-1.60	11.91	-5.30
MILLON, EL			19.02	1.37	0.69	3.41	2.06	- 0.09	1.95	3.77	9.76	-3.29
JESUS CARRANZA (LA COLORADA)			1.30	-0.16	0.66	- 0.80				0.32	6.77	-3.20
SAN FRANCISCO TRES JACALES										1.90	8.04	-5.85

Fuente: ZOET 2008 a partir de los Censos de Población y Vivienda 1910, 1921, 1930, 1940, 1950, 1960, 1970, 1980, 1990 y 2000. INEGI y en los Conteo de Población y Vivienda 1995 y 2005.

En este contexto, el análisis del suelo urbano para el análisis de predicción partirá solamente del uso del suelo rural, las siguientes secciones se refieren con el desarrollo de un modelo de predicción para simular la evolución futura de tierras.

## **IV METODOLOGÍA PARA LA PREDICCIÓN DEL CRECIMIENTO URBANO**

### **Introducción.**

Explicaciones teóricas y descriptivas de crecimiento urbano han sido desarrolladas y documentadas en la literatura desde mediados de medio siglo, el desarrollo en el campo ha envuelto grandes avances y cambios significativos en la teoría y la metodología, en particular la evolución de las tecnologías de computación gráfica, y la introducción de nuevos paradigmas. Durante los años 1950 y 1960 la investigación sobre el modelado urbano trató de construir a gran escala modelos urbanos que intentan describir, de forma funcional/estructural, toda una zona urbana, en términos espaciales, de uso del suelo, demográficos, y económicos. Estos modelos eran esencialmente de interacción espacial, junto con un mecanismo de base económica (teoría macroeconómica, como ingreso-egreso y modelos de economía base) que favorecen de un enfoque de arriba hacia abajo haciendo hincapié en las pautas mundiales. Ellos siguieron a la larga tradición que el desarrollo del suelo era modelado en equilibrio, macroscópico, y de manera determinista. Fueron elaborados modelos matemáticos para aplicaciones de planificación urbana y regional que tuvieron auge en un período caracterizado por la introducción de computadoras en la planificación y la aparición de nuevos campos académicos como la investigación de operaciones, la economía urbana y ciencia regional (Leao 2004).

En el contexto del desarrollo sostenible, la comprensión geográfica de cambio de uso del suelo en las zonas urbanas es un aspecto clave para el análisis de la dinámica urbana y su impacto sobre los sistemas naturales. De acuerdo con Clarke et al. (1997), la simulación espacial de los futuros patrones urbanos pueden proporcionar una idea de cómo nuestras ciudades pueden desarrollarse en distintas condiciones sociales y económicas, y ambientales.

Desde finales del decenio de 1980, las aplicaciones de computadoras en la planificación urbana han cambiado drásticamente. Esto ocurrió en gran medida como consecuencia de la introducción de nuevos paradigmas sobre la base de fenómenos como la complejidad, la libre organización, el caos y fractales, y sobre los cambios en la tecnología informática (Leao 2004).



En esta nueva generación de modelos de comportamiento de sistema caótico se vuelve determinista. Pequeños cambios a nivel microeconómico puede dar lugar a cambios dramáticos en el macronivel (enfoque de abajo hacia arriba). En otras palabras, los modelos basados en el supuesto de que nada de lo que sucede en nuestro mundo está determinado de antemano, pero las reglas y las normas sólo están abiertos a la comprensión objetiva. Algunos ejemplos de estos nuevos conceptos y técnicas de modelado en las zonas urbanas son los fractales y autómatas celulares. En esencia, un fractal es un objeto cuya irregularidad como forma no suave, se repite y propagadas a través de muchas escalas. Algunos ejemplos de fractales en el mundo natural son las montañas, las costas, las nubes, y los árboles. Muchas cosas que han sido difíciles para la ciencia para explicar hasta ahora, etiquetados como complejo o caótico, revelan la estructura fractal a través de nuevos métodos de análisis. Según Batty et al. (1989), los sistemas como las ciudades son candidatos ideales para este tipo de estudio (Leao 2004).

Batty et al. (1989) fueron los pioneros de la aplicación de estos nuevos paradigmas en el campo de investigación de la dinámica urbana. Se aplicó el modelo de agregación difusa-limitada (ADL) para generar las formas fractales para representar la dinámica del crecimiento urbano. No hubo correspondencia perfecta entre simulaciones ADL y estructura urbana real utilizada como base para la comparación. Sin embargo, las similitudes eran fuertes-que mostraron un gran potencial para vincular el proceso de crecimiento a la geometría de la forma urbana.

Un mayor desarrollo espacial de la dinámica urbana basada en la complejidad llegó con el uso de Autómata Celular. El estudio de AC se remonta a fines del decenio de 1940 con la investigación de Neumann y Ulgam (Engelen et al. 1997). Después del lento progreso en los años sesenta y setenta los AC gradualmente recibieron más atención en varias disciplinas científicas, especialmente en física, matemáticas, ciencias de la computación y biología. Recientemente, el interés en AC entre los científicos espaciales ha estado creciendo rápidamente, y muchas nuevas aplicaciones están en fase de desarrollo. Esto se debe a que los AC son conceptualmente más claros, más precisos y más completos que los sistemas convencionales de matemáticas, y porque se basan en normas de transición que son más simples que complejas ecuaciones matemáticas, pero producen resultados más amplios. Una

aplicación importante y prometedora es la de modelado de las zonas urbanas y la dinámica regional.

Dentro de los modelos para simular autómatas celulares existen de varios tipos, entre ellos: IDRISI,<sup>1</sup> DINAMICA,<sup>2</sup> ICITY,<sup>3</sup> GEONAMICA,<sup>4</sup> entre otros, nosotros basaremos nuestro estudio de autómatas celulares en el nombrado SLEUTH.

#### 4.1 Elección del modelo de crecimiento urbano

El modelo SLEUTH fue seleccionado para ser aplicado en este estudio. Esta elección se basó en lo siguiente:

- a) El modelo representa el crecimiento a través de cuatro diferentes procesos integrados. El modelo tiene el potencial para describir las diferentes pautas de crecimiento, haciendo hincapié en algunos tipos de crecimiento más allá de los demás. Por ejemplo, el parámetro que determina la probabilidad de que una ciudad tenga patrones más fragmentados de expansión es probable que tenga un mayor y valor más predominante en una ciudad americana en comparación con el parámetro de una ciudad de un país en desarrollo, donde el crecimiento urbano parece ser más denso y concentrado.
- b) El modelo requiere una gran cantidad de datos espaciales, sin embargo, estos datos son normalmente disponibles en organizaciones gubernamentales, instituciones de educación y/o de investigación, y está disponible para el estudio del área.
- c) El modelo simula la urbanización como un proceso caracterizado por la transformación de células rurales en urbanas a través del tiempo en función de un conjunto de normas (modelo binario). Algunos modelos urbanos AC base, simulan la urbanización demasiado desglosada en diferentes usos del suelo. Esta disgregación, sin embargo, aumenta la complejidad del modelo, los requisitos de entrada de datos, y la incertidumbre del proceso de previsión. Para el presente estudio, por lo tanto, la caracterización del crecimiento urbano de sólo dos clases (urbana y rural) se considera apropiada. Se trata de una simplificación, pero aumenta la

---

<sup>1</sup> IDRISI posee extensiones que permiten hacer modelizaciones con Autómatas Celulares.

<sup>2</sup> DINAMICA simula cambios en el paisaje amazónico modelando con AC (B. Soares-Filho 2002).

<sup>3</sup> ICITY: Herramienta implementada con Arc-objects como extensión de Arc-gis (D.Stevens 2007).

<sup>4</sup> GEONAMICA. Sistemas de ayuda a la decisión desarrollada por RIKS.

confianza de las formas de futuro urbano producidas por el modelo urbano.

d) El modelo es de fácil acceso a través de la web (descarga gratuita) y es fácil de ejecutar.

e) El modelo produce probables y fiables patrones de crecimiento urbano a largo plazo en el horizonte temporal. La aplicación del modelo en muchos estudios de casos prácticos ha dado lugar a resultados muy satisfactorios a largo plazo de simulación (100 años). Como se describe en algunos modelos de autómatas celulares basados en el crecimiento urbano, producen confiables formas de crecimiento urbano sólo por un corto plazo. Por otra parte, algunos modelos no están comprometidos con generar patrones de crecimiento urbano fiables, pero producen diferentes patrones, como consecuencia de toma de decisiones diferentes.

#### 4.2 El modelo de simulación de crecimiento urbano

El Modelo SLEUTH se definió anteriormente es un modelo de AC modificado originalmente descrito en (Clarke y Hoppen, 1997), y su más reciente versión es: SLEUTHv3.0. Este modelo programado en lenguaje C optimizado y reestructurado por la Agencia de Protección Ambiental para correr en un entorno informático paralelo y opcional su principal componente es la simulación de crecimiento urbano. La estructura de este modelo en código se puede consultar la página web del Proyecto Gigalopolis.<sup>5</sup>

Para explicar este modelo Clarke comienza con una primera serie de condiciones y un conjunto de reglas de transición; las condiciones iniciales son definidas ingresando los datos de imagen; los datos de entrada sirven como capas de información que crean una falta de homogeneidad en el espacio celular y la influencia de células de transición. La aplicación de normas de transición se ve afectada por los parámetros de crecimiento; estos valores del coeficiente podrán ser modificados al final de cada paso de tiempo por auto-modificación constante; la auto-modificación del comportamiento de SLEUTH emula los aumentos y las disminuciones en las tendencias de crecimiento urbano.

---

<sup>5</sup> El proyecto Gigapolis el proyecto se encuentra concentrado en [www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig](http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig)

SLEUTH requiere una entrada de cinco tipos archivos de imagen *gif*<sup>6</sup> (seis si el uso del suelo está siendo analizado). Para todas las capas, 0 es inexistente o de nulo valor, mientras que  $0 < n < 255$  es un "vivo", o existente el valor.

SLEUTH es un modelo de acoplamiento autómatas celular de urbanización, que toma en cuenta los cambios en la cobertura terrestre. Por otra parte este modelo de crecimiento urbano (UGM) está programado en C,<sup>7</sup> compilado en plataforma UNIX.<sup>8</sup>

El nombre SLEUTH se deriva de la simple entrada de requisitos para el modelo:

*Slope* (Pendiente)

*Land use* (Uso del suelo)

*Excluded* (Exclusión)

*Urban* (Urbanización)

*Transportation* (Transporte)

*Hillshade* (Sombra de colina).

Los Datos Raster definen el estado inicial de los AC de simulación espacial. SLEUTH utiliza varios tipos de datos geográficos para generar una configuración inicial del sistema y la idoneidad de transición de superficie.

Este modelo surgió del proyecto "HILT" (*Human Induced Land Transformations*), fue desarrollado por el doctor Keith C. Clarke, en la Universidad de California, Santa Bárbara, en el Departamento de Geografía (United States Geological Survey).

SLEUTH fue calibrado usando datos históricos de urbanización y de cobertura vegetal que ayudaron en la obtención de un conjunto ideal de parámetros para la previsión de cambios en la cobertura terrestre. Para el modelado se recopilan datos antiguos, los cuales serán utilizados para inicializar el modelo y controlar datos que servirán en la bondad de ajuste en mediciones en el tiempo.

---

<sup>6</sup> Las imágenes gif son las más favorables ya que mantienen bordes nítidos y son de los que tienen mayor compresión.

<sup>7</sup> C es un lenguaje de programación creado en 1972 por Thompson y Ritchie, presenta una eficiencia del código que produce y es el lenguaje de programación más utilizado para crear software de sistemas y/o aplicaciones.

<sup>8</sup> UNIX, es un sistema operativo portable, multitarea y multiusuario; desarrollado en 1969 por empleados de los laboratorios Bell de AT&T, entre los que figuran Ken Thompson, Dennis Ritchie y Douglas McIlroy

Debido al considerable cómputo necesario para la calibración, investigaciones anteriores han implementado una metodología de calibración de "fuerza bruta" a través de medidas de parámetros, rangos y resolución espacial a diferentes escalas en tres fases, desde la parte áspera hasta el grano fino.

El área dentro y alrededor de Ciudad de Juárez, será examinada para la sensibilidad del proceso de calibración a escala. Las Áreas urbanas se definen mediante la clasificación supervisada de imágenes satelitales disponibles para los años 1972, 1986, 1993, 1999, 2003 y 2007. Estos resultados, deben ser transformados a formato *raster*<sup>9</sup> a una resolución espacial de 60 m por pixel que es la resolución máxima de las imágenes del proyecto NALC, las más antiguas (1973, 1986 y 1992). Las calibraciones son múltiples y en ellas se varía la resolución espacial y la cobertura temporal de los datos de entrada establecidos.

#### 4.3 Base de Datos Espaciales

Las bases de datos para el modelo de calibración fueron copiladas en un sistema de información geográfica (SIG). Estos sistemas ayudaron en la generación, clasificación y formato de las capas de datos requeridos. Se utilizaron imágenes satelitales a las que se les aplicaron las técnicas de percepción remota, las cuales serán procesadas, esto nos ayudara a editar los diferentes planos temáticos de información, a partir de los cuales se cuantifica la estructura espacial para visualizar e interpretar el uso del suelo y diferentes patrones espaciales de Ciudad Juárez. El modelo exige que todas las capas de entrada tengan un consistente número de filas y columnas. Para efectos estadísticos de calibración del modelo, por lo menos cuatro períodos de tiempo urbanos deben ser utilizados. Por otra parte, para fines de calibración, las carreteras deben estar representadas en dos o más períodos de tiempo. El modelo requiere de dos capas de uso de suelo *deltatron*<sup>10</sup> modelado. Todas las capas deben ser controlados, por ejemplo; las zonas urbanas no deberían estar presentes en los lugares definidos como en la capa de excluidos.

---

<sup>9</sup> Raster en Sistemas de Información Geográfica, es un área espacial dividida en celdas regulares, en las que cada una de las cuales presentan unos atributos o valor almacenados en una base de datos.

<sup>10</sup> Deltatron: Modelo de transición de la cubierta vegetal, estos modelos actúan como agentes independientes de los cambios que dependen históricamente de cobertura del suelo medido a las probabilidades de transición, de la topografía local, usando periodo de tiempo.

Insumos para la operación del modelo son: Capas del área de estudio donde se representen las áreas urbanas y rurales obtenidas utilizando técnicas de percepción remota a partir de imágenes satelitales disponibles para el área de estudio: NALC<sup>11</sup> 1973, 1986 y 1992; LANSAT<sup>12</sup> 1999 y 2003; SPOT<sup>13</sup> 2007.

La percepción remota<sup>14</sup> de acuerdo a Showengerdt (1997) es definida como la medición de las propiedades de un objeto, sobre la superficie de la tierra utilizando datos adquiridos desde aeroplanos o plataformas satelitales. Los sistemas de percepción remota, particularmente aquellos montados en satélites, proveen vistas repetitivas y consistentes de la tierra, lo que resulta invaluable para monitorearla, así como para medir el efecto de las actividades antropogénicas sobre la tierra. De acuerdo a Jensen (2000) and Lillesand et al (2004), la percepción remota es una ciencia y un arte de obtener información sobre un objeto sin estar en contacto directo con el. En el caso de los sistemas pasivos (utilizados en este estudio: Landsat y SPOT), la medición usa la energía electromagnética (EEM), emitida por el sol misma que llega a la superficie y es rebotada (en forma de ondas cortas y ondas largas) y es registrada por los sensores montados en los satélites. El principio es sencillo, todos los cuerpos en la superficie absorben y reflejan el EEM en diferentes proporciones, de ahí que podamos diferenciar superficies con asfalto, concreto, vegetación, suelos desnudos, etc. Los estudios de la energía reflejada por el objeto en diferentes rangos del EEM hacen posible que se les caracterice con una firma espectral, de tal manera que pueden quedar clasificados con un alto nivel de precisión.

---

<sup>11</sup> NALC (*North American Landscape Characterization Project*), el cual suministra tripletas de imágenes con las mismas coordenadas, con resolución espacial de 80 m por píxel.

<sup>12</sup> LANDSAT son una serie de satélites construidos y puestos en órbita por EE. UU. para la observación en alta resolución de la superficie terrestre. Orbitan alrededor de la Tierra en órbita circular heliosincrónica, a 705 km de altura, están equipados con instrumentos específicos para la teledetección multiespectral

<sup>13</sup> SPOT (*Satellite Probatoire pour l'Observation de la Terre*) opera con una constelación de cuatro satélites de observación: SPOT 1, SPOT 2, SPOT 4 y SPOT 5. Todos ellos en órbita polar, circular y heliosincrónica sobre la Tierra. desarrollados por el Centro Nacional de Estudios Espaciales francés (CNES) en colaboración con Bélgica y Suecia y fabricados por EADS Astrium

<sup>14</sup> Se puede establecer que la era moderna de la percepción remota inició con el primer lanzamiento del “Sistema de Escaneo Multiespectral Landsat”, el cual proveyó por primera vez un juego consistente en imágenes de alta resolución de la tierra para la comunidad científica mundial. Las características principales de este nuevo sensor (para 1972) fueron bandas espectrales múltiples (registrando cuatro regiones del espectro electromagnético) con alta resolución espacial (80m), gran cobertura (185 x 185 km) y gran cobertura repetitiva ( cada 18 días). La historia de Landsat ha continuado y mejorado en su resolución espectral así como en su resolución espacial. De tal forma que en 1999 en la carrera de Landsat, se lanzó el nuevo y mejorado sensor “Enhance Thematic Mapper Plus (ETM+), con resolución espacial de 28.5 metros y 8 bandas espectrales de información.

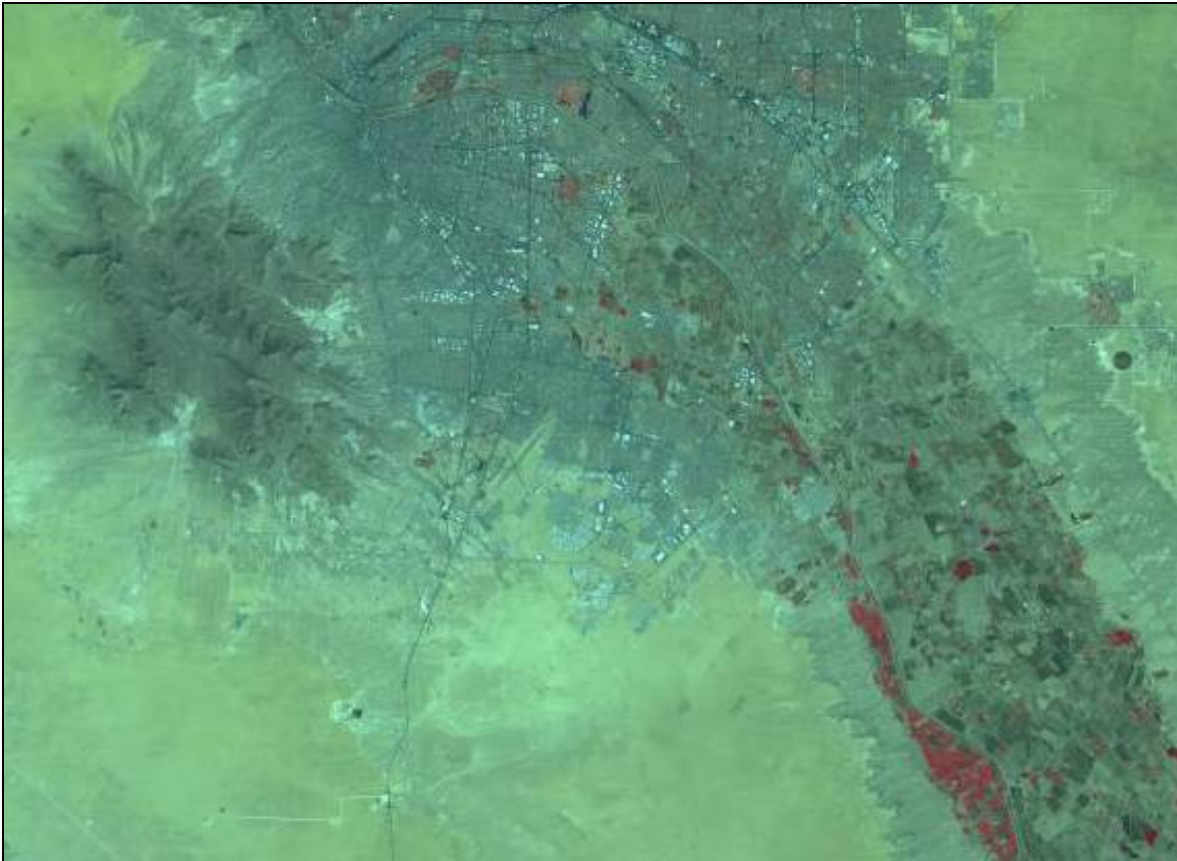
Para la generación de requerimientos del modelo de simulación, se utilizó el modelo digital de elevación a partir de la cual genera un mapa de pendientes en porcentaje; se genera el mapa de uso de suelo de la región de interés, utilizando la clasificación de Anderson<sup>15</sup> que posteriormente se describirá con detalle; también se tienen que determinar los lugares que no son susceptibles de poder urbanizarse y las áreas excluidas se construye en una máscara que se superpone a el área en la que se está trabajando. Además es necesario identificar en el archivo raster las áreas que son consideradas como urbanas, siendo “cero” el valor del pixel para aquellas zonas que nos son urbanas.

Por otra parte, se generaron capas históricas de las vialidades, partiendo de las avenidas principales existentes en el 2008. Posteriormente se hizo una clasificación de las vialidades de acuerdo a su importancia con relación a la estructuración del espacio urbano en cada corte del tiempo. Con el fin de dar contexto espacial a la medida de los datos urbanos, una imagen de fondo se incorpora a la salida de la imagen, por lo que se requiere crear el hillshade para poder usar en esta parte del modelo.

---

<sup>15</sup> Modelo de clasificación de biosfera propuesto por Anderson, Robert P.

Figura 4.1 Imagen satelital SPOT<sup>16</sup> de Ciudad Juárez 2005



Fuente: COLEF Ciudad Juárez

#### 4.3.1 Urbanización

Se trata de una clasificación binaria: urbana o no urbana. Como "urbano" se define la aplicación dependiente. Los métodos utilizados en el pasado incluyen la digitalización de mapas de la ciudad y fotografías aéreas, manteniendo imágenes de tele observación o bloqueando las densidades de datos del censo. Para la calibración, por lo menos cuatro capas urbanas se requieren con el fin de calcular un ajuste óptimo de estadísticas.

El área de estudio fue considerada como el área urbana de Ciudad Juárez para lo cual se

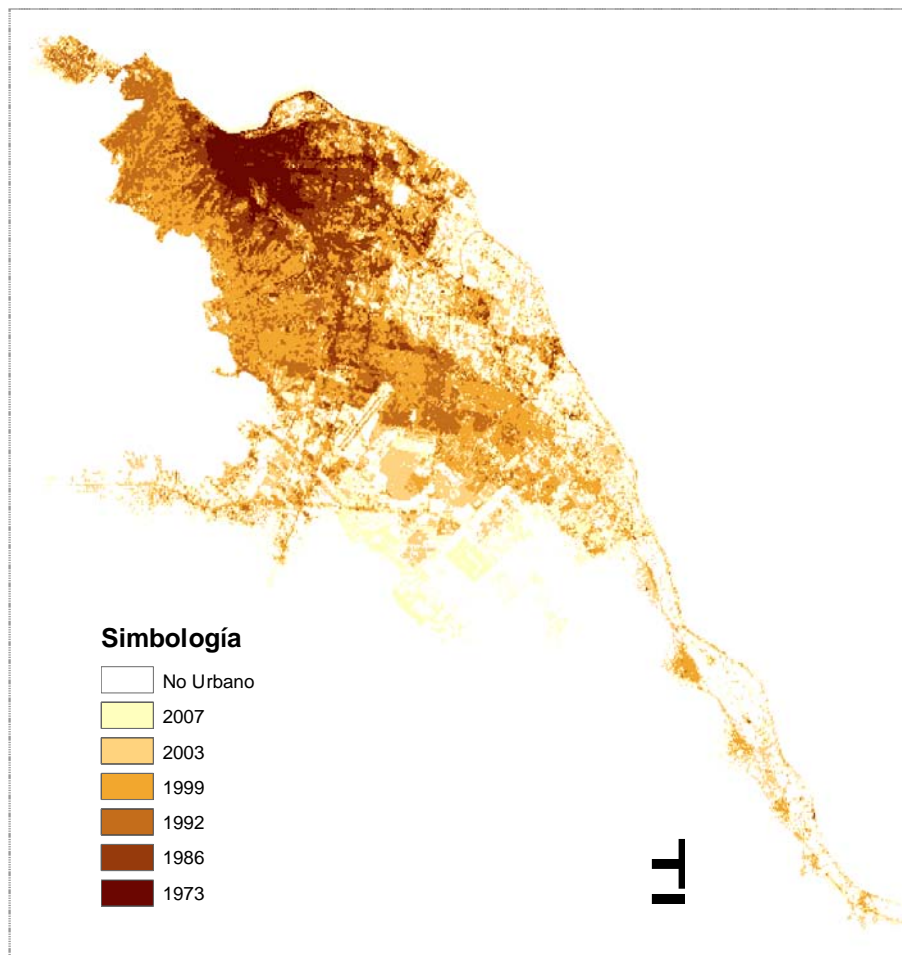
---

<sup>16</sup> SPOT (*Satellite Probatoire pour l'Observation de la Terre*) opera con una constelación de cuatro satélites de observación: SPOT 1, SPOT 2, SPOT 4 y SPOT 5. Todos ellos en órbita polar, circular y heliosincrónica sobre la Tierra. desarrollados por el Centro Nacional de Estudios Espaciales francés (CNES) en colaboración con Bélgica y Suecia y fabricados por EADS Astrium



generó un límite de lo considerado en todos los esquemas de planeación de la ciudad y las áreas urbanas de las poblaciones cercanas a la ciudad del municipio de Juárez, y se considero un área adicional (Buffer) partiendo de la anterior que incorporara algunos espacios semiurbanos cercanos a las mismas. Es así como para el área de estudio considerada se dispone de imágenes satelitales de la mancha urbana de Ciudad Juárez de los años registrados hasta la fecha y ya una vez georeferenciada utilizar los SIG para el manejo de información vectorial.

