



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
MAESTRÍA EN GEOMÁTICA CON MENCIÓN EN ORDENAMIENTO
TERRITORIAL

ANALISIS EXPLORATORIO DE LA ESTRUCTURA ESPACIAL URBANA
UTILIZANDO SINTAXIS ESPACIAL

Tesis previa a la obtención del título de
"Máster en Geomática con Mención en Ordenamiento Territorial"

AUTOR: Ing. Civ. María Verónica Rodas Ochoa

DIRECTOR: PhD. Daniel Orellana Vintimilla

Noviembre – 2015

Cuenca - Ecuador

ANÁLISIS EXPLORATORIO DE LA ESTRUCTURA ESPACIAL URBANA

UTILIZANDO SINTAXIS ESPACIAL

CASO DE ESTUDIO: VARIOS SECTORES AL SUROESTE DEL ÁREA URBANA DE LA CIUDAD DE CUENCA

RESUMEN

El proceso acelerado de la expansión urbana cambia la estructura espacial de la ciudad, generando impactos tanto en la forma de ocupar el espacio (uso del suelo) como en la forma de moverse por la ciudad (red vial). El objetivo de este trabajo es establecer si existe una correlación entre la estructura espacial de la red vial y los parámetros de uso del suelo en el sector suroeste de la ciudad de Cuenca, entendiéndose como usos de suelo los servicios, viviendas y comercios. Para ello, en primer lugar, se analiza la estructura espacial de la red vial urbana utilizando cuatro medidas relacionadas con la teoría de redes y Sintaxis Espacial. Luego se establecen cuatro parámetros urbanos para cada unidad espacial. Finalmente, se calculan las correlaciones estadísticas entre los dos componentes para formar una matriz de correlación; esta matriz permite estudiar la correlación entre la estructura espacial de la red vial y los parámetros de uso del suelo. Los resultados indican que para el año 2001 la correlación entre la integración global y local es del 84%, mientras que para el año 2015 es del 81%, esto quiere decir que el sistema se ha vuelto menos inteligible y por tanto, es más difícil interpretar las rutas para un peatón. Por otro lado, las condiciones globales de accesibilidad influyen con mayor intensidad en las medidas de *reach* y *straightness*. Se ha observado que el patrón espacial entre las medidas de centralidad y el análisis axial demarcan las mismas zonas.

EXPLORATORY ANALYSIS OF URBAN SPATIAL STRUCTURE USING SPACE SYNTAX

CASE STUDY: VARIOUS SECTORS SOUTHWEST OF THE URBAN AREA OF THE CITY OF CUENCA

ABSTRACT

The accelerated urban expansion process changes the spatial structure of the city, generating impacts both in the form of occupying space (land use) and how to get around in the city (road network). The aim of this study is to establish whether there is a correlation between the spatial structure of the road network and land-use parameters in the southwest part of the city of Cuenca; understanding as land-use, services, homes and businesses. To do this, first the spatial structure of the urban road network is analyzed using four measures related to network theory and spatial syntax. Then, four urban parameters for each spatial unit are established. Finally, the statistical correlations between the two components are calculated in order to form a correlation matrix. This matrix enables to study the correlation between road network spatial structure and land-use parameters. The results indicate that for 2001 the correlation between global and local integration is 84%; while for 2015 it is 81%. This means that the system has become less intelligible and therefore, more difficult to interpret routes for a pedestrian. On the other hand, global accessibility conditions influence more strongly on reach and straightness measures. It has been observed that the spatial pattern between measures of centrality and axial analysis determine the same areas.



Translated by,
Lic. Lourdes Crespo

Tabla de contenido

RESUMEN	B
Tablas	F
Tabla de Figuras	F
AGRADECIMIENTOS	E
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	5
TRABAJOS RELACIONADOS	6
Estudios de la relación entre la red vial y el uso del suelo.....	6
MARCO TEORICO	7
Análisis de la Red Urbana	7
Sintaxis Espacial	10
METODOLOGÍA	13
Información de Base	13
Estructura de la Red Vial	14
Sintaxis Espacial	15
Urban Network Analysis	15
Datos de Red.....	15
Predios	15
Matriz de Correlación	16
Zona de Estudio	16
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	19
Análisis de Ejes Axiales	19
Análisis de Correlación para la zona de estudio con la red vial del año 2001 y el año 2015	22
Urban Network Analysis	23
Reach	24
Gravity	26
Betweenness.....	29
Closeness	31
Straightness	32

Medidas de correlación entre la estructura espacial de la red vial y los diferentes parámetros urbanos.....	34
CONCLUSIONES	38
Introducción	38
Correlación entre la estructura de la red vial y el uso del suelo utilizando métodos de UNA y Sintaxis Espacial	38
ANEXO 1.....	- 1 -
Cálculos de Centroides con Atributos	- 1 -
ANEXO 2.....	- 2 -
Usos de Suelo	- 2 -
ANEXO 3.....	- 4 -
Herramienta <i>DepthMAP</i>.....	- 4 -
ANEXO 4.....	- 6 -
Urban Network Analysis.....	- 6 -
Buildings de Entrada (Input Buildings)	- 6 -
Datos de Red (Network Dataset).....	- 7 -
Selección de Análisis.....	- 7 -
Nombre de atributo (Building ID).....	- 8 -
Pesos del Campo Buildings	- 8 -
Atributo de Impedancia (Impedance Attribute).....	- 8 -
Radio de búsqueda	- 8 -
Tipo de Radio	- 9 -
Valor beta	- 9 -
Localización de Salida.	- 9 -
Carpeta de Nombre de Salida.....	- 10 -
ANEXO 5.....	- 11 -
Gráficos de Integración para un R=3, 5, 7.....	- 11 -
ANEXO 6.....	- 14 -
Gráficos de Centralidad para los diferentes usos de suelo con un radio de búsqueda de 300 metros.	- 14 -
Reach	- 14 -
Closeness	- 14 -

Gravity	- 23 -
Betweenness.....	- 27 -
Straightness	- 32 -
Gráficos de Centralidad para los diferentes usos de suelo con un radio infinito de búsqueda.....	- 36 -
Reach	- 36 -
Gravity	- 41 -
Betweenness.....	- 46 -
Closseness.....	- 51 -
Straightness	- 57 -
Matriz de Correlación de las medidas de Centralidad para los diferentes usos de suelo con un radio de búsqueda de 300 metros.	- 62 -
Matriz de Correlación de las Medidas de Centralidad para los diferentes usos de suelo en toda la zona de estudio.	- 64 -
REFERENCIAS.....	i

Tablas

Tabla 1. Información Base	14
Tabla 2. Matriz de Correlación para la red vial de la zona de estudio del año 2001 y 2015.....	23
Tabla 3. Matriz de Correlación para los ejes viales más importantes	23
Tabla 4. Correlación (r^2), con radio infinito con peso de usos de suelo	35
Tabla 5. Correlación (r^2), con $r =$ infinito, con peso de densidad poblacional ...	36
Tabla 6. Correlación (r^2), con $r = 300m$, con peso de usos de suelo	37
Tabla 7. Correlación (r^2), con $r = 300m$, con peso de densidad poblacional.....	37

Tabla de Figuras

Figura 1 Gráfico de la medida de alcance (Sevtsuk, 2010).....	8
Figura 2. 1. “G”, una pequeña ciudad en la región de Var de Francia;	11
Figura 3: Edificio genérico y su análisis de profundidad espacial	12
Figura 4 Zona de Estudio	18
Figura 5. Mapa de Integración Global de la red vial año 2001.....	20
Figura 6. Mapa de Integración Global de la red vial año 2015.....	22

Figura 7. Medida <i>Reach</i> del número de residentes (año 2001) dentro de un radio de 300 metros desde cada predio a otros predios en la zona de estudio.....	25
Figura 8. Medida <i>Reach</i> del número de residentes (año 2010) dentro de un radio de 300 metros desde cada predio a otros predios en la zona de estudio.....	25
Figura 9. Medida de <i>Reach</i> dentro de un radio de 300 metros desde cada vivienda a otras viviendas ubicadas en la zona de estudio.....	26
Figura 10. Gravity Index, medido por el número de residentes (año 2001) dentro de un radio de 300 metros desde cada predio a otros predios en la zona de estudio.....	27
Figura 11. Gravity Index, medido por el número de residentes (año 2010) dentro de un radio de 300 metros desde cada predio a otros predios en la zona de estudio.....	27
Figura 12. Índice Gravity para el uso de suelo viviendas dentro de un radio de 300 metros desde cada predio a otros predios en la zona de estudio	28
Figura 13. Centralidad de <i>Betweenness</i> en un radio de 300 metros, ponderado por el número de residentes en el año 2001 en la zona de estudio	29
Figura 14. Centralidad de <i>Betweenness</i> en un radio de 300 metros, ponderado por el número de residentes en el año 2010 en la zona de estudio	30
Figura 15. Centralidad de <i>Betweenness</i> en un radio de 300 metros, ponderado por el uso de suelo comercio en la zona de estudio	30
Figura 16. Medida de <i>Closeness</i> alrededor de los predios con radio de 300 metros y pesos poblacionales del año 2001.	31
Figura 17. Medida de <i>Closeness</i> alrededor de los predios con radio de 300 metros y pesos poblacionales del año 2010.	32
Figura 18. Medida de <i>Straightness</i> alrededor de los predios con radio de 300 metros y pesos poblacionales del año 2001.	33
Figura 19. Medida de <i>Straightness</i> alrededor de los predios con radio de 300 metros y pesos poblacionales del año 2010.	33
Figura 20. Medida de <i>Straightness</i> por el uso de suelo vivienda dentro de un radio de 300 metros desde cada predio a otros predios en la zona de estudio.....	34
Figura 21. Creación de líneas axiales.....	- 4 -

Figura 22. Resultado final para el cálculo de líneas axiales.....	- 5 -
Figura 23. Creación de un conjunto de datos de red nueva de un archivo .shp en <i>ArcMap</i> 10.1.	- 7 -
Figura 24. Creación de las medidas de Centralidad.....	- 10 -
Figura 25. Mapa de Integración local (R=3) de la red vial del año 2001	- 11 -
Figura 26. Mapa de Integración local (R=5) de la red vial del año 2001	- 11 -
Figura 27. Mapa de Integración local (R=7) de la red vial del año 2001	- 12 -
Figura 28. Mapa de Integración local (R=3) de la red vial del año 2015	- 12 -
Figura 29. Mapa de Integración local (R=5) de la red vial del año 2015	- 13 -
Figura 30. Mapa de Integración local (R=7) de la red vial del año 2015	- 13 -

AGRADECIMIENTOS

La investigación relacionada al cambio espacial urbano dentro de la zona suroeste de mi querida ciudad de Cuenca ha sido todo un reto en mi campo profesional, ya que al tratarse de un nuevo tema que es la configuración espacial, la información existente está ligada a ciudades de Europa y EE.UU. contado con poca información en el idioma español; por tanto, toda esta experiencia me ha permitido ampliar los conocimientos en otros idiomas, así como conocer nuevos campos para seguir con la investigación. El tema me ha encantado y espero continuar investigando y aportar al crecimiento ordenado de mi ciudad.

Agradezco a mis padres porque me brindaron su apoyo tanto moral y económico para seguir estudiando y lograr el objetivo trazado para un mejor futuro y ser orgullo para ellos.

De igual manera agradezco a mi director de tesis, pues fue él quien me guió para desarrollar el presente trabajo. Sus conocimientos, orientación, paciencia, motivación y su manera de trabajar han sido fundamentales para mi formación como investigadora.

Esta investigación dedico a mi mejor amigo y compañero de vida, mi esposo, que con su guía y apoyo ha sido el pilar de mi vida y mi ejemplo a seguir, ya que sin él no hubiese logrado este objetivo.

INTRODUCCIÓN

La estructura de la ciudad de Cuenca se encuentra conformada por elementos urbanos tales como el sistema vial, espacios verdes, tramas, trazados, tejidos y equipamientos que se presentan con características particulares en la conformación de cada ciudad. Algunos de ellos, por su disposición, adquieren connotaciones de principales y otros de secundarios.

Las actividades que en ella suceden varían de acuerdo a las necesidades que van adquiriendo las zonas, lo que provoca un crecimiento desordenado. Estas actividades que con el tiempo y la necesidad se tornan en actividades económicas es lo que ha provocado el uso de suelo mixto, por ejemplo, es más probable encontrar una calle de edificios o viviendas o una calle con locales comerciales, donde se espera que el tráfico vehicular o peatonal sea más alto y además que el valor de la tierra de la ciudad varíe de una ubicación a otra.

Así, la estructura del espacio se manifiesta, en los contextos más diversos, en la forma de oposiciones espaciales, en las que el espacio habitado (o apropiado) funciona como una especie de simbolización espontánea del espacio social. En una sociedad jerárquica, no hay espacio que no esté jerarquizado y no exprese las jerarquías y las distancias sociales, de un modo (más o menos) deformado y sobre todo enmascarado por el efecto de naturalización que entraña la inscripción duradera de las realidades sociales en el mundo natural: así, determinadas diferencias producidas por la lógica histórica pueden parecer surgidas de la naturaleza de las cosas (Reed-Danahay, 2002).

Los efectos de expansión y dispersión dan lugar a las áreas intermedias donde se mantienen rasgos del espacio rural y donde se asienta población que no depende económica ni socialmente del campo. (Rocca et al., 2012). Estos ámbitos periurbano y urbano en los cuales se producen cambios morfológicos y demográficos más rápidos y profundos de todo el espacio urbano, tienen rasgos específicos y pueden estar situados más allá del área urbana entre 19 y 50 km de distancia, dependiendo del tamaño de la ciudad o de la facilidad de comunicación y la intensidad de los intercambios (Durán, 2005).

Por tanto, es importante entender la relación entre la morfología urbana y la forma de ocupación del espacio en las ciudades. Esto hace que el análisis de la estructura espacial urbana sea un tema relevante en el desarrollo de las ciudades emergentes.

Por otro lado, el crecimiento urbano provoca la mezcla de usos y servicios. El equilibrio entre actividad y residencia se define como complejidad que no es más que la relación entre los usos no residenciales (comercial/ productivo/ otros) y el número total de habitantes. Esta mezcla genera patrones de proximidad para mejorar la autocontención laboral, evitando así desplazamientos motorizados, y la proximidad de los residentes a los servicios básicos de uso cotidiano. (Red de Redes de Desarrollo Local Sostenible, 2010).

La reserva de espacio para locales comerciales, oficinas u otros usos relacionados con la actividad es esencial para poder acoger una determinada densidad de actividad y, por tanto, de aumentar la probabilidad de intercambio y contacto entre personas jurídicas.

Adicionalmente, los sectores monofuncionales, tanto residenciales como de actividad (grandes superficies comerciales), generan un alto número de desplazamientos en vehículo motorizado. La calle se configura como conector de actividades laborales, de ocio y de residencia. La presencia de actividades de forma continua favorece la creación de trayectorias peatonales atractivas y seguras entre puntos de atracción de la ciudad. (Red de Redes de Desarrollo Local Sostenible, 2010).

En el caso de Cuenca, el proceso de crecimiento urbano está caracterizado por la acelerada urbanización, la ampliación de la mancha urbana, la dispersión espacial, el aumento de la dependencia de auto privado para la movilidad y el aumento de la población, según datos estadísticos del censo 2010 (INEC, 2010). La estructura urbana de ciudad se encuentra en una transición de monocéntrica a multicéntrica (Flores Fuentes, 2001).

Este mecanismo opera bajo un proceso de descentralización del comercio y los servicios hacia zonas alejadas del centro tradicional que cuentan con un fácil acceso y una excelente infraestructura, y condujo a la formación de nuevos centros y subcentros, lo que tuvo como resultado que la estructura urbana monocéntrica de Cuenca se encuentre en proceso de convertirse en multicéntrica. (Flores Fuentes, 2001).

Estos cambios de la estructura espacial se han acentuado en los últimos años y dan como resultado un proceso acelerado de expansión urbana. Las zonas de expansión urbana sufren de carencia de servicios cotidianos, como centros de salud, comercios, bancos, centros educativos, etc. Por tanto, el concepto de la ciudad como un espacio de intercambio social se debilita, lo que favorece la idea de aislamiento en barrios separados y socialmente estratificados.

Al mismo tiempo, la estructura conectiva en las nuevas zonas de expansión no obedece a una planificación de crecimiento, sino que ocupa simplemente los remanentes de espacio público, dejando un entramado vial desordenado y poco conectado. Es por esto que surge la necesidad de explorar la existencia de una relación entre la estructura urbana en términos de conectividad y los usos del suelo, pues dicha relación podría evidenciar la necesidad de que los procesos de planificación urbana y de transporte, deben necesariamente realizarse en conjunto.

Las zonas de expansión urbana son áreas en proceso de consolidación, de allí que es importante conocer si en estas zonas hay una correlación entre el uso del suelo y la estructura de la red vial que es una propiedad típica de las áreas ya consolidadas, y establecer una metodología para el comportamiento de la estructura espacial urbana en Cuenca y explorar que parámetros tienen más pesos sobre otros mediante una matriz de correlación.

En esta investigación se propone también el uso de dos enfoques teóricos y metodológicos: por una parte el Análisis de la Red Urbana (*Urban Network Analysis* o UNA por sus siglas en inglés) y por otra la Sintaxis Espacial.

El *Urban Network Analysis* describe los patrones espaciales de las ciudades por medio de métodos de análisis de redes matemáticas. Esta herramienta apoya estudiar la estructura de la red vial y a evaluar algunos efectos del diseño y la planificación urbana, mediante las llamadas medidas de centralidad (Sevtsuk & Mekonnen, 2012).

Las medidas de centralidad de la red son útiles para explorar y explicar una serie de fenómenos urbanos, por ejemplo, en qué calles o predios es más probable encontrar un local comercial, dónde se espera un alto tráfico peatonal o vehicular o por qué el valor del suelo varía de una zona a otra.

El UNA considera cinco medidas de análisis de gráficos de centralidad, *Reach*, *Gravity*, *Betweenness*, *Closeness*, y *Straightness* o en español Alcance, Gravedad, Centralidad, Cercanía y Rectitud respectivamente.

El enfoque de Sintaxis Espacial proporciona una descripción de distribución de una estructura urbana e intenta explicar el comportamiento humano y las actividades sociales de una configuración espacial.

Uno de los postulados teóricos de la Sintaxis Espacial afirma que el uso del suelo está relacionado con la estructura espacial de la red vial (Hillier & Janson, 1984; Hillier, 1996). Este enfoque analiza diferentes aspectos de la estructura urbana, tales como: accesibilidad, proximidad, integración, conectividad, costo o esfuerzo y propone que algunos lugares (o calles) son más importantes que otros, debido a su centralidad.

La teoría del lugar central (Christaller, 1993) establece una relación entre el tamaño del mercado y la distancia de los asentamientos. En un estudio realizado en Berlín por (Desyllas, 1997) demostró que los efectos de la morfología urbana en su análisis sobre la relación entre la configuración de la calle urbana y las oficinas en renta es influenciada por el valor de la tierra.

Desde esta perspectiva, esta tesis busca desarrollar e implementar un procedimiento de análisis espacial para establecer la correlación entre variables de

la estructura de la red vial y del uso del suelo, con el fin de mejorar la comprensión de los procesos de expansión urbana.

OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo es establecer si existe una correlación entre la estructura espacial de la red vial y el uso del suelo en la zona suroeste de la ciudad de Cuenca. La investigación propone dos objetivos específicos:

- a) Adaptar una metodología para explorar la correlación entre la estructura de la red vial y el uso del suelo, utilizando métodos de UNA y Sintaxis Espacial, y
- b) Aplicar y validar la metodología propuesta en el sector suroeste de la ciudad de Cuenca, para estudiar los cambios en un período de diez años.

El documento presenta en el siguiente capítulo algunas investigaciones relacionadas al análisis de la estructura de la red urbana y el uso del suelo, el capítulo 3 detalla los marcos teóricos de UNA y Sintaxis Espacial, el capítulo 4 propone el diseño metodológico de la investigación. El capítulo 5 presenta los resultados obtenidos de los dos objetivos planteados y finalmente, el capítulo 6 presenta las conclusiones y futuras líneas de investigación.

TRABAJOS RELACIONADOS

El propósito de esta sección es revisar algunas investigaciones previas sobre la relación entre el uso de suelo y el espacio urbano, así como la teoría del análisis de red urbana UNA y Sintaxis Espacial.

Estudios de la relación entre la red vial y el uso del suelo

Tsou & Cheng (2013) analizaron la reestructuración económica de ventas al por menor que han contribuido poco a poco al crecimiento económico urbano. La investigación revela que patrones minoristas se han visto afectados no sólo por los reglamentos de zonificación, sino también por las estructuras de redes urbanas que a menudo se conceptualizan de manera excesivamente simplificada.

Como resultado, el estudio propone un modelo integrado espacial que se centra en la relación entre los patrones de venta y red urbana estructuras y hace las comparaciones entre la eficacia de estas estructuras de red. El estudio utiliza una metodología de Sintaxis Espacial para analizar múltiples estructuras de red, incluyendo la configuración de la calle, la red de autobuses y la red de metro.

Jong-Hun (1993) analiza las condiciones de ubicación de edificios de oficina. Su estudio indicó que existe una fuerte preferencia por las zonas centrales como la ubicación de edificio de oficinas. Sugirió que la accesibilidad es el factor más crítico en la elección de la ubicación de un edificio de oficinas.

Desyllas, (1997) por su parte, comparó la relación entre las formas de configuración de la calle y el alquiler de oficinas en áreas urbanas; el estudio se centró en los cambios en los patrones de la calle y la influencia sobre el patrón de alquiler de oficinas. El autor encontró que la zona central de Berlín se había trasladado de acuerdo a los cambios del patrón de las calles y que efectivamente existe una relación entre la configuración espacial de la malla de la calle y el patrón de los valores de alquiler de oficinas.

La investigación también sugiere que el patrón de los alquileres no depende de las condiciones actuales regionales de una ubicación, sino del potencial que ofrece la ubicación con respecto a toda la ciudad.

MARCO TEORICO

Análisis de la Red Urbana

El *Urban Network Analysis* - UNA (análisis de la red urbana) es un enfoque teórico y metodológico de análisis espacial de redes para el cálculo de las propiedades de centralidad de una red vial urbana.

Fue desarrollado por el Centro Martin para los estudios del uso de suelo y la forma de construcción; el grupo del espacio del UCL, el laboratorio espacial humano y otras investigaciones trabajaron en el área de las redes de análisis espaciales (Martin & March 1971; Harary 1969; Porta, Crucitti et al, 2005).

El análisis de centralidad se basa en el cálculo de cinco tipos de medidas de redes espaciales, *reach*, *gravity*, *betweenness*, *straightness* y *Closeness*, incorporando tres características importantes:

En primer lugar, se toma en cuenta la geometría y la topología en las redes de entrada, utilizando la distancia métrica (por ejemplo, metros) o la distancia topológica (por ejemplo, giros) como factores de impedancia en el análisis.

En segundo lugar, a diferencia de las herramientas anteriores del software que operan con dos elementos de red (nodos y los bordes), las herramientas de UNA incluyen un tercer tipo de elementos de red - Bloques - que se utilizan como las unidades espaciales de análisis para todas las medidas.(Sevtsuk, 2012). Dos predios vecinos en los mismos segmentos de la calle pueden obtener diferentes resultados de accesibilidad.

En tercer lugar, las herramientas de UNA opcionalmente permiten a los predios ponderarse en función de sus características particulares, por ejemplo, predios más voluminosos, más poblados o de otro tipo más importante que puede ser especificado para tener un efecto proporcionalmente más fuerte en los resultados del análisis, produciendo resultados más precisos y fiables de las medidas especificadas (Sevtsuk, 2012).

La medida “*reach*” (Sevtsuk, 2010) captura cuantos predios dentro de una misma zona son alcanzados a un predio dentro de un radio de búsqueda en la red (Figura 1). Un buffer es trazado partiendo de cada lote “i” en cada dirección en la red de calles hasta el límite de radio “r” que es alcanzado. El índice de alcance corresponde al número de predios “j” (representados como pequeños puntos negros).

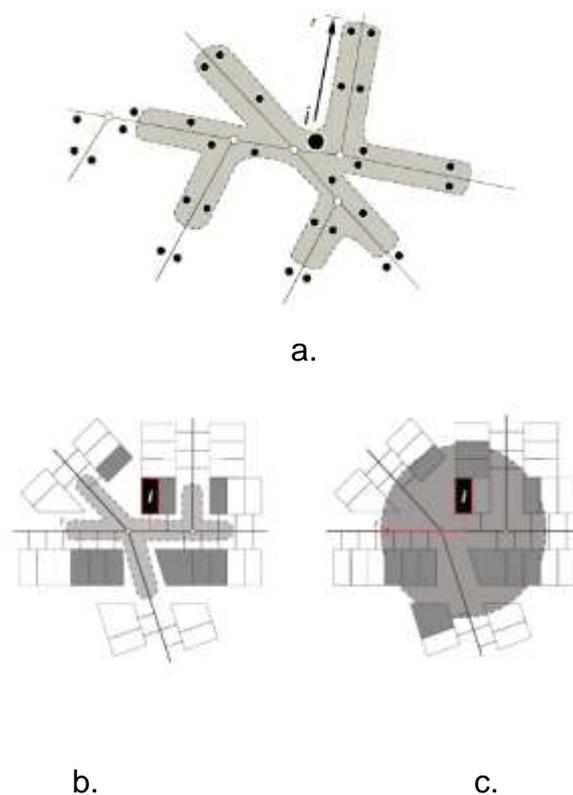


Figura 1 a. Gráfico de la medida de alcance, b. Radio Red, c. Radio Euclidiano (Sevtsuk, 2010)

El *reach* puede ser calibrado para medir el acceso a cualquier tipo de destino, esto con el fin de calcular cuántos predios son alcanzados. La medida de “*gravity*” no es más que el índice de alcance más el factor de la impedancia espacial

requerida para viajar a cada uno de los destinos. Así, el *Gravity Index* captura tanto el peso de los destinos de un predio a otro, como la impedancia espacial del viaje necesario para llegar a esos predios en una medida combinada de accesibilidad.

La medida de “**Betweenness**” es la fracción de los caminos más cortos entre pares de otros predios en la red que pasa por el predio “i”, (Freeman, 1977). La medida de “**Closeness**” es definida como el inverso de la distancia acumulada requerida para alcanzar desde ese predio a otros predios en el sistema que caen dentro del radio de búsqueda a lo largo de los caminos más cortos (Sabidussi Gert, 1966). La medida de proximidad indica lo cerca que un predio es a todos los demás predios circundantes dentro de un umbral de distancia dada.

La medida de “**Straightness**” ilustra el grado en que las rutas más cortas desde un nodo de interés para todos los otros nodos del sistema parecen caminos euclidianos. (Vragovic, Louis, & Díaz, 2005).

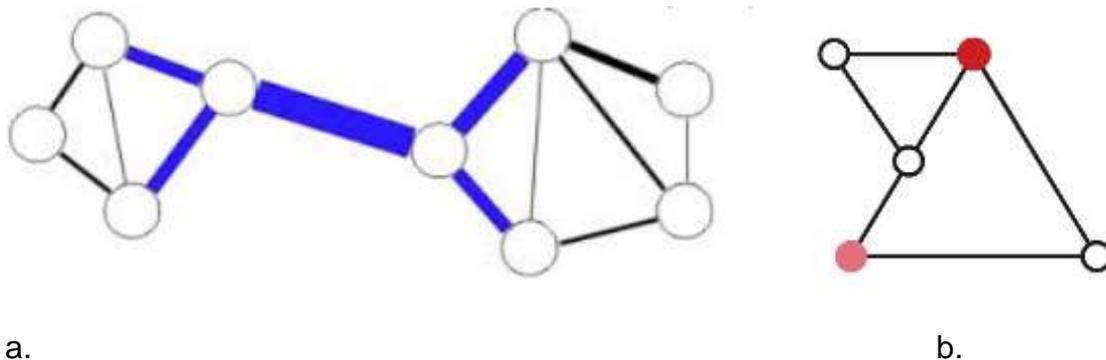


Grafico 1 (a) Medida Betweenness y (b) Straightness

La herramienta del UNA se basa en el estudio de las configuraciones espaciales de las ciudades y a procesos relacionados sociales, económicos y ambientales. Esta caja de herramienta está diseñada para facilitar el escalamiento que se adapta de igual a pequeña escala, el análisis de las redes es para las zonas urbanas densas como para las redes regionales dispersas.

Sintaxis Espacial

Bill Hillier en el año 1990 propone la idea de la “lógica social del espacio”, que intenta construir un modelo conceptual dentro del cual se pueda investigar la relación entre la población y el espacio (Hillier & Janson, 1984). Esta teoría analítica, conocida como Sintaxis Espacial (*Space Syntax*), presenta una nueva forma de representación y de modelación de la ciudad.

En el pasado, muchos métodos de análisis espacial habían sido desarrollados para mejorar la comprensión y el modelamiento de fenómenos del mundo real; sin embargo, hacía falta todavía explorar nuevas técnicas analíticas para modelar los espacios urbanos. La Sintaxis Espacial analiza las configuraciones espaciales de las áreas urbanas mediante una representación gráfica de la conectividad. Una configuración dada del espacio identifica patrones que pueden usarse para estudiar estructuras urbanas y comportamientos humanos (Jiang, Klarqvist, & Claramunt, 2000).

El primer paso para analizar cualquier sistema espacial en el caso de entornos urbanos, fundamentalmente el conjunto de calles y plazas, consiste en modelarlo según una serie de elementos discretos unidimensionales, denominados líneas axiales. El mapa axial (Figura 2) está formado por el menor conjunto de ejes rectos que atraviesan cada espacio haciendo todas las conexiones posibles del sistema (Hillier & Janson, 1984).

Los mapas axiales permiten analizar de qué manera se producen las conexiones entre ejes y cuantificar el grado de accesibilidad configuracional de la trama. Este proceso está basado en la magnitud denominada profundidad o distancia axial, que se define como el mínimo número de cambios de dirección para alcanzar un elemento de una red espacial desde otro. (Arnaiz, Ruiz-Apilánez, & Ureña, 2013).

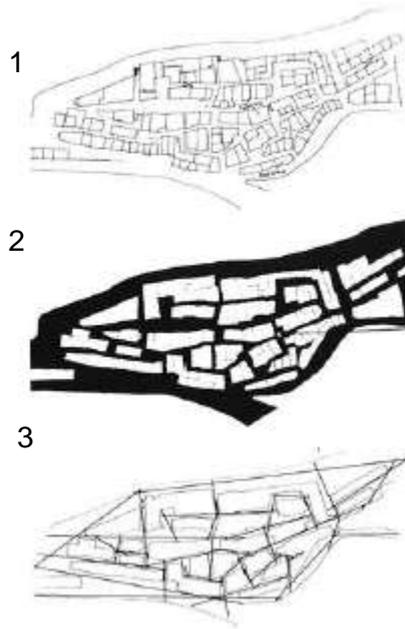


Figura 2. 1. “G”, una pequeña ciudad en la región de Var de Francia;
 2. Estructura del espacio libre de G;
 3. Mapa axial de G.

Fuente: Hillier y Hanson (1984).

Según la Sintaxis Espacial todo patrón de espacio urbano puede ser representado como un sistema de líneas, un sistema de espacios convexos y un sistema de campos de visión. Las líneas axiales y los campos de visión pasan a través de una serie de espacios convexos. Los espacios convexos, las líneas y los campos de visión trabajan en conjunto para componer el espacio urbano, entendiendo por espacio la capacidad de estructura y orden. (Greene & Mora, 2010).

Por ejemplo, la Figura 3 muestra un edificio genérico y las conexiones interiores de sus ocho espacios. Abajo aparece un gráfico que asimila cada recinto a un nodo y muestra, en la columna vertical, el “nivel de profundidad espacial” que cada uno de estos espacios tiene si nuestro punto de partida es el espacio exterior, 8 o 1, respectivamente. Si realizamos el mismo gráfico, para cada uno de los espacios del edificio y luego promediamos el nivel de profundidad que cada espacio obtuvo en cada gráfico, obtendremos un nivel de profundidad promedio del espacio en el sistema. Este nivel entonces se conoce como el grado de “integración espacial” y da cuenta de la posición relativa del espacio en el sistema. (INVI, 2003).

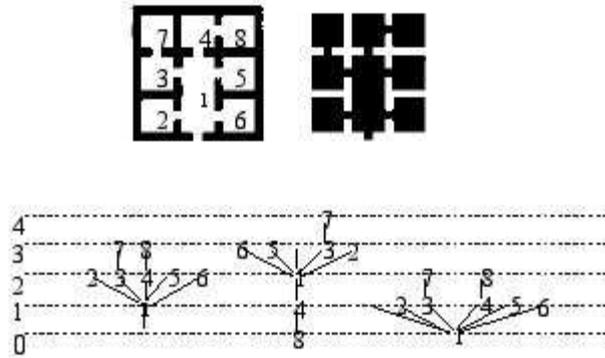


Figura 3: Edificio genérico y su análisis de profundidad espacial

El análisis configuracional a nivel urbano consiste en la medición de la profundidad de cada línea respecto del total de líneas del sistema, es decir, el número de quiebres de dirección que una persona debería hacer para llegar desde un punto “x” a un punto “y” si eligiera la ruta más corta posible. Esta medición arroja como resultado un valor de integración que explica la posición relativa del espacio en el sistema. (INVI, 2003). Las conexiones con menor ángulo en que se producen cada uno de estos cambios de dirección modifican los valores. Las conexiones con menor ángulo de giro (conexión más lineal) mejoran o potencian la accesibilidad. (Arnaiz et al., 2013).

La integración global mide la posición de cada línea respecto al total del sistema y la integración local mide la profundidad relativa que cada línea tendría si sólo pudieran hacerse un número limitado de giros desde ella (por ejemplo tres). La inteligibilidad de un sistema espacial se mide utilizando la correlación entre la integración global y local, indicando que tan “legible” es el sistema en términos espaciales. Junto con la integración local, otras medidas de Sintaxis Espacial, tales como conectividad y el control, muestran las características de las estructuras locales de la red.

La accesibilidad configuracional de un segmento aumentará cuanto mayor sea su nivel de integración. La integración puede calcularse de manera global en relación a todo el sistema o de manera local, considerando sólo las conexiones hasta cierta distancia (en un determinado radio de influencia). Esto permite el

estudio de la accesibilidad a diferentes escalas. Varios estudios demuestran que la integración se ajusta al movimiento peatonal real observado o movimiento natural (Hillier, Penn, Grajewski, & Xu, 1993). Las calles de mayor nivel de integración con mayor accesibilidad configuracional son las más transitadas y utilizadas por los habitantes.

La implementación de los análisis de medidas de Sintaxis Espacial puede ser realizada a través de software especializado *Depthmap* (Turner, 2001), un programa que se puede utilizar para analizar un sistema espacial utilizando mapas convexos, mapas axiales y gráficos de visibilidad (VGA) y obtener varias medidas de Sintaxis Espacial que estarían correlacionadas con los patrones de movimiento humano.

Para el análisis de las ciudades en forma de patrones de potencial movimiento es representando y reflejando la linealidad esencial del espacio urbano, por tanto, se modela la malla urbana como una red del mínimo número de las líneas más largas que cubran todo el sistema. (Greene & Mora, 2010).

METODOLOGÍA

En esta sección se presenta la metodología planteada para alcanzar los objetivos específicos planteados:

En primer lugar se presenta una adaptación metodológica para explorar la correlación entre la estructura de la red vial y el uso del suelo mediante el análisis de Sintaxis Espacial y de UNA, cumpliendo así el objetivo específico 1.

En segundo lugar se aplica la metodología antes dicha con el cálculo de las medidas de centralidad y de Sintaxis Espacial para una zona de piloto en dos años distintos, para cumplir el objetivo específico 2.

Información de Base

En la Tabla 1 se ilustra la información base con la que se elaboró el estudio. Para la recolección de información primaria y su almacenamiento en la plataforma

Open Street Map (OSM) se realizaron levantamientos de datos en campo utilizando GPS y un teléfono inteligente (Iphone 5C) con la aplicación *OSM tracker*.

Para la fase de análisis se utilizó la caja de herramientas del *ArcGIS 10*, la extensión *Urban Network Analysis* y el programa *Depthmap*.

TEMA	FUENTE	AÑO	FORMATO	ESCALA
Red Vial	OSM	2015	.osm	1:1000
Cartografía Base	ETAPA	2001	.dxf	1:1000
Número de habitantes	ETAPA	2001/2010	.shp	Amanzanado
Cartografía Base	UDA	2010	.dxf	1:1000
Predios	ETAPA	2009	.shp	1:1000
Usos de Suelo	UDA	2014	.shp	Por predio

Tabla 1. Información Base

Fuente: Elaborado por la autora

Estructura de la Red Vial

Para obtener una capa con la estructura de la red vial con topología completa se han considerado los siguientes elementos levantados en campo: jerarquía vial, tipo de calzada, velocidad máxima y mínima; esta información ha sido levantada con GPS y con ayuda del plano de la ciudad (Ortofoto).

Los datos recolectados se integran a la base de datos *Open Street Map*, de forma que se integra con información existente levantada por voluntarios y contribuyentes de esta plataforma. Dado que el formato de datos de *Open Street Map* es .osm, se exporta a .dxf y a .shp para la creación de las líneas axiales y para la configuración de la red vial respectivamente que se utilizará para el análisis de la Sintaxis Espacial y para las medidas de centralidad.

Sintaxis Espacial

Para la creación de las líneas axiales se partió de la información cartográfica en extensión .dxf, la cual se traza cada línea por el eje vial, formando la malla cartográfica dentro de la zona de estudio. Se exporta el archivo final al programa DepthMAP, la cual se genera el mapa axial, a partir de este mapa se obtiene las integraciones locales para R (3, 5,7) y R (n) para la integración global. También se obtienen diferentes gráficas de análisis angulares y de segmento. Con la información digital se exporta a Excel para realizar los gráficos de correlaciones entre las diferentes integraciones.

Urban Network Analysis

Para el cálculo de los cinco tipos de medidas de redes espaciales se deben considerar los siguientes parámetros:

Datos de Red: Los datos de red es la red de calles en las que se ubican los predios. Esta entrada requiere un archivo de datos de red de la red de calles para construir el *network dataset* (*.nd), que se crea a partir de los datos de red (*.dxf). En los anexos se indican paso a paso la creación de esta red.

Predios: Consiste en un archivo de forma poligonal¹ que marca la ubicación de cada predio o un *shapefile* de puntos (generalmente la ubicación del acceso de los predios desde la calle o huella centroide) para los que se llevará a cabo el cálculo. Estos predios se utilizan como los nodos de la gráfica en la que se corre el análisis de red. Desde el *shapefile* predios de entrada también obtenemos las ponderaciones correspondientes a los predios (por análisis poblacional y uso de suelo).

- Pesos por **Análisis Poblacional**, los parámetros urbanos que se consideran dentro de este estudio es la población/predio denominada densidad

¹ Los Puntos de entrada deben ser un *shapefile* de puntos (.shp), no una clase de entidad de base de datos geográficos (GDB *Feature Class*)

poblacional, de la base de datos del INEC² se tiene el número de habitantes por manzanas de los dos últimos Censos de los años 2001, 2010. Cada manzana cuenta con “n” números de predios, por tanto, se debe obtener la población que tiene cada predio, esto con el fin de determinar el peso poblacional de cada predio y de esta manera obtener un análisis urbano poblacional aproximado. En los anexos se explican la obtención de este parámetro en base a la población amanzanada.

- Pesos por **Usos de Suelo** que se han considerado dentro de este estudio son las viviendas, comercios, servicios y otros; la información se tiene detallada por predio (Hermida, Orellana, Cabrera, Osorio, & Calle, 2015).

Una vez determinado cada parámetro poblacional se realiza el análisis de cada medida de centralidad, utilizando radios de búsqueda de 300, 500, 700 metros e infinito. Estos resultados producen las medidas de UNA que se utilizarán para el análisis de la matriz de correlación.

Matriz de Correlación

Los métodos de Sintaxis Espacial y UNA fueron aplicados a conjuntos de datos de los años 2001 y 2010. Los resultados fueron exportados a Excel para construir matrices de correlación entre las medidas de la red y los parámetros urbanos en diferentes años. Debido a la gran cantidad de potenciales correlaciones, en este documento se presentarán solamente los resultados más relevantes. Los análisis completos se encuentran en los anexos.

Zona de Estudio

La zona de estudio se encuentra ubicada al sur-oeste de la ciudad de Cuenca (Figura 4). Este sector se caracteriza por ser un área urbana poco densificada con varios locales comerciales, vías de primer, segundo y tercer orden y líneas de transporte público. Actualmente es una zona considerada de alto tráfico vehicular en

² INEC. Instituto Nacional de estadísticas y Censos del año 2001 y 2010, www.inec.gob.ec

cualquier hora del día y además cuenta con vías que se intersecan con vías interestatales. Recientemente se han realizado varios estudios en esta zona por lo que se cuenta con información actualizada (Hermida et al., 2015).

