



VALORACIÓN HEDÓNICA DE LA VIVIENDA EN MANIZALES. UNA
APLICACIÓN CON VARIABLES AMBIENTALES

LÁZARO VALENCIA GIRALDO

UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS CONTABLES, ECONÓMICAS Y ADMINISTRATIVAS
PROGRAMA DE ECONOMÍA
MANIZALES
2012



VALORACIÓN HEDÓNICA DE LA VIVIENDA EN MANIZALES UNA
APLICACIÓN CON VARIABLES AMBIENTALES

LÁZARO VALENCIA GIRALDO

Tesis profesional presentada como requisito para obtener
el título de Maestría en Economía

Presidente: Dr: DUVÁN EMILIO RAMÍREZ

UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS CONTABLES, ECONÓMICAS Y ADMINISTRATIVAS
PROGRAMA DE ECONOMÍA
MANIZALES

2012

AGRADECIMIENTOS

Al Dr: Luc Anselin por haber colocado en la web el software Geoda gratis para toda la comunidad científica. Sin esta herramienta hubiera sido imposible realizar los análisis exploratorios y de las regresiones, así como construir los mapas, gráficas e índices que facilitó.

Al Dr: Juan Felipe Jaramillo Salazar por su colaboración, orientación y consejos que fueron definitivos en la elaboración de la presente tesis.

Al Dr: Duván Emilio Ramírez por presidir el presente trabajo y sugerir consejos muy valiosos para mejorar la presentación.

A la Dra: Nohra León por sus enseñanzas y recomendaciones que fueron definitivas en la corrección de errores y mejorar la metodología.

A mis hijos Mauricio, Jorge Andrés, Valentina y María Camila por su apoyo permanente para realizar el presente trabajo.

A mi esposa Elizabeth por facilitarme toda la logística en el hogar para crear el ambiente propicio para la lectura y estudio que requería este proyecto.

Nota de aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
AGRADECIMIENTOS	3
ABSTRACT	5
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	8
1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	10
1.2 SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA	10
1.3 OBJETIVO GENERAL	10
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	11
2. MARCO TEÓRICO	13
2.1 EXPRESIÓN TEÓRICA DEL MODELO	17
2.2 APLICACIONES DE LAS TEORÍAS HEDÓNICAS	19
3. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO	26
3.1 ANÁLISIS ESPACIAL	26
3.2 DEPENDENCIA ESPACIAL O AUTOCORRELACIÓN ESPACIAL	26
3.3 HETEROGENEIDAD ESPACIAL	27
3.4 IDENTIFICACIÓN DE PATRONES ESPACIALES	28
3.5 FORMULACIÓN DE LA ÍNDICE DE MORAN	28
3.6 POBLACION Y DATOS	31
3.7 EXPRESIÓN DEL MODELO	32
3.8 DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES	33
3.9 ANÁLISIS EXPLORATORIO	35
4. APLICACIÓN EMPÍRICA	37
4.1 ANÁLISIS UNIVARIANTE DE LA I DE MORAN PARA EL LOGARITMO DEL AVALÚO POR METRO CUADRADO	37
4.2 ANÁLISIS ESPACIAL LOCAL LISA	40
4.6 ANÁLISIS CONFIRMATORIO	49
5. CONCLUSIONES Y APLICACIONES	53
REFERENCIAS	56
A N E X O S	59

LISTA DE MAPAS

	pág.
Mapa 1. Distribución espacial de los datos	30
Mapa 2. Distribución espacial de datos en el centro	31
Mapa 3. Análisis espacial local lisa de la variable $LNAV\overline{M}^2$	38
Mapa 4. Análisis espacial lisa de $LNAV\overline{M}^2$ sector centro	39
Mapa 5. Grado de significancia representado en el mapa lisa univariante del $LNAV\overline{M}^2$	40
Mapa 6. Grado de significancia lisa del $LNAV\overline{M}^2$ sector centro	41
Mapa 7. Análisis espacial lisa de la variable ladera	43
Mapa 8. Grado de significancia lisa de ladera	44
Mapa 9. Análisis multivariante lisa de ladera $-W-LNAV\overline{M}^2$	47
Mapa 10. Grado de significancia del lisa ladera $-W-LNAV\overline{M}^2$	48

