



**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN GEOGRAFÍA Y GEOMÁTICA  
“ING. JORGE L. TAMAYO” A.C.  
CentroGeo**

**Centro Público de Investigación CONACYT**

**EL MODELO GRAVITACIONAL COMO MEDIDA DEL ACCESO ALIMENTARIO:  
UNA PROPUESTA PARA MÉXICO.**

**TESIS**

Que para obtener el grado de:  
Maestro en Geomática

Presenta  
Ing. Pavel Ernesto Popoca Cruz

Supervisora Principal:  
Dra. Margarita Parás Fernández

Co-supervisora Principal:  
Dra. Alejandra Aurelia López Caloca

Comité Supervisor:  
Dr. Jorge Montejano Escamilla  
Dra. Claudia Tello de la Torre

México, D.F.; diciembre de 2014

© CentroGeo. Derechos reservados. El autor otorga a CentroGeo el permiso de reproducir y distribuir copias de esta tesis en su totalidad o en partes.

## RESUMEN

En México 19.4% y 24.9% de la población padecen pobreza alimentaria y carencia de acceso a la alimentación, respectivamente, haciéndose patente la necesidad de efectuar estudios que atiendan este problema. En este trabajo, el acceso alimentario se considera como un caso específico de justicia espacial, ya que, con una adecuada distribución de la oferta, se busca compensar las diferencias en las facultades y capacidades de los individuos de distintos estratos socio-económicos y geográficos para satisfacer sus necesidades alimentarias. El grado de accesibilidad alimentaria suele determinarse mediante los modelos de oportunidad acumulada (OA) y distancia mínima (DM), que si bien han sido ampliamente utilizados en el tema, presentan ciertas debilidades que buscan superarse con el modelo gravitacional, análogo a su homónimo en Física.

La intención de esta tesis fue plantear y diseñar una metodología centrada en la utilización del modelo gravitacional para obtener un índice de acceso alimentario potencial (IAA) aplicable al vasto mosaico de escenarios presentes en la realidad nacional, puesto que, hasta la última revisión bibliográfica, no se habían identificado trabajos de naturaleza semejante realizados en México.

Con este fin, se efectuó una revisión del estado del arte en la determinación del acceso alimentario para sustentar la propuesta metodológica. Paralelamente se calibró el modelo gravitacional para llegar a una versión final que fue utilizada como IAA y se diseñaron los algoritmos para aplicar simultáneamente este IAA y las medidas OA y DM como modelos de referencia para contrastar el comportamiento del primero en dos regiones de prueba y en el área principal de interés, conformada por 5 municipios del estado de Puebla.

Gracias a la ejecución del IAA fue posible verificar su similitud con los dos modelos de referencia, así como su mayor capacidad para abstraer los aspectos físicos y económicos del entorno alimentario en una sola medida. Sin embargo, también se hicieron patentes diversas dificultades técnicas en la utilización del IAA como medida del acceso alimentario y las fuertes carencias de datos que deben superarse para favorecer la determinación de la accesibilidad alimentaria a nivel local en el contexto nacional.

Esta página se dejó en blanco intencionalmente.

## DEDICATORIA

Por tu amor, por tu paciencia, por tu dedicación,  
por compartir tu vida conmigo y crecer juntos, aprendiendo uno del otro a cada paso.

Por la excepcional persona que eres,  
y por dejarme ser quien la atestigua día a día y en primera fila.

A ti, Viri.

Esta página se dejó en blanco intencionalmente.

## RECONOCIMIENTOS

A mis asesoras: la doctora **Margarita Parás Fernández** y la doctora **Alejandra López Caloca**, por su constante apoyo, por su guía y su consejo, por el regalo de un poco de su experiencia y entusiasmo, así como por todo el tiempo que dedicaron para supervisar la realización de esta tesis.

A los miembros del Comité Supervisor: el doctor **Jorge Montejano Escamilla** y la doctora **Claudia Tello de la Torre**, por su apoyo, su tiempo, y su orientación y consejo en los temas que son su especialidad, de los que aprendí bastante y que significaron un aporte clave para este trabajo.

A **mis compañeros**, en especial a Julio y a Citlalli, por todas esas gratas y sustanciosas pláticas que también nutrieron este trabajo. Asimismo, al maestro **Pablo López** por la discusión que sostuvimos sobre el comportamiento de mis datos.

A **Martha Juárez**, responsable de la biblioteca de CentroGeo, por su apoyo para obtener artículos y libros que son referencias fundamentales de esta Tesis.

A **todo el personal de CentroGeo**, ya que todos realizan funciones necesarias para que la institución pueda ofrecer estudios de posgrado.

A **mis hermanos, mi familia y amigos**, por su constante e incondicional apoyo.

Por último, al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología**, y a los mexicanos responsables que pagan impuestos, por la beca de manutención que me fue proporcionada y que me permitió dedicarme a realizar esta Tesis. Espero que los aportes y la calidad de ésta sean retribución suficiente.

Esta página se dejó en blanco intencionalmente.

# ÍNDICE GENERAL

<i>LISTA DE TABLAS</i>	<i>ix</i>
<i>LISTA DE FIGURAS</i>	<i>x</i>
<i>INTRODUCCIÓN</i>	<i>1</i>
<b>1</b> <i>SEGURIDAD Y ACCESO ALIMENTARIOS</i>	<i>4</i>
1.1 Facultades, Capacidades y Equidad Espacial	6
1.2 La Seguridad Alimentaria en México	7
<b>2</b> <i>MODELOS DE ACCESIBILIDAD ESPACIAL</i>	<i>9</i>
2.1 El Modelo Gravitacional	10
<b>3</b> <i>MEDICIÓN DEL ACCESO ALIMENTARIO</i>	<i>13</i>
3.1 El Acceso Físico	13
3.2 El Acceso Económico	16
3.3 El Acceso Cultural	16
<b>4</b> <i>PROPUESTA PARA LA MEDICIÓN DEL ACCESO ALIMENTARIO</i>	<i>18</i>
4.1 Antecedentes	18
4.2 Planteamiento del Problema	21
4.3 Hipótesis	23
4.4 Justificación	23
4.5 Objetivo General	24
4.6 Objetivos Particulares	24
<b>5</b> <i>METODOLOGÍA</i>	<i>25</i>
5.1 Elección del Área de Estudio Partiendo de Índices de Pobreza	25
5.2 Elección de Una Canasta Básica de Referencia	26
5.3 Elección de los Puntos de Venta a Considerar	27
5.4 Uso de Un Indicador de Precios	28

5.5	Modo de Desplazamiento Considerado	29
5.6	El Índice de Acceso Alimentario Propuesto	31
5.7	Los Modelos de Referencia	31
<b>6</b>	<b><i>PRUEBAS METODOLÓGICAS</i></b>	<b>33</b>
6.1	Primera Región de Prueba: Corredor Juárez-Condesa	33
6.2	Segunda Región de Prueba: la Ciudad de Tehuacán	37
6.3	Método de Comparación	44
6.4	El Caso de Estudio: la Región de Tehuacán	45
<b>7</b>	<b><i>ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS</i></b>	<b>48</b>
7.1	El Comportamiento General del Índice de Acceso Alimentario	48
7.2	El Indicador de Precios	55
7.3	Retomando el Índice de Acceso Alimentario	58
7.3.1	La ciudad de Tehuacán	58
7.3.2	La región de Tehuacán	68
<b>8</b>	<b><i>CONCLUSIONES</i></b>	<b>81</b>
8.1	Perspectivas	83
	<b><i>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i></b>	<b>85</b>

## LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 6.1. Canastas básicas alimentarias del CONEVAL.</i>	26
<i>Tabla 6.2. Actividades del DENUJE que se considerarán como puntos de venta de alimentos.</i>	27
<i>Tabla 6.3. Velocidades en automóvil asignadas al tipo de vialidad.</i>	29
<i>Tabla 6.4. Datos y Software necesarios.</i>	30
<i>Tabla 7.1. Rangos para la simulación de valores locales de la CBA derivados de los precios promedio del INPC.</i>	42
<i>Tabla 7.2. Intervalos para la simulación de valores locales de la CBA por tamaño del establecimiento.</i>	42
<i>Tabla 7.3. Parámetros probados en el diseño del IAA.</i>	43
<i>Tabla 7.4. Ejemplificación del método de comparación espacial entre los tres modelos.</i>	44
<i>Tabla 7.5. Selección de municipios para la determinación del acceso alimentario.</i>	45
<i>Tabla 7.6. Unidades geospaciales antes y después de aplicar el filtro socioeconómico.</i>	46
<i>Tabla 8.1. Pruebas de ajuste del IAA y sus rangos de clasificación estimados.</i>	49
<i>Tabla 8.2. Número de coincidencias entre los resultados de los tres modelos de interacción espacial. Desplazamiento a pie, total de 2405 manzanas.</i>	65
<i>Tabla 8.3. Número de coincidencias entre los resultados de los tres modelos de interacción espacial. Desplazamiento en auto, total de 2405 manzanas.</i>	66
<i>Tabla 8.4. Número de coincidencias entre los resultados de los tres modelos de interacción espacial. Desplazamiento a pie, total de 3092 manzanas sin aplicar el filtro socioeconómico.</i>	67
<i>Tabla 8.5. Número de coincidencias entre los resultados de los tres modelos de interacción espacial. Desplazamiento en auto, total de 3092 manzanas sin aplicar el filtro socioeconómico.</i>	67
<i>Tabla 8.6. Número de coincidencias entre los resultados de los tres modelos de interacción espacial. Desplazamiento a pie, total de 212 localidades rurales.</i>	76
<i>Tabla 8.7. Número de coincidencias entre los resultados de los tres modelos de interacción espacial. Desplazamiento en auto, total de 212 localidades rurales.</i>	76
<i>Tabla 8.8. Número de coincidencias entre los resultados de los tres modelos de interacción espacial. Desplazamiento a pie, total de 2952 manzanas urbanas.</i>	76
<i>Tabla 8.9. Número de coincidencias entre los resultados de los tres modelos de interacción espacial. Desplazamiento en auto, total de 2952 manzanas urbanas.</i>	76
<i>Tabla 8.10. Comparación entre los resultados del IAA para la ciudad de Tehuacán y para la región completa.</i>	79

## LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1.1. Los pilares de la seguridad alimentaria. Fuente: elaboración propia.</i>	5
<i>Figura 5.1. Patrones de distribución en el abastecimiento de alimentos. Fuente: Torres Torres, 2011.</i>	20
<i>Figura 5.2. Patrón mixto de abastecimiento alimentario: fase de economía abierta en México. Fuente: Torres Torres, 2011.</i>	21
<i>Figura 5.3. Histórico del porcentaje de personas en pobreza alimentaria. Fuente: CONEVAL (2010: 22), actualizado con datos de CONEVAL (2012: 25).</i>	22
<i>Figura 7.1. Colonias del Distrito Federal usadas para un ejercicio preliminar. Fuente: elaboración propia.</i>	34
<i>Figura 7.2. Corredor Juárez-Condesa: comparación de los tres criterios para identificación de UMC. Fuente: elaboración propia.</i>	35
<i>Figura 7.3. Determinación del acceso alimentario por área de cobertura. Fuente: elaboración propia.</i>	36
<i>Figura 7.4. Determinación del acceso alimentario por cálculo del área de cobertura en el corredor Juárez-Condesa. Fuente: elaboración propia.</i>	37
<i>Figura 7.5. Ciudad de Tehuacán. Fuente: elaboración propia.</i>	38
<i>Figura 7.6. Puntos de venta en la ciudad de Tehuacán. Fuente: elaboración propia.</i>	39
<i>Figura 7.7. IAA en el corredor Juárez-Condesa: a) usando el condicional <math>t_{ij} \leq \delta</math>, y b) sin el condicional <math>t_{ij} \leq \delta</math>; desplazamiento a pie. Fuente: elaboración propia.</i>	40
<i>Figura 7.8. Selección de municipios para la determinación del acceso alimentario. Fuente: elaboración propia.</i>	45
<i>Figura 7.9. Edición de las vialidades en la zona de estudio. Fuente: elaboración propia.</i>	47
<i>Figura 8.1. Comparativa entre los tres modelos: a) distancia mínima, b) oportunidad acumulada, y c) prueba iaa1. Ciudad de Tehuacán, desplazamiento a pie. Fuente: elaboración propia.</i>	50
<i>Figura 8.2. Resultados de la prueba iaa7. Ciudad de Tehuacán, desplazamiento a pie. Fuente: elaboración propia.</i>	51
<i>Figura 8.3. Comparativa entre los tres modelos: a) distancia mínima, b) oportunidad acumulada, y c) prueba iaa2. Ciudad de Tehuacán, desplazamiento a pie. Fuente: elaboración propia.</i>	52
<i>Figura 8.4. Corredor-Juárez Condesa, prueba iaa2, desplazamiento a pie, <math>k=10^7</math>. Cuatro simulaciones distintas del valor local de compra demuestran la sensibilidad del IAA a los cambios locales. Fuente: elaboración propia.</i>	53
<i>Figura 8.5. Ciudad de Tehuacán, prueba iaa2, desplazamiento a pie, <math>k=10^7</math>. Cuatro simulaciones distintas del valor local de compra demuestran la sensibilidad del IAA a los cambios locales. Fuente: elaboración propia.</i>	54
<i>Figura 8.6. Corredor Juárez-Condesa: efecto del <math>IP=0</math> en el IAA. Prueba iaa2, <math>k=10^7</math>. Fuente: elaboración propia.</i>	55
<i>Figura 8.7. Presencia de un falso desierto (delineado en rojo) en la ciudad de Tehuacán. Prueba iaa2 con <math>k=10^7</math>, desplazamiento a pie. Fuente: elaboración propia.</i>	56
<i>Figura 8.8. Identificación de los desiertos obligados: Prueba iaa2 con <math>k=10^7</math> e <math>IP=1</math> en todos los comercios. Ciudad de Tehuacán, desplazamiento a pie. Fuente: elaboración propia.</i>	57
<i>Figura 8.9. Ciudad de Tehuacán: accesibilidad alimentaria medida por distancia mínima. Desplazamiento a pie. Fuente: elaboración propia.</i>	59
<i>Figura 8.10. Ciudad de Tehuacán: accesibilidad alimentaria medida por oportunidad acumulada. Desplazamiento a pie. Fuente: elaboración propia.</i>	60

<i>Figura 8.11. Ciudad de Tehuacán: índice de accesibilidad alimentaria. Desplazamiento a pie. Fuente: elaboración propia.</i>	61
<i>Figura 8.12. Ciudad de Tehuacán: accesibilidad alimentaria medida por distancia mínima. Desplazamiento en auto. Fuente: elaboración propia.</i>	62
<i>Figura 8.13. Ciudad de Tehuacán: accesibilidad alimentaria medida por oportunidad acumulada. Desplazamiento en automóvil. Fuente: elaboración propia.</i>	63
<i>Figura 8.14. Ciudad de Tehuacán: índice de accesibilidad alimentaria. Desplazamiento en automóvil. Fuente: elaboración propia.</i>	64
<i>Figura 8.15. Región de Tehuacán: manzanas urbanas y localidades rurales de interés. Fuente: elaboración propia.</i>	68
<i>Figura 8.16. Región de Tehuacán: ubicación de los puntos de venta considerados en el análisis. Fuente: elaboración propia.</i>	69
<i>Figura 8.17. Región de Tehuacán: accesibilidad alimentaria medida por distancia mínima. Desplazamiento a pie. Fuente: elaboración propia.</i>	70
<i>Figura 8.18. Región de Tehuacán: accesibilidad alimentaria medida por oportunidad acumulada. Desplazamiento a pie. Fuente: elaboración propia.</i>	71
<i>Figura 8.19. Región de Tehuacán: índice de accesibilidad alimentaria. Desplazamiento a pie. Fuente: elaboración propia.</i>	72
<i>Figura 8.20. Región de Tehuacán: accesibilidad alimentaria medida por distancia mínima. Desplazamiento en automóvil. Fuente: elaboración propia.</i>	73
<i>Figura 8.21. Región de Tehuacán: accesibilidad alimentaria medida por oportunidad acumulada. Desplazamiento en automóvil. Fuente: elaboración propia.</i>	74
<i>Figura 8.22. Región de Tehuacán: índice accesibilidad alimentaria. Desplazamiento en automóvil. Fuente: elaboración propia.</i>	75
<i>Figura 8.23. Ciudad de Tehuacán (2): índice de accesibilidad alimentaria. Desplazamiento a pie. Fuente: elaboración propia.</i>	78
<i>Figura 8.24. Ciudad de Tehuacán (2): índice de accesibilidad alimentaria. Desplazamiento en automóvil. Fuente: elaboración propia.</i>	79

Esta página se dejó en blanco intencionalmente.

# INTRODUCCIÓN

El derecho social a la alimentación es una garantía reconocida en la legislación mexicana, y la Organización Mundial para la Agricultura y la Alimentación refiere que la seguridad alimentaria ocurre cuando “todas las personas tienen acceso físico, social y económico permanente a alimentos seguros, nutritivos y en cantidad suficiente para satisfacer sus requerimientos nutricionales y preferencias alimentarias, y así poder llevar una vida activa y saludable” (FAO, 2014).

El acceso alimentario, clave para la definición de seguridad alimentaria y de interés central para este trabajo, puede desdoblarse en tres dimensiones: acceso físico, económico e informacional. El primero de ellos implica la ubicación de los puntos de adquisición de alimentos, la existencia de barreras espaciales, como cruces viales grandes o el relieve accidentado, la disponibilidad de transporte, las condiciones de las vías de comunicación y las propias limitaciones físicas de las personas. Por su parte, el acceso económico comprende los ingresos de las personas y el precio de los productos, y otros factores como la existencia y el costo del transporte público o la posesión de un vehículo para realizar el traslado. El acceso informacional o cultural es el más complejo ya que engloba aspectos como educación nutricional, preferencias por ciertos alimentos, conocimiento y habilidades para cocinar, costumbres, falta de tiempo, y limitaciones sociales de las personas, siendo ésta la dimensión del acceso alimentario que depende en mayor medida de factores ajenos al sistema alimentario convencional (McEntee y Agyeman, 2010; Shaw, 2006).

Desde una perspectiva espacial, y valiéndose de los enfoques de facultades y de capacidades desarrollados por Amartya Sen (Sen, 1981, 1999), es posible considerar al acceso alimentario como un caso específico de equidad espacial, ya que mediante una adecuada distribución de la oferta, se busca compensar las diferencias en las facultades y capacidades de los individuos de distintos estratos socioeconómicos y geográficos para satisfacer sus necesidades alimentarias (Salado García, 2012: 64).

Típicamente, el grado de accesibilidad alimentaria se ha determinado mediante dos modelos de interacción espacial: el modelo de oportunidad acumulada y el de distancia mínima (Apparicio *et al.*, 2007; Van Meter *et al.*, 2011), que si bien han sido ampliamente utilizados en los 15 años de estudio del

tema, presentan ciertas debilidades en su enfoque esencialmente espacial y la necesidad de efectuar cálculos diferidos para determinar el acceso económico.

De esta manera se configuran los aspectos que hacen de la medición del acceso alimentario un tema de estudio idóneo para la Geomática: por una parte, dada la importancia del componente espacial y de las vías de comunicación en al menos dos de las tres dimensiones del acceso, es indispensable valerse de técnicas propias del Análisis espacial y de Sistemas de Información Geográfica, por otra, al tratarse de una problemática eminentemente social es idónea para seguir construyendo puentes entre ciencia exacta y ciencia social, poniendo la Geomática al servicio de la población.

La intención del presente trabajo fue plantear y diseñar una metodología centrada en la utilización del modelo gravitacional, otro modelo de interacción espacial, derivado del modelo físico de atracción gravitacional, para obtener un índice de acceso alimentario potencial (IAA) aplicable al vasto mosaico de escenarios presentes en la realidad nacional, puesto que, hasta la última revisión bibliográfica, no se habían identificado trabajos de naturaleza semejante realizados en México.

Para este fin, se construyó una metodología completa para la determinación del acceso alimentario en México tomando como referencia numerosos artículos científicos que abordan el tema, y se hicieron las adecuaciones para suplir las carencias de información identificadas en el proceso, mientras que el IAA fue calibrado y sometido a pruebas para identificar la versión que mejor operara con los datos disponibles. Los resultados obtenidos se confrontaron con los provenientes de los modelos de distancia mínima y oportunidad acumulada, ya que, al ser éstos dos ampliamente empleados y aceptados en la medición del acceso alimentario, proporcionan una referencia del comportamiento que el IAA debería tener.

Para realizar pruebas de ajuste en la metodología, se eligió de forma arbitraria un primera región de prueba conformada por 6 colonias contiguas en el Distrito Federal, y una segunda región que comprende la ciudad de Tehuacán, Puebla. Los resultados correspondientes a estas dos etapas de calibración se revisaron junto con los resultados del ejercicio principal, para el cual se definió el área de estudio mediante un criterio de selección que considera los resultados del *Informe de Pobreza en México 2010* publicado por el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL, 2012), y que hace elegibles a municipios que posean un porcentaje mayor a la media nacional (19.4%) de población con pobreza alimentaria, así como un porcentaje mayor a la media nacional (24.9%) de población que carece de acceso a la alimentación. De esta forma, el ejercicio principal fue efectuado en 5 municipios del estado de Puebla.

El enfoque de este trabajo fue primordialmente metodológico y espacial, al buscar probar un modelo de interacción espacial, por lo que se limitó a evaluar el comportamiento de dicho modelo respecto a la configuración espacial de la zona de estudio, y sólo de manera simulada introdujo el rasgo económico como atractor del modelo, ya que aquél es un componente inherente de éste y que fácilmente puede ser remplazado con valores reales, siempre y cuando se tengan debidamente documentados, condición que, a la fecha de terminación de este trabajo, no se cumplió.

Las principales conclusiones de esta Tesis señalan que el IAA es apto como medida de la accesibilidad alimentaria y puede sustituir con ventajas considerables a las medidas usadas normalmente, así como la notable utilidad que el IAA y los resultados que genera pueden tener en la toma de decisiones y en la conducción de políticas de interés social. Asimismo, se destacan las fallas identificadas en el proceso, así como las necesidades de datos viales y económicos de mayor calidad y producidos para el propósito de la medición del acceso alimentario.

El capítulo 1, valiéndose de la transdisciplina que es natural en la Geomática, parte de conceptos de Seguridad alimentaria, Economía y Equidad espacial, y pasa por una revisión de la seguridad alimentaria en el contexto nacional, para aterrizar en el capítulo 2 dentro del campo del Análisis espacial y ahondar en la familia de medidas de accesibilidad e interacción espacial, detallando el modelo gravitacional.

El capítulo 3 hace una breve revisión del estado de la cuestión para la medición del acceso alimentario en cada una de sus tres dimensiones.

En el capítulo 4 constituye el núcleo de esta Tesis, dibujando la propuesta para la medición del acceso alimentario que se desarrolla en los capítulos subsecuentes.

A lo largo del capítulo 5 se detalla la metodología elaborada para la medición del acceso alimentario, para seguir, en el capítulo 6, con las pruebas metodológicas efectuadas para el diseño de los algoritmos empleados y las adecuaciones hechas al modelo gravitacional, y terminar con su aplicación en la zona de estudio elegida. En el capítulo 7, se analizan y discuten los resultados obtenidos, haciendo énfasis en el buen ajuste de los valores obtenidos para el IAA respecto a las otras dos medidas de accesibilidad y a las distintas categorías de acceso alimentario, en la utilidad del indicador de precios construido, así como en las ventajas de la utilización del modelo gravitacional para medir el acceso a los alimentos, validando así la hipótesis que sustenta esta tesis.

Por último, el capítulo 8 está dedicado a las conclusiones, comentarios y recomendaciones que derivan del trabajo realizado, así como a plantear líneas de investigación que pueden darle continuidad a la tesis expuesta.

# 1 SEGURIDAD Y ACCESO ALIMENTARIOS

Tanto en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en la Ley General de Desarrollo Social y en la Ley General de Salud se reconoce al derecho social a la alimentación como “el derecho de todos los individuos a disfrutar del acceso físico y económico a una alimentación adecuada y los medios para obtenerla” (CONEVAL, 2010: 8).

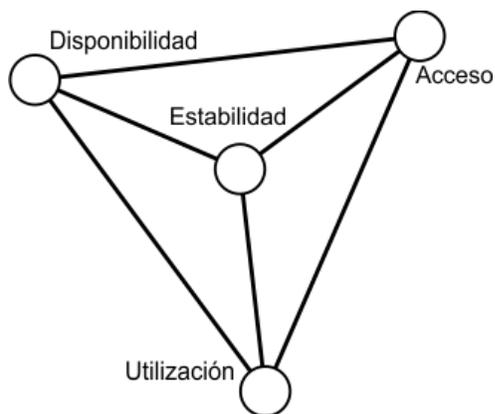
La Organización Mundial para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2014), FAO por sus siglas en inglés, refiere que

La seguridad alimentaria de una nación se da cuando todas las personas tienen acceso físico, social y económico permanente a alimentos seguros, nutritivos y en cantidad suficiente para satisfacer sus requerimientos nutricionales y preferencias alimentarias, y así poder llevar una vida activa y saludable.

Típicamente, la seguridad alimentaria se sustenta en cuatro pilares: la disponibilidad, el acceso, la utilización y la estabilidad de los alimentos (HPLE, 2012). Cada uno de estos aspectos puede explicarse de la siguiente manera:

- Disponibilidad es el lado del abastecimiento en la seguridad alimentaria, determinada por la producción, las reservas, la distribución y el comercio;
- El acceso está dado por qué tan bien la gente puede convertir sus activos financieros, políticos y demás, en comida, ya sea producida o comprada, y es influenciado principalmente por la asequibilidad de los alimentos (los ingresos de cada persona y los precios), su posicionamiento en el mercado, y las preferencias de los consumidores;
- La utilización se centra en cómo el cuerpo aprovecha los alimentos, y se ve afectada por su valor nutrimental, las prácticas de preparación y consumo, la variedad en la dieta, las condiciones fisiológicas del individuo y la inocuidad de los alimentos;
- La estabilidad introduce la dimensión temporal, y se refiere a las variaciones o irregularidades de los otros tres aspectos: desabasto de alimentos, crisis económicas (públicas o individuales) y sanitarias, enfermedades, etcétera (Ericksen, 2008; HPLE, 2012).

Para Polly Ericksen (2008) el grado de seguridad alimentaria de cualquier grupo humano es el principal resultado de su sistema alimentario. La seguridad alimentaria, continúa el autor, es un tema complejo, y el análisis holístico y exhaustivo de los sistemas alimentarios revelará que además de las actividades de producción, procesamiento, distribución y consumo de alimentos, una multitud de otros factores económicos, políticos, sociales y ambientales, así como las distintas interacciones entre todos ellos, afectan a los sistemas alimentarios y a la seguridad alimentaria.



**Figura 1.1. Los pilares de la seguridad alimentaria. Fuente: elaboración propia.**

El acceso alimentario, clave para la definición de seguridad alimentaria y de interés central para este trabajo, puede desdoblarse en tres dimensiones: física, económica e informacional (McEntee y Agyeman, 2010); o como Shaw (2006) propone, pueden considerarse tres factores que ocasionan problemas en el acceso: habilidad, recursos y actitud.

El acceso físico (habilidad) implica la ubicación de los puntos de adquisición de alimentos, la existencia de barreras espaciales, como cruces viales grandes o el relieve accidentado, la disponibilidad de transporte, las condiciones de las vías de comunicación o la ausencia de las mismas, y las propias limitaciones físicas de las personas. Por su parte, el acceso económico (recursos) comprende los ingresos de las personas y el precio de los productos, y otros factores no tan obvios como el costo del transporte público o la posesión de un vehículo particular para realizar el traslado. El acceso informacional o cultural (actitud) es el más complejo ya que engloba aspectos como educación nutricional, preferencias por ciertos alimentos, conocimiento y habilidades para cocinar, costumbres, falta de tiempo, y limitaciones sociales de las personas, siendo ésta la dimensión del acceso alimentario que depende en mayor medida de factores ajenos al sistema alimentario convencional (CONEVAL, 2010: 14; McEntee y Agyeman, 2010; Shaw, 2006).

El acceso alimentario se categoriza de forma sencilla mediante el empleo de metáforas, encontrando tres grados de accesibilidad:

- Desiertos alimentarios: áreas de exclusión relativa donde la gente experimenta barreras físicas y económicas para acceder a alimentos saludables (Whelan *et al.*, 2002).

- Espejismos alimentarios: áreas con acceso físico únicamente a comercios en los que el precio de los alimentos los hace inaccesibles económicamente (Breyer y Voss-Andreae, 2013), es decir, áreas con barreras económicas.
- Oasis alimentarios: áreas contrastantes con las dos anteriores, que gozan de acceso alimentario sin barreras de cualquier tipo.

## 1.1 Facultades, Capacidades y Equidad Espacial

Amartya Sen (1981) plantea un enfoque del hambre basado en relaciones de facultades, en el que una persona, a través de los medios legales existentes en su sociedad, puede obtener distintos conjuntos de bienes, incluida la comida, y a la suma de todos estos conjuntos de bienes Sen la denomina facultades. Las relaciones de facultades consisten en la transferencia de una modalidad a otra de las facultades de una persona, partiendo de su dotación, que es todo el conjunto de bienes y habilidades de que dispone inicialmente (tierra laborable, herramientas, su propia fuerza de trabajo, conocimientos o habilidades particulares) y que va a emplear para obtener otros conjuntos de bienes, lo que en una economía de mercado puede suceder mediante producción, intercambio, donativos, o la combinación de los tres, siendo el fin, en el caso de asegurar la alimentación, obtener un conjunto de bienes tal que contenga suficientes alimentos para garantizar su nutrición y salud.

La existencia de alimentos en el país, o en el mercado, no autoriza necesariamente a una persona para comerla. En este contexto, el hambre ocurre cuando, debido a algún fracaso en las relaciones de facultades, por ejemplo, una falla de la dotación (un pescador que pierde su bote), una falla de producción (un pescador que no logra atrapar suficientes peces), o una falla de intercambio (el dinero que un pescador adquiere de la venta del pescado no es suficiente para adquirir otros alimentos); entonces el individuo es incapaz de lograr una facultad alimentaria suficiente para satisfacer sus necesidades, dicho de forma más simple, el individuo no obtiene alimento suficiente (Nayak, 2000; Sen, 1981: 45-48). De esta manera Sen afirma que la seguridad alimentaria no sólo es asunto de la disponibilidad de alimentos, como tradicionalmente se había planteado, sino también de muchos otros factores, entre ellos el acceso económico, que afectan la manera en que una persona puede alcanzar su seguridad alimentaria (Ericksen, 2008).

En una obra posterior (Sen, 1999: 1-11), el mismo autor propone un enfoque de capacidades para evaluar el bienestar de una persona, según el cual, el propósito último que la Economía debe estudiar para determinar el grado de bienestar de una persona no deben ser sus bienes, o las utilidades que obtiene de éstos, sino sus capacidades para ser o hacer, es decir, el éxito que el individuo tiene al hacer funcionar esos bienes y esas utilidades para sí mismo y transformarlos en logros: las capacidades de una persona de convertir sus derechos en libertades. Consecuentemente, el conjunto de capacidades de que una persona dispone le confiere mayor o menor ventaja respecto a otras personas para elegir y alcanzar el estado de bienestar deseado, por ejemplo, para alimentarse adecuadamente. El valor de este enfoque de capacidades es que se puede emplear en combinación con las relaciones de facultades para rescatar la importancia de las opciones y las oportunidades que un individuo tiene para adquirir alimentos, ya sea

por su cercanía espacial a los alimentos (acceso físico), por la dotación de que dispone para producir, intercambiar o recibir transferencias de alimentos (Drèze y Sen, 1989: 20-25), esto es, las capacidades del individuo para garantizar su facultad alimentaria (acceso económico), o aún más allá, por las capacidades que su educación, su herencia cultural y su modo de vida le otorgan para elegir esos alimentos (acceso cultural).

Llegado este punto, es posible plantear el acceso alimentario como un caso específico de equidad espacial. Truelove (1993) define una distribución equitativa de los servicios como “una que promueve mayor igualdad entre los grupos de la sociedad: esto es, igualdad de oportunidades o igualdad de resultados”. (Salado García, 2012: 64) señalan, hablando de equipamientos urbanos, que “generalmente es admitido como justo que diferentes niveles de necesidades sean atendidos por una distribución desigual de recursos”. En el caso del acceso a los alimentos, lo que se busca es que las diferencias en las facultades y en las capacidades de distintas personas para satisfacer sus necesidades alimentarias se vean compensadas por la distribución de las oportunidades –los puntos de venta– para adquirir alimentos a precios razonables, obteniendo como resultado que todos los habitantes, indistintamente de la zona que habiten y de su estrato socioeconómico, gocen del mismo grado de accesibilidad alimentaria.

## **1.2 La Seguridad Alimentaria en México**

La mayoría de los estudios revisados que tienen lugar en el contexto nacional, si bien pueden presentar sus resultados en mapas, carecen en su mayoría de la integración del espacio como elemento axial de su metodología, enfocándose principalmente en el balance oferta-demanda de alimentos, y en el impacto de factores de mayor escala como el cambio climático, la economía mundial y la dinámica demográfica nacional (Castro, 2000; SAGARPA, 2011).

El libro *Seguridad alimentaria: seguridad nacional* (Torres Torres, 2003a) reúne en un solo volumen diversos trabajos que se centran en determinar el grado de seguridad alimentaria en el país y su importancia clave en la preservación de la seguridad nacional, aunque limitados por el tiempo mismo, ya que en 11 años desde su publicación han ocurrido avances notables en el estudio de la seguridad alimentaria y sus componentes. El capítulo 1 (Torres Torres, 2003b) define teóricamente a la seguridad alimentaria y la reconoce como un asunto de equidad social cuya dimensión principal es el acceso económico, más allá de la disponibilidad de alimentos; asimismo recorre brevemente las acciones tomadas a nivel nacional e internacional con el fin de asegurar la alimentación. El capítulo 5 (Gasca Zamora, 2003) busca en qué medida la pobreza explica la inseguridad alimentaria mediante el uso de indicadores regionales, ofreciendo un cuadro geográfico de la situación; y analiza los programas gubernamentales orientados al combate a la pobreza y su utilidad para incidir en la inseguridad alimentaria en términos de producción y acceso, siendo un referente obligado en los antecedentes de este trabajo. El capítulo 7 (Torres Torres, 2003c) evalúa a nivel estatal y regional la seguridad alimentaria en los años 1990, 1995 y 2000, identificando regiones por su distinto grado de seguridad alimentaria y observando la evolución temporal de cada una de ellas.

Un artículo más de Torres Torres (2011) reflexiona sobre la transformación en los sistemas de abasto y distribución de alimentos en el país, derivada principalmente de la apertura del mercado y del crecimiento de las metrópolis, y sobre su potencial efecto en la vulnerabilidad alimentaria nacional.

El *Informe de pobreza en México 2010* elaborado por el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social utiliza un concepto multidimensional de pobreza basado en diversos indicadores sociales y económicos en lugar de una sola medida de fundamento económico (CONEVAL, 2012: 13-14, 18), indicadores que fueron desarrollados y empleados por primera vez en 2008 por la misma Comisión en su *Informe de Pobreza Multidimensional en México*.

Uno de estos indicadores pioneros es la medición del acceso a la alimentación, basada en la Escala Mexicana de Seguridad Alimentaria (EMSA). Esta escala mide la seguridad y tres niveles de inseguridad alimentaria: leve, moderada y severa (CONEVAL, 2012: 107); y comprende un conjunto de preguntas centradas en la percepción de los individuos respecto a la cantidad y calidad de su dieta, aunque puede presentar fallas debido a un “sesgo de beneficio” que ocurre cuando los encuestados creen que pueden obtener algún beneficio derivado de las respuestas que den (Pérez, *et al.*, 2007, citado en CONEVAL, 2010: 25). La metodología seguida para la elaboración de la EMSA puede revisarse con detalle en *Dimensiones de la Seguridad Alimentaria: Evaluación Estratégica de Nutrición y Abasto* (CONEVAL, 2010: 24-26), publicación orientada a evaluar la política y programas federales con objetivos de alimentación o nutrición en sus beneficiarios, por lo que también presenta datos sobre la medición de la pobreza y vulnerabilidad alimentarias de la población.

Derivado del *Informe de pobreza en México 2010*, Mundo-Rosas *et al.* (2013) evalúan la proporción de hogares con inseguridad alimentaria, así como su distribución respecto a condiciones socioeconómicas y nutricionales, identificando una fuerte asociación entre inseguridad moderada y severa con hogares indígenas, rurales y de bajas condiciones de bienestar.

## 2 MODELOS DE ACCESIBILIDAD ESPACIAL

El concepto de accesibilidad ha sido ampliamente utilizado en disciplinas muy diversas en los últimos años. Sin embargo, no se ha hallado consenso en su definición (Salado García, 2012: 46). Dos definiciones que a criterio personal ilustran y encauzan el enfoque dado a la accesibilidad en este trabajo son la de la Administración Nacional de Caminos de Suecia (1998; citada en Makrí y Folkesson, 1999): “la simplicidad con la que las actividades en la sociedad pueden ser alcanzadas, incluyendo las necesidades de los ciudadanos, el comercio y la industria, y los servicios públicos”; y la expresada por Camagni (2005: 51): “accesibilidad significa superar la barrera impuesta por el espacio al movimiento de personas y cosas, y al intercambio de bienes, servicios e informaciones”.