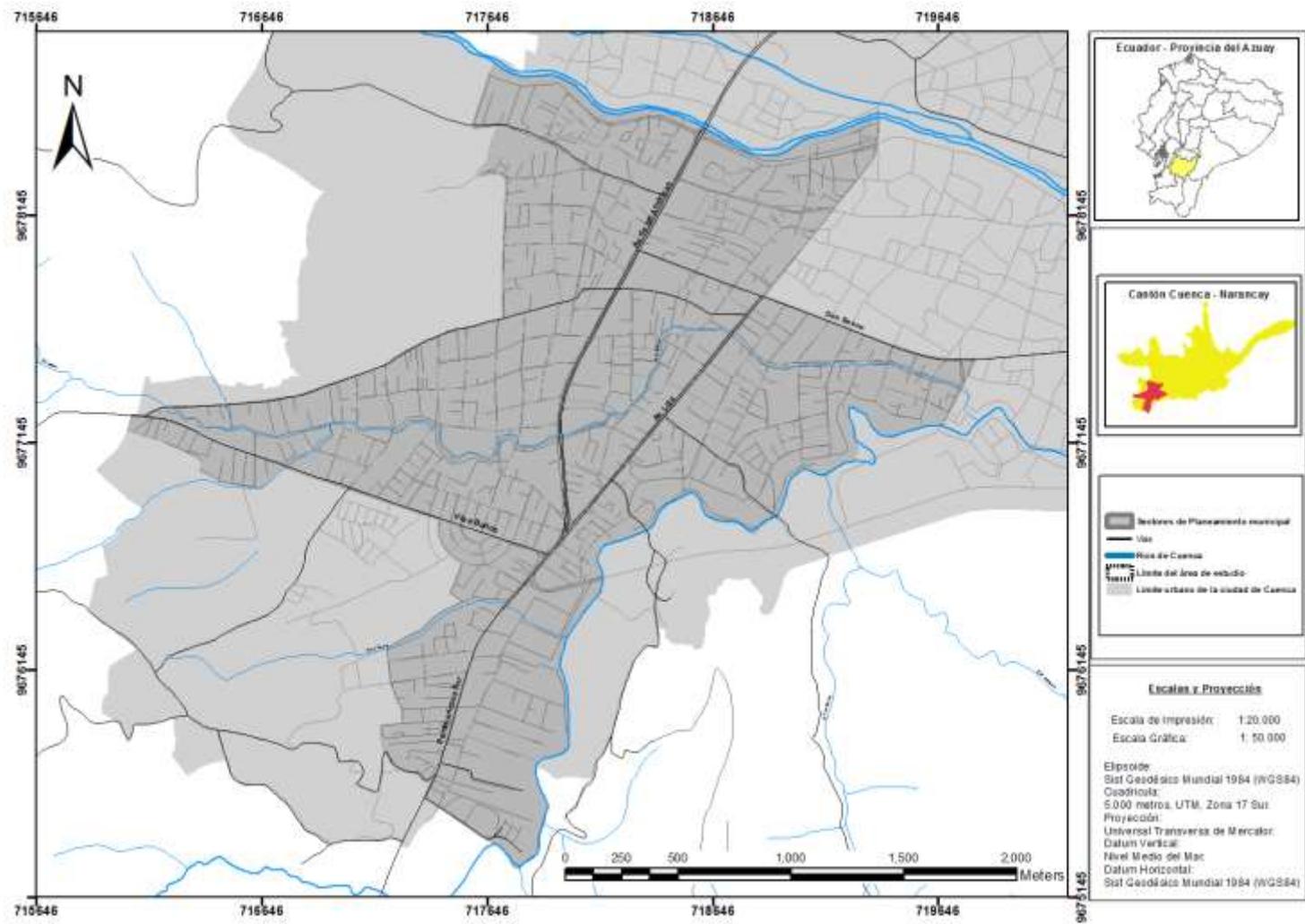


Figura 4. Zona de Estudio

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de la correlación entre la estructura de la red vial y el uso del suelo que es el primer objetivo propuesto en esta investigación, utilizando los métodos de UNA y Sintaxis Espacial se comparó con dos bases de datos viales obtenidas en años diferentes: la cartografía del año 2001 y la actual, debido a que en la zona de estudio el proceso de construcción duró aproximadamente dos años iniciando en septiembre con el objetivo de que mejore el tráfico vehicular. Es por esto que en el análisis axial indican dos mapas con resultados diferentes y en el análisis de la centralidad se analiza la población con la red vial de ambos años y los usos de suelo con la red vial actual debido a que la información en campo fue tomada en este año.

Análisis de Ejes Axiales

La integración global de la red vial del año 2001 se refleja en la Figura 5, ilustra cómo cada calle está conectada a las otras vías en toda la zona, en términos de los máximos posibles cambios de dirección. También se puede producir otro mapa altamente informativo, uno en la que calcula la integración sólo hasta tres líneas de distancia de cada línea en todas las direcciones, y que, por tanto, llamamos integración "local" o la integración radio-3.

La densidad de peatones (integración local) generalmente puede ser mejor pronosticada por el cálculo de integración para el sistema de hasta tres líneas de distancia (integración de radio-3), mientras que los vehículos en las rutas de mayor escala (aunque no en las áreas locales, donde el radio-3 es el mejor pronóstico) dependerá de una mayor integración de radio porque los viajes en auto son generalmente de mayor tiempo y, por tanto, los automovilistas leen la matriz de posibles rutas de acuerdo a una lógica de mayor escala de los peatones (Hillier, 1996). En contraste con la integración "global" o integración radio-n, se han calculado integraciones locales de radio 3, 5 y 7 para comparar que sucede al hacer el cálculo con estos radios, cuyos gráficos se ilustran en los anexos.

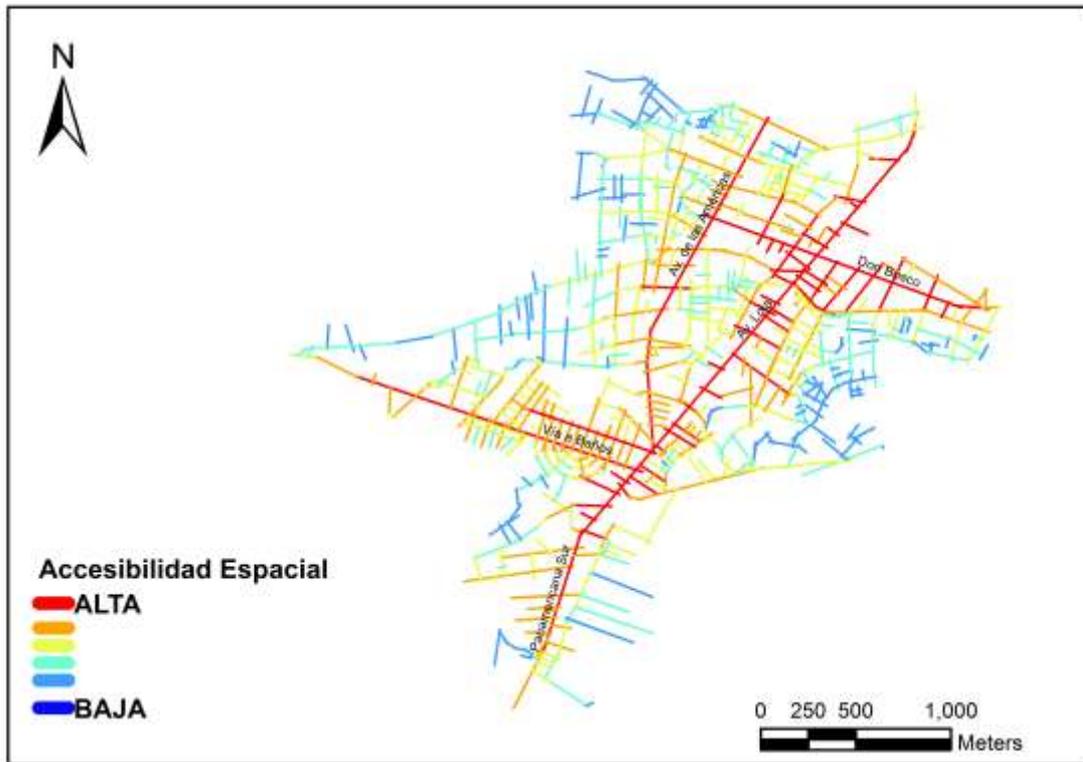


Figura 5. Mapa de Integración Global de la red vial año 2001

Durante los años 2001 como se observa en la Figura 5, la trama urbana de la zona de estudio se limitaba prácticamente a lo que hoy conocemos como centro periurbano. La accesibilidad presentaba un patrón de centralidad donde las calles más integradas en el sistema eran las avenidas de las Américas y la Loja. No en vano, ambas confluyen en el control sur y conectaban la panamericana Sur (sin duda el espacio principal de la salida de la Ciudad) y la circunvalación Sur (conecta a la ciudad a lo largo de toda la vía).

En las dos últimas décadas, hasta el año 2015 (Figura 6), la zona de estudio duplica sus calles. El crecimiento se extiende en dirección noroeste donde el crecimiento se debe a las múltiples urbanizaciones que se han constituido en los últimos años, formando bloques sólidos de líneas segregadas, interrumpido por cualquiera de las otras integraciones o líneas intermedias. La “segregación estructural” que a menudo caracteriza las modernas urbanizaciones parece ser en gran medida un fenómeno del siglo 20.

La accesibilidad general del modelo sufre un cambio notable debido a la distribución de la integración al noroeste y al sur del sitio tiene un carácter diferente a la zona que va hacia el este y al norte. Del este, el centro es lineal: un pequeño número de tramos de calle linealmente conectados y se ramifican formando las principales rutas, pero sin desarrollo lateral que une estas rutas en sub áreas bien estructuradas. Al noroeste y al sur, el núcleo es más en forma de rejilla, la definición de las redes básicas de área local del Arenal y Narancay.

Como podemos ver, la accesibilidad configuracional de esta zona ha permanecido prácticamente constante a lo largo de las décadas analizadas. En las dos etapas, las avenidas Loja y Américas han formado parte de los ejes más integrados del sistema. Esto se ha producido al tiempo que, en cada etapa, nuevas vías adquirirían un grado de integración muy similar. De forma más general, podemos afirmar que la zona ha mantenido su accesibilidad y posición relevante hasta la actualidad.

Por tanto, podemos decir que del oeste del sitio del centro es dispersa y lineal, y no construye subáreas, mientras que al noroeste y al sur del centro es más densa y más como red y crea subáreas identificables. Más simplemente, el noroeste y al sur tiene una propiedad que podríamos llamar red-integración, que es un común característico de los centros y subcentros urbanos, mientras que el este y el norte tienen la más restringida línea de integración que se encuentra a menudo en zonas con un menor desarrollo carácter urbano.

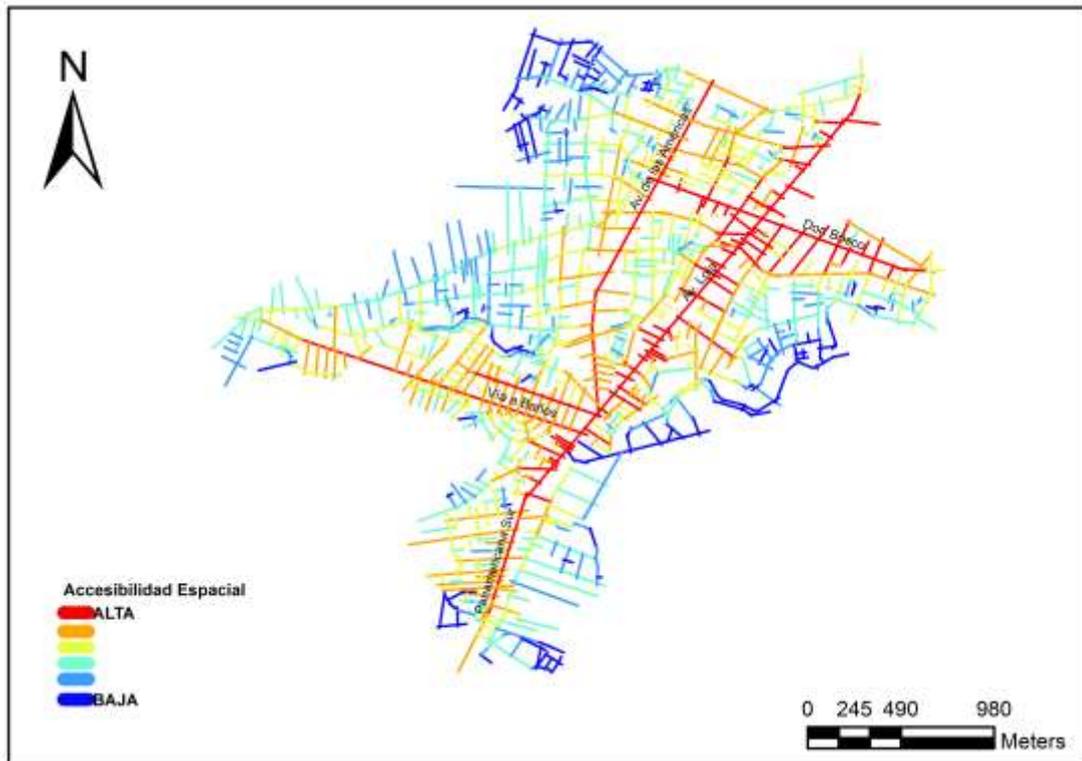


Figura 6. Mapa de Integración Global de la red vial, año 2015

Análisis de Correlación para la zona de estudio con la red vial del año 2001 y el año 2015

El análisis de correlación se llevó a cabo con el fin de identificar la relación entre la red vial y las variables de la Sintaxis Espacial. En las Tabla 2 y la Tabla 3 presentan los resultados del análisis de correlación en la red vial del año 2001 y 2015, y para los ejes viales más importantes, respectivamente, como son la Avenida de las Américas, la Avenida Loja, la Avenida Don Bosco y la Vía a Baños, estas rutas se han escogido debido a que tienen una mayor integración una con otra.

Se observa que en el año 2001 la correlación entre la integración global y local es del 84% mientras que para el año 2015 es del 82%, esto quiere decir que el sistema se ha vuelto menos inteligible y por tanto, es más difícil interpretar las rutas para un peatón.

En cuanto a la correlación entre las vías principales se nota una fuerte correlación entre la integración global y local del año 2015 con un 99%, es decir, hay

colinealidad entre estas variables, sucede lo contrario para el año 2001 que la correlación entre las vías principales es del 63%, esto quiere decir que la integración global influye más intensamente en la estructura de la red vial actual con la integración local de tres líneas de búsqueda.

	Integración Global 2001	Integración Local 2001	Integración Global 2015	Integración Local 2015
Integración Global 2001	1			
Integración Local 2001	0.837	1		
Integración Global 2015	0.027	0.080	1	
Integración Local 2015	0.072	0.132	0.819	1

Tabla 2. Matriz de Correlación para la red vial de la zona de estudio del año 2001 y 2015

Fuente: Elaborado por la autora

	<i>Integración Global 2001</i>	<i>Integración Local 2001</i>	<i>Integración Global 2015</i>	<i>Integración Local 2015</i>
Integración Global 2001	1			
Integración Local 2001	0.63	1		
Integración Global 2015	0.94	0.84	1	
Integración Local 2015	0.90	0.90	0.99	1

Tabla 3. Matriz de Correlación para los ejes viales más importantes

Fuente: Elaborado por la autora

Urban Network Analysis

Para llegar a obtener la matriz de correlación propuesta se ha realizado el análisis de las cinco medidas de centralidad, utilizando la red vial de los años 2001 y 2015 y los predios (uso de suelo y la densidad poblacional). Se calcularon las medidas con radios de influencia de 300 metros y de radio infinito; todos los resultados de las gráficas para un radio de 300 metros en la zona de estudio se presentan en el Anexo 6.

A continuación se presenta un análisis de comparación entre cada medida con los dos parámetros más significativos en toda el área de estudio de cada medida y continuamente el análisis de matriz de correlación entre la estructura de la red vial y los usos de suelo.

Reach

En la Figura 7 y la Figura 8 ilustra la medida *reach* con un radio de 300 metros aplicado a predios individuales en la zona de estudio, considerando como pesos la población anual del año 2001 y 2010 respectivamente, pudiéndose observar que el patrón espacial general cambia en las tres zonas predominantes con alto valor en esta medida.

El cambio de densidad se nota sobre todo en el año 2010 que torna un color más tomate cubriendo mayor área en la zona de estudio, y comparando con la Figura 9 el mayor número de destinos se centran en la misma zona de cambio, actualmente son predios de urbanizaciones y edificios.

No obstante, algo similar sucede con los predios de usos suelos mixtos, comercios y servicios se observa que tienen un gran número de destinos entre predios con las mismas características de uso, en estos casos la densificación por usos de suelo se da cerca de las arterias principales, la Avenida de las Américas y la Avenida Loja; este patrón de alcance de cada predio con otro se da ya que el área comercial se encuentra en estas zonas, además que en las periferia únicamente son áreas residenciales y de otros usos como se ilustra en el análisis de peso poblacional 2010. En el anexo 6 ilustran todas las medidas de centralidad para los ocho usos de suelo para el radio de búsqueda de 300 metros.

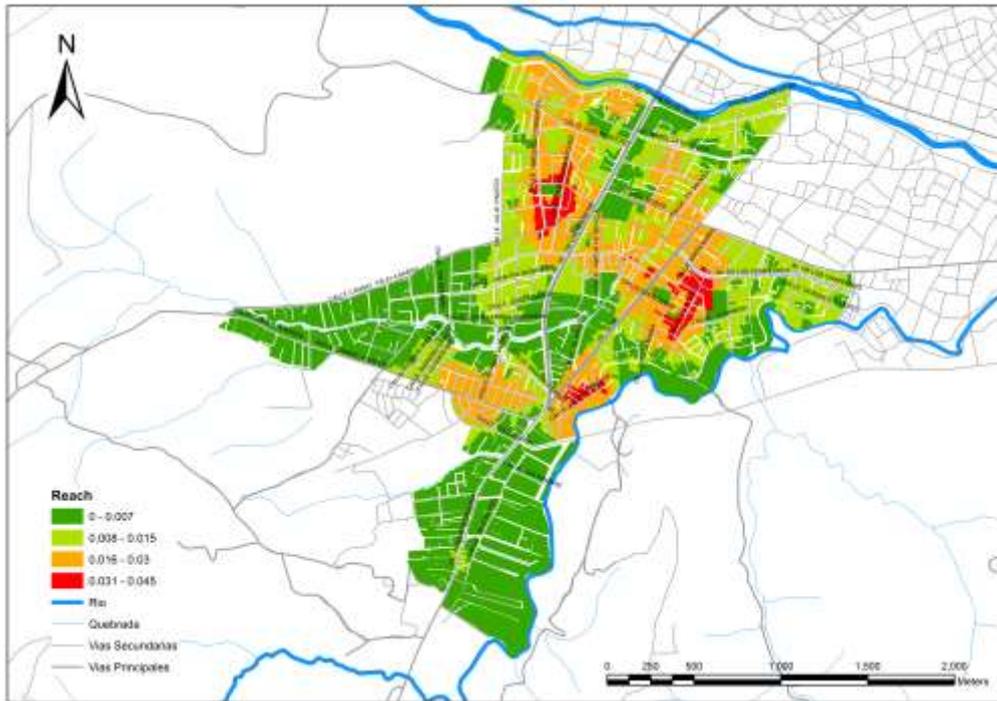


Figura 7. Medida *Reach* del número de residentes (año 2001) dentro de un radio de 300 metros desde cada predio a otros predios en la zona de estudio.

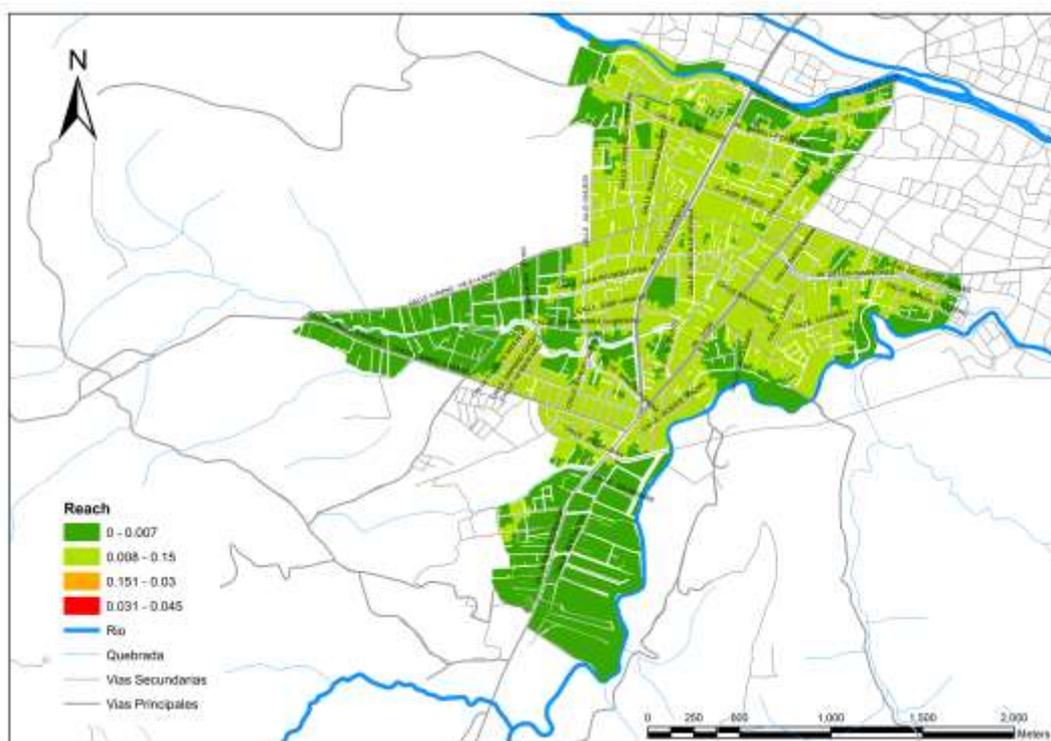


Figura 8. Medida *Reach* del número de residentes (año 2010) dentro de un radio de 300 metros desde cada predio a otros predios en la zona de estudio

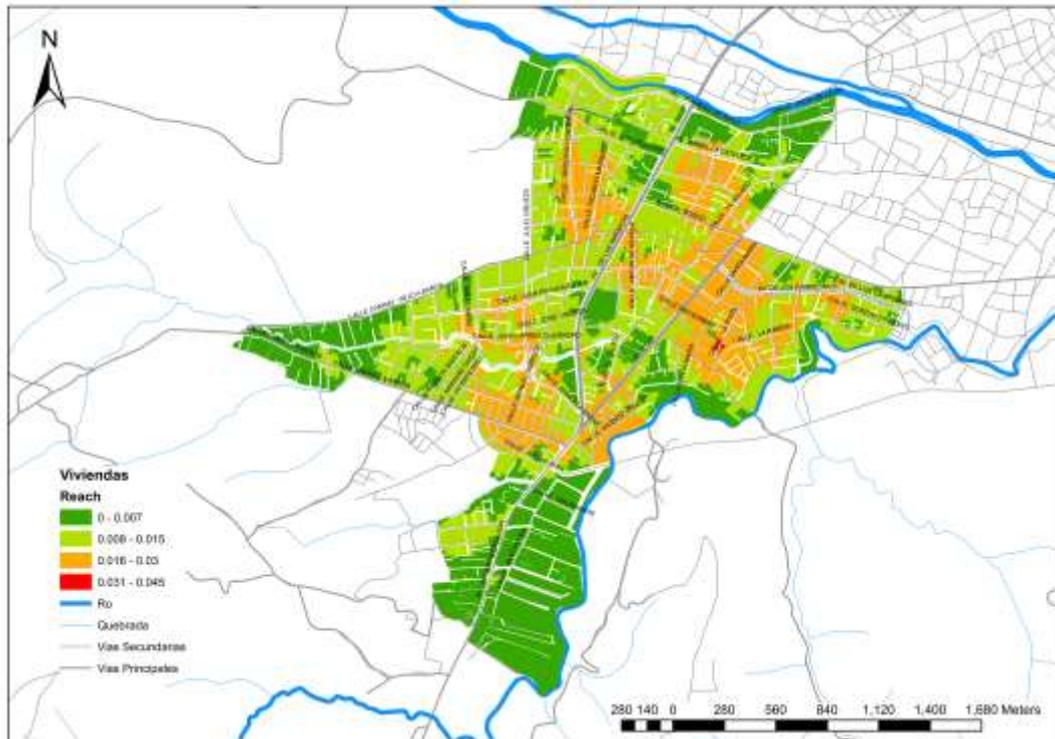


Figura 9. Medida de *Reach* dentro de un radio de 300 metros desde cada vivienda a otras viviendas ubicadas en la zona de estudio

Gravity

En la Figura 10 y Figura 11 ilustra el *Gravity Index* como pesos la densidad poblacional del año 2001 y 2010 y en un límite de radio dado de 300 metros, indican que a más del alcance que tiene cada predio con respecto a otro la distancia de búsqueda es más corta; la diferencia encontrada en los dos años de estudio no es significativa, debido a que el aumento poblacional va relacionado de un año frente al otro sumado el uso de viviendas en las zonas pintadas de rojo dando una idea clara de que a medida que la población aumenta el área comercial de servicio y vivienda aumenta.

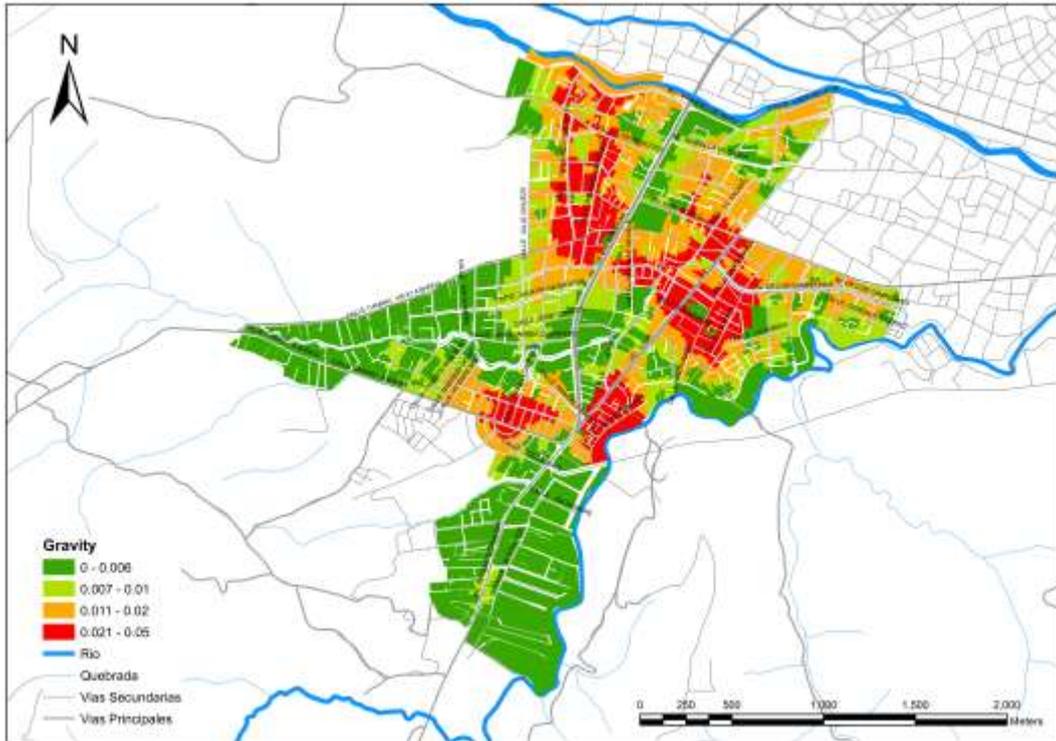


Figura 10. *Gravity Index*, medido por el número de residentes (año 2001) dentro de un radio de 300 metros desde cada predio a otros predios en la zona de estudio

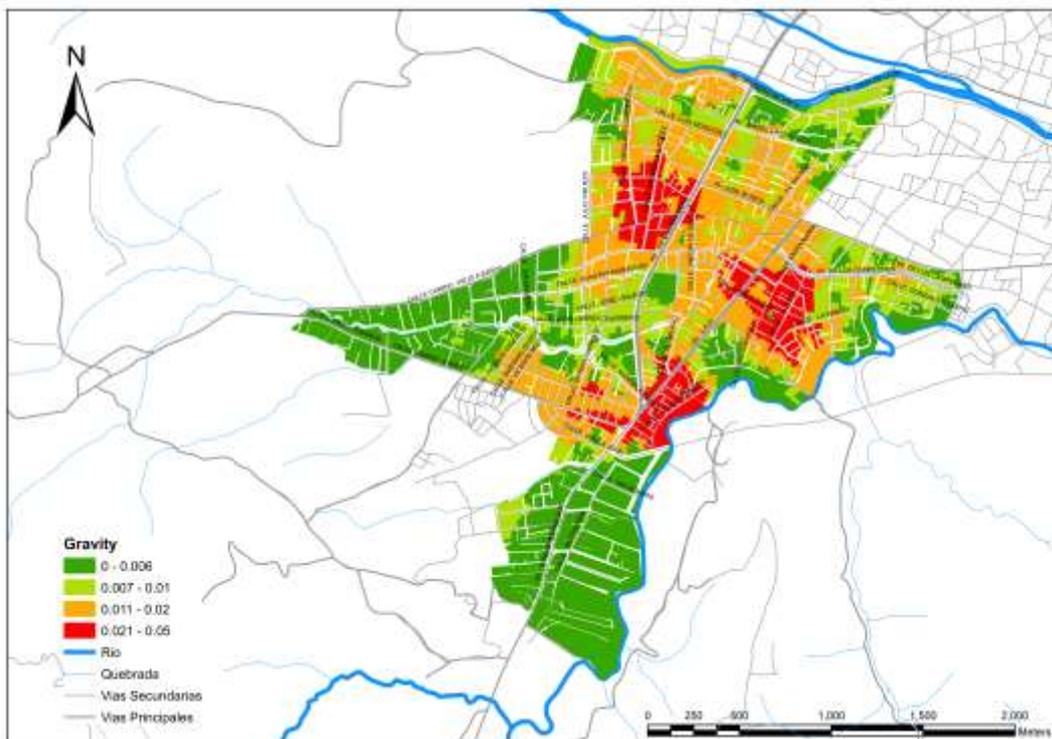


Figura 11. *Gravity Index*, medido por el número de residentes (año 2010) dentro de un radio de 300 metros desde cada predio a otros predios en la zona de estudio

Por otro lado, comparando la relación poblacional del año 2010 y el uso de suelo como se observa en la Figura 12, da como resultado de que las distancias más cortas con respecto a un predio (uso de suelo: vivienda) indicando que tan cerca en medida longitudinal ($R=300$) es de otra vivienda o ya sea de otros usos, por esta razón no existe mucha variedad con respecto a la medida *reach*, sin embargo, los recorridos son menores dentro de este análisis, esta variación se da porque el *Gravity Index* busca el camino más corto.

Los servicios y los comercios tienen un movimiento constante durante toda la Avenida de las Américas y la Avenida Don Bosco, en estas avenidas se dan movimientos de comercio de venta de comida, centros comerciales y pequeños negocios de venta de ropa y belleza y los demás usos se centran en las calles transversales. Sin embargo, el patrón espacial entre la medida *Reach* y el *Gravity Index* es en la misma zona, comparando con el análisis axial se identificó que la integración se marca en las mismas zonas.

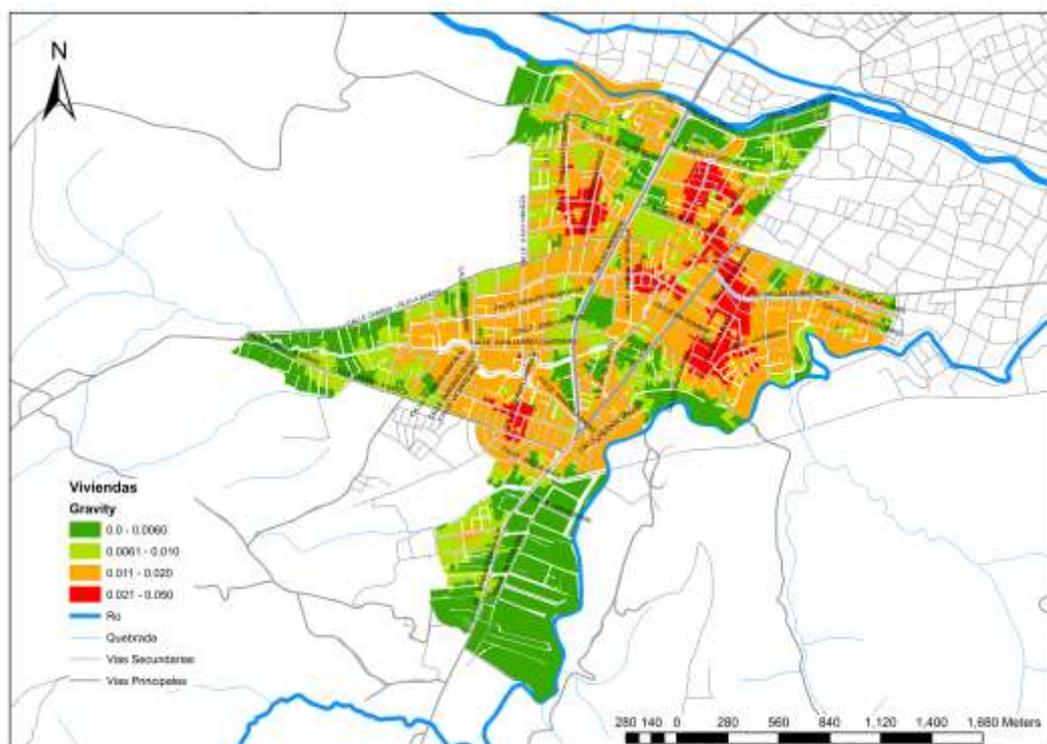


Figura 12. Índice *Gravity* para el uso de suelo viviendas dentro de un radio de 300 metros desde cada predio a otros predios en la zona de estudio

Betweenness

La medida *Betweenness* calculada para la ponderación de la población de los años de 2001 y 2010 (ver Figura 13 y Figura 14 respectivamente), estima la probabilidad circundante de los peatones sobre toda la zona de estudio, el crecimiento poblacional en la zona céntrica denota que los peatones son circundantes en esta áreas, muchas de estas zonas marcadas en rojo son áreas donde existe gran asentamiento humanos por condominios y urbanizaciones, y si analizamos la probabilidad de las viviendas y comercios se ubican más en las áreas cercanas a las arterias principales y donde el crecimiento poblacional ha ido aumentando, lo que da como resultado que el patrón espacial ha cambiado.

En el año 2001 la concentración espacial se da en la avenida Loja y alrededores y ha ido en aumento en el año 2010, generando una densidad peatonal entre la Avenida de las Américas y la Avenida Don Bosco; este patrón espacial también se observa en el cambio de uso de suelo (Figura 15).

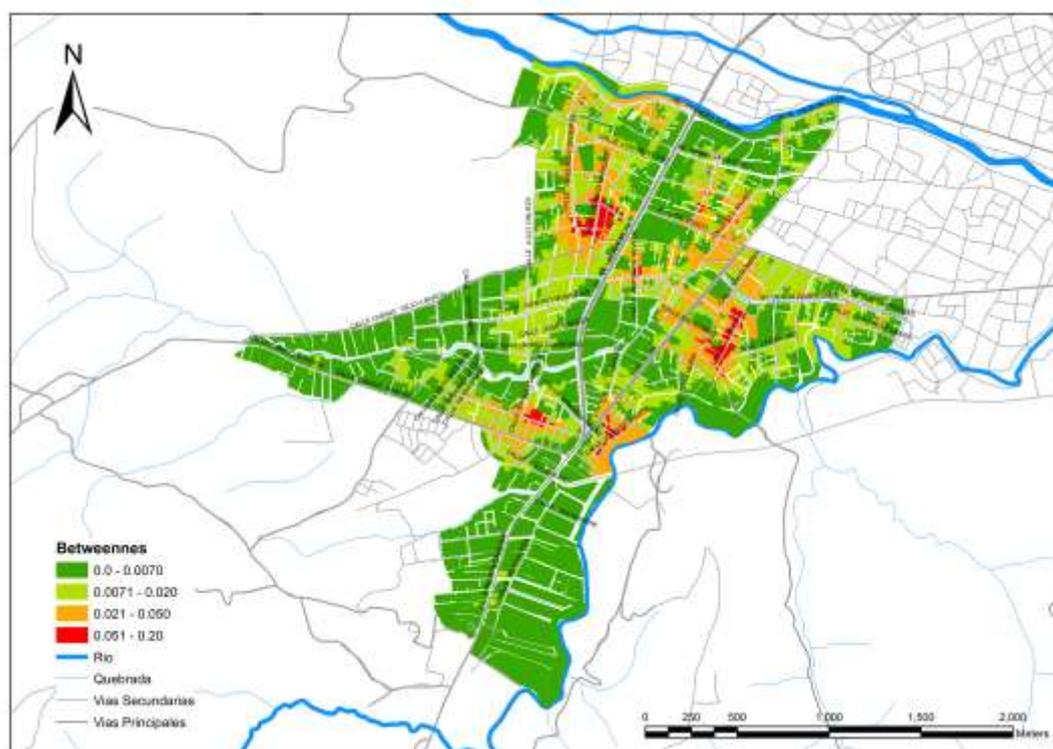


Figura 13. Centralidad de *Betweenness* en un radio de 300 metros, ponderado por el número de residentes en el año 2001 en la zona de estudio

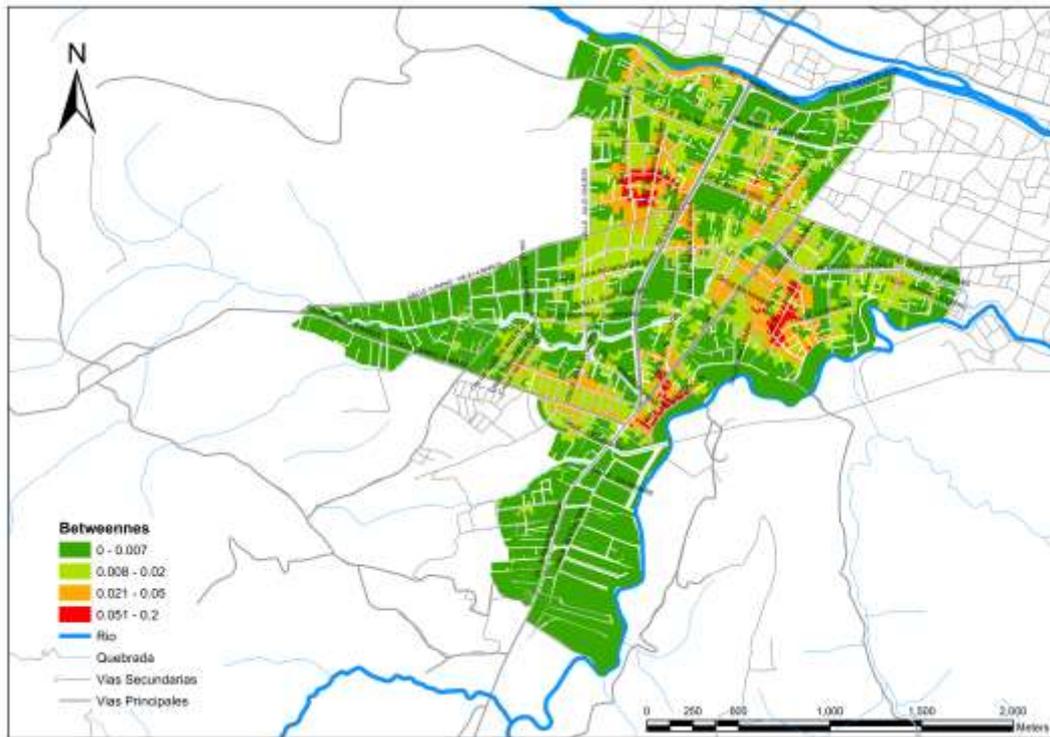


Figura 14. Centralidad de *Betweenness* en un radio de 300 metros, ponderado por el número de residentes en el año 2010 en la zona de estudio.

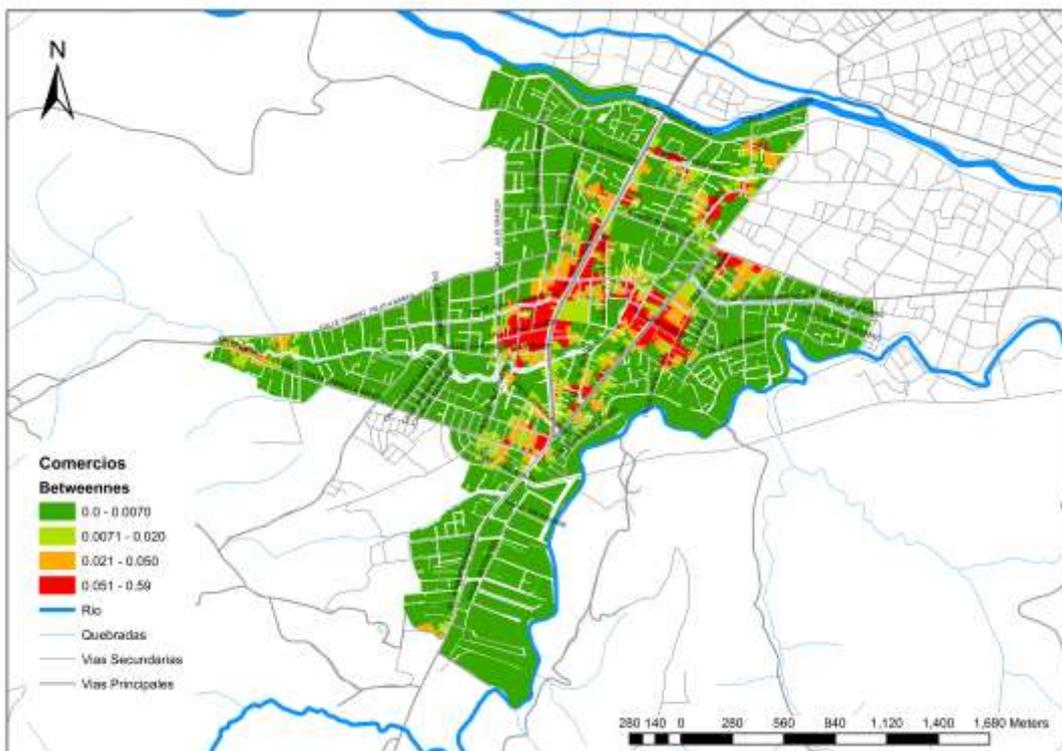


Figura 15. Centralidad de *Betweenness* en un radio de 300 metros, ponderado por el uso de suelo comercio en la zona de estudio.

Closeness

La medida *closeness* indica lo cerca que cada uno de estos lugares es a todos los demás lugares circundantes dentro de un umbral de distancia dada, sin embargo, cuando se impone un radio de búsqueda infinito se da el caso en que siempre la zona central será más alta, en cambio al establecer un radio de búsqueda de 300 metros en la zona de estudio para el año 2010 se observa que las zonas que tienden a estar más consolidadas es en Narancay y en la parte alta de Baños (Figura 17). En cambio en el año 2001 tendía a consolidarse varias zonas dispersas (Figura 16).

La zona comercial, en cambio, tiende a consolidarse en el control sur, alrededor de la Avenida de las Américas y parte de la Avenida Loja (Ver anexos 6).