Figura 4.2 Ciudad Juárez Expansión del Área Urbana



Fuente: Clasificación Supervisada de Imágenes Satelitales NALC 1973, 1986, y 1992; Lansat 1999 y 2003; SPOT 2007

Figura 4.3: Extensión del área urbana

Año	Píxeles en la Clasificación	Area Urbana (ha)
2007	70,937	25,309
2003	58,277	20,947
1999	44,886	16,241
1992	21,824	7,811
1986	10,624	3,857
1973	3,382	1,221

Fuente: Clasificación Supervisada de Imágenes Satelitales NALC 1973, 1986, y 1992; Lansat 1999 y 2003; SPOT 2007

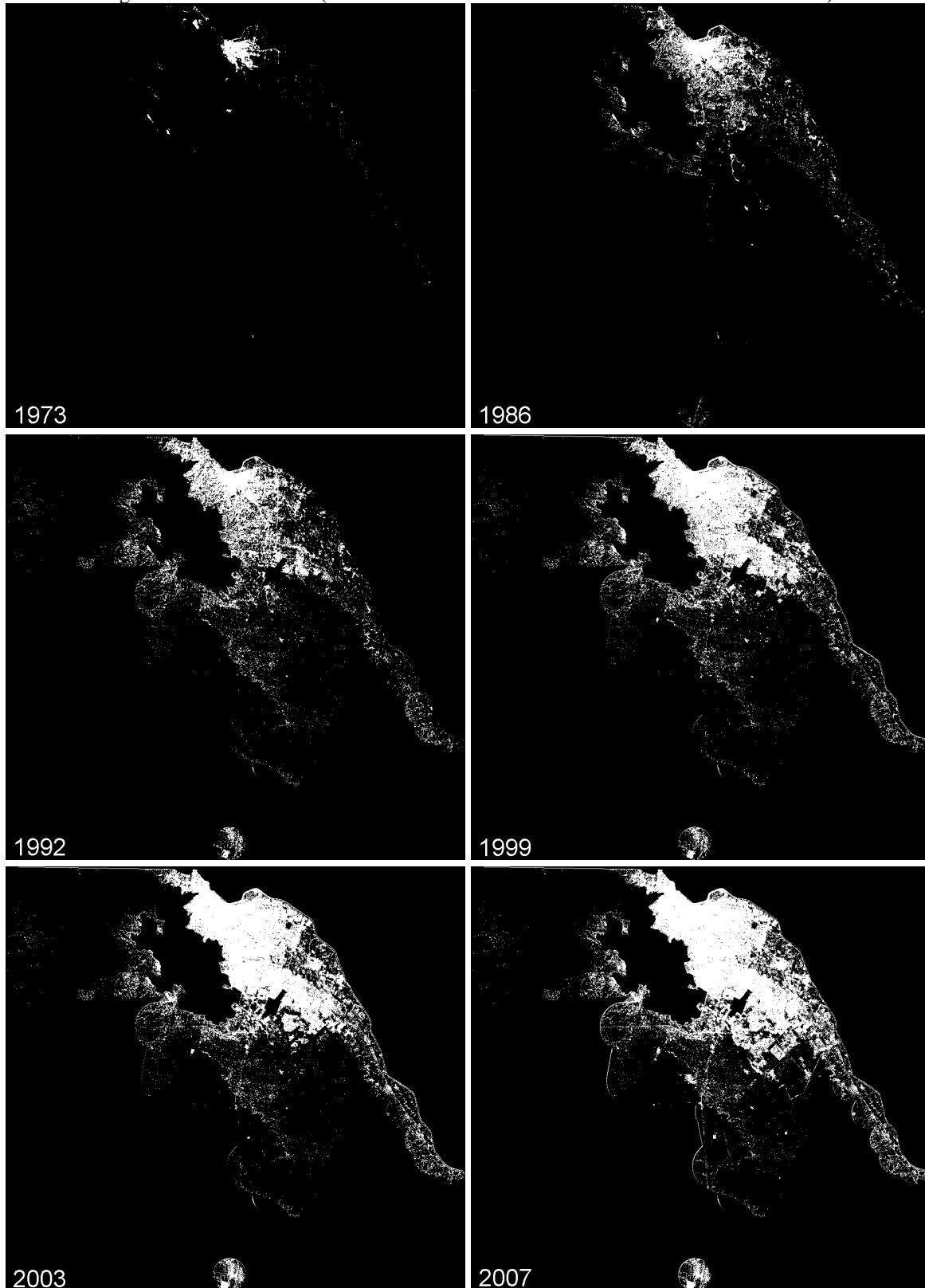
Se observó también en los distintos mapas satelitales, como la expansión progresivamente con el tiempo se da al sureste de la Ciudad en los últimos años, también como los espacios agrícolas se van integrando a la mancha urbana.

Es necesario identificar en el archivo raster las áreas las cuales son consideradas como urbanas, siendo cero (negro) el valor del píxel para aquellas zonas que no son urbanas.

La extensión de la mancha urbana fue digitalizada. Este polígono de datos fue convertido, a raster, formando redes binarias de zonas urbanas y no urbanas.

Para la calibración, se utiliza los primeros años de la mancha urbana como la semilla y, posteriormente, las capas urbanas, se utilizan para medir varias estadísticas que mejor se ajusten a los valores. Por esta razón, al menos cuatro capas urbanas son necesarios para la calibración: uno para la inicialización y otras tres para el cálculo de los mínimos cuadrados. El modelo sólo requiere una clasificación binaria de zonas urbanas y no-urbana. Los métodos utilizados anteriormente incluyen la digitalización de mapas de la ciudad y fotografías aéreas.

Figura 4.4 Urbanización (Mancha Urbana de Ciudad Juárez con el modelo SLEUTH)



Fuente: Clasificación Supervisada de Imágenes Satelitales NALC 1973, 1986, y 1992; Landsat 1999 y 2003; SPOT 2007.

### 4.3.2 Transporte

La red de transporte puede tener un papel importante en la estructura de desarrollo de una ciudad. Debido al aumento de la accesibilidad, los corredores urbanos tienden a llegar desde la ciudad central a lo largo de los modos de transporte. La infraestructura de transporte se expande con el crecimiento de la ciudad. Para incluir el efecto dinámico de transporte en la calibración, varias capas de carreteras que cambian con el tiempo son deseables. SLEUTH se inicia con la primera capa. Como los ciclos de crecimiento, o "tiempo", y con el paso del tiempo pasar para una capa de carretera más reciente, la nueva capa se lee en el producto y el desarrollo. Los caminos no son necesariamente binarios, pero pueden ser ponderados para simular un tramo de carretera de mayor atractivo para la urbanización en relación con otro tramo de carretera.

Para analizar el transporte, con estudios del proyecto ZOET, la vialidad del municipio obedece principalmente a las comunicaciones regionales con la movilización de bienes, servicios y personas, tanto de la Ciudad Juárez como del Paso Texas, la Carretera Panamericana y las vías del ferrocarril (paralelas a esta carretera) son las que enlazan de norte a sur (ZOET 2008).

Ciudad Juárez tiene una estructura vial primaria, donde las principales vías son las avenidas Tecnológico, Pérez Serna, 16 de Septiembre, Casas Grandes, Teofilo Borunda, Juárez Porvenir, de la Raza, de las Torres, el Boulevard Fronterizo y el Eje Juan Gabriel. Estas vialidades están estrechamente relacionadas con la ubicación de centros de trabajo, servicios y comercios, ya que la mayoría se encuentran conectan con los principales parques industriales, espacios comerciales y puentes internacionales (ZOET 2008).

Figura 4.5 Cuadro de las principales Vías de comunicación en relación a Puentes Internacionales, Parques Industriales y Espacios Comerciales

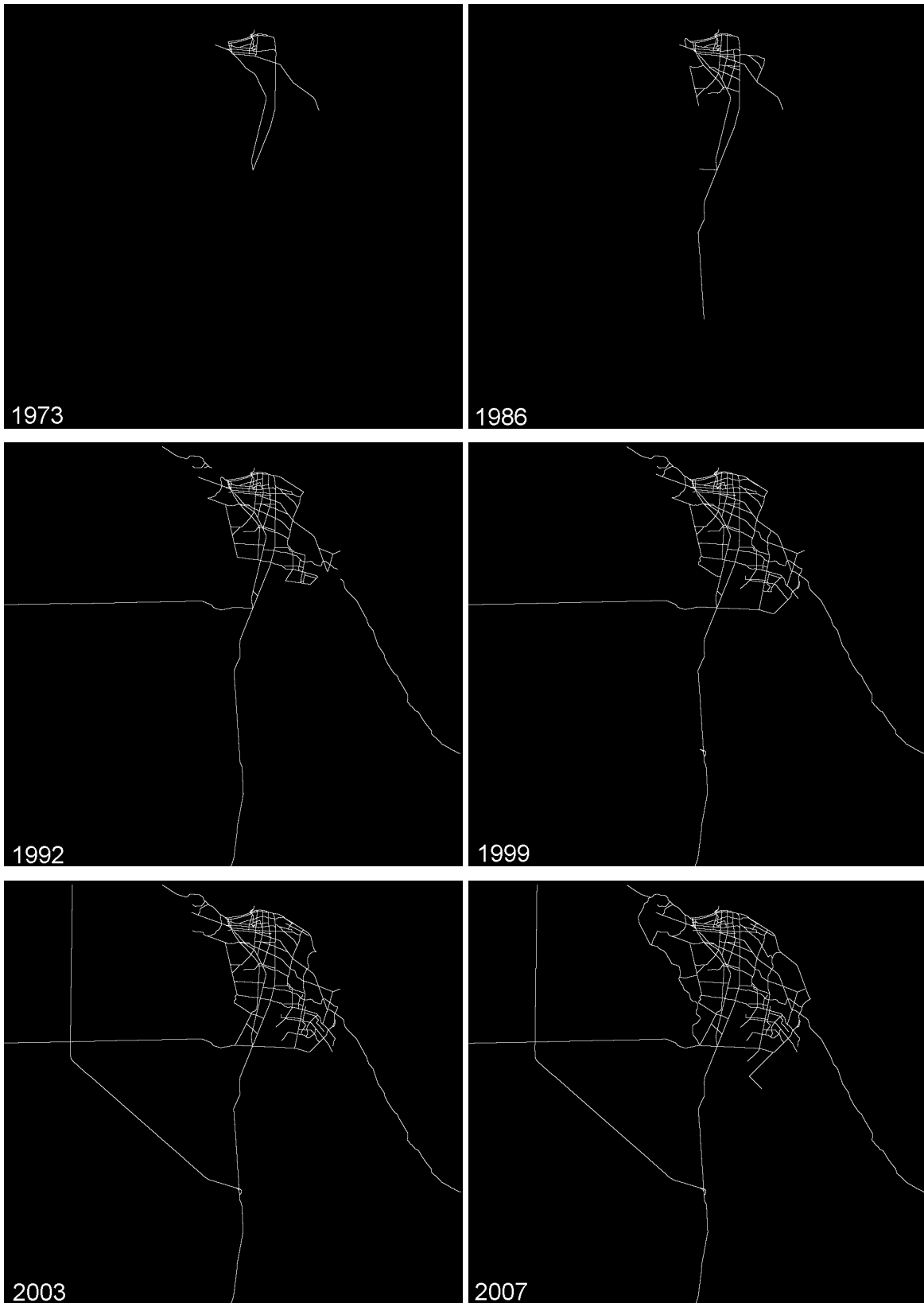
Vía	Puentes	Parques industriales	Espacios comerciales
16 de septiembre	Santa Fe, Libre		Centro PRONAF Corredor comercial y servicios
Av. Tecnológico-Panamericana	Santa Fe, Puente Libre.	P.I Panamericano P.I. Zaragoza P.I Aeropuerto R. Rivera Lara P.I. Fuentes	Corredor comercial y servicios
Pérez Serna	Puente Libre	Parque Omega, Magnaplex Parque Industrial Bermúdez	
Boulevard Fronterizo	Puente Libre	Parque Omega y Magnaplex	PRONAF
Av. de las Industrias	Puente Libre	Parque Industrial Bermúdez	
Eje Juan Gabriel-	Puente Santa Fe	Zaragoza Gema Aztecas	Nodo comercial Sanders Centro
Casas Grandes	Puente Santa Fe Puente Libre	North Gate Zaragoza	
Libramiento Aeropuerto	Zaragoza	Aero Juárez Parque industrial Aeropuerto Corredor industrial Libramiento Aeropuerto	
Juárez Porvenir	Zaragoza	Río Bravo A.J. Bermúdez	Corredor comercial y servicios
Av. de las Torres	Puente Libre	Intermex, Área Industrial Henequen-Torres	Corredor comercial (Misiones)

Fuente: ZOET 2008.

La digitalización de las vías principales de Ciudad Juárez; fueron obtenidos del COLEF de esta misma ciudad fronteriza; los datos fueron utilizados como punto de partida para el montaje de capas de transporte. Las principales carreteras se les dan un valor más alto, que las carreteras secundarias; esta estructura de clasificación forma las capas de las mismas.

Para este estudio se van revisar años anteriores, y fueron utilizados como datos auxiliares para crear capas caminos históricos. Se generó capas históricas de las vialidades, partiendo de las avenidas principales existentes en el 2008. Posteriormente se hizo una clasificación de las vialidades de acuerdo a su importancia, con relación a la estructuración del espacio urbano en cada corte del tiempo.

Figura 4.6 Transporte



Fuente: COLEF Ciudad Juárez (Vialidades principales de ciudad Juárez)

El camino influido en el crecimiento dinámico dentro de SLEUTH simula la tendencia del desarrollo urbano a ser atraídas a los lugares de mayor accesibilidad. Una red de transporte puede tener mayor influencia sobre el desarrollo de una región. Para incluir este efecto en la calibración de varias capas de carreteras, que con el cambio en el crecimiento de la ciudad a través del tiempo, son deseables.

#### 4.3.3 Topografía / Pendientes

Topografía, en términos generales, crea la más elemental definición de área disponible para el desarrollo urbano. Debido a la facilidad de desarrollo, las extensiones planas son las más fáciles de aprovechar. Por ejemplo en las tierras en donde aumentan las pendientes se tienen menos hospitales, y eventualmente se vuelven imposibles de desarrollar debido a la inestabilidad estructural. El punto en que las estructuras ya no son construidas debido a las limitaciones de la pendiente se define como *CRITICAL\_SLOPE*.

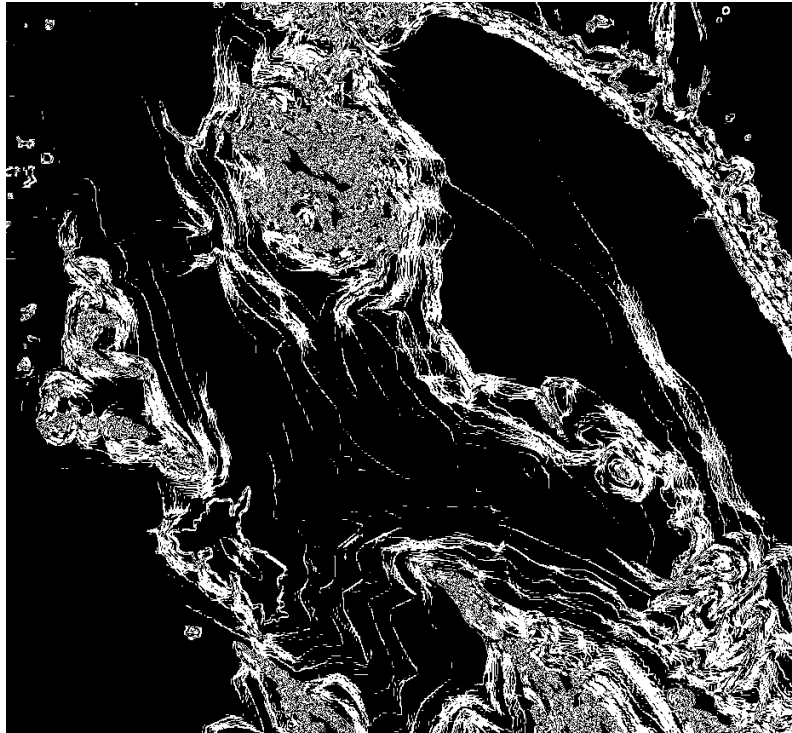
La pendiente se deriva de un modelo de elevación digital (DEM), pero otras fuentes de datos de elevación pueden ser utilizadas. Los valores deben estar en porcentajes, no en grados, que es un defecto común en algunos programas de GIS.

% pendiente ecuación:

Valores del rango de pixel → 0 - 100

El municipio de Juárez se caracteriza por tener pendientes suaves a excepción de elevaciones puntuales como la Sierra de Juárez, la Sierra del Presidio, la Sierra de Samalayuca y El Mesudo (ZOET 2008).

Figura 4.7 Pendiente



Fuente: Elaboración propia basada en INEGI, Modelo digital de elevación de Ciudad Juárez

Las principales elevaciones se ubican en la sierra de Juárez y Samalayuca, las cuales alcanzan hasta 2000 metros sobre el nivel del mar.

Los usos favorables del suelo tienen que ver con la elevación de las pendientes, La mayor parte de la zona de estudio presenta pendientes entre 0 y 2°, aunque también hay algunas partes mínimas en la parte de las elevaciones que presentan pendientes de 25° y más, misma que, de acuerdo a los usos recomendables del suelo en función de la pendiente, las mayores de 25° no son adecuadas para uso habitacional, sino para reforestación y recreación pasiva

Utilizando el modelo digital de elevación digital (DEM) se genera un mapa de pendientes en porcentaje. La pendiente se deriva del DEM, valores de las pendientes deben estar en por ciento, no en grados, que es un defecto común en algunos programas de SIG. Los datos del DEM fueron transformados a pendiente en porcentaje y, luego, se truncaron a valores enteros. Este truncamiento de valores se realizó a fin de que los valores encontrados en la ladera de datos no sean superiores a los 256 píxeles permitidos por la imagen de entrada modelo de formato.

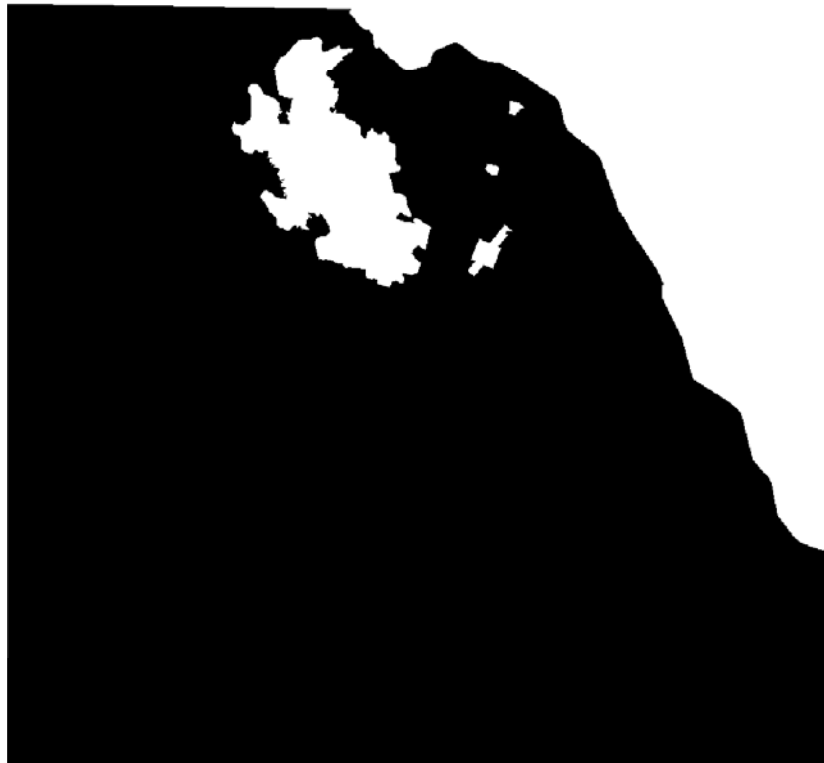


#### 4.3.4 Zona de Exclusión/ Prescindida

La exclusión de aéreas son las que no están disponibles para la urbanización, se incluyen en la capa de exclusión. La capa de exclusión no es necesariamente binaria y puede incluir los niveles, o probabilidades, de resistencia al crecimiento.

Las zonas excluidas en otras palabras son todos los lugares que son resistentes a la urbanización. Las zonas en las que el desarrollo urbano se considera imposible, como pueden ser los cuerpos de agua; parques nacionales de ciudad Juárez; las sierras por su pendiente de elevación como la Sierra Juárez; los límites del Rio Bravo y el limite fronterizo son zonas que son prescindidas a la urbanización, a esta información se da un valor de 100 o más. Y los lugares que están disponibles para el desarrollo urbano tienen un valor de cero (0).

Figura 4.8 Exclusión



Fuente: Elaboración propia basada en ZOET, 2008

De la figura anterior, el lado izquierdo superior se aprecia la parte blanca que pertenece a la sierra de Juárez zona que es prescindida., toda la zona de color negro es donde puede urbanizarse.

Se tienen que determinar los lugares que no son susceptibles de poder urbanizarse. Los lugares excluidos son los que declaró el proyecto de Zonificación y Ordenamiento Ecológico y Territorial, para el municipio de Juárez, así como aquellos que por su propia naturaleza no pueden urbanizarse, por ejemplo, el aeropuerto. Las otras zonas excluidas son la Sierra de Juárez, la parte que corresponde al lado de los Estados Unidos y aquellas áreas que no cuentan con ningún esquema de planeación, a las cuales se les construyó un buffer<sup>17</sup> de dos Kilómetros. Con las áreas excluidas se construye una máscara que se sobre pone a el área en la que se esta trabajando.

Se consideró como exclusión, el límite municipal; la sierra de Juárez por haberla considerado el ZOET como un área de protección y el aeropuerto, porque la clasificación lo detecta como espacio con vegetación y sabemos que no se puede urbanizar ni crecer hacia ese espacio. Para un trabajo posterior habría que considerar fuera a los grandes parques urbanos.

Pero cabe mencionar que en esta zona existen lugares donde no debería urbanizarse, sin embargo lo están.

#### 4.3.5 Usos del suelo

Las clases de uso del suelo adicionales a las urbanas puede ser modelada en SLEUTH, como pueden ser los diferentes usos del suelo: industrial, comercial o residencial. Esta es una entrada opcional, y en este trabajo se utilizara solo el uso del suelo rural.

A continuación, se genera el mapa de uso de suelo de Ciudad Juárez, utilizando la nomenclatura de Anderson nivel dos, para luego transformarse a nivel uno para los requerimientos del modelo:

---

<sup>17</sup> Buffer: En un Sistema de Información Geográfica, polígono que encierra el área de influencia resultante de dar una determinada distancia en torno a un punto, línea o polígono. Se utiliza mucho para procesos de análisis espacial. ( Puede ser reservada para el almacenamiento temporal de información digital, mientras que está esperando ser procesada).

Figura 4. 9 Nomenclatura de Anderson et. Al.: 1976

Código de clasificación de uso de suelo	Etiqueta de clasificación de uso de suelo	Código de subclasificación de uso de suelo	Etiqueta de subclasificación de uso de suelo
1	Urbano / Construcción en marca	11	Residencial
		12	Comercial
		13	Industrial
		14	Transporte / Comunicaciones / utils
		15	Industrial / complejo comercial
		16	Urbanización Mixta
		17	Otros Urbano
2	Agricultura	21	Cultivos y pastizales
		22	Huertos, viñedos, Viveros
		23	Limita las operaciones de alimentación
		24	Otros Agrícolas
3	Pastizales	31	Herbáceo de Pastizales
		32	De arbustos y pastizales pincel
		33	Mezcla de Pastizales
4	Bosques	41	Bosque caducifolio
		42	Bosque siempre verde
		43	Bosque mixto
5	Agua	51	Arroyos y canales
		52	Lagos
		53	Embalses
		54	Estuarios y Bahías
6	Humedales	61	Humedales forestales
		62	No humedales forestales
7	Tierras Yermas	71	Dry Salt Flats
		72	Playas
		73	Áreas Sandy (no Playas)
		74	Bare expuestos Rock
		75	Minas, canteras
		76	Áreas de Transición
		77	Mezcla de Barren

Fuente ZOET 2008

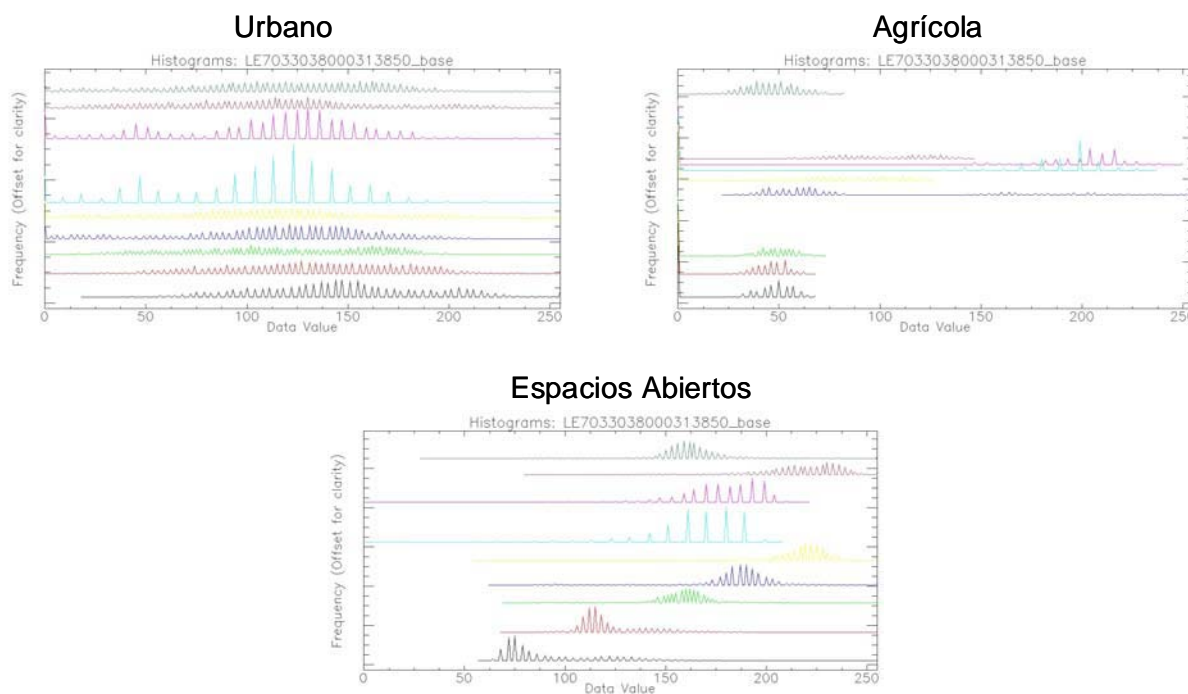
Para poder hacer la clasificación de los pixeles se utilizan dos métodos: clasificación no supervisada y clasificación supervisada. En este caso se utilizó la segunda, previamente, se requiere la creación de regiones de interés, donde se verifiquen los valores de los pixeles de cada uso de suelo que se consideran en la clasificación propuesta por Anderson. Estas regiones de interés sirven de base para realizar la clasificación de los diferentes usos de suelo que hay en nuestra zona de estudio.

La clasificación supervisada, consiste en selección de áreas de interés que se consideran representativas de las distintas clases o tipo de respuesta espectral de interés, se identifica y

delimitan el o las áreas (polígonos). Se analizan los datos de las muestras evaluándose la precisión del “clasificador”, generado mediante una clasificación de las “áreas muestras”, con lo valores en ella, calculados. Y por último, se clasifica o categoriza el área de interés utilizando la combinación de muestras que resultó más favorable según los objetivos buscados.

Las siguientes gráficas representan tres tipos de suelo que se utilizaron, estas estadísticas fueron calculadas con base en la imagen Lansat 2003, mostrando resultados en las diferentes bandas de la imagen satelital (canales). En las graficas se aprecia como en la zona urbana los pixeles cubren todo el espectro y tienen mayores niveles de reflectancia al centro, por el contrario las zonas agrícolas la cobertura de los mismos es parcial y se concentran al inicio del espectro, además de que tienen niveles inferiores de reflectancia; en el caso de los espacios abiertos aunque tienen una respuesta mas amplia que el caso de la agricultura, tampoco cubren todo los valores y muestran niveles de respuesta muy concentrados en pocos valores.