Un rasgo fundamental en el estudio de la accesibilidad es el tipo de desagregación que se examina, y que puede ser locacional o individual (Salado García, 2012: 48), y si bien la segunda puede ser más impactante en cuanto a entender el comportamiento real de los individuos y los factores que lo influyen, es mucho más costosa técnica y operativamente, ya que requiere encuestar y levantar datos directamente con los residentes del área de estudio (Handy y Niemeier, 1997). Por su parte, la desagregación de área, que es la utilizada más ampliamente, puede ser tan realista como sea desagregada, pero se ve limitada por su incapacidad para examinar barreras espaciotemporales (Kwan, 1998; citado en Makrí y Folkesson, 1999), y por la posibilidad de incurrir en la falacia ecológica y en el problema de la unidad de área modificable.

Otro aspecto clave en las medidas de accesibilidad es la métrica empleada, que generalmente emplea distancia o tiempo, y se estima mediante distancia euclidiana o geodésica, distancia tipo Manhattan, distancia de red, medidas reales en campo, o por las distancias percibidas por la población de interés (Salado García, 2012: 61).

También es fundamental tomar en cuenta la interacción espacial entre los orígenes y los destinos que se van a considerar, pues finalmente los modelos de accesibilidad son modelos de interacción espacial (Salado García, 2012: 54). Para accesibilidad individual, los orígenes son los hogares y, en algunos casos, los centros de trabajo; mientras para accesibilidad locacional, se tratará de áreas donde se agregan

varios individuos, como manzanas o unidades censales, mientras que los destinos para ambos casos típicamente serán comercios y servicios privados o públicos, y son considerados como las oportunidades que tiene el individuo de satisfacer la necesidad en cuestión (Handy y Niemeier, 1997). La interacción entre ambos se modela partiendo de características deseables de los destinos: abundancia, tamaño, costo, capacidad para abastecer la demanda, preferencias de los usuarios/clientes, comodidad, e incluso la cercanía misma (Handy y Niemeier, 1997; Makrí y Folkesson, 1999).

Las medidas de accesibilidad e interacción locacional se comprenden en cuatro grupos:

- Medidas de distancia: son las más sencillas, contabilizan la distancia de un origen a distintos destinos. Dos tipos comunes son la distancia media y la distancia al destino más próximo, y pueden ir desde una simple distancia en línea recta hasta complejas medidas con distancia de red o fórmulas que involucren un valor de impedancia en el desplazamiento (Makrí y Folkesson, 1999).
- Medidas de oportunidad acumulada: son evaluaciones de la accesibilidad respecto al número o proporción de oportunidades accesibles dentro de cierta distancia o tiempo de viaje partiendo de un punto dado; estas oportunidades pueden ser el número de destinos, su capacidad, su oferta, u otras medidas derivadas, como la razón entre oferta y demanda o la desviación típica de las distancias (Handy y Niemeier, 1997; Makrí y Folkesson, 1999; Salado García, 2012: 52). Un aspecto importante de estas medidas es su sensibilidad al umbral de distancia o tiempo utilizado (Makrí y Folkesson, 1999).
- Medidas gravitacionales: parten de la analogía con la ley física de la gravitación universal. Ponderan el acceso a las oportunidades con una relación directa a la atracción de cada una e inversa a la distancia que las separa del origen. Puede ser relativa cuando se toma en cuenta sólo un destino o un conjunto definido de ellos, o absoluta cuando se considera la accesibilidad del origen hacia todos los destinos (Camagni, 2005: 79-80; Makrí y Folkesson, 1999; Salado García, 2012: 53-58).
- Medidas basadas en la utilidad: estas medidas se basan en la teoría de utilidad aleatoria, partiendo de la suposición de que las personas buscan maximizar su utilidad eligiendo una oportunidad particular con utilidad superior a las demás. Como utilidad se emplea un conjunto de atributos propios de cada destino, buscando valorar cada uno de la manera más apegada a como lo haría el individuo real (Handy y Niemeier, 1997; Salado García, 2012: 59).

## 2.1 El Modelo Gravitacional

La utilización de modelos de interacción para medir o determinar la accesibilidad espacial tiene su origen en la Economía espacial, y parten de la idea de que la demanda decae con la distancia (Salado García, 2012: 49).

El concepto de interacción espacial se centra principalmente en la movilidad, es decir, el flujo de bienes, personas e incluso información de un lugar a otro dentro de un área de interés (Camagni, 2005: 79;

Taylor, 1983: 3). Al evaluar datos de interacción entre un sitio y otro se observa que conforme la distancia entre ambos aumenta, la intensidad de su interacción disminuye; a este fenómeno se le conoce como decaimiento de la demanda con la distancia (Taylor, 1983: 6-7).

El efecto de decaimiento con la distancia, aunque bien conocido dentro de la Economía, ha sido previa y ampliamente utilizado en las Ciencias Sociales y, de hecho, el modelo gravitacional como analogía de la Ley de gravitación universal de Newton fue formalizado por primera vez por William J. Reilly en su libro *The Law of Retail Gravitation* de 1931, orientado a modelar el efecto de la distancia en las ventas; y posteriormente un considerable número de autores ha retomado su trabajo (Chasco Yrigoyen y Vicéns Otero, 1998).

El modelo gravitacional modificado posee dos formulaciones fundamentales análogas a sus referentes de la Física. El modelo de flujo, equivalente a la fuerza gravitacional entre dos masas, mide la intensidad de interacción  $T_{ab}$  entre dos puntos de interés  $P_a$  y  $P_b$  a lo largo de la distancia  $d_{ab}$  que los separa:

$$T_{ab} = k \frac{P_a^\alpha P_b^\beta}{d_{ab}^\gamma} \quad (2.1)$$

Donde  $k$  es una constante de proporcionalidad estimada económicamente,  $\alpha$  y  $\beta$  se asumen iguales a 1, y  $\gamma$  es la expresión de la impedancia o fricción que el espacio físico ejerce sobre el movimiento y varía en función del tipo de fenómeno estudiado, aunque suele suponerse igual a 1 o 2, estimarse económicamente, o definirse de manera exógena (Camagni, 2005: 81).

El segundo, el modelo de potencial de interacción, conocido dentro de la Física como de potencial gravitacional, puede definirse como de accesibilidad o interacción generalizada  $E_i$  entre un origen  $i$  y todos los destinos  $j$ , tomando en cuenta una función de impedancia que modela el efecto de la distancia  $d_{ij}$  entre el origen y cada destino  $j$ :

$$E_i = k \sum_j P_j \cdot f(d_{ij}) \quad (2.2)$$

Nuevamente,  $k$  es una constante de proporcionalidad, y el componente  $P_j$ , al que se le denomina atractor, modela la interacción entre orígenes y destinos, siendo generalmente una característica deseable de cada destino  $j$  (Camagni, 2005: 83; Handy y Niemeier, 1997; Taylor, 1983: 9-10).

El concepto de accesibilidad o interacción generalizada es entonces una característica de la posición relativa del origen al interior del espacio geográfico en el cual están localizados  $j$  destinos con los que el origen interactúa, de esta forma, el potencial de interacción permite explicar el conjunto de los flujos que nacen de ese origen (Camagni, 2005: 80-84).

En ambas formulaciones, tanto el ajuste multivariado y de una variable del modelo dejan ver que, con excepción de  $\gamma$ , las demás constantes pueden asumirse iguales a 1. La relevancia en la investigación del exponente  $\gamma$ , obedece a su interpretación como una medida directa de la tasa de descenso de la

interacción conforme la distancia aumenta: se trata propiamente del exponente de decaimiento con la distancia (Taylor, 1983: 13).

La función de impedancia  $f(d_{ij})$  puede asumir diversas formas, pero la exponencial negativa de la distancia ha probado ser la más cercana al comportamiento de viaje de individuos reales (Handy y Niemeier, 1997).

En el trabajo de Taylor (1983: 20-28), se puede revisar la calibración de distintas funciones de impedancia; mientras que en Camagni (2005: 84-90) se detalla la justificación teórica de los modelos de interacción espacial como analogía a los modelos gravitacionales en Física.

## 3 MEDICIÓN DEL ACCESO ALIMENTARIO

### 3.1 El Acceso Físico

Con el fin de determinar y cuantificar el acceso alimentario de una población en particular, la mayoría de los estudios se han enfocado a la determinación del acceso físico mediante la metáfora del desierto alimentario.

En 1996 el equipo del Proyecto de Bajos Ingresos del Departamento de Salud del Reino Unido definió por primera vez los desiertos alimentarios como áreas de exclusión relativa donde la gente experimenta barreras físicas y económicas para acceder a alimentos saludables (Shaw, 2006; Whelan *et al.*, 2002); y a pesar de que varios autores han ajustado la definición conforme a sus hallazgos, su esencia sigue siendo la misma (McEntee y Agyeman, 2010).

Partiendo de la naturaleza espacial del acceso alimentario, ha resultado clave la utilización de Sistemas de Información Geográfica y modelos de interacción espacial para su determinación, en particular gracias a la practicidad de estas herramientas para medir la accesibilidad espacial y procesar y generar información relevante (McEntee y Agyeman, 2010; Moreno Jiménez y Bosque Sendra, 2012: 30; Salado García, 2012: 61-63).

Donkin, Dowler y colaboradores (1999), en su trabajo pionero establecen una metodología con perspectiva espacial y económica que se basa en las siguientes preguntas:

- ¿Cuál es el área de estudio?
- ¿Qué alimentos son saludables y aceptables para la población local?
- ¿Qué alimentos pueden contribuir a la elección de una dieta saludable, cuáles están disponibles?
- ¿Dónde están disponibles esos alimentos: en qué tipo de comercios, dónde están estos comercios, y en qué horario están abiertos?
- ¿Cuánto cuestan los alimentos que están disponibles? ¿Hay variaciones en el precio?

Adicionalmente, para la interpretación del acceso físico es esencial definir la manera en que la gente se desplaza hasta los comercios y qué tan lejos tienen que viajar (Donkin *et al.*, 1999).

De esta manera, el esqueleto para la determinación del acceso alimentario queda como sigue:

- Elección del área de estudio a partir de índices de privación, pobreza o marginación (Apparicio *et al.*, 2007; Donkin *et al.*, 1999; Gordon *et al.*, 2011; Guy y David, 2004). En otros casos se eligen regiones administrativas o fisiográficas íntegras.
- Elección de una canasta alimentaria de referencia o una lista reducida de alimentos (Ball *et al.*, 2009; Breyer y Voss-Andreae, 2013; Donkin *et al.*, 2000; Guy y David, 2004). En ocasiones se confronta la disponibilidad de alimentos saludables y no saludables (usualmente comida rápida) (Gordon *et al.*, 2011; Pearce *et al.*, 2009).
- Estudio enfocado a supermercados (Apparicio *et al.*, 2007; Donkin *et al.*, 1999; Larsen y Gilliland, 2008); a supermercados y tiendas de abarrotes (Ball *et al.*, 2009; Choi y Suzuki, 2013; Eckert y Shetty, 2011; McEntee y Agyeman, 2010); o a supermercados, tiendas y restaurantes (Gordon *et al.*, 2011; Pearce *et al.*, 2007).
- Construcción de índices o indicadores de precios para categorizar los comercios considerados (Ball *et al.*, 2009; Donkin *et al.*, 2000; Guy y David, 2004).
- En cuanto al modo de desplazamiento, puede ser en automóvil, especialmente cuando se trata de zonas rurales (McEntee y Agyeman, 2010; Shaw, 2006); en transporte público (Choi y Suzuki, 2013; Larsen y Gilliland, 2008; Shaw, 2006); o a pie, en la mayoría de los casos urbanos.
- Por último, en el caso de estudios urbanos, la distancia aceptable (umbral) de viaje varía entre 500m y 1609m –una milla–; mientras que en estudios rurales varía entre 10 y 20 kilómetros (Dutko *et al.*, 2012; McEntee y Agyeman, 2010; Sharkey, 2009). Se puede emplear una métrica euclidiana o de red, siendo preferible la segunda, ya que es mucho más apegada al desplazamiento que una persona efectúa en la realidad.

Definidos estos elementos, se hacen operativos en diversas medidas que varían entre los distintos trabajos revisados. Todas ellas comienzan con la división del área de estudio en unidades espaciales más pequeñas, que típicamente son unidades censales (manzanas o grupos de manzanas) y en algunos casos pueden ser predios (McEntee y Agyeman, 2010), barrios (Ball *et al.*, 2009) o celdas de una retícula dispuesta a propósito del estudio (Shaw, 2006; Van Meter *et al.*, 2011).

La estrategia más sencilla y más empleada para determinar el acceso físico es el modelo de distancia mínima, que consiste en medir la distancia al punto de venta más cercano, con la que se pueden obtener medidas relativas de accesibilidad: qué unidades están por arriba o por debajo de la distancia umbral o de la distancia promedio al supermercado o tienda de abarrotes más cercano (Apparicio *et al.*, 2007; Eckert y Shetty, 2011; Gordon *et al.*, 2011; Larsen y Gilliland, 2008; McEntee y Agyeman, 2010; Pearce *et al.*, 2007).

Otra alternativa empleada de forma regular es la medida de oportunidad acumulada, que se realiza contando el número de comercios de alimentos que se encuentran a una distancia menor al umbral aceptable partiendo del centroide de cada unidad de estudio, y que finalmente permite identificar las

unidades que tienen acceso a uno o más puntos de venta de alimentos, o a ninguno (Apparicio *et al.*, 2007; Kawakami *et al.*, 2011; Shaw, 2006).

El equipo de Van Meter *et al.* (2011) formaliza estadísticamente las medidas previamente revisadas, integra un parámetro de aglomeración en su diseño, construye una simulación para medir la variación espacial de estas medidas, valida el modelo con pruebas de correlación espacial y lo prueba con datos reales.

El cálculo del área de cobertura, perteneciente a la familia de modelos de localización-asignación, también es una medida de accesibilidad empleada en la literatura revisada (Donkin *et al.*, 1999; Guy y David, 2004; Larsen y Gilliland, 2008). Ésta, a diferencia de las dos anteriores, consiste en hacer el cálculo desde los puntos de venta hacia las unidades espaciales de estudio para determinar el área inscrita en una distancia menor o igual a la distancia umbral. Si se emplea distancia de red, se forman polígonos, si se usa una distancia euclidiana, se trata de un búfer simple alrededor de los puntos de venta.

Una constante en varios de los trabajos revisados es el uso de pruebas estadísticas para validar los resultados y robustecer la metodología, entre las que destacan el uso de la correlación de Pearson (Apparicio *et al.*, 2007; Gordon *et al.*, 2011), del análisis de varianza (Ball *et al.*, 2009; Donkin *et al.*, 2000; Pearce *et al.*, 2007) y de distintos tipos de regresiones (Breyer y Voss-Andreae, 2013; Donkin *et al.*, 2000; Larsen y Gilliland, 2008; Pearce *et al.*, 2009).

Los estudios de Choi y Suzuki (2013), y el de Páez *et al.* (2010), se enfocan en el uso de datos de accesibilidad individual, tomados de encuestas de viaje realizadas en las zonas metropolitanas de Tokio y Montreal, respectivamente. Estos datos representan una buena aproximación al comportamiento real de los habitantes y proporcionan informacional adicional como edad, nivel socioeconómico, posesión de automóvil, origen, destino, modalidad y distancia del viaje. Páez *et al.* (2010) usan un modelo de expansión para derivar las distancias promedio de viaje para cada grupo socioeconómico y emplea estas distancias como umbral para una medida de distancia acumulada, que posteriormente compara entre un grupo de referencia y uno de bajo ingreso para generar un índice relativo de privación en la accesibilidad. Por su parte, Choi y Suzuki (2013), construyen un modelo de regresión logística ponderada geográficamente para estimar las distancias convenientes de viaje para cada grupo de población, y a partir de ese modelo elaboran una expresión para calcular la probabilidad de inconveniencia de cada grupo, indicando el porcentaje de habitantes dentro de cada unidad de estudio que es probable que experimente dificultad en su acceso físico a los alimentos.

Otros de los estudios más recientes y con nuevas propuestas contemplan el uso de datos de desplazamiento de las personas, ya sean generados mediante modelado (Widener *et al.*, 2013) o medidos con sistemas de geoposicionamiento satelital (Christian, 2012) para proyectar áreas de acceso alimentario adecuado considerando el hecho de que los individuos no necesariamente se abastecen sólo cerca de su domicilio; o incluyen la dimensión temporal (Chen y Clark, 2013; Widener *et al.*, 2013), omitida sistemáticamente en el resto de los estudios.

### 3.2 El Acceso Económico

La metodología empleada convencionalmente para este fin consiste en la definición de una línea de pobreza partiendo de una canasta mínima de alimentos que se seleccionan acorde a la población de interés, tomando en cuenta los requerimientos nutricionales mínimos para que un individuo lleve una vida adecuada, así como la variedad de alimentos disponibles y aceptables culturalmente para la comunidad; una vez definida la lista de alimentos y sus raciones individuales, ponderadas para un adulto sano y activo laboralmente, se construyen aproximaciones de costo para ambos géneros, para distintas edades y para familias de distintos número y tipo de integrantes (Ávila Curiel, 2012; Gasca Zamora, 2003: 151-155; Sen, 1981: 11-14, 22-30). En pocas palabras, el costo monetario de esta canasta básica alimentaria (CBA) define un umbral de pobreza, y la gente cuyo ingreso es inferior al valor de la CBA, carece de acceso económico y se encuentra en estado de pobreza alimentaria (CONEVAL, 2012: 9; Gasca Zamora, 2003: 152). El hecho de que el costo de esta CBA se emplee como línea mínima de pobreza, o de pobreza extrema, obvia la relación que en la Economía y la Política se atribuye a la pobreza y a la inseguridad alimentaria (Torres Torres, 2003a: 23, 35).

Una versión reducida de esta metodología y usada regularmente en los estudios revisados consiste en crear índices de precios para los productos listados en su canasta o lista de referencia, llevándolos a una base de precio unitario o por kilogramo de producto, y a partir de éstos índices comparan la accesibilidad económica de los distintos comercios considerados en el estudio (Ball *et al.*, 2009; Breyer y Voss-Andreae, 2013; Donkin *et al.*, 2000; Guy y David, 2004). En este caso es digno de mención el trabajo realizado por Breyer y Voss-Andreae (2013) pues complementan el concepto de desierto alimentario con el de espejismo alimentario, al que definen como áreas con acceso físico únicamente a comercios en los que el precio de los alimentos los hace inaccesibles económicamente.

### 3.3 El Acceso Cultural

En cuanto a la evaluación cualitativa del acceso alimentario, especialmente del acceso cultural, los estudios revisados se efectúan a nivel individual o comunitario, elaboran encuestas o forman grupos de enfoque con habitantes de la zona de estudio y se valen de la posterior revisión de las notas y transcripciones para entender los patrones de consumo y hábitos dietéticos, evaluar el acceso físico y económico a los alimentos, e identificar otros temas relevantes surgidos durante las discusiones o en las respuestas, siendo de especial relevancia ya que recaban datos sobre la impresión que las personas tienen de su entorno alimentario, las barreras percibidas, como pueden ser la red vial y los sistemas de transporte público, y los mecanismos o redes de apoyo como fuentes alternativas de alimentos: familiares y amigos, vecinos, comercio informal de alimentos; etcétera (Dubowitz *et al.*, 2007; Morton y Blanchard, 2007; Sharkey *et al.*, 2012; Smith y Miller, 2011; Smith y Morton, 2009; Valdez *et al.*, 2012; Whelan *et al.*, 2002).

Merece destacar el trabajo de Hillary Shaw (2006), en el que realiza entrevistas a consumidores, comerciantes y agencias relevantes de la zona de estudio, y las complementa con datos cualitativos

proporcionados por el servicio de salud oficial para caracterizar a la población local e identificar las barreras y problemas percibidos por ésta, así como los problemas señalados por los comerciantes para el abastecimiento de sus tiendas, e integra todo esto con la elaboración de mapas para cuantificar el acceso físico y elaborar una clasificación de los desiertos alimentarios, combinando el estudio cuantitativo y cualitativo del acceso alimentario.

Otro aspecto importante es la medición del acceso alimentario en áreas rurales, pues aunque éstas representan un tema recurrente en los estudios cualitativos, sobre la medición del acceso alimentario en zonas rurales utilizando modelos espaciales sólo se identificaron 4 artículos (Hubley, 2011; McEntee y Agyeman, 2010; Pearce *et al.*, 2007; White *et al.*, 2004). En adición a éstos, también hay que señalar el caso de los Estados Unidos, donde la determinación de desiertos alimentarios ha alcanzado una cobertura nacional, desagregada en unidades censales, considerando sólo supermercados y con distintos umbrales para la medición del acceso físico. La información está disponible al público mediante un atlas en línea del Servicio de Investigación Económica del Departamento de Agricultura de ese país (ERS-USDA, 2014).

## 4 PROPUESTA PARA LA MEDICIÓN DEL ACCESO ALIMENTARIO

### 4.1 Antecedentes

Durante la reestructuración del país, posterior a la revolución y hasta la década de los sesenta del siglo pasado, el auge del campo mexicano logró hacer al país autosuficiente alimentariamente gracias a la ampliación del área cosechada y la introducción de tecnología que elevó la productividad (Torres Torres, 2003a: 49-50). Sin embargo, en años posteriores, la deceleración abrupta de esa expansión por motivos técnicos, el crecimiento poblacional con su consecuente incremento en la demanda de alimentos, la apertura comercial del país al mercado mundial, y los cambios en los patrones de alimentación condujeron a la pérdida de esa autosuficiencia y a la vulneración de la seguridad alimentaria a nivel nacional (Castro, 2000; Torres Torres, 2003a: 49-50).

A partir de la década de los ochenta, en el marco del Programa Nacional de Alimentación (Pronal), se instrumentaron programas para reorientar los subsidios del rubro alimentario, dos de ellos relacionados directamente con la distribución asistida de alimentos: el Programa Rural de Abasto y el Programa de Abasto a Zonas Populares Urbanas, ambos dependientes de Diconsa y teniendo el objetivo de garantizar el abasto de alimentos básicos a grupos marginados en zonas rurales y áreas deprimidas del país, y en zonas urbanas, respectivamente (Gasca Zamora, 2003: 167).

En la siguiente década, los cambios en el escenario político acarrearón cambios en algunos de estos programas y dieron lugar a un nuevo Programa central: el Nacional de Solidaridad (Pronasol), definiendo en 1995 tres ejes alimentarios: los desayunos escolares, la canasta básica alimentaria para familias pobres del medio rural y la canasta y apoyos a familias de áreas urbanas marginadas (Gasca Zamora, 2003: 168-169).

Hacia finales de los noventa, había al menos 23 programas de asistencia alimentaria, siendo los más importantes Liconsa (Leche rehidratada para niños y ancianos en áreas urbanas), Diconsa (Sistema de tiendas rurales y urbanas) y el Fideicomiso de Liquidación de Subsidio a la Tortilla (Fidelist) (Gasca Zamora, 2003: 169-170).

En 1997 comienza la operación del Programa de Educación, Salud y Alimentación (Progresa) con subsidios destinados directamente a las familias en las localidades de mayor marginación, principalmente rurales. Este programa, al integrar esos tres aspectos buscaba generar capital humano en las comunidades marginadas y superar las debilidades de su predecesor Pronasol (Hevia de la Jara, 2009). El componente alimentario de este Programa era un apoyo monetario mensual a las familias beneficiadas, pero que carece de garantías para asegurar que este ingreso sea destinado a alimentos (Gasca Zamora, 2003: 171).

En 2002, Progresa cambia a Programa Nacional de Desarrollo Humano (Oportunidades) y sufre pequeños ajustes que principalmente buscan asegurar el carácter apartidista del programa, incrementar el padrón de beneficiarios, incluyendo apoyos a adultos mayores (que posteriormente se convierte en un programa independiente), a familias en zonas urbanas y a un mayor número de familias en zonas rurales, y sumar otros componentes para mejorar la calidad de los servicios de educación, salud y alimentación (Hevia de la Jara, 2009).

En 2013, el Gobierno Federal decreta la Cruzada Nacional contra el Hambre como una estrategia de bienestar e inclusión social sustentada en el *Informe de pobreza en México 2010* y que entre sus objetivos busca “cero hambre a partir de una alimentación y nutrición adecuada de las personas en pobreza multidimensional extrema y situación de carencia de acceso a la alimentación” (Secretaría de Desarrollo Social, 2013a).

Hasta la fecha, este objetivo se ha perseguido mediante la ampliación del Programa Prospera (antes Oportunidades), la repartición entre la población objetivo de tarjetas de apoyo alimentario para compra de alimentos básicos en tiendas Diconsa, la ampliación geográfica de los programas Liconsa y Diconsa, la ampliación del programa Pensión para Adultos Mayores y la apertura de comedores comunitarios y escolares (Secretaría de Desarrollo Social, 2013b, 2013c, 2014a, 2014b).

Entre estas acciones resalta la habilitación de tiendas móviles Diconsa con camiones, lanchas y animales de carga, que recorren en promedio diario 6 localidades de alta marginación y difícil acceso, para favorecer el acceso de los habitantes a alimentos básicos y de bajo costo (Diconsa, 2014a, 2014b, 2014c), constituyendo el primer programa de asistencia alimentaria que se vale de un componente espacial mediante el trazo de rutas.

Hasta finales del siglo pasado es posible identificar en el país dos patrones en el abasto de alimentos: el patrón dendrítico y el patrón solar (Figura 4.1), que corresponden a la manera tradicional en que se ha efectuado el abasto y la distribución espacial de los alimentos, desde los productores hasta los consumidores finales, comenzando por un mercado mayorista en las poblaciones principales (centrales de abasto), vinculado por un lado con las regiones productoras, y por el otro con millares de diversos expendios: mercados públicos, tianguis, mercados sobre ruedas, misceláneas, verdulerías, carnicerías, pollerías, lecherías, tortillerías, cooperativas de consumo, puestos callejeros, etcétera (Torres Torres, 2011).



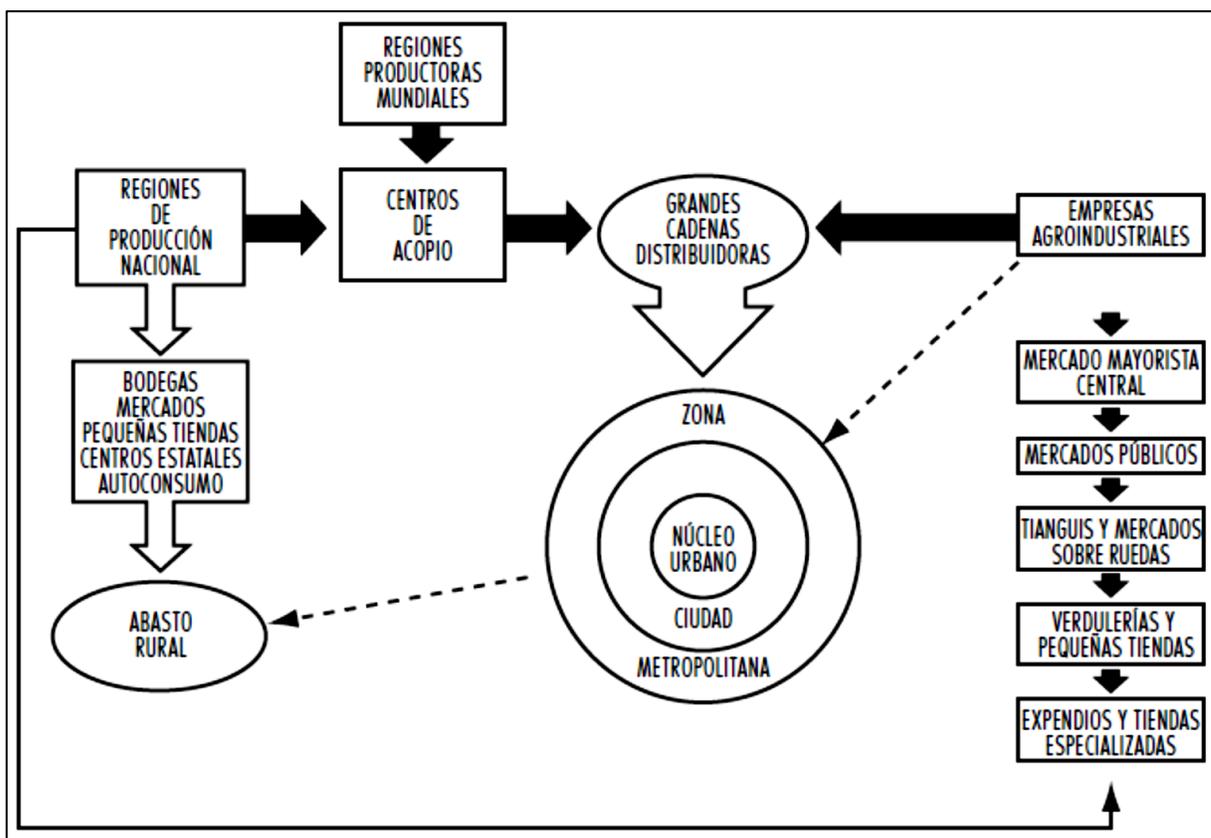


Figura 4.2. Patrón mixto de abastecimiento alimentario: fase de economía abierta en México.  
Fuente: Torres Torres, 2011.

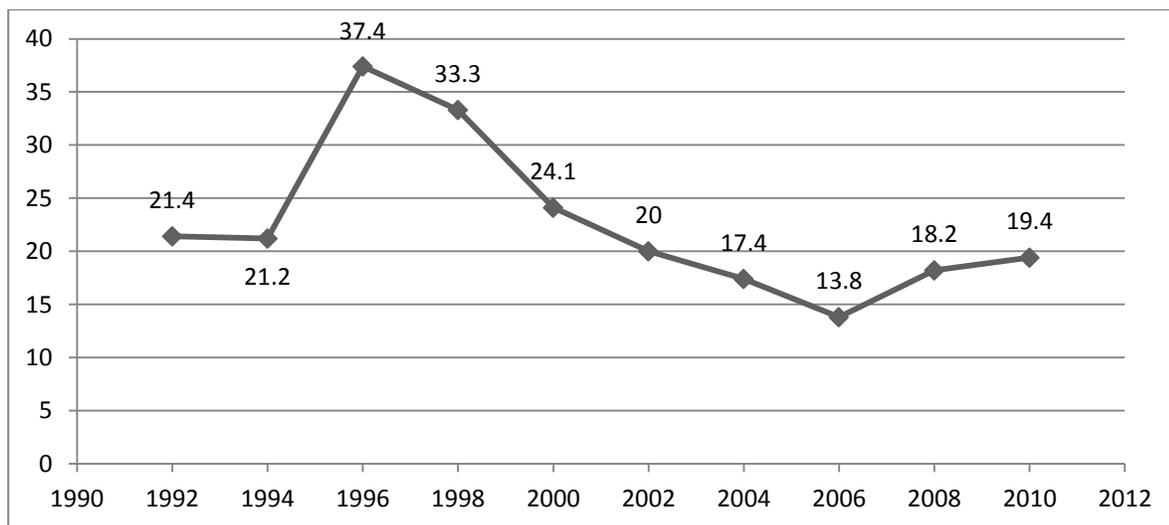
## 4.2 Planteamiento del Problema

De acuerdo con la FAO, en 2010 había un total de 925 millones de personas malnutridas en el mundo, las cuales mayoritariamente viven en países en desarrollo, donde representan en promedio el 16% de la población (Departamento Económico y Social, 2010). El *Informe de pobreza en México 2010* (CONEVAL, 2012: 25), señala que aproximadamente 21.8 millones de personas (19.4% de la población nacional) se encuentra en situación de pobreza alimentaria, esto es, de acuerdo al CONEVAL, la población con un ingreso inferior al valor monetario de la CBA, mismo que se define como línea de bienestar mínimo (LBM). Adicionalmente, 24.9% de los mexicanos (28 millones de personas) padece carencia en el acceso a la alimentación, lo que significa que estas personas habitan hogares que presentan un grado moderado o severo de inseguridad alimentaria de acuerdo a la EMSA (CONEVAL, 2012: 107). En ambos casos, la cifra es notablemente superior al 16% estimado por la FAO.

En el caso de los países en desarrollo, la seguridad alimentaria se plantea como un problema de producción nacional y acceso familiar individual, con asimetría en las condiciones de acceso, siendo un

problema no de mercado, sino de equidad social (Torres Torres, 2003a: 24, 42). Este mismo autor refiere que en México, “la política social diseñada para combatir la pobreza no ha tenido en cuenta la diversidad regional, ni los problemas estructurales que la generan”, siendo más evidente en el caso de la alimentación, pues “se atiende un margen estrecho de la población en pobreza extrema mediante una canasta básica normativa, pero los umbrales del hambre trascienden con mucho a la población objetivo beneficiaria” (Torres Torres, 2003a: 45-46).

Sumado al estado generalizado de vulnerabilidad alimentaria, la transición productiva del campo a la ciudad ha conducido a un continuo empobrecimiento del campo “donde las economías campesinas [que] viven en buena medida del autoconsumo, entran en un círculo vicioso, puesto que su baja productividad e ingresos provocan un alto grado de subconsumo, malnutrición, deficiente salud y endeudamiento”, ocasionando en muchos casos una migración hacia las urbes e incrementando el número de familias pobres que recurren al trabajo informal, e incluso a actividades ilícitas como medio de sobrevivencia, mientras que los programas de asistencia alimentaria, resultan incapaces de mitigar las crecientes condiciones de pobreza, y deterioro nutricional que se extienden a un mayor número de mexicanos (Gasca Zamora, 2003: 150, 171).



**Figura 4.3. Histórico del porcentaje de personas en pobreza alimentaria.**  
**Fuente: CONEVAL (2010: 22), actualizado con datos de CONEVAL (2012: 25).**

Por otra parte, la rápida urbanización de las últimas décadas y la presión ejercida por estas grandes poblaciones urbanas en la configuración del patrón espacial de abasto alimentario concentran la actividad comercial del rubro alimentario en estas áreas, agravando aún más la inseguridad alimentaria en el entorno rural y en las periferias urbanas, que dependen sólo de los pequeños comerciantes y del apoyo del Estado en productos esenciales, haciendo necesaria la introducción de una nueva regulación territorial y operativa a fin de preservar la funcionalidad del nuevo esquema y evitar el colapso total del esquema tradicional, que es clave en el abasto de alimento en zonas de baja concentración demográfica (Torres Torres, 2011).

Estudios revisados en secciones anteriores del texto diagnostican el problema de inseguridad alimentaria que se vive en buena parte del país, sin embargo es necesario contar con herramientas metodológicas que permitan mayor precisión en la determinación cuantitativa y cualitativa de la seguridad alimentaria en sus cuatro dimensiones, pues como se menciona en el Marco Teórico, garantizar una alimentación adecuada no depende sólo de las existencias de alimentos, sino de las capacidades que los individuos tengan para obtenerlos y aprovecharlos, fisiológica y culturalmente, de manera eficiente. Como el CONEVAL (2010: 15) señala:

...para países de desarrollo medio es importante la revisión y medición del acceso físico a alimentos, en la medida en que la infraestructura básica, el medio físico y las condiciones económicas e institucionales pueden afectar el desarrollo del mercado de alimentos en ciertas regiones geográficas y, por tanto, el acceso físico.

### **4.3 Hipótesis**

El modelo gravitacional, gracias a su enfoque espacial y su capacidad para abstraer factores preponderantes de la interacción entre orígenes y destinos, es apropiado para construir una medida del acceso alimentario físico y económico que sea de fácil interpretación y gran adaptabilidad a distintos contextos.

### **4.4 Justificación**

Hasta la fecha, y en todas las fuentes revisadas, no se han identificado estudios sobre acceso alimentario en México que partan de la perspectiva del Análisis espacial, o que realicen evaluaciones a nivel local. Adicionalmente, en la literatura internacional sobre el tema, no se ha registrado el empleo del modelo gravitacional –en ninguna de sus variantes–, ni existe todavía una metodología sistemática para la determinación del acceso a los alimentos, esto debido en parte a la misma complejidad del tema y a las variaciones que se presentan en el entorno alimentario de una región a otra.

En extensión a la falta de una metodología establecida, esta situación es aún más drástica para la determinación de la accesibilidad alimentaria rural, pues son contados los casos de estudio que se enfocan en el medio rural, aspecto de importancia clave en el contexto mexicano, dada la elevada vulnerabilidad e inseguridad alimentaria de los habitantes de estas zonas.

Asimismo se hace patente la necesidad de mayores esfuerzos por parte de la política pública para lograr equidad espacial en el acceso alimentario, justicia alimentaria y la consumación de la seguridad alimentaria del país, que es fundamental para garantizar la calidad de vida de sus habitantes; mientras que desde el área científica, es deber y responsabilidad de los investigadores construir herramientas útiles y basadas en conocimiento científico y formal que provean a los tomadores de decisiones con información verídica y lo más objetiva posible sobre el panorama socioeconómico y alimentario de la

población, tal que contribuya a combatir de forma más eficaz, práctica y perdurable la inseguridad alimentaria.

Finalmente, gracias al avance en la capacidad de procesamiento computarizado de datos, así como a la generación de más y mejor información geográfica y estadística, es posible aplicar modelos de interacción espacial para la determinación del acceso alimentario en el país.

## **4.5 Objetivo General**

Plantear y diseñar una metodología centrada en la utilización del modelo gravitacional, y emplear éste como una medida para evaluar el acceso alimentario potencial que sea aplicable de forma sistematizada en ámbitos tanto rurales como urbanos de la República Mexicana, ofreciendo consecuentemente resultados comparables y congruentes entre distintas aplicaciones del modelo.