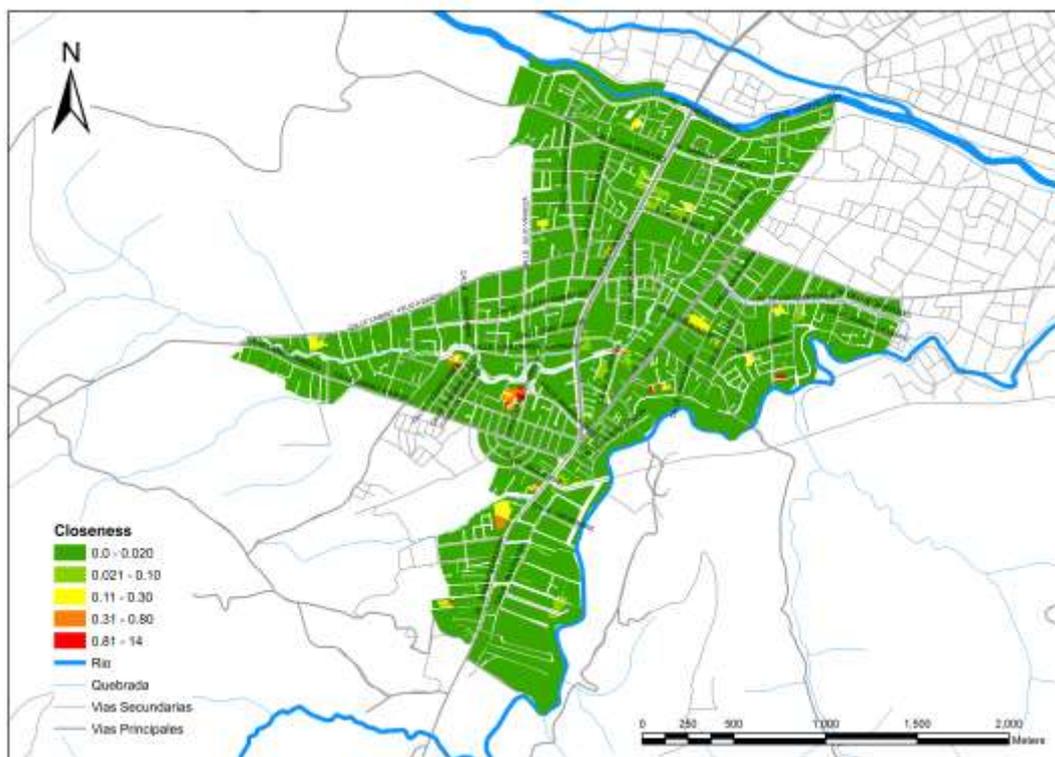


Figura 16. Medida de *Closeness* alrededor de los predios con radio de 300 metros y pesos poblacionales del año 2001.

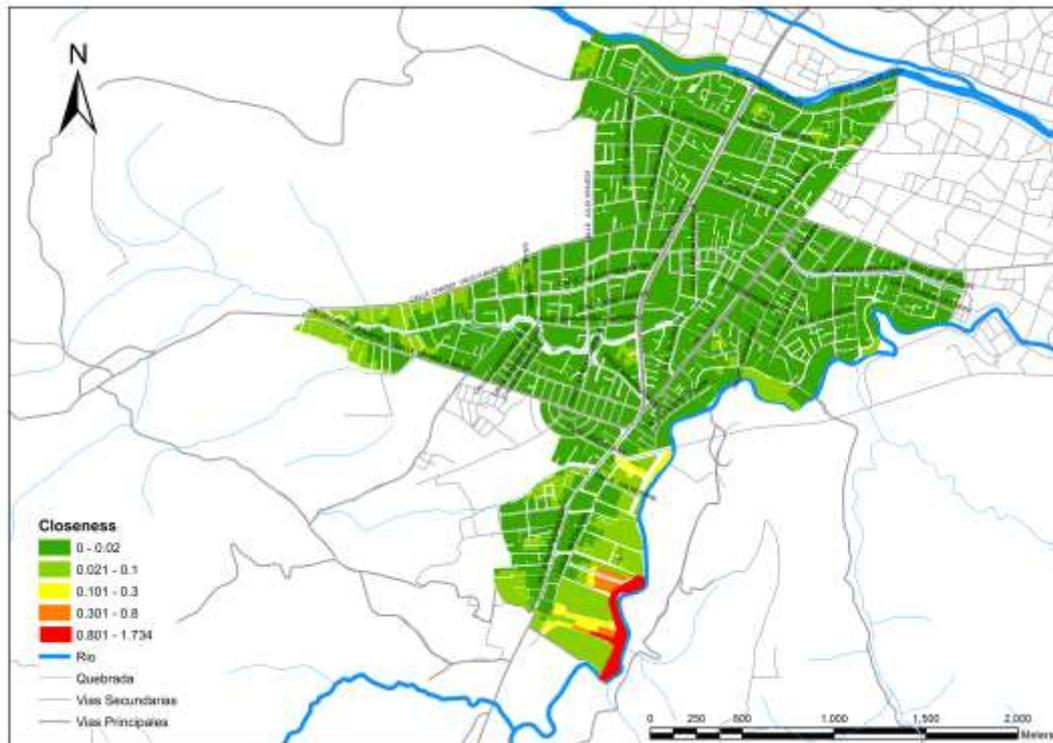


Figura 17. Medida de *Closeness* alrededor de los predios con radio de 300 metros y pesos poblacionales del año 2010.

Straightness

La medida de *straightness* indica que a medida que la distancia media a los predios circundantes aumenta para un radio dado de 300 metros, los valores más altos de los predios sugieren que las rutas de red tienden a parecerse a los de líneas rectas; este patrón se puede observar dentro de la zona de estudio para un peso poblacional de los años 2001 y 2010. Al ser un potencial de movimiento se necesitan dar menos giros y tiende a formarse una línea recta (Figura 18 y Figura 19); las zonas donde dan menos giros y tienden a ser rectas son en las arterias principales la Avenida de la Américas, Avenida Loja y la Vía a Baños. El mismo patrón espacial se puede observar en el uso de vivienda (Figura 20).

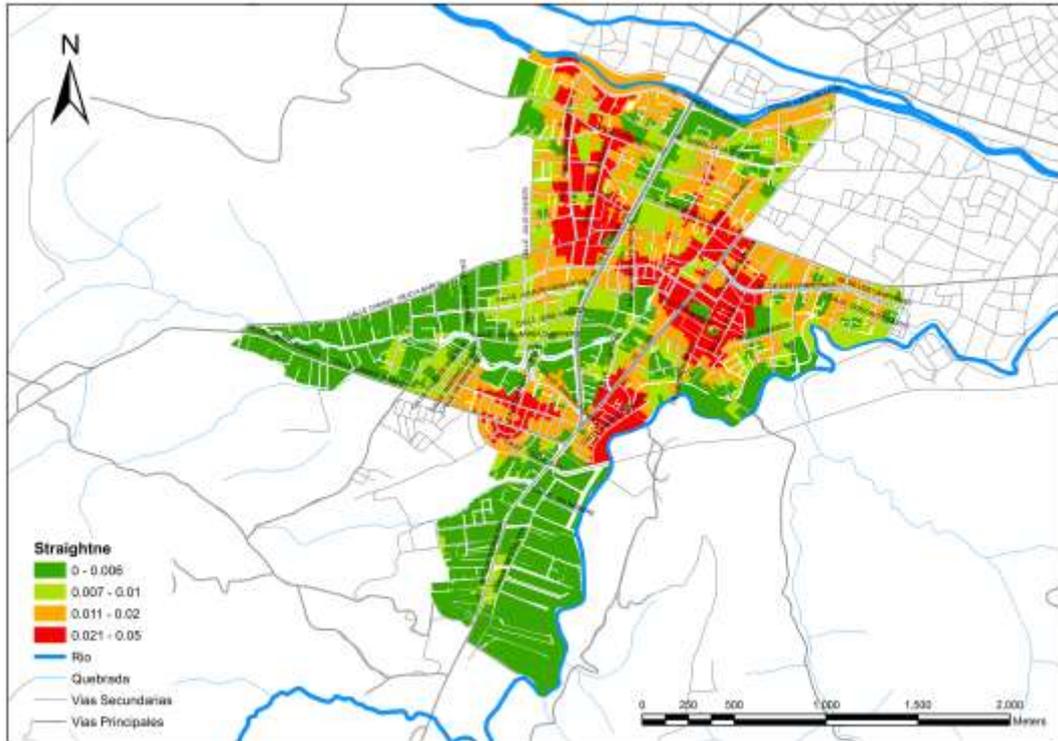


Figura 18. Medida de Straightness alrededor de los predios con radio de 300 metros y pesos poblacionales del año 2001.

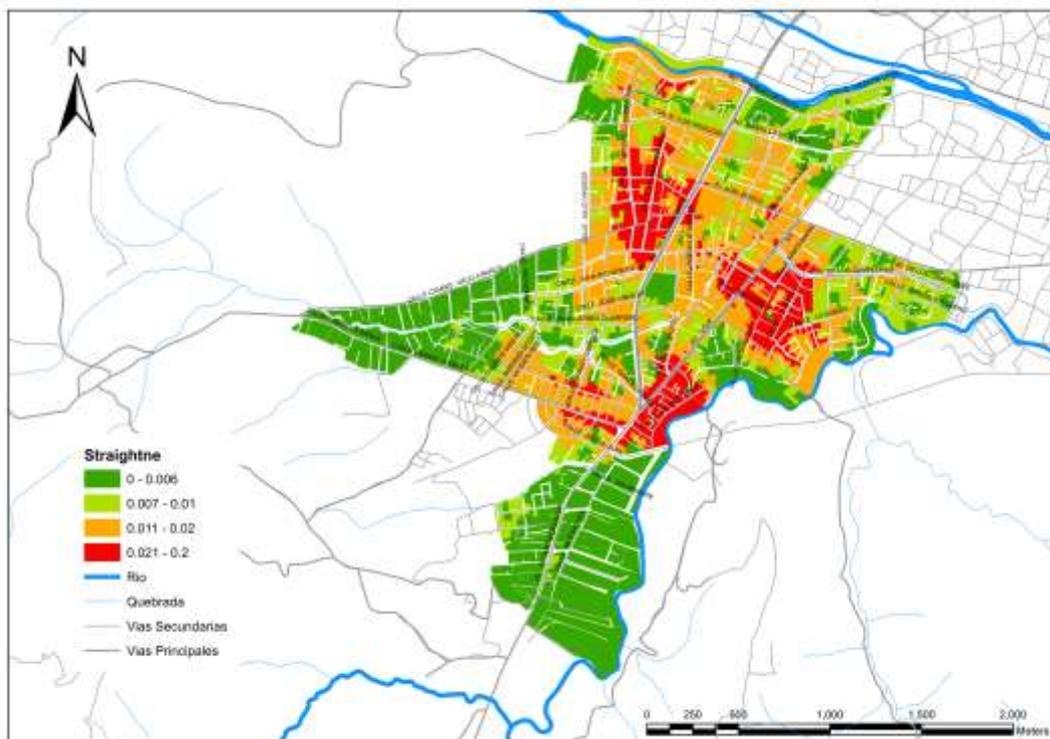


Figura 19. Medida de Straightness alrededor de los predios con radio de 300 metros y pesos poblacionales del año 2010.

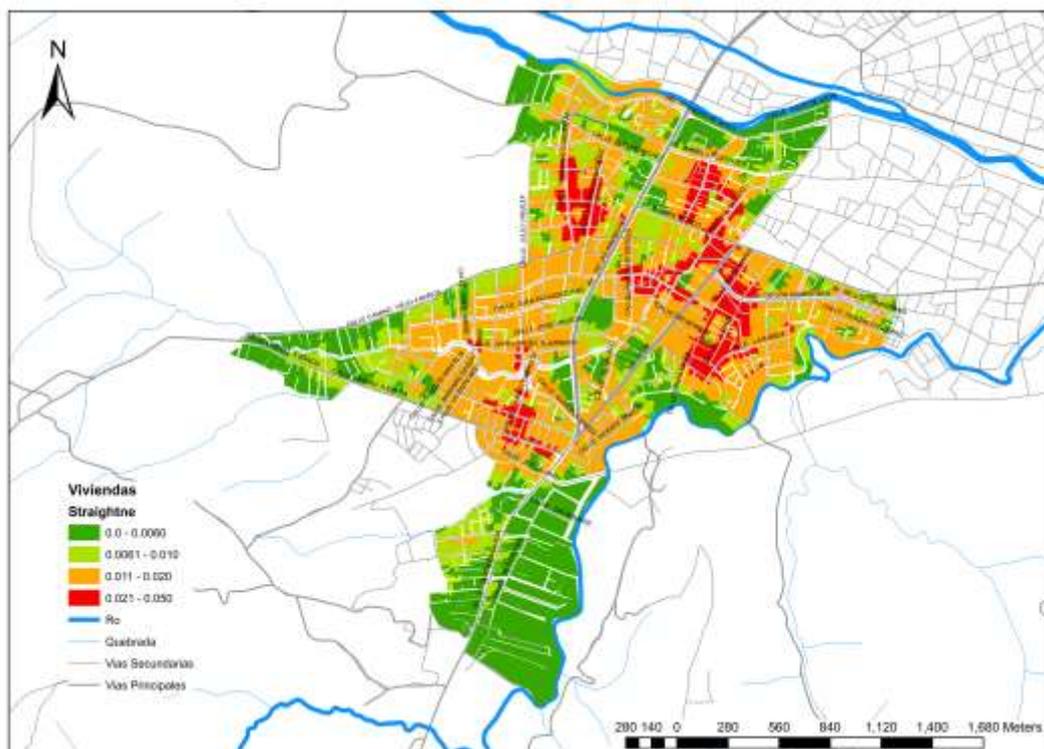


Figura 20. Medida de Straightness por el uso de suelo vivienda dentro de un radio de 300 metros desde cada predio a otros predios en la zona de estudio

Medidas de correlación entre la estructura espacial de la red vial y los diferentes parámetros urbanos

Una vez analizado los parámetros urbanos y la densidad poblacional, se analiza la correlación entre las diferentes medidas; para cada predio se calcula la correlación entre las variables analizadas.

Los resultados obtenidos de estas correlaciones indican que dos predios vecinos en los mismos segmentos de calle pueden obtener diferentes resultados de accesibilidad. El anexo 7 presenta todas las matrices por uso de suelo y por densidad poblacional. En la Tabla 4 y Tabla 5, indica la correlación existente entre las diferentes medidas de centralidad con el peso de uso de suelo y densidad poblacional para toda la zona de estudio; en cambio en la Tabla 6 y Tabla 7 hace referencia dentro de un área de 300 metros a la redonda.

La medida de *Reach* cuenta el número de destinos alrededor de cada predio dentro de toda la zona de estudio, y la medida de *straightness*, por otro lado, se origina en la idea de la eficiencia en la comunicación entre dos predios con pesos similares en un sistema aumenta cuando hay menos desviación de su trayectoria más corta, es decir, van en línea recta. Lo que da como resultado es que el número de destinos con diferentes pesos es fuertemente correlacionado con la rectitud de una calle, mientras se establezca un área menor de búsqueda de destinos que es mayor la correlación que al analizar en un área mucho más grande.

Centralidad	Comercio	Servicios	Viviendas	Otros	Comercios y Servicios	Comercios y Otros	Servicios y Otros	Viviendas y Otros
<i>Reach - Straightne</i>	0.73	0.79	0.84	0.82	0.74	0.73	0.81	0.82
<i>Closeness- Gravity</i>	0.97	0.94	0.96	0.91	0.87	0.75	0.68	0.92

Tabla 4. Correlación (r2), con radio infinito con peso de usos de suelo

Fuente: Elaborado por la autora

Las medidas de *Closeness* y *gravity* sin establecer un área de búsqueda tienen más posibilidades de buscar más rutas de un predio a otro, ya que mientras la medida *Closeness* busca la cercanía que tiene un predio con distinto uso de suelo con otro a lo largo del camino más corto, la medida de *gravity* busca el mayor número de destinos circundantes de varios predios con otro, lo que hace que se correlacionen, sin embargo, al establecer un área limita que se correlacionen porque la búsqueda es menor.

Centralidad	Población 2001	Población 2010
<i>Reach - Straightne</i>	0.985	0.813
<i>Closeness- Gravity</i>	-0.082	0.959
<i>Straightne - Gravity</i>	0.767	-0.022
<i>Reach -Gravity</i>	0.771	0.187

Tabla 5. Correlación (r2), con r= infinito, con peso de densidad poblacional Fuente:

Elaborado por la autora

Tal como se observa en las Tabla 6 y Tabla 7, hay una fuerte correlación para las medidas *Reach* y *gravity*, ya que ambas tienen la función de contar el número de rutas alcanzadas de varios predios hacia otro predio con la diferencia que la medida *gravity* aumenta el factor de la impedancia espacial.

Para los usos de suelo, así mismo como se establece un radio de 300 metros, da un condicionante para solo buscar los caminos más cortos dentro de este radio, dando menos posibilidades de relación de unos usos de suelo con otros, a diferencia del usos comercio y viviendas con servicios y viviendas que comparten una misma zona, por esta razón son correlacionados.

La correlación entre *betweenness* y *straightness* no es tan significativa para los usos de suelo, ya que los peatones circundantes dentro de un área de 300 metros a la redonda tienen menos posibilidades de escoger sus rutas sobre todo si es en línea recta, a diferencia de la búsqueda en áreas más grandes ya que puede escoger diferentes alternativas de rutas.

Centralidad	Comercio	Servicios	Viviendas	Otros	Comercios y Servicios	Comercios y Viviendas	Comercios y Otros	Servicios y Viviendas	Servicios y Otros	Viviendas y Otros
<i>Reach - Straightne</i>	0.98	0.98	0.99	0.98	0.98	0.99	0.98	0.99	0.97	0.99

<i>Reach-Gravity</i>	0.99	0.99	1.00	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	0.98	0.99
<i>Gravity - Straightne</i>	0.98	0.98	0.99	0.98	0.98	0.99	0.98	0.99	0.97	0.98
<i>Betweennes - Straightne</i>	0.65	0.64	0.79	0.70	0.71	0.74	0.58	0.76	0.58	0.72
<i>Betweennes - Gravity</i>	0.66	0.66	0.79	0.72	0.72	0.74	0.60	0.76	0.61	0.73

Tabla 6. Correlación (r^2), con $r= 300m$, con peso de usos de suelo

Fuente: Elaborado por la autora

El grado de intensidad de las relaciones entre las variables de años con respecto a los peatones circundantes es más alto mientras se establece un menor radio de búsqueda. En la Tabla 7 se puede observar cómo la correlación aumenta a medida que el radio disminuye, esto se da porque los peatones tienen libertad de escoger más rutas dentro de un zona determinada, independiente del número de habitantes.

Centralidad	Población 2001	Población 2010
<i>Reach - Straightne</i>	0.989	0.987
<i>Reach- Gravity</i>	0.997	0.997
<i>Gravity - Straightne</i>	0.986	0.982
<i>Betweennes - Straightne</i>	0.814	0.813
<i>Betweennes - Gravity</i>	0.817	0.818

Tabla 7. Correlación (r^2), con $r= 300m$, con peso de densidad poblacional

Fuente: Elaborado por la autora

CONCLUSIONES

Introducción

El propósito de este artículo es investigar la relación entre la configuración estructural espacial de la red vial y la densidad de los distintos usos del suelo. Todos los resultados son integrados y revisados en el contexto de las áreas del desarrollo urbano en comparación con la interacción del patrón del uso del suelo con el fin de proponer una adaptación de una metodología para explorar la correlación entre la estructura de la red vial y el uso del suelo, utilizando métodos de UNA y Sintaxis Espacial, además de aplicar y validar la metodología propuesta en la zona suroeste de la ciudad de Cuenca.

Correlación entre la estructura de la red vial y el uso del suelo utilizando métodos de UNA y Sintaxis Espacial

El análisis de correlación confirmó una relación fuerte entre las variables de usos de suelo y las medidas de centralidad y además muestran que hay una fuerte correlación entre la estructura vial del año 2001 y el año 2015 con las variables de integración global y la integración local, así como la correlación entre las variables de integración para los ejes de las vías principales (Tabla 2 y Tabla 3). Este resultado representa que la elección de la densidad del uso del suelo está influenciada significativamente por la configuración de la calle. Sin embargo, el grado de influencia en cada una de las variables varió de acuerdo con el cambio de la configuración de las calles urbanas.

En la zona de estudio del año 2010, las variables de la integración global, la conectividad y la integración local tienen más relaciones fuertes en su estructura que la del año 2001, tiene una mayor relación con él.

En el grado de influencia para el análisis de centralidad se determinó que al establecer un radio de búsqueda, limita a buscar más rutas vecinas y determina el estudio en una zona específica, en cambio, cuando se analiza para toda la zona de

estudio, el análisis de correlaciones dan relaciones más fuertes como las medidas de *Reach* que no limita a buscar rutas y *straightness* busca la centralidad en rutas rectas como es el caso de los usos de suelo de zonas residenciales, comercios y servicios. Para el caso de la densidad poblacional en los dos años de estudio se correlaciona fuertemente entre las medidas *Reach*, *gravity* y *straightness*, las mismas consideraciones que los usos de suelo.

Sobre la base de los datos adquiridos por el análisis vial del año 2015, se llevó a cabo el análisis axial. Teniendo en cuenta la colinealidad entre las variables globales y locales de $R=3$, dando una correlación de 99%, las variables que se eligieron fueron la integración global y la integración local de las vías principales que son la Avenida de las Américas, la Avenida Loja, la Avenida Don Bosco y la Vía a Baños. Se identifica que la estructura de la red vial influye más intensamente a la integración global que a la integración local.

Se observa que en el año 2001 la correlación entre la integración global y local es del 84% mientras que para el año 2015 es del 81%, esto quiere decir que el sistema se ha vuelto menos inteligible y por tanto, es más difícil interpretar las rutas para un peatón.

Las conclusiones anteriores pueden ser explicadas por la ubicación comparativa de preferencia bajo el desarrollo específico de condiciones. Basado en la fuerte relación entre la accesibilidad y la integración de la configuración de las zonas urbanas, se supone que la condición local de la accesibilidad es un factor más decisivo en el área más integrada por su homogénea accesibilidad, causando la condición local más crítica que la condición global.

Por otro lado, las condiciones globales de accesibilidad influyen con mayor intensidad en las medidas de *reach* y *straightness*. Sin embargo, el patrón espacial entre todas las medidas de centralidad y el análisis axial se da en las mismas zonas dentro del área de estudio.

Este estudio muestra la configuración de la calle urbana es uno de los factores que afectan a la formación urbana, pero los factores críticos de la formación

urbana y sus efectos, no son entendidos claramente. La conexión y la optimización de esos factores deben ser alcanzadas a través de una investigación más profunda.

Al tratarse de una zona específica de estudio, el análisis de las líneas axiales dan valores muy específicos y no globales a nivel de ciudad, eso invita a reflexionar sobre el cambio configuracional de ciudad a lo largo de la historia; se podría realizar un análisis de la traza mediante la Sintaxis Espacial, analizando el cambio configuracional por etapas diferentes del desarrollo de la ciudad.

ANEXO 1

Cálculos de Centroides con Atributos

Para el cálculo de la población por predio se parte de la información del INEC (población por manzana). En los siguientes pasos se indica cómo se calculó este parámetro poblacional.

1. Unir las 2 bases con el *intersect* de MANZANAS_INEC.shp vs PREDIOS_TOPO.shp, sin embargo, PREDIOS_TOPO.shp se encuentra con las claves de manzanas sin el 0 inicial, por lo que se agregó el 0 inicial para poder empatar las 2 bases.
2. Una vez unidas las 2 bases se registran las nuevas claves de cada predio con su clave de manzana.
3. Como existen datos de manzanas en 0 se le agrega la clave de manzana más cercana.
4. Como el *intersect* suprimió algunas áreas que no tenían los PREDIOS_TOPO de las MANZANAS_INEC, se calculan nuevas áreas AREA_PRED sumando con el comando *frequency* aquí se obtiene también el dato del número de veces que se repite la clave amanzanada
5. Unir las 2 bases los PREDIOS con la tabla suma que se obtuvieron los datos mencionados por medio de un *join* y se pasa a nuevos campos, lo cual se llama la repetición de las manzanas como NUMPRED, y la nueva suma de áreas se denomina A_MAN.
6. Una vez obtenida los datos de las áreas finales se va a calcular la población por cada predio; primero, se calcula el porcentaje de área que tiene cada predio con respecto a la manzana.

$$P_{PRED} = \frac{AREA_PRED \times 100}{A_MAN}$$

7. Y finalmente, se obtiene la población por cada predio.

$$POB_{PRED} = \frac{P_PRED \times POBLACION}{100}$$

Con la obtención de este parámetro poblacional se calcularán las medidas de centralidad de ambos años de estudio.

ANEXO 2

Usos de Suelo

Los usos de suelo considerados dentro de la zona de estudio es la misma de la investigación propuesta por Hermida et al. (2015), con su trabajo “La Ciudad es esto”. Los usos de suelo se describen a continuación:

#	DESCRIPCION	Usos
1	Comercio ocasional de productos de aprovisionamiento a la vivienda al por menor	COMERCIO
2	Comercio de repuestos y accesorios automotrices	
3	Comercio de equipos y maquinaria liviana	
4	Comercio de materiales de construcción y elementos accesorios	
5	Comercio de insumos para la producción agropecuaria y forestal	
6	Servicios de turismo y recreación	SERVICIOS
7	Servicios de alimentación	
8	Servicios financieros	
9	Servicios de transportes y comunicaciones	
10	Comercio cotidiano de productos de aprovisionamiento a la vivienda al por menor.	COMER CIO
11	Servicios personales y afines a la vivienda	SERVICIOS
12	Servicios de turismo y recreación	
13	Servicios profesionales	
14	Servicios de seguridad	
15	Servicios industriales	
16	Vivienda	VIVIE NDA
17	Producción artesanal y manufactura de bienes compatible con la vivienda	OTROS
18	Cultura (@)	
19	Educación	
20	Adicionales	

Tabla 3. Información Base

Fuente: Elaborado por la autora

Por tanto, de estos cuatro usos de suelo que corresponde a cada predio (comercios, servicios, viviendas y otros), existen predios que tienen más de dos usos de suelo, por lo que dentro de este estudio se han considerados diez usos de suelo entre mixtos e individuales: 1. Viviendas, 2. Comercios, 3. Servicios, 4. Otros, 5. Viviendas y Comercios, 6. Viviendas y Servicios, 7. Viviendas y Otros, 8. Comercios y Servicios, 9. Comercios y Otros, 10. Servicios y Otros. Con estos usos de suelo se elaborará el estudio de centralidad.

ANEXO 3

Herramienta *Depthmap*

Para el uso de la herramienta *Depthmap* como primer paso hay que dibujar un mapa axial de la zona de estudio en el programa AutoCAD 2014, asegurándose de que todas las líneas están bien conectadas; una vez depurada estas trazas se exporta sólo la capa de líneas axiales como un archivo *.dxf dentro del programa *Depthmap* (Archivo + nuevo), luego se importa el documento anterior (elegir uno de los archivos *.dxf con líneas axiales), se convierte el mapa (convertir dibujos capa) (Figura 21).

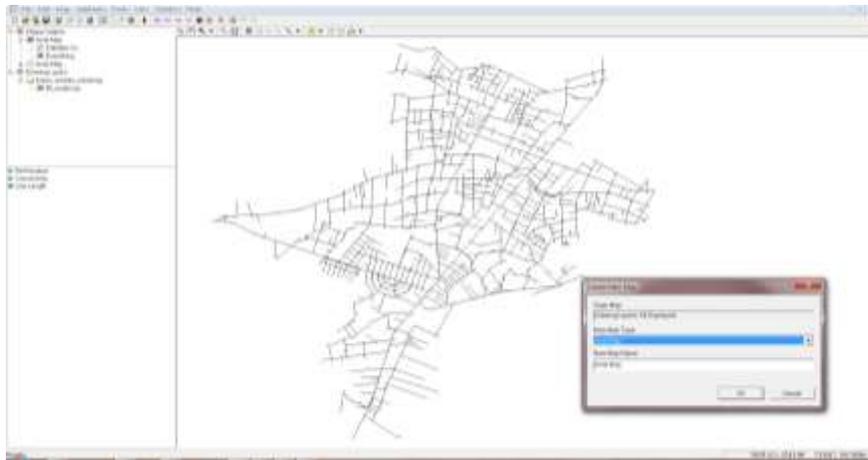


Figura 21. Creación de líneas axiales

Mediante “nuevo tipo de mapa” se selecciona “mapa axial” y se crean las líneas axiales de la zona de estudio, mediante el *Axial Analysis Option* se procesan los mapas con los radios de 3, 5 y 7 que da la integración local “integración [HH] R3”, y con radio “n” la integración global “integración [HH]” como se muestra en el lado izquierdo los cálculos realizados dentro de esta herramienta.

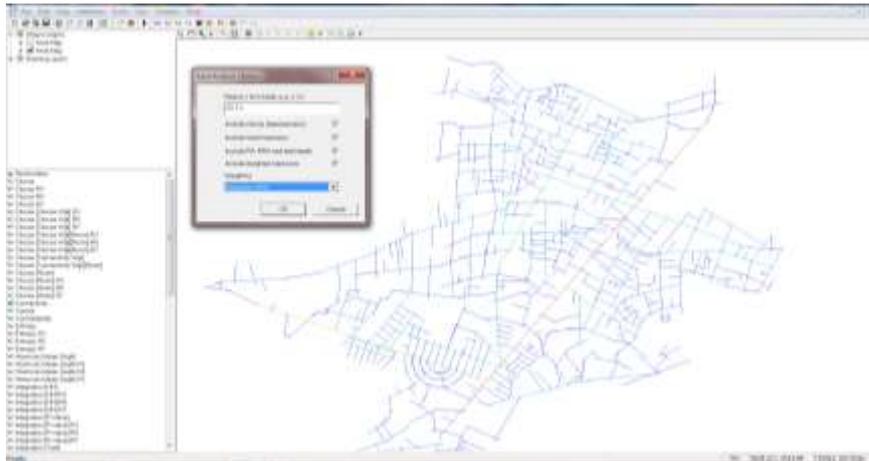
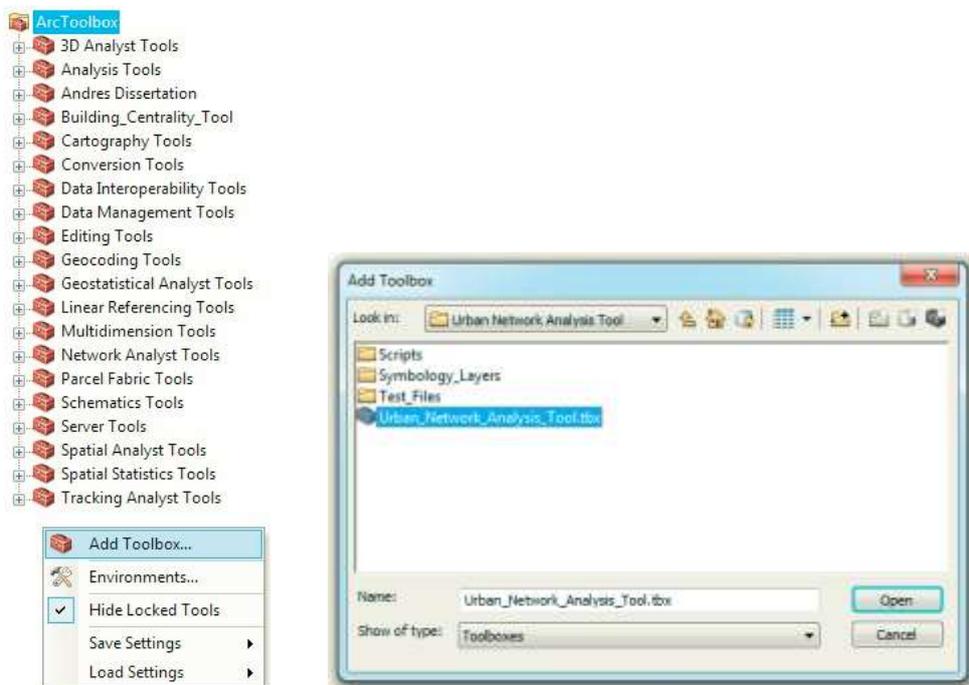


Figura 22. Resultado final para el cálculo de líneas axiales.

ANEXO 4

Urban Network Analysis

Para el uso de esta herramienta como primer paso es necesario descargar la carpeta UrbanNetworkAnalysis.zip, esto se encuentra en la página web <http://cityform.mit.edu/projects/urban-network-analysis.html>, es necesario que se tenga instalado el ArcGIS 10.1 en adelante, porque para las versiones anteriores la instalación es diferente, dentro de la herramienta en el *Arctoolbox* se deberá instalar de la siguiente manera:



A continuación se explica las herramientas que se deben considerar dentro de este cálculo.

Buildings de Entrada (Input Buildings)

Un archivo de forma poligonal³ que marca la ubicación de huellas de *buildings* o un *shapefile* de puntos (generalmente entradas de los *buildings* de la calle o huella centroide) para los que se llevará a cabo el cálculo. Tenga en cuenta que la herramienta Centralidad sólo puede tener puntos de entrada desde

³ Los Puntos de entrada debe ser un *shapefile* de puntos (.shp), no una base de datos geográficos (GDB) Clase de entidad

featureclasses (*shapefiles* habituales), pero no de *geodatabases* (GDB). (City, 2011). Nuestro archivo *shapefile* es el creado en los Anexos 1 y 2.

Datos de Red (Network Dataset)

La red de datos es la red de calles en las que se ubican los predios de este caso de estudio. Esta entrada requiere un archivo de la red de calles con una extensión *.nd.

Esta red de calles se crea a partir de la información levantada en campo (*Open Street Map*) y una vez depurada la red se puede crear fácilmente un conjunto de datos de red desde el *.shp utilizando *ArcMap* y *ArcCatalog*. Las Versiones de ArcGIS 10.1 lo hacen particularmente fácil convertir una capa polilínea a un conjunto de red de datos. Basta con abrir el *ArcCatalog* en *ArcMap*, hacer clic derecho, seleccionar Nuevo *Network dataset* y seguir las instrucciones (Figura 23), Antes de ejecutar las herramientas de la UNA, asegúrese visualmente de que los puntos de entrada están en los lugares adecuados en el conjunto de red de datos.



Figura 23. Creación de un conjunto de datos de red nueva de un archivo .shp en ArcMap 10.1.

Selección de Análisis

Se pueden escoger todas las medidas para que el cálculo haga directo o también se puede escoger medida por medida. En la Figura 24 ilustra las

consideraciones para el análisis de las cinco medidas, este cálculo se hace para cada parámetro tanto de uso de suelo como para la densidad poblacional.

Nombre de atributo (Building ID)

Este es el nombre del atributo utilizado para distinguir entre *buildings* (nombres de entrada). Los nombres de identificación de *buildings* tienen que ser un campo entero. Los usuarios pueden elegir cualquier columna (enteros) en los puntos de entrada del *shapefile* como *Buildings ID*, y los resultados del análisis son devueltos por escoger a la columna de *Building ID*. Si no se especifica un IDs estos son escogidos por defecto (City, 2011).

Pesos del Campo Buildings

Esta entrada permite al usuario elegir una columna de atributo que existe en los puntos de entrada *shapefile* a ser utilizado como pesos $W(j)$ de *buildings* en el análisis. La entrada de los pesos de *buildings* describe los pesos por densidad poblacional descritos en el Anexo 1, como los pesos por usos de suelo descritos en el Anexo 2.

Atributo de Impedancia (Impedance Attribute)

Este atributo está asociado con los datos de entrada y se utilizará en todos los cálculos para limitar los radios más cortos de la red y los cálculos de la ruta. El valor por defecto "Longitud" establece la distancia lineal como el atributo de impedancia, por lo que la búsqueda de radio y el camino más corto se calcula utilizando la distancia lineal (por ejemplo, metros) como el factor de impedancia.

Radio de búsqueda

La entrada de radio de búsqueda define el radio buffer utilizado para el cálculo de las medidas especificadas. Para cada *buildings* de entrada, solamente otros puntos cuya corta distancia de la red de punto de entrada dado es menor que el radio de búsqueda, son considerados en el análisis. Si no especifica ningún radio

de búsqueda, entonces por defecto escoge el radio infinito. Se debe considerar las unidades con respecto al atributo de impedancia ya que se está trabajando en metros, por tanto, el radio de búsqueda será en metros.

Tipo de Radio

La variable de tipo de radio le permite elegir si los *buildings* vecinos o puntos que se eligen para el análisis están a una distancia de red especificada o a la distancia euclidiana de cada unidad de análisis. Tenga en cuenta que esta opción sólo afecta a los vecinos que han sido seleccionadas para el análisis, no tiene ningún efecto sobre los cálculos de rutas reales en el análisis. Al igual que con el valor por defecto de red de radio, el radio euclidiano asume el centro del radio para ser la ubicación de referencia a la red de origen del edificio.

Valor beta

El valor beta identificado como “ β ” es usado sólo en el índice de cómputo de tipo de gravedad. Se controla la forma de la curva de decaimiento de la distancia en el denominador del índice. El efecto inverso de distancia especificada en el **Gravity Index** disminuye exponencialmente. “ β ” y el *shape* correspondiente de la distancia de decaimiento debe ser derivado de la modalidad asumida de viajes. El valor equivalente de Beta para unidades de impedancia en "metros" es 0.00217; si el usuario no especifica ninguna entrada para beta, la entrada por defecto de "0" se utiliza automáticamente.

Localización de Salida

Esta entrada es para elegir la carpeta en la que se escriben todos los archivos de resultados; se debe tener en cuenta que la longitud máxima para las clases de entidad y tablas en ArcGIS es de 160 caracteres, incluyendo el nombre de la ruta.

Carpeta de Nombre de Salida

Esta entrada designa el nombre que se le dará al archivo DBF que contiene los resultados. El archivo de resultados DBF y la capa de los resultados del mismo nombre, contendrán una columna de atributos que muestra el ID *Building* (Nombre de atributo), y una o más columnas que muestran los resultados del análisis. La Figura 24 ilustra los datos considerados dentro de todo el análisis descrito para el caso de estudio.



Figura 24. Creación de las medidas de Centralidad

ANEXO 5

Gráficos de Integración para un R=3, 5, 7.