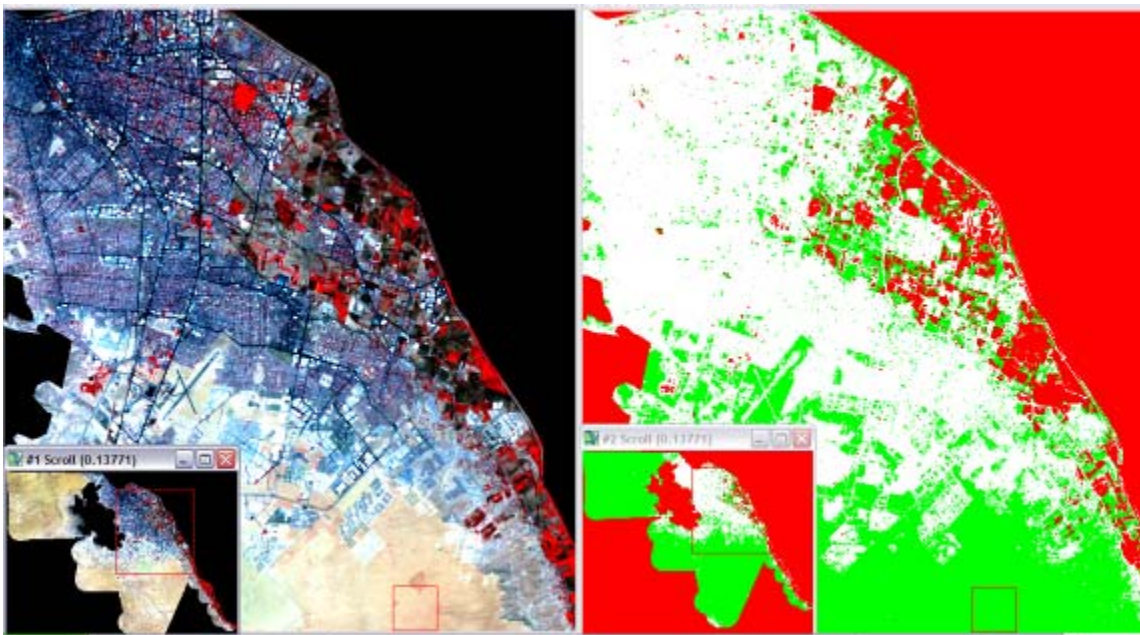
Figura 4.10 Graficas de las estadísticas de las 3 clases utilizadas del uso del suelo



Resultado de las estadísticas con base en la imagen LandSat 2003

En la siguiente figura se pueden apreciar los resultados de la clasificación, donde a modo de ejemplo se ha seleccionado con motivos de exposición solo una sección de la misma, y además se pueden apreciar los resultados de las clases utilizadas. A la izquierda se presenta una composición de imagen RGB utilizando las bandas (4,3,2) la cuál es comúnmente utilizada para resaltar las áreas con vegetación las cuales aparecen en color rojo y en color negro, las áreas que fueron excluidas de la clasificación (EEUU y la Sierra de Juárez); a la derecha se ha representado nuevamente a las zonas agrícolas en color rojo y se ha asignado también ese color a las áreas excluidas, en verde se han representado los espacios abiertos o suelos desnudos, mientras que las áreas urbanizadas se han representado en color blanco.

Figura 4.11 Clasificación utilizada del uso del suelo



Resultado de la clasificación de usos del suelo, desarrollado en ENVI<sup>18</sup>

---

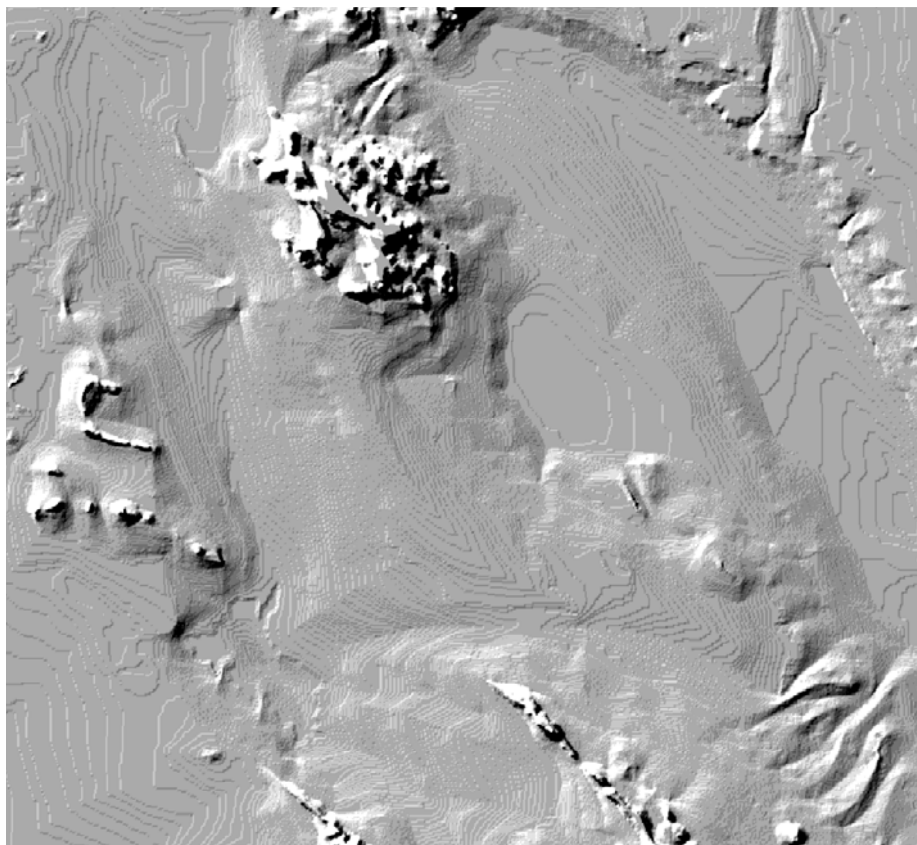
<sup>18</sup> Entorno para Visualización de Imágenes (Environment for Visualizing Images), sistema de procesamiento de imágenes satelitales

#### 4.3.6 Antecedente Hillshade

Una imagen de fondo en escala de grises le da contexto a los datos espaciales generados por el modelo. Esto es útil para describir la ubicación y escala, así como la topografía. Puede ser de gran ayuda en el análisis visual y el estudio de modelo de imagen de salida.

Se requiere crear el hillshade para poder usar en esta parte del modelo. Hillshade (sombra de colina) se utiliza como una imagen de fondo para el modelo, da un contexto espacial a la medida de los datos urbanos y la salida de la imagen se deriva del mismo DEM utilizado para generar la capa de inclinación. Esta debe ser una imagen en escala de grises. El DEM se transformó en trama hillshade que como la figura siguiente muestra representa la topografía de Sierra Juárez.

Figura 4.12 Hillshade



Fuente: Elaboración propia basada en INEGI, Modelo digital de elevación de Ciudad Juárez  
(La parte más llamativa en la parte superior es la Sierra Juárez)

#### 4.4 Formato de Imagen de Entrada

SLEUTH requiere archivos de imagen en escala de grises (GIF) como entrada. Dado que el GIF no es una opción de exportación desde productos Arc, datos raster se transformaron primero en TIF y luego, utilizando la herramienta de imagen xv, se reformatearon como GIFs. Para todas las imágenes, 0 es un valor nulo, mientras que  $0 < n < 256$  es un "en vivo", o valor existente.

Formato de normas para todos los tipos de datos:

- Imágenes en Escala GIF
- Las imágenes se derivan de las redes de la misma proyección
- Las imágenes se derivan de las redes de la misma medida que en el mapa
- Las imágenes tienen dimensiones idénticas (conteo de fila x columna n es coherente)
- Las imágenes siguen el formato necesario para nombrarlas

## 4.5 Reglas y Coeficientes de crecimiento

El modelo simula el cambio del suelo rural que se convertirán en uso urbano a través del tiempo. El proceso de crecimiento urbano se rige por cinco coeficientes de crecimiento. Estos coeficientes son los siguientes: un coeficiente de difusión, que determina la dispersividad general de la distribución de cuadrícula y la circulación de los nuevos asentamientos hacia el exterior a través de la red vial; un coeficiente raza, que determina la probabilidad de un solución recién generada a partir de su propio ciclo de crecimiento; un coeficiente de propagación, que controla cuán normal hacia el exterior "orgánico" la expansión se lleva a cabo dentro del sistema; un coeficiente de resistencia a la pendiente, lo que disminuye la probabilidad de asentamiento que se extienden hasta pendientes más pronunciadas, y un coeficiente de carretera de atracción, que tiene el efecto de atracción nuevos asentamientos a lo largo de la red vial ya existente.

### 4.5.1 Coeficientes de Crecimiento

Cinco coeficientes o parámetros, afectan la forma en que las normas de crecimiento son aplicadas:

*Coeficiente de dispersión*

*Coeficiente breed*

*Coeficiente de propagación*

*Coeficiente de inclinación*

*Coeficiente de influencia carretera*

Cada coeficiente puede ser un número entero entre 0 y 100.

Comparando los cambios simulados en la cobertura terrestre en un área de estudio histórico de datos. Estos valores son calibrados mediante la comparación del suelo y el cambio en el tiempo de la cobertura terrestre.

#### 4.5.1.1 Coeficiente de Dispersión

El coeficiente de dispersión ó coeficiente de difusión controla el número de veces que un pixel será seleccionado al azar para su posible urbanización durante el *crecimiento espontáneo*. Un



valor aplicado es derivado del coeficiente de dispersión<sup>19</sup>

El coeficiente de dispersión también controla muchos “pasos”, o píxeles, hasta hacer una caminata aleatoria a lo largo de la red de transporte por carretera en un viaje como parte del *crecimiento de la carretera de gravedad*. El coeficiente de dispersión es aplicado al *crecimiento de la carretera de gravedad* por:<sup>20</sup>

#### 4.5.1.2 Coeficiente de Breed

El coeficiente de Breed determina la probabilidad de un pixel a poder ser urbanizado por *crecimiento espontaneo*, convirtiéndose en un *Nuevo centro difusión*.<sup>21</sup>

El coeficiente de Breed también determina el número de veces que un viaje en carretera durante *crecimiento de la carretera de influencia*.<sup>22</sup>

#### 4.5.1.3 Coeficiente de propagación

El coeficiente de propagación determina la probabilidad de cualquier pixel de ser parte del centro de propagación (un grupo de píxeles de tres o más en un periodo de nueve células de

---

<sup>19</sup>  $dispersion\_value = ((dispersion\_coeff * 0.005) * \sqrt{rows\_sq + cols\_sq})$

entonces  $dispersion\_value$  es maximo donde:  $(dispersion\_coeff == 100)$  será 50% de la imagen diagonal.

$dispersion\_value$  es entonces aplicado al crecimiento espontáneo mediante:

```
for (k=0; k<dispersion_value; k++)  
    {  
        select pixel (i,j) at random  
        try to urbanize (i,j)  
    }
```

<sup>20</sup>  $run\_value = dispersion\_coefficient$

donde  $run\_value$  es el máximo número de pasos hechos a lo largo de la red de transporte.

<sup>21</sup> El coeficiente de Breed es aplicado al *Nuevo centro difusión* por:

```
if ( random_number < breed_coefficient ) {  
    attempt to urbanize two neighbors ;  
}
```

<sup>22</sup> El coeficiente de Breed es aplicado al *crecimiento de la carretera de influencia* por:

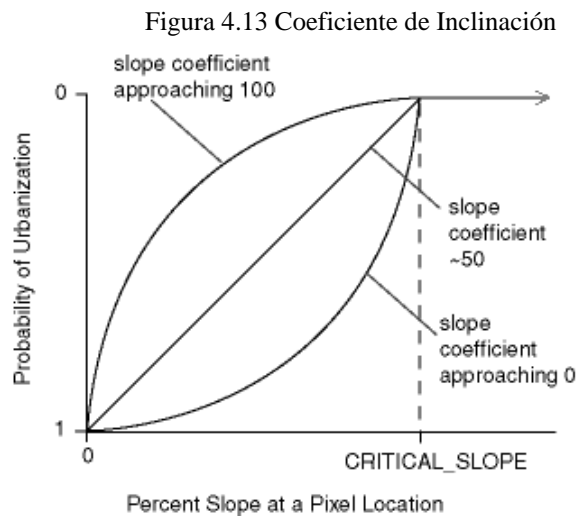
```
for ( k = 0; k <= breed_coefficient; k++ ) {head off on a road trip;  
}
```

barrio) generará un píxel urbano adicional en su vecindario.

El coeficiente de propagación es aplicado al *crecimiento de borde* por:<sup>23</sup>

#### 4.5.1.4 Coeficiente de Inclinación

El coeficiente de inclinación afecta a todas las reglas de crecimiento de la misma manera. Cuando un lugar está siendo evaluado para la adecuación de la urbanización, la pendiente en ese lugar es considerada.



Fuente: Proyecto Gigapolis

En lugar de que se cumpla una simple relación lineal entre el porcentaje de la pendiente y el desarrollo urbano, el coeficiente de inclinación actúa como un multiplicador. Si el coeficiente de inclinación es alto, es más probable que estos taludes fallen. Como el coeficiente de inclinación se va acercando a cero, un aumento de la pendiente local tiene menos efecto en la probabilidad de urbanización (Figura 4.13).

---

<sup>23</sup> if ( *random\_number* < *spread\_coefficient* ) {  
    attempt to urbanize neighboring pixel;  
}

El coeficiente de inclinación es usado para calcular pendientes ponderadas del primer cálculo<sup>24</sup>

#### 4.5.1.5 Coeficiente de influencia de carretera

Durante el crecimiento de la carretera de influencia la distancia máxima de búsqueda de un píxel es seleccionado para un viaje por carretera de píxel que se determina como algunas de las dimensiones de la imagen.

El valor aplicado es derivado del coeficiente de influencia de la carretera ( $rg\_coef$ )<sup>25</sup>

---

$$^{24} ex = slope\_coefficient / MAX\_SLOPE\_RESISTANCE / 2.0$$

donde  $MAX\_SLOPE\_RESISTANCE$  fija 100 y “ $ex$ ” es un exponente que influye en el valor.

Usando “ $ex$ ”, la búsqueda esta construido por:

```
for ( i = 0; i < lookup_table_size; i++ ) {  
    if ( i < critical_slope ) {  
        val =(CRITICAL_SLOPE - i)/ CRITICAL_SLOPE  
        lookup_table[i] = 1.0 - valex;  
    } else { lookup_table[i] = 1.0; }  
}
```

$$^{25} rg\_value =(rg\_coef / MAX\_ROAD\_VALUE)*(nrows + ncols /16.0).$$

Donde  $MAX\_ROAD\_VALUE$  es definido como 100, y ( $nrows$ ,  $ncols$ ) son la fila y la columna respectivamente. Entonces  $rg\_value$  es el máximo (cuando  $rg\_coef$  es 100); será 1/16 de las dimensiones de la imagen. Si el  $rg\_coef$  es menos que 100, entonces el  $rg\_value$  será una proporción menor que 1/16 de las dimensiones de la imagen;  $rg\_value$  es entonces aplicado al crecimiento de la carretera de influencia por:

$$max\_search\_index = 4 * rg\_value *(1+ rg\_value)$$

Donde  $rg\_value$  define el máximo número de barrios de la selección de pixeles urbanos en la búsqueda de la carretera. La primera vecindad ( $rg\_value == 1$ ) se compone de los píxeles seleccionados urbano de 8 células adyacentes. El segundo vecindad ( $rg\_value == 2$ ) sería el 16 píxeles adyacentes hacia el exterior para la primera vecindad, etc. De este modo, la búsqueda de una carretera continuará hasta que:

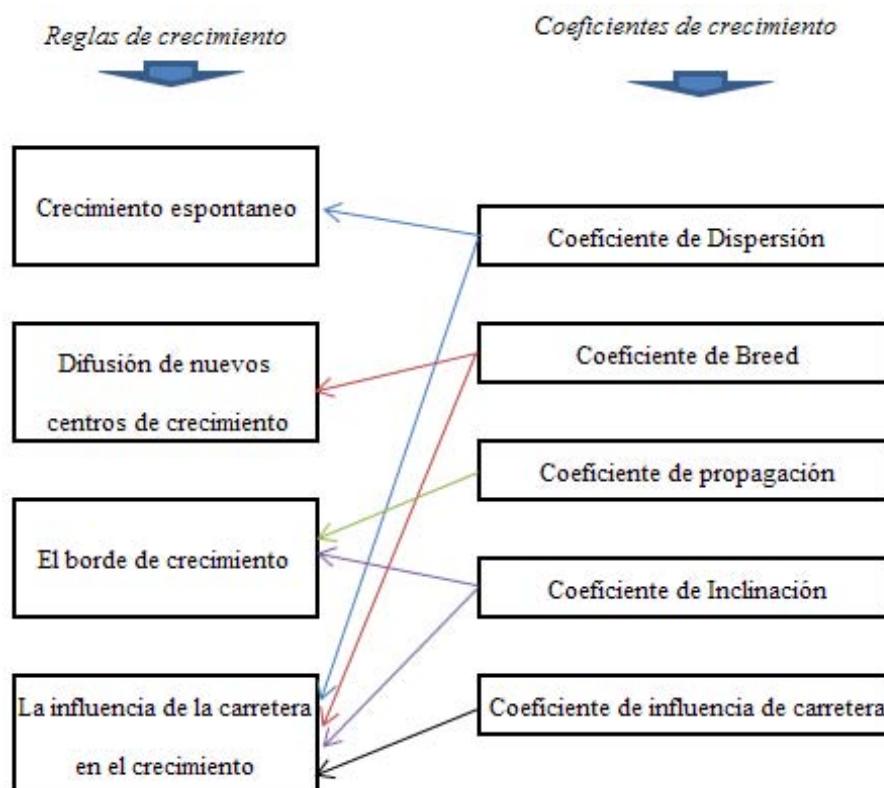
- (a) Una carretera se encuentra, o
- (b) la búsqueda distancia es mayor que  $MAX\_SEARCH\_INDEX$ .

#### 4.5.2 Reglas de Crecimiento

La dinámica del crecimiento urbano se expresa por cuatro normas:

- La espontaneidad,*
- La difusión de nuevos centros,*
- El borde,*
- La influencia de la carretera.*

Figura 4.14 Reglas de crecimiento con relación a los coeficientes de crecimiento



Fuente: Yea-Chung Ding, Yong- Kui Zhang "The simulation of urban growth applying SLEUTH ca model to the Yilan Delta in Taiwan"; Departamento de geografía, Taipei, Taiwan

##### 4.5.2.1 Crecimiento espontáneo

El crecimiento espontáneo define la aparición aleatoria de la urbanización, esto significa dentro del marco de autómatas celulares, que cualquier célula no urbanizada en el entramado tiene una cierta probabilidad de ser urbanizada en cualquier momento. De este modo, si un

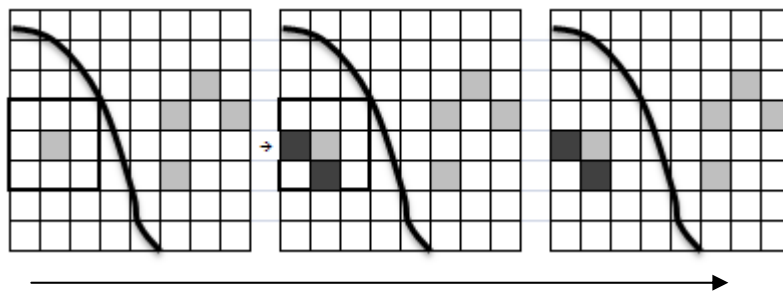
determinado celular  $U(i, j, t)$  siendo las coordenadas  $(i, j)$  en el tiempo  $t$  será urbanizado en el momento  $t + 1$  siendo expresada <sup>26</sup>

#### 4.5.2.2 Difusión de nuevos centros de crecimiento

El próximo paso del crecimiento urbano se define por la dinámica de la difusión de nuevos centros. Como su nombre lo indica, este apartado determina si alguno de los nuevos centros, por espontaneidad pueden ser convertidos en la difusión de nuevos centros urbanos. El parámetro *breed\_coefficient*, define la probabilidad para cada nueva urbanización de células  $U(i, j, t + 1)$  para convertirse en un nuevo centro de difusión de  $U'(i, j, t + 1)$ , las dos células vecinas también están disponibles para la urbanización:

$U'(i, j, t + 1) = f2[\text{coeficiente de raza}, U(i, j, t + 1), \text{random}]$ , donde  $(k, l)$  son vecinos más cercanos a  $(i, j)$ . Si la célula se le permite convertirse en un centro de propagación, otras dos células adyacentes al nuevo centro también tienen que ser urbanizados. De este modo la difusión de un centro urbano se define como un lugar con tres o más células adyacentes son urbanizadas. La actualización de esta medida depende de *slope\_coefficient* ponderado topografía y la disponibilidad de células de barrio para hacer la transición.

Figura 4.15 Difusión de nuevos centros de crecimiento



Fuente: Geosimulation: automata based modeling of urban phenomena, Benenson & Torrens, England, Wiley, 2005.

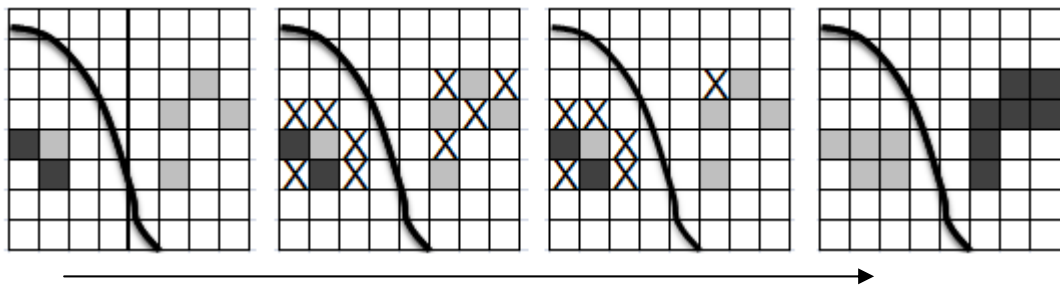
<sup>26</sup>  $U(i, j, t + 1) = f1[\text{dispersion\_coefficient}, \text{slope\_coefficient}, U(i, j, t), \text{random}]$ ,

Donde el parámetro *dispersion\_coefficient* determina espontaneidad y el parámetro *slope\_coefficient* determina la probabilidad ponderada de la pendiente. La estocasticidad del proceso es indicada al azar. Si la celda ya está urbanizada o excluidos de la urbanización, no va a cambiar, y por lo tanto la capacidad de transición depende también de las propias células del valor actual.

#### 4.5.2.3 El borde de crecimiento

La dinámica del crecimiento de borde define la parte del crecimiento que se deriva de la difusión de los centros existentes. Este crecimiento se propaga en los nuevos centros generados, el tiempo  $(t + 1)$ , y los más establecidos centros de épocas anteriores. Así, si una célula no-urbana tiene al menos tres células vecinas urbanizada, tiene una cierta probabilidad global para convertirse también en urbanizada definida por el *spread\_coefficient*, lo que es posible construir en la celda (*slope\_coefficient*). Por lo tanto, este borde de crecimiento puede expresarse por:<sup>27</sup>

Figura 4.16 El borde del crecimiento



Fuente: “*Geosimulation: automata based modeling of urban phenomena*, Benenson & Torrens”, Inland, Wiley, 2005.

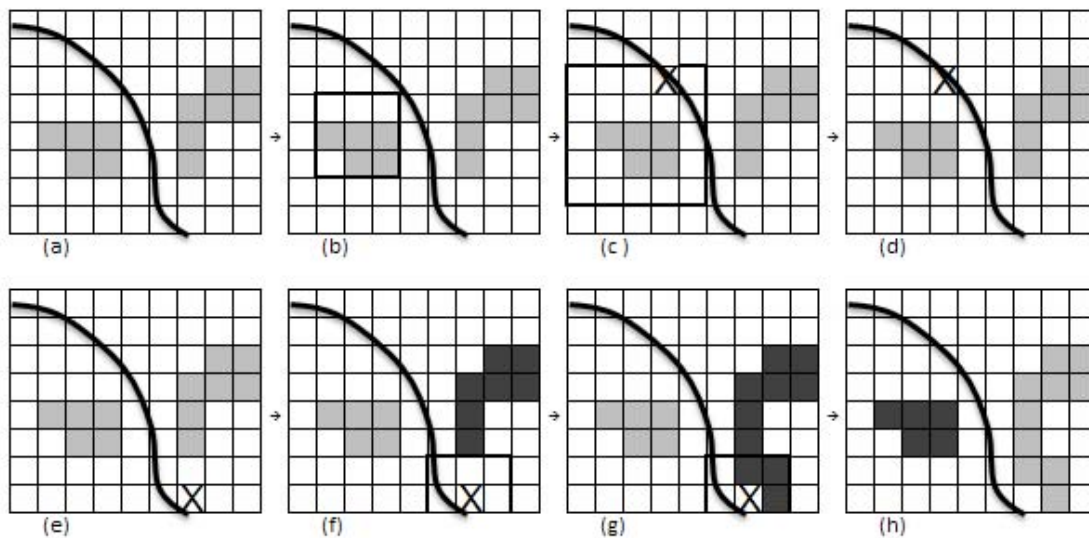
#### 4.5.2.3 La influencia de la carretera en el crecimiento

El último paso de crecimiento, es influenciado por la carretera, está determinado por las infraestructuras de transporte existente, así como la urbanización más reciente realizada en virtud de las medidas anteriores. Con una probabilidad definida por *breed\_coefficient*, por las recientemente urbanizadas células (en el tiempo  $t + 1$ ) son seleccionados, y la existencia de una carretera se solicita en sus vecindarios. Este temporal urbano de células lleva a cabo una caminata aleatoria a lo largo de la carretera (o carreteras conectadas a la carretera original), donde el número de pasos se determina mediante el parámetro *dispersion\_coefficient*. La

<sup>27</sup>  $U(i, j, t + 1) = F3[\text{spread\_coefficient}, \text{slope\_coefficient}, U(i, j, t), U(k, l), \text{al azar}]$ , donde  $(k, l)$  pertenece a la parte más cercana del barrio  $(i, j)$ .

ubicación final de esta temporal célula urbanizada es considerada entonces como un nuevo núcleo urbano de propagación. Si una célula vecina a la celda temporal urbanizadas (sobre la carretera) está disponible para la urbanización, que va a suceder (elegido al azar entre los posibles candidatos). Si dos células adyacentes a esta recién urbanizadas células también están disponibles para la urbanización que va a suceder (elegido al azar entre los candidatos). Por lo tanto, la creación de la célula temporal urbanizada en el camino se define por:<sup>28</sup>

Figura 4.17 La influencia de la carretera en el crecimiento



Fuente: "Geosimulation: automata based modeling of urban phenomena, Benenson & Torrens," England, Wiley,

<sup>28</sup>  $U'(k, l, t+1) = f4.1 [U(i, j, t+1), road\_gravity\_coefficient, R(m, n), random]$  donde  $i, j, k, l, m, n$  y son las coordenadas de células, y  $R(m, n)$  define una hoja de celda. La caminata aleatoria en el camino puede ser expresada por :

$$U''(i, j, t+1) = f4.2 [U'(k, l, t+1), dispersion\_coefficient, R(m, n), random].$$

Cuando  $(i, j)$  son las carreteras, las células vecinas son  $(k, l)$ . Si queremos definir la ubicación temporal de la urbanización de células al final de la caminata aleatoria de  $(p, q)$ , adyacente al nuevo centro urbano propagación será definido por:

$$U'''(i, j, t+1) = f4.3 [U''(p, q, t+1), R(m, n), slope\_coefficient, random],$$

y otras dos células adyacentes urbanizada puede añadirse utilizando :

$U''''(i, j, t+1) = f4.4 [U'''(p, q, t+1), slope\_coefficient, random]$ , cuando  $(i, j)$  y  $(k, l)$  pertenecen a la parte más cercana del barrio  $(p, q)$ . Los cuatro pasos anteriores se les denominará colectivamente como un viaje por carretera. Cada intento de seleccionar un pixel recientemente urbanizado para pasar a una carretera es un nuevo viaje. El número de intentos de viajes por carretera en un determinado ciclo de crecimiento está determinado por la *breed\\_coefficient*.