## **4.6 Objetivos Particulares**

- Diseñar una metodología para la determinación del acceso alimentario en México partiendo de las mejores prácticas identificadas en la literatura.
- Probar la viabilidad de dicha metodología con la información disponible y tomada de fuentes oficiales.
- Estructurar y calibrar el modelo gravitacional para utilizarlo como índice de acceso alimentario.
- Evaluar el desempeño de este índice de acceso alimentario al confrontarlo con los resultados obtenidos mediante los modelos de distancia mínima y oportunidad acumulada.

## 5 METODOLOGÍA

### 5.1 Elección del Área de Estudio Partiendo de Índices de Pobreza

Se considerarán como áreas elegibles de estudio todos los municipios que de acuerdo al *Informe de Pobreza en México 2010* posean un porcentaje mayor a la media nacional de población en situación de pobreza alimentaria (% PAL>19.4), y de población que carece de acceso a la alimentación (%CAA>24.9).

Se examinarán simultáneamente localidades urbanas y rurales, y para esta distinción se tomará sin cambios la que se considera en el Marco Geoestadístico Nacional (MGN) del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2014). Los orígenes para las localidades urbanas serán las manzanas geoestadísticas, mientras que para las localidades rurales será la localidad rural, en ambos casos, el mayor nivel de desagregación disponible para los datos del Censo General de Población y Vivienda 2010 (INEGI, 2014).

Previo a cualquier análisis estos orígenes serán filtrados de acuerdo a dos criterios: 1) cuando la población reportada para la manzana o localidad sea de cero habitantes, será excluido del análisis por considerarse no habitacional; y, 2) con un filtro socioeconómico para seleccionar sólo los orígenes que puedan considerarse de bajo nivel socioeconómico. Como no se dispone de datos directos sobre el nivel de ingreso de la población, para este filtro se toman dos indicadores que permiten aproximar las dimensiones de marginación y pobreza de los habitantes, así como la desigualdad social prevaleciente: el grado promedio de escolaridad (gpe) y el tamaño promedio del hogar (tph), que a nivel nacional son de 8.6 años y 3.9 personas, respectivamente (INEGI, 2014), eligiendo sólo los orígenes que reporten un gpe igual o menor a la media nacional o un tph igual o mayor a la media nacional. La importancia de los indicadores demográficos y socioeconómicos recae en que complementan la medición del acceso alimentario (Dutko *et al.*, 2012).

## 5.2 Elección de Una Canasta Básica de Referencia

Tabla 5.1. Canastas básicas alimentarias del CONEVAL.

CANASTA BÁSICA ALIMENTARIA	URBANA	RURAL
Maíz	Tortilla de maíz*	Maíz en grano Tortilla de maíz*
Trigo	Pasta para sopa* Pan blanco* Pan de dulce* Pan para sándwich, hamburguesas	Pasta para sopa* Galletas dulces* Pan blanco* Pan de dulce*
Arroz	Arroz en grano*	Arroz en grano*
Otros cereales	Cereal de maíz, trigo, arroz, avena*	
Carne de res y ternera	Bistec: aguayón, cuete, paloma, pierna  Molida	Bistec: aguayón, cuete, paloma, pierna Cocido o retazo con hueso Molida
Carne de cerdo	Costilla y chuleta	
Carnes procesadas	Chorizo y longaniza Jamón*	
Carne de pollo	Pierna, muslo y pechuga con hueso Pierna, muslo y pechuga sin hueso Pollo entero o en piezas	Pierna, muslo y pechuga con hueso  Pollo entero o en piezas
Pescados frescos	Pescado entero*	Pescado entero*
Leche	De vaca, pasteurizada, entera, light*	De vaca, pasteurizada, entera, light* Leche bronca
Quesos	Fresco*	Fresco*
Otros derivados de la leche	Yogur*	
Huevos	De gallina*	De gallina*
Aceites	Aceite vegetal*	Aceite vegetal*
Tubérculos crudos o frescos	Papa	Papa
Verduras y legumbres frescas	Cebolla Chile Jitomate	Cebolla Chile Jitomate
Leguminosas	Frijol*	Frijol*
Frutas frescas	Limón Manzana y perón Naranja Plátano tabasco	Limón Manzana y perón Naranja Plátano tabasco
Azúcar y mieles	Azúcar*	Azúcar*
Alimentos preparados para consumir en casa	Pollo rostizado	Pollo rostizado
Bebidas no alcohólicas	Agua embotellada* Jugos y néctares envasados* Refrescos de cola y de sabores*	Agua embotellada* Refrescos de cola y de sabores*
Otros	Alimentos y bebidas consumidas fuera del hogar Otros alimentos preparados	Alimentos y bebidas consumidas fuera del hogar Otros alimentos preparados

\* Alimentos que se cotizarán en tiendas de abarrotes.

Se emplearán las canasta básicas alimentarias (CBA) urbana y rural (Tabla 5.1), según corresponda, del CONEVAL, mismas que son empleadas para el cálculo de la LBM y como canastas de referencia en el *Informe de Pobreza en México 2010* (CONEVAL, 2014).

Las únicas consideraciones que se hacen sobre estas canastas son que se excluyen los listados en “Otros”, el pescado entero, que se tomará como enlatado, y el pollo rostizado, que se excluirá totalmente debido a que no existe una actividad económica que distinga a las rosticerías dentro del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE), ya que éste será la fuente de información para listar los puntos de venta de alimentos, considerando las actividades listadas en la Tabla 5.2.

**Tabla 5.2. Actividades del DENUE que se considerarán como puntos de venta de alimentos.**

Clave	Descripción de la actividad
461110	Comercio al por menor en tiendas de abarrotes, ultramarinos y misceláneas.
461121	Comercio al por menor de carnes rojas.
461122	Comercio al por menor de carne de aves.
461130	Comercio al por menor de frutas y verduras frescas.
462111	Comercio al por menor en supermercados.

### 5.3 Elección de los Puntos de Venta a Considerar

Como puntos de venta para el análisis se utilizarán los supermercados (clave 462111) y las unidades mínimas de consumo ubicados dentro de un búfer de 20 kilómetros sobre el municipio de interés. Una unidad mínima de consumo (UMC), estará constituida por una tienda de abarrotes (461110) que esté a no más de 250 metros de distancia de red de al menos una carnicería (461121), una pollería (461122), y una recaudería (tienda de frutas y verduras) (461130), partiendo de la base de que es necesaria esta variedad de tiendas especializadas para surtir una CBA completa sin recurrir a un supermercado. Expresando las UMC en términos matemáticos:

$$S(a) = \{a \in A \rightarrow b \in B | d_{ab} \leq \delta, \exists b \forall c\} \quad (5.1)$$

$S(a)$  es el conjunto de todas las tiendas de abarrotes que cumplen la condición y que representarán a cada UMC. El conjunto  $A$  son todas las tiendas de abarrotes ( $a$ ) dentro del área de análisis, y  $B$  es el conjunto de todas las demás tiendas especializadas ( $b$ ) dentro del área de análisis. La distancia  $d_{ab}$  debe ser menor o igual a 250 metros ( $\delta$ ), y  $c$  son las claves del DENUE correspondientes a las tiendas especializadas, excepto las de abarrotes. La identificación de UMC posee la ventaja adicional de que permite incluir los mercados en el análisis, por un lado porque éstos no están listados en el DENUE como una sola actividad, pero sí aparecen como unidades económicas independientes todos los

establecimientos ubicados en su interior; y por otro, al ser cada UMC una de todas las combinaciones posibles de los cuatro giros comerciales considerados, el mercado como centro comercial físico, es representado en el análisis como la amplia variedad de oportunidades posibles que un individuo puede escoger al realizar sus compras en un conjunto específico de establecimientos.

El algoritmo para identificar las UMC, al igual que el algoritmo de los modelos que se verán más adelante, se diseñó y opera en el sistema de bases de datos relacionales PostgreSQL (The PostgreSQL Global Development Group, 2014) con las extensiones PostGIS para bases de datos espaciales (The PostGIS Steering Committee, 2014) y pgRouting para trazo de rutas (pgRouting Contributors, 2014), todos ellos ejecutados dentro del gestor de bases de datos pgAdmin III.

Se excluirá el Comercio al por menor en minisúpers (462112) ya que la fracción de alimentos de la CBA que está disponible en un comercio de este tipo es muy baja, y generalmente se adquiere a un precio mucho mayor que en tiendas de abarrotes y supermercados. Tampoco se incluirán en el análisis los tianguis ambulantes y mercados sobre ruedas, ya que no están inventariados en el DENU, y su inclusión implicaría la labor de identificarlos y georreferenciarlos.

Una última aclaración es que no se consideran la agricultura de autoconsumo, trueques, tianguis ni otras formas no monetarias de obtener alimentos. Aunque esto es una omisión importante, en especial en zonas rurales y marginadas, es necesaria en términos de tiempo y esfuerzo, pues requeriría examinar directamente la frecuencia con que la población se vale del autoconsumo, el trueque y otras formas de adquirir alimentos y las características de éstas, labor que es tema y materia para una investigación por sí sola.

Esta metodología asume que los habitantes dan preferencia a los puntos de venta que son accesibles tanto espacial como económicamente, es decir, el mayor nivel de accesibilidad ocurrirá con comercios cercanos y de precios bajos. Si bien esta lógica, puede resultar simplista, existe evidencia empírica de que la distancia de viaje y el valor de compra de los productos consumidos forman parte de las principales variables que influyen en el comportamiento de compra de un individuo, siendo suficientes para modelarlo (Huff, 1963; Schenk *et al.*, 2007).

## 5.4 Uso de Un Indicador de Precios

Para medir la dimensión económica, se construirá un indicador local de precios (*IP*) como la diferencia entre el costo de referencia de la CBA ( $\$ref$ ), ya sea urbana o rural, y el valor de compra de la misma ( $\$(j)$ ) cotizado en cada uno de los puntos de venta *j*:

$$IP(j) = \$ref - \$(j) \quad (5.2)$$

Las cotizaciones deberán realizarse en los supermercados con la CBA completa, y en las tiendas de abarrotes que formen una UMC sólo sobre los productos de la CBA que le correspondan (Tabla 5.1).

Como precio de referencia se tomará el costo estimado de la CBA por el CONEVAL, mismo que define el valor de la LBM y que se obtiene a partir del Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC) elaborado por el INEGI.

Al calcular como una resta el IP, su interpretación se vuelve muy clara si se toma en cuenta la apreciación del valor positivo o negativo:

- Para un  $IP \geq 0$ , es decir, positivo, el costo de la CBA en el punto de venta es menor o igual al valor de la LBM, y se trata de un punto de venta “barato”;
- Para un  $IP < 0$ , negativo, el costo de la CBA en el punto de venta es mayor que el valor de la LBM, y se trata de un punto de venta “caro”.

## 5.5 Modo de Desplazamiento Considerado

Se considerarán dos formas de desplazamiento: a pie, con una velocidad de 5 Km/h; y en automóvil, considerando distintas velocidades según el tipo de vialidad asignado por el INEGI, conforme se muestra en la Tabla 5.3. En el caso de calles digitalizadas, para las que no se disponga de datos de velocidad o tipología, se asignará la velocidad promedio de 35 Km/h.

**Tabla 5.3. Velocidades en automóvil asignadas al tipo de vialidad.**

Tipo de vialidad	Velocidad (Km/h)
Andador	0
Calle Callejón Cerrada Diagonal Pasaje Privada Prolongación Retorno	20
Avenida Boulevard Carretera Eje vial	40
Autopista Calzada Circuito Viaducto Periférico	60
Promedio	35

En localidades urbanas se usarán ambas formas de viaje, y en localidades rurales sólo el automóvil. En los dos casos se utilizará una métrica de red sobre calles y carreteras. Las capas de datos vectoriales de calles y carreteras se tomarán del MGN o de fuentes más completas cuando éstas estén disponibles, y se complementarán digitalizando la información faltante sobre el mapa de calles de Google Maps (2014) visualizado con el complemento Openlayers (Sourcepole, 2014) del software Quantum GIS (QGIS Development Team, 2014); este último también será empleado para gestionar todas las capas vectoriales y elaborar los mapas de resultados.

La Tabla 5.4 hace una síntesis de los datos y programas que serán empleados y sus fuentes.

**Tabla 5.4. Datos y Software necesarios.**

<b>Datos</b>	<b>Fuente</b>	<b>Comentarios</b>
Localidades rurales	Marco Geoestadístico Nacional (INEGI)	Para los datos vectoriales
	Censo General de Población y Vivienda 2010 (INEGI)	Para los datos demográficos y socioeconómicos
Manzanas urbanas	Marco Geoestadístico Nacional (INEGI)	Para los datos vectoriales
	Censo General de Población y Vivienda 2010 (INEGI)	Para los datos demográficos y socioeconómicos
Puntos de venta	Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (INEGI)	Se generan UMC a partir de tiendas de abarrotes, carnicerías, pollerías y recauderías.
Vialidades	Marco Geoestadístico Nacional (INEGI)	
	Instituto Federal Electoral (IFE)	Para complementar los datos del MGN.
	Google Maps	Para digitalizar los datos faltantes.
Valores locales de compra de la CBA	Simulados a partir de los precios promedio del INPC (INEGI)	Ajustados al tamaño del establecimiento registrado en el DENUE.
<b>Software</b>	<b>Desarrollador</b>	<b>Versión empleada</b>
pgAdmin III	The pgAdmin Development Team	1.16.1
PostgreSQL	The PostgreSQL Global Development Group	9.2
PostGIS	PostGIS Steering Committee	2.1.3
pgRouting	pgRouting Contributors	2.0
Quantum GIS	QGIS Development Team	2.4.0
Openlayers	Sourcepole	1.3.4

## 5.6 El Índice de Acceso Alimentario Propuesto

El modelo que se utilizará para la determinación del acceso alimentario será el modelo gravitacional revisado anteriormente, en su variante de potencial de interacción (Ecuación (2.2)), usando el indicador local de precios construido como atractor para los destinos, y como función de impedancia la exponencial negativa del tiempo de viaje entre origen y destino, medido en minutos. El valor obtenido se empleará como índice de acceso alimentario (IAA) y se usará de manera diferida en localidades rurales y urbanas:

$$IAA(i) = 10^6 \sum_{j \in J} \frac{IP(j)}{e^{t_{ij}}} \quad (5.3)$$

Donde con la letra  $i$  se designa a los orígenes, que serán representados por los centroides de las manzanas geoestadísticas y los puntos que representan a las localidades rurales; la letra  $j$  representa los destinos, que son los datos puntuales de los supermercados y de las unidades mínimas de consumo;  $IAA(i)$  es el índice de acceso para cada origen  $i$ ;  $IP(j)$  es el índice de precios para cada destino  $j$ ; y,  $t_{ij}$  es el tiempo de viaje mínimo entre cada par origen-destino.

El uso de tiempo en vez de distancia obedece a dos razones en especial: la cualidad de la velocidad de transformar notablemente el espacio, haciendo que grandes distancias se acorten (Alonso, 1964: 132); y el hecho de que el tiempo, como medida del comportamiento de viaje es más útil en la toma de decisiones en la política pública (Handy y Niemeier, 1997), lo que directamente favorecerá la utilidad de los resultados obtenidos. Detalles más amplios sobre la forma en que se llegó a este modelo se ofrecen a lo largo del Capítulo 6.

## 5.7 Los Modelos de Referencia

Ya que es nueva la aplicación del modelo gravitacional para determinar el acceso alimentario, y que se carece de datos procedentes de estudios de comportamiento de viaje o de encuestas origen-destino para la calibración de la función de impedancia, se emplearán como referencia las dos medidas usadas convencionalmente: distancia mínima y oportunidad acumulada. Los valores resultantes de estas medidas para la determinación de desiertos, espejismos y oasis alimentarios se compararán con los valores del IAA para identificar los rangos del IAA característicos para cada categoría. Se hace énfasis en el uso de las dos medidas ya que describen distintos aspectos del acceso alimentario: la distancia mínima es la medida más básica de accesibilidad al estimar el menor costo necesario para satisfacer la necesidad en cuestión; mientras que la medida de oportunidad acumulada ofrece una idea del rango de opciones disponibles (Handy y Niemeier, 1997). En el caso de estos modelos es necesaria la definición de un umbral de distancia, que en este caso será de 20 minutos, tanto a pie como en auto.

La distancia mínima se expresa como  $dmin(i) = \min(t_{ij})$ , y para ser utilizada en la determinación de espejismos alimentarios es necesario recalcularla para los comercios en los que el valor de la CBA es igual

o menor al costo de referencia, y a partir de estos dos valores se construye un índice de espejismo alimentario ( $IE$ ), planteado por primera vez por Breyer y Voss-Andreae, 2013:

$$IE_{dmin}(i) = dmin_{\$(j)\leq\$ref} - dmin \quad (5.4)$$

Donde, para cada origen,  $dmin$  es la distancia mínima original, y  $dmin_{\$(j)\leq\$ref}$  se calcula sólo con los comercios con IP igual o mayor a cero. La asignación de los resultados a cada una de las tres categorías de accesibilidad alimentaria es como sigue:

- Se trata de un desierto si la distancia mínima es mayor al umbral,  $dmin > 20min$ ;
- De un espejismo si la distancia mínima es menor o igual a 20 minutos,  $dmin \leq 20min$ , pero ésta corresponde a un comercio donde el valor de compra es mayor al costo de referencia,  $IE_{dmin} > 0$ ;
- Y se trata de un oasis si la distancia mínima es menor o igual al umbral,  $dmin \leq 20min$  y corresponde a un comercio donde el valor de compra es menor al costo de referencia,  $IE_{dmin} = 0$ .

El modelo de oportunidad acumulada ( $opac$ ) para cada origen ( $i$ ) se define como  $opac(i) = n_j | t_{ij} \leq 20min$ , y de manera análoga al de distancia mínima, para obtener el índice de espejismo alimentario:

$$IE_{opac}(i) = opac - opac_{\$(j)\leq\$ref}, \forall i | opac(i) \neq 0 \quad (5.5)$$

Donde  $opac$  es la medida original y  $opac_{\$(j)\leq\$ref}$  se calcula considerando sólo los destinos en que el valor de la CBA es igual o menor al costo de referencia. Los resultados se categorizan de la siguiente manera:

- Es un desierto si no hay comercios a no más de 20 minutos del origen,  $opac = 0$ ;
- Es un espejismo si hay comercios dentro del umbral,  $opac > 0$ , pero en al menos la mitad de ellos el valor de compra es mayor al costo de referencia,  $IE_{opac} \geq opac/2$ ;
- Se trata de un oasis cuando existen comercios a 20 minutos o menos del origen,  $opac > 0$ , y en más de la mitad de estos el valor de compra es menor al costo de referencia,  $IE_{opac} < opac/2$ .

En ambos casos, el índice de espejismo se calcula de modo que su valor sea cero cuando las dos medidas diferidas sean iguales, es decir, si el origen no puede considerarse como espejismo y forzosamente será un oasis.

Al confrontar los resultados de estas dos medidas con los valores obtenidos mediante el IAA, se podrá evaluar el comportamiento del modelo, así como su capacidad para describir las características del entorno alimentario que usualmente se miden con la distancia mínima y la oportunidad acumulada, y se podrán identificar los rangos de valores característicos a cada categoría de acceso alimentario. La necesidad de efectuar cálculos independientes para identificar desiertos y espejismos alimentarios con estos dos métodos es una desventaja que se busca superar al utilizar el IAA.

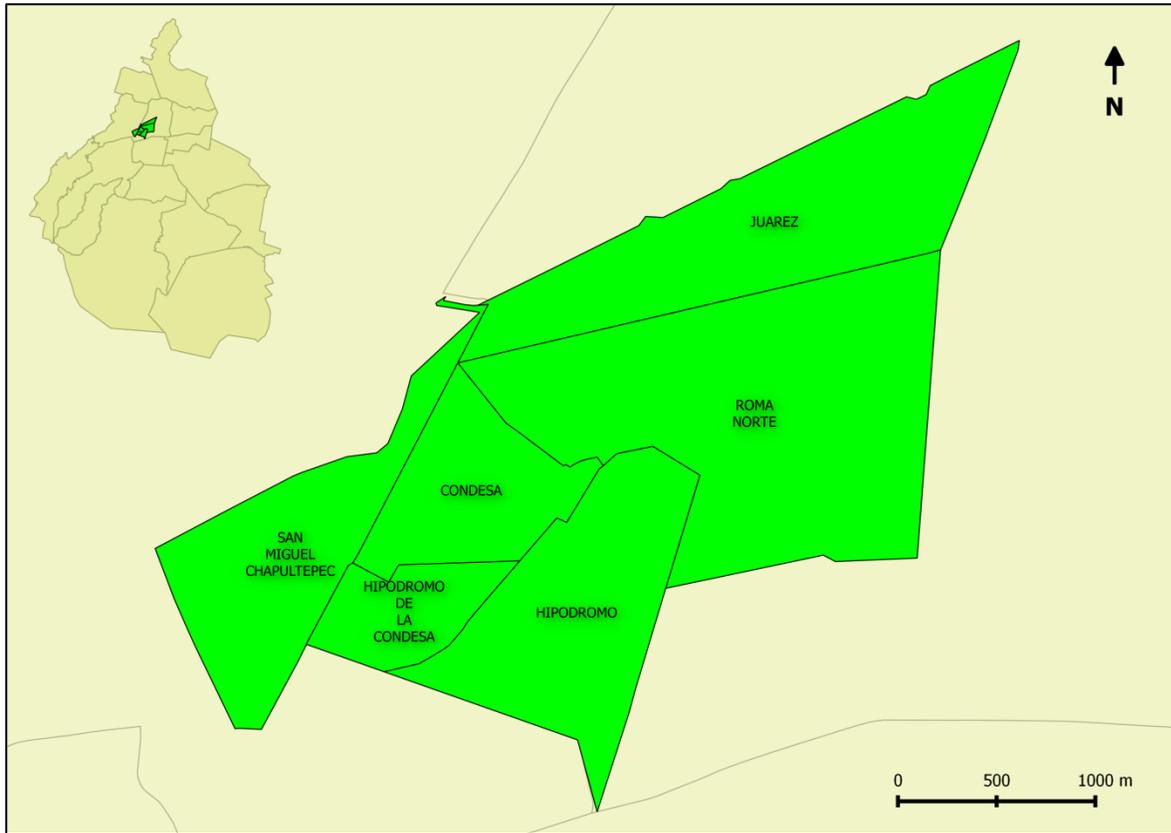
## 6 PRUEBAS METODOLÓGICAS

### 6.1 Primera Región de Prueba: Corredor Juárez-Condesa

Con el propósito de efectuar un ejercicio preliminar, se eligió de manera arbitraria un conjunto de cinco colonias de la delegación Cuauhtémoc y una de la delegación Miguel Hidalgo en el Distrito Federal, todas ellas contiguas como se aprecia en la Figura 6.1. Para minimizar el tiempo de cálculo en el desarrollo y prueba de los algoritmos, esta zona se trabajó usando las áreas geoestadísticas básicas (AGEB) como orígenes, sólo supermercados como destinos, y considerando un umbral de 6 minutos a pie, ya que por la extensión del área y la abundancia de puntos de venta, el uso de automóvil o de umbrales mayores generaba resultados de accesibilidad adecuada en toda el área. De forma similar, en este ejercicio se omite el filtro socioeconómico para conservar todas las AGEB.

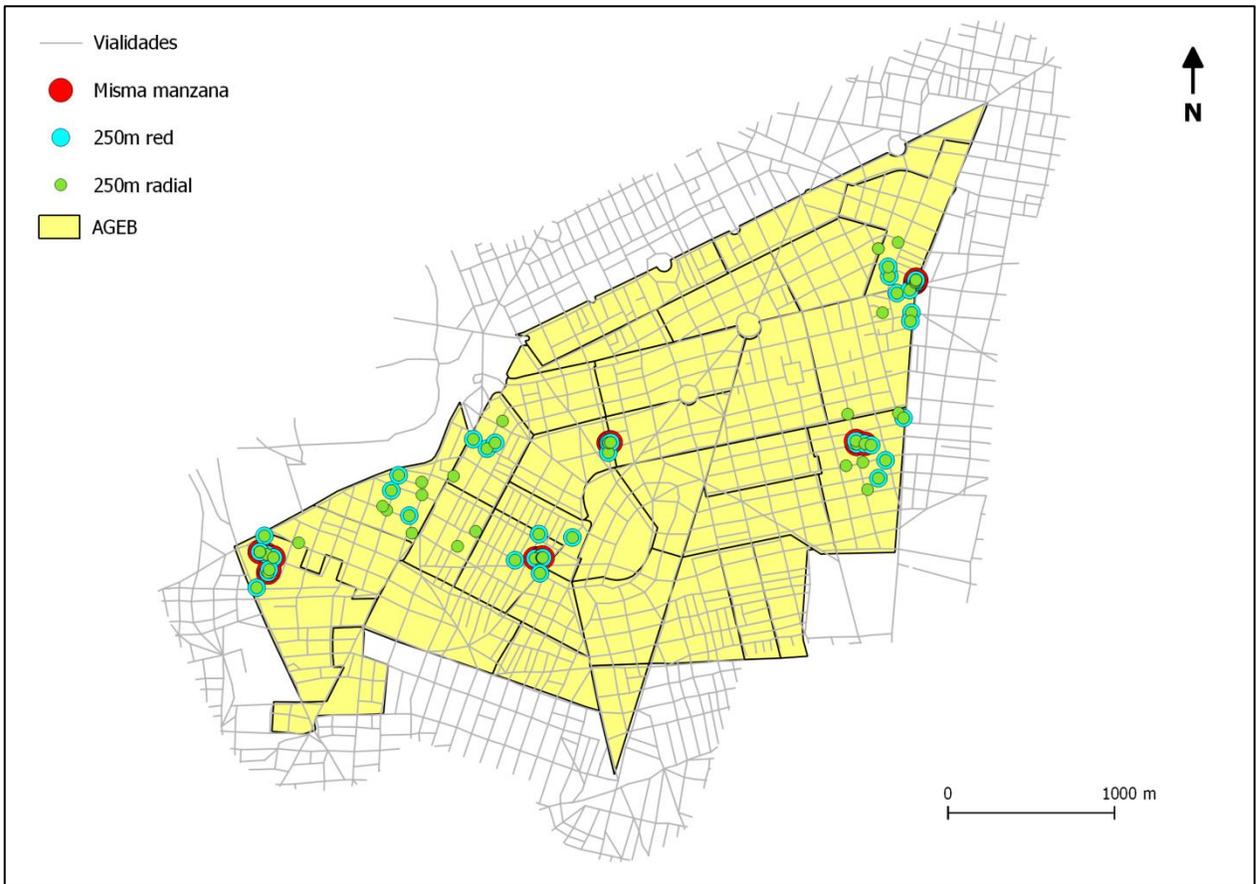
Con esta región de prueba, identificada como “corredor Juárez-Condesa”, se diseñaron y ajustaron los algoritmos para el cálculo de las medidas de distancia mínima y oportunidad acumulada, del modelo gravitacional, y adicionalmente, para el cálculo del área de cobertura como otra medida del acceso alimentario. Sin embargo, por diversas razones se prefirió descartar esta opción y continuar con el IAA. El trabajo efectuado con el cálculo del área de cobertura se detalla en el Cuadro 6.1.

Después de diversas versiones de algoritmos individuales para cada una de las tres medidas, finalmente se desarrolló un algoritmo unificado que, en primer lugar, prepara todos los datos de entrada y genera la topología de red para las vialidades, genera la simulación de los valores locales de compra, posteriormente reúne todos los orígenes y destinos con los datos necesarios en una tabla maestra, y entonces emplea el algoritmo de Dijkstra integrado en pgRouting para calcular los tiempos de viaje de cada origen a cada destino. Una vez calculados los tiempos de viaje, el último paso del algoritmo es calcular las tres medidas de accesibilidad y asociar los resultados a cada origen para su representación en Quantum GIS.



**Figura 6.1. Colonias del Distrito Federal usadas para un ejercicio preliminar. Fuente: elaboración propia.**

Para la construcción de unidades mínimas de consumo se probaron tres alternativas. La primera de ellas, consistió en identificar el conjunto de las cuatro actividades comerciales necesarias (abarrotes, carnicería, pollería y recaudería) que estuvieran ubicadas en la misma manzana geoestadística, y si bien este criterio permite la clara identificación de mercados, fue desechado por la necesidad de considerar otros punto de venta que, aunque no estuvieran ubicados en la misma manzana, si estuvieran los bastante próximos como para permitir la compra de una CBA completa, razón por la cual se podrían estar omitiendo los comercios ubicados fuera del mercado pero en manzanas contiguas, o “cruzando la calle” desde el mercado. Las siguientes dos alternativas fueron identificar los cuatro giros comerciales en que se cumpliera la condición de que la abarrotera estuviera a no más de 250 metros (3 minutos a pie) de al menos una carnicería, una pollería y una recaudería; la diferencia entre ambas sería la métrica: en un caso se consideró en línea recta (radial) y en el otro sobre la red de calles. Los 250m radiales arrojaron un mayor número de UMC, pero se prefirió el uso de 250m en distancia de red, ya que ésta es más apegada al desplazamiento real de una persona. La Figura 6.2 muestra la comparación de los tres criterios en el corredor Juárez-Condesa.



**Figura 6.2. Corredor Juárez-Condesa: comparación de los tres criterios para identificación de UMC. Fuente: elaboración propia.**

### Cuadro 6.1. El cálculo del área de cobertura como medida del acceso alimentario.

El algoritmo para determinar el área de cobertura (AC) identifica todas las rutas sobre la red de calles que parten de cada comercio, en cualquier dirección y que son menores a la distancia umbral, para luego formar un polígono convexo que contenga todas esas rutas para todos los puntos de venta, este polígono define el AC de todo el conjunto de comercios. Es necesario hacer un cálculo diferido, por un lado para los comercios con valor de compra menor o igual al costo de referencia de la CBA ( $AC_{\$(j)\leq\$ref}$ ), y por otro para los comercios con valor de compra mayor al costo de referencia ( $AC_{\$(j)>\$ref}$ ), entonces mediante álgebra espacial en las capas vectoriales se define como desierto (D) la porción de la zona de estudio que queda fuera de las dos áreas de cobertura, como espejismo (E) la porción que está dentro de  $AC_{\$(j)>\$ref}$  pero fuera de  $AC_{\$(j)\leq\$ref}$ , y como oasis (O) toda el área en  $AC_{\$(j)\leq\$ref}$ . Este proceso se aprecia con claridad a través de un diagrama de Venn y de notación de conjuntos (Figura 6.3).

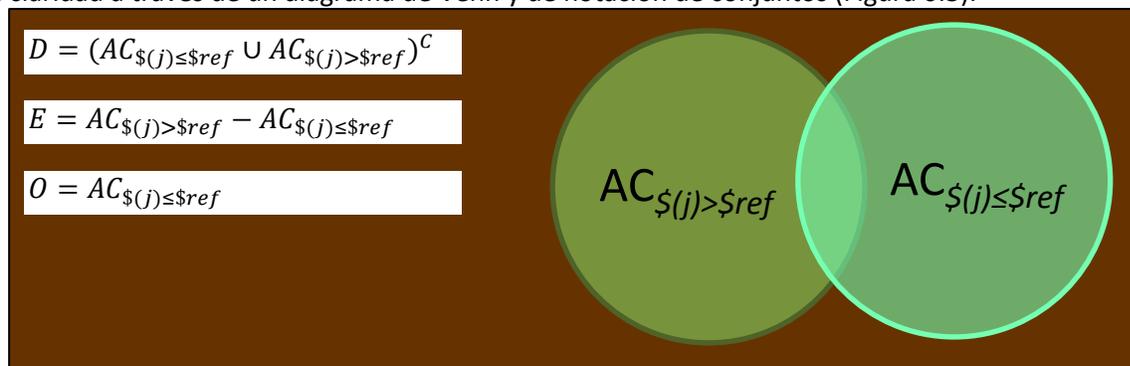


Figura 6.3. Determinación del acceso alimentario por área de cobertura. Fuente: elaboración propia.

El cálculo del área de cobertura funciona de manera opuesta a las medidas de interacción, pues opera desde los destinos hacia los orígenes, y da como resultado regiones o áreas independientes de la forma y configuración de las manzanas geoestadísticas, representando un reto para traducir estos resultados en valores específicos para cada manzana. Esta dificultad se resolvió asignando a la manzana la categoría predominante, por ejemplo, si el área de una manzana está cubierta en un 35% por desierto, en un 58% por espejismo y el 7% restante es oasis, entonces la manzana en cuestión se catalogará como espejismo; este criterio no se refinó para enfrentar empates, ya que finalmente el cálculo de AC fue descartado sin haberse enfrentado a dicha situación (Figura 6.4).

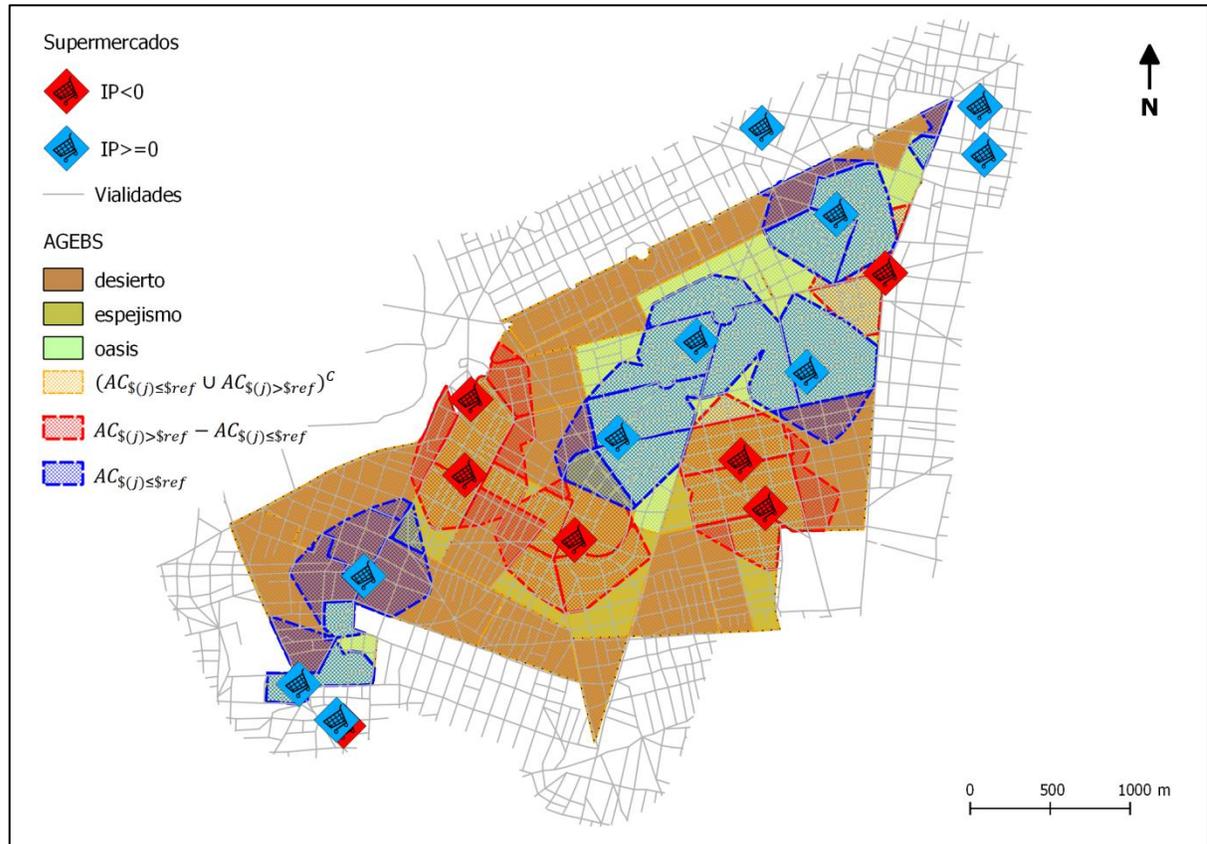
La ventaja más destacable del cálculo del AC, es precisamente que el cálculo se hace por áreas, y no depende de abstraer las manzanas geoestadísticas en sus centroides, evitando la posible pérdida de información asociada. Una utilidad derivada de esta ventaja es que se pueden estimar las fracciones de la población del área de estudio que habitan el desierto ( $P_D$ ), el espejismo ( $P_E$ ) y el oasis ( $P_O$ ). Para esto es necesario asumir una densidad de población uniforme al interior de cada manzana ( $i$ ), y multiplicar la población total de esa manzana ( $P(i)$ ) por las fracciones de su área que corresponden a cada categoría de acceso alimentario, obteniendo el estimado de habitantes de esa manzana que potencialmente enfrentan barreras físicas ( $p_D(i)$ ), económicas ( $p_E(i)$ ), o ninguna de ellas ( $p_O(i)$ ). Posteriormente se pueden sumar esas fracciones para cada categoría y obtener los estimados globales:

$$P(i) = p_D(i) + p_E(i) + p_O(i)$$

$$P_D = \sum_{i \in I} p_D(i) \quad P_E = \sum_{i \in I} p_E(i) \quad P_O = \sum_{i \in I} p_O(i)$$

$$P_D + P_E + P_O = P_{total} = \sum_{i \in I} P(i)$$

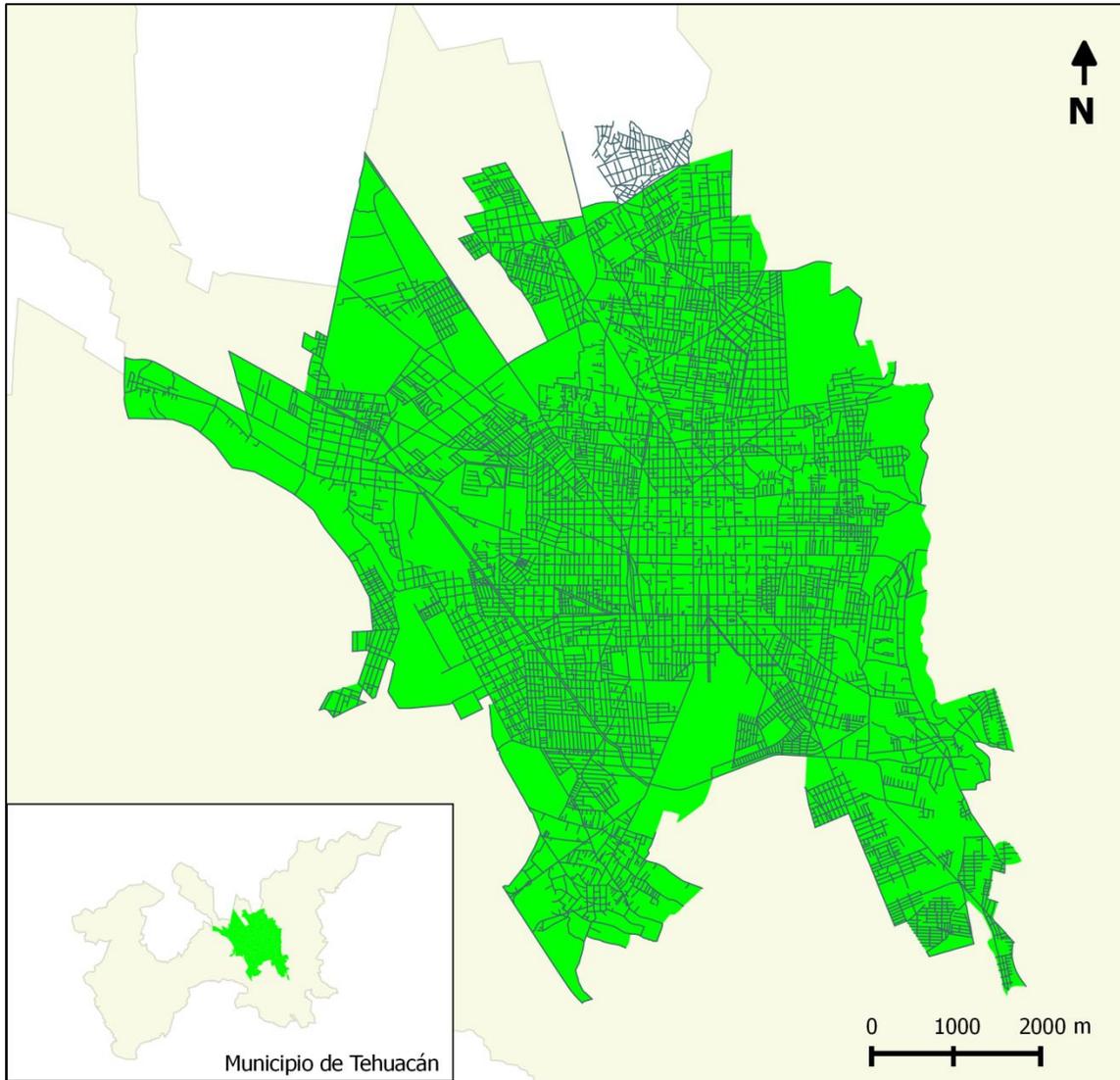
A pesar de las ventajas que ofrece el cálculo del área de cobertura, fue descartado como medida del acceso alimentario porque al igual que los modelos de distancia mínima y oportunidad acumulada requiere efectuar un cálculo diferido para determinar espejismos, complicación que se busca superar con el índice de acceso alimentario; porque se basa sólo en la proximidad a los puntos de venta, pudiendo omitir aspectos importantes de la interacción espacial y económica; porque el álgebra de capas por la que se definen espejismo y oasis, se define de manera arbitraria, restándole objetividad, pues las regiones comunes a ambas áreas de cobertura  $AC_{\$(j)>\$ref}$  y  $AC_{\$(j)\leq\$ref}$  se asignarán automáticamente y de forma sesgada a una u otra categoría, dependiendo de a cuál se le dé prioridad; y porque, en un aspecto totalmente técnico, el tiempo de cómputo necesario para calcular las áreas de cobertura supera por mucho el requerido en cualquiera de los tres modelos de interacción espacial.