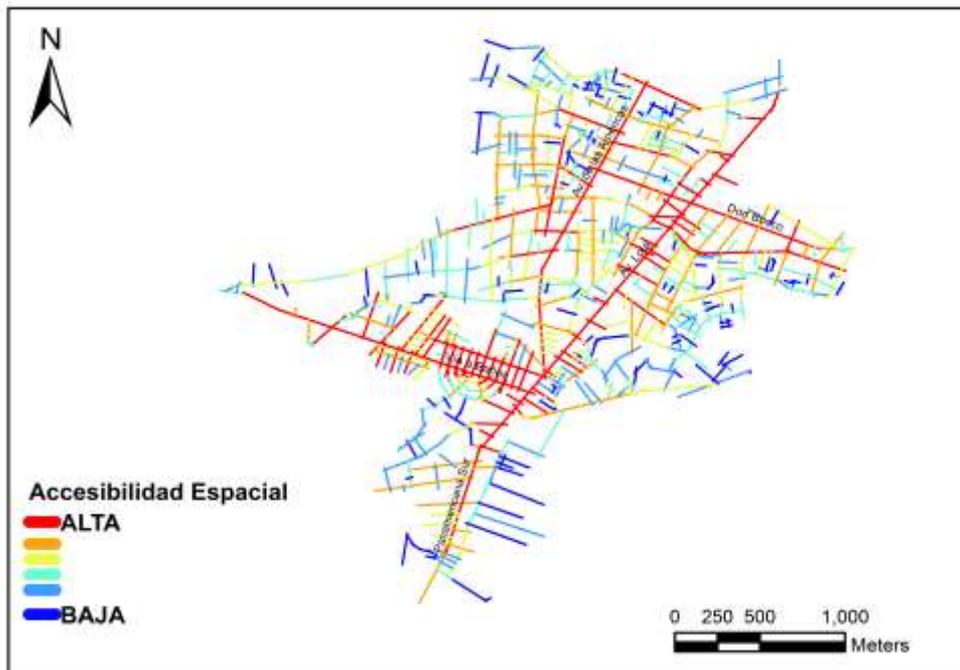


Figura 25. Mapa de Integración local (R=3) de la red vial del año 2001

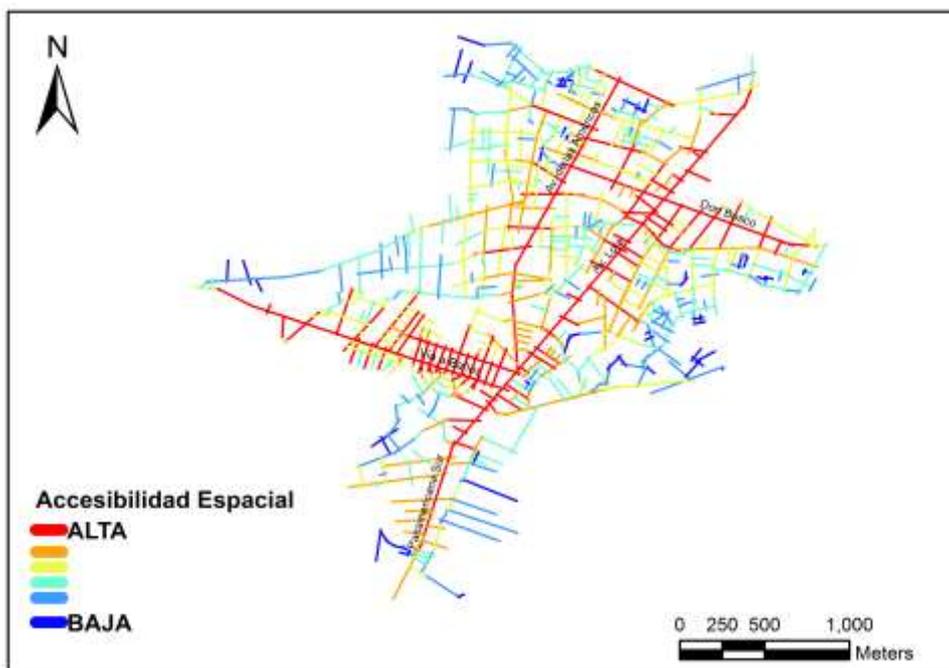


Figura 26. Mapa de Integración local (R=5) de la red vial del año 2001

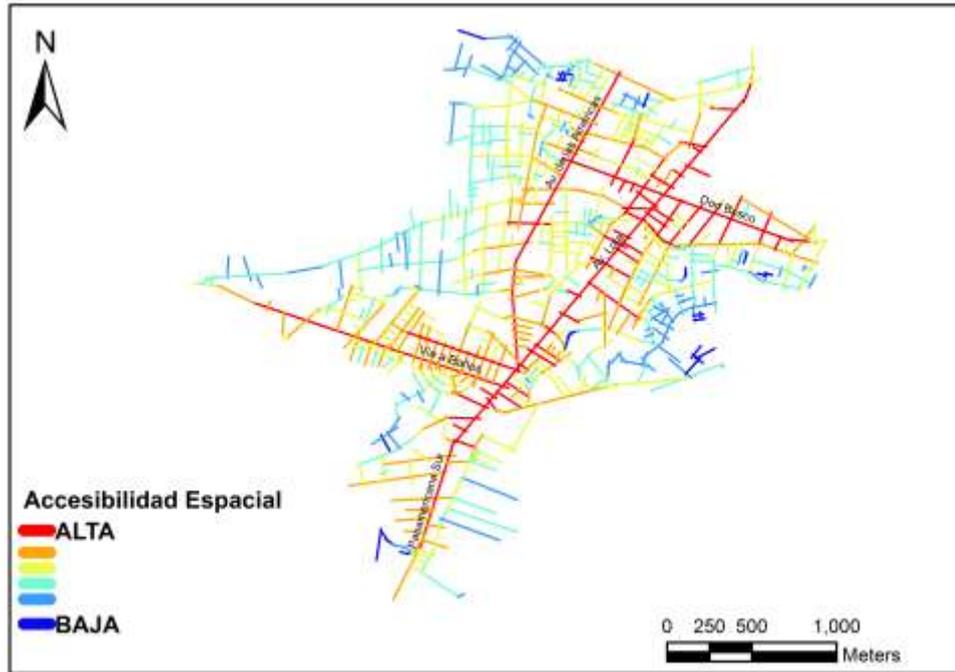


Figura 27. Mapa de Integración local (R=7) de la red vial del año 2001

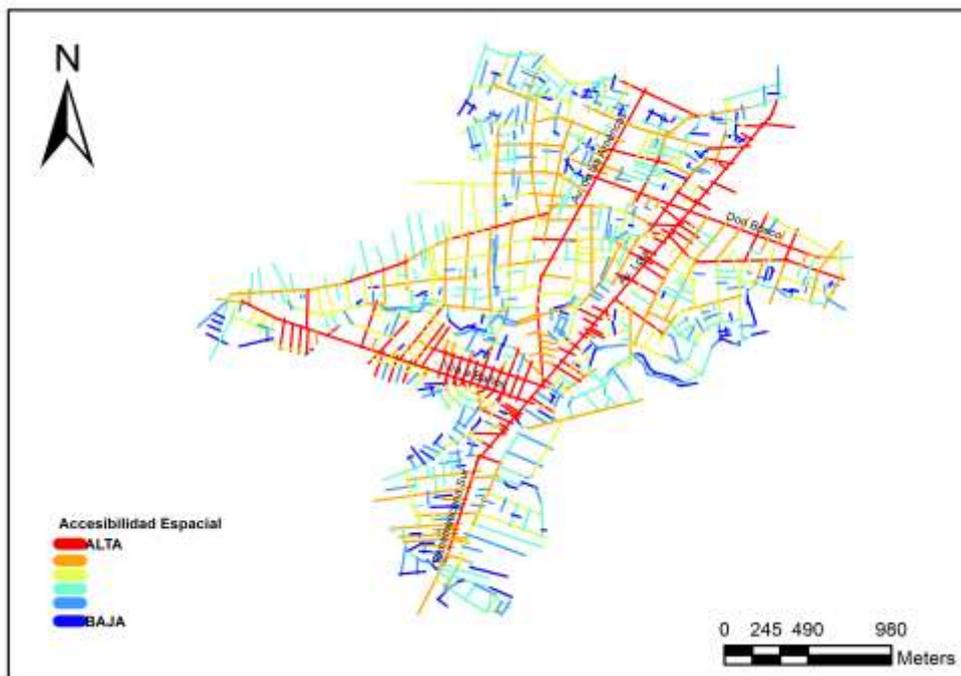


Figura 28. Mapa de Integración local (R=3) de la red vial del año 2015



Figura 29. Mapa de Integración local (R=5) de la red vial del año 2015

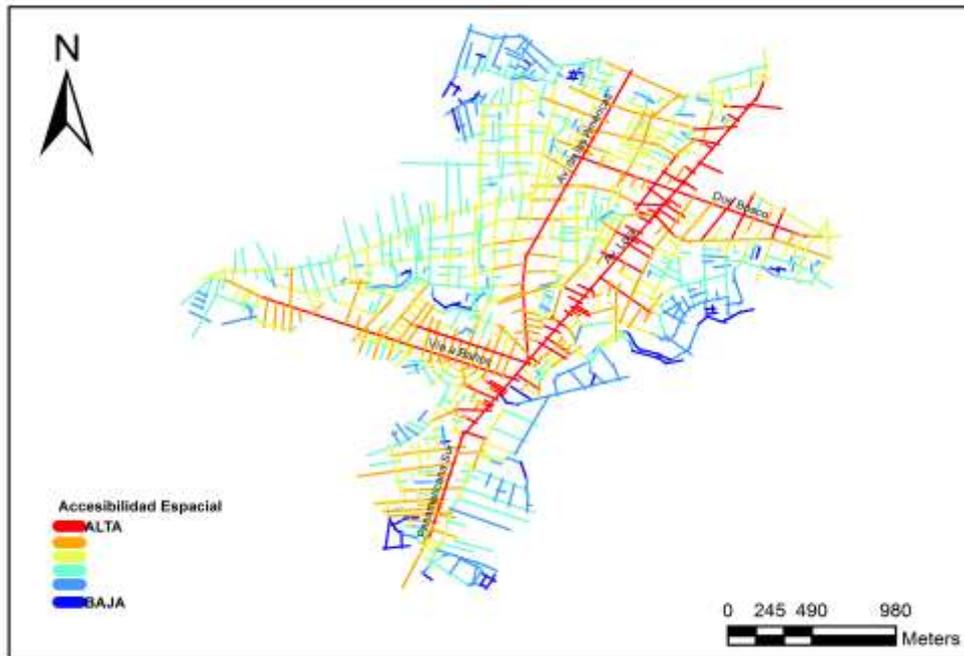
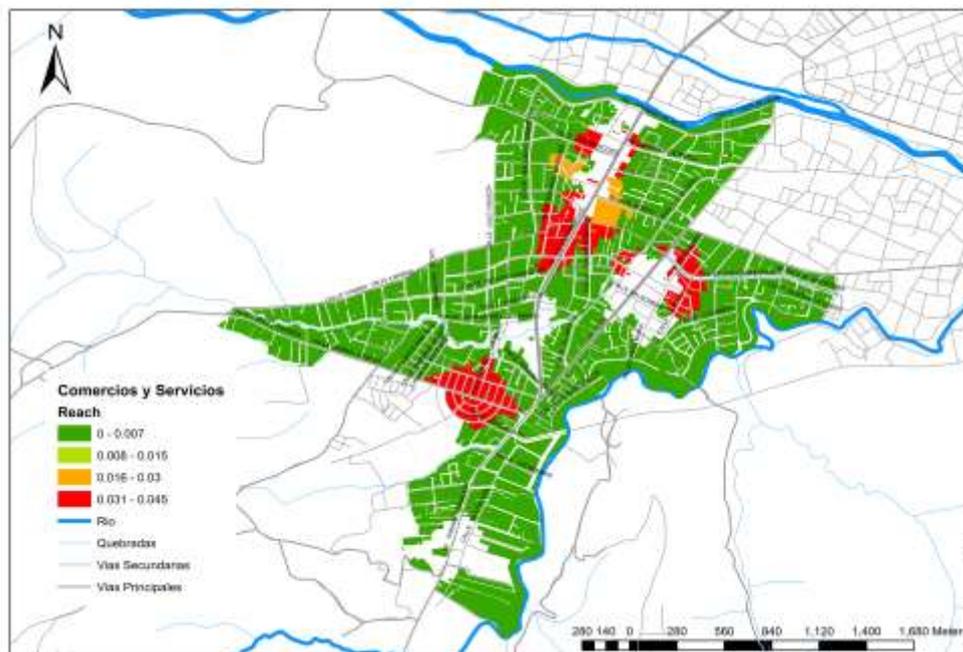
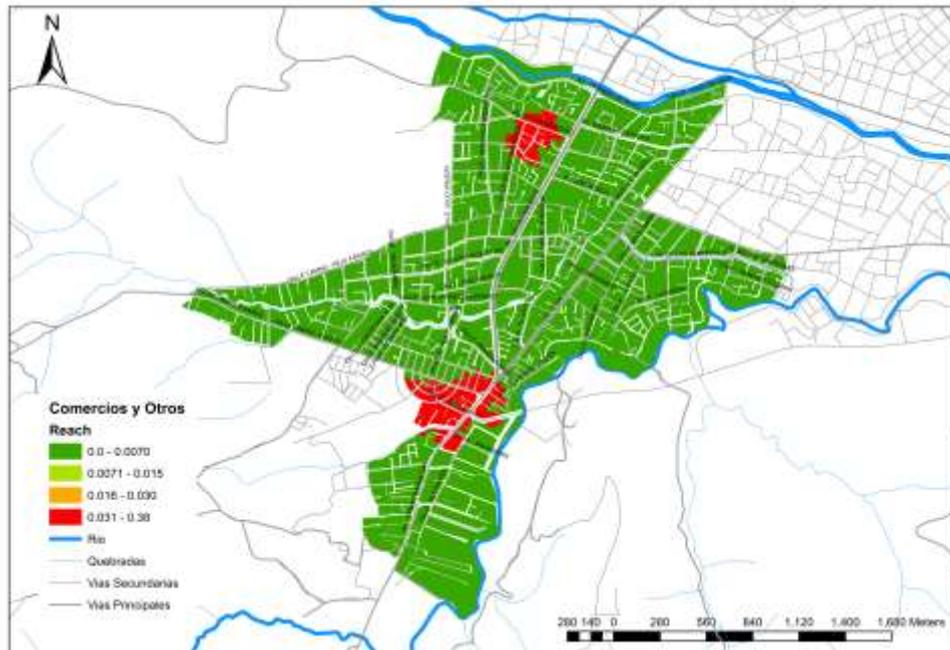


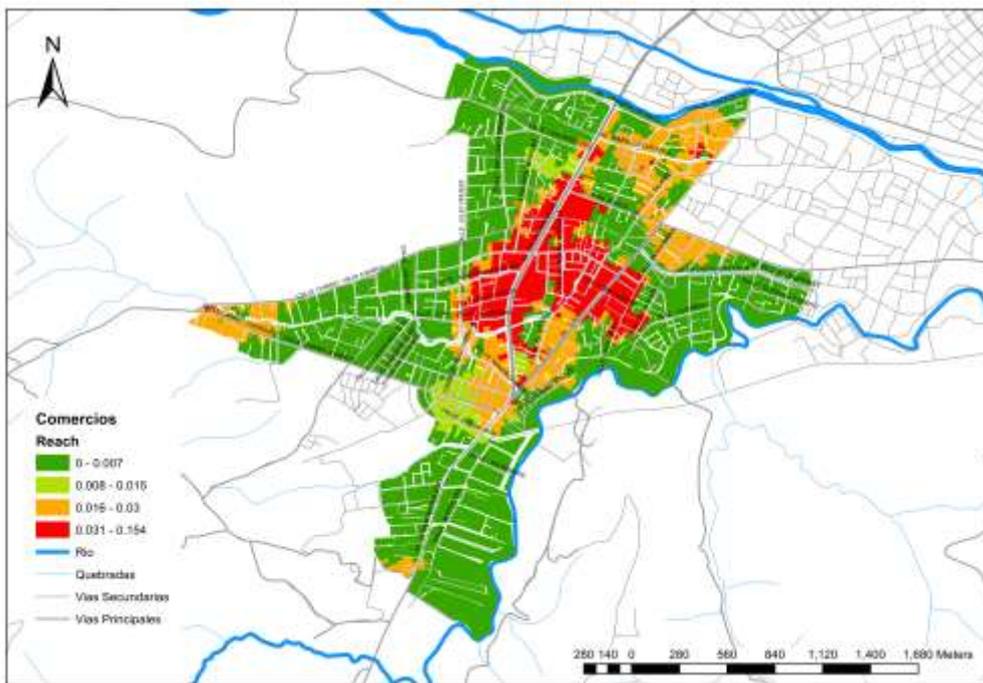
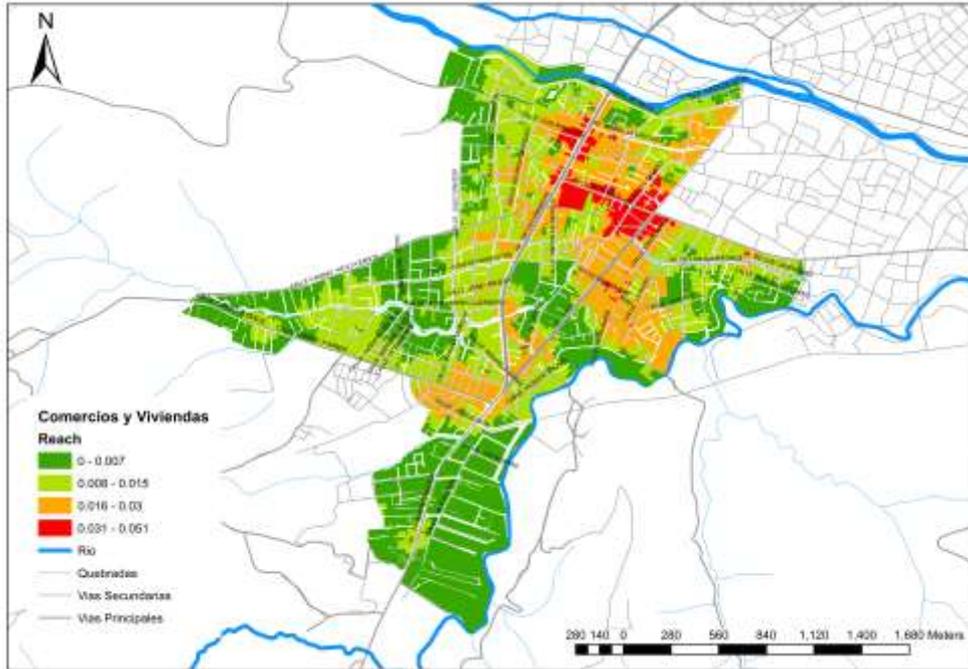
Figura 30. Mapa de Integración local (R=7) de la red vial del año 2015

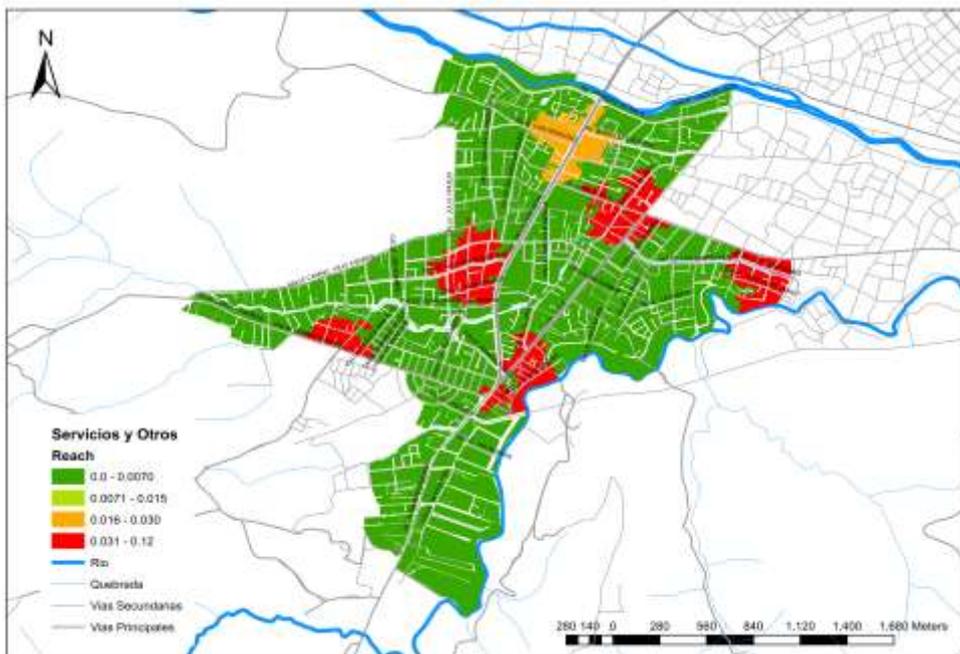
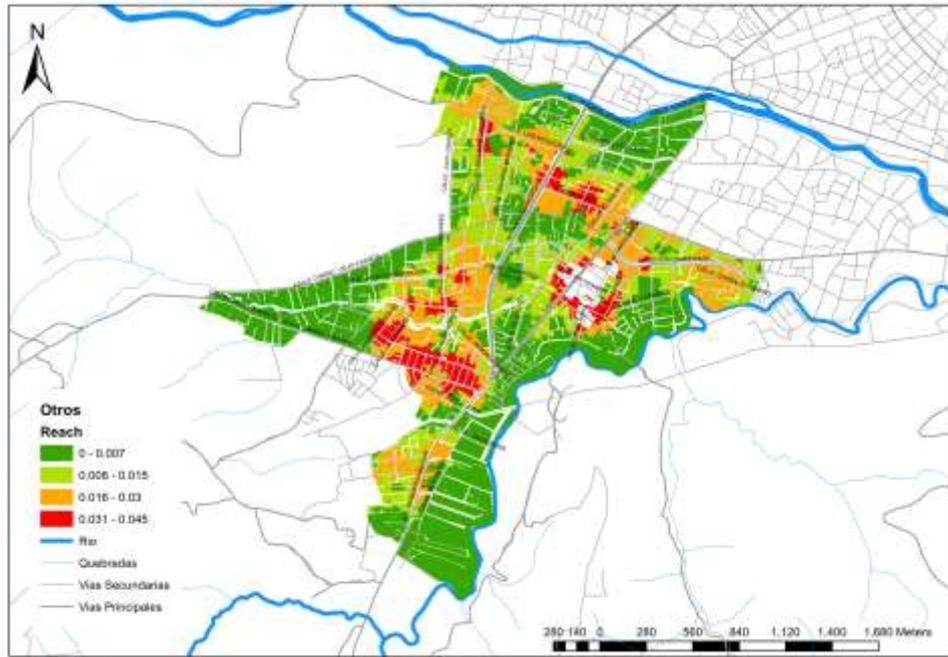
ANEXO 6

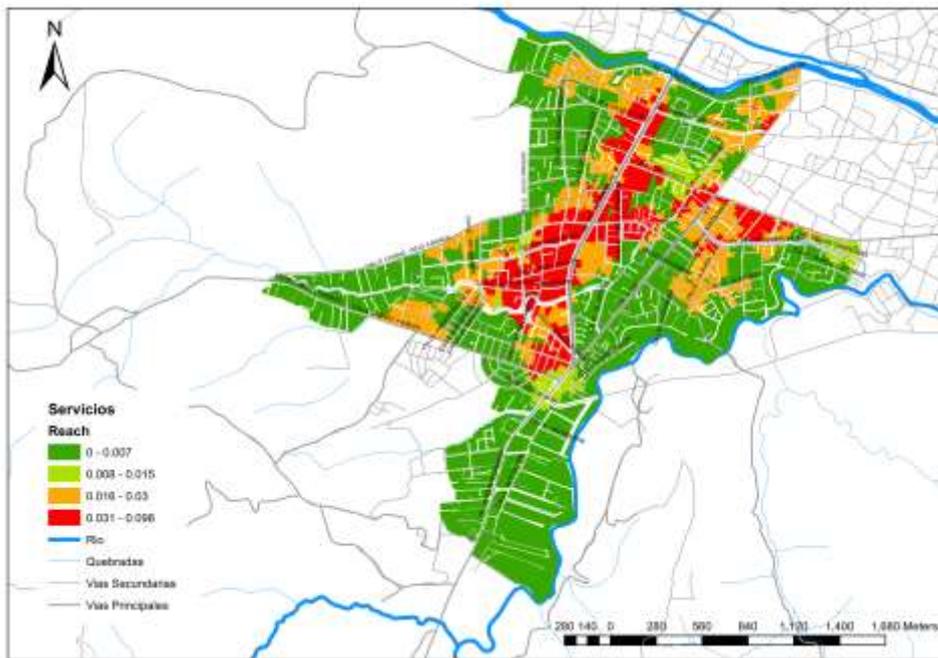
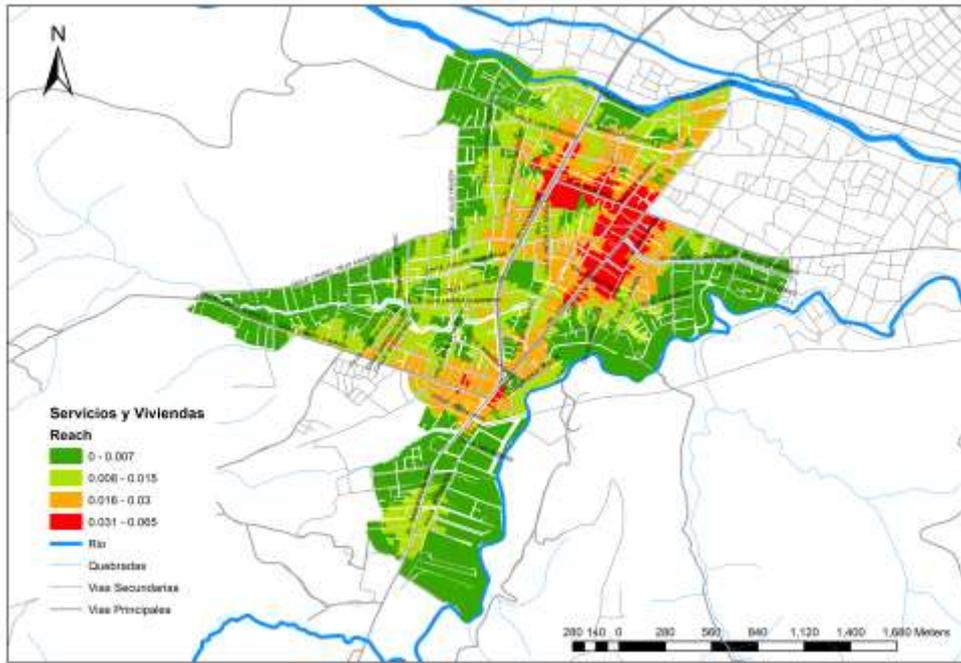
Gráficos de Centralidad para los diferentes usos de suelo con un radio de búsqueda de 300 metros

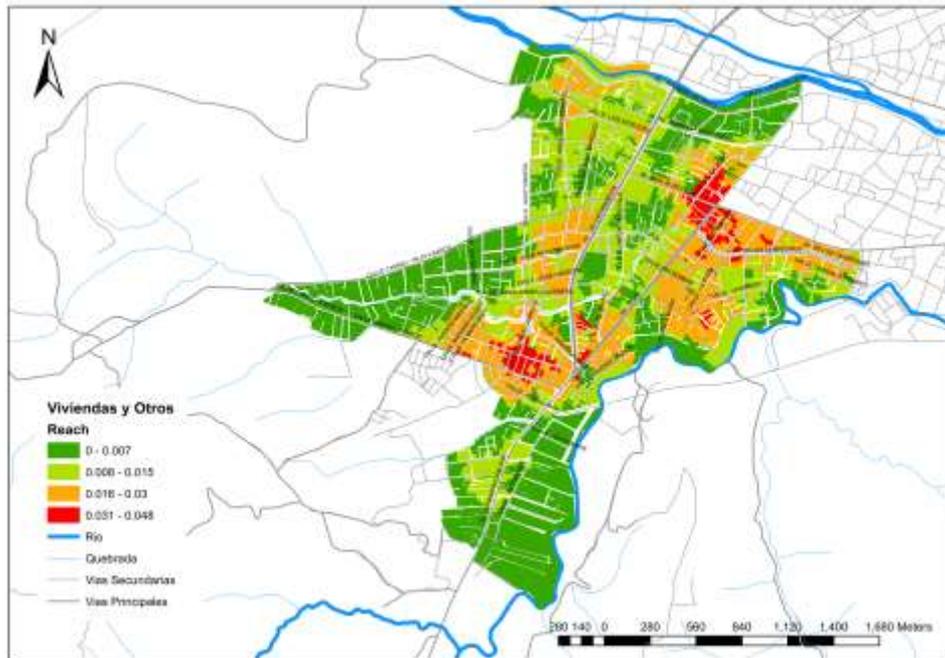
Reach



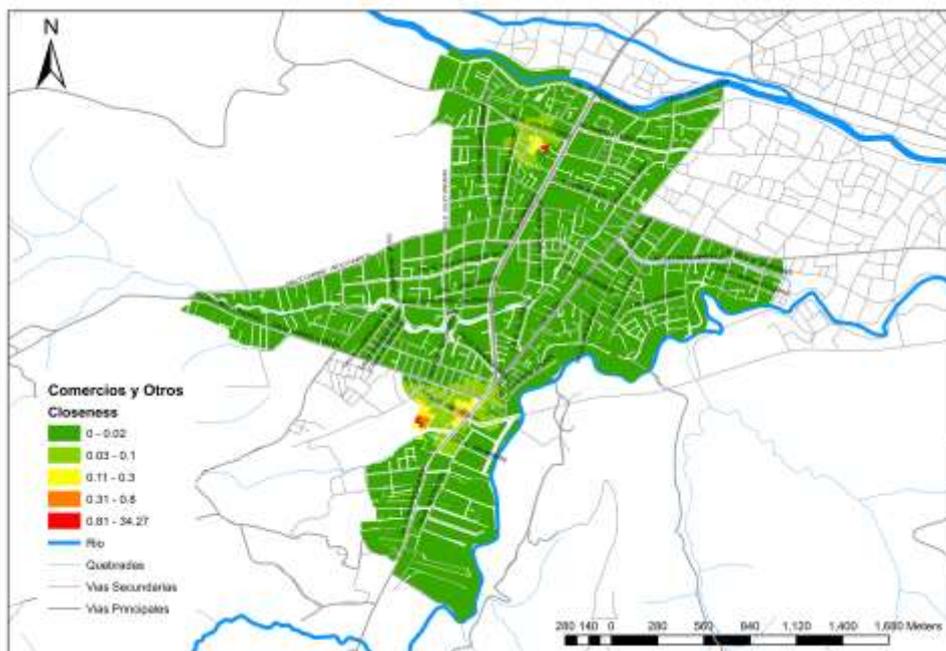


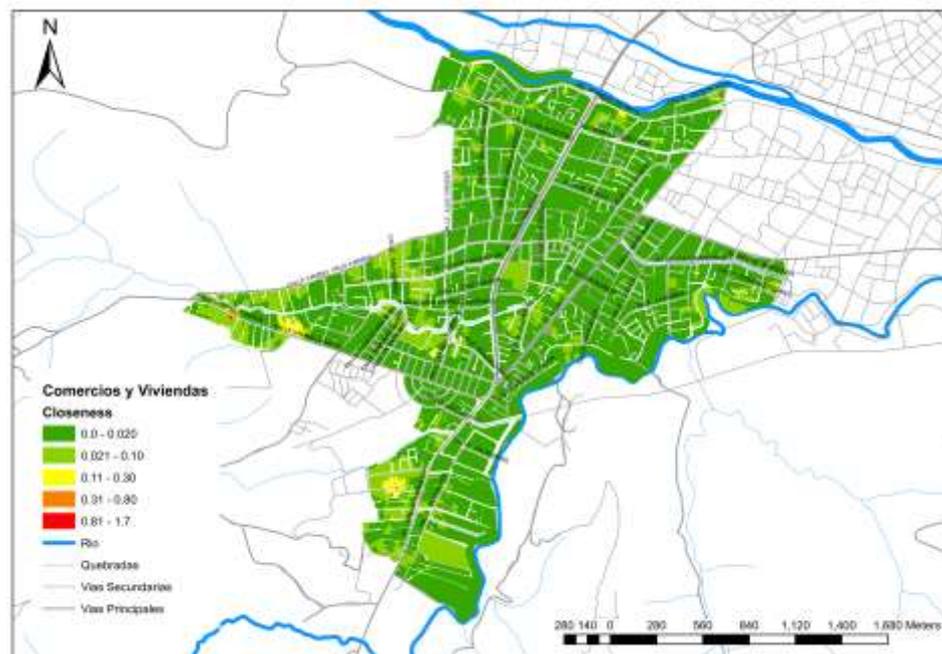
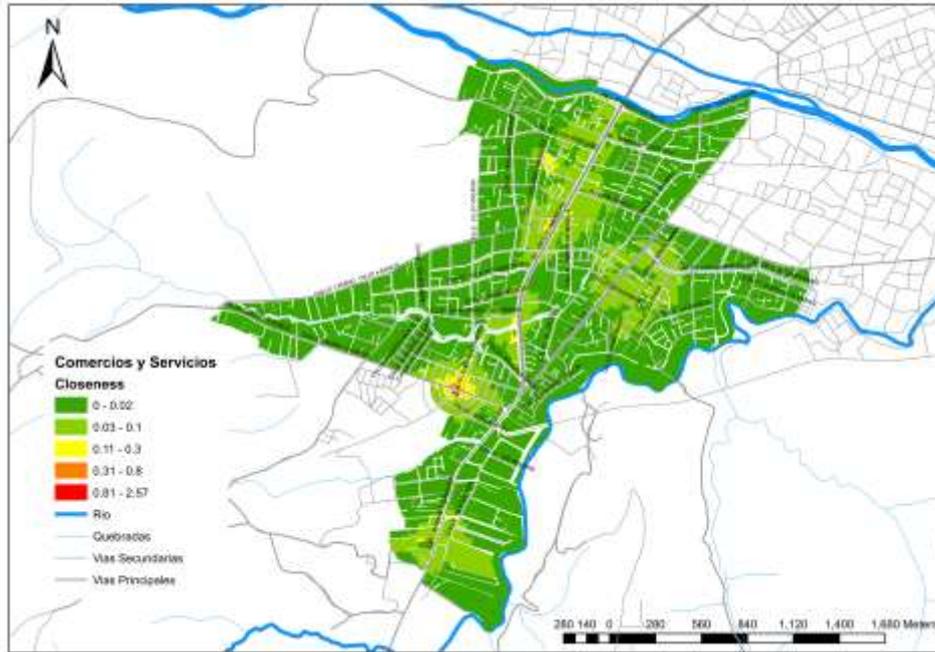


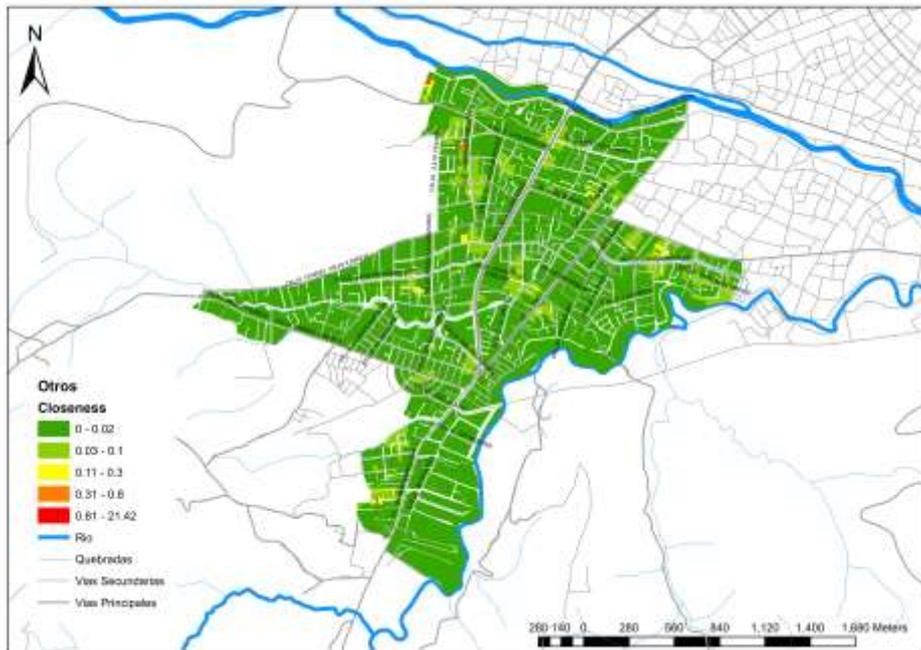
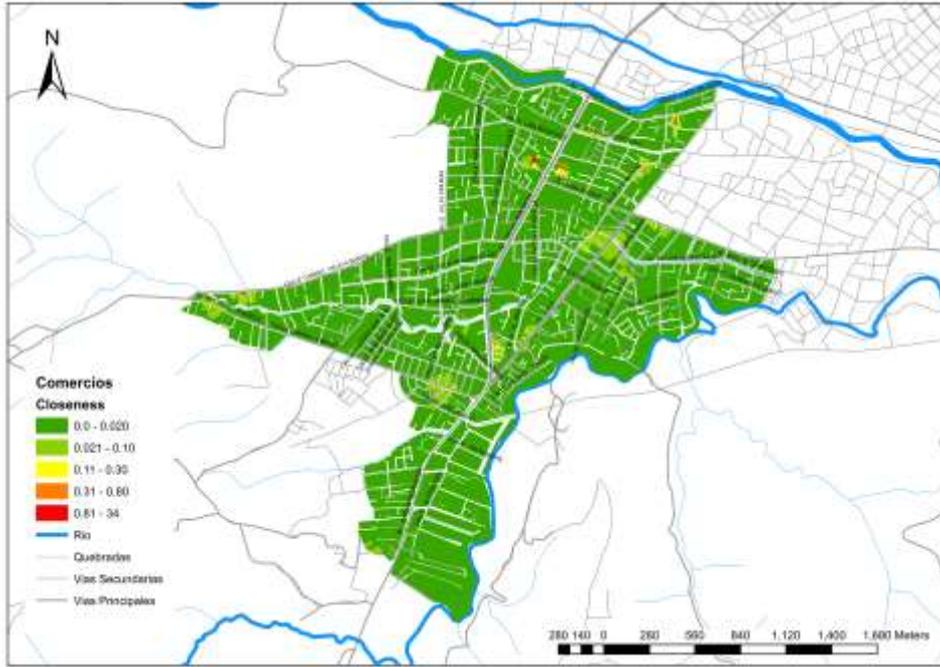


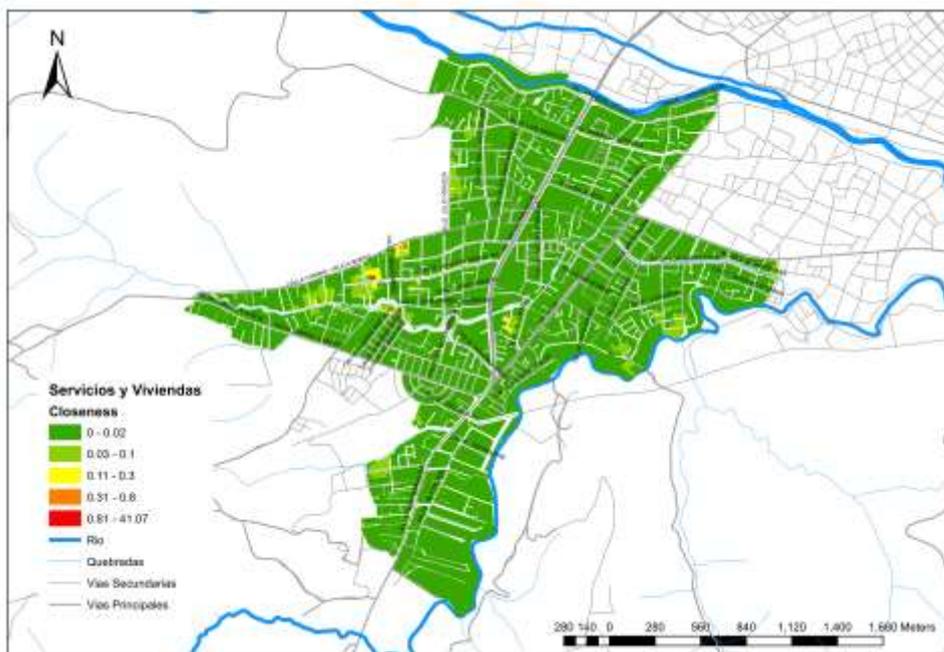
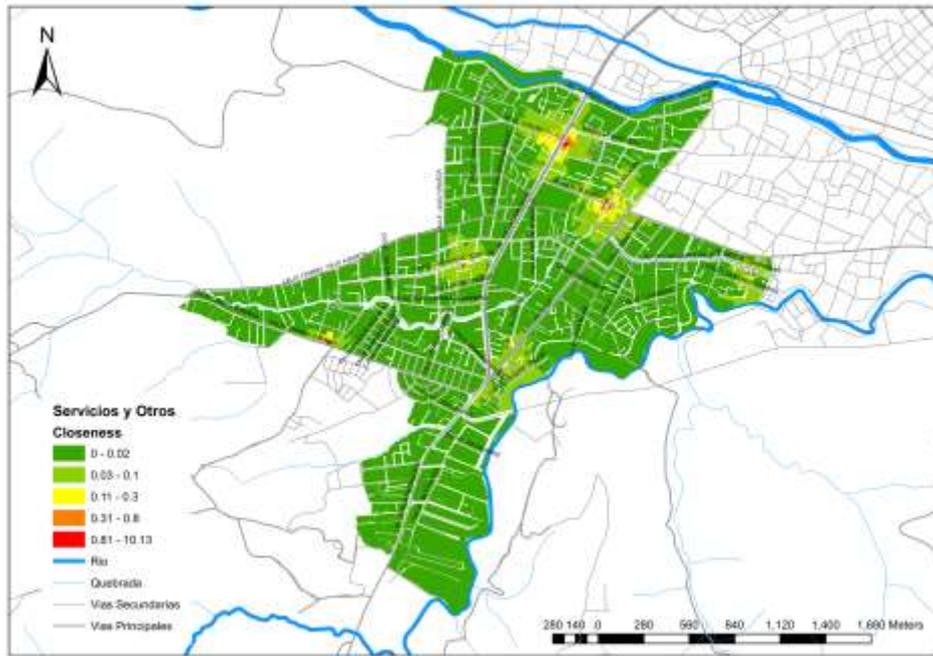


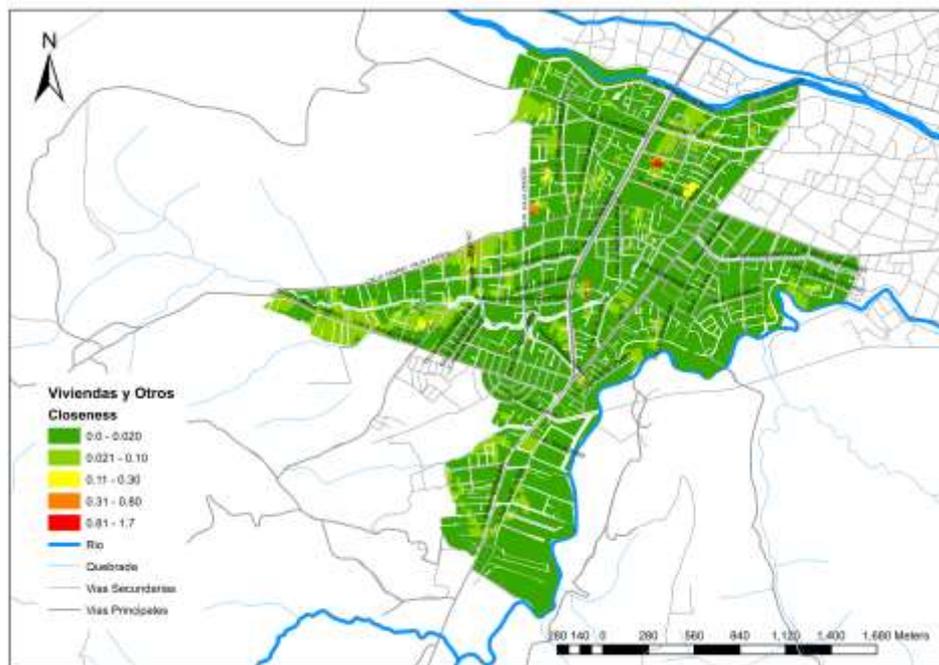
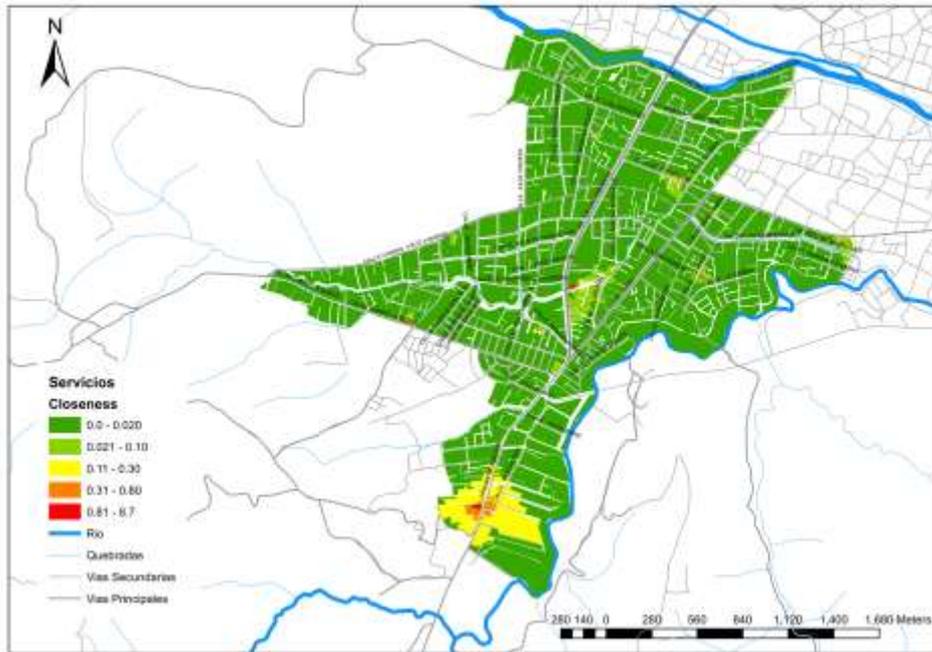
Closeness