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo 1. Regresión por mínimos cuadrados ordinarios	58
Anexo 2. Regresión por espacial-Lag	59
Anexo 3. Regresión por espacial-Error	60
Anexo 4. Distribución espacial del índice de construcción	61
Anexo 5. Distribución espacial de la variable riesgo	63
Anexo 6. Distribución espacial de la variable ATG	64
Anexo 7. Distribución espacial del índice de calidad de la vivienda	65
Anexo 8. Análisis multivariante de ladera W- LNAVM ²	66

RESUMEN

Mediante la utilización de técnicas de econometría espacial se estimó el efecto que tienen algunas variables ambientales en el precio de la vivienda urbana de la ciudad de Manizales, teniendo como fuente la base de datos predial con uso vivienda resultante de la actualización realizada por el IGAC en el año 2010. Encontrando en promedio que las viviendas cercanas a las áreas de riesgo reducen su precio hasta un 11%, el vivir cerca a una ladera en un 37% y el encontrarse en zona de tratamiento geotécnico hasta un 21,95 %. Los resultados estimados con los modelos espacial-lag y espacial-error, indicaron una reducción de los errores de estimación y mejores efectos marginales que los calculados con el modelo de mínimos cuadrados ordinarios. Los hallazgos encontrados trataron de responder a la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo cambia el precio hedónico de la vivienda en la ciudad de Manizales, como resultado del cambio en las variables estructurales, de calidad y medioambientales?

Palabras clave: precios hedónicos, Econometría Espacial, Heterogeneidad, autocorrelación Espacial, La I de Moran.

ABSTRACT

Using spatial econometric techniques, we estimated the effect they have some environmental variables in the price of urban housing in the city of Manizales, Having as the database farm with home use resulting from the update by IGAC in 2010. Finding homes in average close to risk areas to reduce their price by 11%, living near a slope by 37% to be in geotechnical treatment area to 21,95%. The estimated results with models special- lag and special- error, indicated a reduction of estimation errors and marginal effects better than those obtained with the OLS model. The findings tried to answer the research question: How does the hedonic price of housing in the city of Manizales, as a result of changes in structural variables, and environmental quality?

Keywords: hedonic prices, Spatial Econometrics, heterogeneity, spatial autocorrelation, Moran's I.

Clasificación: JEL C21 Q51 Q52 Q53

INTRODUCCIÓN

Los avalúos de las viviendas tienen una característica particular que las hacen interesantes, debido a que son bienes compuestos y diferenciados en mercados muy integrados, cuya utilidad para el consumidor depende de la satisfacción que brindan cada una de las características o atributos que la componen. La idea central es que dichos atributos no se consideran por separado para fijar el avalúo, sino toda la casa.

La técnica más utilizada para estudiar las contribuciones de cada una de esas características en el avalúo del bien compuesto, es la de estimar económicamente funciones hedónicas desarrolladas por (Rosen, 1974) que tienen como regresores los atributos o características del bien compuesto.

En los avalúos catastrales existen interrelaciones espaciales que no son tenidas en cuenta en los modelos econométricos comúnmente utilizados. Según (Anselin L. , 1988a). existen dos tipos de interacciones espaciales:

La primera interacción es la dependencia espacial que se presenta cuando una de las variables explicativas tiende a asumir valores similares en unidades geográficamente cercanas. Dicha dependencia espacial es ampliamente observada en los avalúos fijados por el municipio de Manizales. Las casas caras tienden a estar agrupadas al igual que las casas baratas. Esta correlación espacial de los avalúos puede ser producto de un comportamiento en manada alrededor, donde las expectativas de avalúos futuros se forman con base a los valores de las unidades vecinas. Las amenidades también contribuyen a la correlación espacial, ya que los consumidores reciben utilidad positiva de vivir cerca de casas lindas y de mayor valor, lo que resulta en que casas vecinas de altos valores empujan el avalúo de todas las casas de su alrededor.

La segunda es la heterogeneidad espacial, la cual está relacionada con la falta de estabilidad en el espacio del comportamiento de las relaciones bajo estudio. Más precisamente esto implica que las formas funcionales y los parámetros no son homogéneos, sino que varían con la localización. Existen diferencias entre las zonas geográficas que son difíciles de incluir en las regresiones, por ejemplo el nivel de

seguridad, el ruido, el riesgo tienden a ser diferentes en cada barrio o sector y, como estas características tienden a estar correlacionadas, el término de error en cada área estará correlacionado con el de las áreas vecinas.