Resumiendo el *crecimiento espontáneo* simula la aparición de un nuevo asentamiento urbano en el paisaje, sin la necesaria relación con las infraestructuras preexistentes. *El Nuevo centro de difusión de crecimiento* controla la probabilidad de que uno de los asentamientos recién creados con el *crecimiento espontáneo* se convertirá en un centro para el crecimiento continuo. Los Modelos de *crecimiento del borde* de la ciudad hacia el exterior, así como en zonas urbanas de llenado. El *Crecimiento de influencia de carretera* genera la difusión de los centros próximos a las rutas de transporte y simula la tendencia de nuevo crecimiento para seguir las líneas de transporte. Estas normas de crecimiento se producen secuencialmente, y la célula de estado se actualiza después de la aplicación de cada norma en todo el espacio.

#### 4.5.3 Auto-Modificación

Un ciclo de crecimiento es la unidad básica de ejecución de SLEUTH. Se comienza asignando a cada uno de los coeficientes a un valor único. Cada una de las normas de crecimiento se aplica a los datos raster (digitalizados). Por último, la tasa de crecimiento resultante se evalúa. Si la tasa de crecimiento resulta por encima o por debajo de los valores límite, el modelo de auto-modificación se aplica. La auto-modificación variará ligeramente los valores del coeficiente para simular la aceleración o reducción del crecimiento que está relacionado con las condiciones urbanas pico (boom y busto) en desarrollo de todo el sistema. Para aplicar la auto-modificación, el primer paso es determinar si el sistema se encuentra en un crecimiento o en período estable de desarrollo. Un estado "boom" se produce si la tasa de crecimiento supera el valor *CRITICAL\_HIGH* e indica un período de aceleración del crecimiento. Cada uno de los coeficientes se incrementa continuando esta tendencia. Un estado "busto" estado se produce cuando la tasa de crecimiento es inferior al *CRITICAL\_LOW*. En ese caso, los coeficientes se reducirán a fin de reducir la tasa de crecimiento en todo el sistema El algoritmo utilizado para aplicar la auto-modificación de los coeficientes<sup>29</sup>

---

<sup>29</sup> Dado:

$$\text{growth\_rate} = \text{number\_growth\_pixels} / \text{total\_number\_urban\_pixels} * 100$$

$$\text{percent urban} = (100 * (\text{total\_number\_urban\_pixels} + \text{road\_pixels}) / \text{total number pixels road pixels excluded pixels})$$



---

Donde *number\_growth\_pixels* es el número de píxeles de nuevas zonas urbanizadas del actual ciclo de crecimiento, *total\_number\_urban\_pixels* es la cantidad de píxeles urbanos del actual y anterior ciclo de crecimiento *road\_pixels* es el número de píxeles de carretera utilizados para el actual ciclo de crecimiento, y *excluded\_pixels* es el número de píxeles en la capa de exclusión con valor absoluto de exclusión.

```
if (growth_rate > CRITICAL_HIGH) {  
    slope_res = slope_res - (percent_urban * SLOPE_SENSITIVITY)  
    road_grav = road_grav + (percent_urban * ROAD_GRAV_SENSITIVITY)  
if (dispersion < MAX) {  
    dispersion = dispersion * BOOM;  
    breed = breed * BOOM;  
    spread = spread * BOOM;  
    }  
}
```

donde *CRITICAL\_HIGH* es la tasa de crecimiento umbral por encima del cual el estado “boom” o de auge existe para el sistema. *Slope\_res*, *road\_grav*, *dispersion*, *breed*, y *spread* representan los valores de coeficiente *slope\_resistence*, *road\_gravity*, *dispersion*, *breed* y *spread* respectivamente.

*SLOPE\_SENSITIVITY*, *ROAD\_GRAV\_SENSITIVITY*, y *BOOM* (así como *BUST* se usa en el estado “busto”) son usados para modificar los valores de coeficientes y *MAX* es el máximo valor de un coeficiente.

```
if (growth_rate < CRITICAL_LOW) {  
    slope_res = slope_res + (percent_urban * SLOPE_SENSITIVITY)  
    road_grav = road_grav - (percent_urban * ROAD_GRAV_SENSITIVITY)  
if (dispersion > 0) {  
    dispersion = dispersion * BUST;  
    breed = breed * BUST;  
    spread = spread * BUST;  
    } }  
}
```

donde *CRITICAL\_LOW* es el límite inferior *growth\_rate*, por debajo del cual el sistema entra en un estado de “busto”.

## V CALIBRACIÓN Y PREDICCIÓN DEL MODELO

### Introducción

Un importante principio de la aplicación de SLEUTH es conocer los datos de crecimiento pasado de la región a estudiar, esto ayuda a calibrar el modelo para obtener un pronóstico futuro de crecimiento de la zona. A raíz de este supuesto, el modelo es calibrado completando datos simulados a los datos históricos espaciales recogidos a partir de las imágenes satelitales o de otros datos obtenidos por teledetección, SLEUTH inicia con los primeros datos la cual significa la fecha más antigua en el pasado y los ciclos de crecimiento se generan a partir de ellos.

### 5.1 Calibración del Modelo

La calibración es un proceso mediante el cual un conjunto de valores de mejor ajuste de los parámetros se derivan de un conjunto de datos estimados. La calibración del modelo SLEUTH implica encontrar la mejor combinación de los cinco parámetros de crecimiento que regulan el proceso de crecimiento urbano. El proceso de calibración utiliza datos históricos y un proceso de prueba-y-error para determinar los mejores valores de los parámetros.

Los ciclos de crecimiento completo son de un año en el tiempo. Las fechas en que existen datos históricos hacen referencia a los años de control. Cuando un ciclo completado tiene un año de control correspondiente, una imagen simulada de datos se produce y varios parámetros urbanos se miden y se almacena en la memoria.

Los cinco parámetros de crecimiento SLEUTH pueden tener cualquier valor entre 0 y 100. Esto plantea un gran conjunto de posibles soluciones y una ingente cantidad de capacidad de cómputo de los ciclos requeridos a fin de estudiar el espacio de coeficientes multidimensional. Estos valores no tienen unidad, se limitan a indicar la importancia de cada tipo de crecimiento urbano en el proceso de crecimiento. Cuanto más alto sea el valor del parámetro mayor será el efecto del parámetro de crecimiento en el proceso de crecimiento urbano.

Como una manera de reducir el número de conjuntos de solución, pero todavía buscando el rango de soluciones, la metodología de la fuerza bruta de calibración se ha utilizado para obtener los valores de los parámetros. En lugar de ejecutar cada permutación de posibles coeficientes establecidos, cada rango de parámetros se examina en incrementos. Por ejemplo, el rango {0-100} puede ser incrementado a través de incrementos de 25 resultantes en los valores (0, 25, 50, 75, 100) o 5 simulaciones que se están llevando a cabo con el fin de cubrir el rango. De esta manera, el modelo puede ser calibrado a la fecha en pasos, y sucesivamente reducir el rango de valores del coeficiente.

### 5.1.1 Método de Monte Carlo

Debido a la gran cantidad combinaciones aleatorias presentes en cada ciclo de crecimiento, las simulaciones son generadas en un modelo Monte Carlo para lograr una mayor cantidad y estabilidad en los resultados.. El Método de Monte Carlo reduce la dependencia de las condiciones iniciales y estocásticas. Cuando un coeficiente ha completado un número definido de simulaciones de Monte Carlo, los valores almacenados en la memoria son sumados y divididos por el número de iteraciones de Monte Carlo. Estos valores promedio se compararán con los datos de control y métricas de regresión lineal, la mejor estimación estadística es calculada.

### 5.1.2 Clasificación de Resultados del Modelo de Simulación

SLEUTH genera las estadísticas para la medición las cuales son:

***run***: Numero de iteraciones que corre el modelo

***compare***: compara la cantidad de zonas urbanas modeladas para detener la fecha donde *Pmodeled* es el área urbana modelada y para el final de año es ( $P_{actual}$ ):

***pop***: Resultados de la regresión de mínimos cuadrados para el modelo urbano actual en comparación con el área urbana para el año de control

***edges***: Resultados de la regresión de mínimos cuadrados para el modelo del perímetro urbano, o borde, en comparación con el actual perímetro urbano por el año de control

***clusters***: Resultados de la regresión de mínimos cuadrados para el modelo de número de agrupaciones urbanas en comparación con el número conocido de las agrupaciones urbanas

por los años de control

**cluster\_size:** Resultados de la regresión de mínimos cuadrados para el modelo del tamaño promedio de agrupaciones urbanas en comparación con el tamaño conocido por los años de control.

**cluster\_size:** Resultados de la regresión de mínimos cuadrados para el modelo del tamaño promedio de agrupaciones urbanas en comparación con el tamaño conocido por los años de control.

**leesalee:** un índice de forma, medida de ajuste espacial entre el modelo de crecimiento y la extensión urbana conocida para el control de los años, 1 es una combinación perfecta y 0 representa un espacio de desconexión:

$s = (A \cap B) / (A \cup B)$  donde A es modelado y B es la área urbana actual.

**slope:** Resultados de la regresión de mínimos cuadrados para el promedio de inclinación para el modelo de células urbanizadas en comparación con el promedio de inclinación de celdas urbanas conocidas por los años de control.

**%urban:** Resultados de la regresión de mínimos cuadrados del porcentaje de píxeles disponibles urbanizados en comparación con el número de píxeles urbanizados por los años de control.

**slope:** Resultados de la regresión de mínimos cuadrados para el promedio de inclinación para el modelo de células urbanizadas en comparación con el promedio de inclinación de celdas urbanas conocidas por los años de control.

**%urban:** Resultados de la regresión de mínimos cuadrados del porcentaje de píxeles disponibles urbanizados en comparación con el número de píxeles urbanizados por los años de control.

**xmean:** Resultados de la regresión de mínimos cuadrados del promedio de longitud (calculado usando columna de valores) para modelar lugares urbanizados comparados con el promedio de longitud de áreas urbanas conocidas por los años de control.

**ymean:** Resultados de la regresión de mínimos cuadrados del promedio de latitud (calculado usando filas de valores) comparada al promedio de latitud de áreas urbanas conocidas por los años de control

**rad:** Es la medida de dispersión urbana =  $\sqrt{(\text{std}_x^2 + \text{std}_y^2)}$ .

**diff:** Coeficiente de calibración de dispersión.

**brd:** Coeficiente Breed

*sprd*: Coeficiente de propagación.

*slp*: Resistencia a la pendiente.

*rg*: Parámetro de influencia de carretera.

Estas cifras se generan para cada año de control. La simulación de datos es entonces comparado con la cifras de los datos históricos y valores de regresión lineal que se calculan. Estos mejores valores de ajuste se escriben en el archivo de salida “control\_stats.log”. Este archivo es el principal utilizado para la puntuación de varias ejecuciones hechas durante la calibración.

Cuanto mayor sea el número de medidas utilizada para la calibración, será más difícil aislar y describir los factores que influyen en el éxito de calibración. Posteriormente se describen los valores de las medidas de calibración y el modelo de coeficientes, para explicar cómo afectan al comportamiento del modelo.

## 5.2 Proceso de calibración

El proceso de calibración consta de tres fases: la calibración gruesa, calibración fina y calibración final.

En la estabilidad de calibración, incluso con el empleo de la metodología de fuerza bruta, los requerimientos computacionales para correr SLEUTH todavía pueden ser bastantes debido al número de años históricos a ser simulados y el tamaño de la imagen de los datos de entrada. Como una manera de reducir este cálculo, y el mantener la escalabilidad absoluta del modelo, las aplicaciones anteriores del modelos han utilizado datos *re muestreados*, o *desaliñados* en las fases iniciales de calibración para reducir aún más los ciclos del procesamiento en computo requerido.

### 5.2.1 Calibración gruesa

Es la fase inicial comienza con una amplia gama de valores de los parámetros (0-100) de los cinco coeficientes se exploran los mayores incrementos y estos valores (son incrementos de 25). Así, en la calibración gruesa, el crecimiento de cada parámetro puede tomar uno de los siguientes valores: 0, 25, 50, 75, o 100. Y la resolución de los datos es de  $\frac{1}{4}$  de su tamaño. Por

ejemplo, si un conjunto de datos de alta resolución es 200x200, para la fase gruesa todas las imágenes de calibración son remplazadas por otras de dimensión 50x50. Durante la calibración, el programa se ejecuta en varias ocasiones, la prueba individual de cada parámetro en combinación incrementa los valores. La calibración gruesa utiliza el tamaño de celda más grande de las tres fases de calibración.

Proceso de selección de los parámetros de calibración del modelo:

1. Utilizando el archivo de salida del modelo SLEUTH control\_stats.log se ordenan los datos de manera descendente utilizando la medida de *Lee Sallee*
2. Para los tres primeros lugares (que se reproducen a continuación) se toman el valor mínimo y máximo de los coeficientes. Si es posible para mas de una corrida tener el mismo valor de coeficientes del modelo, crear un intervalo con centro en el mismo
3. Para cada coeficiente: en el archivo de escenario a ser usado para la calibración fina, los menores valores deben ser asignados a las variables `_START`
4. Para cada coeficiente: en el archivo de escenario a ser usado para la calibración fina, los mayores valores deben ser asignados a las variables `_STOP`
5. El valor de las variables `_STEP` deben lograr fraccionar el intervalo entre `_START` y `_STOP` entre 4 y 6 veces. Si solo un valor del coeficiente es ordenado entre los 10 máximos los valores de `_START`, `_STOP` y `_STEP` deben explorar una calibración fina alrededor de ese valor del coeficiente:

Figura 5.1 Resultados del proceso descrito; los valores de los coeficientes para la calibración fina.

	<code>_START</code>	<code>_STEP</code>	<code>_STOP</code>
CALIBRATION_DIFFUSION	0	5	20
CALIBRATION_BREED	75	5	100
CALIBRATION_SPREAD	80	5	100
CALIBRATION_SLOPE	0	10	50
CALIBRATION_ROAD	75	5	100

Fuente: Con los datos de la calibración inicial del modelo SLEUTH

### 5.2.2 Calibración Fina:

La fase fina de calibración en el modelo estadístico proporciona índices, identifica las combinaciones de valores de los parámetros de crecimiento que producen mejores simulaciones. Utilizando el mejor ajuste de los valores encontrados en el archivo control\_stats.log producidos en la fase de calibración grueso, la gama de posibles valores del coeficiente se redujo. Lo ideal sería que los rangos se redujeran a los incrementos de 5 - 10 y pueden ser utilizados al mismo tiempo sólo con unos valores por 5-6 coeficiente (por ejemplo, por un coeficiente, el valor = (25, 30, 35, 40, 45, 50)). Estos nuevos límites se aplican a los datos que han sido reemplazados a  $\frac{1}{2}$  de su resolución completa. Por ejemplo, si un conjunto de datos de alta resolución es 200x200, la calibración fina para todas las imágenes se reemplaza a 100x100.

Selección de coeficiente de rangos de fina de calibración

El algoritmo de decisión para reducir coeficiente en la calibración fina:

El uso de control\_stats.log archivo:

1. Ordenar el archivo en orden descendente utilizando la medida Lee Sallee
2. Para las tres primeras clasificaciones: tener valores altos y bajos de cada uno de los coeficientes. Es posible que más de una corrida sea necesaria para tener la misma puntuación, para la creación de una igualdad.
3. Para cada coeficiente: en el escenario que se utiliza para la calibración final, los bajos valores se establecen a \_START
4. Para cada coeficiente: en el escenario que se utiliza para la calibración final, los altos valores se establecen a \_STOP
5. El valor \_STEP selecciona el incremento entre \_START y \_STOP valores 4-6 veces
6. Si sólo un coeficiente de valor tipo en el top 10 (por ejemplo, "1" para el coeficiente dispersión y coeficiente breed) seleccione \_START, \_STEP, y \_STOP valores que explorar un fino espacio alrededor de coeficiente del valor.

Figura 5.2 resultados de valores de los coeficientes seleccionados para la siguiente fase final

	_START	_STEP	_STOP
CALIBRATION_DIFFUSION	1	1	1
CALIBRATION_BREED	75	2	85
CALIBRATION_SPREAD	90	2	100
CALIBRATION_SLOPE	10	4	30
CALIBRATION_ROAD	90	1	95

Fuente: Con los datos de la calibración del modelo SLEUTH

### 5.2.3 Calibración Final.

La fase final de calibración, el alcance y los incrementos para los valores de los parámetros de crecimiento se redujo aún más. Esto se hace siguiendo el mismo procedimiento descrito para la calibración final. Sobre la base de las estadísticas de índices de calibración final, el coeficiente de propagación

Utilizando el mejor ajuste los valores encontrados en el archivo control\_stats.log producidos en la fase de calibración fina, lo ideal sería que los rangos se redujeran de manera que los incrementos de 1 - 3 podrían utilizarse al mismo tiempo, sólo con unos valores de 5-6 coeficiente (por ejemplo, por un coeficiente, el valor = (4, 6, 8, 10, 12)). Estos nuevos límites se aplican a la resolución completa de datos.

Para el algoritmo del uso de control\_stats.log archivo:

1. Ordenar el archivo en orden descendente utilizando la medida Lee Sallee
2. Del resultado superior: seleccionar los correspondientes valores del coeficiente.
3. Si es posible correr más de una vez para tener la misma puntuación, la creación de una similitud. En este caso, se selecciona el valor más bajo.
4. Para cada coeficiente: en el escenario se utiliza para obtener la previsión de los coeficientes, utilizando los mejores resultados de coeficiente de valor, definido por los valores \_START y \_STOP.
5. Para cada coeficiente: establecer el valor \_STEP a uno.



Figura 5.3 Valores de los coeficientes seleccionados para la fase predictiva quedarían:

	_START	_STEP	_STOP
CALIBRATION_DIFFUSION	1	1	1
CALIBRATION_BREED	95	1	95
CALIBRATION_SPREAD	80	1	80
CALIBRATION_SLOPE	20	1	20
CALIBRATION_ROAD	92	1	92

Fuente: Con los datos de la calibración del modelo SLEUTH

### 5.3 Predicción del Modelo

Como se ha indicado anteriormente, las previsiones SLEUTH se basan en la repetición de las tendencias de crecimiento del pasado. Una vez que el coeficiente establecido encuentra la mejor manera de describir como los cambios urbanos se han producido en el tiempo, estos valores se utilizan para pronosticar el crecimiento futuro. El proceso de calibración produce la inicialización de valores de coeficientes que mejor simulan el crecimiento histórico de una región. Sin embargo, debido a las cualidades de auto modificación de SLEUTH, los valores del coeficiente que inicializa el modelo para una fecha en el pasado pueden ser alterados por la simulación de la fecha de finalización. Por lo tanto, para ejecutar el arranque de las previsiones, los valores del coeficiente a la fecha del final de la simulación, se utilizan para iniciar una nueva simulación en una fecha futura. Utilizando los mejores coeficientes derivados de calibración para ejecutar un gran número de simulaciones de Monte Carlo, lo que producirá un conjunto único de un promedio de los coeficientes para la simulación de la fecha final.

Para los datos de la imagen, la capa urbana más reciente (la que se define la fecha de finalización de calibración), la más reciente capa de transporte, y capas de exclusión y pendiente usadas en la calibración, además de los antecedentes de las sombras de colina se utilizaron para inicializar y correr las previsiones.

Las normas de crecimiento son aplicadas a los datos para un número definido de años, lo que en este estudio será hasta el 2030. Las previsiones son ejecutadas en la moda Monte Carlo con 100 o más iteraciones. Además de la generación anual de crecimiento urbano, mapas de

probabilidad, un registro de coeficientes y valores métricos pueden ser escritos en un archivo de salida.

Cuando el último proceso de calibración se ha completado, los mejores parámetros seleccionados son administrados a través de los datos históricos y sus valores finales, en muchas ocasiones se promedian teniendo en cuenta los parámetros de automodificación (un alto valor crítico o una estimación baja de crecimiento, “boom” y “bust” calibrado automáticamente por el modelo con los datos históricos durante la fase de calibración). Estos parámetros generan pautas más realistas de crecimiento, ya que sin ellos el modelo produciría un crecimiento lineal o exponencial. Los parámetros del crecimiento crítico aumentan o disminuyen la difusión, el coeficiente *breed*, y los coeficientes de difusión. Los parámetros auge y busto imitan la tendencia de un sistema de expansión para crecer aún más rápidamente o para causar que el crecimiento se reduzca a como lo hace en un sistema deprimido o saturado. Otros efectos de la automodificación son un aumento del coeficiente de influencia de carretera, y una disminución de de coeficiente de resistencia a la pendiente como el porcentaje de tierra disponible para el desarrollo disminuya (Leao 2004). Para la simulación de Ciudad Juárez, los parámetros promedio finales a ser usados en la fase de predicción son presentados en la tabla anterior.

Para la fase de predicción, los datos de entrada incluyen como punto de partida los parámetros descritos anteriormente, mapas de pendiente y zonas excluidas, datos más recientes, capas de zonas urbanas y la red de carreteras. Zonas urbanas predichas son el resultado de la probabilidad de Monte Carlo ejecutada. La salida son capas urbanas para fechas futuras, por lo tanto, se presentan no sólo como urbanas y no urbanas, sino en función de su probabilidad de urbanización futura. Estas probabilidades en clases discretas, como se describe en el modelo de calibración cada parámetro reflejan un tipo de crecimiento espacial. Para la ciudad Juárez, el coeficiente de difusión es muy bajo, lo que refleja una baja probabilidad de crecimiento dispersivo; y esto influye en baja probabilidad de crecimiento de nuevos asentamientos urbanos separados. Por otra parte, el coeficiente de propagación es alto; esto quiere decir que estimula el crecimiento hacia el exterior de las obras existentes y las zonas urbanas consolidadas. El alto valor del coeficiente de carretera de gravedad indica que el crecimiento es también muy influenciado por la red de transporte, y se produce a lo largo de las carreteras

principales. Indicando también alta probabilidad de expansión hacia zonas urbanas existentes y al exterior a lo largo de la principal carretera del sistema de transporte.

Por último, el bajo valor del coeficiente de resistencia a la pendiente pone de manifiesto que la topografía no es un obstáculo para el desarrollo urbano en la región, y las zonas montañosas como la Sierra Juárez y Samalayuca no son probables a urbanizar. En la figura siguiente se ilustra la forma urbana futura y la extensión del área de estudio de acuerdo con el modelo de simulación. La amplitud de la zona urbana de Ciudad Juárez aumenta progresivamente del 2030.

#### 5.4 Escenarios de calibración

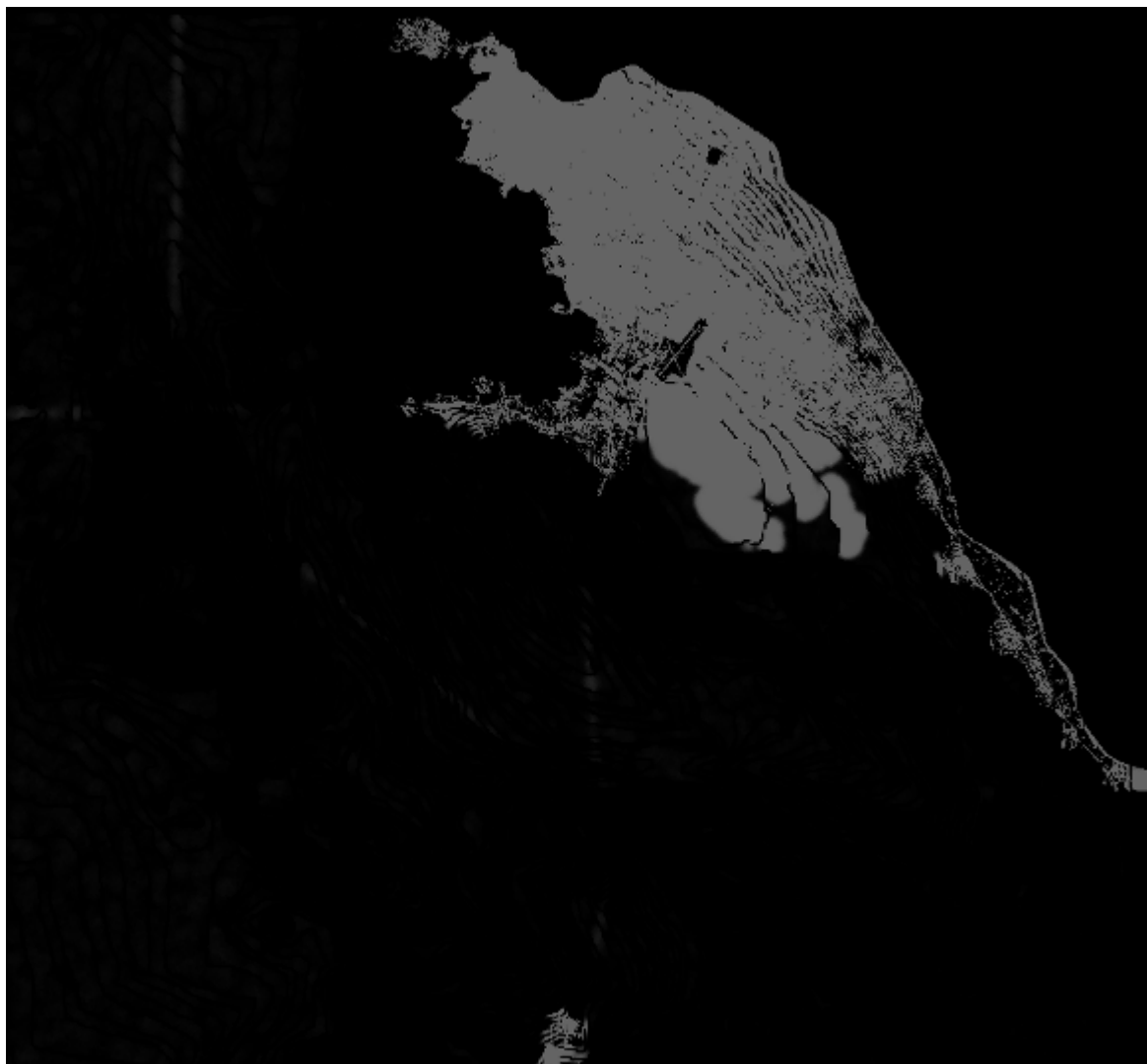
Se llevo acabo 4 escenarios distintos

- *Srestricciones* son los resultados de seguir un patrón de crecimiento como el actual, sin ninguna restricción como los límites que marca el programa de desarrollo ni las restricciones ecológicas que contemple el proyecto de ZOET.
- *Zoet*, resultados de aplicar restricciones al crecimiento, tomando en cuenta los resultados del proyecto que en esencia consistieron en excluir en su totalidad las Unidades de gestión ambiental para las que se dictó una política de protección o de restauración, restringir el crecimiento hacia aquellas áreas donde se consideró como opción la Conservación y no restringir las áreas con política de Aprovechamiento, para ello se modificó el archivo de áreas excluidas y se ponderó con valores de 100 a las áreas con políticas de protección o restauración, con valores de 50.
- *Flcp*, resultados de considerar que el crecimiento se estimule dentro de los límites del centro de población definidos en el programa de desarrollo urbano del municipio para lo cual se le dio un ponderar de 20 a los valores de las áreas fuera del mismo.
- *Zoet\_Flcp*, resultados de la combinación del programa de desarrollo urbano y el proyecto ZOET

##### 5.4.1 Escenario sin restricción

En este escenario se muestra la predicción siguiendo un patrón de crecimiento como el actual, sin ninguna restricción como los limites del centro de población definidos por el programa de desarrollo ni las restricciones ecológicas que contemple el proyecto de Zonificación y Ordenamiento Ecológico y Territorial del municipio de Juárez.