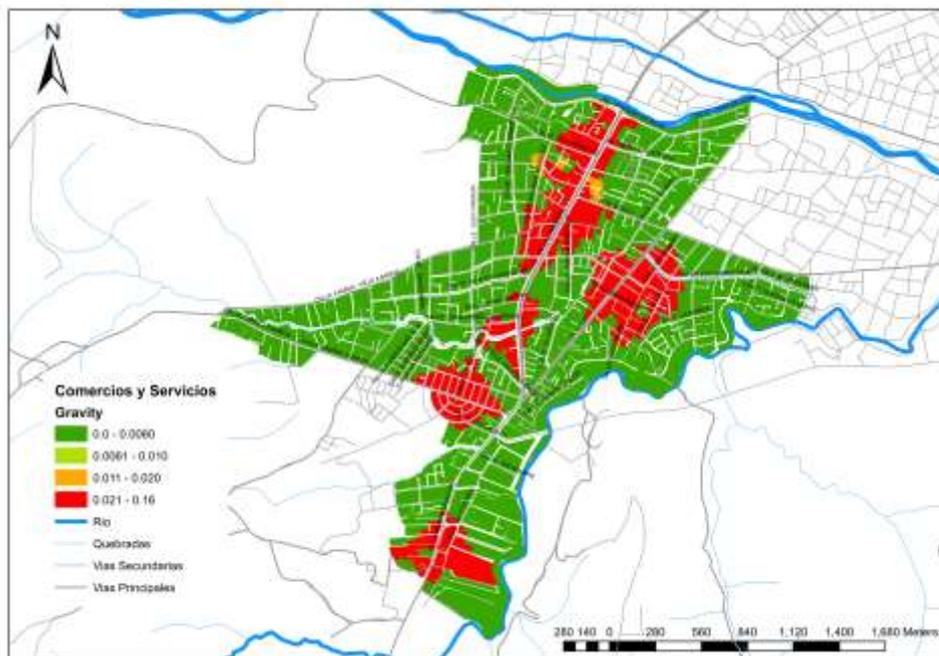
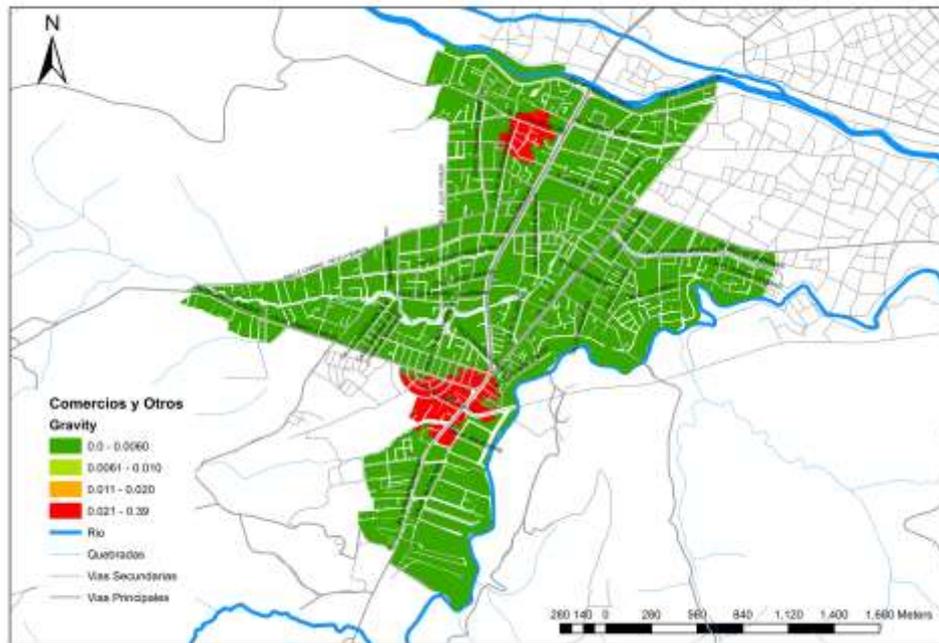


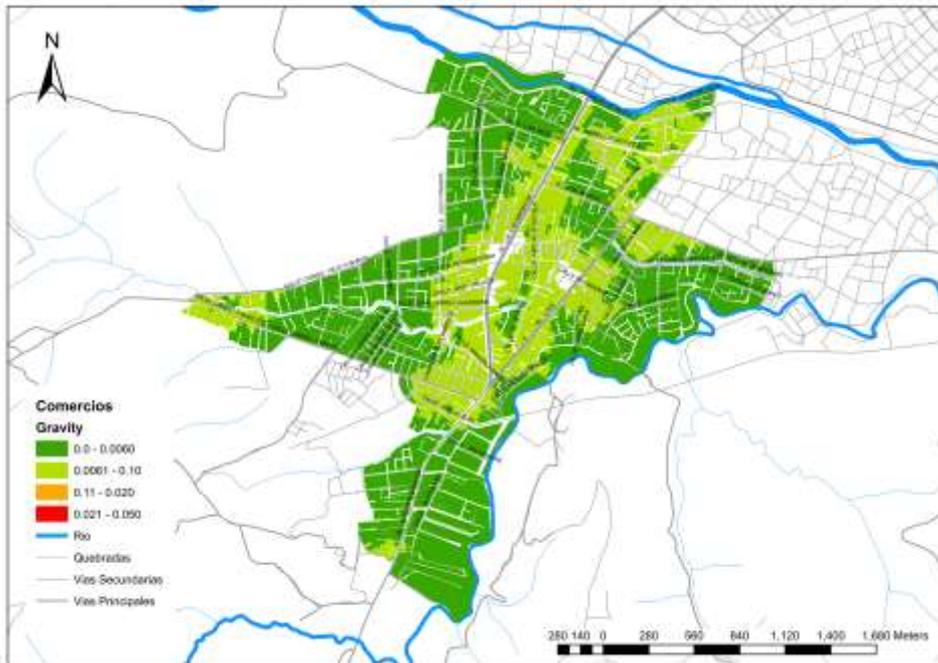
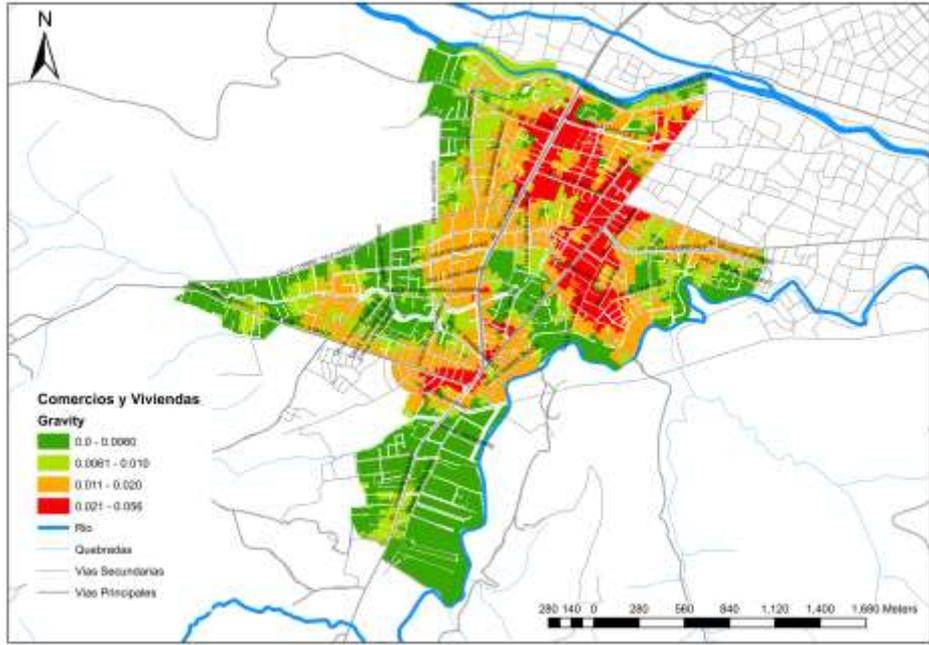


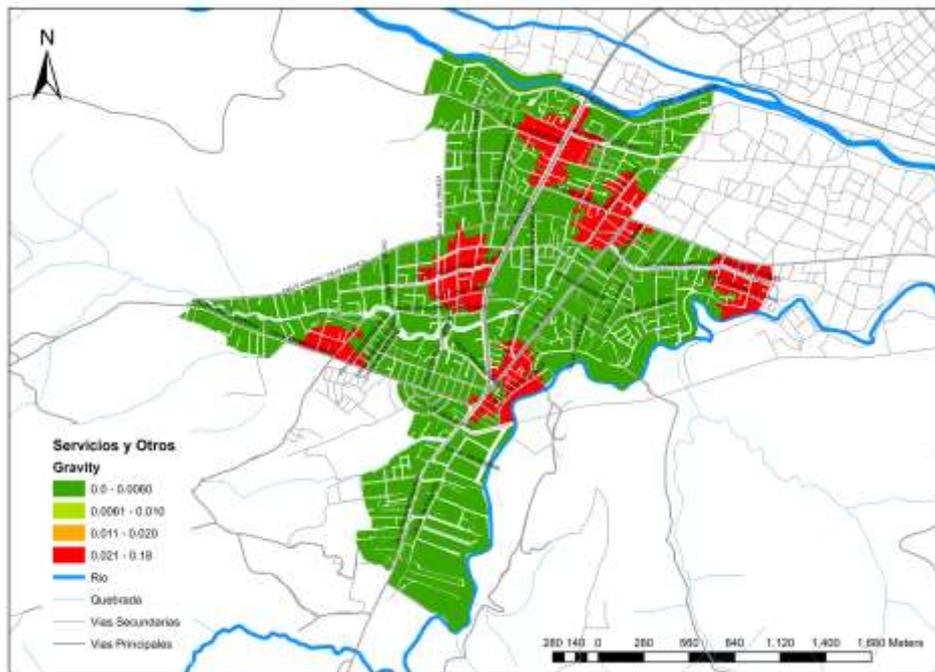
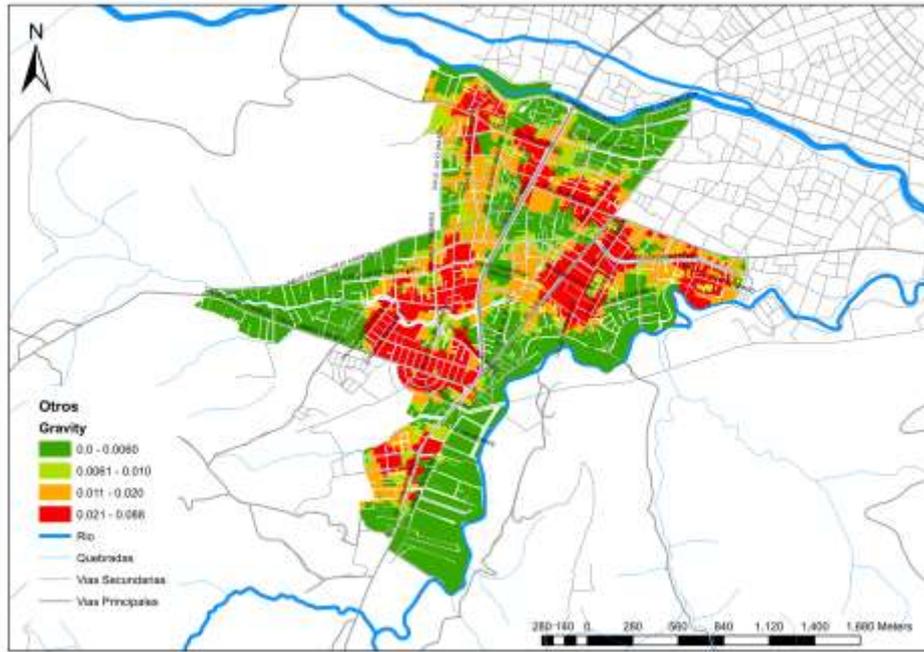


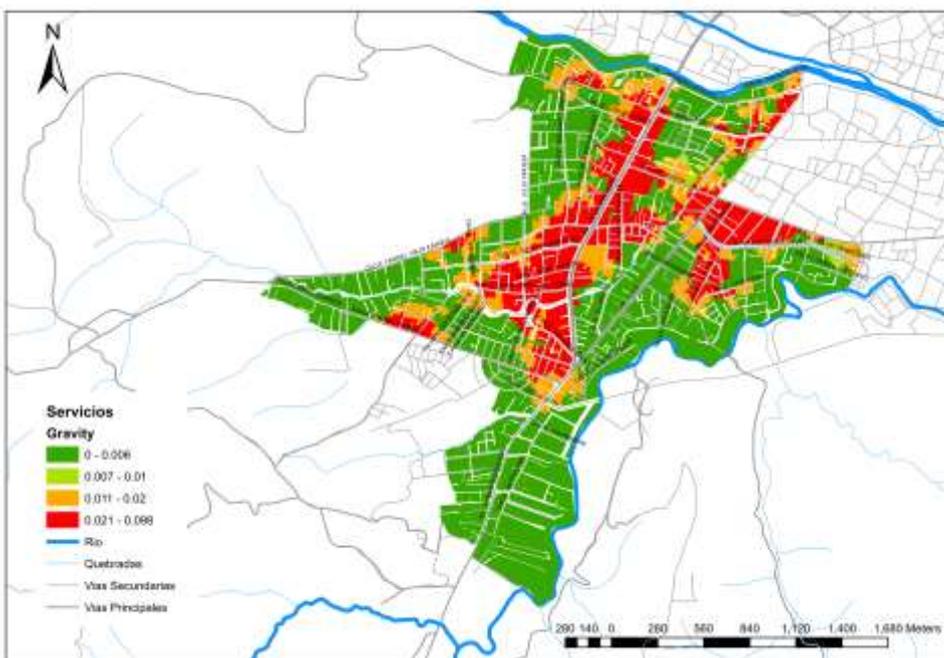
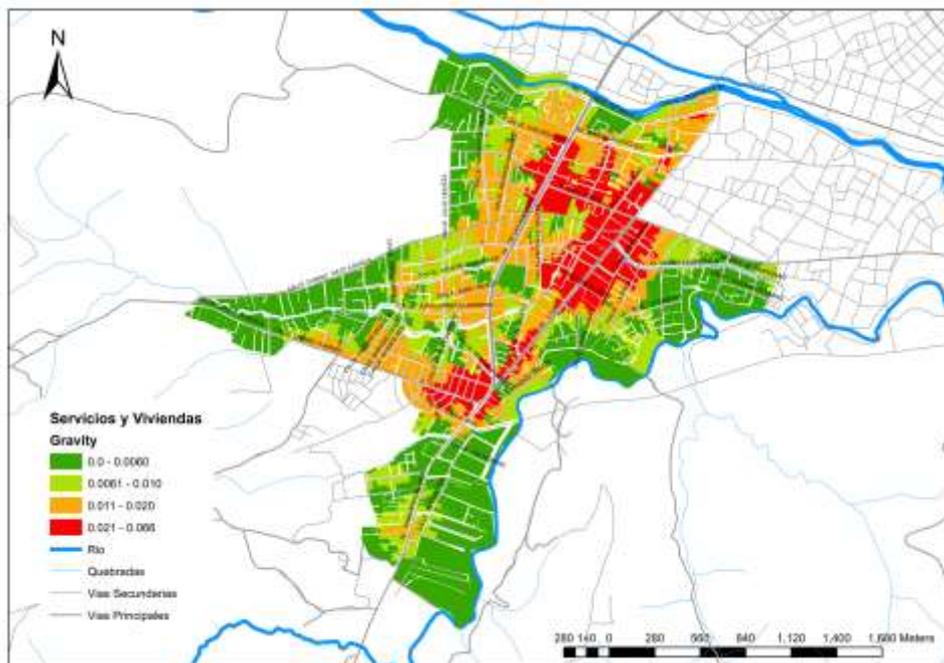


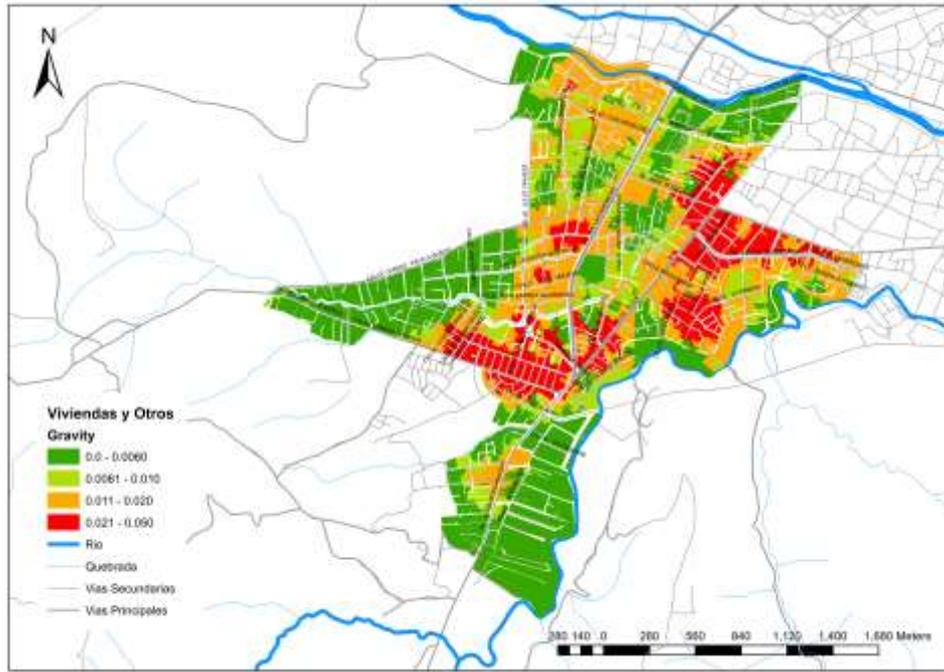
Gravity



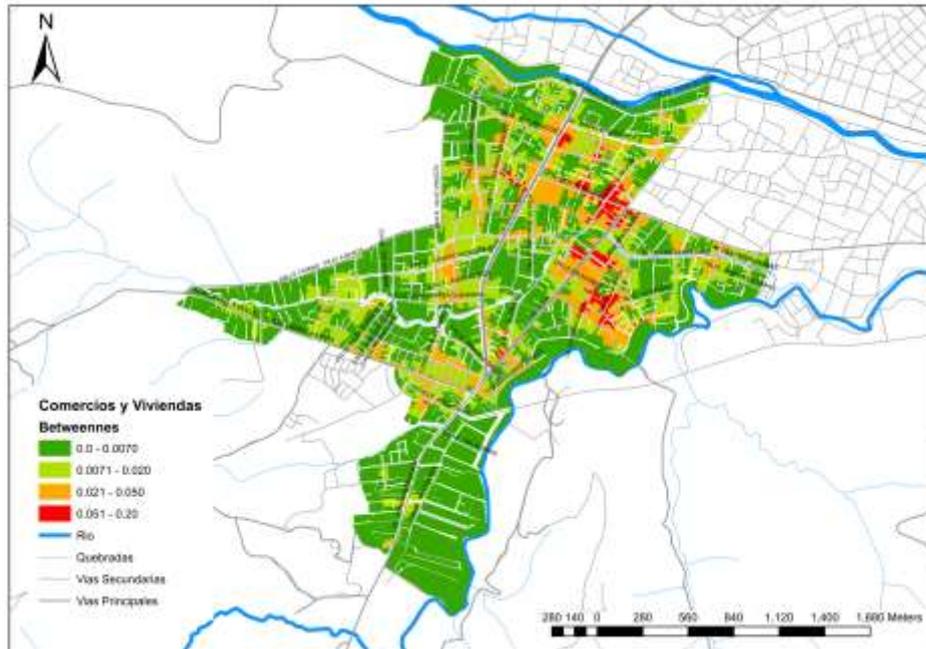


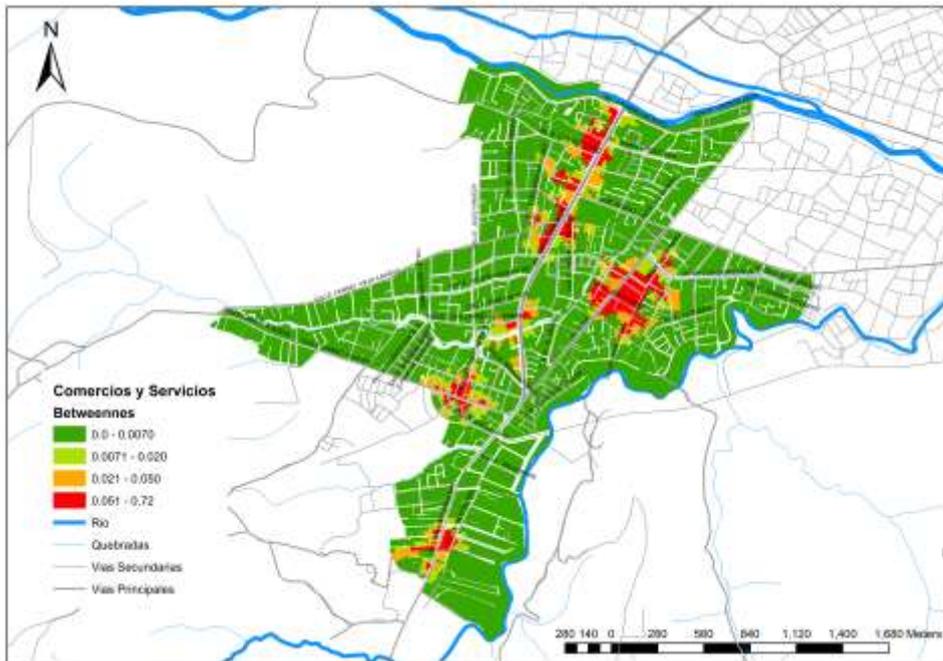
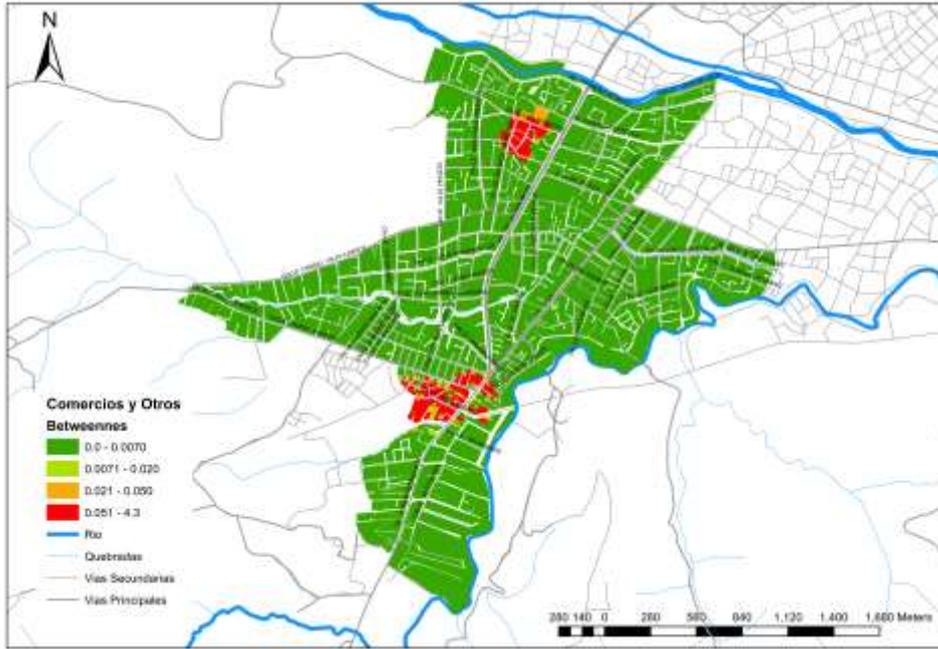


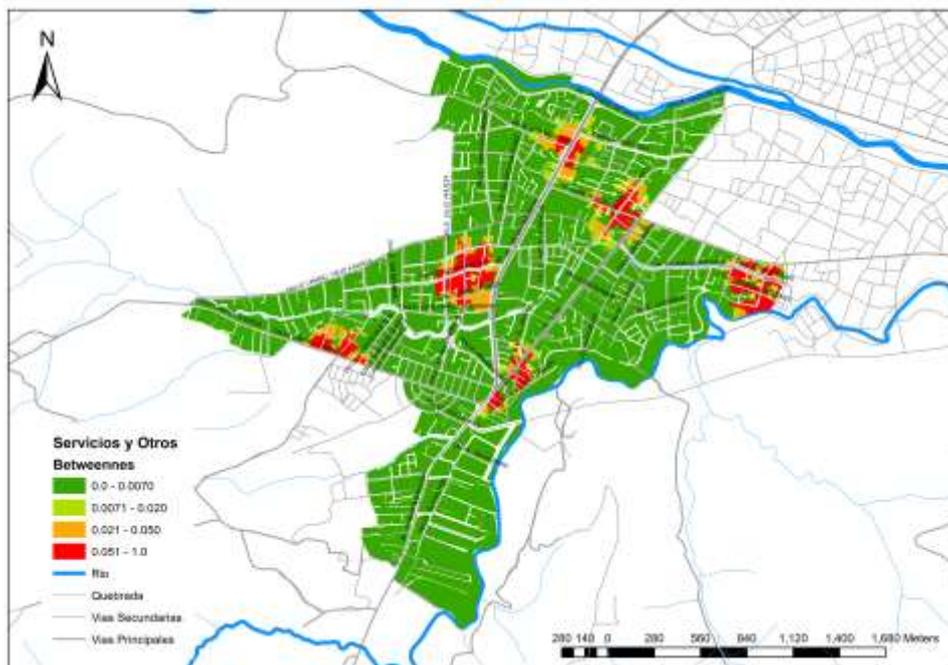
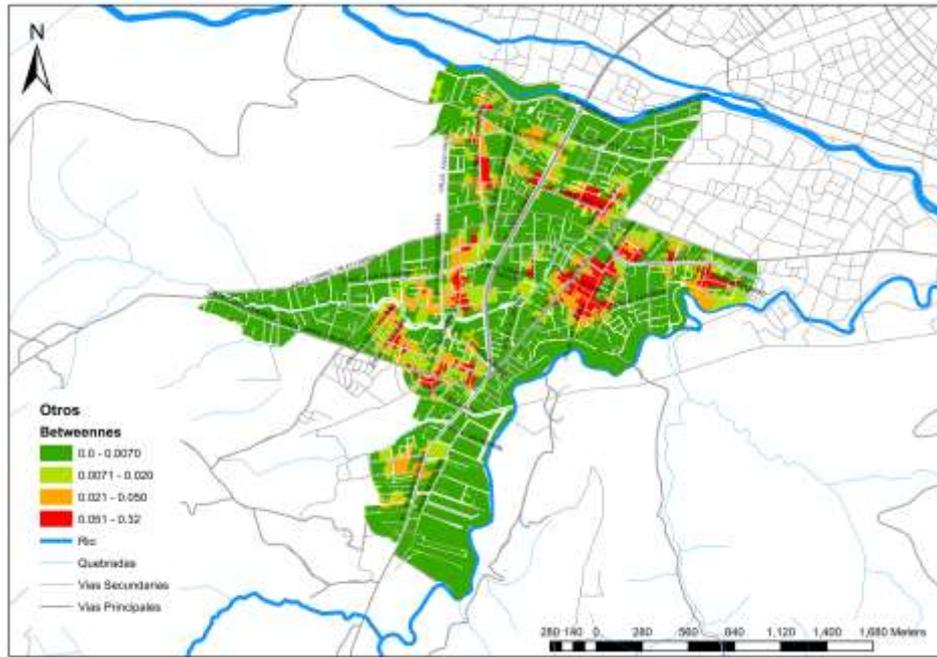


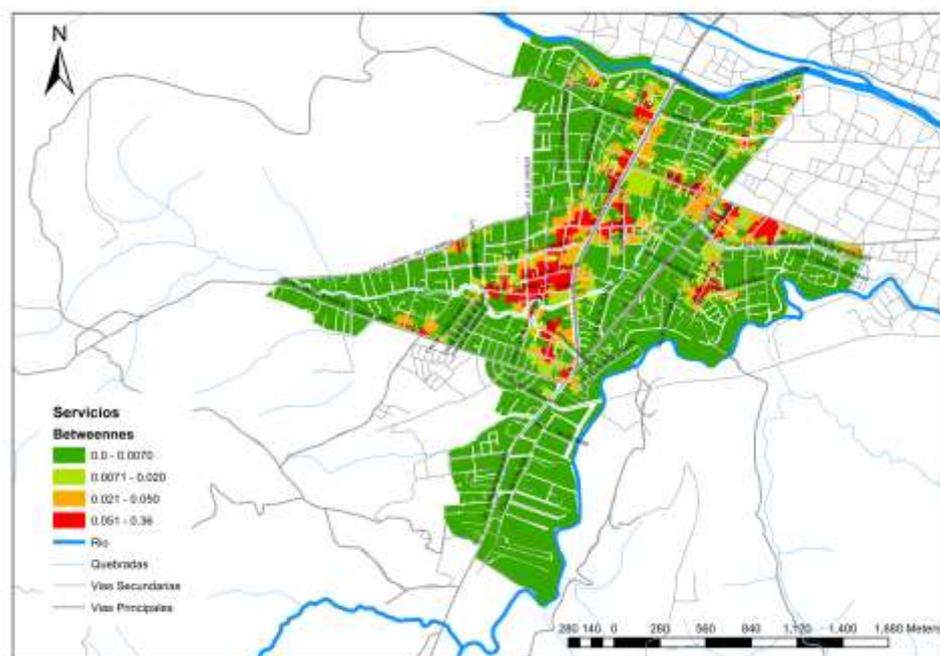
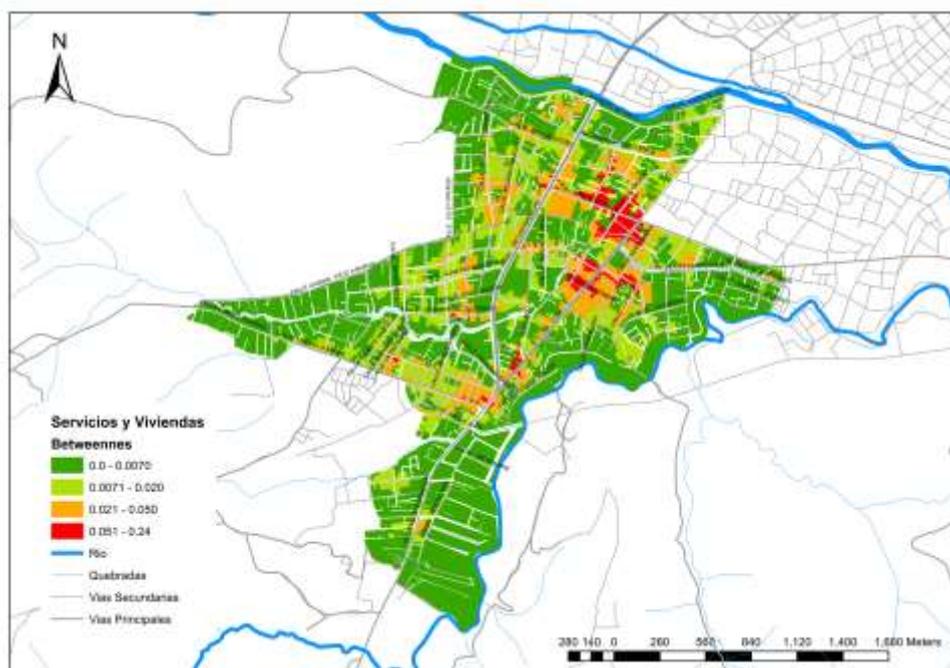


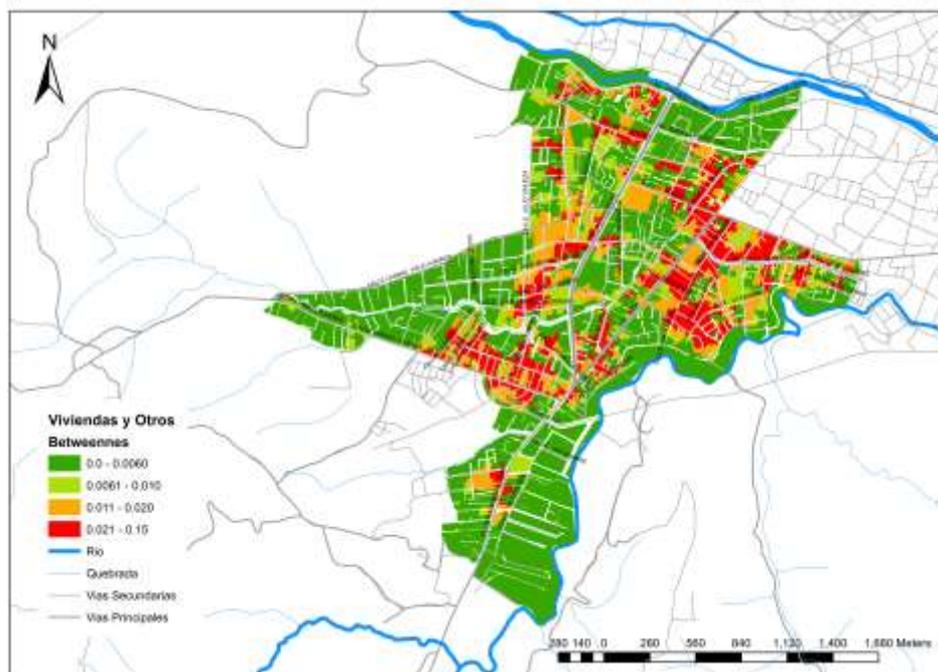
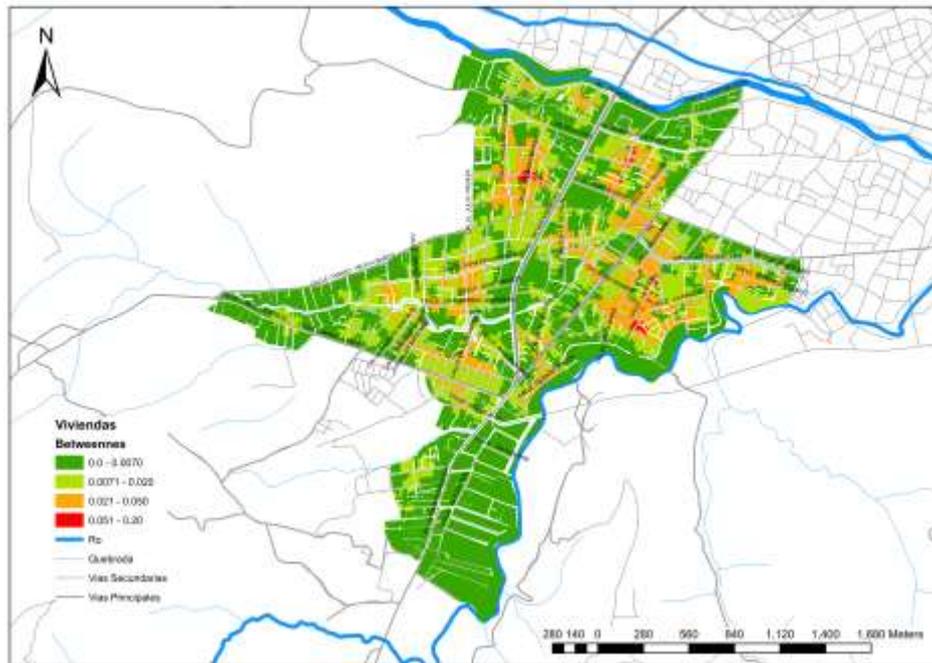
Betweenness



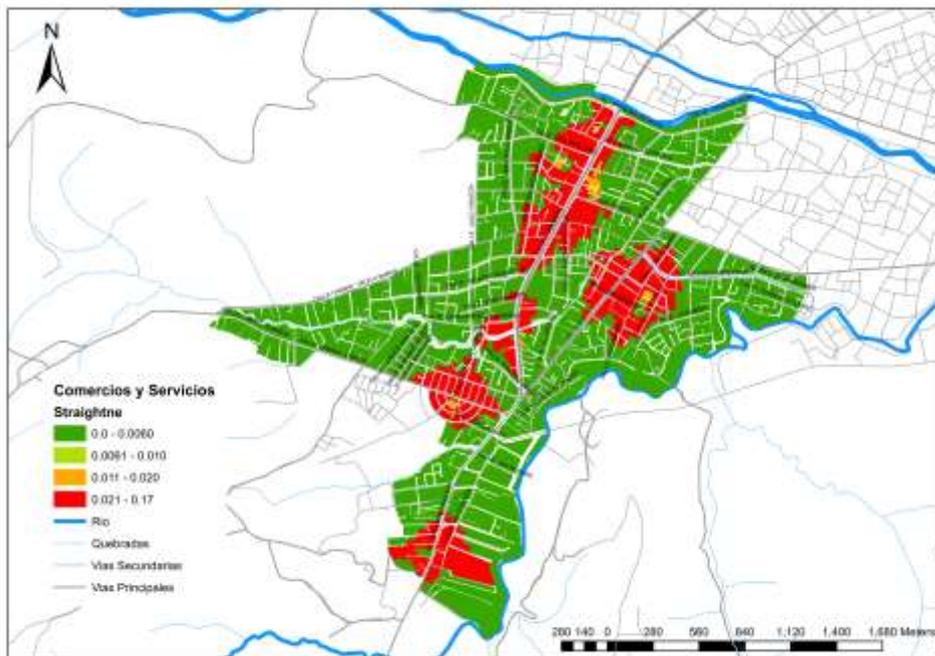
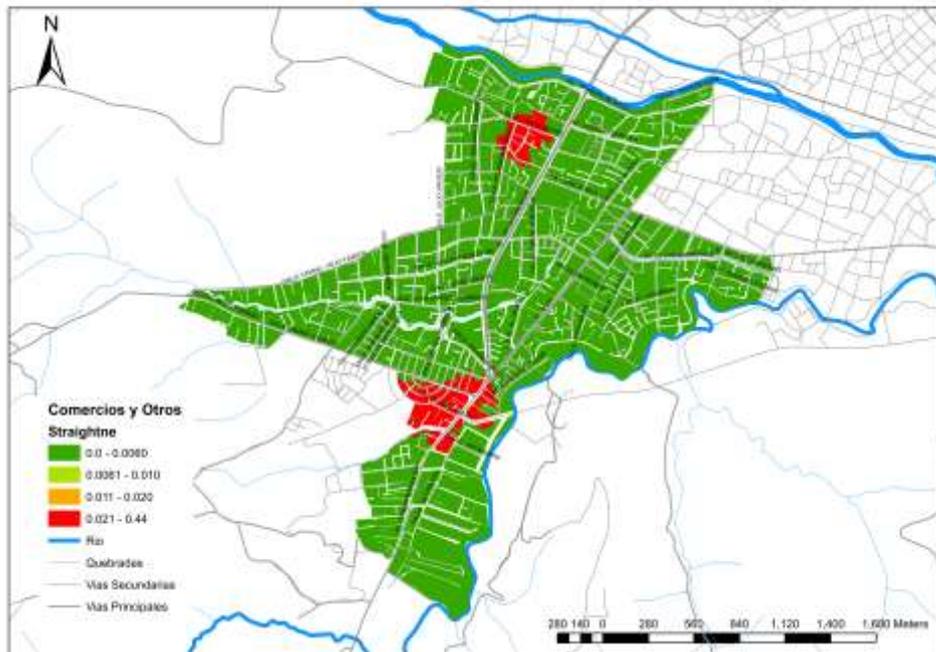


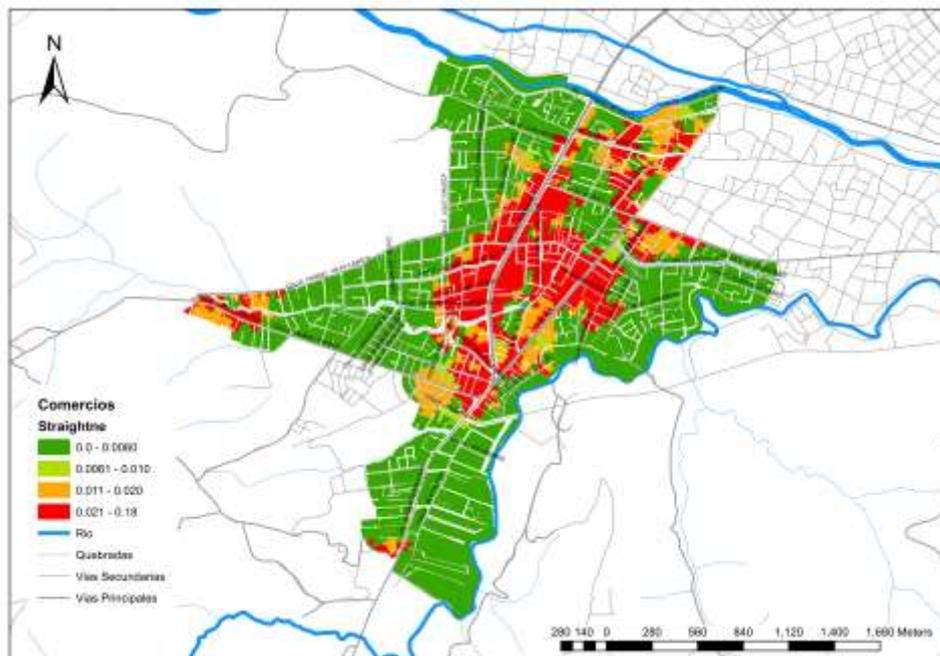
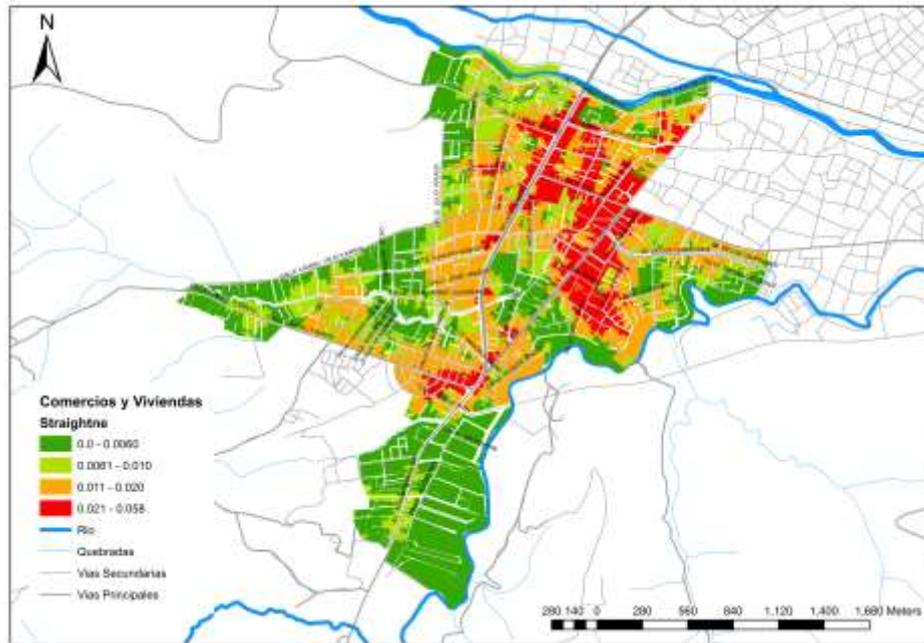