**Figura 6.4. Determinación del acceso alimentario por cálculo del área de cobertura en el corredor Juárez-Condesa. Fuente: elaboración propia.**

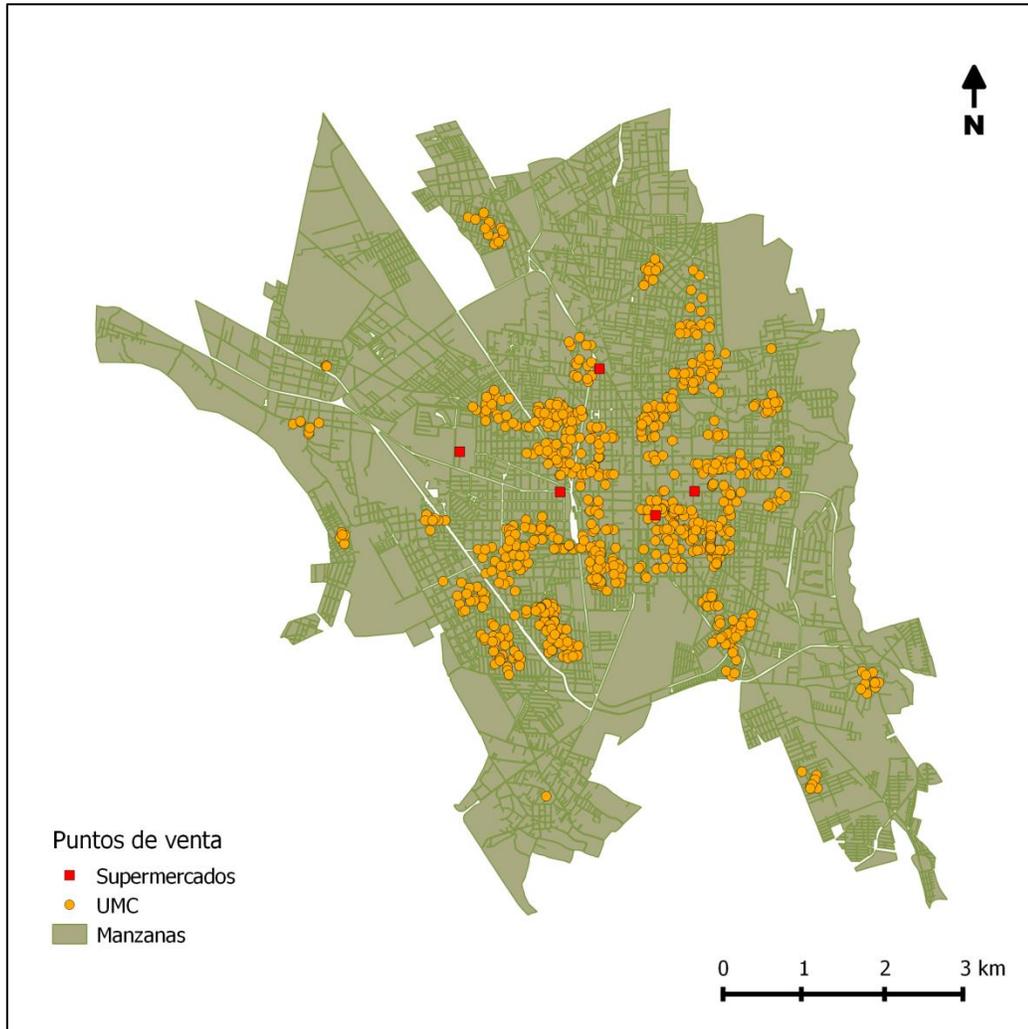
## 6.2 Segunda Región de Prueba: la Ciudad de Tehuacán

La segunda región usada para diseño y ajuste de los parámetros fue la ciudad de Tehuacán (Figura 6.5), que en este trabajo comprende sólo el núcleo urbano del municipio de Tehuacán, Puebla, excluyendo las áreas conurbadas de municipios aledaños. Esta zona fue elegida al ser el área urbana más grande de la región de estudio principal, la cual se verá más adelante.



**Figura 6.5. Ciudad de Tehuacán. Fuente: elaboración propia.**

En la ciudad de Tehuacán, inicialmente se trabajó a nivel de AGEB, y posteriormente a nivel de manzanas geoestadísticas; mientras que para los destinos, se emplearon en un comienzo los 5 supermercados de la ciudad y posteriormente se agregaron las 805 UMC identificadas (Figura 6.6), por lo que pueden exhibirse mapas con distintas combinaciones de estas cuatro condiciones: mapas de AGEB analizando 5 comercios u 810 comercios, y mapas de manzanas considerando 5 u 810 puntos de venta. Durante las primeras pruebas se omitió la aplicación del filtro socioeconómico, pero fue incluido en la última prueba. También hay que recordar que en esta región se utilizó el umbral de 20 minutos para los dos modelos de referencia.



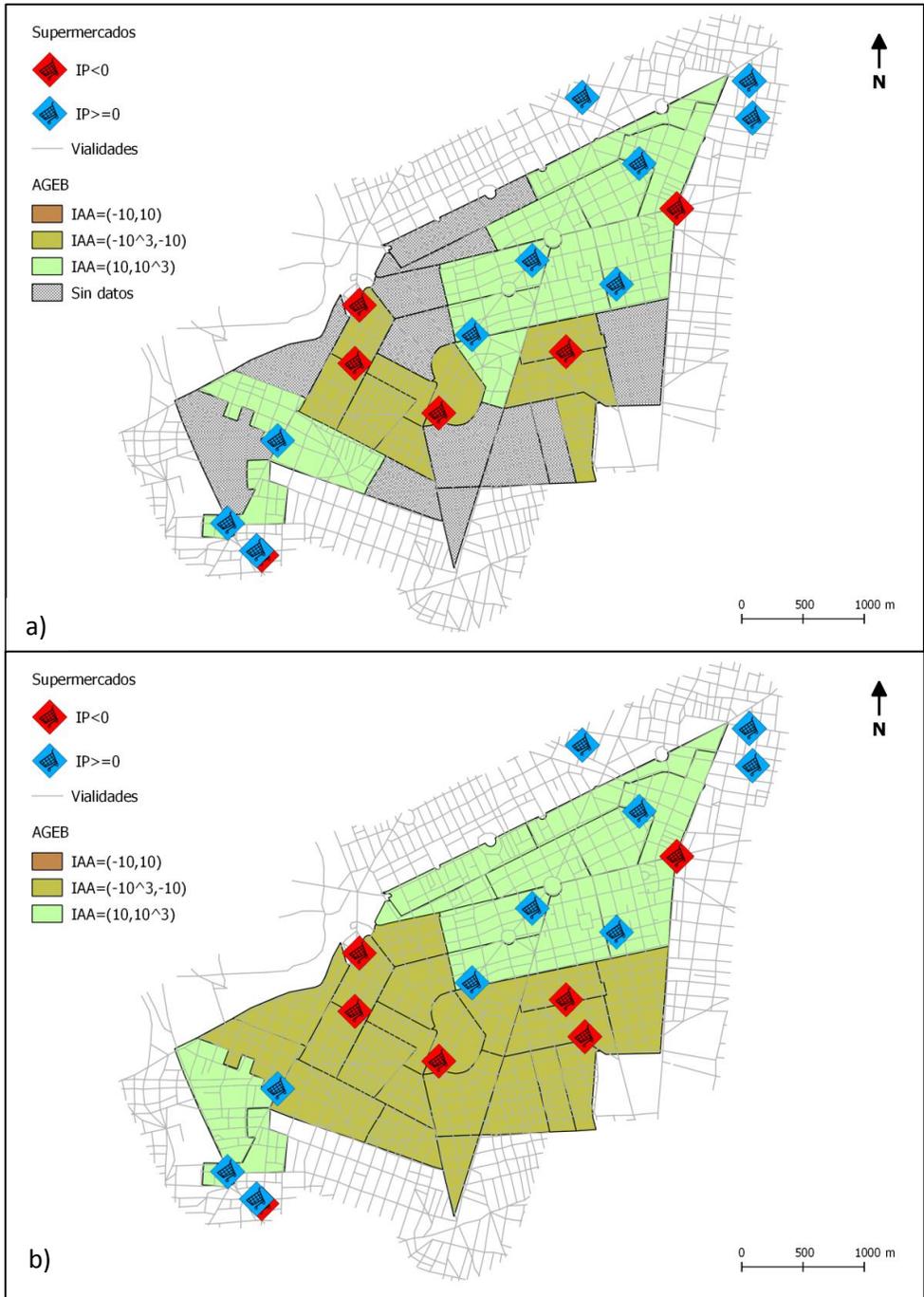
**Figura 6.6. Puntos de venta en la ciudad de Tehuacán. Fuente: elaboración propia.**

En las dos áreas para el ajuste de parámetros el esfuerzo central se orientó a la calibración y ajuste del índice de acceso alimentario. La versión inicial del modelo gravitacional fue tomada de Sevtsuk y Mekonnen (2012), e incluía un exponente de impedancia  $\beta$  calibrado en 0.1813 para el desplazamiento a pie medido en minutos:

$$IAA_0(i) = \sum_{j \in J | t_{ij} \leq \delta} \frac{(IP(j)_{div})^{-1}}{e^{\beta \cdot t_{ij}}} \quad (6.1)$$

Esta primera versión omite la constante de proporcionalidad por ser igual a la unidad, y evalúa sólo los destinos cuyo tiempo de viaje desde el origen fuera igual o menor al umbral.

La condición del umbral de distancia fue eliminada, ya que lo hace una medida más sintética, idéntica a las medidas de distancia mínima y oportunidad acumulada, y es un sesgo innecesario, pues con una adecuada calibración de la función de impedancia puede obtenerse el mismo efecto que da el condicionante del umbral. En la Figura 6.7 se observa el contraste entre la presencia y la ausencia de esta restricción para el corredor Juárez-Condesa.



**Figura 6.7. IAA en el corredor Juárez-Condesa: a) usando el condicional  $t_{ij} \leq \delta$ , y b) sin el condicional  $t_{ij} \leq \delta$ ; desplazamiento a pie. Fuente: elaboración propia.**

Posteriormente se omitió el uso del exponente  $\beta$ , ya que para ser utilizado de forma correcta, éste debe obtenerse a partir de estudios de comportamiento de viaje realizados sobre la población de interés (en el caso de  $\beta=0.1813$ , el exponente fue calibrado para la ciudad de Oakland (Handy y Niemeier, 1997)).

La versión del indicador de precios usada en la Ecuación (6.1), que fue la primera versión propuesta, corresponde a la razón entre el valor local de compra y el costo de referencia de la CBA:

$$IP(j)_{div} = \frac{\$(j)}{\$ref} \quad (6.2)$$

Para esta alternativa, la interpretación también fue muy sencilla: valores menores a 1 indican que el valor local es mayor al costo de referencia, 1 indica que son idénticos, y valores mayores a 1 indican que el valor local es menor al costo de referencia. Esta alternativa se puso a prueba de forma paralela con una transformación logarítmica y una exponencial de la misma, así como con una función definida por partes (Ecuación (6.3)), y también con la versión usada actualmente. La versión vigente, en la que se resta el valor local del costo de referencia (Ecuación (5.2)), prevaleció gracias a ser la que más claramente permite una identificación de rangos de valores que se puedan equiparar a las categorías de las medidas de distancia mínima y oportunidad acumulada, favoreciendo su clasificación cualitativa. En todos los ejercicios, se consideraron como costos de referencia los correspondientes al mes de abril de 2014: para la CBA urbana fue de 1224.98 pesos, mientras que el de la CBA rural fue de 857.08 pesos (CONEVAL, 2014).

$$IP(j)_{par} = \begin{cases} 1, & y\$(j) > \$ref \\ 10, & y\$(j) \leq \$ref \end{cases} \quad (6.3)$$

Dada la fuerte demanda de recursos que representa realizar una cotización en campo, el presente trabajo se vale de cotizaciones simuladas. El proceso para obtener dichas simulaciones también pasó por diversas etapas de desarrollo. En la primera fase, los valores de compra se simularon dentro de un rango  $\pm 10\%$  el costo de referencia de las CBA, por ejemplo, para la CBA urbana, con costo de \$1224.98, el rango para las simulaciones fue de los \$ 1102.48 a los \$ 1347.48.

El siguiente intento se centró en obtener una aproximación del valor real de los productos listados en la CBA, para lo que se tomaron como referencia los precios promedio utilizados por el INEGI para la elaboración del INPC y que son publicados mensualmente en el Diario Oficial de la Federación (INEGI, 2014). De esta base de datos de precios se obtuvieron los valores máximo y mínimo para cada producto de la CBA registrados en la ciudad más cercana a la zona de estudio y correspondiente a la misma entidad federativa, que en el caso de Tehuacán, fue la ciudad de Puebla, así como el promedio a nivel nacional, y con estos se construyeron los correspondientes valores máximo y mínimo locales para la CBA y su valor promedio a nivel nacional. Posteriormente se homologó el costo de referencia de la CBA con el valor promedio nacional y se utilizaron los máximos y mínimos de Puebla para estimar el rango local.

**Tabla 6.1. Rangos para la simulación de valores locales de la CBA derivados de los precios promedio del INPC.**

<b>CBA</b>	<b>Costo de referencia (\$)</b>	<b>Mínimo (\$)</b>	<b>Máximo (\$)</b>
Urbana	1224.98	628.38	1796.39
Rural	857.08	439.42	1249.69

Al ser simulados los valores de compra, carecen de cualquier representatividad de la variación local real. Para solucionar este problema, se optó por utilizar el número de empleados de cada establecimiento (dato disponible en la base de datos del DENUe y usado como indicador del tamaño del establecimiento) para dividir en intervalos el rango de simulación previamente calculado, de modo que a cada tamaño del establecimiento le corresponda un intervalo inversamente proporcional (Tabla 6.2), para después simular los valores de compra dentro de cada intervalo. Utilizar el tamaño del establecimiento como *proxy* de su tamaño económico es una práctica regular (Caspi *et al.*, 2012; Handy y Niemeier, 1997; Schenk *et al.*, 2007) y permite que los valores de compra, aunque sigan siendo simulados, reflejen en cierta medida la dimensión económica local, con lo que el análisis realizado puede ofrecer resultados más significativos y útiles, aun cuando el propósito de este trabajo no sea medir el acceso alimentario real.

Durante las tres etapas, se corrió el análisis usando distintas simulaciones, por lo que es posible que en el apartado de resultados de este trabajo, existan dos mapas de una misma región, de un mismo modelo o de un mismo proceso que muestren coropletas distintas.

**Tabla 6.2. Intervalos para la simulación de valores locales de la CBA por tamaño del establecimiento.**

<b>Tamaño del establecimiento</b>	<b>Intervalo CBA urbana (\$)</b>	<b>Intervalo CBA rural (\$)</b>
0 a 5 personas	1601.72 - 1796.39	1114.65 - 1249.69
6 a 10 personas	1407.05 - 1601.72	979.60 - 1114.65
11 a 30 personas	1212.39 - 1407.05	844.56 - 979.60
31 a 50 personas	1017.72 - 1212.39	709.51 - 844.56
51 a 100 personas	823.05 - 1017.72	574.47 - 709.51
101 a 250 personas	628.38 - 823.05	439.42 - 574.47

En todo el proceso de calibración del modelo gravitacional se probaron otras variantes del atractor derivadas del indicador de precios, y se probaron diversas funciones de impedancia. Una lista de todas las variantes del indicador de precios, del atractor y de las funciones de impedancia revisadas aparece en la Tabla 6.3.

Tabla 6.3. Parámetros probados en el diseño del IAA.

Indicador de precios	Descripción
$IP(j) = \$ref - \$(j)$	$IP(j)$ : indicador local de precios, calculado por resta $\$ref$ : costo de referencia de la CBA $\$(j)$ : valor local de compra de la CBA
$IP(j)_{div} = \frac{\$(j)}{\$ref}$	$IP(j)_{div}$ : indicador local de precios calculado por división
$IP(j)_{par} = \begin{cases} 1, y \$(j) > \$ref \\ 10, y \$(j) \leq \$ref \end{cases}$	$IP(j)_{par}$ : indicador local de precios definido por partes
Atractor	Descripción
$\log(IP(j)_{div})$	$IP(j)_{div}$ : indicador local de precios calculado por división
$e^{IP(j)_{div}}$	
$\$(j)$	$\$(j)$ : valor local de compra de la CBA
$1 - IP(j)_n$	$IP(j)_n$ : indicador de precios normalizado $IP(j)_n = \frac{\$(j) - \$(j)_{min}}{\$(j)_{max} - \$(j)_{min}}$ $\$(j)_{min}$ : valor local mínimo derivado del INPC $\$(j)_{max}$ : valor local máximo derivado del INPC
$\$(j)_{max} - \$(j)$	
Función de impedancia	Descripción
$e^{\beta \cdot t_{ij}}$	$\beta=0.1813$ $t_{ij}$ : tiempo de viaje entre origen y destino
$t_{ij} + 1$	
$(t_{ij} + 1)^2$	
$2^{t_{ij}}$	
$e^{t_{ij}}$	

Por último, el criterio de clasificación para el modelo de oportunidad acumulada (página 32) también fue modificado, pues originalmente asignaba como espejismo cualquier unidad con índice de espejismo mayor a cero, resultando muy abrupto y ocasionando un sesgo similar al del cálculo del área de cobertura (Cuadro 6.1). En cambio, al utilizar el criterio de mayoría absoluta este sesgo se equilibra y se suaviza la transición entre espejismos y oasis.

### 6.3 Método de Comparación

Para confrontar los resultados y el comportamiento del IAA respecto a los otros dos modelos, se recurre en primer lugar a comparar visualmente la distribución y extensión de cada categoría de accesibilidad alimentaria (desierto, espejismo, oasis) en los mapas de resultados de cada uno de los modelos; de esta comparación se estiman los rangos del IAA que corresponderían a cada una de las categorías, calibrando este modelo para que ofrezca la mejor concordancia con los modelos de referencia.

Posteriormente, para efectuar la comparación en términos cuantitativos y espaciales, se coteja vis a vis el resultado obtenido en cada unidad geoestadística mediante las tres medidas de accesibilidad, obteniendo los valores acumulados de concordancia para cada categoría de acceso alimentario, así como el total global, expresándolo como porcentaje del total de unidades incluidas en la medición. Esta estrategia de comparación, a diferencia de pruebas estadísticas convencionales, tiene la ventaja de que es específica para cada ubicación, al utilizar la clave geoestadística única para cada manzana/localidad, indicando si para una manzana en específico existe coincidencia entre los tres modelos, o entre dos de ellos, indicando cuáles; preservando en todo momento la importancia del aspecto espacial. Adicionalmente, el uso de PostgreSQL es ideal para esta labor.

**Tabla 6.4. Ejemplificación del método de comparación espacial entre los tres modelos.**

Manzana	Resultado por modelo			Concordancia			
	dmin	opac	IAA	dmin-IAA	opac-IAA	dmin-opac	triple
11533035	espejismo	desierto	espejismo	espejismo	–	–	–
11641001	espejismo	espejismo	desierto	–	–	espejismo	–
10380020	desierto	espejismo	desierto	desierto	–	–	–
11410018	espejismo	desierto	desierto	–	desierto	–	–
11694005	desierto	desierto	desierto	desierto	desierto	desierto	desierto
11266024	espejismo	espejismo	espejismo	espejismo	espejismo	espejismo	espejismo
11374044	oasis	espejismo	espejismo	–	espejismo	–	–
11374046	desierto	oasis	espejismo	–	–	–	–
11656023	oasis	oasis	espejismo	oasis	–	–	–
11340068	desierto	desierto	desierto	desierto	desierto	desierto	desierto
11340060	oasis	espejismo	oasis	–	–	oasis	–
11073004	espejismo	desierto	desierto	–	desierto	–	–
11285028	espejismo	espejismo	desierto	espejismo	–	–	–
11285023	desierto	espejismo	desierto	–	–	desierto	–
10605016	desierto	espejismo	espejismo	–	–	espejismo	–
	<b>Desierto</b>			3	5	3	2
	<b>Espejismo</b>			3	2	3	1
	<b>Oasis</b>			1	0	1	0
	<b>Total</b>			<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>3</b>
	<b>% (de 15)</b>			<b>46.67</b>	<b>46.67</b>	<b>46.67</b>	<b>13.33</b>

## 6.4 El Caso de Estudio: la Región de Tehuacán

Terminados todos los ajustes en los tres modelos y en el indicador de precios, el paso siguiente fue realizar la prueba formal en un área de estudio elegida de acuerdo al criterio considerado en la propuesta metodológica. Dada la multitud de municipios del país que lamentablemente reportan valores considerables de pobreza alimentaria ( $\%PAL > 19.4$ ) y de carencia de acceso a los alimentos ( $\%CAA > 24.9$ ), arbitrariamente se eligieron los municipios del estado de Puebla que aparecen en la Tabla 6.5. En el caso del municipio de Tehuacán, aunque no cumple completamente con el criterio primario de elección, se incluye en esta zona de estudio ya que en él se encuentra el principal centro urbano de la región.

Tabla 6.5. Selección de municipios para la determinación del acceso alimentario.

Municipio	%PAL	%CAA
Ajalpan	46	42.3
Eloxochitlán	74.9	36.8
San Antonio Cañada	54	51.7
Tehuacán	18.8	28
Vicente Guerrero	61.5	64.2

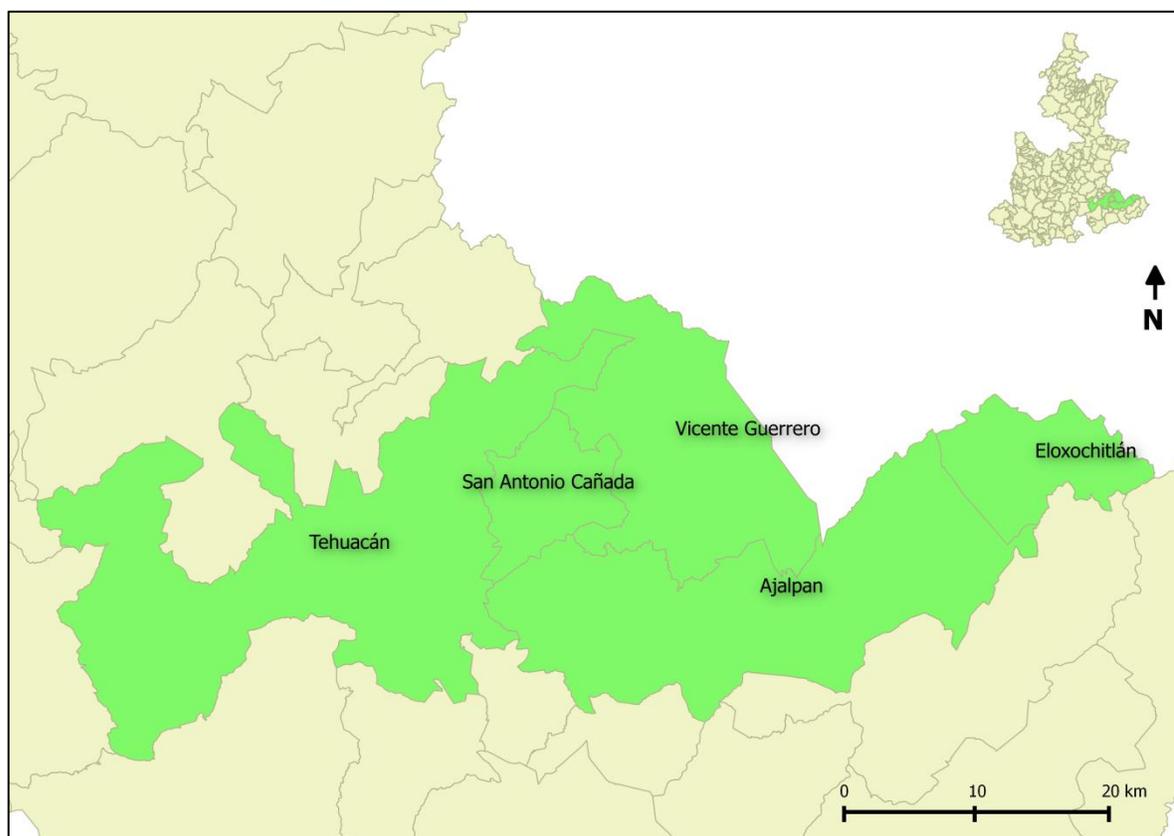


Figura 6.8. Selección de municipios para la determinación del acceso alimentario. Fuente: elaboración propia.

Este conjunto de municipios, indicado como región de Tehuacán, comparte características más o menos homogéneas en cuanto a relieve montañoso, clima, la ausencia de cuerpos de agua importantes, y que están dedicados principalmente a la agricultura, como se verifica en los correspondientes prontuarios de información estadística y geográfica municipal (INEGI, 2014). Otro aspecto notable es que son espacialmente contiguos (Figura 6.8), y sin embargo, para los municipios de Vicente Guerrero y Eloxochitlán, el principal acceso terrestre está disponible a través de un entronque carretero entre las ciudades de Orizaba y Tehuacán, lo que proporciona una buena oportunidad para evaluar el comportamiento del índice de acceso alimentario respecto a la presencia de barreras espaciales como son las lentas vías que comunican directamente a estos municipios con la ciudad de Tehuacán.

Se efectuó también el análisis sólo sobre la ciudad de Tehuacán, con el propósito de evaluar la sensibilidad del modelo a la distancia, suponiendo que en caso de que sea altamente sensible a lo local, los resultados obtenidos variarán muy poco entre la ciudad de forma aislada y la ciudad como parte de toda la región.

Ya elegida la zona de estudio, al aplicar el filtro socioeconómico, las unidades geoespaciales se redujeron como se muestra en la Tabla 6.6. Ésta también deja ver el peso del núcleo urbano de Tehuacán en toda la región, pues del total de 4354 unidades geoestadísticas, de las cuales 4091 son manzanas urbanas, 3416 constituyen la ciudad de Tehuacán.

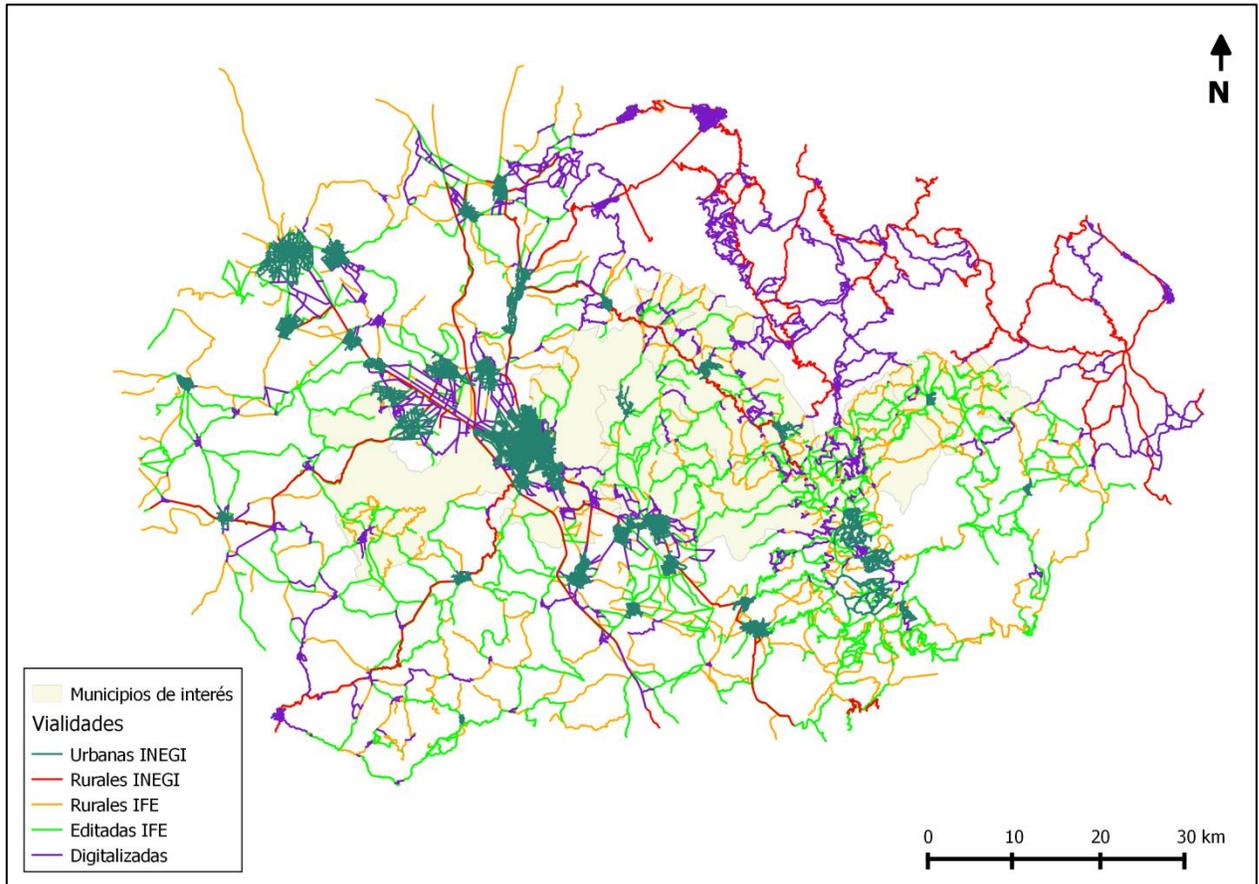
**Tabla 6.6. Unidades geoespaciales antes y después de aplicar el filtro socioeconómico.**

Región de Tehuacán	Conteo inicial	Población nula	tph>3.9	gpe<8.6	Excluidas*	Omitidas**	Conteo final
Manzanas urbanas	4091	392	2089	2099	1139	0	2952
Localidades rurales	263	0	190	218	1	50	212
Totales	4354	392	2279	2317	1140	50	3164
Ciudad de Tehuacán	3416	324	1636	1606	1060	0	2356

\* Unidades geoestadísticas excluidas por reportar población nula o por el filtro socioeconómico.  
 \*\* Unidades geoestadísticas omitidas por las características espaciales y topológicas de capa de datos de vialidades.

Durante el trabajo con esta región, en especial al haber incluido localidades rurales para su análisis, se encontró un serio problema respecto a la información de vialidades disponible. Los datos tomados del INEGI, aunque muy completos y bien elaborados para las vialidades urbanas, mostraron una gran carencia en el entorno rural, siendo prácticamente inservibles para el análisis dado que dejaban inconexas a la gran mayoría de localidades rurales. En un intento por resolver esta falla, se optó por utilizar una capa de datos espaciales procedente del Instituto Federal Electoral (IFE) que incluía muchas más vialidades rurales (además de velocidades asignadas) que su contraparte del INEGI, sin embargo, después de usarla para el análisis, se identificó nuevamente una escasa conectividad en muchas localidades rurales, debida nuevamente a la falta de datos y también a problemas topológicos inherentes a la capa vectorial, extendiéndose éstos últimos a las vialidades urbanas y afectándolas negativamente. Para solucionar este conflicto fueron necesarias tres acciones: 1) se combinaron las vialidades urbanas procedentes del INEGI, que son totalmente funcionales, con las vialidades rurales de ambas fuentes; 2)

se digitalizaron 1722.12 Km de vialidades rurales faltantes para llegar a un total de 8274.66 Km; y, 3) se corrigieron los errores topológicos de la capa vectorial del IFE, generando 5136 nuevos objetos para un total de 34226.



**Figura 6.9. Edición de las vialidades en la zona de estudio. Fuente: elaboración propia.**

Como resultado de todas las ediciones y correcciones topológicas en la capa vectorial de vialidades se logró que de un inicial 50% de parejas origen-destino inconexas durante el análisis (incluida la gran mayoría de las localidades rurales), el valor se redujera a apenas 1.14%.

## 7 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

### 7.1 El Comportamiento General del Índice de Acceso Alimentario

El IAA genera como resultado un continuo de valores en el dominio de los números reales. En algunas de las pruebas, se identificó empíricamente que los tres rangos de valores que se aproximan a la clasificación en desiertos, espejismos y oasis que hacen los otros dos modelos, corresponden a valores muy cercanos a cero, valores negativos, y valores positivos, respectivamente; restando determinar el grado de precisión con que se ceñirá el rango de valores para el desierto. Esta facilidad de categorización deriva de la forma en que se ha construido la ecuación final del IAA (Ecuación (5.3)): la función de impedancia, al ser una exponencial crece muy rápidamente conforme aumenta la distancia que separa al origen de cada destino, y al ser negativa ocasiona que el cociente decrezca de forma igualmente acelerada, resultando en valores muy pequeños del IAA para distancias importantes, destacando el componente físico del acceso alimentario y permitiendo la identificación de desiertos, mientras que para distancias menores, entra en juego el indicador de precios que, al ser calculado como una resta, permite la existencia de valores tanto positivos como negativos, haciendo el modelo sensible al componente económico del entorno alimentario y dando lugar a la distinción entre espejismos y oasis, misma que en el caso de los modelos de distancia mínima y oportunidad acumulada se hace operativa únicamente a través del índice de espejismo.

En las primeras pruebas, el rango del IAA característico para los desiertos se definió en  $(-1E-6, 1E-6)$ , y en versiones sucesivas el exponente varió entre -6 y -3, compensándolo con el uso de la constante de proporcionalidad  $k$ , por lo que el paso final fue ajustarla en  $k=10^6$ , llegando a la versión final del índice de acceso alimentario.