Figura 5.4 Simulación de la mancha urbana para el año 2030



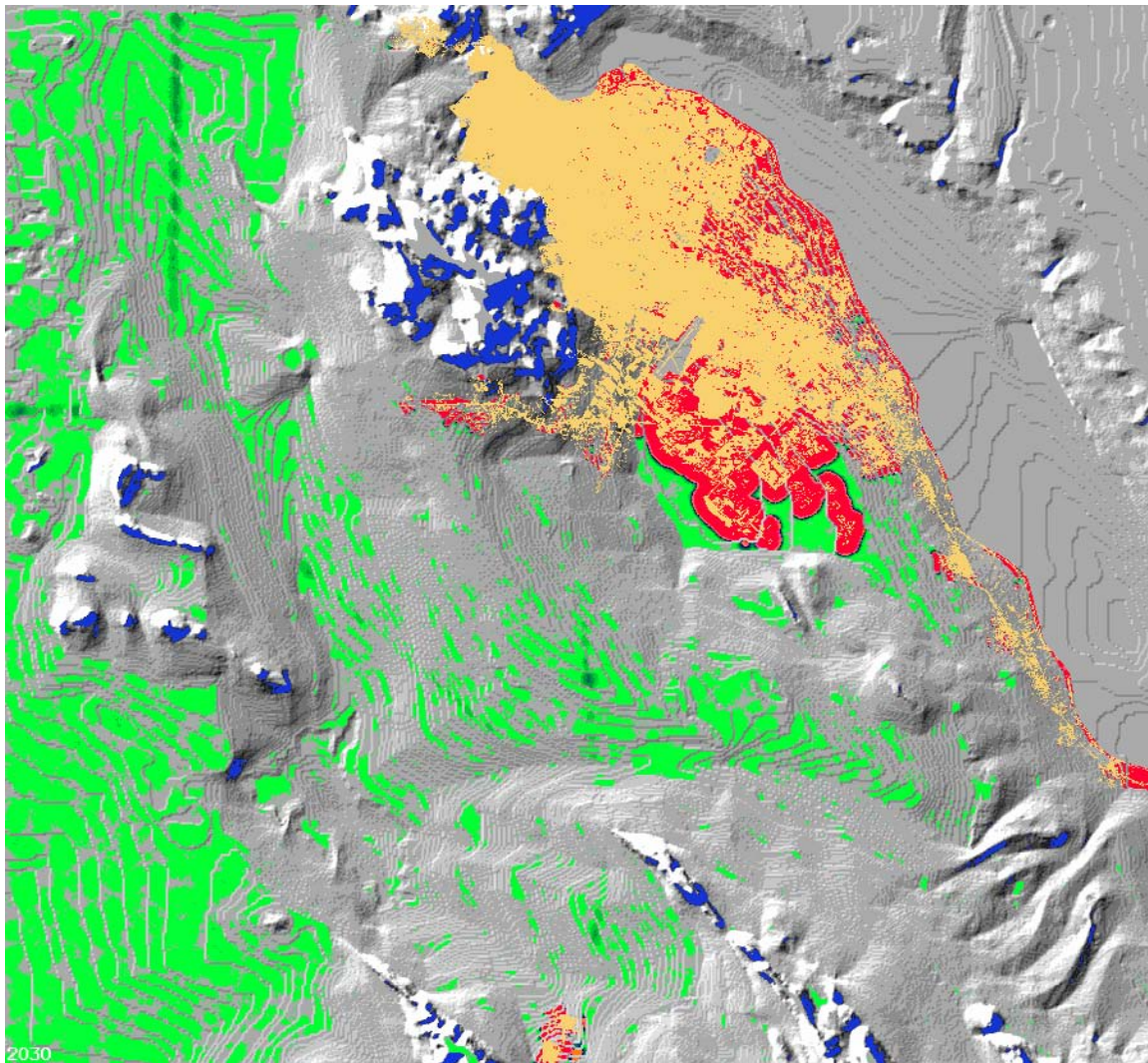
Fuente: Con los datos de la calibración final del modelo SLEUTH

Los parámetros dispersión y breed determinan las tendencias de una región al crecimiento expansivo y no compacto. Breed determina qué tan probable es que un nuevo espacio generado se separe y comience su propio ciclo de crecimiento. Difusión determina la dispersividad general de la distribución tanto de una sola cuadrícula y la circulación de los nuevos asentamientos hacia el exterior a través de la red vial.

En la siguiente figura muestra el crecimiento de ciudad Juárez en el 2030, la parte gris muestra la zona excluida en el crecimiento, la frontera, y la sierra Juárez, la parte verde claro

es la zona que es menos probables a urbanizar, que se incrementa en al intensificarse los tonos de verde, el tono café claro es la mancha urbana actual; en azul las imposibles de urbanizar por las pendientes y ya en rojo los de alta probabilidad de ser urbanizado.

Figura 5.5 Simulación de la mancha urbana para el año 2030



Fuente: Datos de la calibración final del modelo SLEUTH

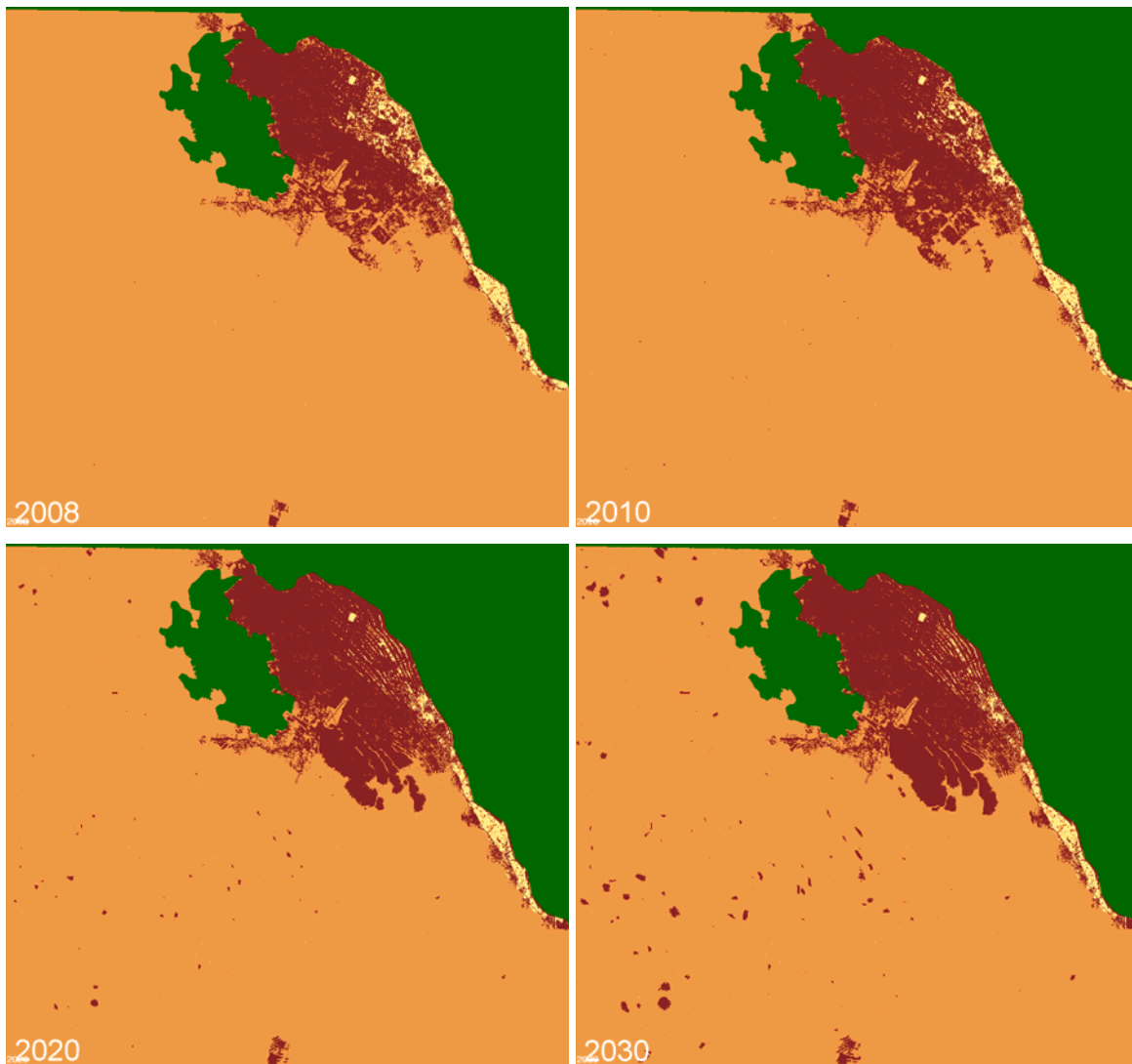
La calibración del modelo para ciudad Juárez dio lugar a bajos valores de los parámetros difusión=1 y breed= 95. Esto indica alta probabilidad de un crecimiento fragmentado en la zona. Y el crecimiento de la ciudad, es principalmente en forma de expansión contigua y se considera la atracción de las carreteras.

El coeficiente de dispersión se percibe generalmente como una forma urbana negativa, con costos incluidos en el desarrollo antiestético, la pérdida de tierras agrícolas y espacios abiertos, la falta de acceso a los servicios de personas con movilidad reducida, el aumento de longitudes de viaje, la congestión y el aumento de consumo de combustible debido a las bajas densidades, la abrumadora dependencia de el uso del automóvil, y mayores costos de infraestructura de barrio (Chin 2002).

La planificación considerable sería el desarrollo urbano compacto como la mejor y más eficiente manera de construir comunidades habitables y sostenibles (Leao 2004). Las ventajas normalmente citadas por los defensores de un crecimiento compacto incluyen la minimización de la pérdida de hábitat, la reducción de las superficies impermeables de agua y la mejora de la detención, la protección de zonas ecológicamente sensibles, la reducción de transporte, distribución, y gastos de infraestructura.

A continuación se muestran los resultados de la predicción del crecimiento urbano, en el que solo presentaremos 2008, 2010, 2020 y 2030 con café oscuro se encuentra representado el área urbanizada y en claro el área agrícola y el mismo cambian con el tiempo.

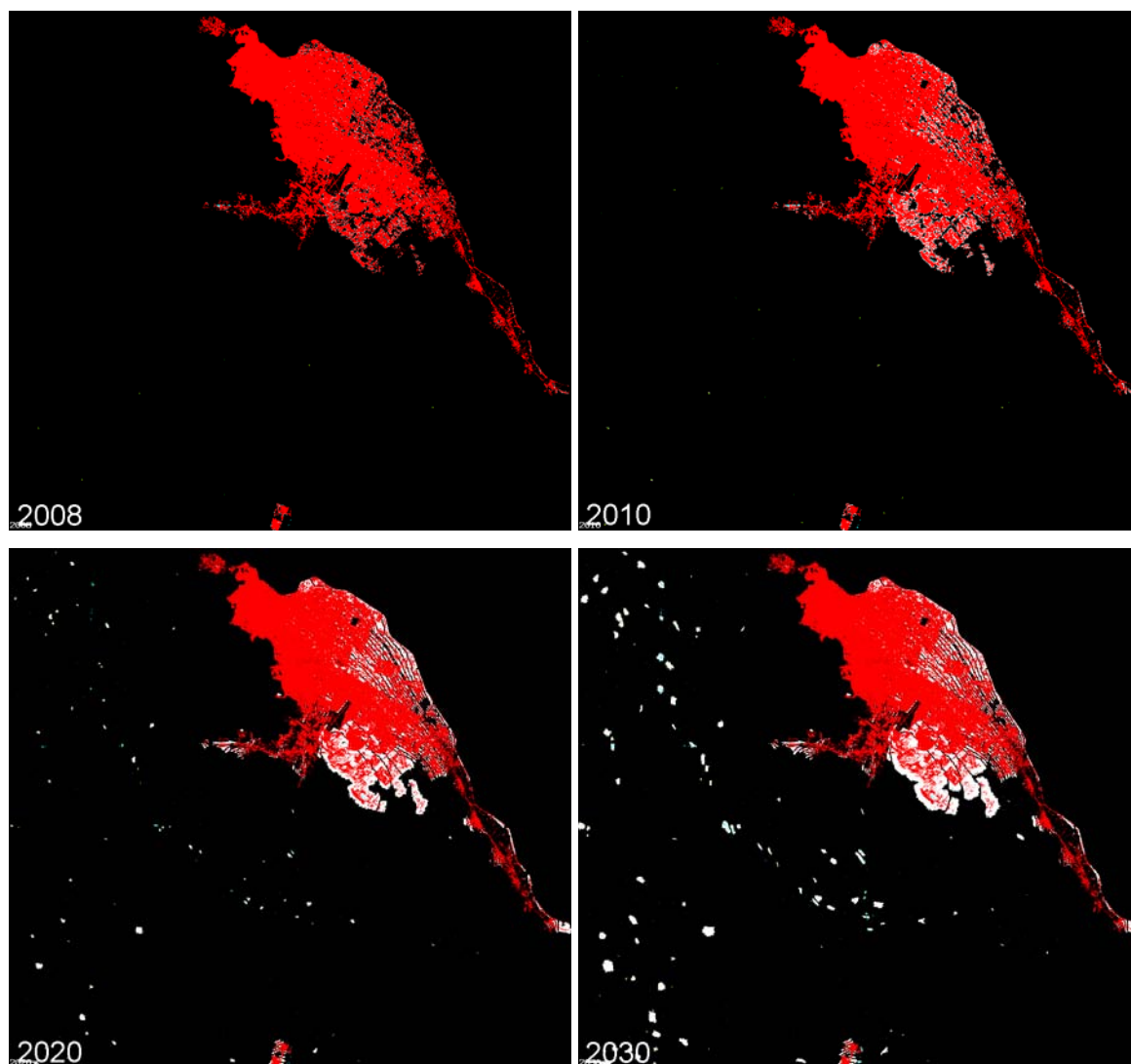
Figura 5.6 Predicción de la mancha urbana del suelo agrícola al urbano para el año 2010,2020 y2030, partiendo del año 2008



Fuente: Datos de la calibración final del modelo SLEUTH

En la figura 5.7 con rojo, representando el área urbanizada y en un código de colores el área que se agrega a la urbanización para el año 2008,2010, 2020 y 2030 como resultado de cada tipo de crecimiento (relacionado a los coeficientes) y donde se dan sustitución de tipos de crecimiento en el tiempo.

Figura 5.7 Predicción de la mancha urbana actual comparada con la futura

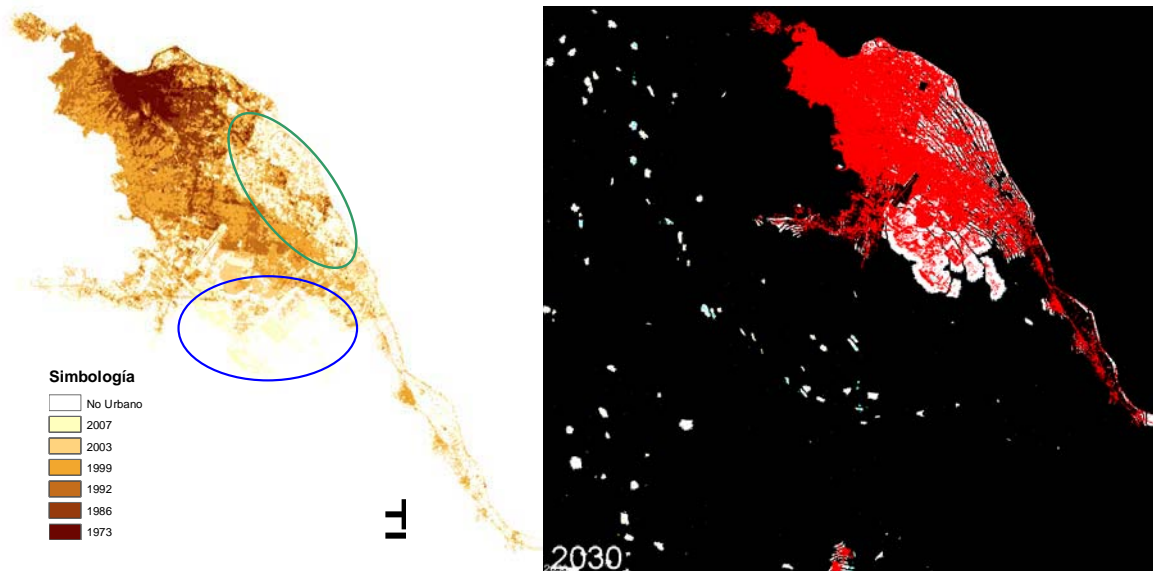


Fuente: Datos de la calibración final del modelo SLEUTH



Como se pueden observar existen dos principales procesos de urbanización: el crecimiento hacia el Sur y Suroeste y la densificación de la urbanización en el área este de la ciudad, tal como se puede apreciar en los siguientes mapas.

Figura 5.8 Predicción de la dirección mancha urbana

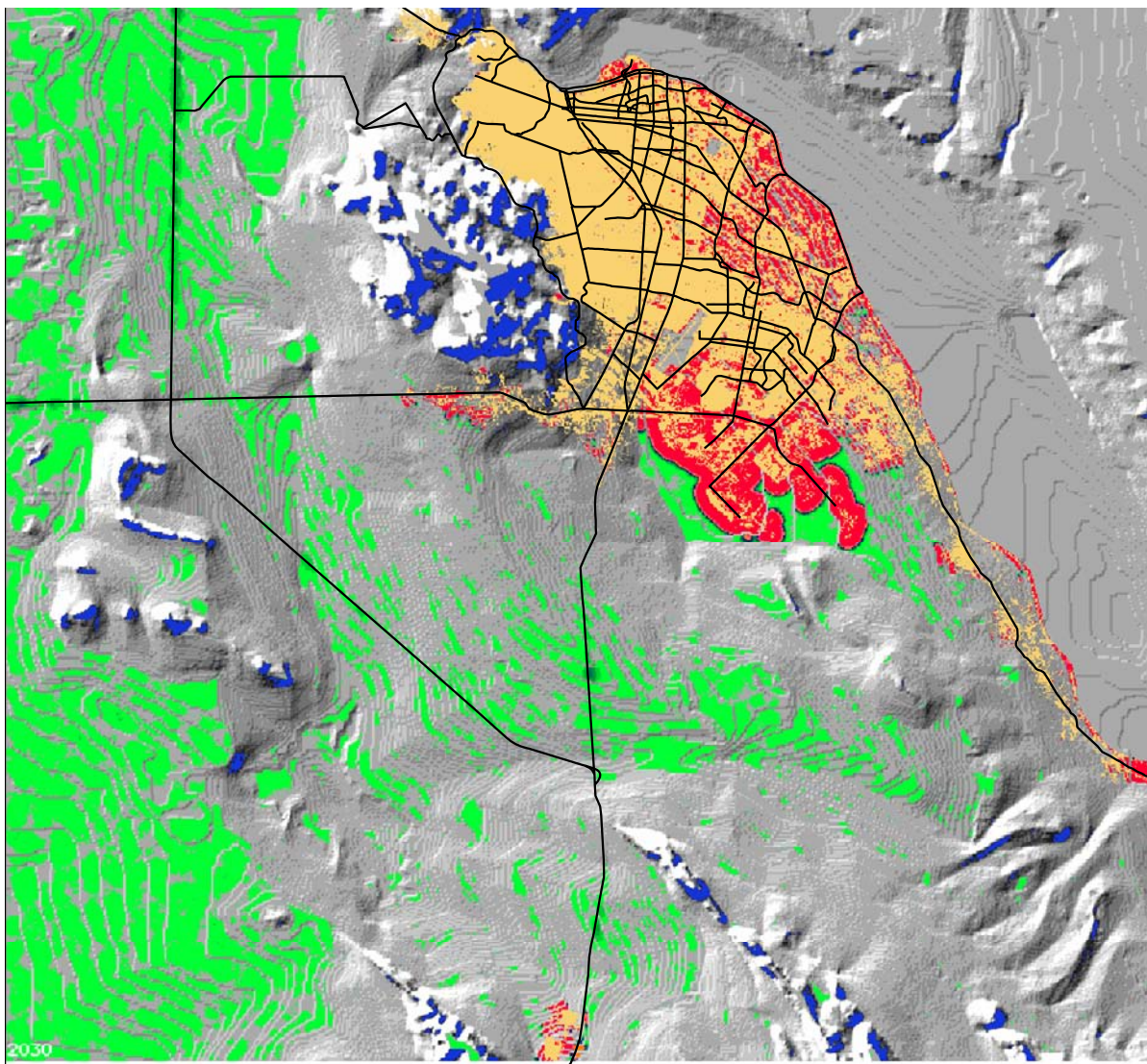


Fuente: Datos de la calibración final del modelo SLEUTH

En general las probabilidades de urbanización muestran como el crecimiento además de darse en las áreas mencionadas, también existen probabilidades de urbanización aunque menores hacia el oeste de área considerada, que aumentan un poco sobre las vialidades regionales del área de estudio.

La figura muestra el crecimiento de ciudad Juárez para el año 2030, donde se han representado en color café el área urbana, en azul las imposibles de urbanizar por las pendientes, y el resto de los colores son las probabilidades de estar urbanizados, en color verde claro las de menor probabilidad que se incrementa al intensificarse, los tonos de verde y rojo los de alta probabilidad de ser urbanos. También en este mapa se observa con las vialidades regionales, tiende a incrementar la posibilidad de la urbanización.

Figura 5.9 Simulación de la mancha urbana para el año 2030



Fuente: Datos de la calibración final del modelo SLEUTH

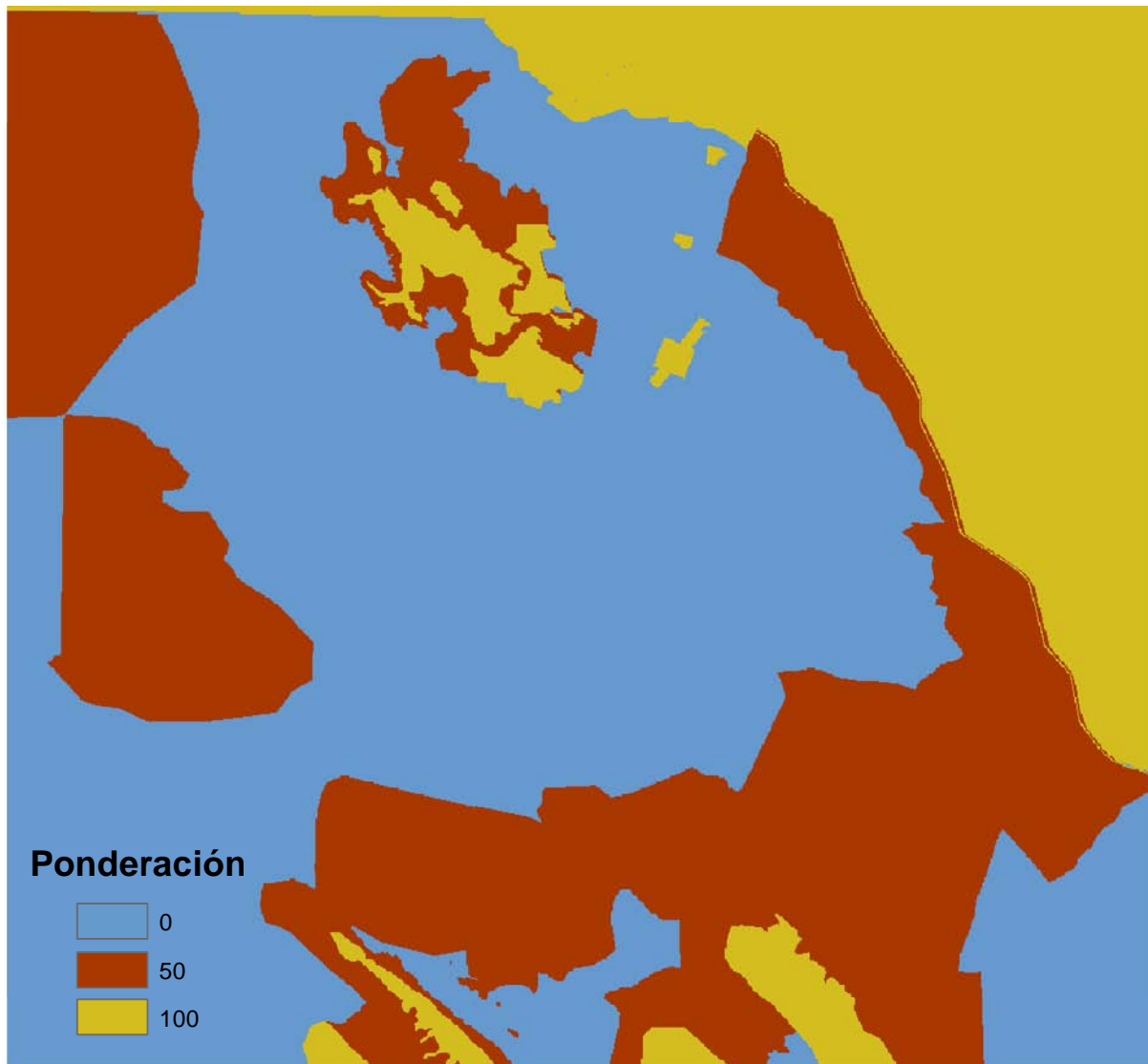
#### 5.4.2 Escenario ZOET.

Es la orientación de los procesos de usos y ocupación del territorio, que son considerados por las posibles afectaciones al ambiente; el proyecto ZOET tiene un plan de ordenamiento ecológico del territorio, se plantea como un sistema complejo integrado por los subsistemas natural, socioeconómico, productivo, y rural con múltiples interrelaciones entre sí.