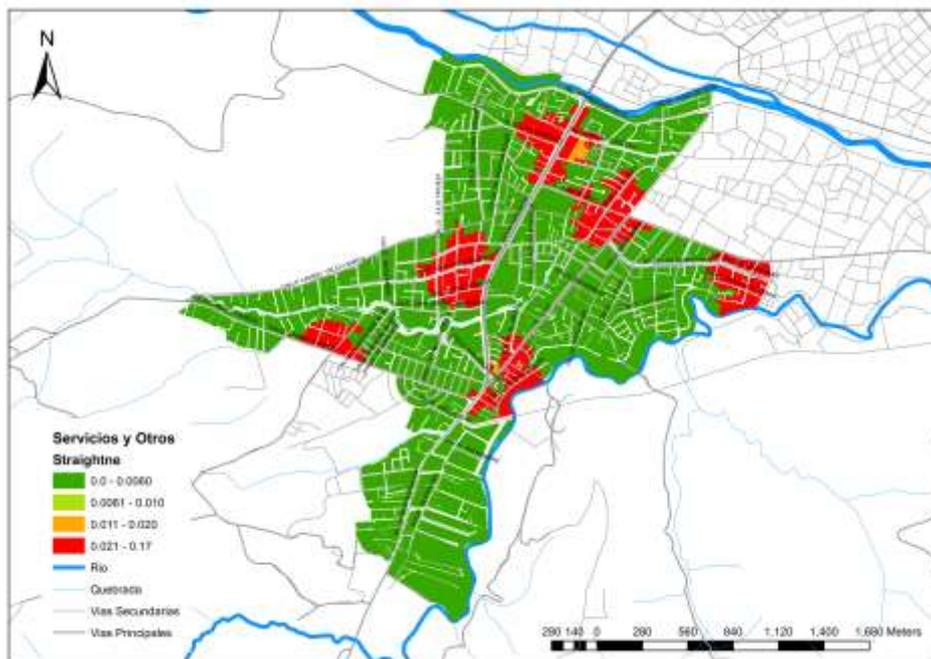
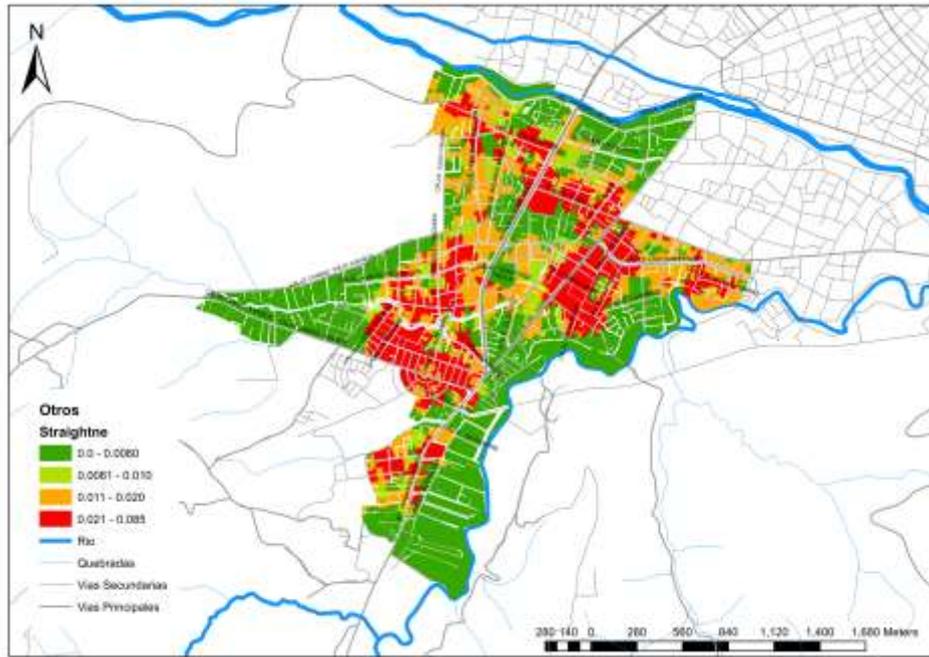


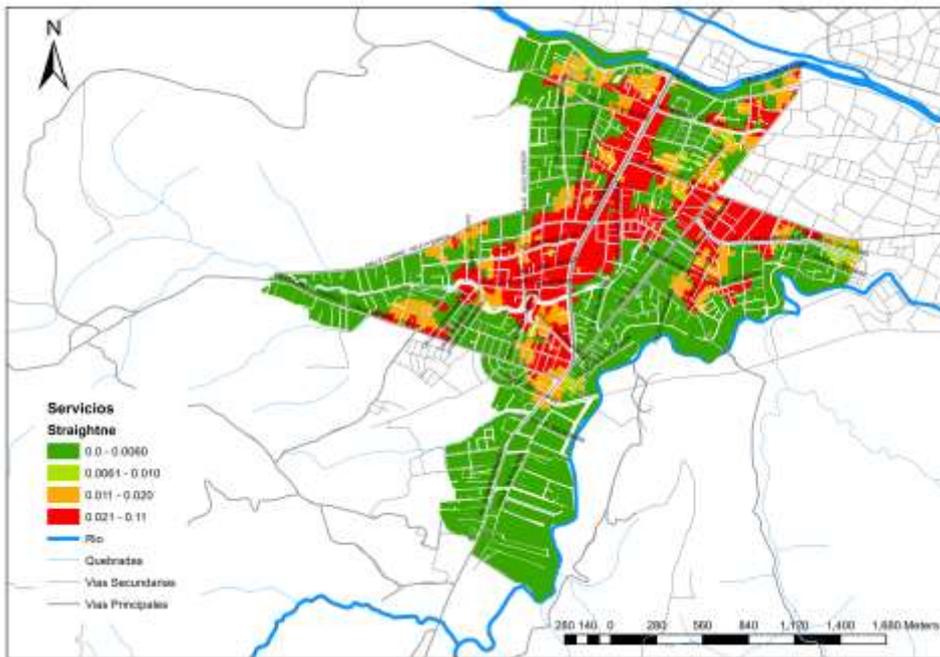
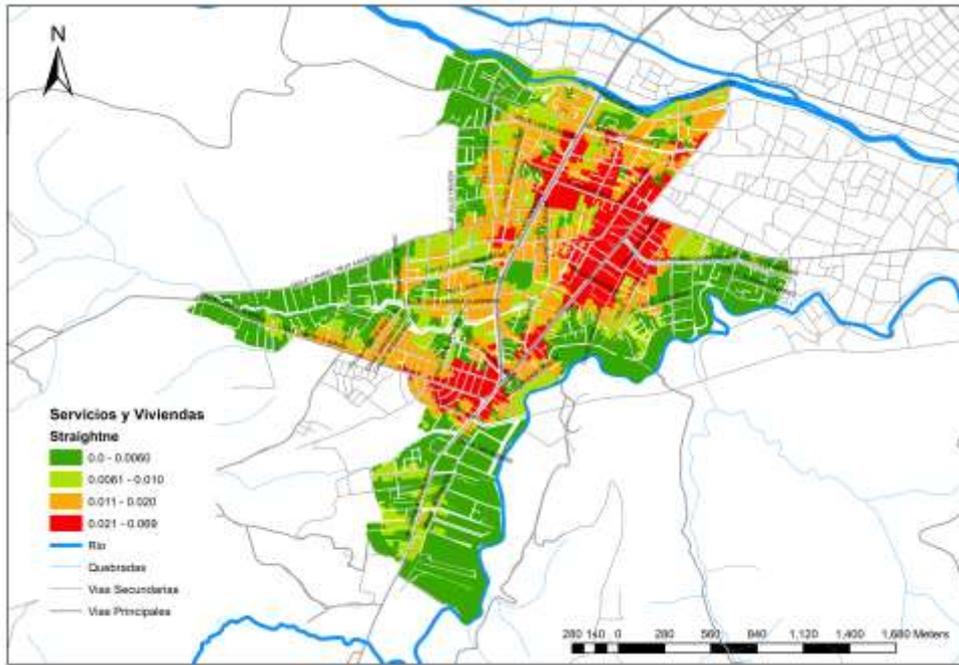


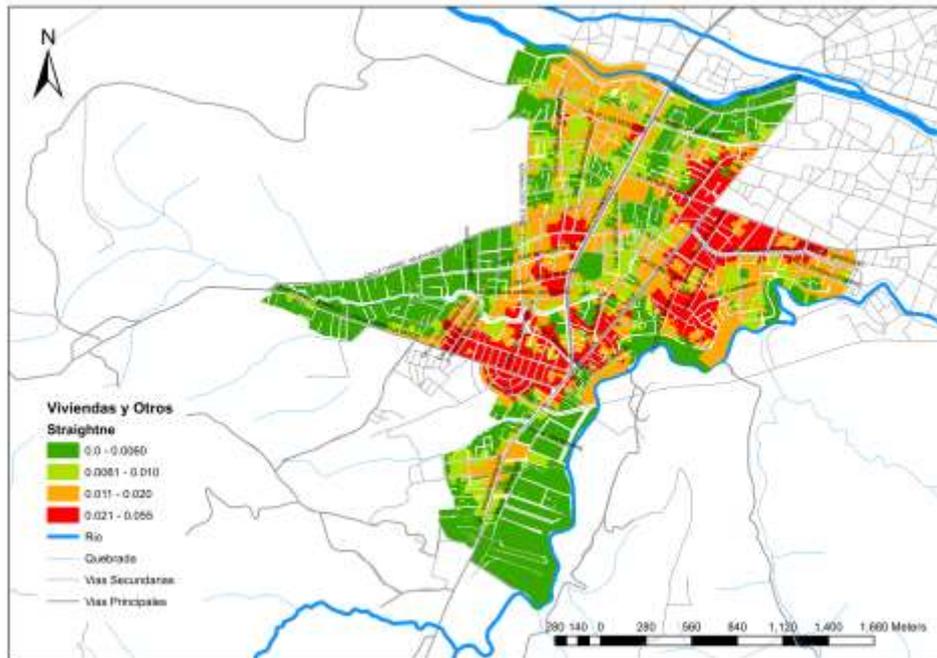
Straightness





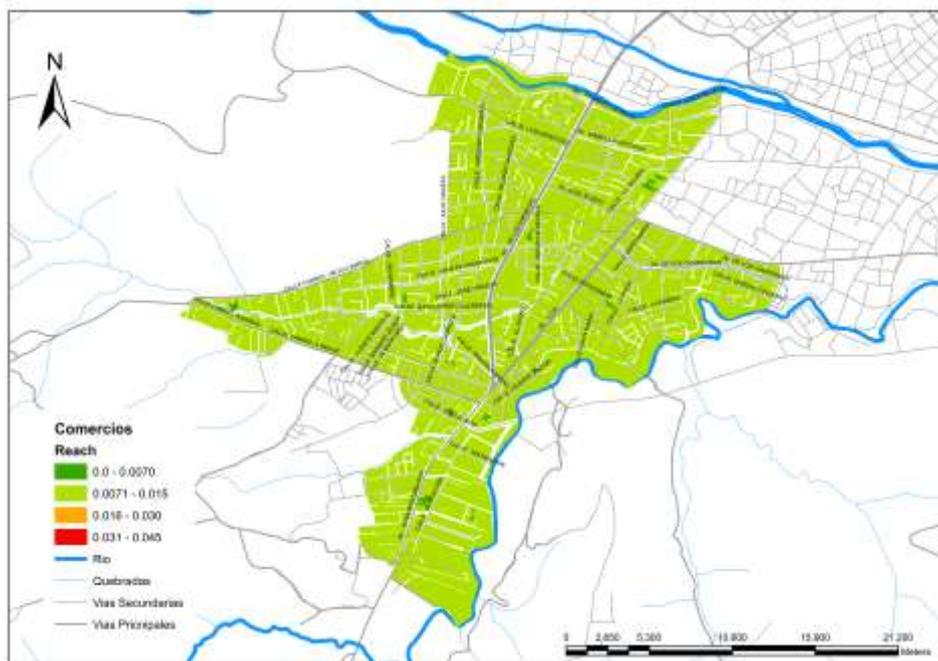


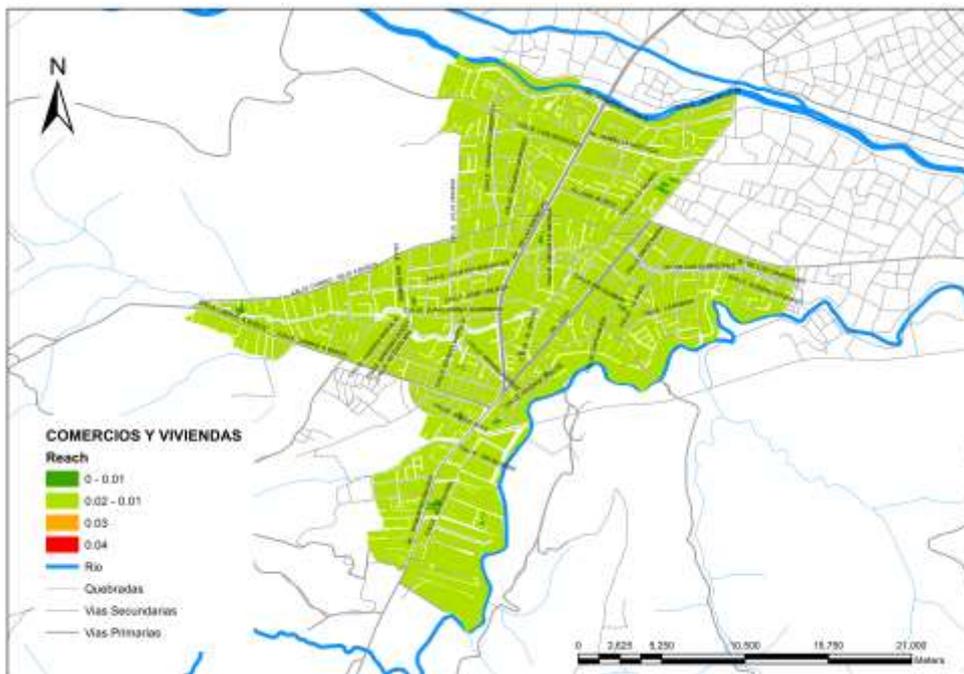
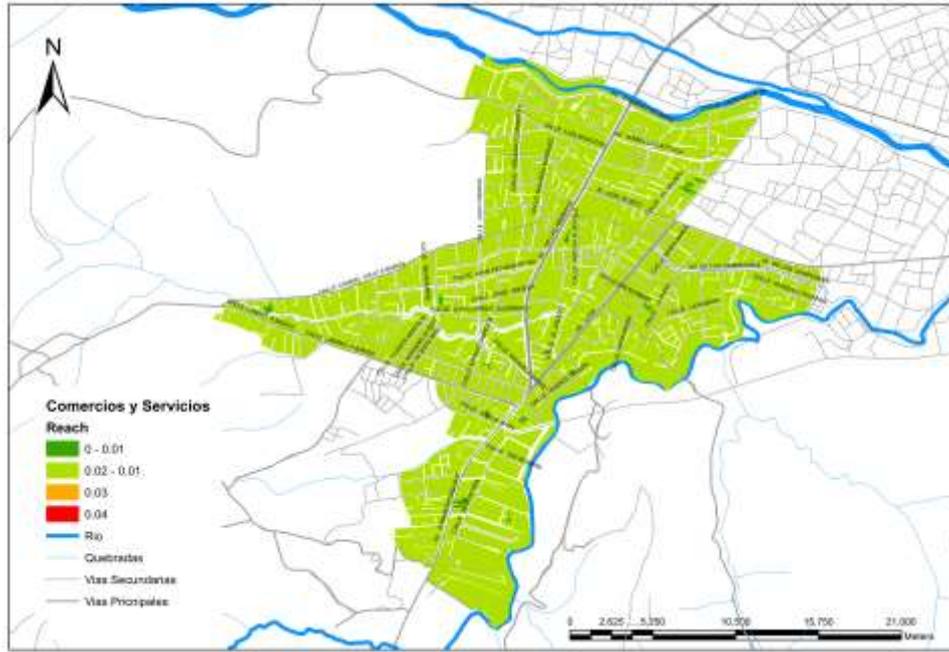


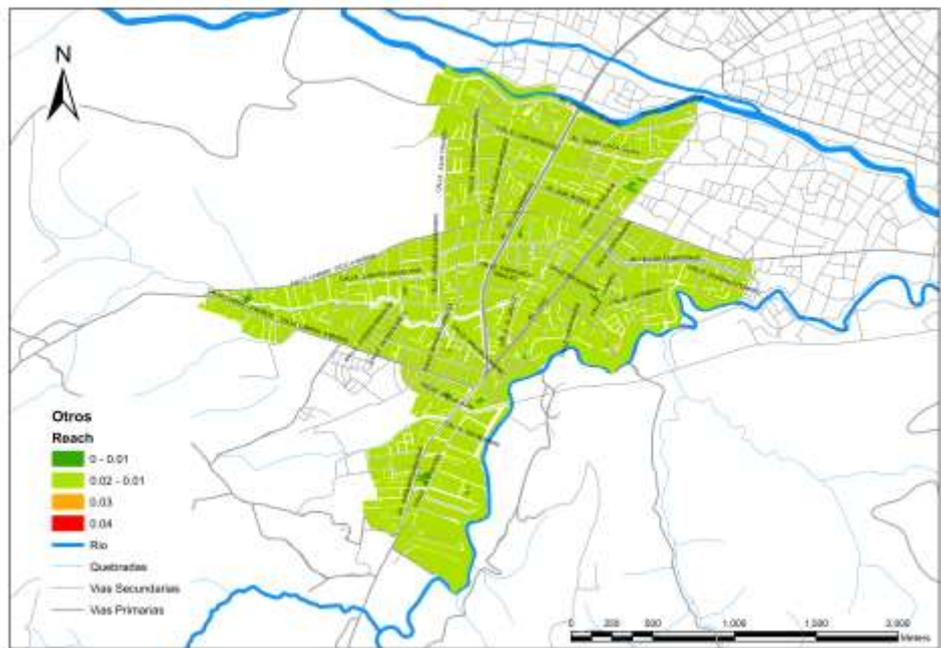
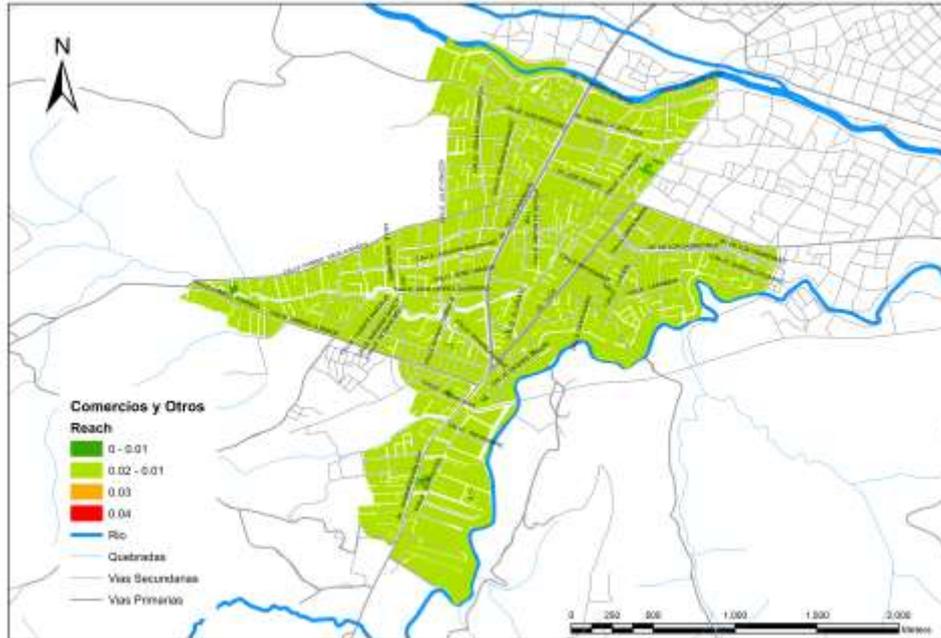


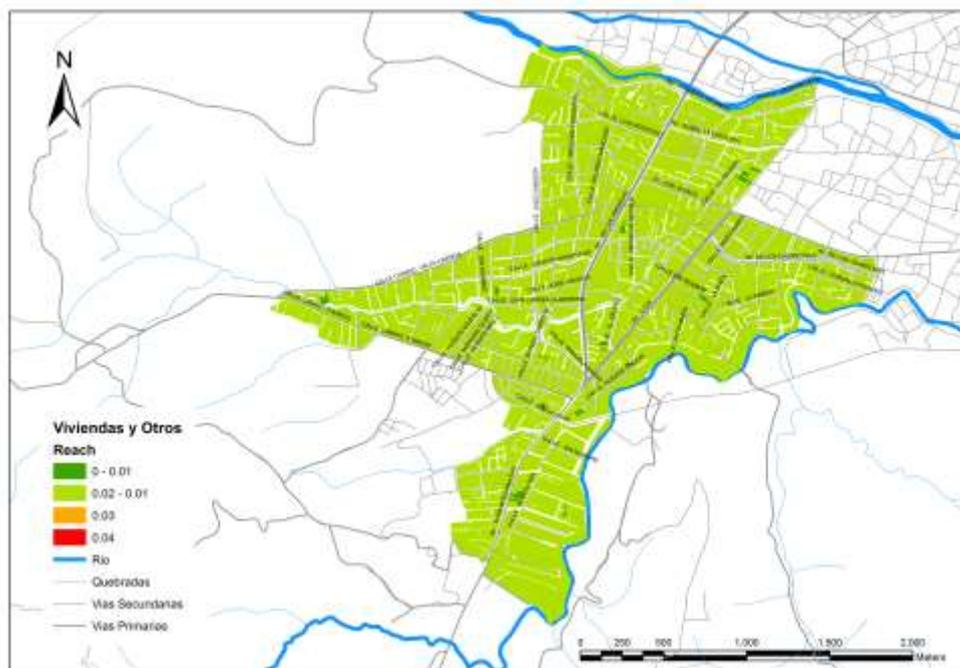
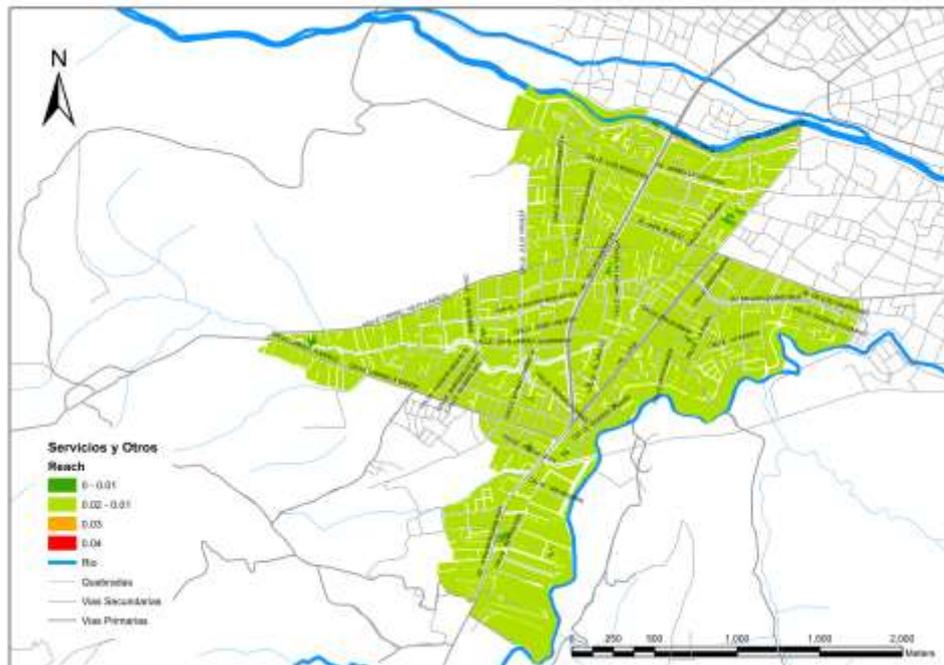
Gráficos de Centralidad para los diferentes usos de suelo con un radio infinito de búsqueda

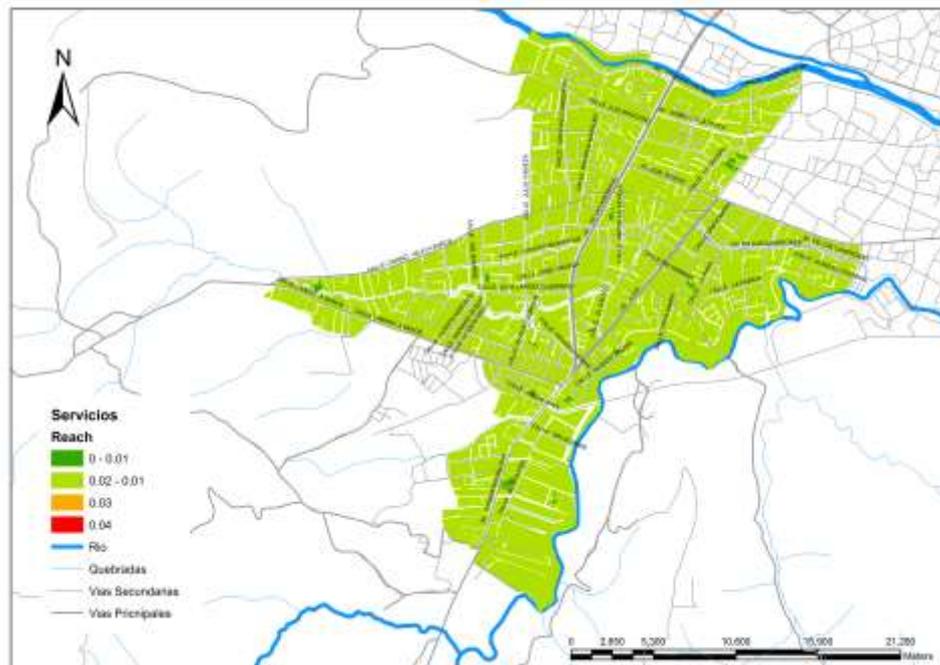
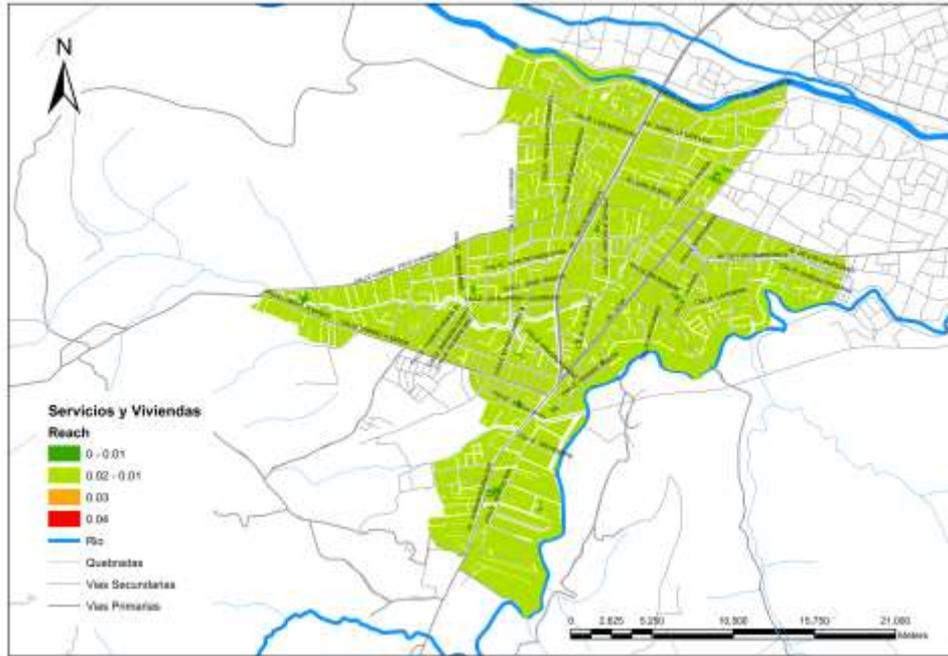
Reach

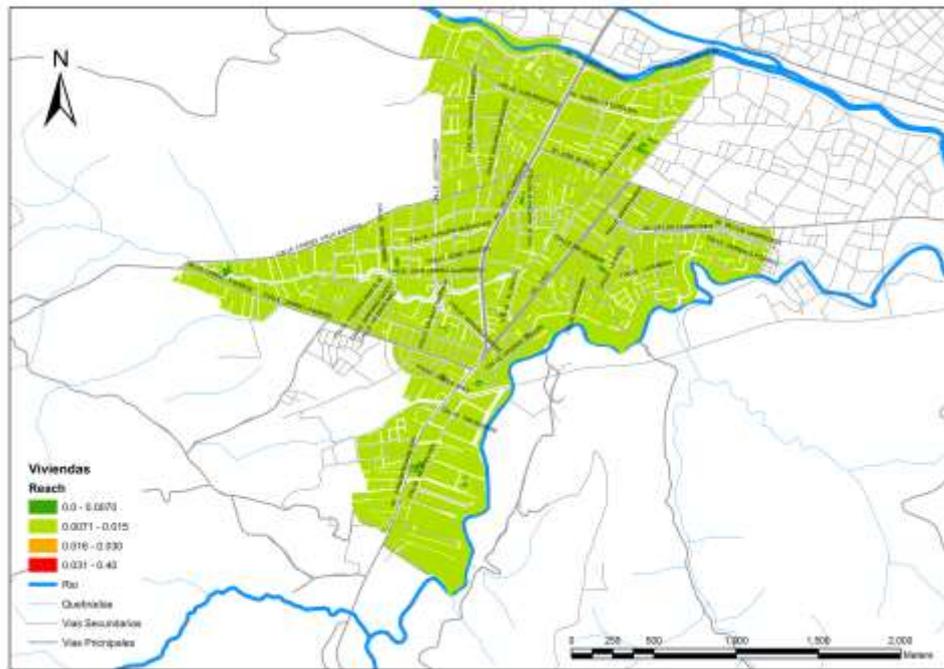




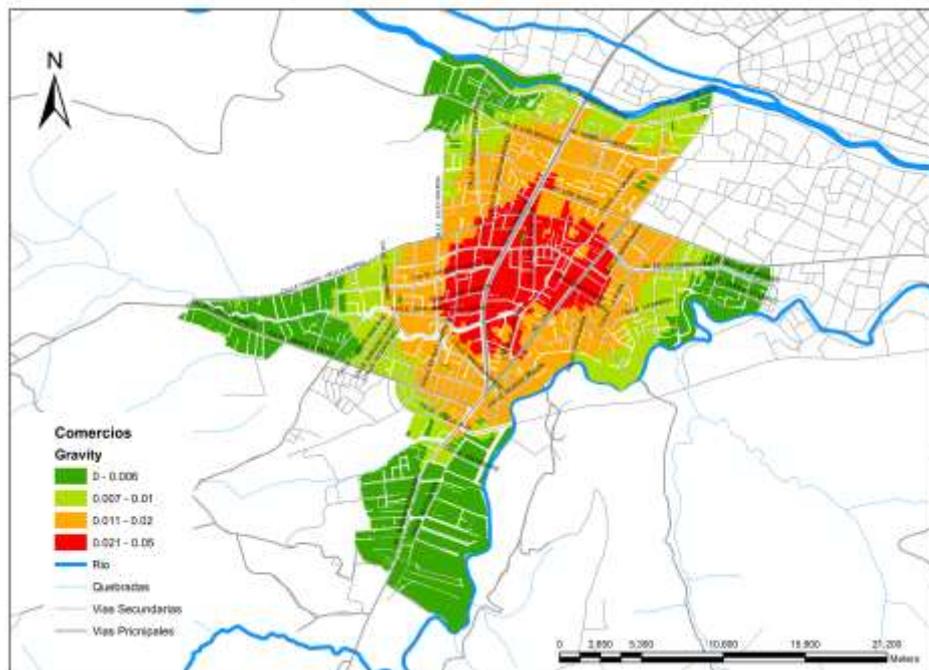


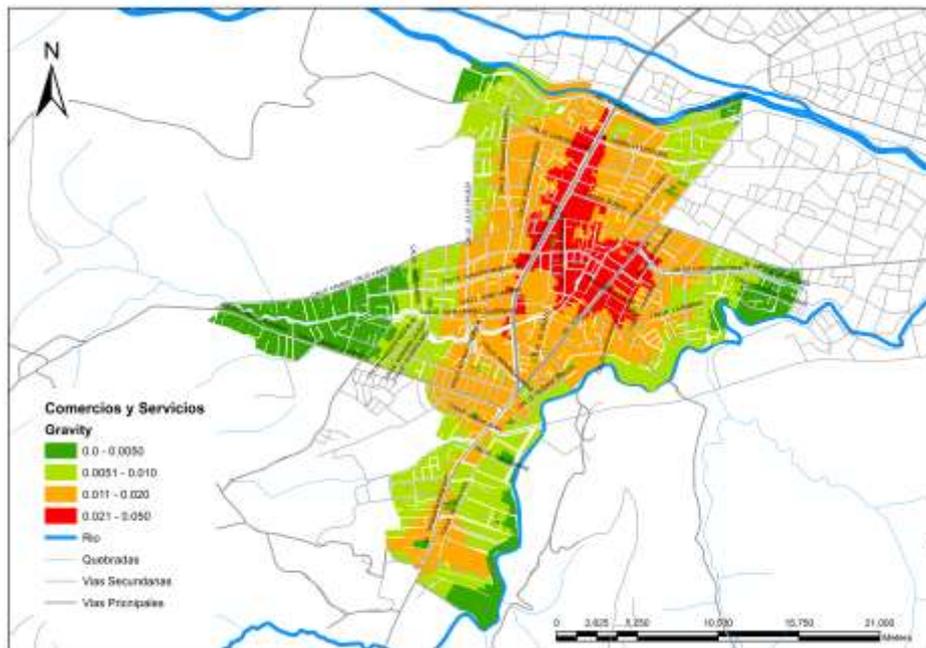
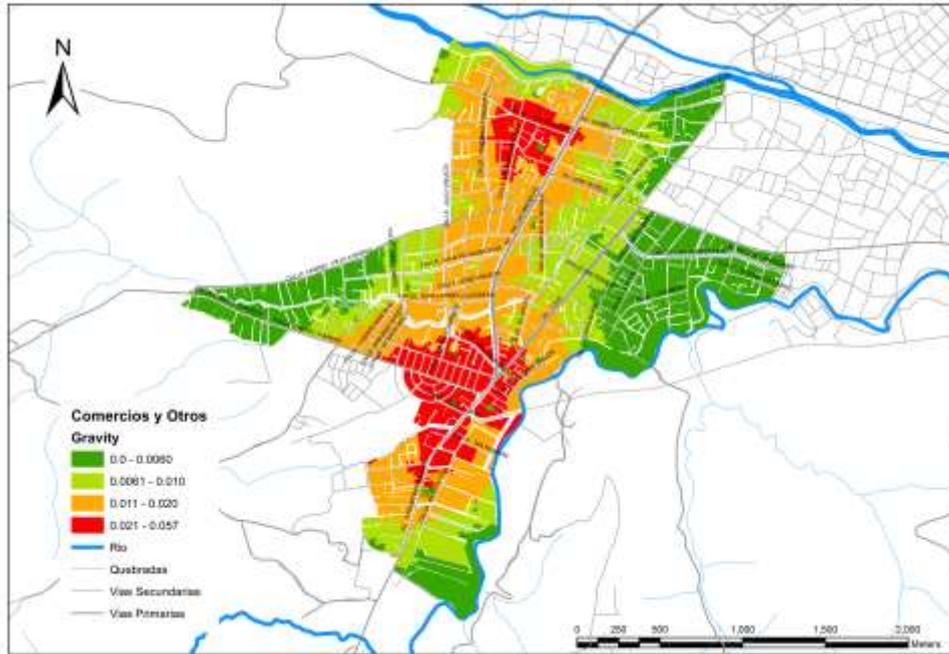


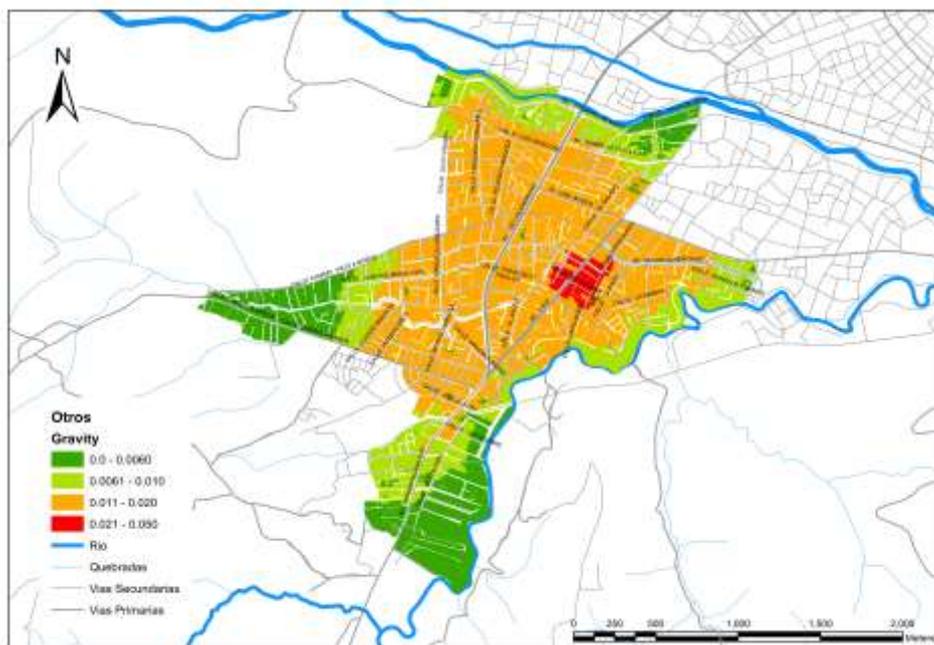
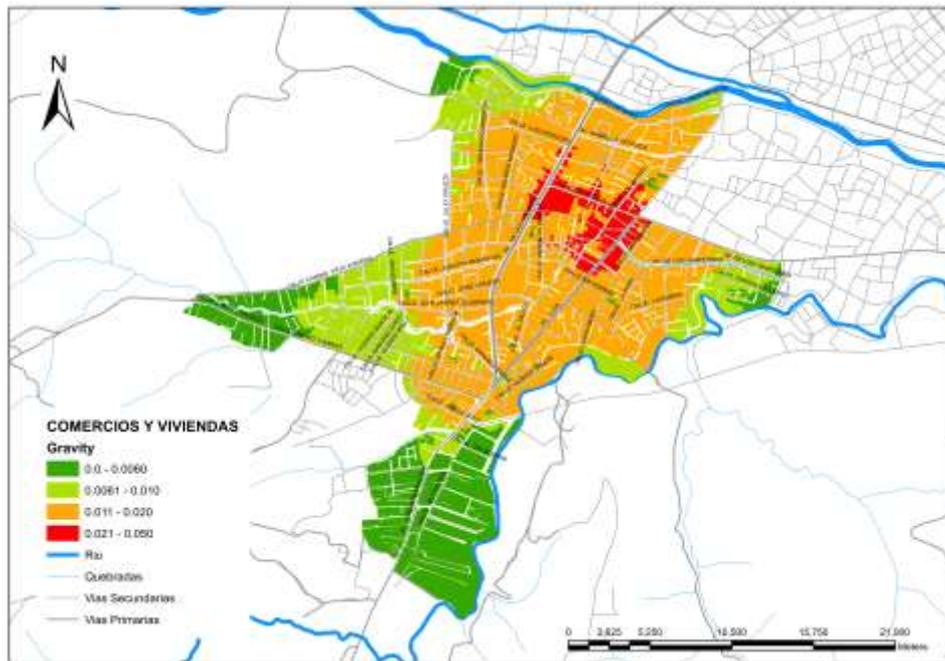


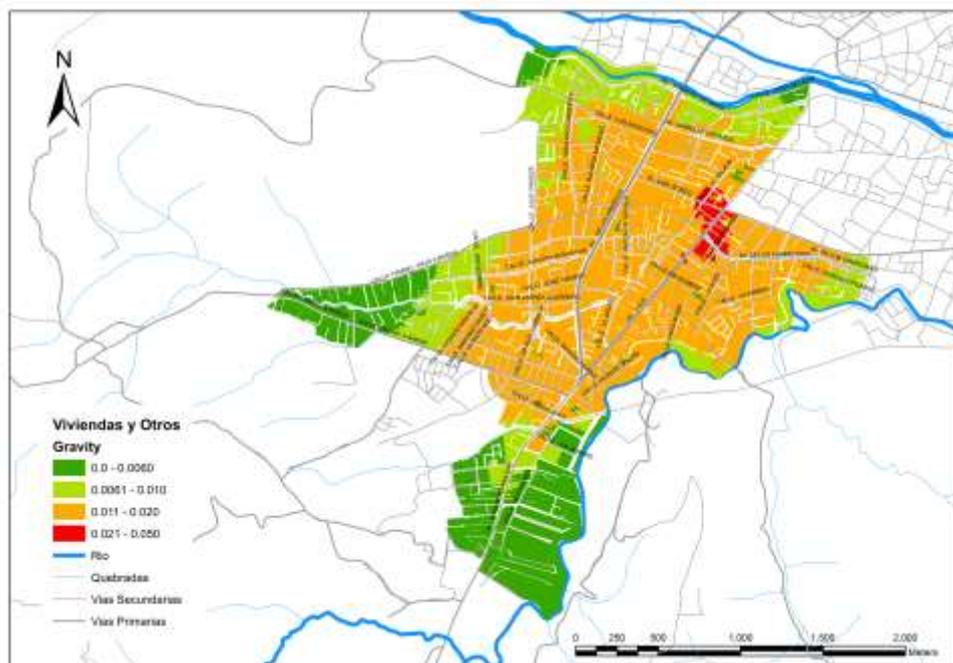
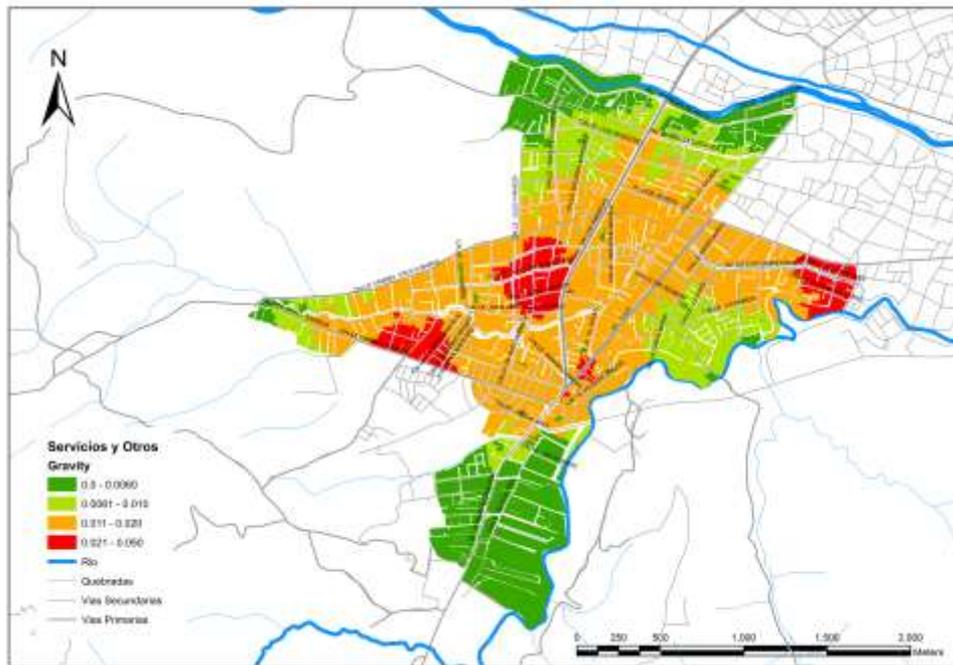