En otras pruebas revisadas, no fue posible determinar visualmente esos tres rangos, por lo que fueron descartadas, incluida la primera versión del IAA (Ecuación (6.1)), siendo ésta la primera razón para probar nuevos ajustes en los parámetros, y en especial para experimentar con nuevos indicadores de precios y nuevas versiones del atractor. Los rangos de categorización identificados para cada prueba del IAA, se muestran en la Tabla 7.1.

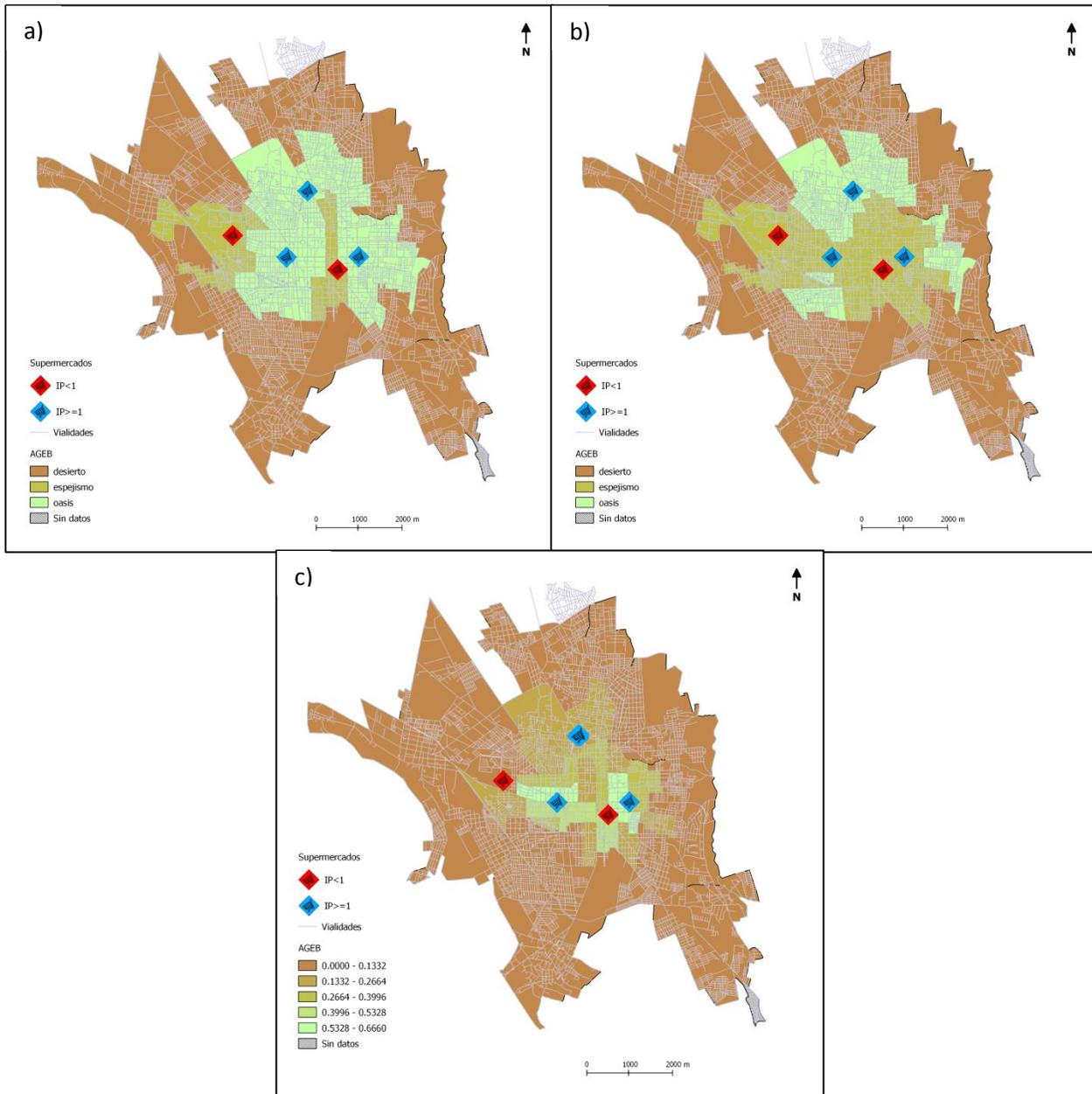
Tabla 7.1. Pruebas de ajuste del IAA y sus rangos de clasificación estimados.

Identificador	Parámetros de la prueba*	Rangos estimados**
iaa0	$IAA_0(i) = \sum_{j \in J   t_{ij} \leq \delta} \frac{(IP(j)_{div})^{-1}}{e^{0.1813 \cdot t_{ij}}}$	D=No Identificado (N/I) E=N/I O=N/I
iaa_exp	$IAA(i) = \sum_{j \in J   t_{ij} \leq \delta} \frac{e^{IP(j)_{div}}}{e^{0.1813 \cdot t_{ij}}}$	D=N/I E=N/I O=N/I
iaa_log	$IAA(i) = \sum_{j \in J   t_{ij} \leq \delta} \frac{\log(IP(j)_{div})}{e^{0.1813 \cdot t_{ij}}}$	D=(-1E-4,1E-4) E=(-R,-1E-4] O=[1E-4,+R)
iaa1	$IAA(i) = \sum_{j \in J} \frac{(IP(j)_{div})^{-1}}{e^{t_{ij}}}$	D=N/I E=N/I O=N/I
iaa2	$IAA(i) = \sum_{j \in J} \frac{IP(j)}{e^{t_{ij}}}$	D=(-1E-6,1E-6) E=(-R,-1E-6] O=[1E-6,+R)
iaa3	$IAA(i) = \sum_{j \in J} \frac{IP(j)}{t_{ij} + 1}$	D=N/I E=N/I O=N/I
iaa4	$IAA(i) = \sum_{j \in J} \frac{IP(j)}{(t_{ij} + 1)^2}$	D=(2,7) E=(-R,2) O=(7,+R)
iaa5	$IAA(i) = \sum_{j \in J} \frac{IP(j)}{2^{t_{ij}}}$	D=(-1E-3,1E-3) E=(-R,-1E-3] O=[1E-3,+R)
iaa6	$IAA(i) = \sum_{j \in J} \frac{\$(j)}{e^{t_{ij}}}$	D=N/I E=N/I O=N/I
iaa7	$IAA(i) = \sum_{j \in J} \frac{1 - IP(j)_n}{e^{t_{ij}}}$	D=N/I E=N/I O=N/I
iaa8	$IAA(i) = \sum_{j \in J} \frac{\$(j)_{max} - \$(j)}{e^{t_{ij}}}$	D=N/I E=N/I O=N/I
iaa9	$IAA(i) = \sum_{j \in J} \frac{IP(j)_{par}}{e^{t_{ij}}}$	D=N/I E=N/I O=N/I

\* Los elementos y su descripción son detallados en la Tabla 6.3.  
\*\* Los rangos aparecen en el orden: desierto (D), espejismo (E), oasis (O).

La imposibilidad de identificar rangos para algunas pruebas del IAA se hace evidente en la Figura 7.1, que muestra la comparativa para la prueba iaa1. Los casos a) y b) corresponden a las medidas de distancia mínima y oportunidad acumulada, respectivamente, coloreados de la manera habitual; mientras que el caso c), donde se usa una paleta de color similar –asignando el tono más oscuro a los valores más bajos y

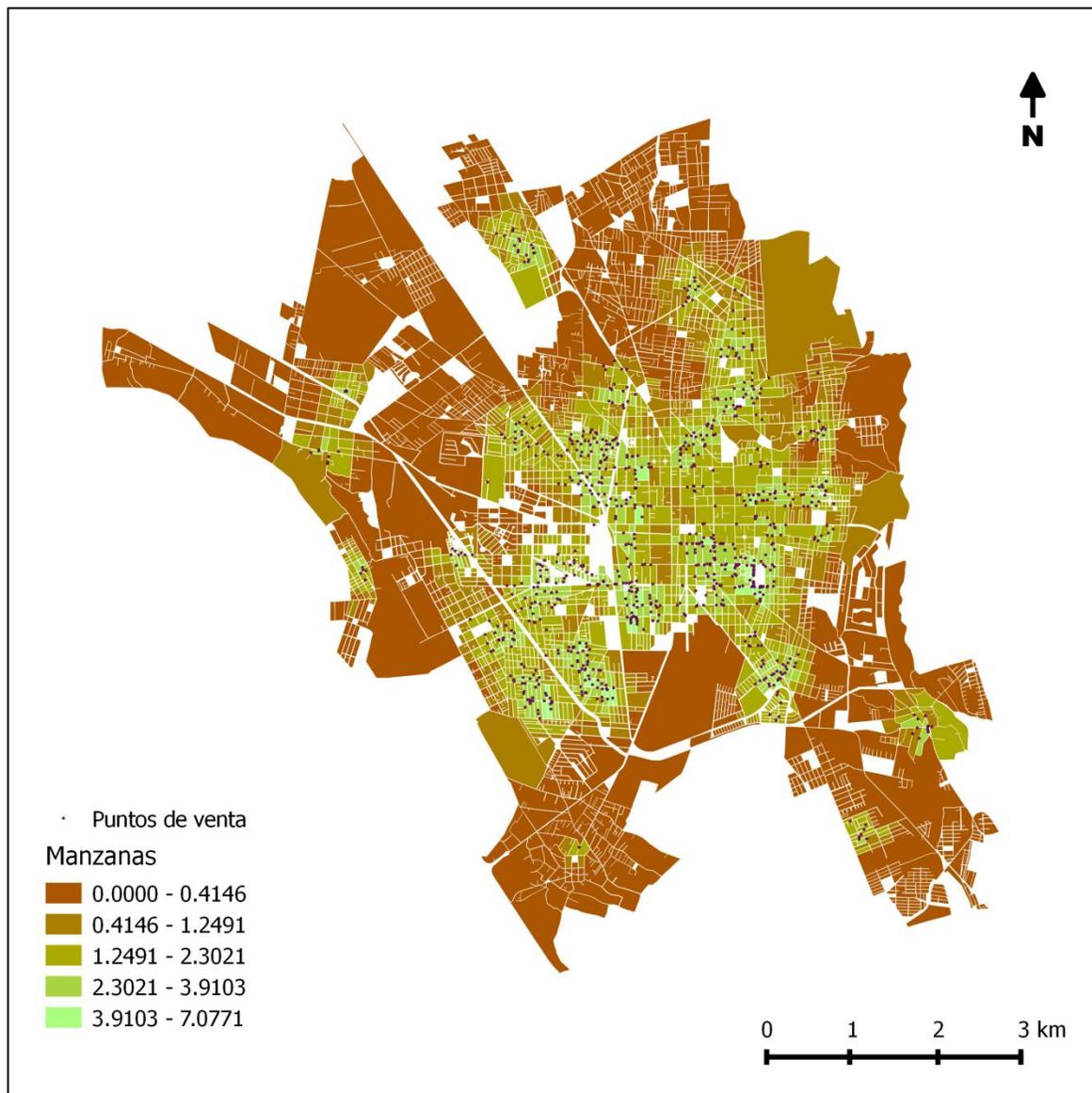
el tono más claro a los valores más altos— permite apreciar la dificultad de homologar los valores resultantes de esta prueba a la categorización de los otros dos modelos.



**Figura 7.1. Comparativa entre los tres modelos: a) distancia mínima, b) oportunidad acumulada, y c) prueba iaa1. Ciudad de Tehuacán, desplazamiento a pie. Fuente: elaboración propia.**

En el caso de las pruebas iaa6, iaa7 e iaa8, cuyo comportamiento es muy semejante, es importante destacar que estas formulaciones obedecen más al componente espacial del modelo, siendo potencialmente útiles para determinar el área de influencia de los puntos de venta, o la centralidad de las manzanas juzgándola sobre su accesibilidad física a los comercios de alimentos, pues asigna los

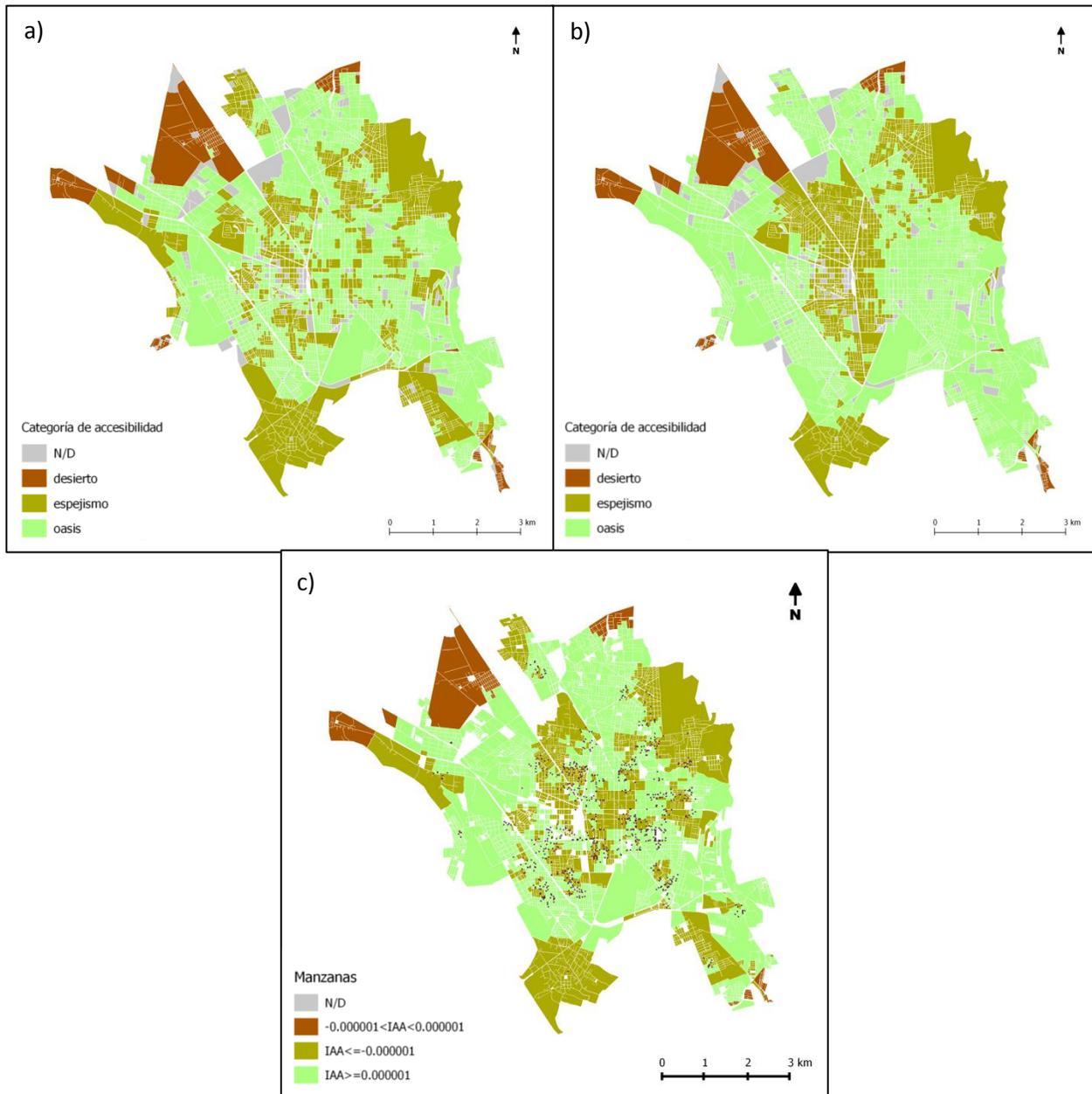
valores más altos del índice a las manzanas más próximas a los puntos de venta, y a aquellas con mayor número de comercios alrededor (Figura 7.2). Sin embargo, al minimizar el aporte del componente económico, su utilidad para el propósito perseguido en este trabajo fue despreciable.



**Figura 7.2. Resultados de la prueba iaa7. Ciudad de Tehuacán, desplazamiento a pie. Fuente: elaboración propia.**

Para las pruebas iaa\_log, iaa2 –que definió la versión final del índice– e iaa5, puede observarse el comportamiento favorable del IAA. Por un parte, el continuo de valores resultantes que oscila entre negativos y positivos, como ya se ha mencionado, permite identificar claramente al menos tres rangos equiparables con la categorización en desiertos, espejismos y oasis de los modelos usados como referencia (Figura 7.3), constituyendo el primer indicio de que el IAA puede imitar y sustituir

convenientemente a las medidas de distancia mínima y de oportunidad acumulada en la determinación del acceso alimentario físico y económico.



**Figura 7.3. Comparativa entre los tres modelos: a) distancia mínima, b) oportunidad acumulada, y c) prueba iaa2. Ciudad de Tehuacán, desplazamiento a pie. Fuente: elaboración propia.**

Por otra, parte, el IAA se muestra altamente sensible a la presencia de comercios y su atractor económico, dibujando con precisión las fronteras entre los tres niveles de acceso alimentario en función

de los puntos de venta (Figura 7.4 y Figura 7.5). Esta cualidad también indica la utilidad del IAA para evaluar cambios temporales en una misma región.

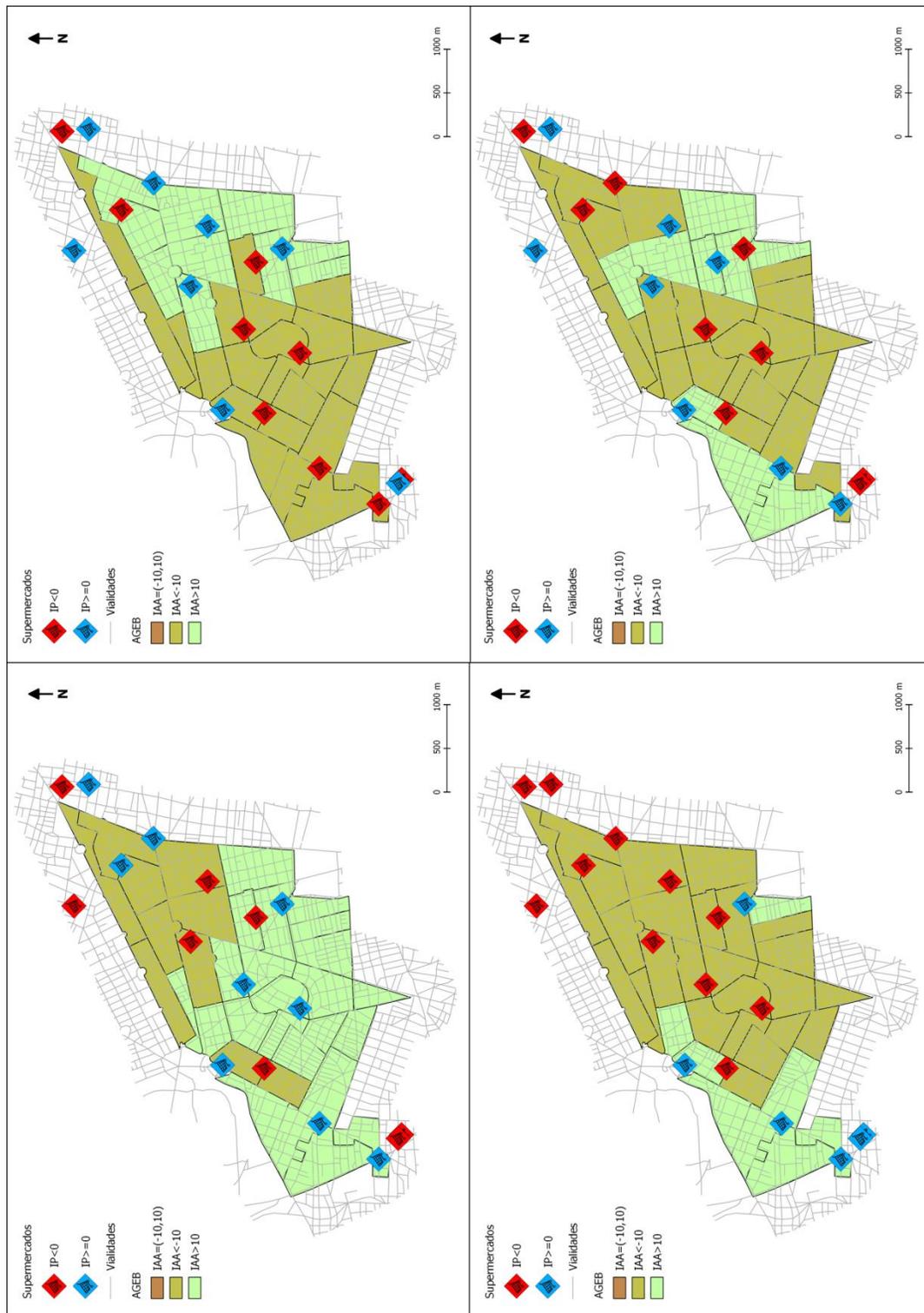


Figura 7.4. Corredor-Juárez Condesa, prueba iaa2, desplazamiento a pie,  $k=10$ <sup>7</sup>. Cuatro simulaciones distintas del valor local de compra demuestran la sensibilidad del IAA a los cambios locales. Fuente: elaboración propia.

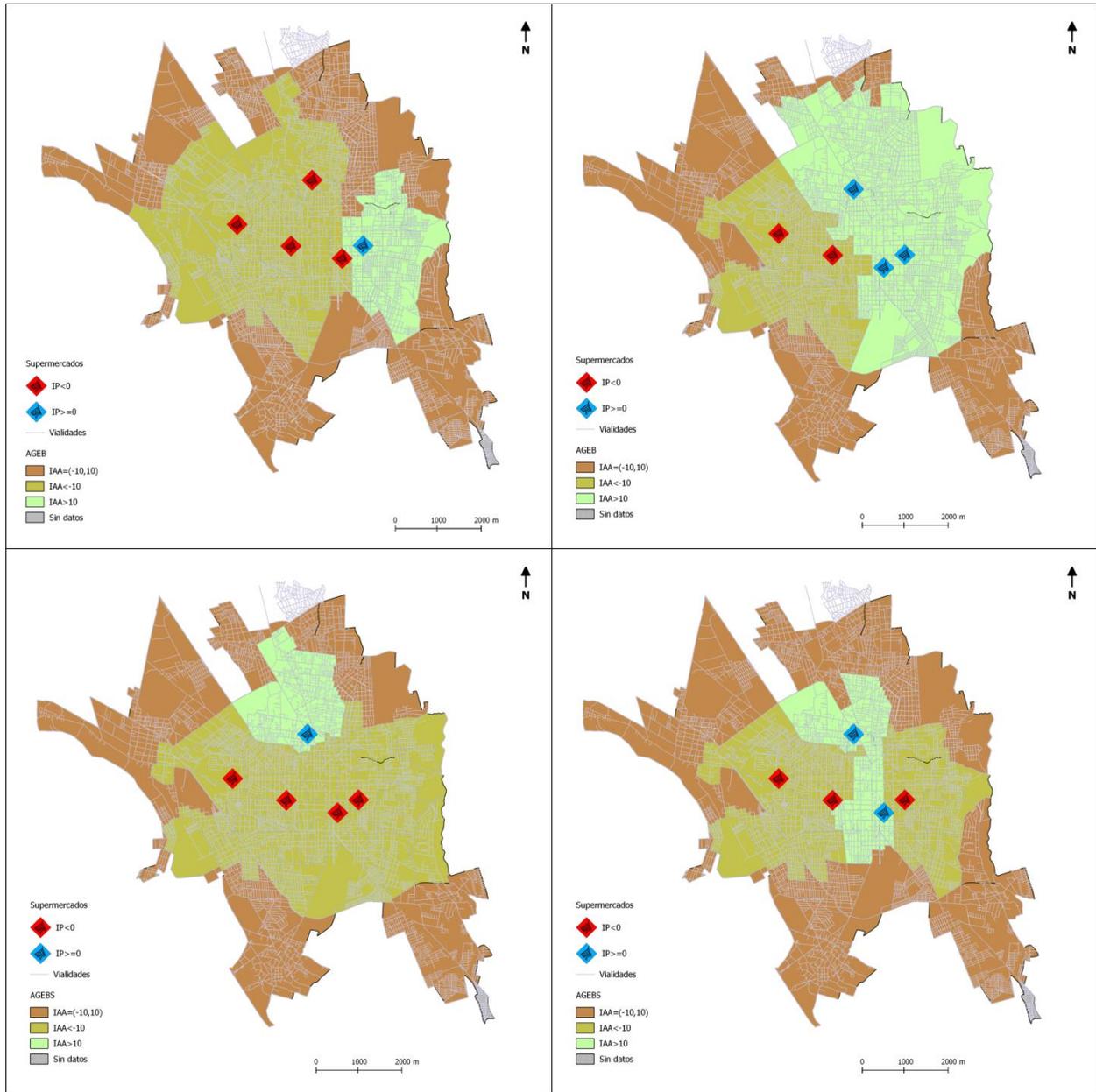


Figura 7.5. Ciudad de Tehuacán, prueba iaa2, desplazamiento a pie,  $k=10^7$ . Cuatro simulaciones distintas del valor local de compra demuestran la sensibilidad del IAA a los cambios locales. Fuente: elaboración propia.

## 7.2 El Indicador de Precios

En el caso del indicador de precios definitivo, su aporte al IAA es muy significativo ya que permite evaluar claramente la dimensión económica del acceso alimentario y lo sintetiza de forma conveniente en los valores resultantes del IAA. Sin embargo, dos problemas fueron identificados en la utilización del IP calculado como resta.

El primero de estos problemas es que dada la estructura del IAA, ocurre que un comercio con indicador de precios igual a cero prácticamente desaparece del análisis, pues el cociente de dividir cero entre cualquier número distinto de cero, es cero, por lo que el aporte que dicho destino hace a la sumatoria del IAA para cualquier origen es nulo. En todas las simulaciones de valores de compra realizadas nunca se obtuvo un  $IP=0$ , no obstante este problema fue identificado al asignar deliberadamente un  $IP=0$  a todos los comercios del corredor Juárez-Condesa (Figura 7.6), ocasionando que los resultados del IAA para toda el área correspondieran a un desierto alimentario. A consecuencia de este ejercicio fue posible identificar el segundo problema.

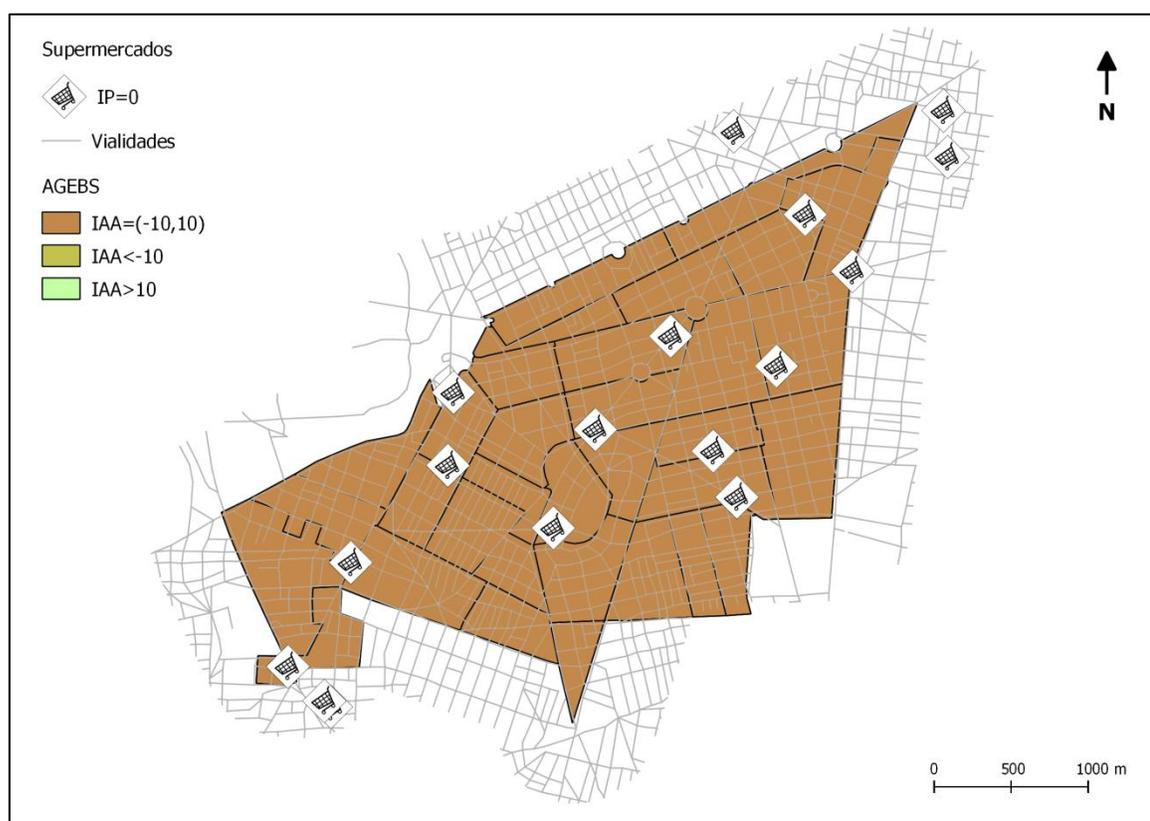
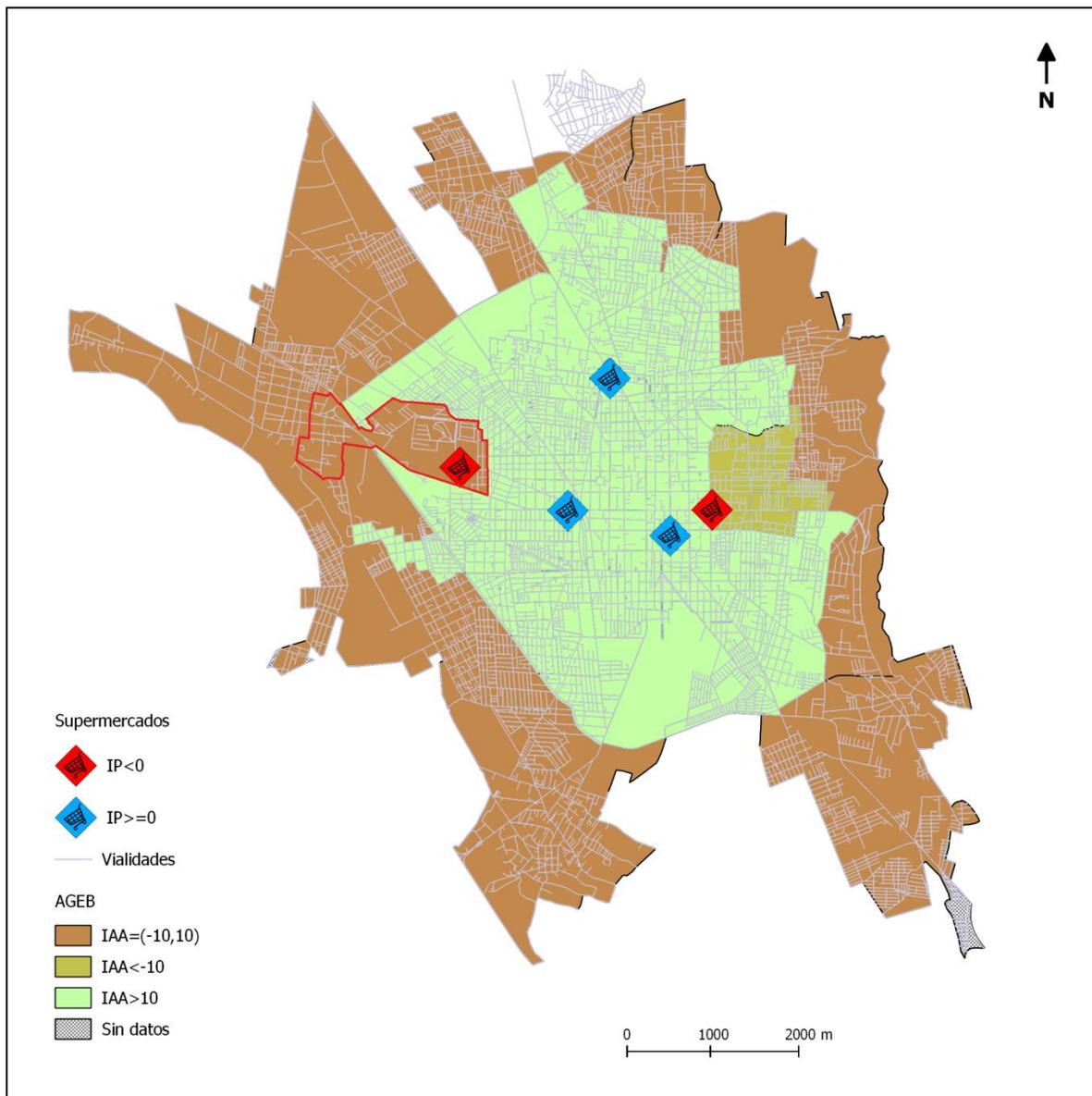


Figura 7.6. Corredor Juárez-Condesa: efecto del  $IP=0$  en el IAA. Prueba  $iaa2$ ,  $k=10^7$ . Fuente: elaboración propia.

Dentro de la sumatoria del IAA, cada cociente individual hereda el signo del IP del destino que está siendo evaluado, por lo que la sumatoria reúne un conjunto de sumandos positivos y negativos de diferentes magnitudes, pero en el caso en que el total de las magnitudes positivas y el total de las

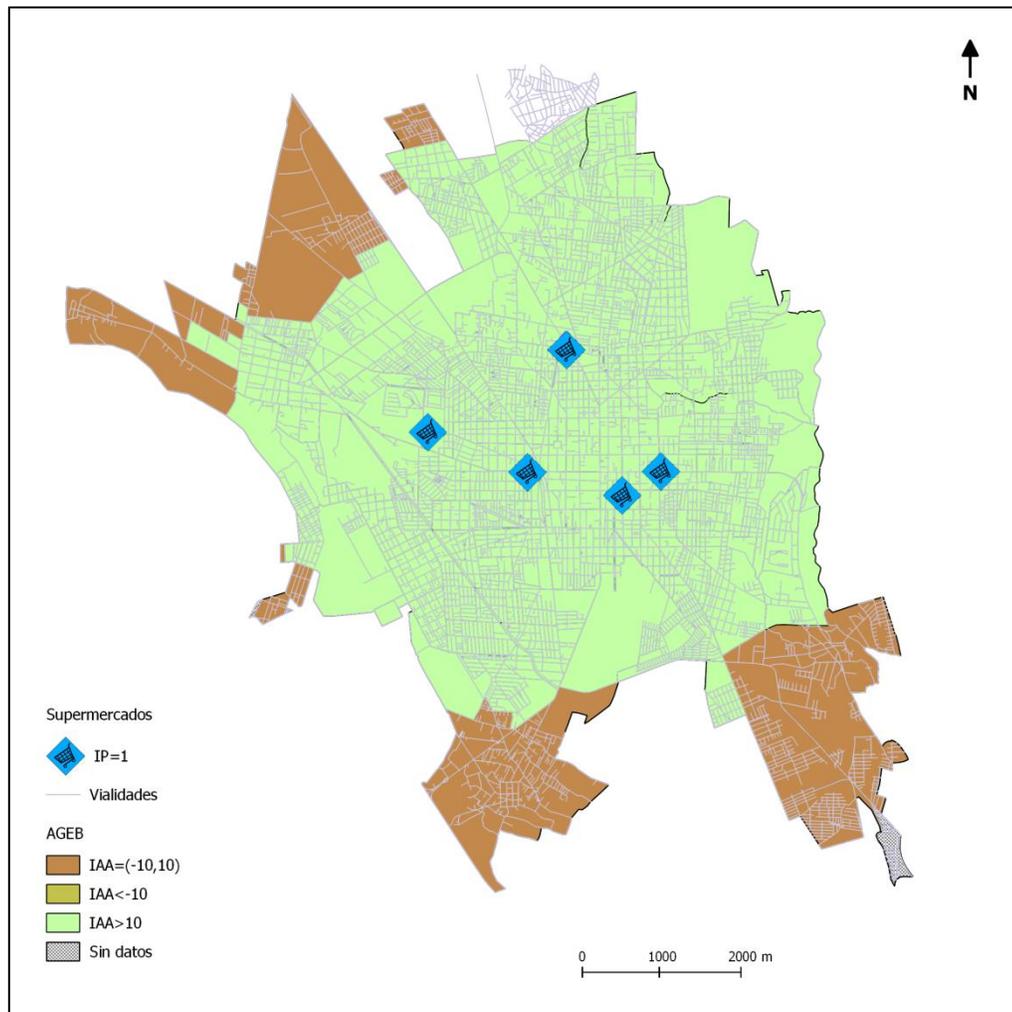
magnitudes negativas sean muy semejantes, éstas se cuasi-neutralizan y el resultado arrojado por la sumatoria y por el IAA será un valor extremada y artificialmente cercano a cero, constituyendo el segundo problema del IP. Recordando, los valores circundantes a cero son característicos del desierto alimentario, pero sólo cuando son producto del rápido decaimiento del IAA derivado de la función exponencial negativa, de ahí que se indique que los valores derivados de una sumatoria casi neutralizada son artificialmente cercanos a cero, y en la categorización cualitativa del acceso alimentario generan lo que se denomina como “falsos desiertos”: orígenes cuya proximidad a los puntos de venta de alimentos forzosamente les provee de un acceso físico adecuado, pero cuyo valor del IAA hace suponer falzamente lo contrario, y que en el caso de AGEB y manzanas urbanas pueden identificarse con facilidad, ya que están rodeados en su mayoría por espejismos y/u oasis (Figura 7.7).