La aplicación del programa de Zonificación y Ordenamiento Ecológico y Territorial, ya con el archivo de exclusiones generado que se muestra a continuación y los resultados del mismo, en

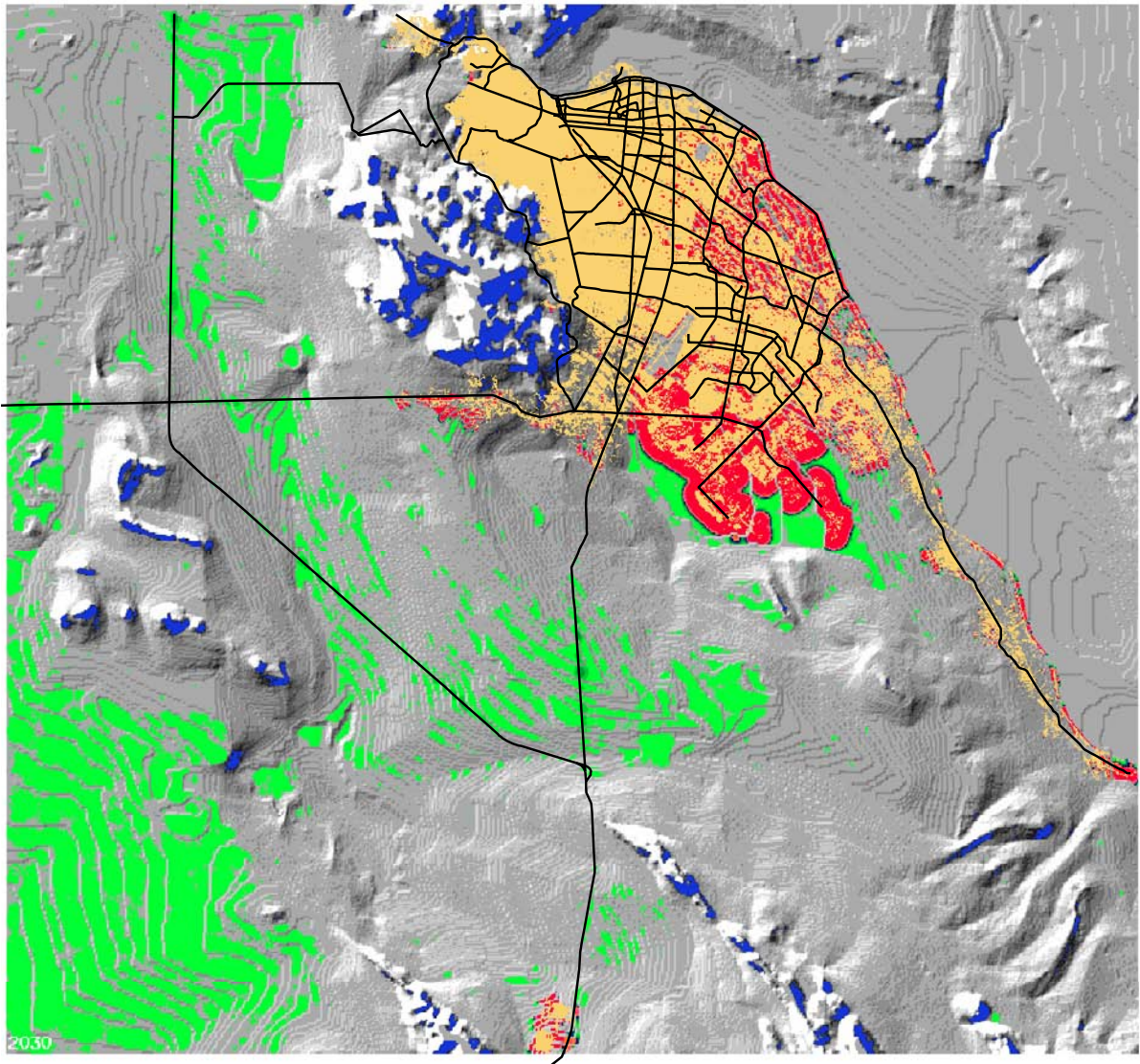
las restricciones se han considerado zonas en donde es imposible el crecimiento, aquellas donde el programa consideró como políticas las de Restauración y las de Protección, además de el área del aeropuerto y de las grandes áreas verdes urbanas, en el caso de los usos restringidos se le asignó un ponderador de 50% a las áreas donde se estableció la política de conservación y como áreas permitidas aquellas donde se determinó que la política era de aprovechamiento

Figura 5.10 Restricciones ecológicas y urbanas del proyecto ZOET



Color azul ninguna restricción, color café oscuro mediana restricción, color claro absoluta restricción

Figura 5.11 Simulación de la mancha urbana para el año 2030 con escenario ZOET



Fuente: Datos generados por el modelo de simulación

La simulación con restricciones del proyecto ZOET, en Ciudad Juárez tiene un crecimiento controlado. Las zonas de conservación, elementos naturales como las pendientes muy elevadas de la Sierra de Juárez, muestran que es imposible a urbanizar, además el Río Bravo son barreras naturales para el crecimiento urbano, con una mejor resolución muestra como la simulación sin ninguna restricción es muy diferente al escenario como maneja ZOET ya que impide que se prolongue la urbanización a orillas del Río Bravo.

También existen las mismas probabilidades de urbanización en cuanto a la dirección como en el escenario anterior.

Comparado con el escenario sin restricciones, la urbanización es dirigida al Sur y Suroeste. Sin embargo el escenario ZOET reduce absolutamente las probabilidades de la urbanización hacia el oeste, llegando hasta las vialidades regionales del área de estudio. Lo que no sucede con el escenario sin restricciones.

#### 5.4.3 Escenario FLCP.

La planeación en el municipio de Juárez se inicia con el Sistema Nacional de Planeación Democrática<sup>1</sup>. Estos instrumentos establecieron las bases para la planeación del ordenamiento territorial de los asentamientos humanos y del desarrollo urbano de los centros de población, y les dan a los gobiernos municipales la facultad de elaborarlos (ZOET 2008).

Este sistema de planeación establece tres niveles de instrumentos para la regulación del desarrollo urbano en el municipio:

- Planes o Programas de Desarrollo Urbano Municipal
- Planes o Programas de Desarrollo Urbano de Centros de Población.<sup>2</sup>
- Los programas de desarrollo urbano derivados de los anteriores, y los que determine la legislación estatal de desarrollo urbano.<sup>3</sup>

La Ley de Desarrollo Urbano del Estado establece que el Plan de Desarrollo Urbano del Centro de Población puede ser actualizado y complementado, mediante la incorporación de los resultados de la planeación a mayor detalle y profundidad de los siguientes puntos:

- Zonas y sectores urbanos existentes
- Zonas de la reserva territorial (para su incorporación al área urbana)
- Zonas de conservación ecológica

---

<sup>1</sup> establecido en 1976 con la expedición de la Ley de Asentamientos Humanos y por medio de una serie de adiciones y reformas a los artículos 27, 23 y 115 constitucionales.

<sup>2</sup> Los planes o programas de Desarrollo de Centro de Población, tiene como área de aplicación el límite legal de aplicación del plan. Para Ciudad Juárez, el primer plan de desarrollo se elaboró en 1979 y tiene ya cuatro actualizaciones, la última de estas se realizó en el año 2003. Para el resto de los poblados del municipio se elaboraron dos documentos: un esquema rector para Samalayuca, elaborado en 1996 (editado en el año 2000 por la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez) y un proyecto de mejoramiento de las localidades del Valle de Juárez, elaborado por el Instituto Municipal de Investigación y Planeación, los cuales no se han concretado en instrumentos legales.

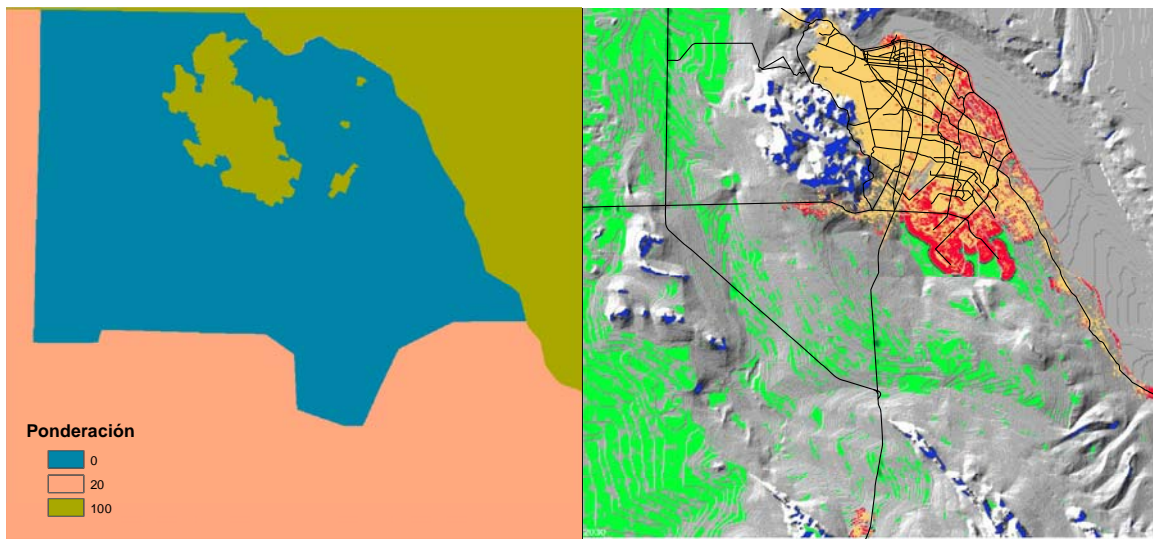
<sup>3</sup> Esta establecido, en el estado de Chihuahua por la Ley de Desarrollo Urbano

- Planeación Sectorial, relativa a Infraestructura, Equipamiento del centro de población, vialidad y transporte, imagen urbana, regularización de la tenencia de la tierra, vivienda, rehabilitación de zonas, sitios de valor patrimonial y saneamiento ambiental. Para ello, esta ley establece los Planes Parciales de Desarrollo Urbano y Planes Sectoriales.

Los Planes Parciales de Desarrollo Urbano tienen por objeto desarrollar a detalle un área particular dentro del límite legal del Plan de Director de Desarrollo Urbano. (ZOET 2008).

*En el escenario Flcp*, Los resultados a considerar, son que el crecimiento se estimule dentro de los límites del centro de población definidos en el programa de desarrollo urbano del municipio, para lo cual se le dio una probabilidad de 20% a los valores de las áreas fuera del mismo.

Figura 5.12 Entrada de restricciones del procesaros de regularización y simulación de la mancha urbana para el año 2030 con escenario FLCP.



Fuente: programas de desarrollo urbano y datos generados por el modelo de simulación

Del lado izquierdo se observa de color azul la ponderación de 0% si ninguna restricción, color rosa con una ponderación de 20%, y verde con una ponderación del 100 % que sería imposible a urbanizar, propuesto por proceso de regularización, y de lado derecho la simulación del escenario FLCP tiene un crecimiento controlado a los límites del programa de desarrollo urbano. Las probabilidades de urbanización dirección son las mismas que los escenarios

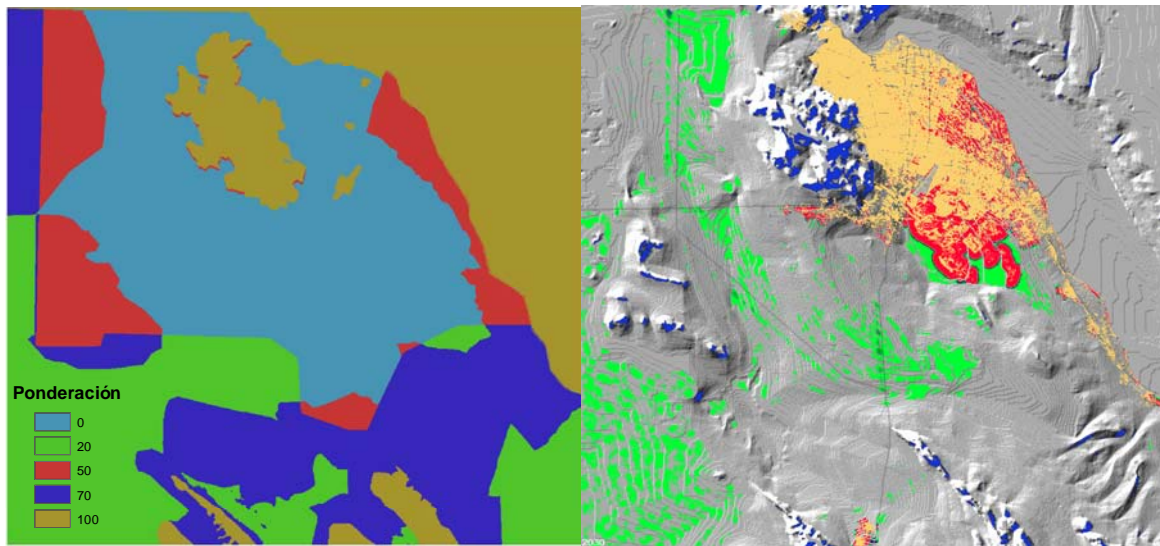
anteriores analizados, pero además del crecimiento hacia el Sur y Suroeste y la densificación de la urbanización en el área oeste de la ciudad, es semejante con el escenario sin restricciones aumenta levemente sobre las vialidades regionales.

Es necesaria la aplicación de una nueva política que considere la estimulación del crecimiento dentro del límite de población y castigue a quienes se encuentren fuera de el, para lo que se ha ponderado con 20 a la zona fuera de lo urbano; lo cual se calculará con el modelo y castigará la probabilidad de que las misma se transforme en urbanas y además se ha combinado con los resultados del ordenamiento ecológico ya considerado.

#### 5.4.4 Escenario *Zoet\_Flcp*,

Este escenario utiliza las condiciones a urbanizarse de los planes de desarrollo y restricciones recomendables por el proyecto de ZOET.

Figura 5.13 Entrada de restricciones de ZOET y FLCP (lado izquierdo) y simulación de la mancha urbana para el año 2030 con escenario FLCP (lado derecho).



Fuente: programas de desarrollo urbano y ZOET comparados con los datos generados por el modelo de simulación de crecimiento urbano.

Del lado izquierdo se observa de color azul claro la ponderación de 0% si ninguna restricción a ser urbanizado, color verde con una ponderación de 20%, color rojo con una ponderación del 50% a la urbanización, color azul un 70% de ponderación y café claro con una ponderación del 100 % que sería imposible a urbanizar, esto generado a la combinación del proceso de

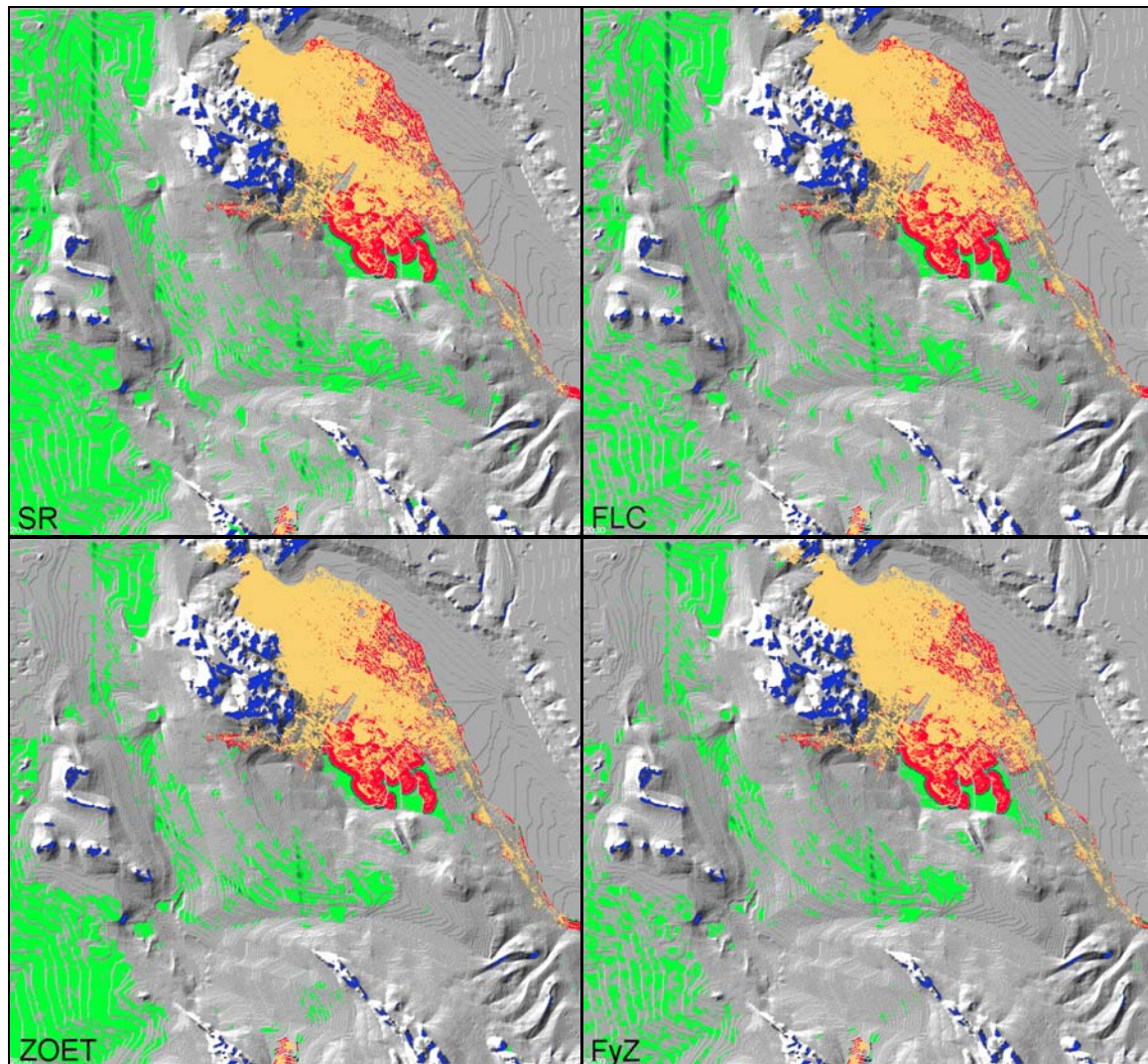
regularización y del proyecto ZOET, y de lado derecho ya la predicción que arrojan los datos al combinar los dos escenarios , por lo que se puede observar es un crecimiento aun mas controladas. Aunque las probabilidades de urbanización en cuanto a dirección son las mismas que los escenarios anteriores, lo que es el Sur y Suroeste, lo que se puede observar es que es aun menos densa la urbanización y aun más a orillas del rio Bravo.

### 5.5 Comparación de resultados

En la siguiente figura se presentan los resultados de los escenarios a evaluar a partir de los resultados de la simulación utilizando el modelo SLEUTH para Ciudad Juárez. En ellas se pueden apreciar como de seguir las tendencias actuales existen probabilidades de urbanización en gran parte del territorio del municipio, aunque las de mayor probabilidad son una continuación de las tendencias actuales de ocupación al Sur y Suroeste y la densificación al este de la mancha actual, se presentan también mayores probabilidades siguiendo la carretera a Jerónimo-Santa Teresa, a Chihuahua y a Casas Grandes, finalmente en términos de probabilidades existen también valores positivos asociados a la existencia de terrenos poco accidentados al oeste del área de estudio interrumpidas por una pequeña formación montañosa al centro de la misma.



Figura 5.14 Comparación de los cuatro escenarios para el año 2030



Fuente: Simulaciones del modelo SLEUTH considerando las alternativas SR (sin restricciones), FLC (Plan de desarrollo), ZOET y FyZ (Plan de desarrollo y ZOET).

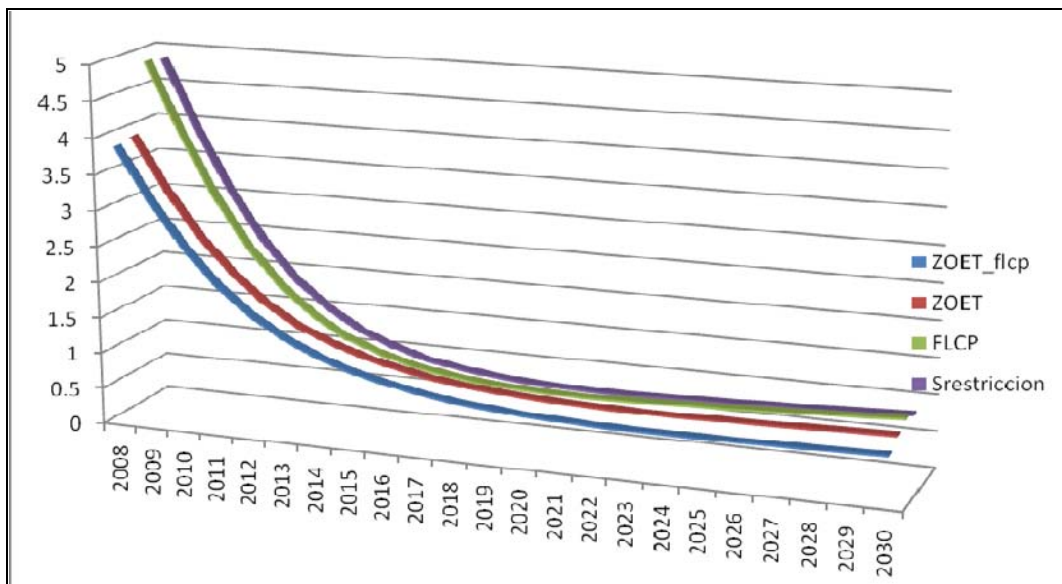
Comparado al crecimiento sin restricciones el escenario de Zonificación propuesto por ZOET genera un control total de las zonas consideradas con políticas de protección y restauración y un fuerte control del crecimiento en las áreas consideradas como de conservación. El resultado del control al crecimiento en las áreas de conservación es muy notable en el área de Gerónimo-Santa Teresa al oeste de la carretera hacia el noroeste del área de estudio y también a la derecha de la Sierra de Presidio al sureste del área de estudio. Aunque también es esta categoría se incluye el área al este de la mancha urbana que se ha venido densificando recientemente con preocupación observamos como dicho proceso aún siendo desestimulado

por el modelo sigue la tendencia a ocuparse lo que en caso de considerarse inadecuado sugeriría una política con mayor control al respecto.

En el caso del escenario que considera adecuado el crecimiento dentro del actual límite del centro de población del programa de desarrollo urbano es notable la disminución de los crecimientos probables al oeste y al sur de la mancha urbana actual.

Finalmente, la combinación de los mecanismos de ordenamiento ecológico y territorial y de planeación urbana, nos muestran un crecimiento urbano aún más controlado donde al interior del límite del centro de población ya sólo existen altas probabilidades de crecimiento siguiendo las tendencias actuales y probabilidades asociadas a la existencia de vialidades regionales que conectan a la ciudad y la región y donde las condiciones del terreno muestran características favorables. Fuera de límite de población observamos como es notable la disminución de las probabilidades de urbanización en relación al escenario de referencia sobre todo notables al Suroeste del área de estudio.

Figura 5.15 Análisis de la tasa de crecimiento de los cuatro escenarios.



Fuente: De los datos generados de los archivos de simulación del crecimiento urbano.

Se puede observar en la figura anterior los escenarios ZOET y ZOET\_FLCP empieza con una tasa menor que el escenario sin restricción esto puede ser a que la urbanización es mas densificada hacia el centro del municipio en los escenarios en los que actúa ZOET.

En términos numéricos como se puede apreciar en la figura 5.16 los diferentes escenarios si bien parten de una mancha urbana equivalente las necesidades de urbanización difieren. De seguir el consumo de tierra para usos urbanos los patrones actuales hay probabilidad de que al menos 136,554 pixeles de la imagen se transformen en urbanos, mas del doble de los que tiene la mancha urbana base y muy superiores a los 101,329 con probabilidad de incorporarse en caso de restringir y orientar el crecimiento siguiendo las recomendaciones del programa de ordenamiento ecológico y territorial propuesto y que de combinarse con otros instrumentos de planeación municipal se verían reducidas a solo 77,607. En términos relativos de continuar el crecimiento de acuerdo a los patrones actuales la mancha urbana para 2030 pudiera llegar a ser tres veces la dimensión actual mientras que de seguir un patrón de crecimiento controlado el crecimiento de la mancha sería solo de poco más del doble de la mancha actual.

Figura 5.16 Análisis numérico del crecimiento de los cuatro escenarios.

Descripción	Escenario		
	Sin Restricciones	ZOET	ZOET_flcp
Area Urbana	62,214	62,214	62,214
Probabilidad de Urbanización	136,554	101,329	77,607
10	113,989	81,170	58,341
20	2,671	1,406	1,171
30	857	419	448
40	280	309	361
50	235	296	283
60	222	321	291
70	219	336	307
80	333	448	397
90	462	684	581
100	17,286	15,940	15,427

Fuente: Simulaciones del modelo SLEUTH considerando las alternativas SR (sin restricciones), FLC (Plan de desarrollo), ZOET y FYZ (Plan de desarrollo y ZOET).

Lo anterior es un indicativo mas de la necesidad de establecer escenarios de crecimiento controlados y orientados a algún objetivo de política como en este caso es el ordenamiento ecológico y territorial del municipio lo cual implica un mejor aprovechamiento de los recursos disponibles en especial la tierra como un factor escaso, pero a ello se asocian otros beneficios en particular la preservación de áreas de la ciudad que cumplen funciones al ecosistema y el valor de las especies que en ella habitan.

## VI CONCLUSIONES

Basados en revisión de la literatura y datos históricos podemos afirmar que el crecimiento de ciudad Juárez inició de una manera concéntrica, es decir durante los ciclos económicos fue transformando sus principales actividades económicas: agricultura, comercio y turismo, por una economía de actividad industrial, este crecimiento fue influenciado durante todo el proceso histórico por la economía de Estados Unidos.

La estrecha comunicación con El Paso Texas, ayudó a que se utilizaran las vialidades principales como acceso a los nuevos centros comerciales. Las mismas vialidades que facilitaron el transporte para las actividades industrial ayudaron al desarrollo de los centros comerciales en la región.

Ciudad Juárez desarrolló una fuerte economía con orientación externa, característica de las fronteras mexicanas. Siendo muy dependientes, de los sucesos económicos de los Estados Unidos, lo cual repercute de forma inmediata en esta ciudad fronteriza. Esto se puede reflejar con el programa bracero que tuvo una influencia extrema en el crecimiento de la población, pero también existieron otros factores que afectaron este crecimiento, entre ellos se encuentran los de tipo económico, migratorio y social, entre otros.

Programas como: Programa Nacional Fronterizo en 1961 que impulsó la Industrialización Fronteriza e integró la economía en las ciudades fronterizas y el Programa de Industrialización Fronteriza de 1965, ofrecieron empleo de forma directa e indirecta a docenas de miles de trabajadores, fortaleciendo así a la industria maquiladora. Dichos programas fueron muy importantes para el desarrollo económico de Ciudad Juárez; también influyeron en las tendencias de zonificación y vialidades como directrices en el crecimiento de la ciudad. Dando origen a un nuevo sub centro de la ciudad. “así como a la expansión industrial hacia el oriente.

Para los años 90's, el crecimiento expansivo de la ciudad generó tres nuevos subcentros, debido a los cruces internacionales y a la construcción lejana de nuevas zonas habitación, que demandaron nuevos centros de comercio a distancia, transformando a la estructura urbana.

En la actualidad la industria maquiladora se convirtió en la fuente principal de empleo en la ciudad, dejando a un lado a la actividad agrícola, comercial y al turismo de ocasión. Uno de los promotores más sobresalientes de la industria fueron los de la maquiladora, al buscar inversión extranjera de varios países, para esta ciudad. El crecimiento ha sido de una manera expansiva, afianzándose la estructura polinuclear desde los años 80. Y en cuanto a su crecimiento poblacional en los últimos 50 años, ha sido del 1000%, siendo casi 3 veces mayor que el crecimiento del estado de Chihuahua, esto debido a a todos los factores antes descritos en nuestro trabajo, así como en el estudio realizado con la última mancha registrada (2007) en donde existen 33,137 hectáreas de la mancha urbana ocupada.

En cuanto a la simulación del crecimiento:

Este trabajo ha presentado la simulación del probable patrón de crecimiento urbano en Ciudad Juárez durante los próximos años hasta el 2030. Esto se ha obtenido al calibrar los parámetros del modelo de crecimiento urbano, utilizando datos históricos de las tendencias de expansión, experimentado en la región en el pasado.

El objetivo de este estudio de acuerdo a la revisión de datos históricos, fue pronosticar el crecimiento urbano en los próximos años e investigar la aplicabilidad del modelo de crecimiento urbano, usando Automatas Celulares, que se han desarrollado y probado en los países desarrollados, usado en el contexto de las naciones menos desarrolladas. El estudio incluyó la aplicación del modelo SLEUTH, desarrollado por Clarke et al. (1997), a la región mexicana de Ciudad Juárez.

La simulación del crecimiento a futuro de Ciudad Juárez, dió como resultado un patrón típico, esperado en una región menos desarrollada, lo cual es predominante en el crecimiento expansivo, en torno a núcleos rurales e influenciados por la viabilidad. También se puso de manifiesto la influencia de la topografía, lo que impide el desarrollo en áreas muy empinadas como Sierra de Juárez y Samalayuca y la atracción a la red de carreteras. Estos factores pueden ser observados, en patrones pasados de crecimiento de la región.

Además, el modelo de crecimiento urbano muestra la forma en que crece el desarrollo urbano y como va consumiendo las áreas vacantes siguientes, tomando en cuenta los patrones

espaciales, esto nos ayuda a un mejor análisis de los impactos de la economía en el crecimiento urbano, el aumento de la población, estimaciones con el cambio del uso del suelo, y la expansión urbana en la región

Es la sencillez metodológica, la que ha contribuido al éxito de la aplicación de este modelo en Ciudad Juárez, pero también representan algunas de las debilidades del modelo. Para un trabajo posterior faltaría agregar algunas cuestiones de planificación urbana, información de crecimiento de la población y tomar diversos usos del suelo, información de tipo esencial.