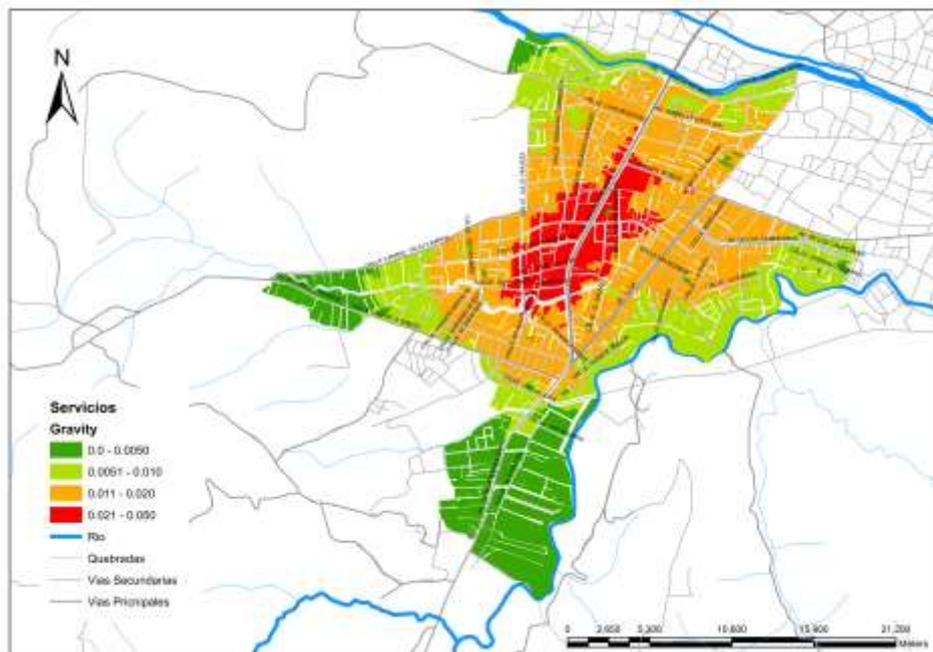
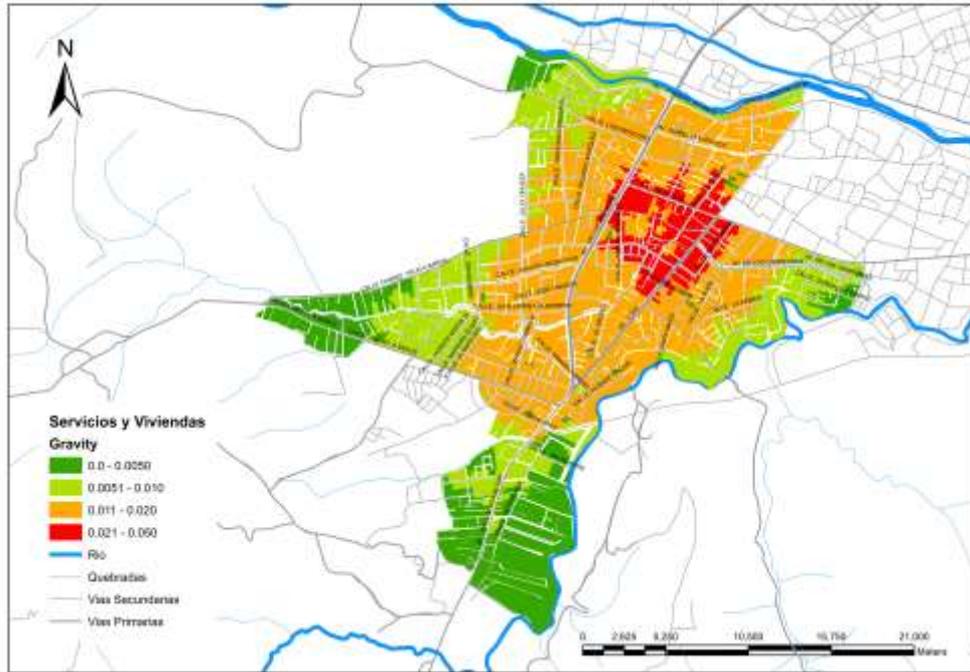
Gravity

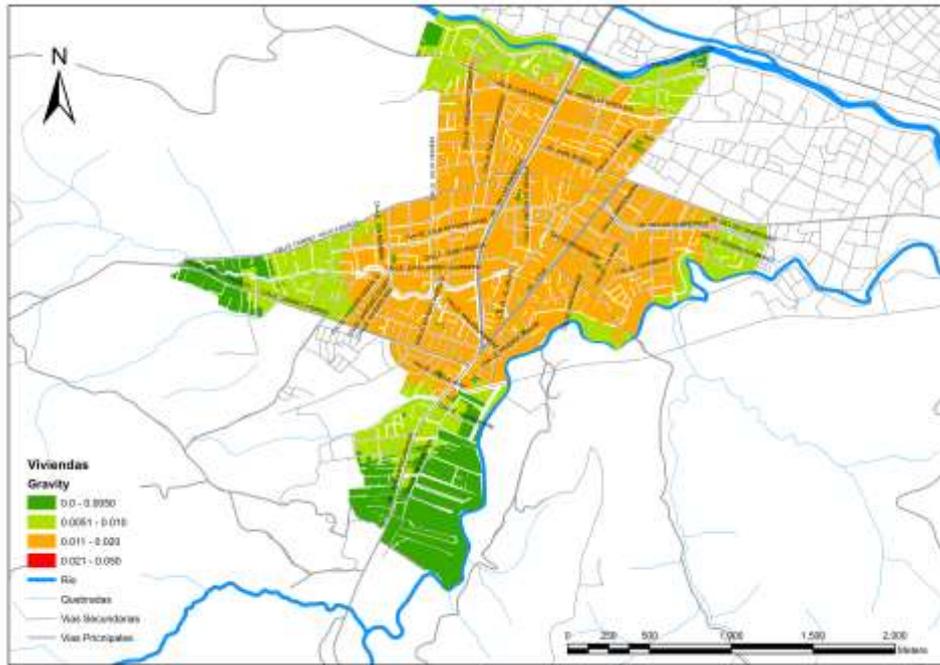




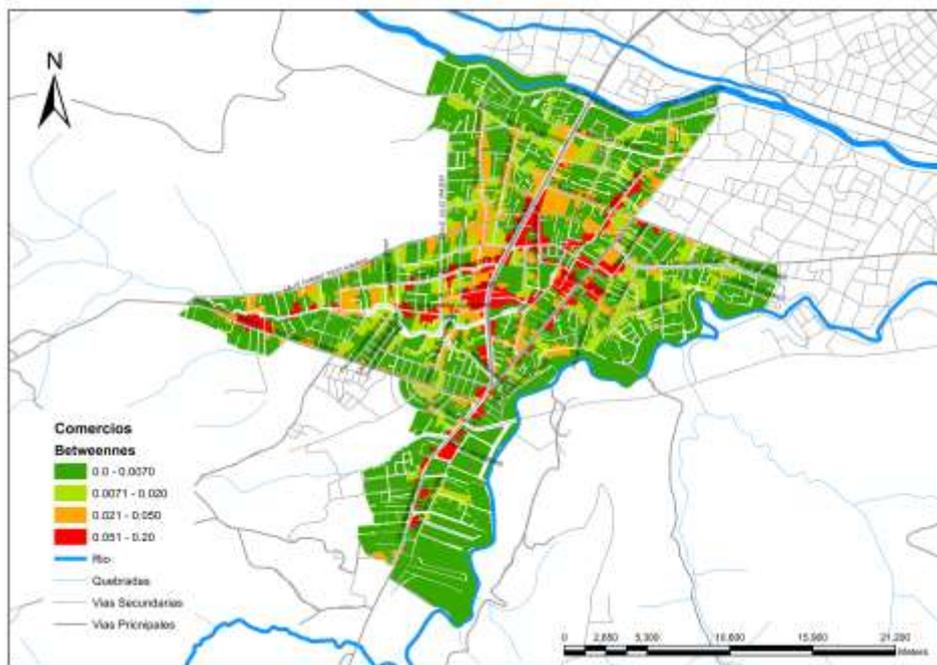


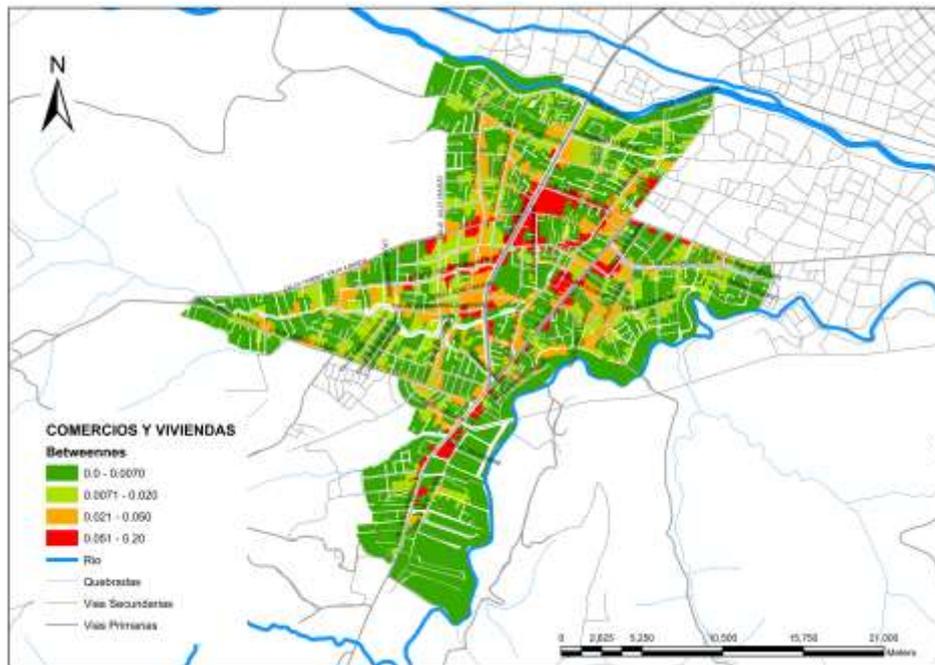
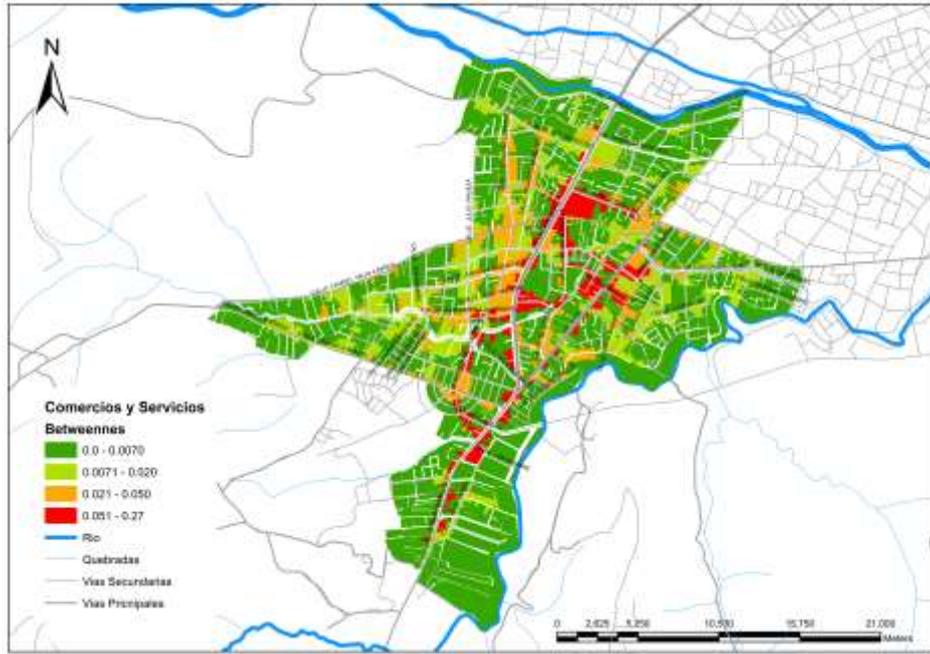


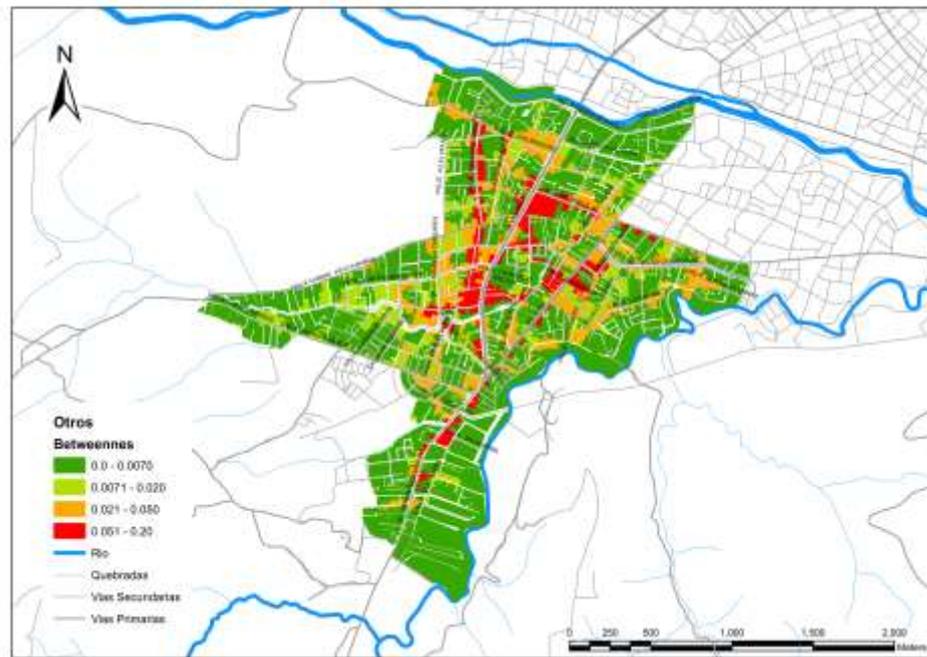
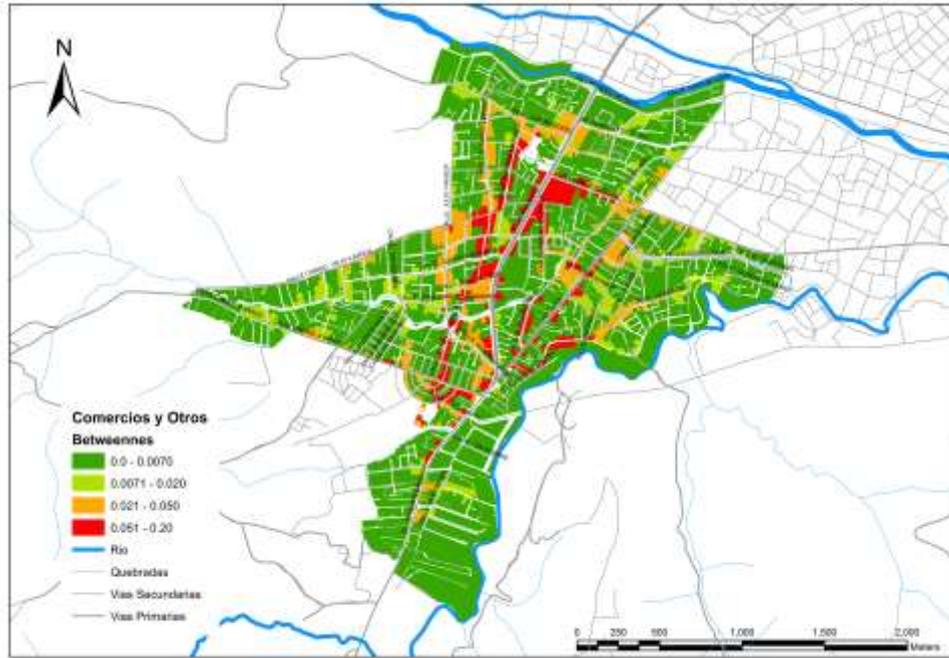


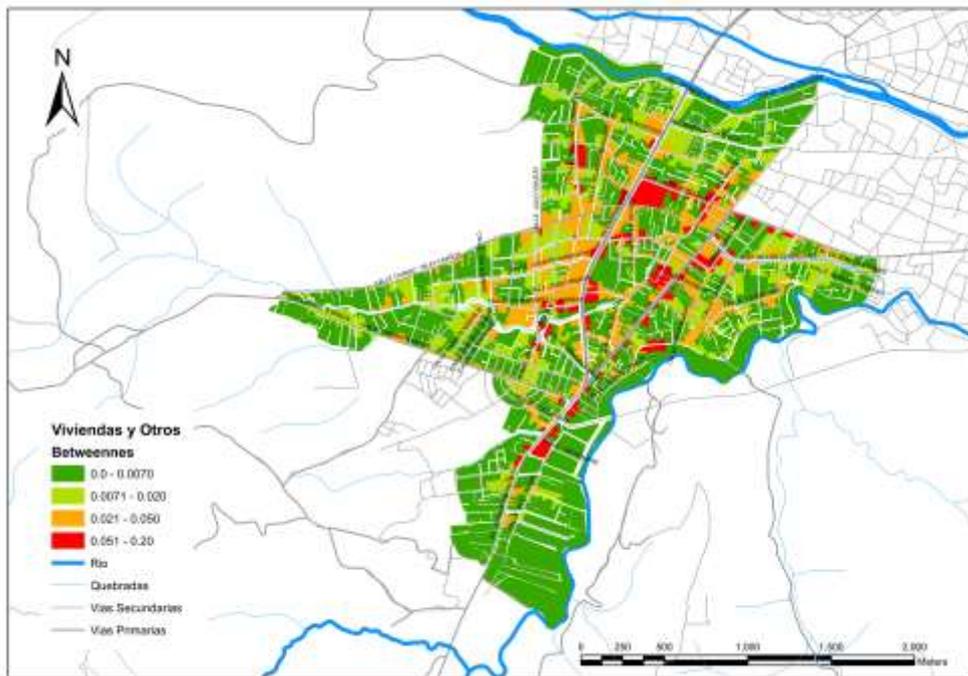
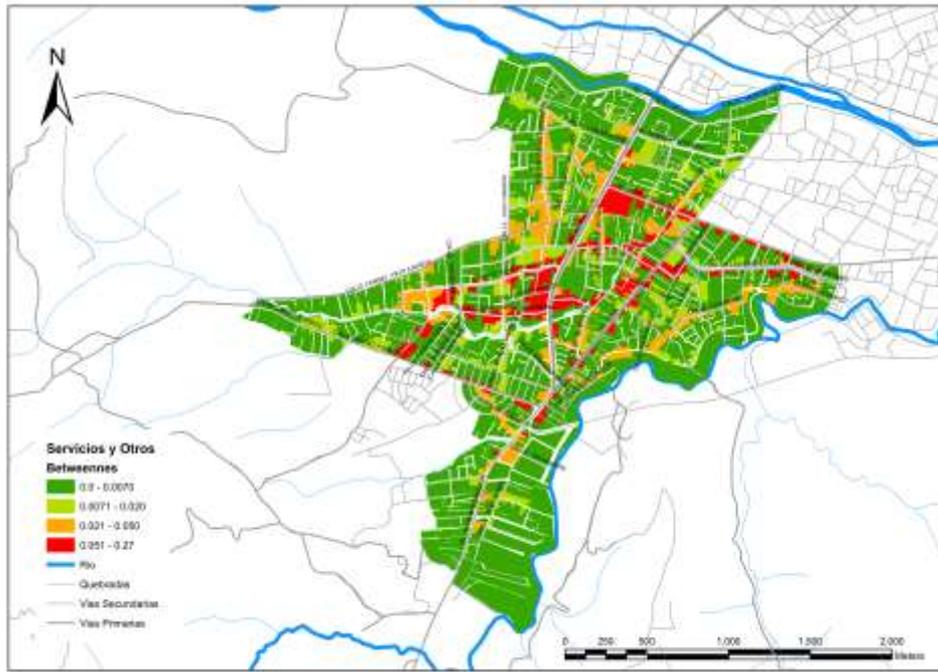


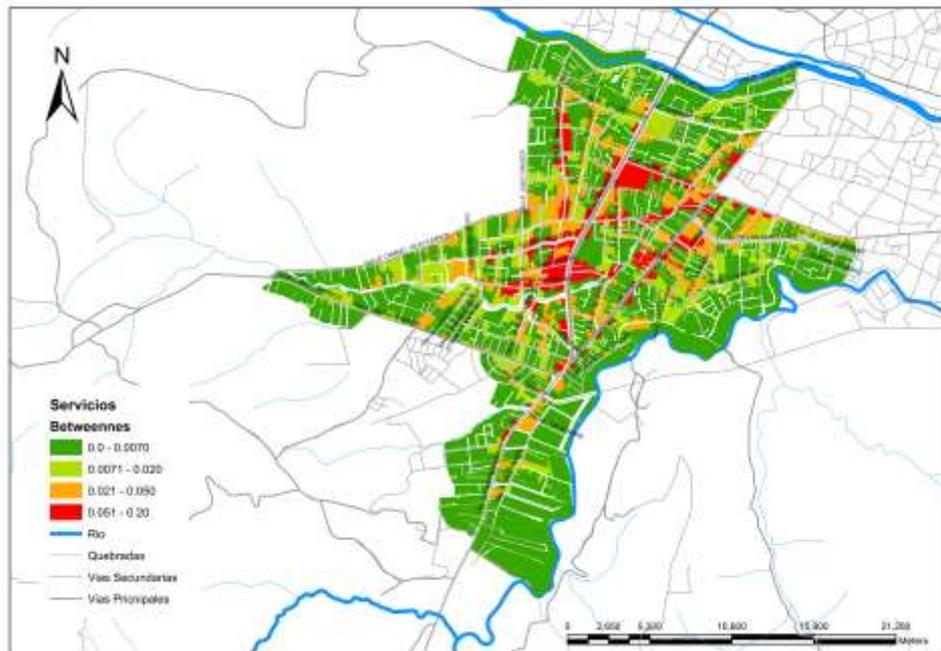
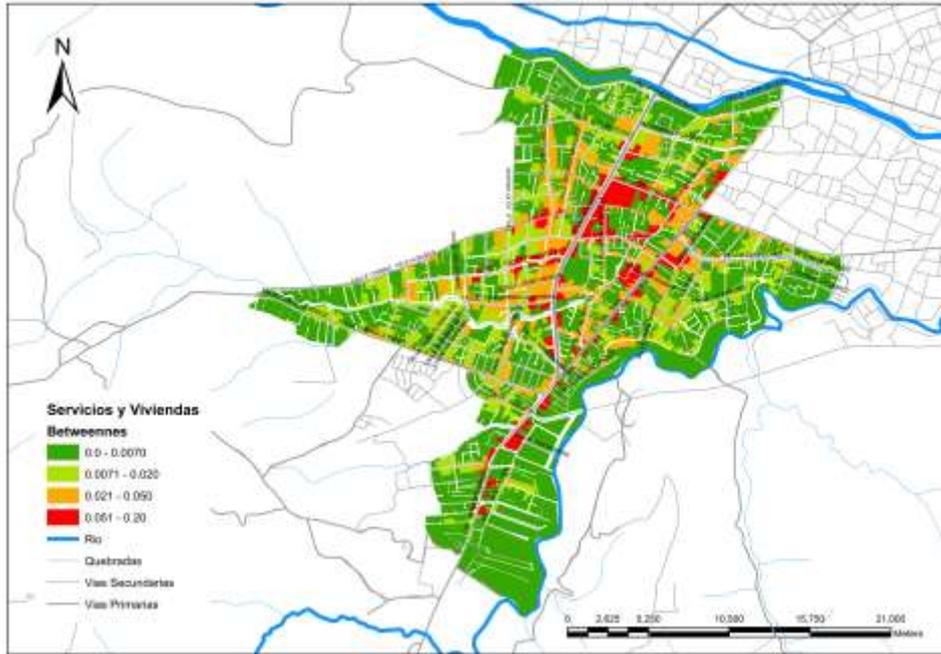
Betweenness

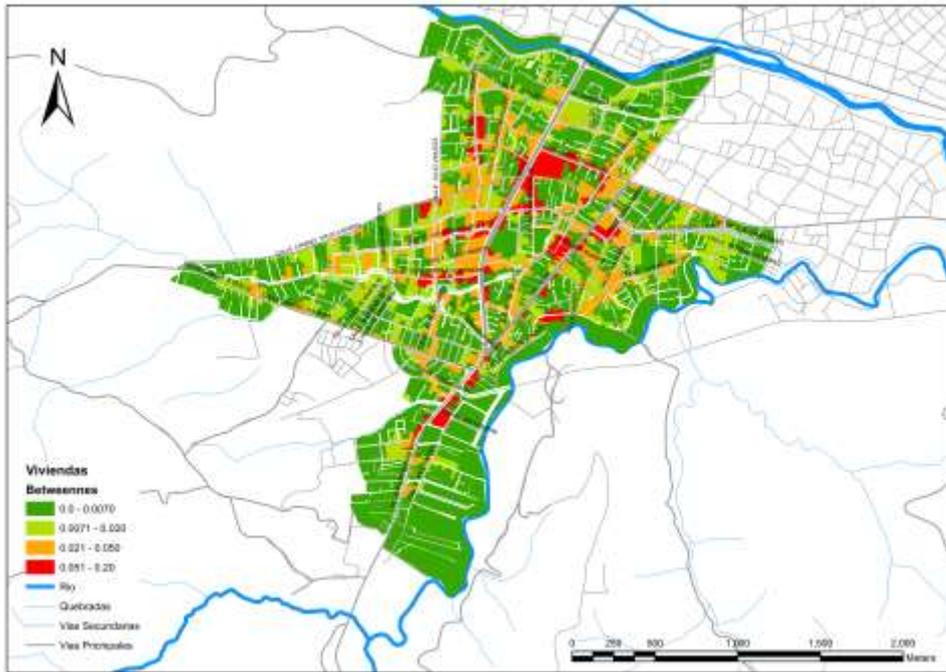




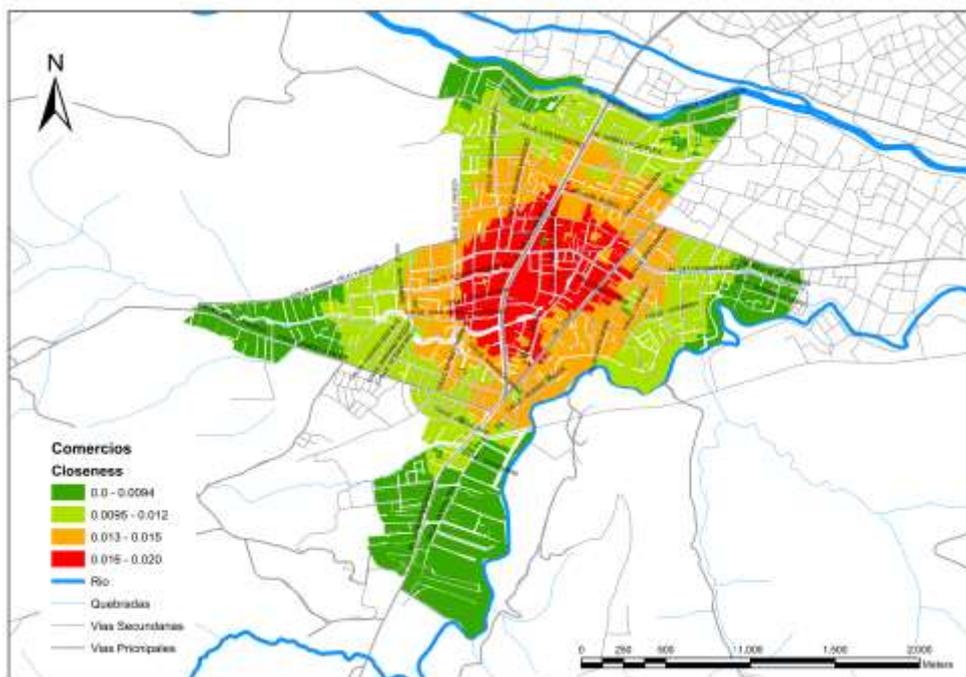


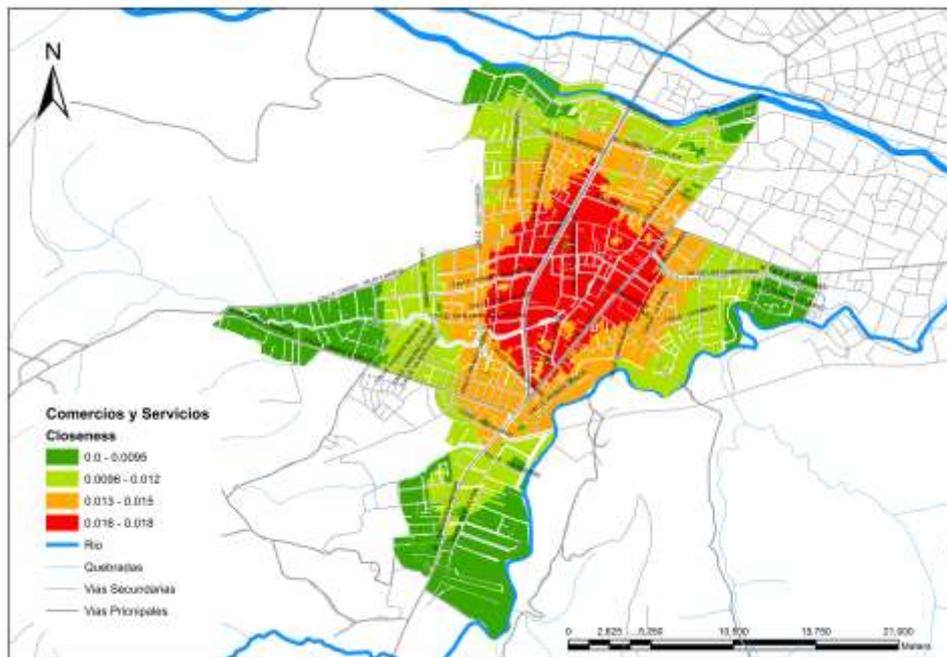
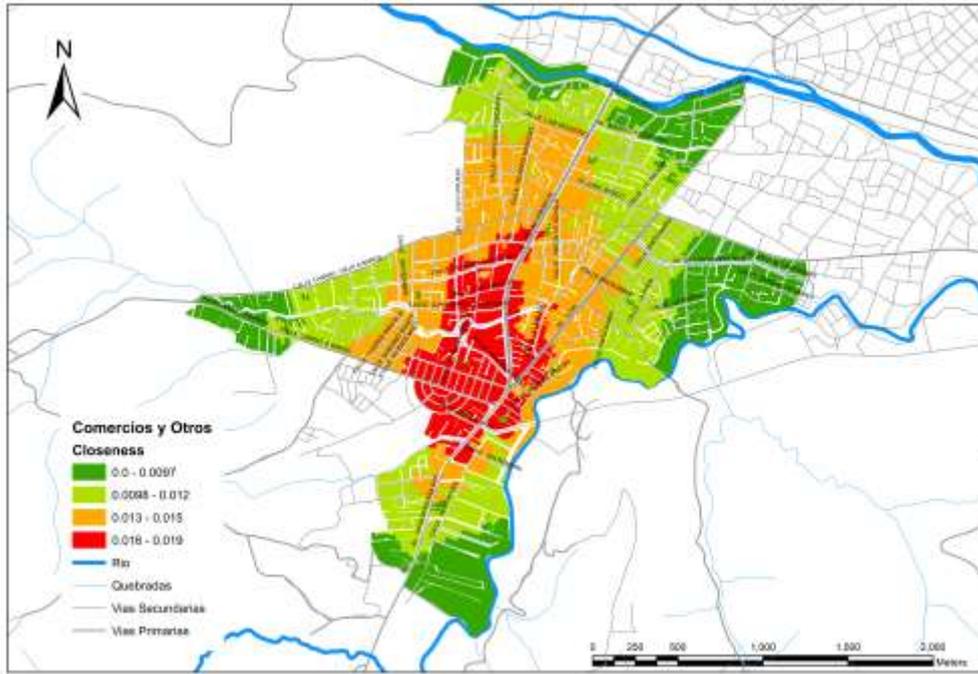


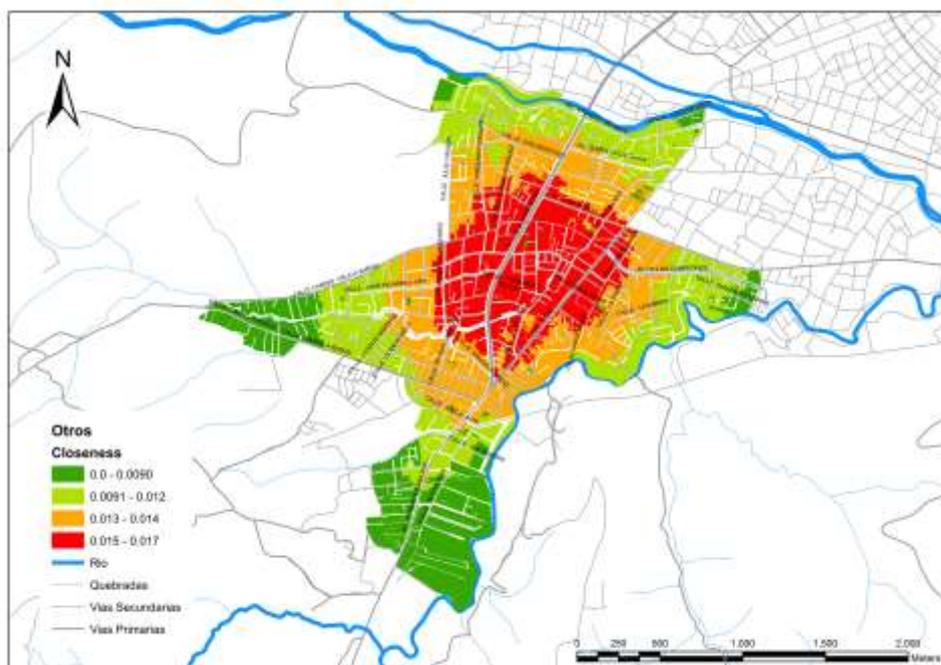
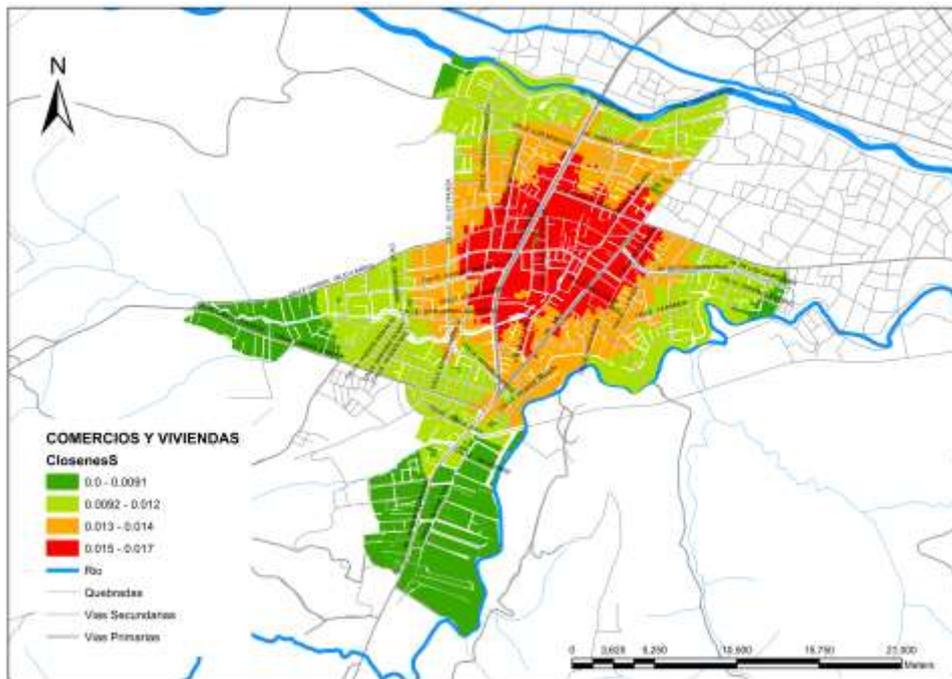


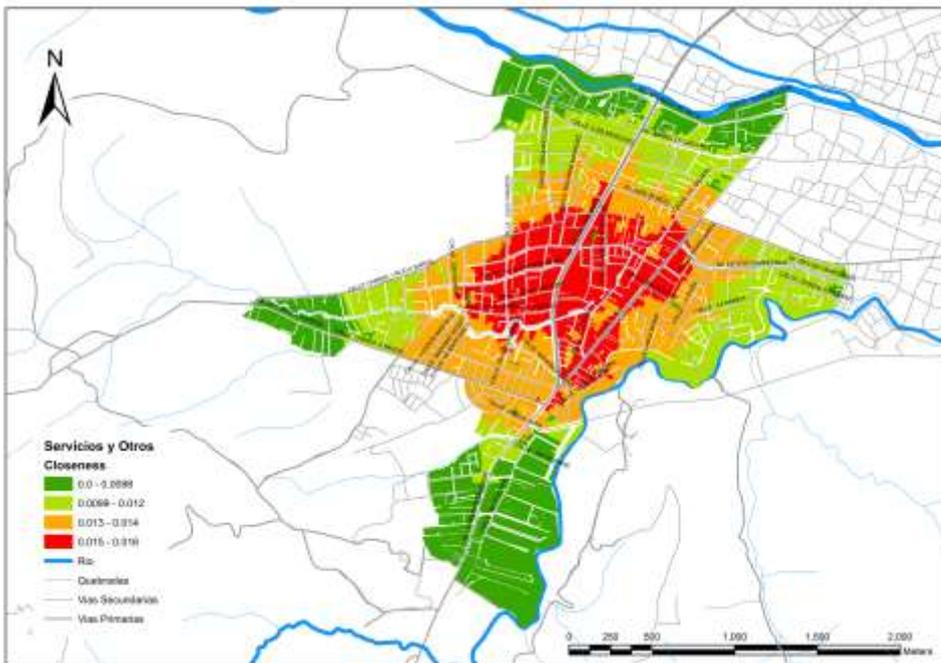
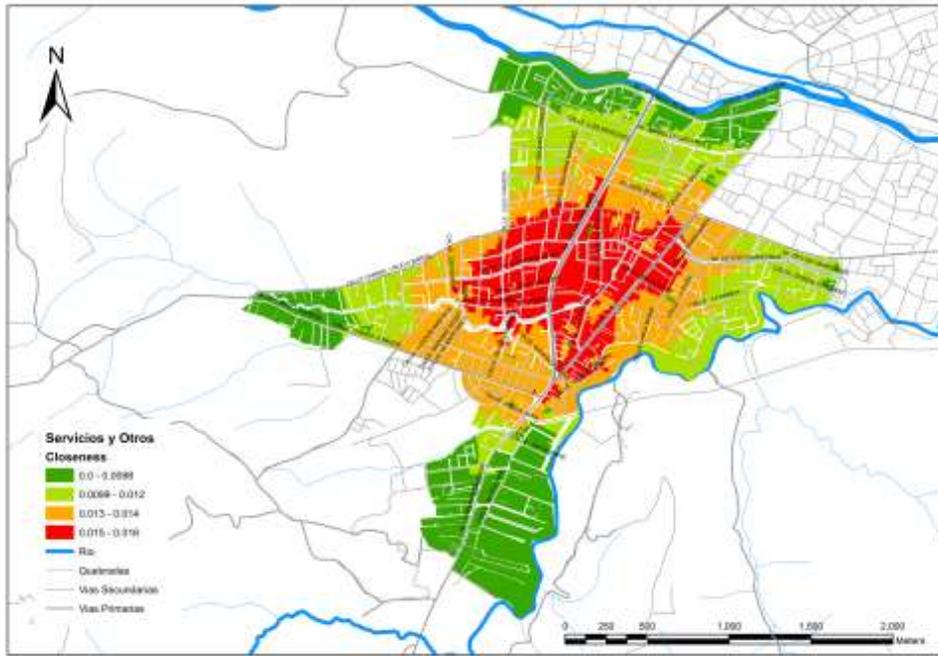