**Figura 7.7. Presencia de un falso desierto (delineado en rojo) en la ciudad de Tehuacán. Prueba iaa2 con  $k=10^7$ , desplazamiento a pie. Fuente: elaboración propia.**

El afán de evitar la aparición de estos falsos desiertos fue la segunda razón para nuevas versiones del atractor, desafortunadamente, como ya se ha visto, el comportamiento del IAA más apegado a los modelos de referencia se obtiene usando el IP calculado como resta.

La cuasi-neutralización de la sumatoria es un problema inherente del cálculo del IP como resta, y en parte también de la forma en que se han simulado los valores locales de la CBA, especialmente de las simulaciones hechas en el rango  $\pm 10\%$  del costo de referencia de la CBA, de ahí que se buscara simular valores más cercanos a la realidad al usar como referencia los precios promedios del INPC y posteriormente ajustándolos al tamaño económico de los puntos de venta.



**Figura 7.8. Identificación de los desiertos obligados: Prueba iaa2 con  $k=10^7$  e  $IP=1$  en todos los comercios. Ciudad de Tehuacán, desplazamiento a pie. Fuente: elaboración propia.**

Aunque en el tiempo dedicado a la parte experimental de esta tesis no fue posible resolver cabalmente este problema, las acciones enumeradas en el párrafo anterior promovieron la reducción de los falsos desiertos, por lo que se puede esperar que el uso de valores de compra reales obtenidos mediante cotizaciones en campo contribuya aún más a su erradicación y favorezca el uso del IAA.

Subyacente a este problema está la imposibilidad de identificar de manera objetiva los falsos desiertos. Resultan casi evidentes en la revisión visual del mapa resultante, pero sólo cuando se trata de AGEB o manzanas, y no es una tarea sensata para realizarse de forma sistemática sobre cientos o miles de unidades geoestadísticas. La forma más sencilla sería efectuar una segunda corrida del IAA asignando a todos los puntos de venta el mismo valor para el IP, por ejemplo  $IP=1$ , con lo que el modelo sólo consideraría las distancias origen-destino, dando como resultado la máxima extensión posible para espejismos u oasis, o dicho de otro modo, dando como resultado los desiertos obligados, es decir, aquellos orígenes que, sin importar las variaciones económicas en los destinos, siempre serán desiertos, pues están demasiado lejos de cualquier punto de venta (Figura 7.8). Sin embargo, este procedimiento actuaría en detrimento del uso del IAA como una medida única. Cabe mencionar que la Figura 7.8 representa también el resultado que se obtendría al aplicar la medida de distancia mínima o la medida de oportunidad acumulada sin utilizar el índice de espejismo, es decir, como se empleaban originalmente, considerando sólo la dimensión física del acceso alimentario.

### **7.3 Retomando el Índice de Acceso Alimentario**

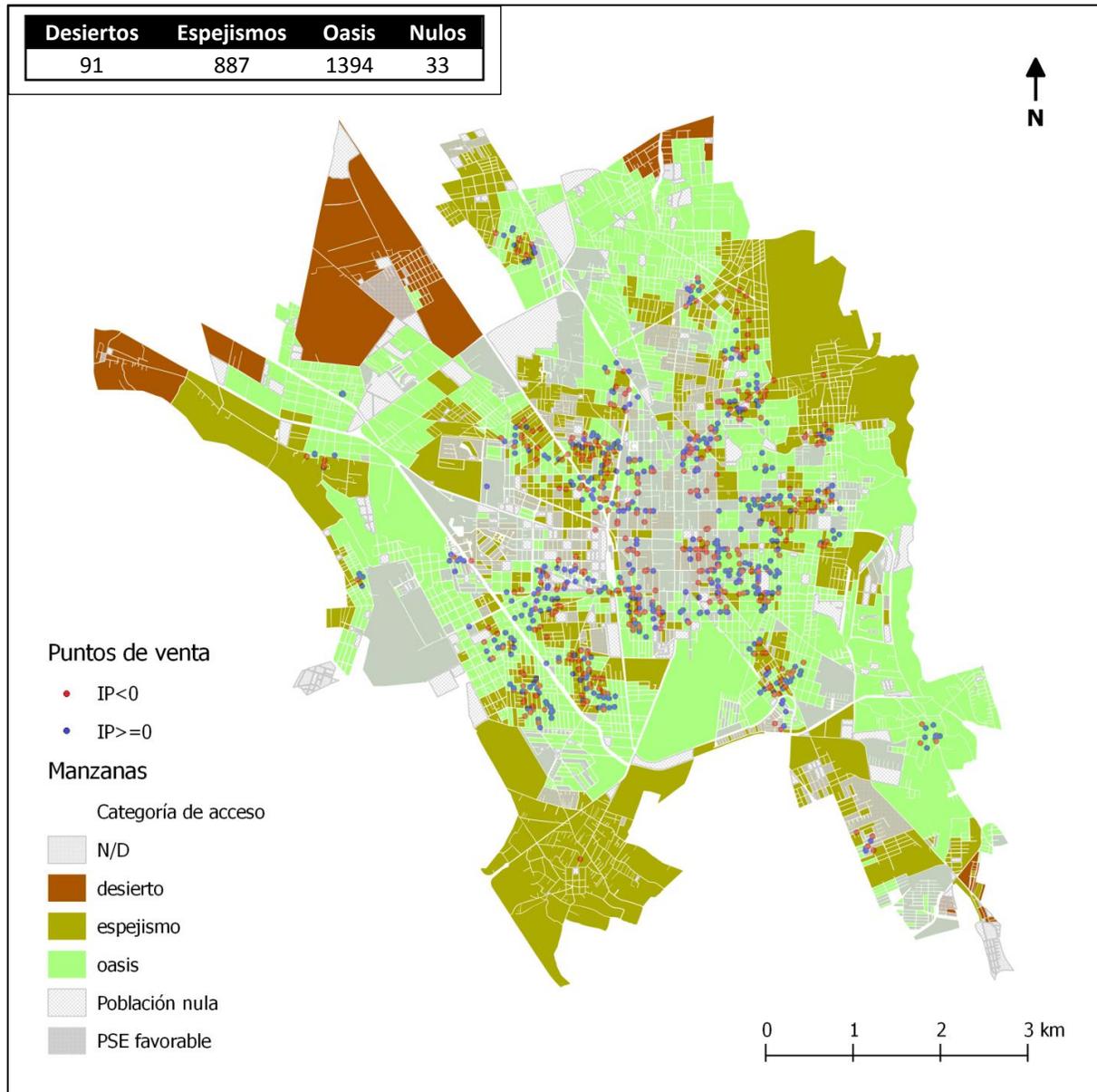
Una vez que se emplean los rangos para asignar los resultados del IAA a las categorías de desierto, espejismo y oasis, es necesario adquirir una mejor noción de qué tan bien se ajusta su comportamiento al de las medidas de referencia. Es entonces cuando entra en juego el método de comparación cuantitativo (página 44), que permite sintetizar toda la información disponible en cada terna de mapas en un breve conjunto de tablas, destacando el número total de coincidencias individuales entre el IAA y cada uno de los otros dos modelos, ofreciendo evidencia más clara sobre la bondad de ajuste del comportamiento de aquél respecto a éstos, en especial en regiones de estudio extensas y con gran cantidad de unidades geoestadísticas, como son la ciudad y la región de Tehuacán.

En todos los casos siguientes, se hace referencia a la versión final del índice de acceso alimentario, utilizando como rangos de clasificación  $(-1,1)$  para desiertos,  $(-\mathbb{R},-1]$  para espejismos, y  $[1,+\mathbb{R})$  para oasis; asimismo, en los mapas no se reportan resultados para las unidades geoestadísticas excluidas (Tabla 6.6).

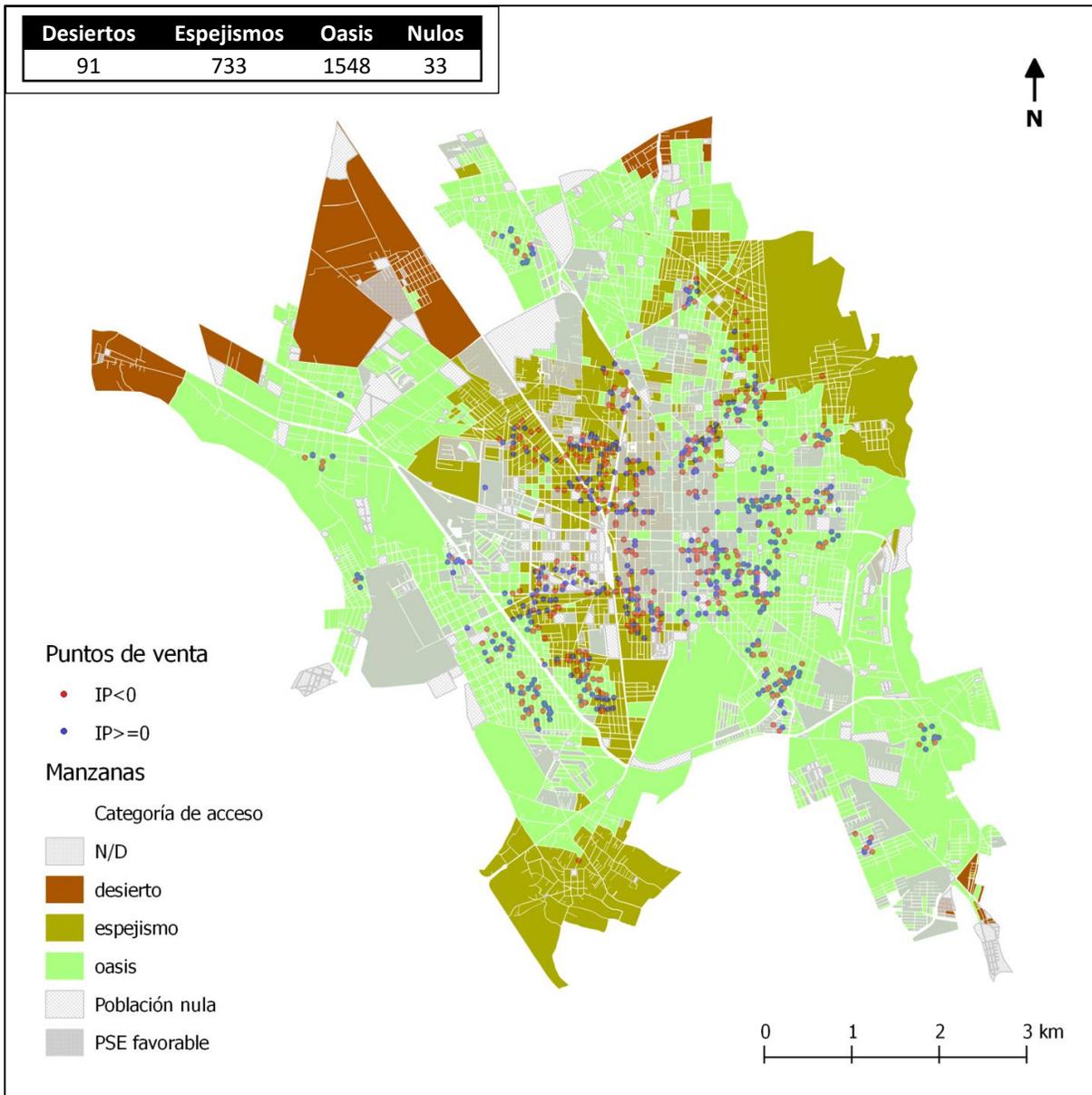
#### **7.3.1 La Ciudad de Tehuacán**

Los resultados mostrados aquí corresponden a la penúltima etapa de simulación de valores locales de la CBA: se toman en cuenta las aproximaciones derivadas del INPC, pero no están ajustadas al tamaño del establecimiento. También se observa la aparición recurrente de 33 manzanas geoestadísticas reportando resultados nulos, esto debido a dos errores topológicos en la red de calles que las omitieron del análisis y

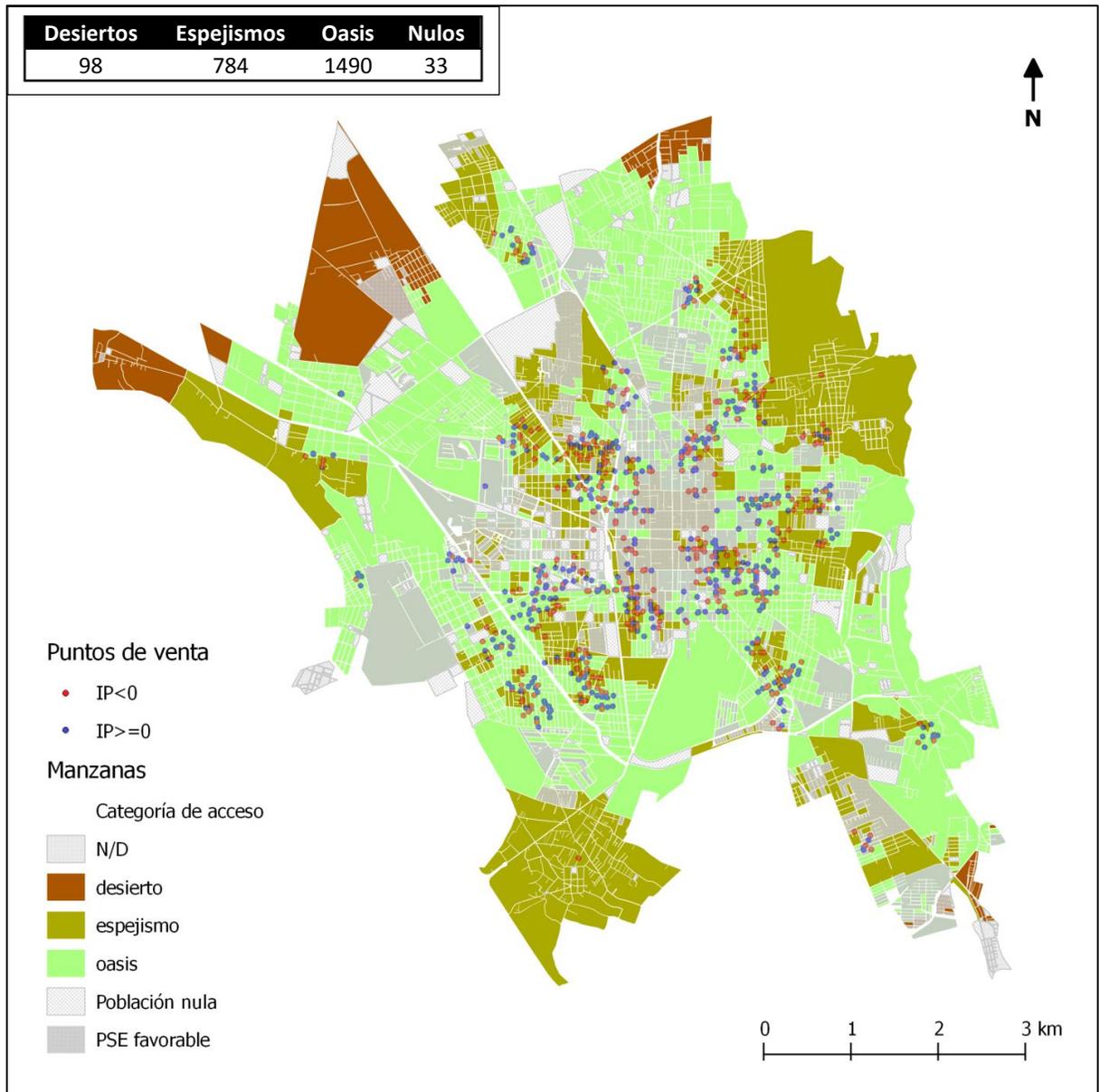
que fueron corregidos posteriormente, durante la preparación de los datos para trabajar con la región completa de Tehuacán.



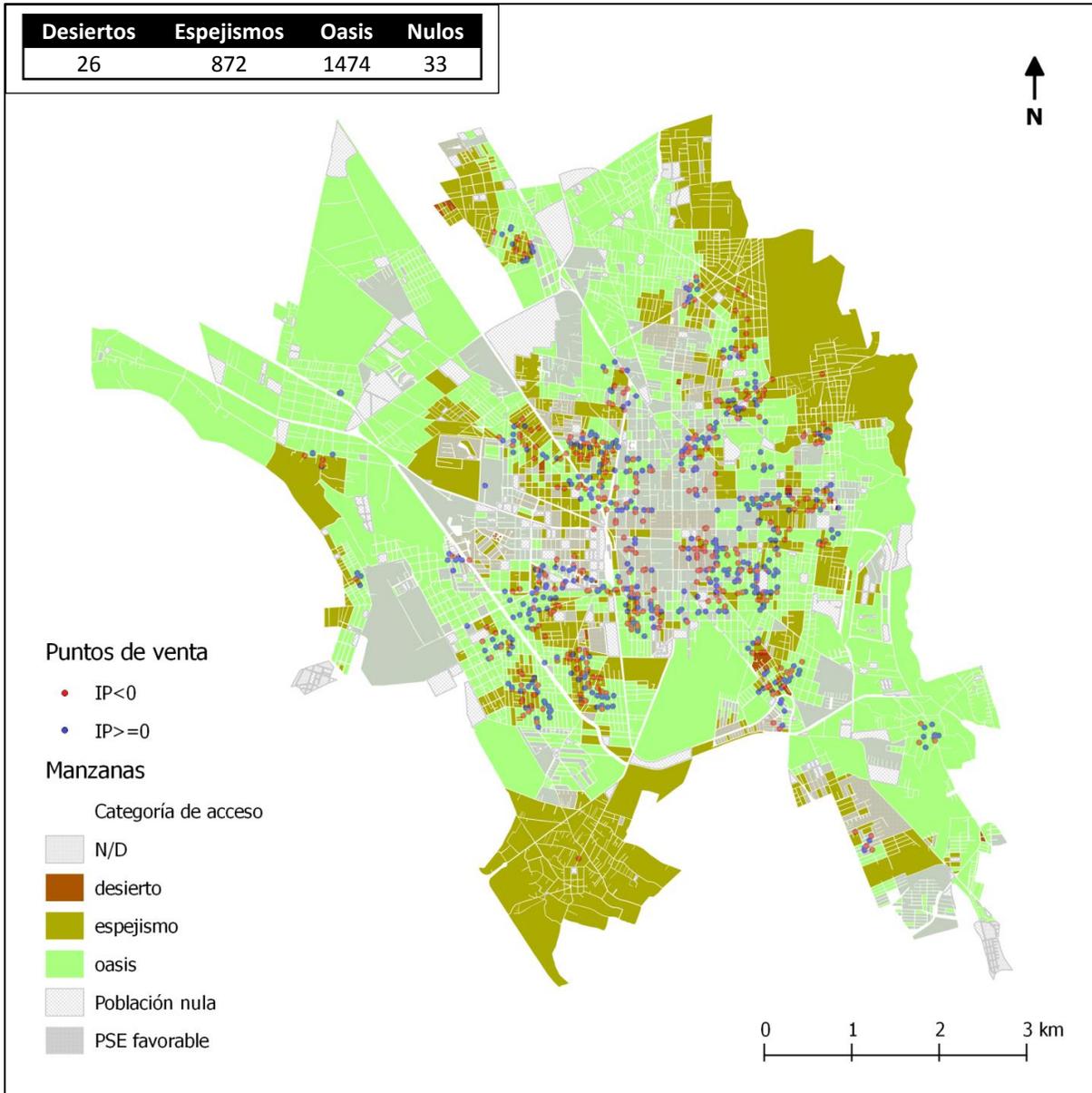
**Figura 7.9. Ciudad de Tehuacán: accesibilidad alimentaria medida por distancia mínima. Desplazamiento a pie.**  
Fuente: elaboración propia.



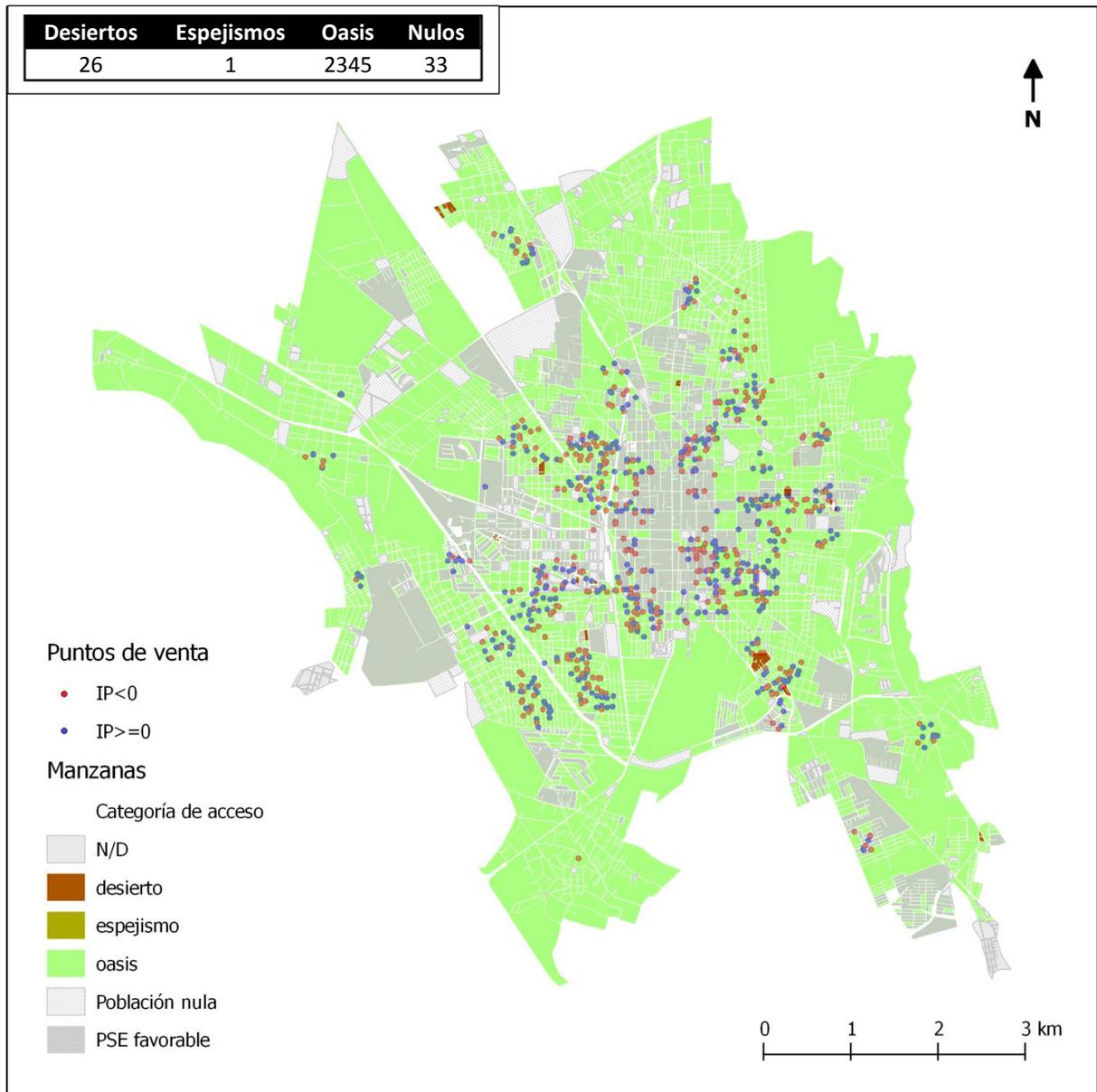
**Figura 7.10. Ciudad de Tehuacán: accesibilidad alimentaria medida por oportunidad acumulada. Desplazamiento a pie. Fuente: elaboración propia.**



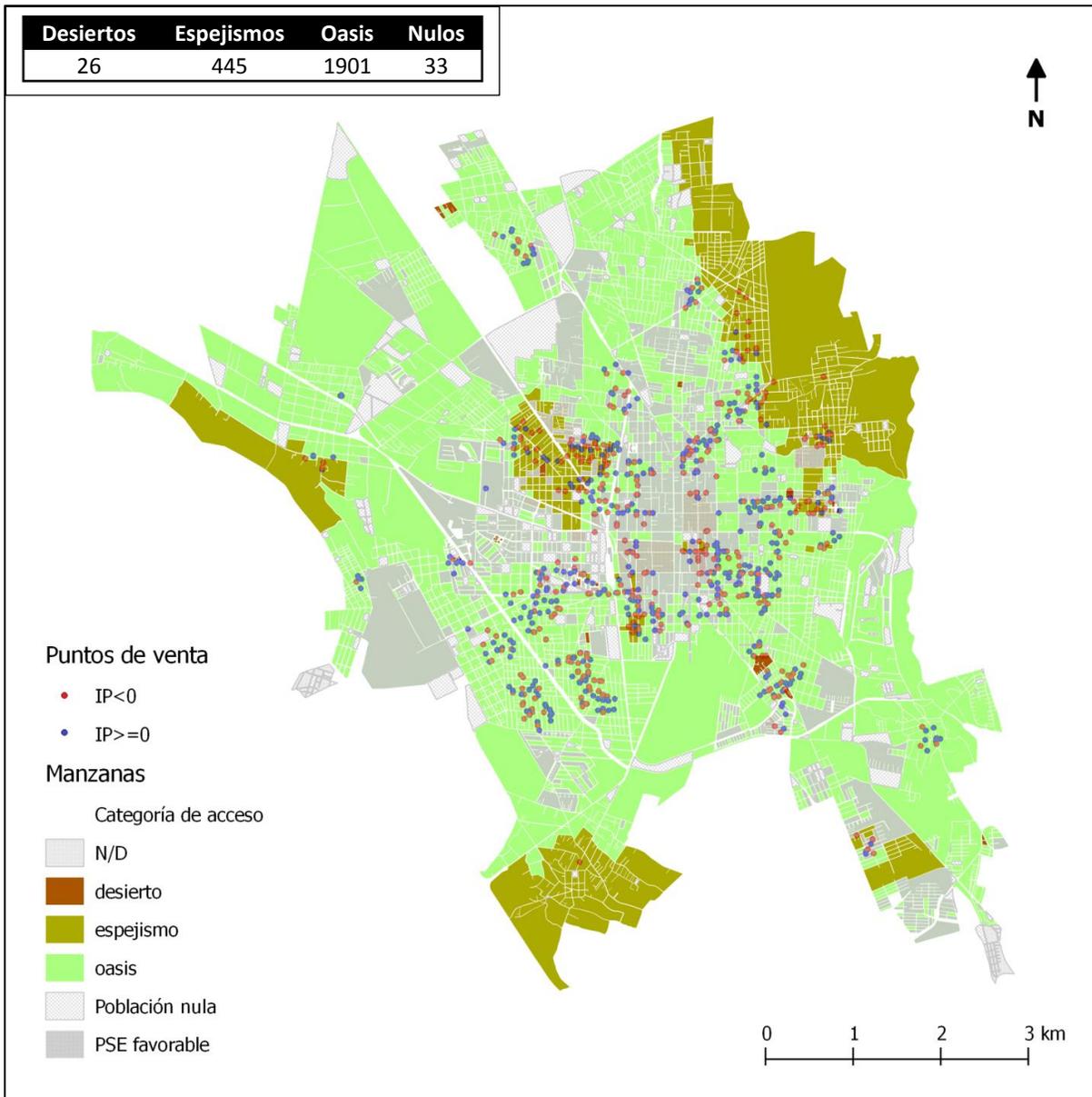
**Figura 7.11. Ciudad de Tehuacán: índice de accesibilidad alimentaria. Desplazamiento a pie.**  
**Fuente: elaboración propia.**



**Figura 7.12. Ciudad de Tehuacán: accesibilidad alimentaria medida por distancia mínima. Desplazamiento en auto. Fuente: elaboración propia.**



**Figura 7.13. Ciudad de Tehuacán: accesibilidad alimentaria medida por oportunidad acumulada. Desplazamiento en automóvil. Fuente: elaboración propia.**



**Figura 7.14. Ciudad de Tehuacán: índice de accesibilidad alimentaria. Desplazamiento en automóvil.**  
**Fuente: elaboración propia.**

Comenzando por la comparación de los tres modelos, es necesario recordar cómo opera cada uno. La distancia mínima toma en consideración el destino más cercano a cada origen, siempre y cuando esté a 20 minutos de viaje o menos, y sólo cuando éste es caro, toma el destino barato más cercano como una segunda medida, por lo que los oasis se ubican principalmente cerca de los comercios baratos, y en oposición, los comercios caros están rodeados de espejismos, y los desiertos claramente indican todo origen a más de 20 minutos de viaje de cualquier destino, siendo entonces una medida de inmediatez.

La oportunidad acumulada considera todos los destinos a no más de 20 minutos de viaje de cada origen, y en caso de encontrar alguno emplea el criterio de mayoría absoluta para distinguir el predominio de destino caros o destinos baratos, ubicando los espejismos en regiones dominadas por comercios caros, los oasis en regiones dominadas por comercios baratos, y los desiertos al igual que la distancia mínima, por lo que se puede definir como una medida de predominio.

En el caso del índice de acceso alimentario, este considera todos los destinos, no sólo aquéllos dentro de 20 minutos de viaje y los pondera de acuerdo a su carácter económico y a su cercanía, teniendo mayor participación en el resultado aquéllos más cercanos y aquéllos más baratos o más caros; toma en cuenta tanto la inmediatez como el predominio y los agrega en una sumatoria, sintetizando los rasgos espaciales de las otras dos medidas en una sola, pero gracias a la ponderación es mucho más sensible a la variación en la dimensión económica, pudiendo ser más significativos sus resultados que los de las medidas de distancia mínima y de oportunidad acumulada.

La Tabla 7.2 muestra el número de coincidencias para cada categoría de accesibilidad alimentaria entre el índice de acceso alimentario y cada uno de los modelos de referencia, entre los dos modelos de referencia, y entre los tres modelos simultáneamente, cuando se considera el desplazamiento a pie; mientras que la Tabla 7.3 muestra la misma información en el caso del desplazamiento en automóvil. Este proceso sintetiza eficazmente en una sola tabla los tres mapas correspondientes, ofreciendo cifras para un análisis más objetivo y preservando siempre el carácter espacial de los datos. En ambos casos, el total de manzanas corresponde a las 2405 que pasan el filtro poblacional y el filtro socioeconómico, es decir, que no tienen población nula (324 manzanas excluidas) y cuyos indicadores de grado promedio escolaridad y tamaño promedio del hogar refieren un nivel económico probablemente bajo (687 manzanas excluidas).

**Tabla 7.2. Número de coincidencias entre los resultados de los tres modelos de interacción espacial. Desplazamiento a pie, total de 2405 manzanas.**

<b>Comparación</b>	<b>Desiertos</b>	<b>Espejismos</b>	<b>Oasis</b>	<b>Nulos</b>	<b>Total*</b>	<b>Porcentaje**</b>
<b>dmin†-IAA</b>	86	654	1257	33	1997	84.19
<b>opac‡-IAA</b>	86	400	1155	33	1641	69.18
<b>dmin-opac</b>	91	392	1053	33	1536	64.76
<b>triple</b>	86	337	979	33	1402	59.11
* No incluye los nulos.						
** Calculado respecto a 2372 manzanas, omitiendo los resultados nulos.						
† Distancia mínima.						
‡ Oportunidad acumulada.						

**Tabla 7.3. Número de coincidencias entre los resultados de los tres modelos de interacción espacial. Desplazamiento en auto, total de 2405 manzanas.**

<b>Comparación</b>	<b>Desiertos</b>	<b>Espejismos</b>	<b>Oasis</b>	<b>Nulos</b>	<b>Total*</b>	<b>Porcentaje**</b>
<b>dmin-IAA</b>	26	350	1379	33	1755	73.99
<b>opac-IAA</b>	26	1	1901	33	1928	81.28
<b>dmin-opac</b>	26	1	1474	33	1501	63.28
<b>triple</b>	26	1	1379	33	1406	59.27
* No incluye los nulos.						
** Calculado respecto a 2372 manzanas, omitiendo los resultados nulos.						

Al revisar las tablas, lo primero que salta a la vista es el elevado porcentaje de similitud en las cuatro comparaciones efectuadas, destacando que para los dos modos de desplazamiento, el porcentaje de similitud es mayor para el IAA con cualquiera de los otros dos modelos, que entre los modelos de referencia, respaldando la idea de esa síntesis que el IAA hace de ambos, y ubicándolo en un punto intermedio, teniendo más en común con cada uno, que lo que comparten entre ellos.

Si se contrastan ambas formas de desplazamiento, se observa que el porcentaje de similitud entre los tres modelos es muy cercano en los dos casos, por lo que se puede suponer que el comportamiento y las similitudes observadas son regulares y no obedecen a motivos especiales o distintos a la naturaleza de cada modelo. Por otra parte, se observa que el valor para la comparación entre oportunidad acumulada e IAA se eleva considerablemente para el desplazamiento en auto. Este cambio puede explicarse por el efecto de la velocidad en las distancias recorridas, ya que se emplean distancias mayores para el desplazamiento en automóvil, haciendo que la medida de oportunidad acumulada incluya más destinos y que consecuentemente se asemeje más al IAA, que siempre considera todos los destinos, efecto todavía más evidente cuando se considera que el área denominada como ciudad de Tehuacán tiene menos de 13 Km lineales entre sus puntos más lejanos, que a una velocidad media de 35 Km/h en automóvil (Tabla 5.3) corresponden a 22.3 minutos, tiempo apenas mayor al umbral utilizado.

Lo anterior también puede justificar el descenso en la similitud entre distancia mínima y el IAA, pues aunque la distancia mínima en auto puede considerar más destinos, sigue utilizando sólo el más cercano; incluso puede observarse que esta medida es la que presenta menos variación entre las dos formas de desplazamiento, en oposición a la de oportunidad acumulada, que varía notablemente, quedando nuevamente en un punto intermedio el índice de acceso alimentario, ya que en éste el componente económico permanece inmutable, pues siempre considera todos los destinos, y sólo varía la dimensión espacial, una vez más debido al efecto de la velocidad en las distancias recorridas.

Como un ejercicio adicional, se incluyen la Tabla 7.4 para el desplazamiento a pie y la Tabla 7.5 para el desplazamiento en auto. Estas tablas muestran los mismos datos que las tablas 8.2 y 8.3, pero para las 3092 manzanas que pasan el filtro poblacional, indistintamente de sus valores para los indicadores socioeconómicos utilizados.

**Tabla 7.4. Número de coincidencias entre los resultados de los tres modelos de interacción espacial. Desplazamiento a pie, total de 3092 manzanas sin aplicar el filtro socioeconómico.**

<b>Comparación</b>	<b>Desiertos</b>	<b>Espejismos</b>	<b>Oasis</b>	<b>Nulos</b>	<b>Total*</b>	<b>Porcentaje**</b>
<b>dmin-IAA</b>	95	854	1607	33	2556	83.56
<b>opac-IAA</b>	95	504	1433	33	2032	66.43
<b>dmin-opac</b>	100	499	1338	33	1937	63.32
<b>triple</b>	95	415	1224	33	1734	56.69
* No incluye los nulos.						
** Calculado respecto a 3059 manzanas, omitiendo los resultados nulos.						

**Tabla 7.5. Número de coincidencias entre los resultados de los tres modelos de interacción espacial. Desplazamiento en auto, total de 3092 manzanas sin aplicar el filtro socioeconómico.**

<b>Comparación</b>	<b>Desiertos</b>	<b>Espejismos</b>	<b>Oasis</b>	<b>Nulos</b>	<b>Total*</b>	<b>Porcentaje**</b>
<b>dmin-IAA</b>	43	393	1771	33	2207	72.15
<b>opac-IAA</b>	43	1	2494	33	2538	82.97
<b>dmin-opac</b>	43	1	1900	33	1944	63.55
<b>triple</b>	43	1	1771	33	1815	59.33
* No incluye los nulos.						
** Calculado respecto a 3059 manzanas, omitiendo los resultados nulos.						

Considerar los resultados de las manzanas sin filtrar permite ver un marco más amplio de los mismos datos, pues a estas tablas corresponden mapas como los de la Figura 7.3, que muestran una superficie de resultados más continua, y al identificarse en ellas las tendencias previamente descritas, sirven para respaldar y fortalecer esas observaciones. También se observa un pequeño descenso en todos los porcentajes de similitud, lo que puede deberse a que las manzanas excluidas por el filtro socioeconómico presenten más variación entre modelos que las no excluidas.

Un último detalle que cabe destacar es la presencia de 26 desiertos en la Tabla 7.3 y 43 en la Tabla 7.5. Al identificar visualmente estos desiertos en los resultados del IAA, inicialmente se consideraron falsos desiertos, en especial si se toma en cuenta que al ser desplazamiento en automóvil, prácticamente toda la ciudad tiene acceso físico, pero al revisar con detalle los mapas de distancia mínima y de oportunidad acumulada, se notó que se repiten esos mismos desiertos, como lo indican las tablas en la comparación triple, por lo que estos aparentes desiertos deben tener su origen en otro aspecto que no logró ser identificado, como puede ser un error en el algoritmo que ejecuta los modelos o un problema topológico o de geometría en las capas vectoriales, y no necesariamente en sus condiciones de accesibilidad espacial.

### 7.3.2 La Región de Tehuacán

Dado que la región de estudio es muy extensa, se presentan inicialmente un mapa que muestra todas las unidades geostatísticas de interés (Figura 7.15), y un mapa que señala la ubicación de los puntos de venta (Figura 7.16) coloreados de acuerdo a sus indicadores de precios tal y como fueron usados en el análisis.