Incluso una versión actualizada de este proyecto, se podría incorporarse la simulación de nuevas políticas que afectan el desarrollo económico y el crecimiento urbano, así como la manipulación de los valores de ciertos parámetros de crecimiento, teniendo en cuenta sus efectos de forma y alcance, esto puede ser utilizado para producir distintos modelos de crecimiento que puedan expresar determinadas políticas.

Los avances en técnicas de modelado en particular el desarrollo de modelos de autómatas celulares, ha demostrado ser eficiente en la prestación de simulaciones dinámicas del crecimiento de las regiones urbanas de este municipio.

Por otra parte, se podría rescatar la aplicación de otros modelos de Autómatas Celulares de crecimiento urbano a una gama más amplia de contextos y pautas de crecimiento, que podrían desarrollarse en otras actividades de investigación aun no existentes.

La aplicabilidad de este modelo puede ser versátil dependiendo de los tipos de entrada de cada escenario, podemos visualizar diferentes proyecciones dependiendo las restricciones de cada uno de las mismas.

El proceso de crecimiento se caracteriza por cuatro escenarios diferentes de crecimiento, dando prioridad a algunos tipos de crecimiento a determinado escenario. La jerarquía de los parámetros calibrados de Ciudad Juárez puso de manifiesto el predominio de ciertos tipos de crecimiento, lo que resulta en baja probabilidad de fragmentación dispersa escenarios como ZOET y FLCP donde la tasa de crecimiento es menor en comparación con un escenario sin restricción. En los cuatro escenarios la simulación de crecimiento también puso de manifiesto la influencia de la topografía, lo que impide el desarrollo en áreas empinadas. También se

pudo apreciar la dirección de las tendencias pronosticadas, parecidas a las tendencias actuales de ocupación al sur y suroeste y la densificación hacia el este de la mancha actual, se presentan también mayores probabilidades siguiendo la carretera a Jerónimo-Santa Teresa, a Chihuahua y a Casas Grandes,

Comparado al crecimiento sin restricciones el escenario de Zonificación propuesto por ZOET genera un control total de las zonas consideradas con políticas de protección y restauración y un fuerte control del crecimiento en las áreas consideradas como de conservación. El resultado del control al crecimiento en las áreas de conservación es muy notable en el área de Gerónimo-Santa Teresa al oeste de la carretera hacia el noroeste del área de estudio y también a la derecha de la Sierra de Presidio al sureste del área de estudio.

Aunque también es ésta categoría se incluye el área al este de la mancha urbana que se ha venido densificando recientemente con preocupación observamos como dicho proceso aún siendo desestimulado por el modelo sigue la tendencia a ocuparse lo que en caso de considerarse inadecuado sugeriría una política con mayor control al respecto

El escenario ZOET integra conceptos de ordenamiento territorial que coinciden con el desarrollo sustentable y equilibrado de las actividades económicas y sociales en los asentamientos humanos. Integra las bases para el ordenamiento ecológico del territorio, excluyendo del crecimiento urbano los innumerables sitios naturales y arqueológicos que demandan su conservación ante la demanda del suelo urbano. Con la predicción de este escenario ayudaría a establecer criterios de urbanización de acuerdo a las condiciones ecológicas para prevenir problemas naturales y disminuir los costos excesivos de urbanización descontrolada.

En el caso del escenario que considera adecuado el crecimiento dentro del actual límite del centro de población del programa de desarrollo urbano es notable la disminución de los crecimientos probables al oeste y al sur de la mancha urbana actual.

Finalmente, la combinación de los mecanismos de ordenamiento ecológico y territorial y de planeación urbana, nos muestran un crecimiento urbano aún más controlado donde al interior del límite del centro de población ya sólo existen altas probabilidades de crecimiento

siguiendo las tendencias actuales y probabilidades asociadas a la existencia de vialidades regionales que conectan a la ciudad y la región y donde las condiciones del terreno muestran características favorables. Fuera de límite de población observamos como es notable la disminución de las probabilidades de urbanización en relación al escenario de referencia sobre todo notable al Suroeste del área de estudio.

El crecimiento de acuerdo a los patrones actuales puede seguir un patrón sin un desarrollo urbano sustentable y un crecimiento de expansión urbana con la inercia histórica que ha llevado hasta ahorita, que solo solventa la necesidad de suelo de forma expansiva sin considerar cuidados ecológicos que requiere el municipio de Juárez. También el modelo pronostica en un escenario sin restricción que la mancha urbana para 2030, pudiera llegar a ser tres veces la dimensión actual, mientras que de seguir un patrón de crecimiento controlado incorporando las recomendaciones del programa de ordenamiento ecológico e instrumentos de planeación municipal el crecimiento de la mancha, sería pasando un poco mas del doble de la mancha actual.

La simulación del crecimiento de la ciudad de Ciudad Juárez para distintos escenarios, tiene el potencial de ser usado para ayudar en la planificación de muchos problemas urbanos. De hecho, la simulación desarrollada en este documento puede ser aprovechado como parte importante de un estudio en el que se analice el impacto de la medida y la forma de crecimiento urbano a largo plazo.

A partir de los resultados que genera el modelo de predicción, se puede apoyar a la planeación del desarrollo urbano, tomando decisiones del desarrollo económico como el, uso del suelo, y una mejora de nuevas políticas para una expansión urbana controlada.

Sin embargo siempre existirán limitaciones, para generalizar el método y también para un proceso de simulación, sobre todo en términos de su realidad por los procesos sociales en un mundo que es complejo y rápidamente cambiante. Pero es nuestro objetivo tratar de modelar esos procesos de evolución.



## BIBLIOGRAFIA:

- Ampudia Rueda, Lourdes. (2006). Formación de la zona libre e importancia del comercio en Ciudad Juárez: Breve visión cronológica en Cronología de Ciudad Juárez: Siglo XX, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.
- Aguilera, Benavente, F, “Predicción del crecimiento urbano mediante sistemas de información geográfica y modelos basados en autómatas celulares”, *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, Campus de fuente nueva, Granada, España, N°. 6, 2006, pp.1-7
- Anderson, R. P., Lew, D. y Peterson, A. T. “Evaluating predictive models of species distributions: criteria for selecting optimal models”, *Ecological Modelling*, 2003, 162, pp. 211-232.
- Bustamante, Jorge, “El programa Fronterizo de maquiladoras, observaciones para la evaluación”, Foro Internacional, Vol. XVI, Núm. 2, 1975. “La conceptualización y programación del desarrollo de la zona fronteriza del norte de México”, Administración del desarrollo, El Colegio de México, México, 1982.
- Camagni, Roberto, *Economía urbana, edición*, edición en castellano, España, Editorial Antoni Bosch, Barcelona, 2005. p.303
- Charles D. Wende, *An introductory Landsat Tutorial for Users of GeoCover Data*, NASA Headquarters, 2004.
- Chávez, Armando B. *Historia de Ciudad Juárez Chihuahua*. México, D.F. Editorial Pax México, 1991.
- Chin, Nancy ““Unearthing the roots of urban sprawl: A critical analysis of form, function and methodology.” 2007, , Centre for Advanced Spatial Analysis, Univ. College of London, London. [http://www.pir.gov.on.ca/english/growth/gghdocs/Techpaper\\_bb\\_Fall2006\\_web-Appen-2.pdf](http://www.pir.gov.on.ca/english/growth/gghdocs/Techpaper_bb_Fall2006_web-Appen-2.pdf)Paper 47
- Cruz, Rodolfo, “Mercado de trabajo y empleo en Ciudad Juárez”, Diagnóstico geosocioeconómico de Ciudad Juárez y su sociedad, El Colegio de la Frontera Norte, Instituto Nacional de las Mujeres, Ciudad Juárez, 2005.
- Daniel D, Arreola and James R Curtis, *The Mexican Border Cities. Landscape Anatomy and Place personality*, American Geographical Society, Vol. 84, N.2, 1994, pp 222-223..
- Fuentes, Cesar (2001). “Los cambios en la estructura intraurbana de Ciudad Juárez, Chihuahua, de monocéntrica a multicéntrica”. Frontera Norte vol. 13, no. 25, enero-junio, pp. 95-118.
- Girardotti, Luis “Planeamiento de transporte Elemento de economía urbana” 2002, <http://materias.fi.uba.ar/6808/contenidos/EconomiaUrbana.pdf>

- Itzhak Benenson, Paul Torrens, *Geosimulation: automata based modeling of urban phenomena*, England, Wiley, 2005.
- Jensen, J.R.. *Remote Sensing of the Environment: An earth resource perspective*, New Jersey: Prentice Hall., 2000.
- K C Clarke, S Hoppen , L. Gaydos, *A self modifying cellular automaton of historical urbanization in the san Francisco bay area*”, Vol 24, 1997, pp.247-261,
- Lillesand, T.M.; Kiefer, R.W. and Chipman, J.W., *Remote Sensing and Image Interpretation*. John Wiley & Sons, Fifth Edition, 2004..
- Lourdes Romo et al., Proyecto: “Zonificación y Ordenamiento Ecológico y territorial del municipio de Juárez”
- Martínez Oscar, *Border Bool Town, Ciudad Juárez Since 1848*, University of Texas Press Austin & London, USA, 1943.
- Mario Margulis, Rodolfo Tuiran, *Desarrollo y población en la Frontera Norte: El caso de Reynosa*, El Colegio de México, Edition 1st, January 1986, pp323, ISBN-10 9681203224,
- Municipio de Juárez, “historia de Juárez”, 2007, <http://www.juarez.gob.mx/juarez/historia.php>.
- Quijada, Guadalupe Santiago, “La industria maquiladora de Ciudad Juárez”, 15 de abril de 2007, *sección negocios*, <http://www.etimes.com.mx/spip.php?article539>
- Roger White, Guy Engelen, Inge Uljee, Carlo Lavallo, Daniele Erlich, *Developing and urban land use simulator for European cities*, Memorial University of Newfoundland, Department of Geography, Research Institute for Knowledge Systems, European Commission Joint Research Centre, Space Applications Institute, pp.1-8.
- Rubio Rodolfo "Migraciones y movilidad en Ciudad Juárez", en Diagnóstico geosocioeconómico de Ciudad Juárez y su sociedad, Coordinado por Cervera Gómez Luis Ernesto, Instituto Nacional de la Mujer, México, 2006, pp. 36, .
- Sánchez, Jacinto. *Monografía de Ciudad Juárez*. Ciudad Juárez, 1997.
- Sergio, Peña y César, M. Fuentes, “Land Use Changes in ciudad Juarez, Chihuahua: A Systems Dynamic Model”, *Revista de ciencias sociales y humanidades*, Mexicali, B.C, Nueva época, Vol.8, núm.16, julio-diciembre de 2007, pp.65-89
- Showengerdt, Robert A. *Remote Sensing, models and methos for image processing*, 2<sup>nd</sup>. Edition, Academic Press. pp 522, 1997, ISBN 0-12-628981-6
- Simental, Raúl "De Paso del Norte a Juárez: una ciudad del siglo XX"(1995). [www.comisioncdjuarez.gob.mx/pdf/socioeconomico/volumen2violencia.pdf](http://www.comisioncdjuarez.gob.mx/pdf/socioeconomico/volumen2violencia.pdf)

- Simone Leao, Ian Bishop and David Evans, *Simulation Urban grown in a developing nations region using a cellular automata-based model* Volume 130, Issue, September 2004, 3, pp. 145-158.
- T. V. Ramachandra & K. S. Jagadish, *Urban Sprawl pattern analysis using gis*. Energy and Wetlands Research Group, Centre for Ecological Sciences, Indian Institute of Science, CES Technical Report N.99.
- Yea-Chung Ding, Yong- Kui Zhang, “The Simulation of Urban Growth Applying Sleuth Ca Model to the Yilan Delta in Taiwan”, *Jurnal Alam Bina, Jilid.*, Chinese Culture University, Taipei, Taiwan, No: 01, 2007.
- “Land Use Theory” <http://www.bennett.karoo.net/topics/landuse.html> consultada en el noviembre 2007.
- “Land Use Models” <http://www.geography.learnontheinternet.co.uk/topics/landusemodels.html> consultada 2007
- Zabala, María “Cambios demográficos y sociales en la frontera norte de México: familia y mercados de trabajo” (1997). <http://ddd.uab.es/pub/dag/02121573n30p93.pdf>
- Zenteno, René y Cruz, Rodolfo (1988) “Un contexto geográfico para la investigación demográfica de la frontera norte”, *Estudios Demográficos y Urbanos*, vol. 3, no. 3, p. 399-423.

## ANEXOS

Anexo 1 Tabla de Crecimiento Histórico de la población y superficie de Ciudad Juárez

Año	Población	Superficie	Densidad
		(hectáreas)	(hab/ha)
1850	4000	8.68	460.9342
1856	4342	9.42	460.93
1872	10000	/	/
1887	12000	/	/
1894	7582	60.00	126.00
1900	8218	61.00	134.00
1910	10621	119.00	89.00
1911	11289	119.20	94.71
1921	19457	/	/
1930	33669	471.00	84.00
1939	48881	563.50	86.75
1950	122566	800.00	153.21
1960	407370	1894.00	215.08
1970	544496	5606.00	97.13
1978	590809	9395.00	62.89
1980	567365	9395.00	60.00
1984	798499	13169.00	60.63
1989	915655	14049.30	65.17
1990	798499	14049.00	57.00
1995	1081977	19177.30	56.42
2000	1217821	21196.00	57.46
2005	1313338	31246.00	42.00

Fuente: de datos de Oscar J. Martínez “Border Boom Town Ciudad Juárez since 1848”, INEGI 1980, 1990,2000 e INEGI 2005

Anexo 2. Tabla Crecimiento poblacional de las ciudades fronterizas del norte de México.

Año	Juarez	Tijuana	Mexicali	Reynosa	Matamoros	Nuevo Laredo	Piedras Negras	Acuña
1995	1,011,700	991,592	696,034	337,063	363,487	275,060	116,140	91,965
2000	1,218,810	1,210,820	764,602	420,463	418,141	310,915	128,130	119,487
2005	1,313,333	1,410,700	865,962	526,898	462,157	365,827	143,915	126,238

Fuente: INEGI, Elaboración propia.

Anexo 3. Tabla de Proyecciones de la población de Ciudad Juárez con base en los resultados del Censo de población de 2000 y el conteo de población de 2005

<b>Año</b>	<b>Censo 2000</b>	<b>Conteo 2005</b>	<b>Diferencia</b>
2005	1 460 660	1 313 338*	-147 322
2010	1 660 219	1 431 072	-229 147
2015	1 857 064	1 540 118	-316 946
2020	2 050 145	1 639 401	-410 744
2025	2 235 311	1 728 509	-506 802
2030	2 406 411	1 804 146	-602 265

Fuente: ZOET 2008 del Resultado oficial del conteo de población 2005.

Anexo 4. Tabla de Población relativa del municipio de Juárez en el país y el estado y el de Ciudad Juárez en el municipio

<b>Año</b>	<b>Población relativa del municipio en el porcentaje nacional</b>	<b>Población relativa del municipio en el porcentaje estatal</b>	<b>Población relativa de CJ en el municipio</b>
1950	0.51	15.5	98.2
1960	0.79	22.6	98.9
1970	0.88	26.3	99.3
1980	0.85	28.3	99.7
1990	0.98	32.7	99.8
2000	1.25	40.1	99.8
2005	1.27	40.2	99.8

Fuente: ZOET 2008 con información de: CONAPO, La población de México 1950-1990; XIII Censo General de Población y Vivienda, 2000, y II Censo Nacional de Población y Vivienda, 2005.

Anexo 5. Tabla de Densidades de población en el municipio y Ciudad Juárez en distintos años censales

<b>Año</b>	<b>Densidad de la población en el municipio*</b>	<b>Densidad de la población en la localidad de Ciudad Juárez*</b>
1950	27	1 918
1960	57	1 473
1970	87	7 500
1980	117	6 032
1990	165	5 266
2000	251	5 799
2005	272	~ 5 650

Fuente: ZOET 2008 con información de: CONAPO, La población de México 1950-1990; XIII Censo General de Población y Vivienda, 2000, y II Conteo Nacional de Población y Vivienda, 2005

Anexo 6 Tabla de Índices y grados de especialización económica y ocupacional del municipio de Juárez, 2004

<b>Actividad Económica</b>	<b>Índice de especialización económica</b>	<b>Grado de especialización económica</b>	<b>Índice de especialización ocupacional</b>	<b>Grado de especialización ocupacional</b>
Agropecuaria	0	0	0	0
Ind. Extractiva	0.1	0.7	0.1	0.1
Ind. Manufacturera	2.3	70	2.2	59
Comercio	0.7	13	0.6	18.2
Servicios Turísticos	0.8	2.1	0.6	5
Servicios Diversos	0.4	10.9	0.5	14

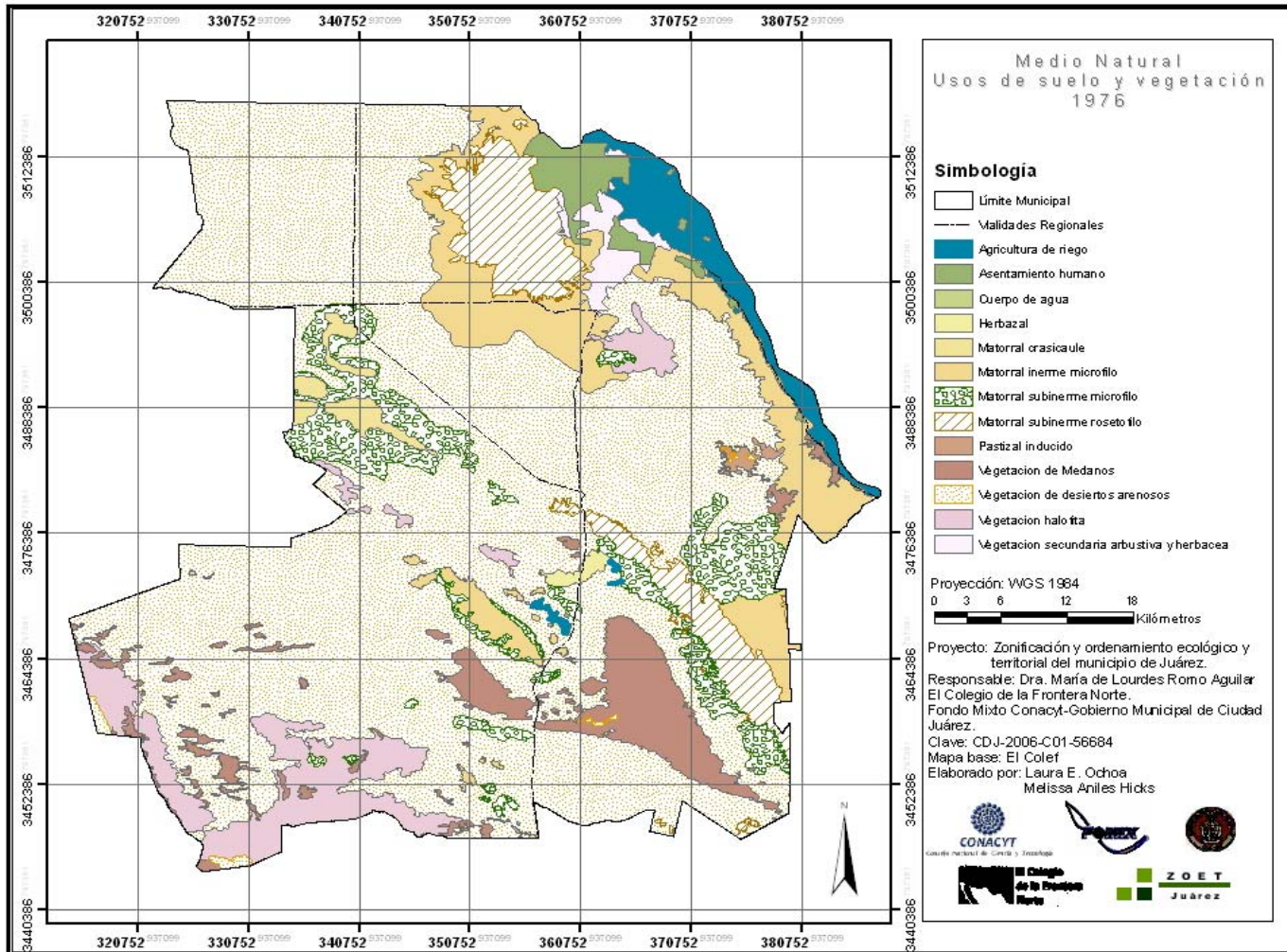
Fuente: ZOET 2008 con información de los Censos Económicos, 2004, INEGI.

Anexo 7. Tabla de Superficies en hectáreas y porcentajes para cada cobertura y uso del suelo del municipio de Juárez

Código	Cobertura y uso del suelo	Superficie (ha)					
		1976	%	1994	%	2004	%
10	Asentamiento humano	6,053.90	1.576	17,780.10	4.63	25,020.10	6.515
20	Agricultura de riego	10,628.30	2.768	11,853.40	3.087	9,745.70	2.538
30	Pastizal inducido	912.7	0.238	1,886.70	0.491	1,455.90	0.379
40	Vegetación de Medanos	21,085.40	5.49	21,065.00	5.485	21,022.20	5.474
50	Matorral inerme microfilo	39,015.60	10.159	27,743.70	7.224	26,868.50	6.996
60	Pastizal natural	15,765.90	4.105	15,777.80	4.108	15,765.90	4.105
70	Matorral subinerme rosetofo	23,023.00	5.995	21,419.80	5.578	20,932.90	5.451
80	Matorral subinerme microfilo	25,736.50	6.702	25,261.40	6.578	25,245.50	6.574
90	Vegetación de desiertos arenosos	224,879.30	58.556	217,282.90	56.578	215,769.10	56.184
100	Áreas sin vegetación aparente			1,046.00	0.272	1,169.50	0.305
110	Vegetación halófila	9,571.90	2.492	9,571.90	2.492	9,474.20	2.467
120	Proyectos de desarrollo urbano			7,016.70	1.827	6,465.40	1.684
130	Vegetación secundaria arbustiva y herbácea	3,702.80	0.964	2,669.80	0.695	1,440.40	0.375
140	Matorral submontano de nopalera	3,659.60	0.953	3,659.60	0.953	3,659.60	0.953
150	Cuerpo de agua	3.5	0.001	3.5	0.001	3.5	0.001
		<b>384,038.50</b>		<b>384,038.50</b>		<b>384,038.50</b>	

Fuente: ZOET 2008 basada en la interpretación visual de ortofotografías digitales de INEGI.

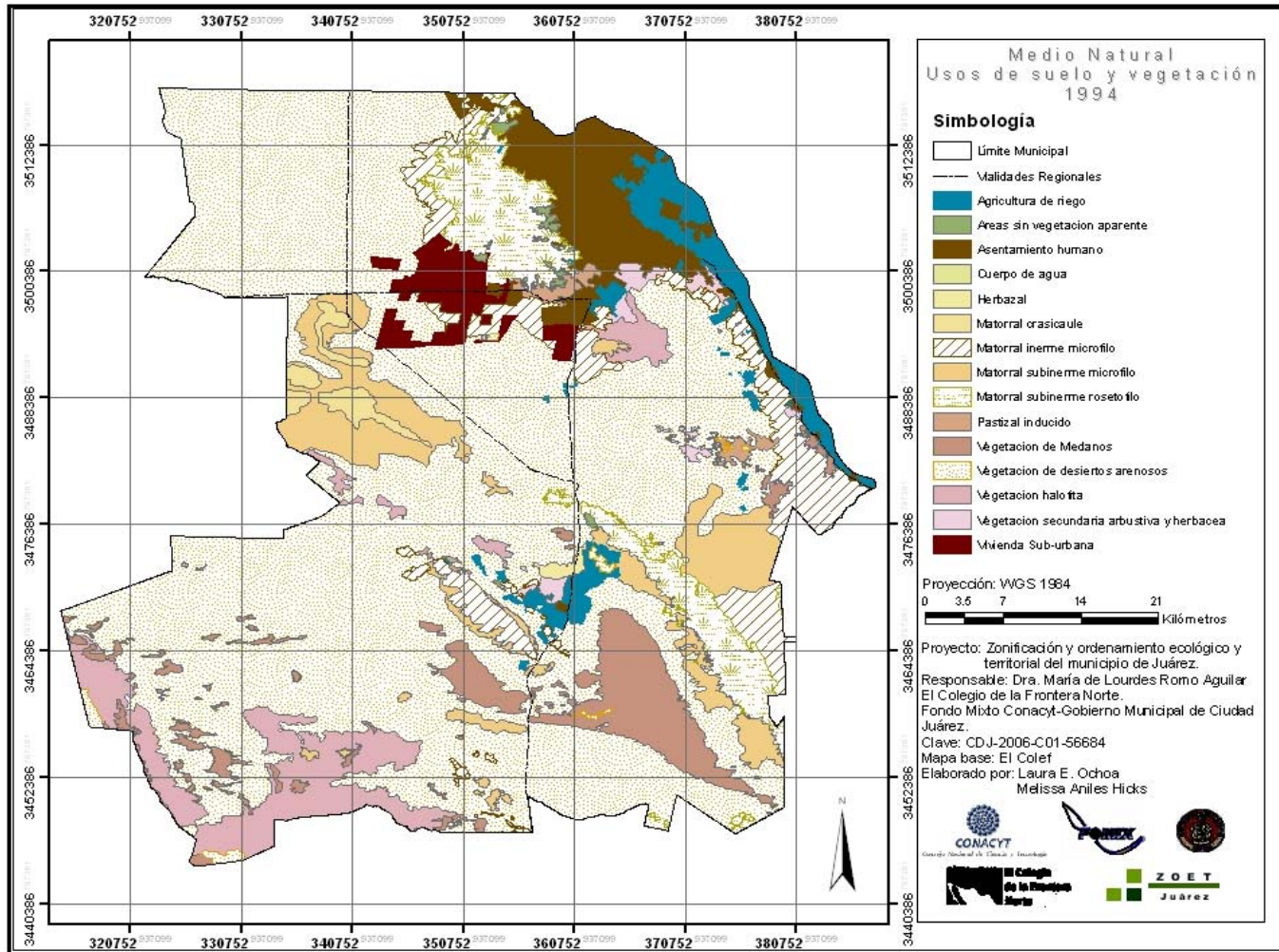
Anexo 8. Mapa Distribución de la cobertura y uso del suelo en 1976 (INEGI), Corregido con base en el mapa de 1994



Fuente: ZOET 2008 INEGI, carta uso de suelo y vegetación 1:250,000.



Anexo 9. Mapa Distribución de la cobertura y uso del suelo en 1994



Fuente: ZOET 2008 INEGI, carta uso de suelo y vegetación.