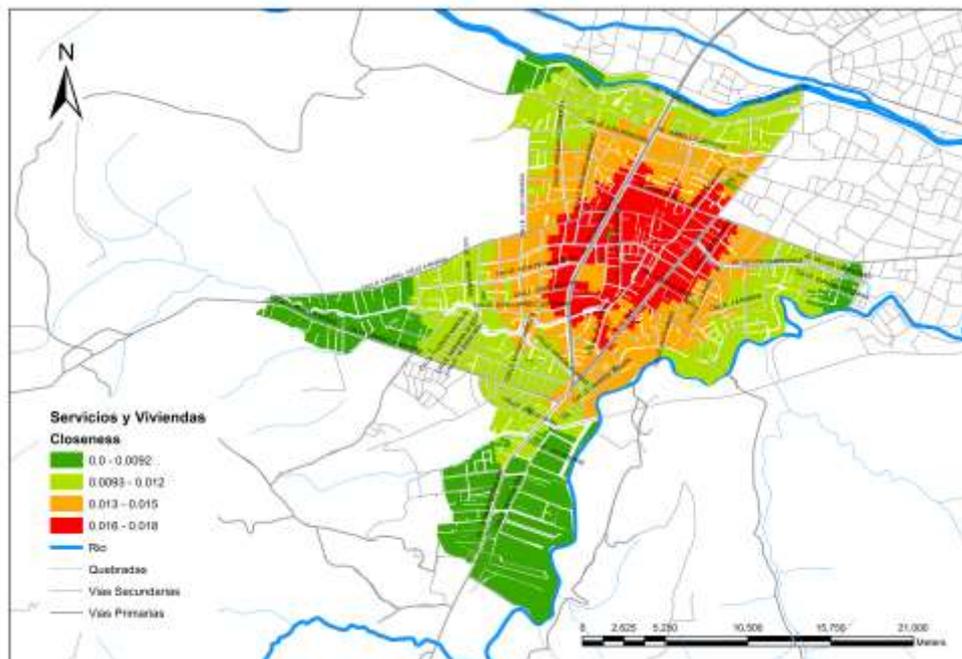
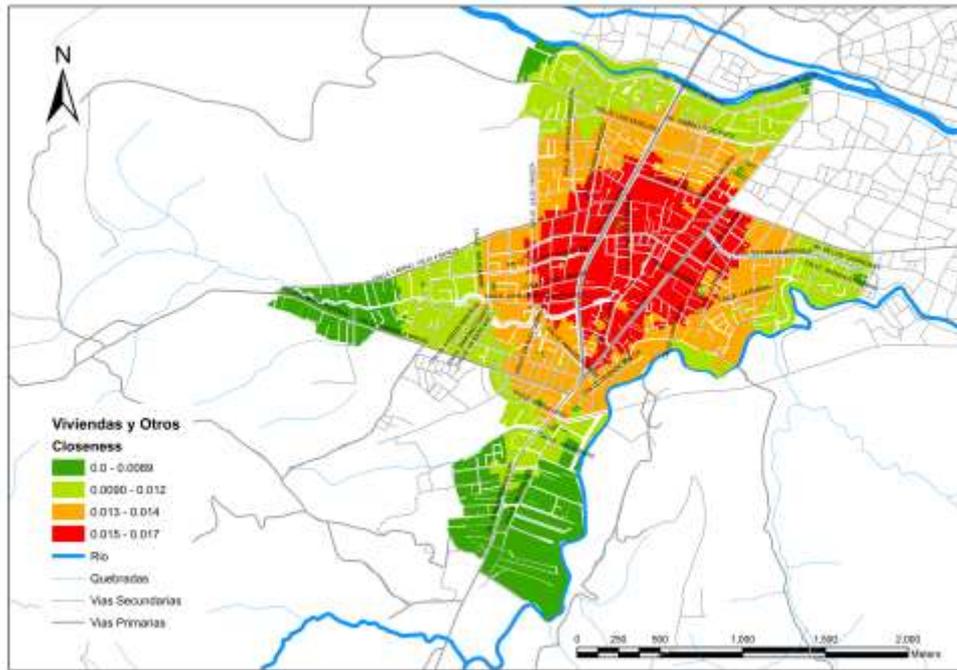
Clossenness

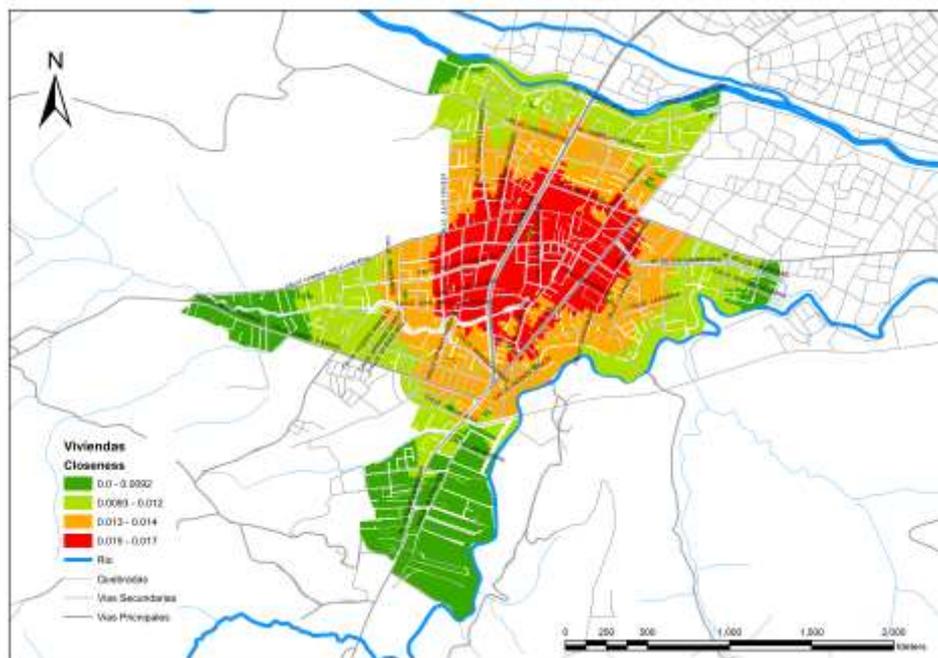
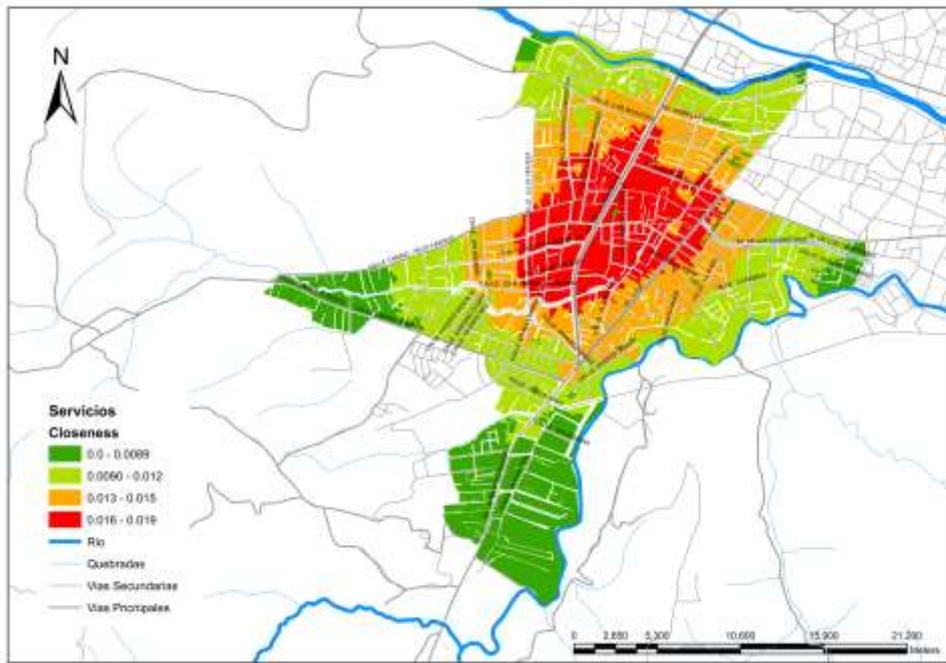




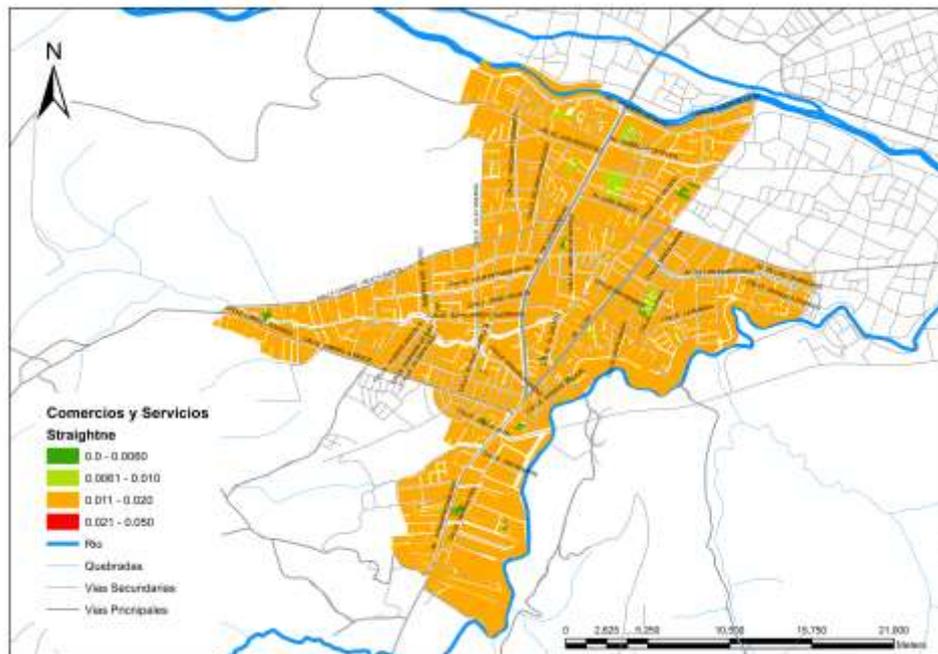
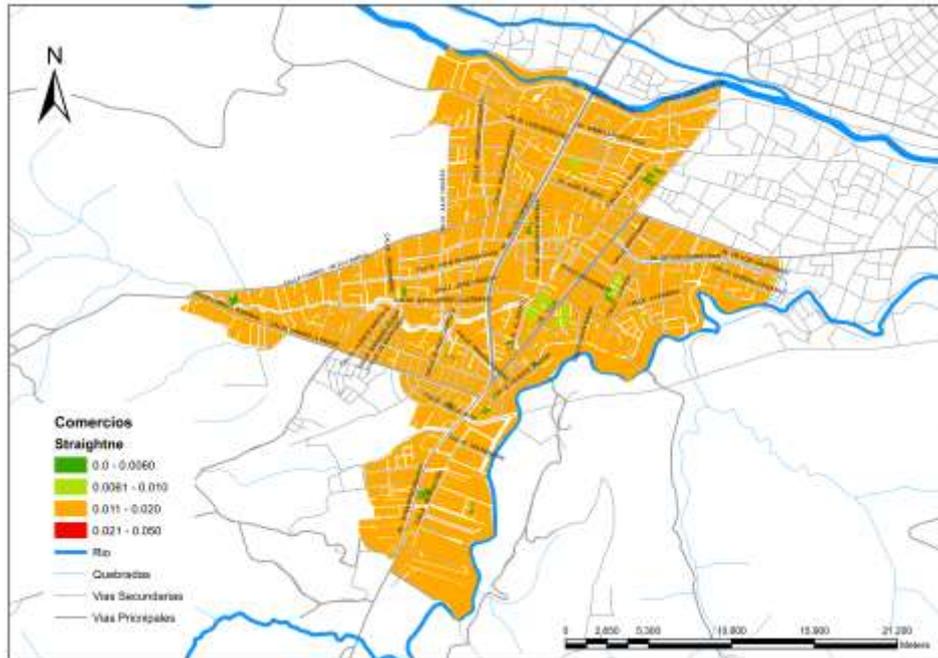


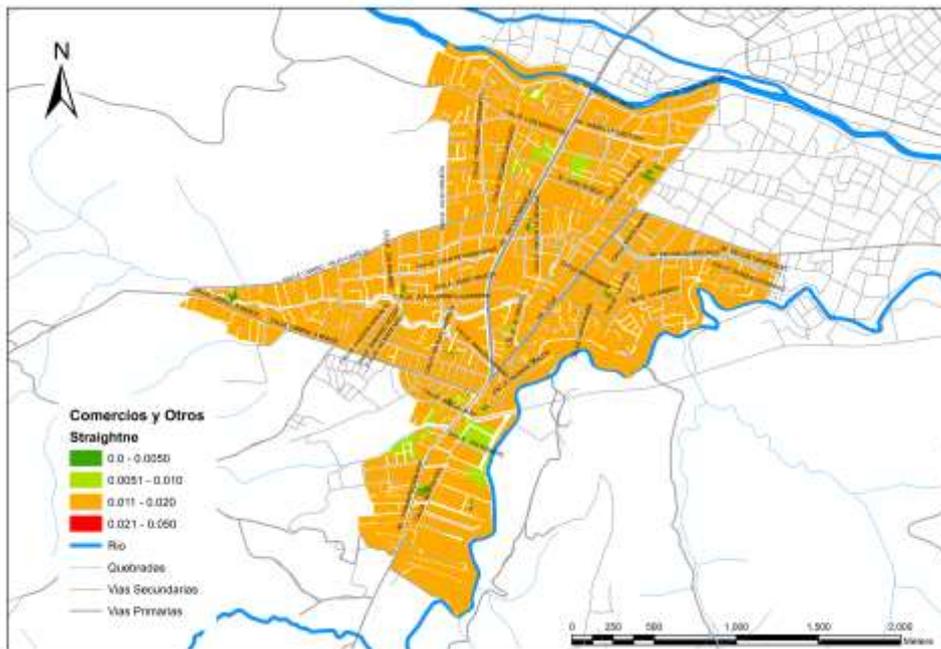
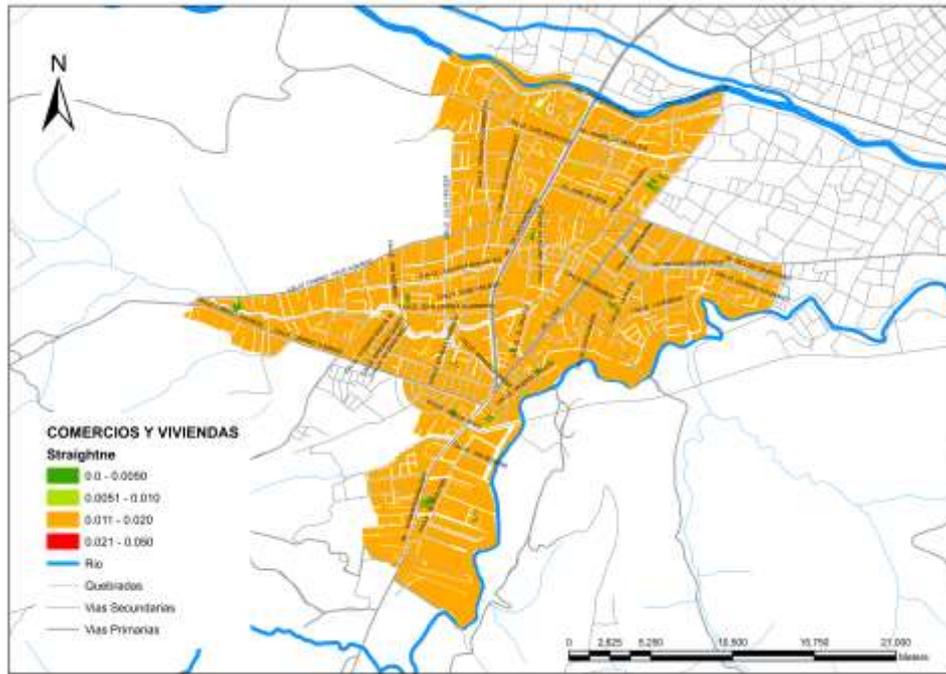


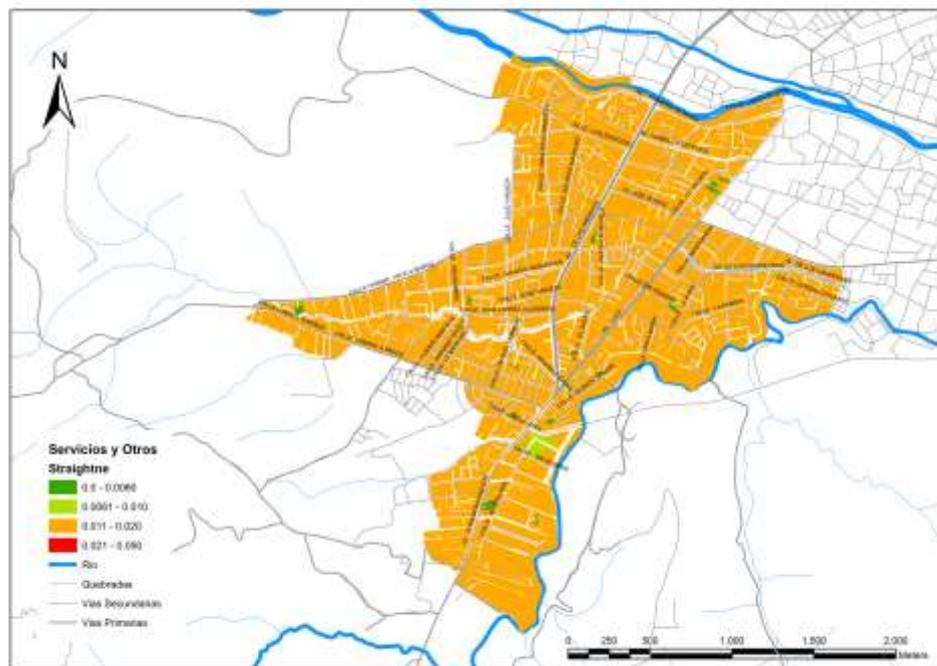
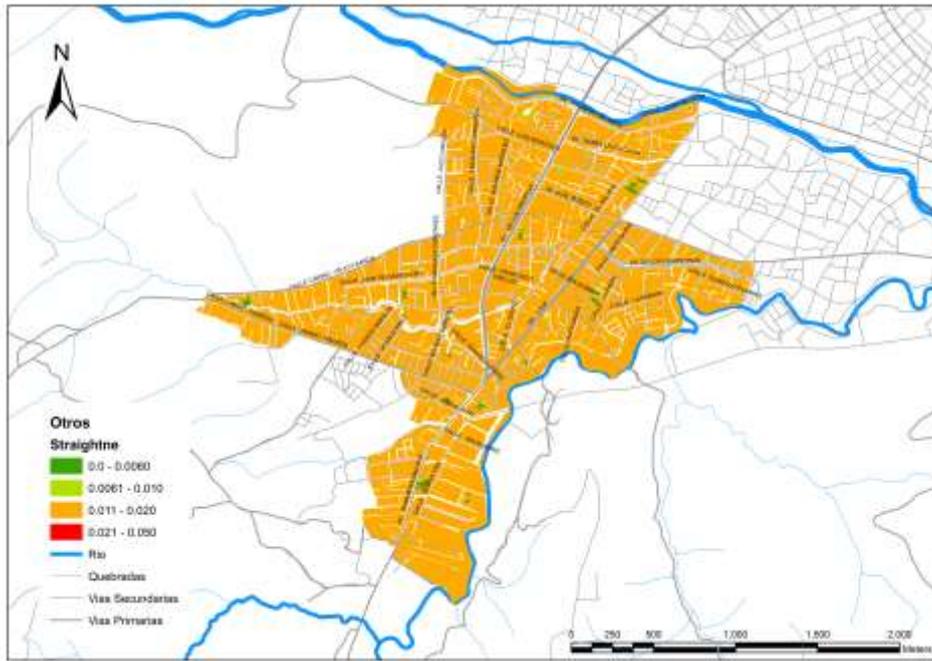


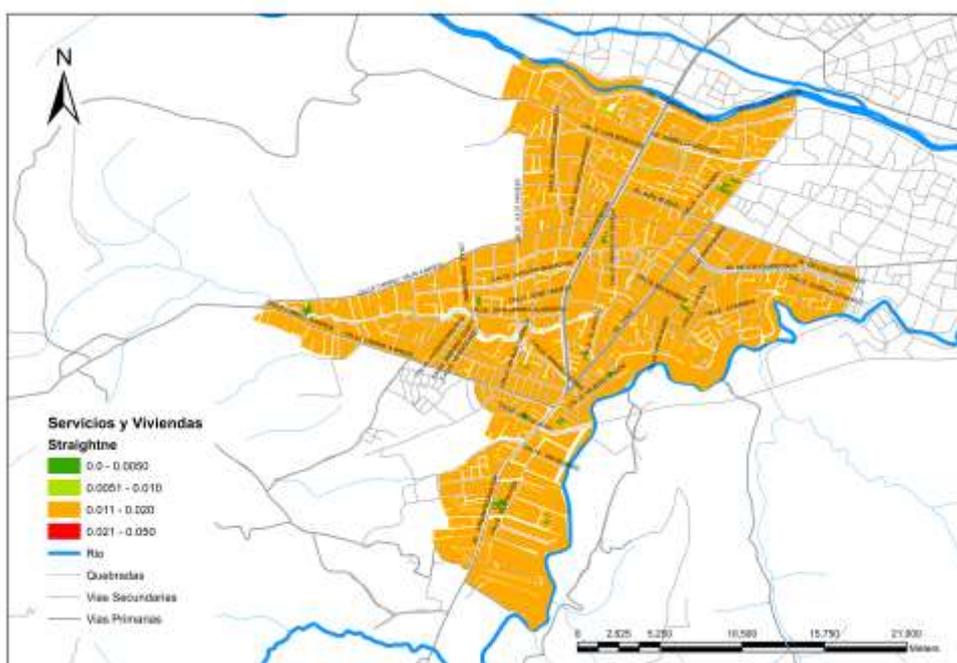
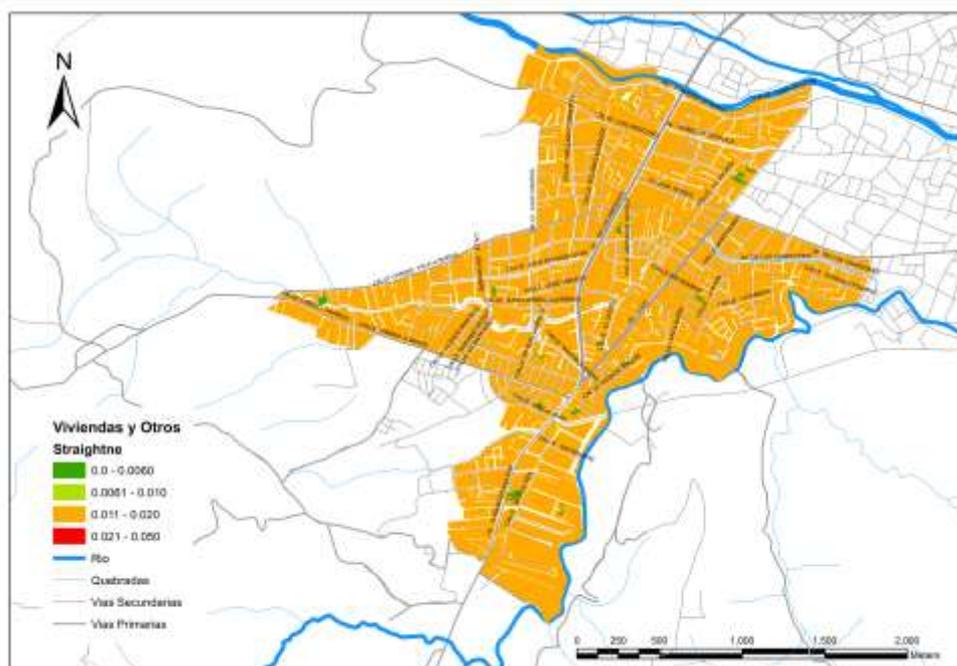


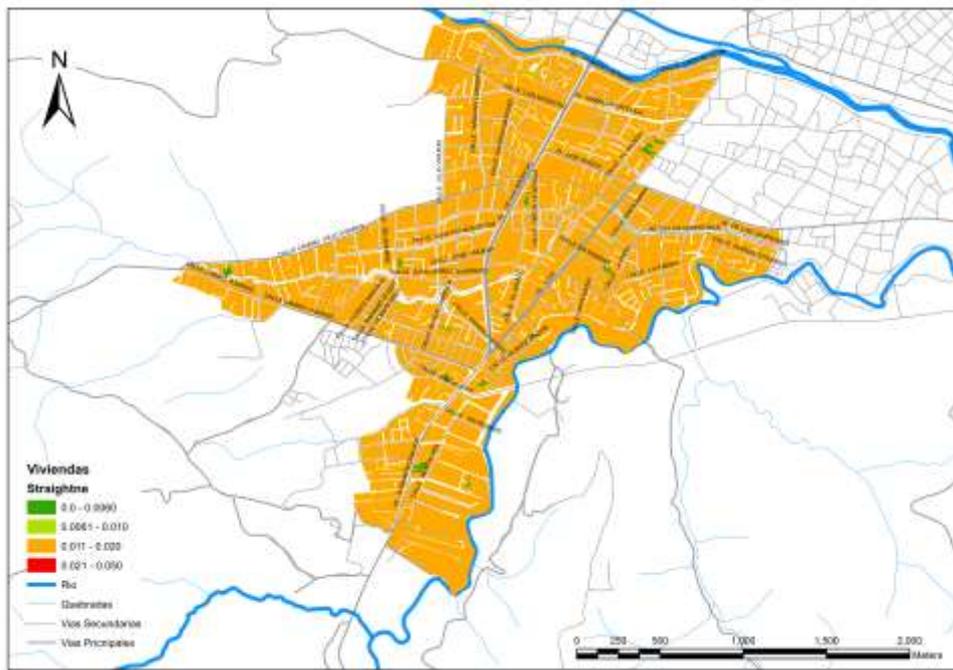
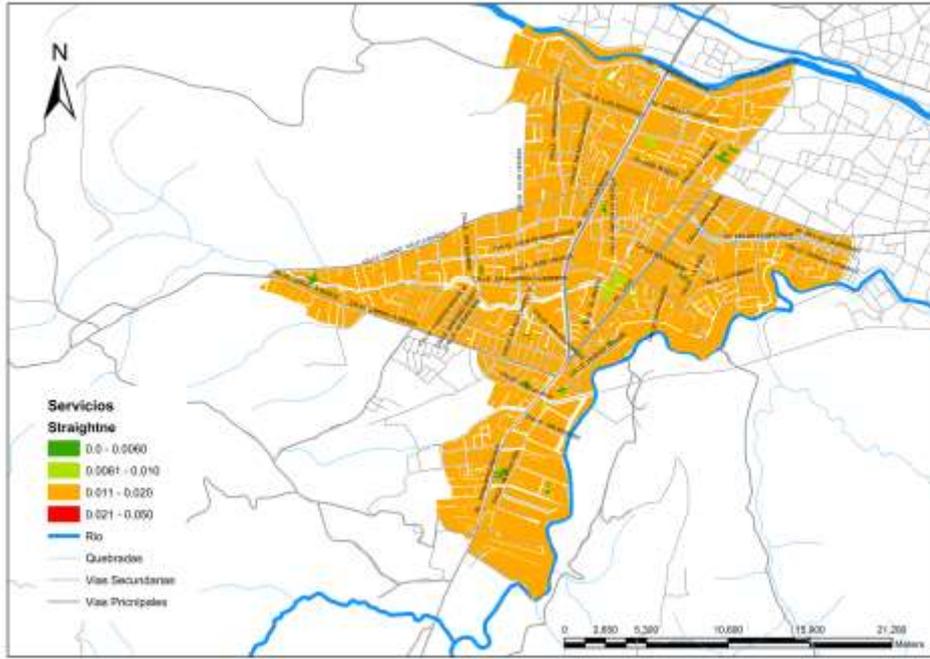
Straightness











Matriz de Correlación de las medidas de Centralidad para los diferentes usos de suelo con un radio de búsqueda de 300 metros

MATRIZ DE CORRELACIÓN POR DENSIDAD POBLACIONAL DEL AÑO 2001 R=300m.

<i>Centralidad</i>	<i>Reach</i>	<i>Betweennes</i>	<i>Straightne</i>	<i>Closeness</i>	<i>Gravity</i>
<i>Reach</i>	1				
<i>Betweennes</i>	0.797	1			
<i>Straightne</i>	0.989	0.814	1		
<i>Closeness</i>	-0.062	-0.040	-0.062	1	
<i>Gravity</i>	0.997	0.817	0.986	-0.062	1

MATRIZ DE CORRELACIÓN POR DENSIDAD POBLACIONAL DEL AÑO 2010 R=300m.

<i>Centralidad</i>	<i>Reach</i>	<i>Betweennes</i>	<i>Straightne</i>	<i>Closeness</i>	<i>Gravity</i>
<i>Reach</i>	1				
<i>Betweennes</i>	0.800	1			
<i>Straightne</i>	0.987	0.813	1		
<i>Closeness</i>	-0.187	-0.120	-0.187	1	
<i>Gravity</i>	0.997	0.818	0.982	-0.183	1

MATRIZ DE CORRELACIÓN USOS DE SUELO COMERCIO R=300m.

<i>Centralidad</i>	<i>Reach</i>	<i>Betweennes</i>	<i>Straightne</i>	<i>Closeness</i>	<i>Gravity</i>
<i>Reach</i>	1				
<i>Betweennes</i>	0.598	1			
<i>Straightne</i>	0.983	0.645	1		
<i>Closeness</i>	0.008	0.024	0.013	1	
<i>Gravity</i>	0.992	0.664	0.984	0.016	1

MATRIZ DE CORRELACIÓN USOS DE SUELO SERVICIOS R=300m.

<i>Centralidad</i>	<i>Reach</i>	<i>Betweennes</i>	<i>Straightne</i>	<i>Closeness</i>	<i>Gravity</i>
<i>Reach</i>	1				
<i>Betweennes</i>	0.585	1			
<i>Straightne</i>	0.981	0.635	1		
<i>Closeness</i>	-0.013	0.047	-0.007	1	
<i>Gravity</i>	0.990	0.658	0.981	-0.003	1

MATRIZ DE CORRELACIÓN USOS DE SUELO VIVIENDAS R=300m.					
<i>Centralidad</i>	<i>Reach</i>	<i>Betweennes</i>	<i>Straightne</i>	<i>Closeness</i>	<i>Gravity</i>
<i>Reach</i>	1				
<i>Betweennes</i>	0.766	1			
<i>Straightne</i>	0.987	0.792	1		
<i>Closeness</i>	-0.355	-0.218	-0.343	1	
<i>Gravity</i>	0.997	0.790	0.985	-0.351	1

MATRIZ DE CORRELACIÓN USOS DE SUELO OTROS R=300m.					
<i>Centralidad</i>	<i>Reach</i>	<i>Betweennes</i>	<i>Straightne</i>	<i>Closeness</i>	<i>Gravity</i>
<i>Reach</i>	1				
<i>Betweennes</i>	0.648	1			
<i>Straightne</i>	0.982	0.696	1		
<i>Closeness</i>	0.009	0.015	0.014	1	
<i>Gravity</i>	0.990	0.719	0.981	0.017	1

MATRIZ DE CORRELACIÓN USOS DE SUELO COMERCIO Y SERVICIOS R=300m.					
<i>centralidad</i>	<i>Reach</i>	<i>Betweennes</i>	<i>Straightne</i>	<i>Closeness</i>	<i>Gravity</i>
<i>Reach</i>	1				
<i>Betweennes</i>	0.664	1			
<i>Straightne</i>	0.976	0.710	1		
<i>Closeness</i>	0.318	0.305	0.324	1	
<i>Gravity</i>	0.992	0.724	0.977	0.338	1

MATRIZ DE CORRELACIÓN USOS DE SUELO COMERCIO Y OTROS R=300m.					
<i>Centralidad</i>	<i>Reach</i>	<i>Betweennes</i>	<i>Straightne</i>	<i>Closeness</i>	<i>Gravity</i>
<i>Reach</i>	1				
<i>Betweennes</i>	0.544	1			
<i>Straightne</i>	0.983	0.580	1		
<i>Closeness</i>	0.092	0.221	0.116	1	

Gravity	0.988	0.602	0.976	0.128	1
---------	-------	-------	-------	-------	---

MATRIZ DE CORRELACIÓN USOS DE SUELO SERVICIOS Y OTROS R=300m.					
<i>Centralidad</i>	<i>Reach</i>	<i>Betweennes</i>	<i>Straightne</i>	<i>Closeness</i>	<i>Gravity</i>
<i>Reach</i>	1				
<i>Betweennes</i>	0.532	1			
<i>Straightne</i>	0.972	0.579	1		
<i>Closeness</i>	0.143	0.249	0.171	1	
<i>Gravity</i>	0.984	0.612	0.969	0.184	1

MATRIZ DE CORRELACIÓN USOS DE SUELO VIVIENDAS Y OTROS R=300m.					
<i>Centralidad</i>	<i>Reach</i>	<i>Betweennes</i>	<i>Straightne</i>	<i>Closeness</i>	<i>Gravity</i>
<i>Reach</i>	1				
<i>Betweennes</i>	0.686	1			
<i>Straightne</i>	0.986	0.717	1		
<i>Closeness</i>	-0.173	-0.078	-0.166	1	
<i>Gravity</i>	0.994	0.727	0.984	-0.162	1

Matriz de Correlación de las Medidas de Centralidad para los diferentes usos de suelo en toda la zona de estudio

MATRIZ DE CORRELACIÓN POR DENSIDAD POBLACIONAL DEL AÑO 1990 R=inf.					
<i>Centralidad</i>	<i>Reach</i>	<i>Betweennes</i>	<i>Straightne</i>	<i>Closeness</i>	<i>Gravity</i>
<i>Reach</i>	1				
<i>Betweennes</i>	0.262	1			
<i>Straightne</i>	0.987	0.310	1		
<i>Closeness</i>	-0.095	-0.027	-0.093	1	
<i>Gravity</i>	0.788	0.438	0.791	-0.075	1

MATRIZ DE CORRELACIÓN POR DENSIDAD POBLACIONAL DEL AÑO 2001 R=inf.					
---	--	--	--	--	--

<i>Centralidad</i>	<i>Reach</i>	<i>Betweennes</i>	<i>Straightne</i>	<i>Closeness</i>	<i>Gravity</i>
<i>Reach</i>	1				
<i>Betweennes</i>	0.254	1			
<i>Straightne</i>	0.985	0.300	1		
<i>Closeness</i>	-0.105	-0.028	-0.104	1	
<i>Gravity</i>	0.771	0.411	0.767	-0.082	1

MATRIZ DE CORRELACIÓN USOS DE SUELO COMERCIO					
R=inf.					
<i>Centralidad</i>	<i>Reach</i>	<i>Betweennes</i>	<i>Straightne</i>	<i>Closeness</i>	<i>Gravity</i>
<i>Reach</i>	1				
<i>Betweennes</i>	0.041	1			
<i>Straightne</i>	0.734	0.157	1		
<i>Closeness</i>	0.280	0.446	0.016	1	
<i>Gravity</i>	0.125	0.489	-0.083	0.966	1

MATRIZ DE CORRELACIÓN USOS DE SUELO SERVICIOS					
R=inf.					
<i>centralidad</i>	<i>Reach</i>	<i>Betweennes</i>	<i>Straightne</i>	<i>Closeness</i>	<i>Gravity</i>
<i>Reach</i>	1				
<i>Betweennes</i>	0.043	1			
<i>Straightne</i>	0.785	0.190	1		
<i>Closeness</i>	0.296	0.440	0.138	1	
<i>Gravity</i>	0.150	0.497	0.085	0.940	1

MATRIZ DE CORRELACIÓN USOS DE SUELO VIVIENDAS					
R=inf.					
<i>Centralidad</i>	<i>Reach</i>	<i>Betweennes</i>	<i>Straightne</i>	<i>Closeness</i>	<i>Gravity</i>
<i>Reach</i>	1				
<i>Betweennes</i>	0.055	1			
<i>Straightne</i>	0.837	0.163	1		
<i>Closeness</i>	0.353	0.446	0.189	1	
<i>Gravity</i>	0.206	0.463	0.072	0.956	1

MATRIZ DE CORRELACIÓN USOS DE SUELO OTROS R=inf.					
---	--	--	--	--	--

<i>Centralidad</i>	<i>Reach</i>	<i>Betweennes</i>	<i>Straightne</i>	<i>Closeness</i>	<i>Gravity</i>
<i>Reach</i>	1				
<i>Betweennes</i>	0.046	1			
<i>Straightne</i>	0.820	0.164	1		
<i>Closeness</i>	0.343	0.412	0.162	1	
<i>Gravity</i>	0.189	0.454	0.055	0.909	1

MATRIZ DE CORRELACIÓN USOS DE SUELO COMERCIO Y SERVICIOS R=inf.					
<i>Centralidad</i>	<i>Reach</i>	<i>Betweennes</i>	<i>Straightne</i>	<i>Closeness</i>	<i>Gravity</i>
<i>Reach</i>	1				
<i>Betweennes</i>	0.032	1			
<i>Straightne</i>	0.744	0.213	1		
<i>Closeness</i>	0.324	0.375	0.178	1	
<i>Gravity</i>	0.145	0.393	0.001	0.865	1

MATRIZ DE CORRELACIÓN USOS DE SUELO COMERCIO Y OTROS R=inf.					
<i>Centralidad</i>	<i>Reach</i>	<i>Betweennes</i>	<i>Straightne</i>	<i>Closeness</i>	<i>Gravity</i>
<i>Reach</i>	1				
<i>Betweennes</i>	0.031	1			
<i>Straightne</i>	0.729	0.102	1		
<i>Closeness</i>	0.323	0.323	0.172	1	
<i>Gravity</i>	0.093	0.349	-0.027	0.752	1

MATRIZ DE CORRELACIÓN USOS DE SUELO SERVICIOS Y OTROS R=inf.					
<i>Centralidad</i>	<i>Reach</i>	<i>Betweennes</i>	<i>Straightne</i>	<i>Closeness</i>	<i>Gravity</i>
<i>Reach</i>	1				
<i>Betweennes</i>	0.033	1			
<i>Straightne</i>	0.809	0.209	1		
<i>Closeness</i>	0.389	0.307	0.393	1	
<i>Gravity</i>	0.151	0.347	0.252	0.676	1

MATRIZ DE CORRELACIÓN USOS DE SUELO VIVIENDAS Y OTROS R=inf.					
<i>Centralidad</i>	<i>Reach</i>	<i>Betweennes</i>	<i>Straightne</i>	<i>Closeness</i>	<i>Gravity</i>
<i>Reach</i>	1				
<i>Betweennes</i>	0.050	1			
<i>Straightne</i>	0.820	0.163	1		
<i>Closeness</i>	0.340	0.435	0.152	1	
<i>Gravity</i>	0.189	0.446	0.034	0.923	1

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arnaiz, M., Ruiz-Apilánez, B., & Ureña, J. M. De. (2013). El análisis de la traza mediante Space Syntax. Evolución de la accesibilidad configuracional de las ciudades históricas de Toledo y Alcalá de Henares. *ZARCH Journal of Interdisciplinary Studies in Architecture and Urbanism*, 1, 128–140.
- City, M. I. T. (2011). *Urban Network Analysis*.
- Desyllas, J. (1997). Using Space Syntax to analyse the relationship between land use, land value and urban morphology.
- Durán, F. E. (2005). Procesos de periurbanización y cambios en los modelos de ciudad : un estudio europeo de casos sobre sus causas y consecuencias, (78), 59–88. Retrieved from <http://www.raco.cat/index.php/Papers/article/view/40273>
- Flores Fuentes, C. M. (2001). Los cambios en la estructura intraurbana de Ciudad Juárez, Chihuahua, de monocéntrica a multicéntrica. El Colegio de La Frontera Norte, A.C. Tijuana, México.
- Freeman, L. C. (1977). A set of Measures of Centrality Based on Betweenness, 40(*Sociometry*), 35–41.
- Greene, M., & Mora, R. (2010). Privately Operated Highways: a new form of segregation. Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Hermida Palacios, M. A., Orellana Vintimilla, D., Cabrera Jara, N., Osorio Guerrero, P., & Calle Figueroa, C. (2015). La ciudad es esto: medicipon y representación espacial para ciudades compactas y sustentables. *Universidad de Cuenca*, 141. Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/21564>
- Hillier, B. (1996). *Space is the machine*.
- Hillier, B., & Janson, J. (1984). *The Social Logic of Space*. Cambridge Univsity.
- Hillier, B., Penn, A., Grajewski, T., & Xu, J. (1993). Natural Movement - or, Configuration and Attraction in Urban Pedestrian Movement. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 20(1), 29–66.
- INVI, R. (2003). Comercio Informal y Estructura Urbana Periférica: Una Metodología de Análisis de las Ferias Libres, 18(48), 104–122.
- Jiang, B., Klarqvist, B., & Claramunt, C. (2000). Integration of space syntax into GIS for modelling urban spaces. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2(3-4), 161–171.

- Red de Redes de Desarrollo Local Sostenible. (2010). Sistema Municipal De Indicadores de Sostenibilidad. Indicadores, IV Reunión Del Grupo de Trabajo de de Sostenibilidad de La Red de Redes de Desarrollo Local Sostenible.
- Reed-Danahay, D. (2002). Remembering Pierre Bourdieu 1930-2002. *Anthropological Quarterly*. doi:10.1353/anq.2002.0038
- Rocca, M. J., Plot, B., Lancioni, A., Ríos, L., Vivian, S., Arabela, D., ... a Fuente, M. S. (2012). *Procesos de Expansión Urbana. Metodología para el análisis de modelos y tendencias en la Provincia de Buenos Aires*. Centro de Investigaciones Urbanas Y Territoriales. FAU.UNLP.
- Sabidussi Gert. (1966). The Centrality Index of a graph. *Psychometrika*, 31, 581–603.
- Sevtsuk, A. (2010). *Path and Place: A Study of Urban Geometry and Retail Activity in Cambridge and Somerville, MA*. Massachusetts Institute of Technology.
- Sevtsuk, A. (2012). How we shape our cities , and then they shape us. *MAJA: The Estonian Architectural Review*, 2(72), 10–15.
- Sevtsuk, A., & Mekonnen, M. (2012). Urban network analysis. A new toolbox for ArcGIS. *Revue Internationale de Géomatique*, 22(2), 287–305. doi:10.3166/rig.22.287-305
- Tsou, K.-W., & Cheng, H.-T. (2013). The effect of multiple urban network structures on retail patterns – A case study in Taipei, Taiwan. *Cities*, 32, 13–23. doi:10.1016/j.cities.2013.02.003
- Turner, A. (2001). *Depthmap_turner*.
- Vragovic, I., Louis, E., & Diaz, A. (2005). Efficiency of information transfer in regular and complex networks. *Physics Review E*, 71(3).
- Wikipedia, C. de. (2015). *Estructura urbana*. Wikipedia, La enciclopedia libre. Retrieved June 19, 2015, from https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Estructura_urbana&oldid=80550688
- Christaller, W., (1933) *Die Zentralen Orte in Suddeutschland*. Fischer, Jena; 1966, English translation from German original by L. W. Baskin, *Central places in Southern Germany*. Prentice Hall: Englewood Cliffs, NJ.
- Jong-Hun, A (1993) A study on the locational choice of business activities. *Journal of KIA* 9(5), 47–50
- Harary, F. (1969). *Graph Theory*. Massachusetts: Addison-Wesley.

- March, L., & Steadman, P. (1971). *The geometry of environment: an introduction to spatial organization in design* (p. 360 p.). London, RIBA Publications.
- Porta, S., Crucitti, P., & Latora, V. (2005). The network analysis of urban streets: a primal approach. *Environment and Planning B*, 35(5), 705-725.