La Figura 7.16 hace evidente un problema respecto a la última forma en que se simularon los valores locales de compra de la CBA: al dividirse en rangos de acuerdo al tamaño comercial del establecimiento de modo que a mayor tamaño menor costo, y al ser mucho más abundantes los comercios pequeños, la gran mayoría de los puntos de venta recibieron un valor de compra mayor al costo de referencia, para ser más precisos, de un total de 2682 comercios, 10 obtuvieron un  $IP \geq 0$ , mientras que en los otros 2672 fue un  $IP < 0$ ; consecuentemente en los resultados para los tres modelos predominan los espejismos sobre los oasis.

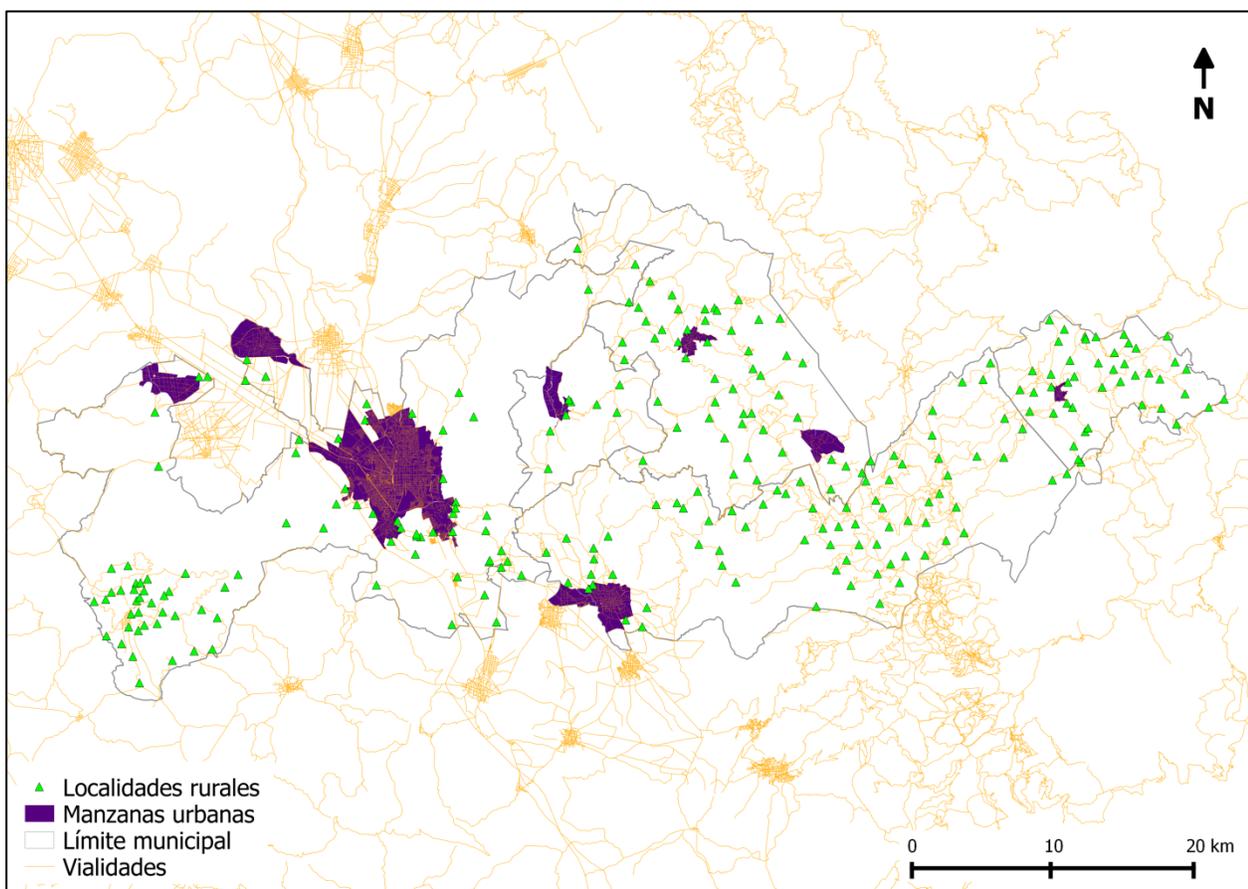
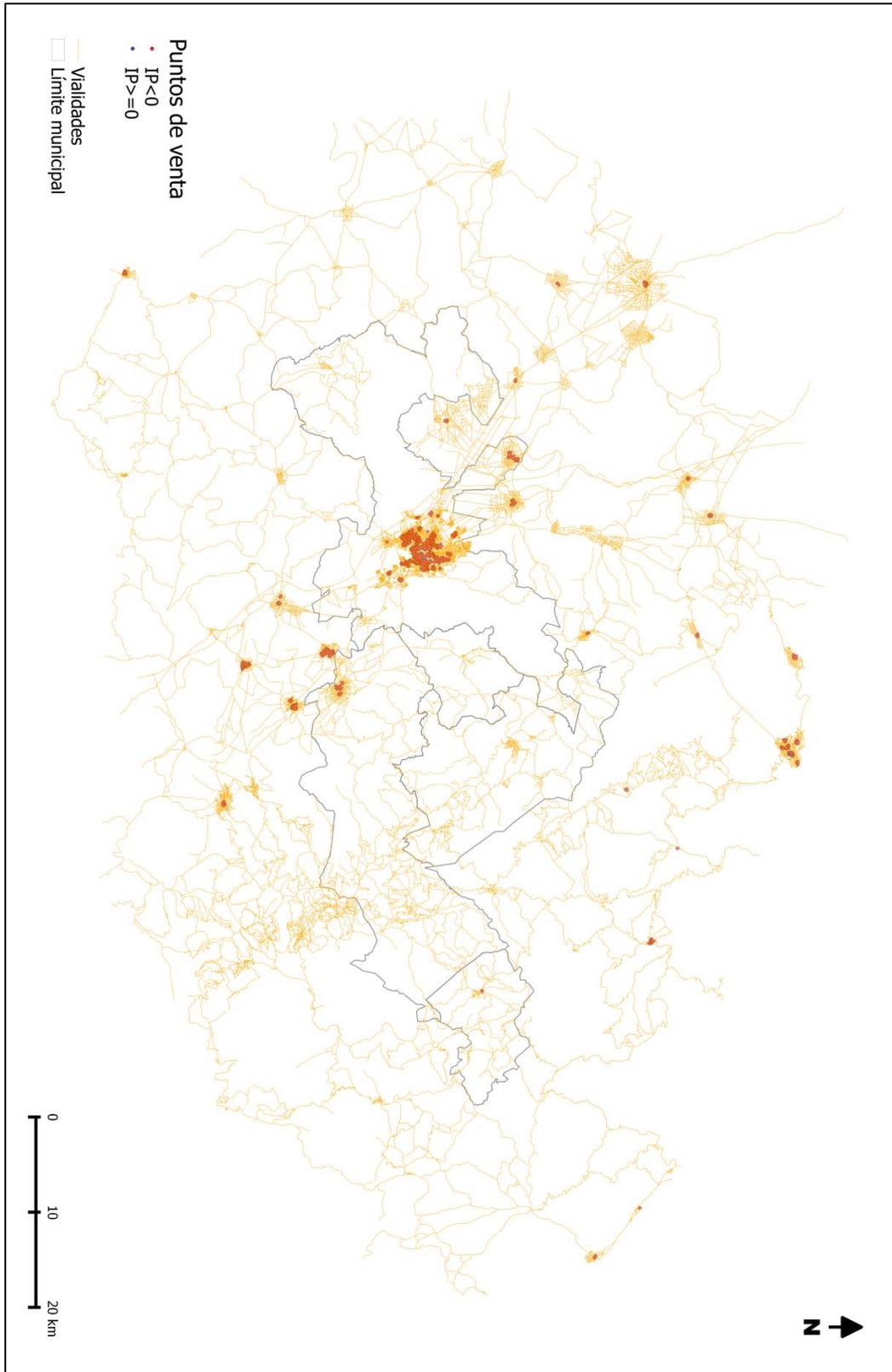


Figura 7.15. Región de Tehuacán: manzanas urbanas y localidades rurales de interés. Fuente: elaboración propia.



**Figura 7.16. Región de Tehuacán: ubicación de los puntos de venta considerados en el análisis.**  
**Fuente: elaboración propia.**

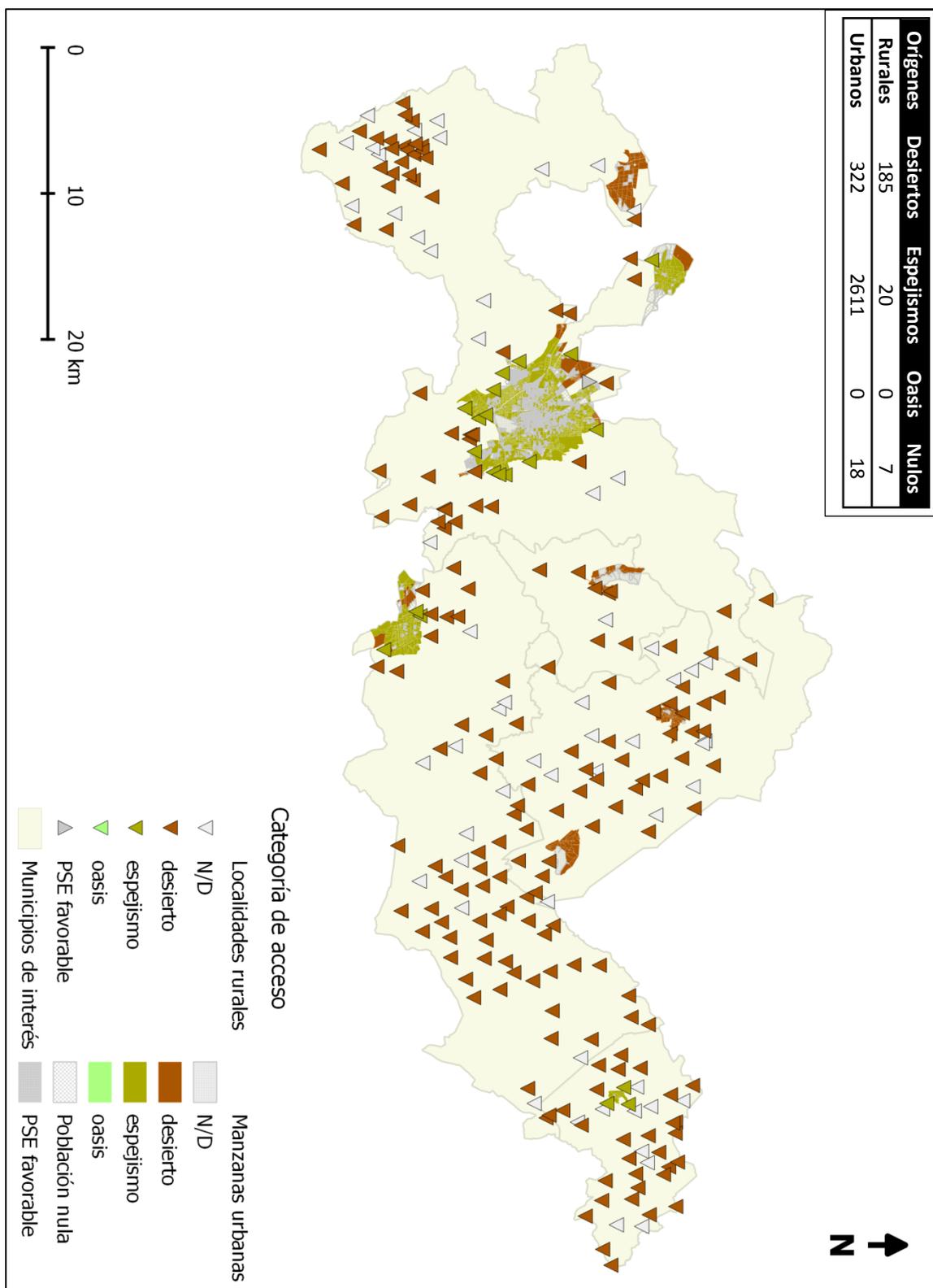


Figura 7.17. Región de Tehuacán: accesibilidad alimentaria medida por distancia mínima. Desplazamiento a pie.  
Fuente: elaboración propia.

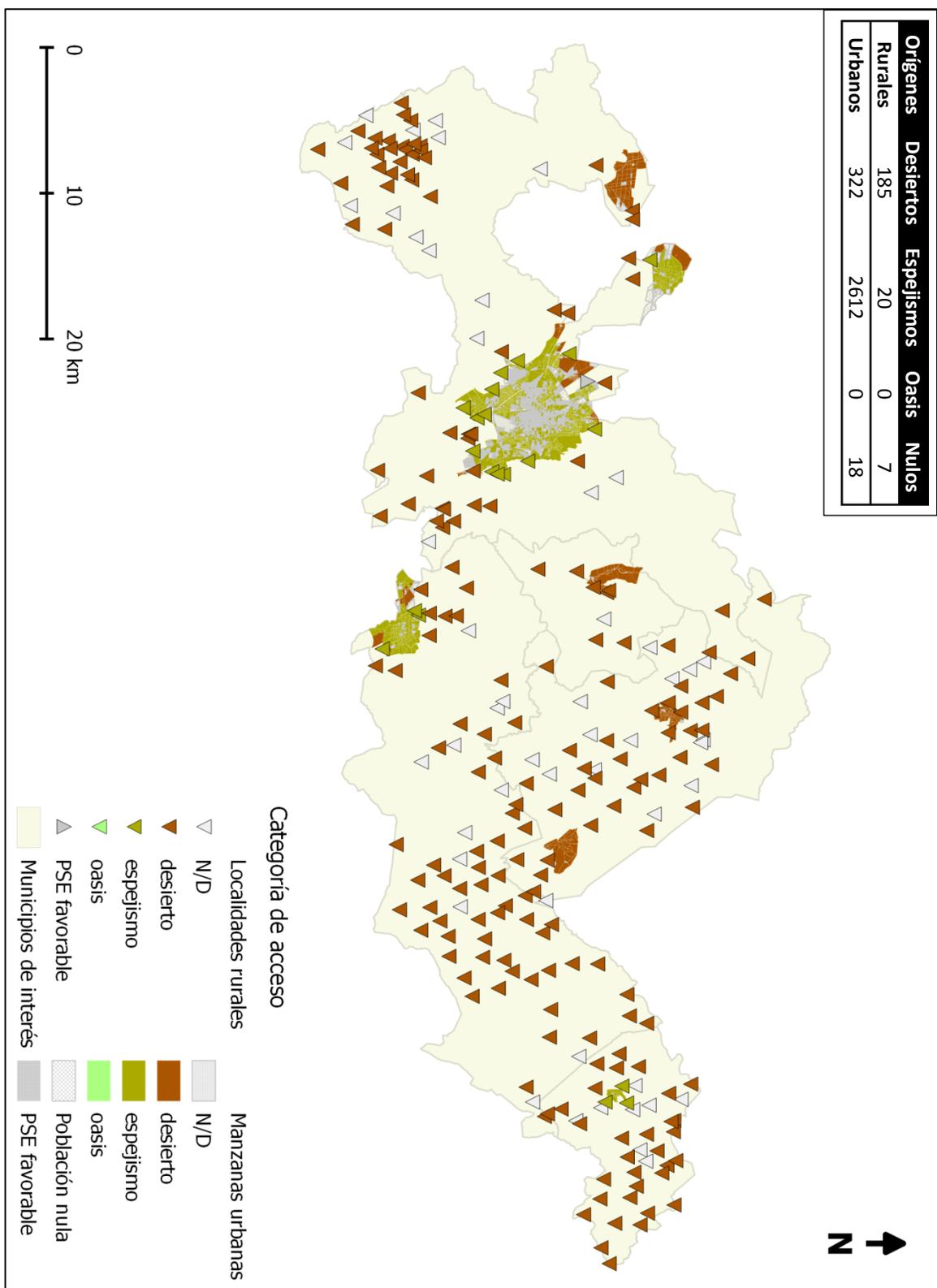


Figura 7.18. Región de Tehuacán: accesibilidad alimentaria medida por oportunidad acumulada. Desplazamiento a pie. Fuente: elaboración propia.

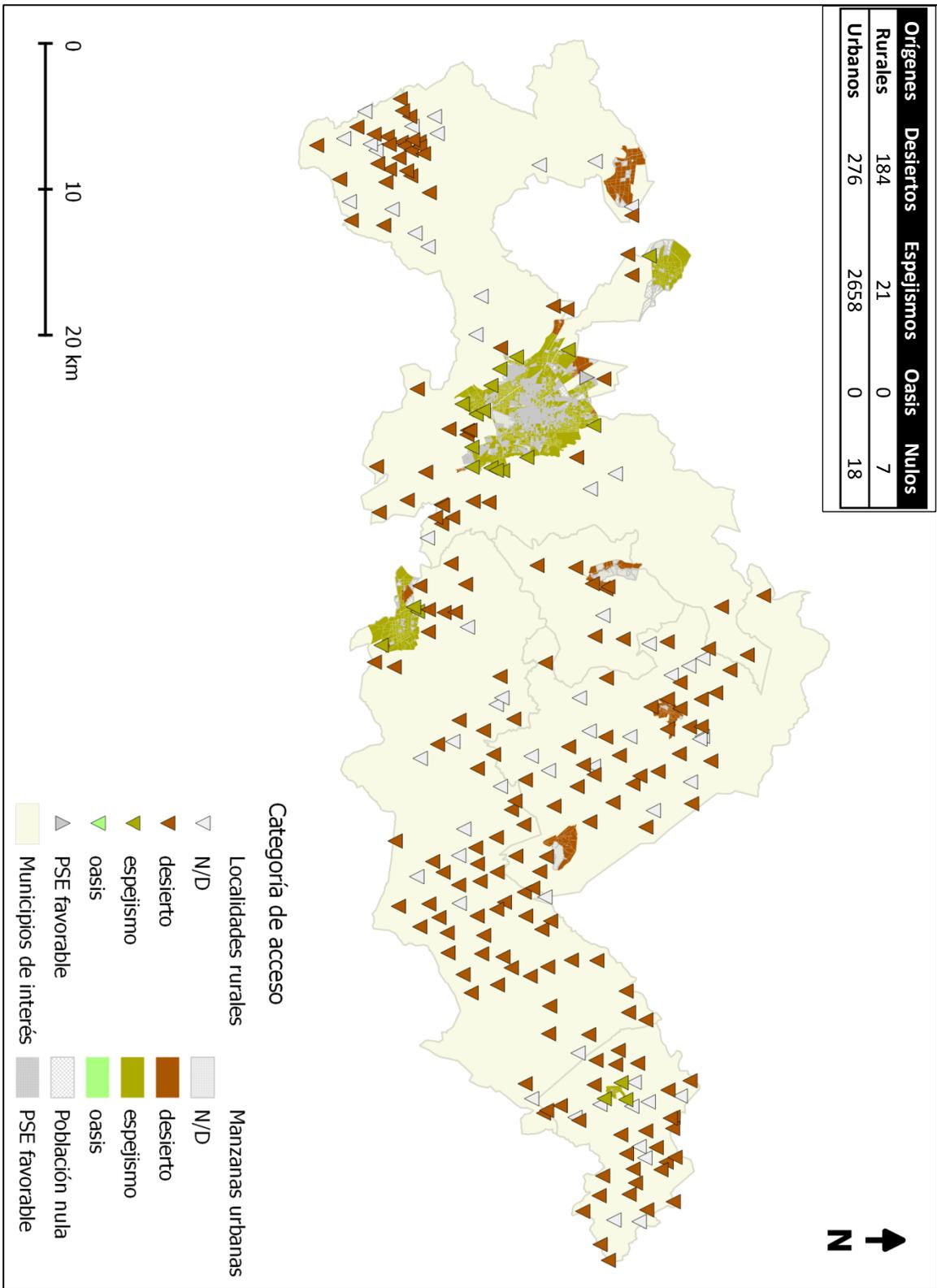


Figura 7.19. Región de Tehuacán: índice de accesibilidad alimentaria. Desplazamiento a pie.  
Fuente: elaboración propia.

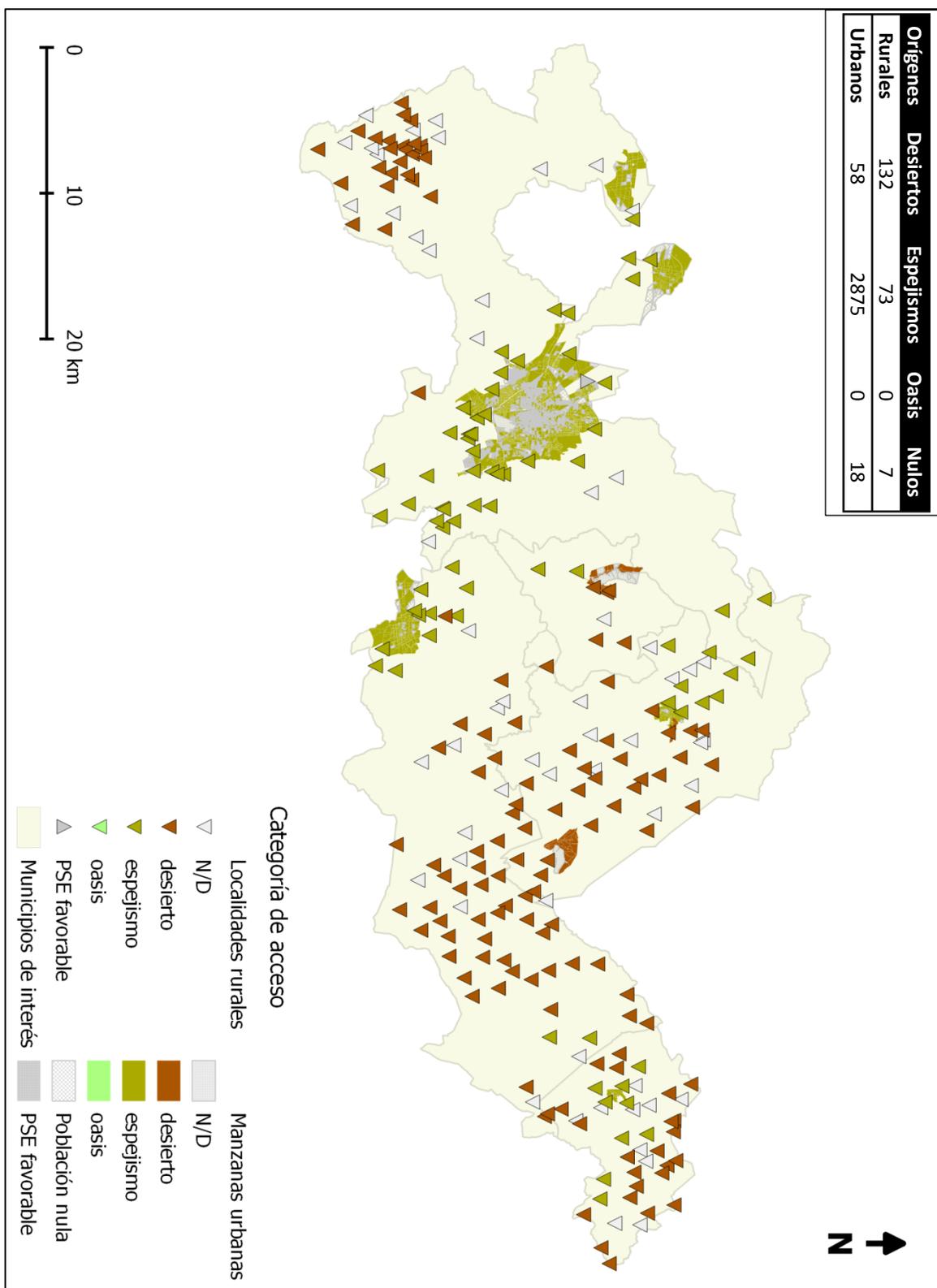


Figura 7.20. Región de Tehuacán: accesibilidad alimentaria medida por distancia mínima. Desplazamiento en automóvil. Fuente: elaboración propia.

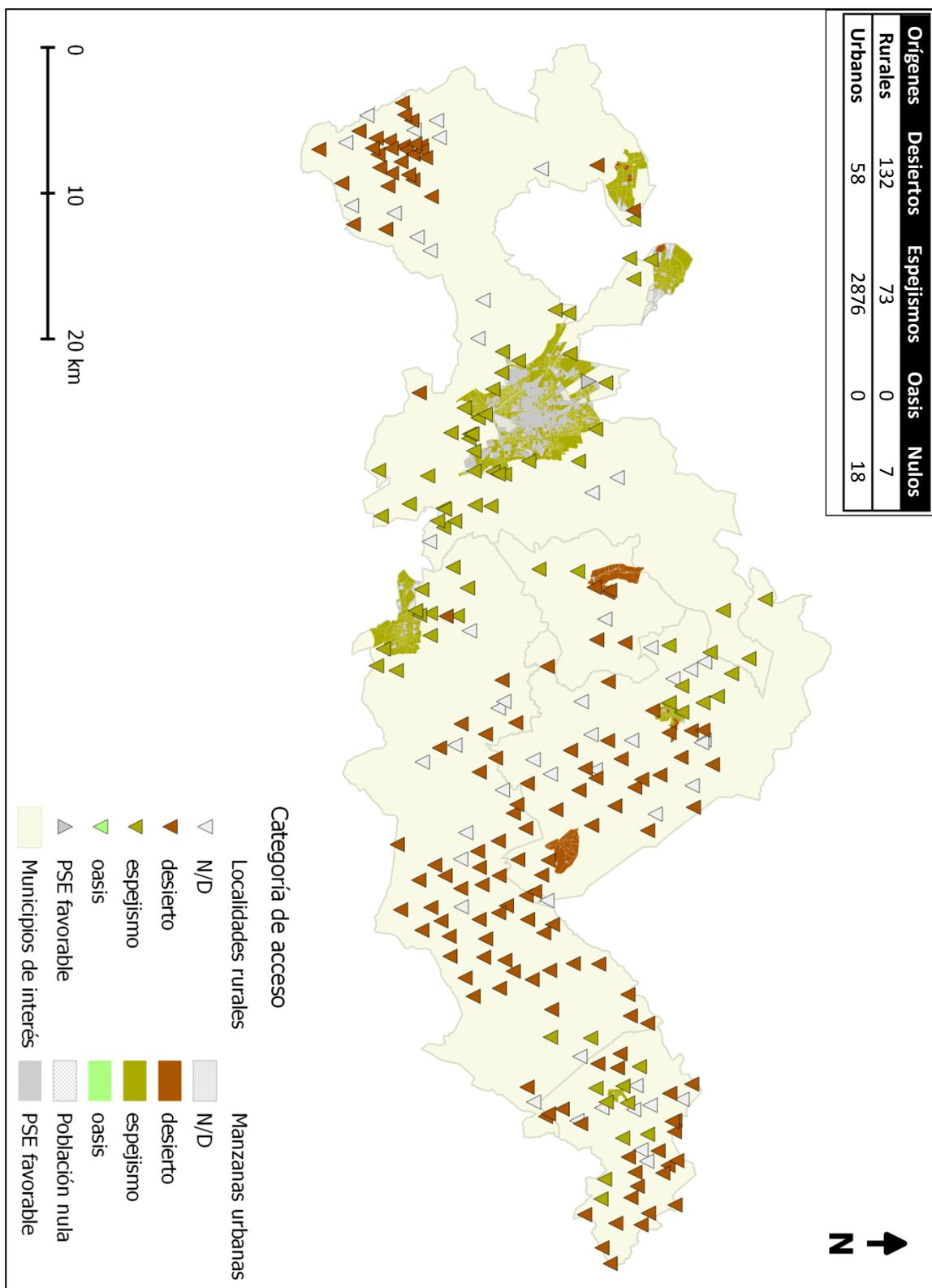


Figura 7.21. Región de Tehuacán: accesibilidad alimentaria medida por oportunidad acumulada. Desplazamiento en automóvil. Fuente: elaboración propia.

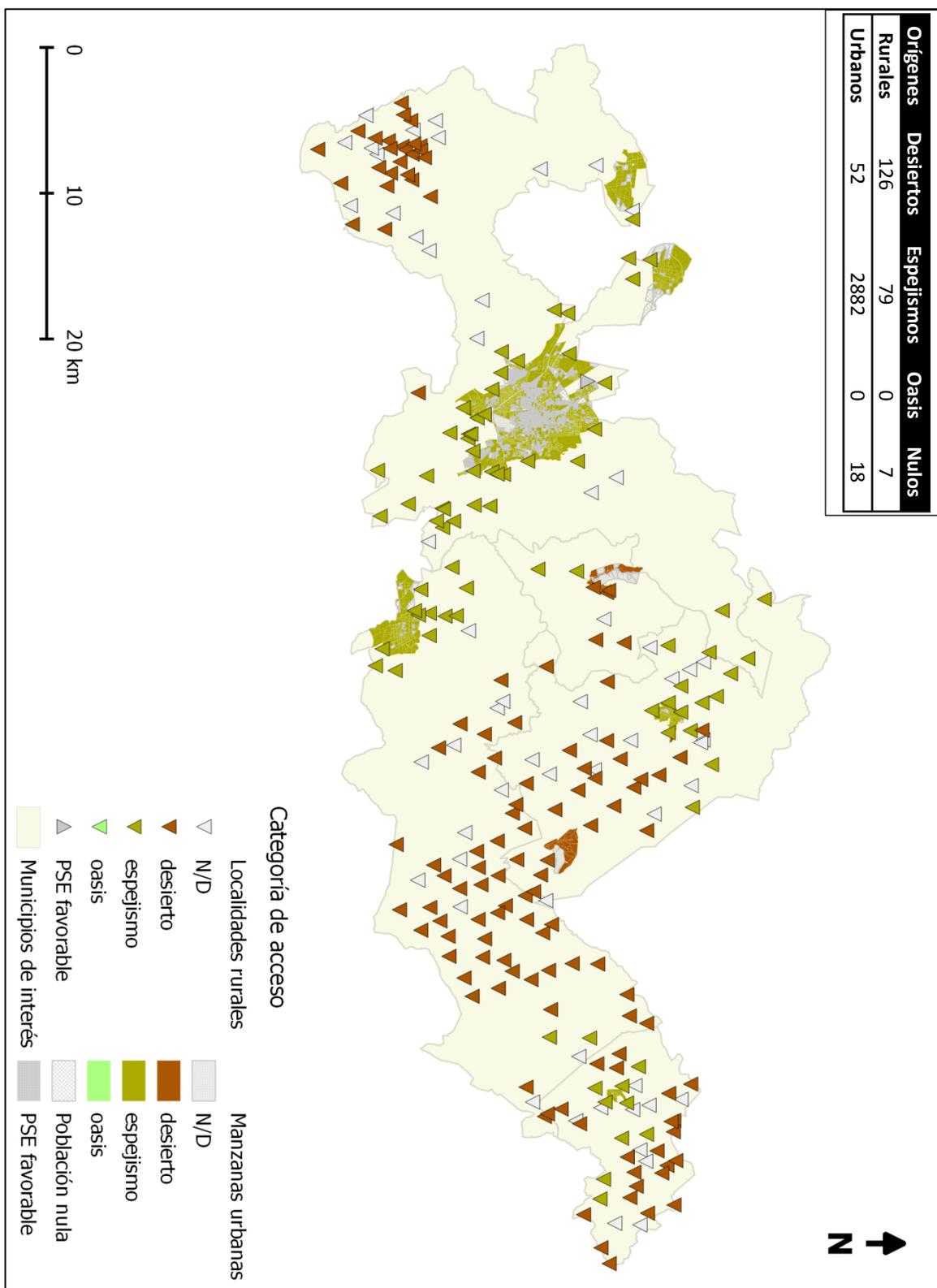


Figura 7.22. Región de Tehuacán: índice accesibilidad alimentaria. Desplazamiento en automóvil.  
Fuente: elaboración propia.

**Tabla 7.6. Número de coincidencias entre los resultados de los tres modelos de interacción espacial. Desplazamiento a pie, total de 212 localidades rurales.**

<b>Comparación</b>	<b>Desiertos</b>	<b>Espejismos</b>	<b>Oasis</b>	<b>Nulos</b>	<b>Total*</b>	<b>Porcentaje**</b>
<b>dmin-IAA</b>	184	20	0	7	204	96.23
<b>opac-iaa</b>	184	20	0	7	204	96.23
<b>dmin-opac</b>	185	20	0	7	205	96.70
<b>triple</b>	184	20	0	7	204	96.23
* No incluye los nulos.						
** Calculado respecto a 212 localidades rurales.						

**Tabla 7.7. Número de coincidencias entre los resultados de los tres modelos de interacción espacial. Desplazamiento en auto, total de 212 localidades rurales.**

<b>Comparación</b>	<b>Desiertos</b>	<b>Espejismos</b>	<b>Oasis</b>	<b>Nulos</b>	<b>Total*</b>	<b>Porcentaje**</b>
<b>dmin-IAA</b>	126	73	0	7	199	93.87
<b>opac-IAA</b>	126	73	0	7	199	93.87
<b>dmin-opac</b>	132	73	0	7	205	96.70
<b>triple</b>	126	73	0	7	199	93.87
* No incluye los nulos.						
** Calculado respecto a 212 localidades rurales.						

**Tabla 7.8. Número de coincidencias entre los resultados de los tres modelos de interacción espacial. Desplazamiento a pie, total de 2952 manzanas urbanas.**

<b>Comparación</b>	<b>Desiertos</b>	<b>Espejismos</b>	<b>Oasis</b>	<b>Nulos</b>	<b>Total*</b>	<b>Porcentaje**</b>
<b>dmin-IAA</b>	276	2611	0	18	2887	97.80
<b>opac-IAA</b>	276	2612	0	18	2888	97.83
<b>dmin-opac</b>	322	2611	0	18	2933	99.36
<b>triple</b>	276	2611	0	18	2887	97.80
* No incluye los nulos.						
** Calculado respecto a 2952 manzanas urbanas.						

**Tabla 7.9. Número de coincidencias entre los resultados de los tres modelos de interacción espacial. Desplazamiento en auto, total de 2952 manzanas urbanas.**

<b>Comparación</b>	<b>Desiertos</b>	<b>Espejismos</b>	<b>Oasis</b>	<b>Nulos</b>	<b>Total*</b>	<b>Porcentaje**</b>
<b>dmin-IAA</b>	52	2875	0	18	2927	99.15
<b>opac-IAA</b>	52	2876	0	18	2928	99.19
<b>dmin-opac</b>	58	2875	0	18	2933	99.36
<b>triple</b>	52	2875	0	18	2927	99.15
* No incluye los nulos.						
** Calculado respecto a 2952 manzanas urbanas.						

En este caso son necesarias el doble de tablas de comparación, con el fin de contrastar los resultados para localidades rurales (Tabla 7.6 a pie, y Tabla 7.7 en automóvil) y para manzanas urbanas (Tabla 7.8 a pie, y Tabla 7.9 en automóvil).

Uno de los intereses principales en este trabajo es la medición del acceso alimentario en el entorno rural, pues ésta aún representa un punto débil en las publicaciones al respecto. Es necesario recordar que los desiertos alimentarios destacan la presencia de barreras físicas para acceder a los puntos de venta, siendo independientes de los datos simulados usados para representar la dimensión económica, entonces resulta alarmante el número de desiertos alimentarios rurales reportados por los tres modelos, aun cuando se trate un ejercicio metodológico y no de una medición real de la accesibilidad a los alimentos.