Anexo 10 Tabla de Usos urbanos recomendables de acuerdo al relieve

Pendiente	Características	Uso recomendable
0-2°	Problemas con el tendido de redes subterráneas de drenaje, por ello el costo resulta elevado. Problemas de anegamiento. Susceptible de reforestar y controlar problemas de erosión. Ventilación media.	Agricultura Zonas de recarga acuífera Construcciones de baja densidad Zonas de recreación intensiva Preservación ecológica
2-5°	Pendiente óptima para usos urbanos. No presenta problemas de drenaje natural. No presenta problemas de tendido de redes subterráneas de drenaje-agua. No presenta problemas de vialidades ni a la construcción de obra civil. Zonas de recarga acuífera Construcciones de baja densidad Zonas de recreación intensiva Preservación ecológica	Agricultura Zonas de recarga acuífera Habitacional, densidad alta y media Zonas de recreación intensiva Zonas de preservación ecológica Construcción industrial y Recreación
5-10°	Adecuada, pero no óptima para usos urbanos por costos. Ventilación adecuada, Asoleamiento constante, erosión media, Drenaje fácil.	Construcción habitacional de densidad media Construcción industrial (con restricción) Recreación (con restricción) e Industria ligera
10-15°	Suelo accesible para construcción Buen asoleamiento Movimientos de tierra, Cimentación irregular, Visibilidad amplia, Ventilación aprovechable Drenaje variable	Habitacional de mediana y baja densidad Equipamiento, Zonas de recreación Zonas de reforestación, Zonas preservables Industria ligera
15-25°	Zonas accidentadas Buen asoleamiento y Suelo accesible para la construcción Cimentación irregular, Visibilidad amplia Ventilación aprovechable, Presenta dificultades para la planeación de redes de servicio, vialidad y construcción	Habitacional de mediana y baja densidad Equipamiento Zonas recreativas, Zonas preservables No aconsejables para fraccionarse o subdividirse
25 y más	Inadecuada para la mayoría de los usos urbanos, por sus pendientes extremas.	Reforestación Recreación pasiva

Fuente: ZOET de Oseas, T, et. Al. 1992. Manual de Investigación urbana; Bazan, J. 1983. Manual de criterios de diseño urbano; Caminos, H. 1984. Elementos de urbanización, SAHOP.

Anexo 11. Tabla de Población urbana y rural

<b>Ciudad Juárez (población urbana)</b>	<b>Total población rural</b>	<b>Total municipal</b>
1,301,452	11,886	1,313,338
99.09%	0.91%	100.00%

Fuente: ZOET 2008 de INEGI, 2005.

Anexo 12 Tabla de Principales Localidades Rurales

<b>Localidad</b>	<b>Población</b>
Loma Blanca	1,699
San Isidro	2,295
San Agustín,	1,493
Jesús Carranza	558
Tres Jacales	275
El Millón	823
Samalayuca	1,126

Fuente: ZOET 2008 de INEGI, 2005.

Anexo 13. Tabla de Tasas de crecimiento de localidades rurales

localidades	1910	1921	1930	1940	1950	1960	1970	1980	1990	1995	2000	2005
Juárez	2.65	6.08	7.38	2.15	9.38	7.89	4.68	2.84	3.88	4.19	4.2	1.63
Loma blanca							1.53	0.05	2.77	1.66	17.15	8.19
Samalayuca	- 11.76	-13.9	36.08	-1.3	5.66	4.94	-0.88	1.88	1.9	0.44	12.99	-3.65
San Agustín		3.12	4.68	1.91	-1	1.89	2.73	-0.24	4.37	-0.46	12.37	0.6
San Isidro (rio grande)				2.27	0.05	0.05	3.83	1.93	2.21	-1.6	11.91	-5.3
millón, el			19.02	1.37	0.69	3.41	2.06	-0.09	1.95	3.77	9.76	-3.29
Jesús Carranza (La colorada)			1.3	-0.16	0.66	-0.8				0.32	6.77	-3.2
San francisco tres jacales										1.9	8.04	-5.85

Fuente: ZOET 2008 a partir de los Censos de Población y Vivienda 1910, 1921, 1930, 1940, 1950, 1960, 1970, 1980, 1990 y 2000. INEGI y en los Conteo de Población y Vivienda 1995 y 2005.

Anexo 14. Tabla de Resultados de la calibración gruesa

Run	Product	Compare	Pop	Edges	Clusters	Size	Leesalee	Slope	%Urban	Xmean	Ymean	Rad	Fmatch	Diff	Brd	Sprd	Slp	RG
604	0.01811	0.71715	0.99423	0.56983	0.74836	0.99734	0.29261	0.9947	0.99526	0.94373	0.85945	0.9973	0.2549	1	100	100	1	100
488	0.01747	0.63484	0.99436	0.57198	0.74458	0.99878	0.29081	0.99941	0.99555	0.98498	0.88128	0.9971	0.25982	1	75	100	50	75
608	0.00001	0.6916	0.99507	0.55249	0.79803	0.99478	0.29041	0.99638	0.996	0.00054	0.86732	0.9977	0.26355	1	100	100	25	75
609	0.00961	0.70823	0.99409	0.56944	0.76186	0.99507	0.28847	0.99868	0.99515	0.49601	0.85861	0.9973	0.2598	1	100	100	25	100
603	0.00668	0.67765	0.99284	0.60067	0.80936	0.96815	0.28281	0.99383	0.99426	0.34403	0.86677	0.9963	0.2541	1	100	100	1	75
499	0.01147	0.61671	0.99364	0.56542	0.76403	0.98484	0.281	0.99077	0.99501	0.71487	0.85977	0.9968	0.25922	1	75	100	100	100
479	0.00756	0.63536	0.99318	0.60289	0.59418	0.99303	0.28083	0.99176	0.99464	0.53062	0.88335	0.9964	0.26048	1	75	100	1	100
607	0.01361	0.64204	0.99416	0.5953	0.68818	0.99969	0.27847	0.99907	0.99537	0.82235	0.88009	0.9971	0.26062	1	100	100	25	50
484	0.00583	0.66765	0.99417	0.58109	0.75705	0.99341	0.27781	0.99738	0.99532	0.32676	0.86679	0.9972	0.25807	1	75	100	25	100
494	0.01541	0.65803	0.99413	0.58057	0.75449	0.99715	0.27774	0.99999	0.99529	0.88687	0.85977	0.9972	0.25662	1	75	100	75	100

Anexo 15. Tabla de Resultados de la calibración Fina

Run	Product	Compare	Pop	Edges	Clusters	Size	Leesalee	Slope	%Urban	Xmean	Ymean	Rad	Fmatch	Diff	Brd	Sprd	Slp	RG
93	0.03835	0.88898	0.99607	0.50896	0.99979	0.94417	0.38239	0.99299	0.99586	0.99153	0.88303	0.9983	0.27271	1	75	90	30	90
513	0.02821	0.98494	0.99749	0.64879	0.76453	1	0.3771	0.97413	0.9972	0.71983	0.85805	0.999	0.25613	1	85	100	10	90
514	0.02874	0.85729	0.99714	0.64815	0.81825	0.99885	0.37335	0.98598	0.99687	0.74954	0.86772	0.9987	0.26628	1	85	100	10	95
832	0.03683	0.89616	0.9958	0.56052	0.98328	0.91847	0.37323	0.98299	0.99556	0.9685	0.86404	0.9984	0.26716	1	95	95	1	95
663	0.01745	0.88334	0.99852	0.49064	0.59037	0.89923	0.37264	0.97252	0.99822	0.97053	0.84664	0.9997	0.25556	1	90	95	20	90
157	0.03829	0.97869	0.99673	0.59815	0.78144	0.99885	0.37104	0.9872	0.99647	0.968	0.87584	0.9987	0.27204	1	75	100	20	80
591	0.0067	0.92086	0.99636	0.5195	0.99786	0.93547	0.36938	0.97589	0.99609	0.18732	0.87031	0.9987	0.25761	1	90	85	20	90
629	0.03948	0.90882	0.99629	0.58314	0.9719	0.96748	0.36903	0.98393	0.99603	0.99561	0.85417	0.9988	0.25887	1	90	90	20	100
847	0.04607	0.97787	0.9941	0.61042	0.94079	0.97383	0.36881	0.99722	0.99401	0.99949	0.88202	0.9973	0.26362	1	95	95	30	80
92	0.03262	0.94171	0.99628	0.60553	0.86976	0.995	0.36863	0.98779	0.99605	0.81452	0.86807	0.9984	0.25915	1	75	90	30	85

Anexo 16 Tabla de Resultados de la calibración Final

Run	Product	Compare	Pop	Edges	Cluster	s Size	Leesale	e Slope	%Urban	Xmean	Ymean	Rad	Fmatch	Diff	Brd	Sprd	Slp	RG
6	0.03403	0.96283	0.99677	0.51895	0.98172	0.9385	0.38785	0.97812	0.99649	0.87667	0.86352	0.999	0.25937	1	75	90	14	90
30	0.03835	0.88898	0.99607	0.50896	0.99979	0.94417	0.38239	0.99299	0.99586	0.99153	0.88303	0.9983	0.27271	1	75	90	30	90
31	0.03835	0.88898	0.99607	0.50896	0.99979	0.94417	0.38239	0.99299	0.99586	0.99153	0.88303	0.9983	0.27271	1	75	90	30	91
1241	0.03239	0.97062	0.99551	0.58917	0.99577	0.91335	0.37918	0.99689	0.99531	0.70516	0.88547	0.998	0.2668	1	85	98	18	95
367	0.00001	0.95904	0.99644	0.61421	0.91231	0.98835	0.37833	0.97915	0.99618	0.00023	0.86451	0.9986	0.26699	1	77	98	14	91
1240	0.04458	0.97116	0.9949	0.6033	0.9113	0.98917	0.37819	0.99487	0.99474	0.95618	0.89188	0.9977	0.26641	1	85	98	18	94
33	0.03483	0.96653	0.99643	0.51087	0.98542	0.92577	0.37786	0.97712	0.99618	0.92134	0.86597	0.9987	0.26482	1	75	90	30	93
1288	0.05218	0.99966	0.99585	0.63845	0.97892	0.96113	0.37715	0.98897	0.99563	0.99897	0.88663	0.9983	0.26571	1	85	100	26	94
32	0.03488	0.96614	0.99647	0.50592	0.99581	0.94937	0.37714	0.97719	0.99622	0.90212	0.86703	0.9987	0.26414	1	75	90	30	92
1260	0.02821	0.98494	0.99749	0.64879	0.76453	1	0.3771	0.97413	0.9972	0.71983	0.85805	0.999	0.25613	1	85	100	10	90

Anexo 17. Tabla de datos estadísticos de la predicción del modelo del escenario “srestricciones”

year	sng	sdg	og	rt	pop	area	edges	clusters	xmean	ymean	rad	slope	cl_size	%urban	grw_rate	grw_pix
2008	8.32	7.76	3139.3	17.61	65387	65387	19764	1711.3	549.27	228.05	144.27	20.08	37.72	12.29	4.85	3173
2009	8.56	7.83	2614.9	9.78	68028	68028	19061	1496.5	551.32	230.39	147.15	19.34	44.95	12.72	3.88	2641
2010	8.14	7.67	2109.2	6.82	70160	70160	18357	1350.9	552.93	232.45	149.44	18.79	51.45	13.06	3.04	2131.8
2011	8.03	7.04	1671.8	5.35	71852	71852	17770	1252.1	554.17	234.26	151.23	18.37	56.91	13.33	2.36	1692.2
2012	7.95	7.27	1323.9	4.2	73195	73195	17343	1186.7	555.11	235.85	152.64	18.05	61.19	13.55	1.84	1343.3
2013	8.01	7.71	1070.5	3.77	74285	74285	17070	1140	555.82	237.29	153.77	17.8	64.71	13.73	1.47	1090
2014	7.86	7.46	877.24	3.83	75182	75182	16921	1108.1	556.33	238.61	154.7	17.6	67.38	13.87	1.19	896.39
2015	8.04	7.83	743.96	5.01	75947	75947	16860	1088.1	556.65	239.85	155.48	17.43	69.29	14	1.01	764.85
2016	7.67	7.2	649.23	4.83	76616	76616	16857	1075.1	556.82	241.01	156.16	17.29	70.81	14.11	0.87	668.93
2017	7.76	7.47	586.52	6.2	77223	77223	16896	1068.7	556.85	242.15	156.78	17.16	71.8	14.2	0.79	607.96
2018	7.71	7.32	543.96	6.86	77789	77789	16967	1066.5	556.74	243.25	157.36	17.04	72.44	14.3	0.73	565.85
2019	7.71	7.55	517.67	8.38	78331	78331	17060	1068	556.5	244.34	157.9	16.92	72.83	14.38	0.69	541.3
2020	7.66	7.21	504.06	8.98	78859	78859	17176	1072.3	556.14	245.42	158.43	16.82	73.03	14.47	0.67	527.91
2021	7.63	7.09	500.62	9.85	79384	79384	17305	1077	555.65	246.5	158.96	16.71	73.21	14.55	0.66	525.18
2022	7.68	7.33	504.06	9.97	79913	79913	17447	1082.3	555.03	247.59	159.49	16.6	73.31	14.64	0.66	529.03
2023	7.49	6.91	512.34	9.87	80449	80449	17594	1088.5	554.3	248.68	160.02	16.5	73.44	14.73	0.67	536.61
2024	7.85	7.45	525.78	10.03	81000	81000	17750	1095.3	553.44	249.78	160.57	16.39	73.42	14.81	0.68	551.1
2025	7.41	7.24	539.4	9.61	81564	81564	17912	1103.2	552.48	250.91	161.13	16.28	73.45	14.91	0.69	563.65
2026	7.67	7.03	555.71	9.23	82144	82144	18080	1112.2	551.4	252.05	161.7	16.17	73.39	15	0.71	579.63
2027	7.65	6.96	574.98	9.98	82743	82743	18253	1120.4	550.21	253.21	162.29	16.05	73.34	15.1	0.72	599.57
2028	7.9	7.17	593.24	9.89	83362	83362	18430	1129.7	548.92	254.39	162.89	15.94	73.33	15.2	0.74	618.21
2029	7.53	6.76	614.64	9.34	84000	84000	18615	1137	547.52	255.58	163.52	15.82	73.39	15.3	0.76	638.27
2030	7.66	6.89	638.48	9.2	84662	84662	18802	1147	546.02	256.8	164.16	15.7	73.3	15.41	0.78	662.22

Fuente: Resultados generados por el archivo av.log de la calibración sin restricciones

Anexo 18. Tabla de Datos estadísticos de la predicción del modelo del escenario “FLCP”

year	sng	sdg	og	rt	pop	area	edges	clusters	xmean	ymean	rad	slope	cl_size	slp_res	rd_grav	%urban	grw_rate	grw_pix
2008	9.27	8.12	3159	18.5	65409	65409	19767	1709	549.3	228.2	144.3	20.08	37.73	5	35	12.29	4.88	3195
2009	9.28	8.96	2636	10.5	68074	68074	19074	1495	551.4	230.6	147.2	19.33	44.99	3.77	36.23	12.72	3.91	2665
2010	9.52	9.05	2124	6.32	70223	70223	18385	1349	553	232.8	149.5	18.77	51.53	2.5	37.5	13.07	3.06	2149
2011	8.79	8.29	1692	6.43	71939	71939	17804	1251	554.3	234.7	151.3	18.35	56.99	1.19	38.81	13.35	2.38	1716
2012	8.42	8.01	1341	4.4	73300	73300	17382	1189	555.2	236.4	152.8	18.03	61.15	1.19	38.81	13.57	1.86	1362
2013	9.13	9.14	1078	4.26	74401	74401	17123	1147	555.9	237.9	153.9	17.77	64.34	1.19	38.81	13.75	1.48	1101
2014	9.09	8.48	892	4.6	75316	75316	16992	1117	556.3	239.3	154.8	17.57	66.97	1.19	38.81	13.89	1.21	914.1
2015	8.84	8.27	767	4.67	76105	76105	16946	1098	556.6	240.7	155.6	17.4	68.82	2.58	37.42	14.02	1.04	789.2
2016	9.09	8.55	674	5.56	76802	76802	16966	1086	556.7	242	156.4	17.25	70.23	3.98	36.02	14.14	0.91	697.4
2017	8.51	8.35	617	6.6	77442	77442	17021	1078	556.6	243.3	157	17.11	71.31	5.4	34.6	14.24	0.83	640.1
2018	8.88	8.52	576	7.37	78043	78043	17104	1079	556.3	244.6	157.6	16.98	71.88	6.82	33.18	14.34	0.77	600.4
2019	8.77	8.41	555	7.02	78622	78622	17217	1080	555.9	245.9	158.2	16.86	72.33	8.25	31.75	14.43	0.74	579.6
2020	8.61	8.04	546	8.07	79193	79193	17343	1086	555.3	247.2	158.8	16.75	72.46	9.7	30.3	14.52	0.72	570.8
2021	8.63	7.99	545	8.01	79763	79763	17486	1092	554.6	248.5	159.3	16.63	72.6	11.15	28.85	14.61	0.71	570
2022	8.36	8.07	553	7.32	80340	80340	17643	1097	553.7	249.9	159.9	16.52	72.75	12.61	27.39	14.71	0.72	576.9
2023	9.02	8.43	565	7.84	80930	80930	17813	1105	552.7	251.3	160.5	16.4	72.68	14.08	25.92	14.8	0.73	590.1
2024	8.57	7.91	585	8.29	81540	81540	17988	1111	551.6	252.7	161.1	16.28	72.89	15.56	24.44	14.9	0.75	610.1
2025	8.01	7.26	603	6.93	82165	82165	18168	1122	550.3	254.2	161.7	16.16	72.72	17.05	22.95	15	0.76	624.9
2026	7.99	7.6	623	6.11	82810	82810	18349	1128	548.9	255.7	162.4	16.04	72.83	18.55	21.45	15.11	0.78	645.1
2027	8.24	7.69	646	6.98	83479	83479	18544	1136	547.4	257.2	163	15.91	72.97	20.06	19.94	15.22	0.8	668.6
2028	7.79	7.22	670	5.43	84169	84169	18738	1144	545.7	258.8	163.7	15.79	73.1	21.59	18.41	15.33	0.82	690.1
2029	8.35	8.17	693	6.16	84885	84885	18943	1154	543.9	260.4	164.4	15.66	73.03	23.12	16.88	15.44	0.84	716
2030	8.5	8.31	720	4.51	85626	85626	19147	1163	542	262	165.1	15.53	73.09	24.66	15.34	15.56	0.87	741.4

Fuente: Resultados generados por el archivo av.log de la calibración FLCP



Anexo 19. Tabla de Datos estadísticos de la predicción del modelo del escenario “ZOET”

year	sng	sdg	og	rt	pop	area	edges	clusters	xmean	ymean	rad	slope	cl_size	%urban	grw_rate	grw_pix
2008	7.81	7.06	2508.9	21.18	64759	64759	19826	1779.8	548.6	228.6	143.57	20.26	35.91	12.18	3.93	2544.9
2009	7.51	6.92	2113.7	12.46	66900	66900	19265	1614.7	550.15	231.32	145.93	19.65	40.92	12.53	3.2	2140.6
2010	7.95	7.67	1749.4	7.33	68672	68672	18721	1499.8	551.41	233.64	147.85	19.17	45.27	12.82	2.58	1772.3
2011	7.41	6.85	1451	5.76	70143	70143	18273	1421.3	552.43	235.59	149.42	18.78	48.84	13.05	2.1	1471
2012	7.46	6.82	1212.3	4.54	71374	71374	17953	1362.4	553.26	237.26	150.73	18.48	51.9	13.25	1.72	1231.1
2013	7.49	6.94	1027.1	4.3	72420	72420	17741	1315.6	553.92	238.73	151.83	18.22	54.55	13.42	1.44	1045.8
2014	7.51	6.76	896.83	4.82	73336	73336	17614	1281.5	554.45	240.09	152.79	18.01	56.73	13.57	1.25	915.92
2015	7.88	7.59	796.37	4.71	74152	74152	17553	1256.7	554.84	241.36	153.63	17.82	58.52	13.7	1.1	816.55
2016	7.49	7.05	719.39	5.04	74891	74891	17534	1238.8	555.1	242.58	154.4	17.65	59.98	13.82	0.99	738.98
2017	7.53	7.04	664.41	5	75575	75575	17550	1226.9	555.24	243.78	155.1	17.5	61.12	13.93	0.9	683.97
2018	7.26	6.71	621.79	5.13	76216	76216	17600	1218.1	555.26	244.98	155.76	17.36	62.06	14.04	0.84	640.9
2019	7.47	6.99	596.15	5.82	76832	76832	17676	1212.8	555.16	246.21	156.39	17.23	62.84	14.14	0.8	616.43
2020	7.08	6.66	574.85	5.33	77426	77426	17773	1208.4	554.95	247.46	156.99	17.1	63.56	14.23	0.77	593.91
2021	7.17	6.6	564.84	5.42	78010	78010	17885	1207.8	554.63	248.76	157.58	16.98	64.11	14.33	0.75	584.02
2022	7.41	6.83	558.76	5.88	78589	78589	18011	1207.2	554.19	250.09	158.16	16.86	64.64	14.42	0.74	578.89
2023	7.33	6.65	560.54	5.7	79169	79169	18148	1207.9	553.64	251.48	158.75	16.74	65.05	14.51	0.73	580.23
2024	7.39	6.68	564.88	6.1	79755	79755	18297	1210.1	552.97	252.92	159.33	16.62	65.39	14.61	0.73	585.05
2025	7.46	6.82	572.32	5.83	80347	80347	18452	1213	552.2	254.42	159.92	16.5	65.75	14.71	0.74	592.42
2026	7.49	6.62	581.37	6.21	80949	80949	18612	1216.9	551.31	255.97	160.52	16.39	66.03	14.8	0.74	601.68
2027	7.16	6.47	589.89	5.82	81558	81558	18777	1221.4	550.32	257.56	161.12	16.27	66.33	14.9	0.75	609.34
2028	7.22	6.75	605	6.29	82183	82183	18952	1226.3	549.22	259.2	161.74	16.15	66.53	15	0.76	625.25
2029	7.1	6.5	617.66	6.32	82821	82821	19128	1231.1	548.01	260.89	162.37	16.03	66.79	15.11	0.77	637.58
2030	7.41	6.79	632.32	5.82	83473	83473	19306	1236.5	546.71	262.62	163	15.91	67.05	15.21	0.78	652.34

Fuente: Resultados generados por el archivo av.log de la calibración ZOET

Anexo 20. Tabla de Datos estadísticos de la predicción del modelo del escenario “ZOET\_FLCP”

year	sng	sdg	og	rt	pop	area	edges	clusters	xmean	ymean	rad	slope	cl_size	%urban	grw_rate	grw_pix
2008	6.99	6.37	2476	21.46	64725	64725	19807	1776	548.5	228.4	143.5	20.27	35.97	12.55	3.88	2511
2009	6.82	6.13	2082	12.27	66832	66832	19225	1609	550	231	145.9	19.67	41.01	12.9	3.15	2107
2010	6.76	6.35	1721	7.18	68574	68574	18667	1495	551.2	233.2	147.7	19.19	45.33	13.2	2.54	1742
2011	6.78	6.3	1414	5.78	70006	70006	18195	1416	552.2	235	149.3	18.82	48.92	13.43	2.05	1433
2012	6.47	5.95	1176	4.03	71199	71199	17844	1356	553	236.6	150.5	18.52	51.99	13.63	1.68	1193
2013	6.39	6.08	993.2	3.9	72209	72209	17601	1312	553.6	238	151.6	18.27	54.54	13.8	1.4	1010
2014	6.62	6.05	850.9	3.48	73076	73076	17447	1278	554.1	239.2	152.5	18.07	56.7	13.95	1.19	867.1
2015	6.29	5.68	747.8	3.85	73840	73840	17354	1253	554.5	240.3	153.3	17.89	58.42	14.07	1.03	763.7
2016	6.43	6.03	667	3.51	74523	74523	17308	1234	554.8	241.3	154	17.74	59.88	14.19	0.92	683
2017	6.66	5.96	610.6	3.92	75150	75150	17296	1221	555	242.3	154.7	17.6	61.09	14.29	0.83	627.1
2018	6.37	5.7	561.1	4.33	75727	75727	17310	1214	555.1	243.3	155.3	17.47	61.88	14.39	0.76	577.5
2019	6.36	5.71	530	4.61	76274	76274	17354	1209	555.1	244.3	155.8	17.35	62.63	14.48	0.72	546.7
2020	6.67	6.08	505.4	5.15	76797	76797	17418	1206	555	245.3	156.4	17.24	63.25	14.57	0.68	523.3
2021	6.46	6.26	492.8	4.93	77308	77308	17496	1205	554.8	246.3	156.9	17.13	63.67	14.65	0.66	510.5
2022	6.58	6.29	482.2	5.05	77808	77808	17590	1205	554.6	247.3	157.4	17.02	64.07	14.74	0.64	500.2
2023	6.25	5.75	479	5.2	78304	78304	17695	1208	554.3	248.4	157.9	16.92	64.38	14.82	0.63	496.2
2024	6.29	5.69	478.2	5.7	78800	78800	17807	1212	553.9	249.5	158.4	16.82	64.56	14.9	0.63	495.8
2025	6.51	5.67	480.7	6.13	79299	79299	17930	1216	553.4	250.6	158.9	16.72	64.75	14.98	0.63	499
2026	6.34	5.89	483.5	6.13	79801	79801	18057	1220	552.8	251.7	159.4	16.61	64.92	15.07	0.63	501.8
2027	6.08	5.58	492.9	6.01	80311	80311	18185	1225	552.2	252.9	159.9	16.51	65.06	15.15	0.64	510.6
2028	6.31	5.79	497.2	5.75	80826	80826	18321	1233	551.5	254.1	160.4	16.41	65.03	15.24	0.64	515.1
2029	6.34	5.54	508.7	5.74	81353	81353	18463	1240	550.7	255.3	160.9	16.31	65.12	15.33	0.65	526.3
2030	6.22	5.76	519.6	5.6	81890	81890	18609	1246	549.8	256.6	161.5	16.21	65.22	15.42	0.66	537.2

Fuente: Resultados generados por el archivo av.log de la calibración ZOET\_FLCP

Tasa de crecimiento de los cuatro escenarios

	ZOET_flcp	ZOET	FLCP	Srestriccion
2008	3.88	3.93	4.88	4.85
2009	3.15	3.2	3.91	3.88
2010	2.54	2.58	3.06	3.04
2011	2.05	2.1	2.38	2.36
2012	1.68	1.72	1.86	1.84
2013	1.4	1.44	1.48	1.47
2014	1.19	1.25	1.21	1.19
2015	1.03	1.1	1.04	1.01
2016	0.92	0.99	0.91	0.87
2017	0.83	0.9	0.83	0.79
2018	0.76	0.84	0.77	0.73
2019	0.72	0.8	0.74	0.69
2020	0.68	0.77	0.72	0.67
2021	0.66	0.75	0.71	0.66
2022	0.64	0.74	0.72	0.66
2023	0.63	0.73	0.73	0.67
2024	0.63	0.73	0.75	0.68
2025	0.63	0.74	0.76	0.69
2026	0.63	0.74	0.78	0.71
2027	0.64	0.75	0.8	0.72
2028	0.64	0.76	0.82	0.74
2029	0.65	0.77	0.84	0.76
2030	0.66	0.78	0.87	0.78

Fuente: De los datos generados de los archivos de simulación del crecimiento urbano

El autor es Ingeniero en Computación por la Universidad Autónoma de Baja California. Y ha colaborado en diversos proyectos como "Estudio Integral de restructuración de transporte publico en Tijuana, Financiado por Instituto Municipal de Planeación y en colaboración por Logística Informática y Transporte S.A de C.V." Y "Zonificación y ordenamiento ecológico y territorial del municipio de Ciudad Juárez Financiado por el Gobierno de Ciudad Juárez y Colegio de la Frontera Norte.". Egresado de la Maestría en Economía Aplicada de El Colegio de la Frontera Norte.

Correo electrónico: [bogart@engineer.com](mailto:bogart@engineer.com)

*© Todos los derechos reservados. Se autorizan la reproducción y difusión total y parcial por cualquier medio, indicando la fuente.*

Forma de citar:

Márquez Lobato, B. Márquez (2008). Análisis y Simulación del crecimiento urbano utilizando sistemas de información geográficos: Ciudad Juárez, Chihuahua. Tesis de Maestro en Economía Aplicada. El Colegio de la Frontera Norte, A.C. México.