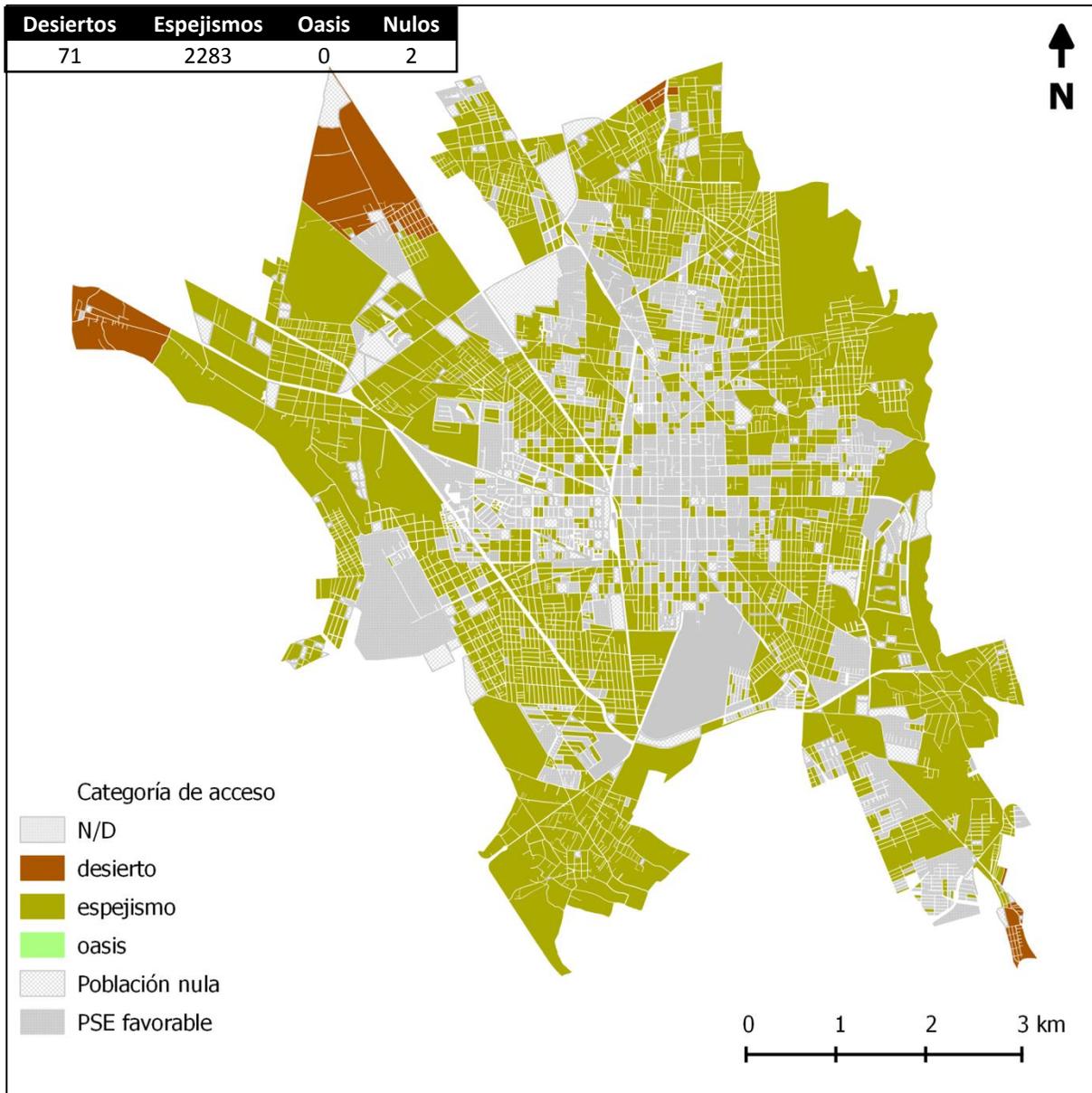
En cuanto al comportamiento de los modelos, lo primero que destaca es la proporción de similitud por encima del 90% en todas las comparaciones y tanto en localidades rurales como en manzanas urbanas, siendo ligeramente mayor para las últimas. También es notable que los valores son mucho más homogéneos en todos los sentidos, a diferencia de la ciudad de Tehuacán, donde se observaron cambios evidentes entre cada comparación y entre cada modo de desplazamiento. Esto último puede deberse al efecto causado por el casi absoluto dominio de puntos de venta con  $IP < 0$ , derivado del criterio de simulación de valores de compra, que prácticamente elimina la posibilidad de que existan oasis, haciendo que la clasificación del acceso sea binomial y no muy distinta de la forma básica en que operan la distancia mínima y la oportunidad acumulada sin sus respectivos índices de espejismo. Consecuentemente, se podría pensar que en casos o regiones de estudio donde exista cierta monotonía en el aspecto económico sería mejor utilizar una medida más sencilla en lugar del IAA, pero se estaría pasando por alto el hecho de que el IAA ha probado ser más sensible y que siempre queda la posibilidad de calibrarlo para que sea aún más sensible a las variaciones económicas más finas.

Un cambio importante es que ahora el mayor grado de semejanza ocurre entre las medidas de distancia mínima y oportunidad acumulada, siendo el mismo para las dos formas de desplazamiento (96.7% rural y 99.36% urbano). Este hecho contradice completamente lo observado en la ciudad de Tehuacán, donde los valores apuntaban al mejor ajuste del IAA con los dos modelos de referencia, sin embargo, después de un poco de consideración, la explicación es bastante clara: por un lado está presente el efecto de la clasificación binomial causado por el predominio de comercios caros, y por otro que los dos modelos de referencia operan sujetos al umbral de 20 minutos de viaje, y al tratarse de una región de estudio mucho más amplia, adquiere mayor relevancia el efecto de esta condicionante y predispone esta similitud al restringir con los mismos límites a las medidas de distancia mínima y oportunidad acumulada, mientras que el IAA opera libremente.

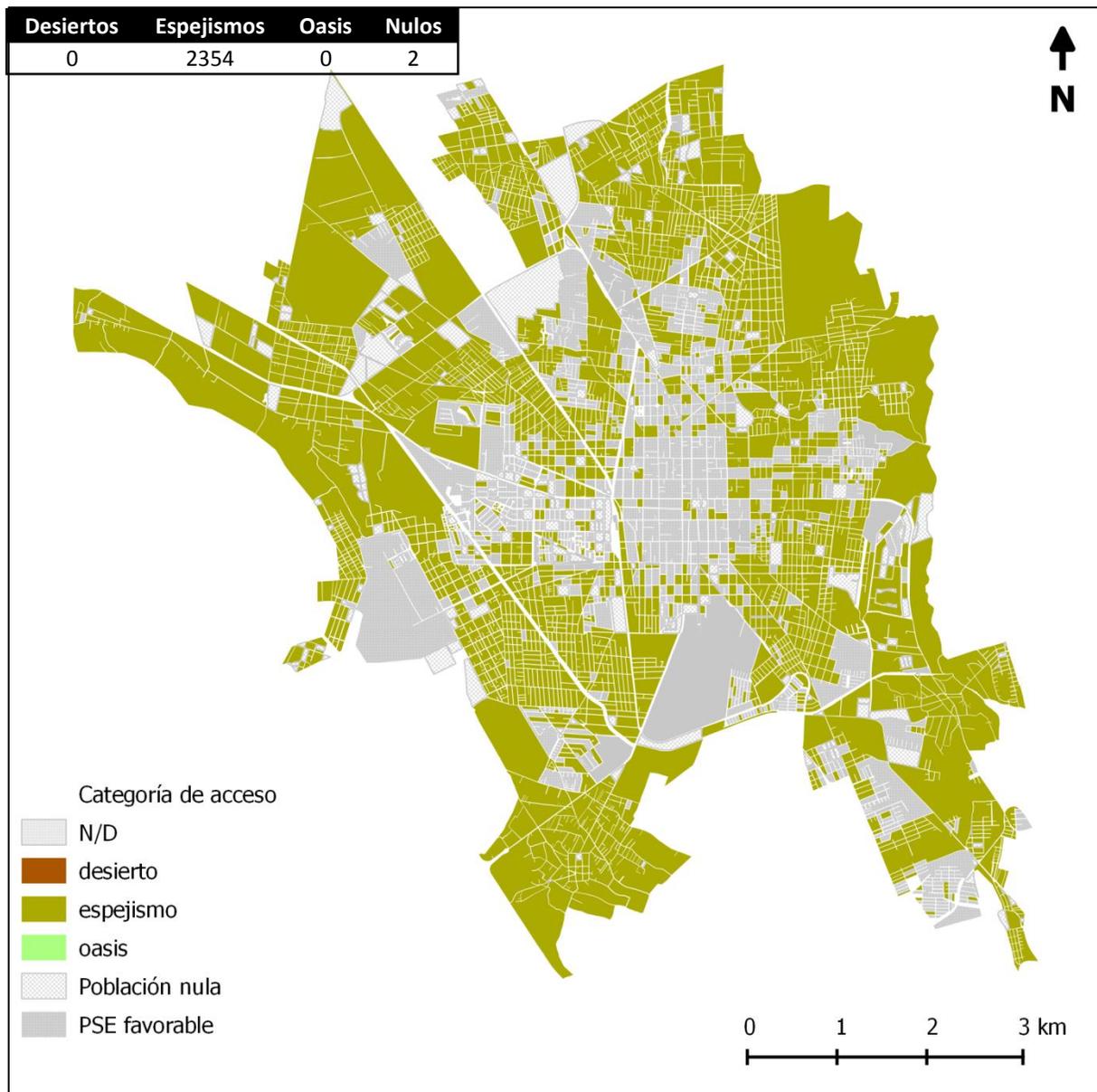
Contrastando las localidades rurales y las manzanas urbanas, se observa que para las primeras la similitud es mayor en el caso de la movilidad a pie, y disminuye para el desplazamiento en automóvil, tendencia opuesta a la observada en las manzanas urbanas, tanto en este ejercicio como en el efectuado previamente en la ciudad. Esta situación se puede explicar por la mayor dispersión de las localidades rurales respecto a las manzanas urbanas, así como por la escasa presencia de puntos de venta fuera de zonas urbanas: mientras que el desplazamiento en auto homogeneiza los resultados para las manzanas

urbanas al propiciar un acortamiento de las distancias, este efecto pasa desapercibido para las localidades rurales, donde las distancias origen-destino son mucho mayores y, por tanto, mucho más significativas.

Desde un aspecto técnico, destaca la presencia de 25 unidades geostatísticas (7 rurales y 18 urbanas) que reportan resultados nulos. Esto apunta a alguna falla no identificada en el algoritmo, pues en principio no se deben a errores topológicos como las 33 manzanas urbanas de la ciudad de Tehuacán (página 58).



**Figura 7.23. Ciudad de Tehuacán (2): índice de accesibilidad alimentaria. Desplazamiento a pie.**  
Fuente: elaboración propia.



**Figura 7.24. Ciudad de Tehuacán (2): índice de accesibilidad alimentaria. Desplazamiento en automóvil.**  
**Fuente: elaboración propia.**

**Tabla 7.10. Comparación entre los resultados del IAA para la ciudad de Tehuacán y para la región completa.**

Desplazamiento	Desiertos	Espejismos	Oasis	Total	Porcentaje*
<b>A pie</b>	71	2278	0	2349	99.79
<b>En automóvil</b>	0	2354	0	2354	100

\* Calculado respecto a 2354 manzanas urbanas.

Con el propósito de dar respuesta a una última interrogante sobre la sensibilidad del IAA, del análisis hecho en la región completa se derivó un segundo análisis en la ciudad de Tehuacán utilizando la misma simulación de valores de compra pero sólo con los comercios ubicados en la ciudad, mismo que se muestra en la Figura 7.23 para el desplazamiento a pie, y en la Figura 7.24 para el desplazamiento en automóvil. Lo que se buscó y logró observar fue que, efectivamente el IAA, independientemente de la extensión de la región de estudio, es mucho más sensible al entorno inmediato, esto se verifica en la Tabla 7.10, donde se muestra que para el desplazamiento a pie, sólo 5 manzanas no coincidieron entre ambas corridas, y que para la movilidad en automóvil, todas las manzanas coincidieron, indicando que los resultados arrojados por el IAA para estas 2354 manzanas fue el mismo considerando sólo los 810 puntos de venta ubicados dentro de la ciudad, que considerando los 2682 comercios considerados en toda la región, ya que gracias a la función de impedancia y a la formulación general del IAA, el aporte de 1872 comercios fue despreciable.

Otro aspecto derivado de esta prueba es la incongruencia entre el número de manzanas en este caso y en el primer análisis de la ciudad, donde se procesaron 2405 manzanas. Al identificar esta discrepancia se buscó su causa y se identificó que en el segundo análisis el filtro socioeconómico excluyó 101 manzanas más que en el primero, ya que supuestamente esas manzanas tienen un tamaño promedio del hogar menor al criterio, pero al revisar con detalle las dos capas vectoriales de manzanas utilizadas no se encontraron discrepancias en los valores para este indicador socioeconómico, de hecho ambas partieron del mismo archivo del Censo General de Población y Vivienda 2010, por lo que se sospecha que el problema se deba al manejo y redondeo de cifras al interior de PostgreSQL, habiendo ocasionado la incongruencia entre los dos análisis.

Similar naturaleza se le supone a la incongruencia existente en el número de desiertos reportados por el IAA para el desplazamiento en automóvil, que en el primer análisis se reportó de 26, mientras que en el segundo no aparece ninguno. Cabe recordar que esos 26 desiertos se reconocieron como de naturaleza atípica, pero no fue posible identificar su causa, así que su desaparición en el segundo análisis representa una mejora.

Un último detalle técnico importante, y que condujo a una modificación del algoritmo para que fuera posible obtener los resultados para la región completa fue la limitación de cálculo de la exponencial presente en la función de impedancia del IAA (Ecuación (5.3)). De acuerdo a la documentación de PostgreSQL (The PostgreSQL Global Development Group, 2014), la función se ejecuta sobre la biblioteca estándar de C del sistema anfitrión, por lo que la precisión en el comportamiento y límites de aquella depende de ésta. En el caso de la computadora utilizada para los cálculos, esto se tradujo en la imposibilidad de calcular la exponencial de valores superiores a aproximadamente 500, por lo que se modificó el algoritmo para que en cualquier caso en que la distancia origen-destino fuera mayor a 480 minutos se omitiera el cálculo de su exponencial y se le asignara automáticamente un valor de  $1E217$ , aproximadamente el resultado de la exponencial de 500. Este aspecto técnico cuenta con importancia adicional, pues permitió reflexionar sobre la posibilidad de que exista un límite funcional, ya no técnico, a las distancias sobre las que tiene sentido utilizar el IAA, puesto que su función de impedancia decae rápidamente, y más allá de cierto valor de distancia, prácticamente se vuelve insignificante.

## 8 CONCLUSIONES

A lo largo de este trabajo se ha buscado, en primer lugar, probar la viabilidad y utilidad del índice de acceso alimentario desarrollado con base en el modelo gravitacional, haciendo especial énfasis en su capacidad para remplazar las medidas utilizadas tradicionalmente: la distancia mínima y la oportunidad acumulada; y en segundo lugar, poner a prueba la metodología elaborada para la determinación del acceso alimentario en el contexto nacional, misma que tiene como centro al IAA.

Durante el análisis y la discusión de los resultados se ha aportado suficiente evidencia que permite afirmar la bondad de ajuste del IAA respecto a los dos modelos de referencia, ya que es capaz de sintetizar eficazmente en una sola medida las características espaciales que los otros modelos capturan por separado, y de conjugarlas con la dimensión económica de una forma más eficiente y sensible, ofreciendo resultados potencialmente más significativos y más representativos del entorno alimentario, por lo cual puede ser incluso más adecuado para la determinación del acceso alimentario que las otras dos medidas.

Entre las cualidades favorables del IAA, destaca la ventaja respecto a los otros modelos de que una sola aplicación del modelo es suficiente para distinguir las tres categorías de accesibilidad alimentaria. La clasificación de los resultados en tres categorías es muy favorable para su utilización en la toma de decisiones orientada a la elaboración de políticas públicas ya que les da un carácter crítico y preponderante y de mayor vulnerabilidad a las áreas identificadas como desiertos y espejismos. Sin embargo, a diferencia de los dos modelos de referencia, la salida del IAA es un continuo de valores, en el que cada uno es indicativo de una combinación de aspectos espaciales y económicos presentes en el entorno alimentario, por lo que puede ofrecer otras posibilidades en cuanto a su manejo e interpretación, como podría ser distinguir varios grados de severidad en la presencia de barreras físicas (desiertos) y económicas (espejismos), dando incluso lugar para nuevas categorías como las zonas de transición que introducen Leete, Bania, y Sparks-Ibanga (2011) para referirse a áreas con pobre accesibilidad alimentaria y bajo nivel socioeconómico pero ubicadas en la periferia urbana, con una menor densidad de población que los desiertos centrales.

Esta clasificación en categorías y su utilidad para la toma de decisiones pueden resultar clave en la coordinación y orientación de acciones dentro de programas de desarrollo social, como serían la apertura y reubicación de tiendas Diconsa, la identificación de regiones y comunidades prioritarias para ser atendidas por las tiendas móviles, la creación de nuevos mercados y puntos de venta preferiblemente tradicionales y formados por productores locales, para generar así soluciones sinérgicas que fortalezcan la economía de los pequeños comerciantes y de los productores, repercutiendo en su accesibilidad económica a los alimentos. Pero más allá de atender de las necesidades de los habitantes de áreas consideradas como desiertos o espejismos, es fundamental su identificación para ponerlas bajo la lupa y entender las dinámicas sociales y económicas que ocurren en su interior, y así poder atacar desde la raíz a la mala accesibilidad alimentaria.

Otra ventaja relevante del IAA es que puede operar independientemente de la asignación de un umbral de distancia y, a juzgar por las pruebas efectuadas, de hecho funciona mejor sin el uso del umbral. Igualmente, un aspecto muy notable fue que el IAA ha probado ser altamente sensible al entorno inmediato, facilitando y favoreciendo su uso en zonas de estudio extensas, puesto que ofrece resultados locales sin verse afectados por la amplitud de los datos de entrada.

Respecto al uso del indicador de precios como atractor del IAA, lo más destacable es el problema de los falsos desiertos, mismo que no fue posible solucionar cabalmente, comenzando por la imposibilidad de identificarlos de manera objetiva, ya que su detección visual está sujeta a otras complicaciones, como es el caso de los 26 desiertos detectados en el primer análisis en la ciudad de Tehuacán (página 67); sin embargo, el uso de simulaciones de valores de compra basadas en datos reales derivados de los precios promedio del INPC contribuyó notablemente a su reducción, por lo que es de suponer que el uso de valores procedentes de cotizaciones en campo realizadas *ex professo* para la determinación de accesibilidad alimentaria pueda ser la solución de este conflicto. En el caso de que se efectúen dichas cotizaciones en campo también se puede controlar la eventualidad de algún comercio que reporte un  $IP=0$ , que como ya se ha mencionado omite automáticamente del análisis a ese punto de venta, pudiendo afectar negativamente la utilidad del valor resultante o de su interpretación. Sin embargo, no se debe perder de vista la necesidad de seguir trabajando con el atractor utilizado, pues sigue presente la posibilidad de encontrar una mejor alternativa que resuelva estos problemas independientemente de la naturaleza de los datos de entrada, siempre y cuando este atractor sea igualmente útil para retratar la dimensión económica del entorno alimentario.

Situación similar ocurre con las dificultades encontradas en las 25 unidades geoestadísticas de la región de Tehuacán que reportaron resultados nulos sin que esto se debiera a cuestiones topológicas en la capa vectorial de vialidades; en los 26 desiertos identificados en la ciudad de Tehuacán que no se pueden considerar falsos desiertos y que tampoco resulta clara su causa; así como la incongruencia en el número de manzanas incluidas en los dos análisis efectuados para la ciudad. Para todos estos problemas se supone su causa en algún aspecto del algoritmo elaborado o en detalles técnicos del software utilizado, sin embargo no fue posible verificarlo.

Respecto a la utilización de la metodología propuesta para medir el acceso alimentario en el contexto mexicano, es fundamental hacer énfasis en la necesidad de datos de precios de alimentos a nivel local

obtenidos en campo, labor que podría diseñarse como un índice de precios nuevo o como una ampliación y mejora de la metodología usada actualmente para la elaboración del INPC; así como de datos vectoriales de vialidades en zonas rurales que ofrezcan mayor calidad, integridad y fidelidad de los datos, especialmente en cuanto a conectividad y topología se refiere, y preferiblemente generados con el propósito específico de ser usados en la determinación del acceso alimentario. Un aspecto adicional sobre estos datos viales, y que intencionalmente no se consideró en este trabajo fue el valor de altitud de las vías, que sin duda contribuiría a mejorar la calidad y representatividad de los resultados obtenidos; así como los datos de sentido y restricciones al tránsito, que no están disponibles en las capas de datos usadas.

También es necesario recordar que entre las limitaciones de este trabajo, especialmente al considerar los diversos modos de vida y sustento en el entorno rural mexicano, figura el hecho de que no fueron incluidas como fuente de alimentos la agricultura de autoconsumo, trueques, tianguis ni otras formas no monetarias de obtener alimentos; igualmente en el entorno urbano no fueron considerados tianguis ni mercados sobre ruedas, ya que ninguna de estas actividades está debidamente inventariada ni en el DENUE ni en otra fuente de datos conocida.

Un aporte significativo más de este trabajo es el método de comparación utilizado, que es bastante sencillo y en todo momento conserva la naturaleza espacial de los datos y la importancia de ésta.

En un aspecto más teórico y general, debe destacarse la ausencia de la calidad en el concepto de seguridad alimentaria. Si bien hace referencia a que los alimentos deben ser inocuos y poseer un valor nutricional adecuado, se requiere hacer hincapié en la calidad de los alimentos que consumimos, en especial al considerar prácticas cuestionables de la industria alimentaria (técnicas productivas, políticas laborales, entre otras), así como las externalidades derivadas de la producción de esos alimentos.

## **8.1 Perspectivas**

De esta manera se puede llegar a la identificación de varias áreas de oportunidad para continuar con el desarrollo y la aplicación del índice de acceso alimentario, así como para hacer totalmente posible la determinación del acceso alimentario en México:

- Aplicar el IAA en nuevas zonas de estudio con características distintas, para contar con mayor número de pruebas que respalden o desmientan las conclusiones aquí obtenidas y permitan un mayor refinamiento y ajuste del modelo utilizado.
- Identificar las distancias máximas en las que el IAA sigue siendo funcional, para identificar el umbral máximo de distancia o tiempo dentro del que puede arrojar resultados significativos.
- Utilizar datos de desplazamiento real obtenidos mediante de encuestas origen-destino (EOD), o de modelos de comportamiento de viaje para calibrar la función de impedancia haciendo el modelo más apegado a la realidad que trata de representar, y sus resultados más significativos.

- Efectuar EOD y estudios de comportamiento de viaje en sitios y poblaciones representativos del país, ya que, a la fecha, sólo existe el antecedente de una EOD realizada en 2007 para la Zona Metropolitana del Valle de México.
- Continuar trabajando con el atractor utilizado en el modelo. Este trabajo deberá orientarse principalmente a la solución del problema de los falsos desiertos, y eventualmente a la incorporación de otros aspectos deseables de los puntos de venta, como variedad y carácter saludable de los alimentos disponibles.
- Solucionar el problema de los falsos desiertos, o en su defecto, idear alguna forma de identificarlos objetivamente.
- Destacar la necesidad de ampliar la metodología de muestreo del INPC, o construir un índice nuevo, de modo que éste pueda reflejar las variaciones espaciales en los precios de alimentos a nivel local, y ser directamente útil a la determinación de la accesibilidad alimentaria en México.
- Una alternativa a la cotización en campo puede ser valerse del conocimiento y apoyo de expertos ciudadanos o de la población general para determinar las variaciones locales en el precio de los alimentos, siendo necesario trabajar en la utilización de estas fuentes de información.
- Incluir la dimensión cultural del acceso alimentario mediante la realización de estudios sociales como encuestas y grupos de enfoque entre la población de las regiones de interés. Beneficio adicional de estos estudios es que proporcionarán datos sobre el acceso percibido de los habitantes que servirán para validar los resultados obtenidos del IAA, así como datos acerca de formas no monetarias y otras prácticas para conseguir alimentos.
- Considerar las líneas de investigación planteadas en otros países:
  - Relación entre accesibilidad alimentaria y problemas nutricionales. Normalmente estos trabajos consideran sobrepeso y obesidad, pero en el caso de México, la inclusión de desnutrición puede ser un ejercicio relevante.
  - Inclusión de los restaurantes y comercios de alimentos preparados como puntos de venta de alimentos.
  - Caracterización más detallada del entorno alimentario enfocada en la proporción de alimentos saludables y no saludables al interior de supermercados y tiendas de abarrotes, así como en la proporción de restaurantes saludables y no saludables dentro de la zona de estudio.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alonso, W. (1964). *Location and Land Use*. Cambridge, MA and London, England: Harvard University Press.
- Apparicio, P., Cloutier, M.-S., y Shearmur, R. (2007). The case of Montréal's missing food deserts: evaluation of accessibility to food supermarkets. *International journal of health geographics*, **6**, 4.
- Ávila Curiel, A. (2012). *Construcción de una Canasta Normativa Alimentaria para el DF* (pp. 2–76).
- Ball, K., Timperio, A., y Crawford, D. (2009). Neighbourhood socioeconomic inequalities in food access and affordability. *Health y place*, **15**(2), 578–85.
- Breyer, B., y Voss-Andreae, A. (2013). Food mirages: Geographic and economic barriers to healthful food access in Portland, Oregon. *Health y place*, **24C**, 131–139.
- Camagni, R. (2005). *Economía urbana*. (A. Bosch, Ed.). Barcelona: Antoni Bosch.
- Caspi, C. E., Sorensen, G., Subramanian, S. V., y Kawachi, I. (2012). The local food environment and diet: a systematic review. *Health y place*, **18**(5), 1172–87.
- Castro, M. C. (2000). La seguridad alimentaria de México en el año 2030. *Ciencia Ergo Sum*, **7**(1).
- Chasco Yrigoyen, C., y Vicéns Otero, J. (1998). Spatial Interaction Models Applied to the Design of Retail Trade Areas. In *38th Congress of the European Regional Science Association*.
- Chen, X., y Clark, J. (2013). Interactive three-dimensional geovisualization of space–time access to food. *Applied Geography*, **43**, 81–86.
- Choi, Y., y Suzuki, T. (2013). Food deserts, activity patterns, y social exclusion: The case of Tokyo, Japan. *Applied Geography*, **43**, 87–98.
- Christian, W. J. (2012). Using geospatial technologies to explore activity-based retail food environments. *Spatial and spatio-temporal epidemiology*, **3**(4), 287–95.
- CONEVAL. (2010). *Dimensiones de la seguridad alimentaria: Evaluación Estratégica de Nutrición y Abasto*. México, DF: Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social.
- CONEVAL. (2012). *Informe de pobreza en México 2010: el país, los estados y sus municipios*. México, DF.
- CONEVAL. (2014). Comisión Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. Disponible en <http://www.coneval.gob.mx/Paginas/principal.aspx>. Fecha de consulta: abril de 2014.

- Departamento Económico y Social. (2010). *Disminuye el hambre mundial , pero sigue inaceptablemente alta* (p. 2). Roma.
- Diconsa. (2014a). Moderniza Sedesol las tiendas móviles Diconsa para transportar perecederos. Disponible en <http://www.diconsa.gob.mx/index.php/sala-de-prensa/502-moderniza-sedesol-las-tiendas-moviles-diconsa-para-transportar-perecederos.html>. Fecha de consulta: marzo de 2014.
- Diconsa. (2014b). Con tiendas móviles, Diconsa llega a más de 3500 comunidades. Disponible en <http://www.diconsa.gob.mx/index.php/sala-de-prensa/467-con-tiendas-moviles-diconsa-llega-a-mas-de-3500-comunidades.html>. Fecha de consulta: marzo de 2014.
- Diconsa. (2014c). Intensifica Diconsa Abasto con Tiendas Móviles. Disponible en <http://www.diconsa.gob.mx/index.php/sala-de-prensa/384-intensifica-diconsa-abasto-con-tiendas-moviles.html>. Fecha de consulta: marzo de 2014.
- Donkin, A., Dowler, E., Stevenson, S., y Turner, S. (1999). Mapping access to food at a local level. *British Food Journal*, **101**(7), 554–564.
- Donkin, A., Dowler, E., Stevenson, S., y Turner, S. (2000). Mapping access to food in a deprived area: the development of price and availability indices. *Public health nutrition*, **3**(1), 31–8.
- Drèze, J., y Sen, A. (1989). *Hunger and Public Action*. New York: Oxford University Press.
- Dubowitz, T., Acevedo-Garcia, D., Salkeld, J., Lindsay, A. C., Subramanian, S. V, y Peterson, K. E. (2007). Lifecourse, immigrant status and acculturation in food purchasing and preparation among low-income mothers. *Public health nutrition*, **10**(4), 396–404.
- Dutko, P., Ver Ploeg, M., y Farrigan, T. (2012). *Characteristics and Influential Factors of Food Deserts*.
- Eckert, J., y Shetty, S. (2011). Food systems, planning and quantifying access: Using GIS to plan for food retail. *Applied Geography*, **31**(4), 1216–1223.
- Ericksen, P. J. (2008). Conceptualizing food systems for global environmental change research. *Global Environmental Change*, **13**(1), 234–245.
- ERS-USDA. (2014). Food Access Research Atlas. Disponible en <http://www.ers.usda.gov/data-products/food-access-research-atlas.aspx>. Fecha de consulta: enero de 2014.
- FAO. (2014). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Disponible en <http://www.fao.org/economic/ess/ess-fs/es/>. Fecha de consulta: octubre de 2013.
- Gasca Zamora, J. (2003). Pobreza, políticas sociales y seguridad alimentaria. En F. Torres Torres (Ed.), *Seguridad alimentaria: seguridad nacional* (Primera., pp. 149–172). México, DF: Plaza y Valdés S.A. de C.V.
- Google Maps. (2014). Google Streets Map. Google, INEGI.
- Gordon, C., Purciel-Hill, M., Ghai, N. R., Kaufman, L., Graham, R., y Van Wye, G. (2011). Measuring food deserts in New York City's low-income neighborhoods. *Health y place*, **17**(2), 696–700.

- Guy, C. M., y David, G. (2004). Measuring physical access to “ healthy foods ” in areas of social deprivation : a case study in Cardiff. *International Journal of Consumer Studies*, **28**(3), 222–234.
- Handy, S. L., y Niemeier, D. A. (1997). Measuring accesibility: an exploration of issues and alternatives. *Environment and Planning A*, **29**, 1175–1194.
- Hevia de la Jara, F. (2009). De Progres a Oportunidades : efectos y límites de la corriente cívica en el gobierno de Vicente Fox. *Sociológica*, **24**(70), 43–81.
- HPLE. (2012). *Food security and climate change. A report by the High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security*. Roma.
- Hubley, T. a. (2011). Assessing the proximity of healthy food options and food deserts in a rural area in Maine. *Applied Geography*, **31**(4), 1224–1231.
- Huff, D. L. (1963). A Probabilistic Analysis of Shopping Center Trade Areas. *Land Economics*, **39**(1), 81–90.
- INEGI. (2014). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Disponible en <http://www.inegi.org.mx/default.aspx>. Fecha de consulta: septiembre de 2014.
- Kawakami, N., Winkleby, M., Skog, L., Szulkin, R., y Sundquist, K. (2011). Differences in neighborhood accessibility to health-related resources: a nationwide comparison between deprived and affluent neighborhoods in Sweden. *Health y place*, **17**(1), 132–9.
- Larsen, K., y Gilliland, J. (2008). Mapping the evolution of “food deserts” in a Canadian city: supermarket accessibility in London, Ontario, 1961-2005. *International journal of health geographics*, **7**, 16.
- Leete, L., Bania, N., y Sparks-Ibanga, a. (2011). Congruence and Coverage: Alternative Approaches to Identifying Urban Food Deserts and Food Hinterlands. *Journal of Planning Education and Research*, **32**(2), 204–218.
- Makrí, M.-C., y Folkesson, C. (1999). Accessibility Measures for Analyses of Land Use and Travelling with Geographical Information Systems. In *Urban Transport Systems. Proceedings from the 2nd KFB-Research Conference* (pp. 1–15). Lund: Lund University, Department of Technology and Society.
- McEntee, J., y Agyeman, J. (2010). Towards the development of a GIS method for identifying rural food deserts: Geographic access in Vermont, USA. *Applied Geography*, **30**(1), 165–176.
- Moreno Jiménez, A., y Bosque Sendra, J. (2012). La localización óptima como problema: cuestiones teóricas y metodológicas. En J. Bosque Sendra y A. Moreno Jiménez (Eds.), *Sistemas de información geográfica y localización óptima de instalaciones y equipamientos* (Segunda., pp. 25–39). México, DF: Alfaomega Grupo Editor.
- Morton, L. W., y Blanchard, T. C. (2007). Starved for Access: Life in Rural America’s Food Deserts. *Rural Realities*, **1**(4), 1–10.
- Mundo-Rosas, V., Shamah-Levy, T., y Rivera-Dommarco, J. A. (2013). Epidemiología de la inseguridad alimentaria en México. *Salud Pública de México*, **55**(2), 206–213.
- Nayak, P. (2000). Understanding the entitlement approach to famine. *Journal of Assam University*, **V**(1), 60–65.

- Páez, A., Gertes Mercado, R., Farber, S., Morency, C., y Roorda, M. (2010). Relative Accessibility Deprivation Indicators for Urban Settings: Definitions and Application to Food Deserts in Montreal. *Urban Studies*, **47**(7), 1415–1438.
- Pearce, J., Blakely, T., Witten, K., y Bartie, P. (2007). Neighborhood deprivation and access to fast-food retailing: a national study. *American journal of preventive medicine*, **32**(5), 375–82.
- Pearce, J., Hiscock, R., Blakely, T., y Witten, K. (2009). A national study of the association between neighbourhood access to fast-food outlets and the diet and weight of local residents. *Health y place*, **15**(1), 193–7.
- pgRouting Contributors. (2014). pgRouting.
- QGIS Development Team. (2014). QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project.
- SAGARPA. (2011). Seguridad y sustentabilidad alimentaria. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.
- Salado García, M. J. (2012). Localización de los equipamientos colectivos, accesibilidad y bienestar social. En J. Bosque Sendra y A. Moreno Jiménez (Eds.), *Sistemas de Información Geográfica y Localización Óptima de Instalaciones y Equipamientos* (Segunda., pp. 41–65). México, DF: Alfaomega Grupo Editor.
- Schenk, T. a., Löffler, G., y Rauh, J. (2007). Agent-based simulation of consumer behavior in grocery shopping on a regional level. *Journal of Business Research*, **60**(8), 894–903.
- Secretaría de Desarrollo Social. Decreto por el que se establece el Sistema Nacional para la Cruzada contra el Hambre (2013). México.
- Secretaría de Desarrollo Social. (2013b). Informativo Sin Hambre #1. Disponible en [http://www.sedesol.gob.mx/boletinesSinHambre/BOLETIN\\_01/](http://www.sedesol.gob.mx/boletinesSinHambre/BOLETIN_01/). Fecha de consulta: marzo de 2014.
- Secretaría de Desarrollo Social. (2013c). Informativo Sin Hambre #2. Disponible en [http://www.sedesol.gob.mx/boletinesSinHambre/Informativo\\_02/#uno](http://www.sedesol.gob.mx/boletinesSinHambre/Informativo_02/#uno). Fecha de consulta: marzo de 2014.
- Secretaría de Desarrollo Social. (2014a). Informativo Sin Hambre #3. Disponible en [http://www.sedesol.gob.mx/boletinesSinHambre/Informativo\\_03/](http://www.sedesol.gob.mx/boletinesSinHambre/Informativo_03/). Fecha de consulta: marzo de 2014.
- Secretaría de Desarrollo Social. (2014b). Informativo Sin Hambre #4. Disponible en [http://www.sedesol.gob.mx/boletinesSinHambre/Informativo\\_04/](http://www.sedesol.gob.mx/boletinesSinHambre/Informativo_04/). Fecha de consulta: marzo de 2014.
- Sen, A. (1981). *Poverty and Famines*. Nueva York: Oxford University Press.
- Sen, A. (1999). *Commodities and Capabilities*. Nueva Delhi: Oxford University Press.
- Sevtsuk, A., y Mekonnen, M. (2012). Urban Network Analysis. Singapur: City Form Lab.
- Sharkey, J. R. (2009). Measuring potential access to food stores and food-service places in rural areas in the U.S. *American journal of preventive medicine*, **36**(4 Suppl), S151–5.

- Sharkey, J. R., Dean, W. R., y Johnson, C. M. (2012). Use of vendedores (mobile food vendors), pulgas (flea markets), and vecinos o amigos (neighbors or friends) as alternative sources of food for purchase among Mexican-origin households in Texas border colonias. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, **112**(5), 705–10.
- Shaw, H. J. (2006). Food deserts: towards the development of a classification. *Swedish Society for Anthropology and Geography*, 231–247.
- Smith, C., y Miller, H. (2011). Accessing the food systems in urban and rural Minnesotan communities. *Journal of nutrition education and behavior*, **43**(6), 492–504.
- Smith, C., y Morton, L. W. (2009). Rural food deserts: low-income perspectives on food access in Minnesota and Iowa. *Journal of nutrition education and behavior*, **41**(3), 176–87.
- Sourcepole. (2014). OpenLayers Plugin.
- Taylor, P. J. (1983). *Distance decay in spatial interactions. Concepts and Techniques in Modern Geography* (p. 35). Norwich: Geo Books, CATMOG.
- The PostGIS Steering Committee. (2014). PostGIS.
- The PostgreSQL Global Development Group. (2014). PostgreSQL.
- Torres Torres, F. (2003a). *Seguridad alimentaria: seguridad nacional* (Primera., p. 292). México, DF: Plaza y Valdés S.A. de C.V.
- Torres Torres, F. (2003b). La visión teórica de la seguridad alimentaria como componente de la seguridad nacional. En F. Torres Torres (Ed.), *Seguridad alimentaria: seguridad nacional* (Primera., pp. 15–52). México, DF: Plaza y Valdés S.A. de C.V.
- Torres Torres, F. (2003c). Dimensiones regionales de la seguridad alimentaria. En F. Torres Torres (Ed.), *Seguridad alimentaria: seguridad nacional* (Primera., pp. 203–246). México, DF: Plaza y Valdés S.A. de C.V.
- Torres Torres, F. (2011). El abasto de alimentos en México hacia una transición económica y territorial. *Problemas del Desarrollo*, **166**(42), 63–84.
- Truelove, M. (1993). Measurement of spatial equity. *Environment and Planning C*, **11**, 19–34.
- Valdez, Z., Dean, W. R., y Sharkey, J. R. (2012). Mobile and home-based vendors' contributions to the retail food environment in rural South Texas Mexican-origin settlements. *Appetite*, **59**(2), 212–7.
- Van Meter, E., Lawson, a B., Colabianchi, N., Nichols, M., Hibbert, J., Porter, D., y Liese, a D. (2011). Spatial accessibility and availability measures and statistical properties in the food environment. *Spatial and spatio-temporal epidemiology*, **2**(1), 35–47.
- Whelan, A., Wrigley, N., Warm, D., y Cannings, E. (2002). Life in a “ Food Desert.” *Urban Studies*, **39**(11), 2083–2100.
- White, M., Bunting, J., Williams, L., Raybould, S., y Adamson, A. (2004). *Do “ food deserts ” exist? A multi-level , geographical analysis of the relationship between retail food access , socio- economic position and dietary intake.*

Widener, M. J., Farber, S., Neutens, T., y Horner, M. W. (2013). Using urban commuting data to calculate a spatiotemporal accessibility measure for food environment studies. *Health y place*, **21**, 1–9.