Este tipo de relaciones presentan retos metodológicos en la estimación. No obstante, recientes desarrollos estadísticos y de software permiten modelar mejor dichos procesos espaciales y plantear nuevas preguntas sobre la dimensión espacial de los procesos urbanos. Los desarrollos de sistemas de información geográfica y métodos estadísticos han permitido el mapeo de la información y el análisis espacial, facilitando su comunicación. Con esta investigación se plantea la construcción de un modelo econométrico para el municipio de Manizales que recoja los efectos marginales y espaciales de cinco variables atributos de la vivienda, para mirar el impacto sobre el avalúo de la vivienda y, muy especialmente, se quiere observar las relaciones que tiene el avalúo de los predios con algunas variables medio-ambientales. No se pretende realizar un análisis exhaustivo del tema, sino que es una primera aproximación empírica al avalúo de las viviendas.

El trabajo está organizado de la siguiente manera: En el primer capítulo se hace el planteamiento del problema. En el segundo se describe el marco teórico. En el tercer capítulo se plantea el análisis espacial para ilustrar el proceso metodológico, mientras que en el cuarto se realiza una aplicación empírica en la ciudad de Manizales, que incluya un análisis exploratorio y confirmatorio de los datos, finalizando con el quinto capítulo que expone las conclusiones y aplicaciones del trabajo.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Buscando documentos en la web y en las oficinas de planeación, se encontró una aplicación de precios hedónicos con análisis espaciales para la ciudad de Bogotá (Lozano, 2011), otro para Medellín (Duque, 2011) y para la ciudad de Manizales se localizó un estudio sobre precios hedónicos sin análisis espaciales (Velásquez, 2011), lo cual materializa la necesidad de elaborar este trabajo. Para este propósito se plantea la construcción de un modelo econométrico que muestre las bondades hedónicas y los efectos espaciales para fijar el avalúo catastral en la ciudad de Manizales y replicarlo en otras ciudades que no han utilizado esta metodología.

La ciudad de Manizales carece de un observatorio inmobiliario que le permita administrar mejor su territorio y aunque con este trabajo no se fija como objetivo, se hace notar su necesidad y se aporta algunos insumos para iniciar su construcción con la aplicación de precios hedónicos y análisis espaciales.

El avalúo catastral constituye una herramienta fundamental y estratégica para el conocimiento y la gestión del territorio, de ahí que cada vez cobra mayor importancia para la formulación y seguimiento de planes y políticas de desarrollo coherentes con la realidad que favorezcan el desarrollo social, económico y sostenible de un país.

El avalúo tiene una connotación fiscal cuando se recaudan los ingresos que permiten implementar mayores servicios públicos (infraestructura vial, salud, educación, etc.).

Aprovechando el desarrollo de los sistemas de información geográfica SIG al servicio del Igac y dadas las ventajas que tiene el uso de esta herramienta para el manejo de la información y los procesos de planificación urbana y regional, el espacio adquiere la mayor importancia por la necesidad de georreferenciarlo en forma adecuada para utilizarlo en la respuesta a la pregunta que plantea este trabajo.

Los avalúos catastrales y el precio de la vivienda son indicadores económicos importantes por múltiples motivos. El acceso a una vivienda adecuada depende, entre otras cosas, de su precio. Además, la vivienda es, en general, el activo más importante en la cartera de las familias y, por tanto, las modificaciones en su precio tienen un evidente efecto riqueza y alteran el equilibrio macroeconómico¹. También, el precio de la vivienda puede tener efecto sobre los mercados laborales locales al afectar las decisiones de localización de los trabajadores (García-Montalvo, 2000).

El sector de la construcción de vivienda siempre ha jalonado la economía y, en muchas ocasiones, la ha sacado de las más profundas crisis económicas, llevándola de la inestabilidad al crecimiento, debido a los efectos de encadenamiento con otros sectores de la actividad económica y la demanda de mano de obra calificada y no calificada.

En Manizales como en otras ciudades de Colombia se presentan atrasos y disparidades en los avalúos catastrales, lo cual repercute en la situación fiscal del municipio. Existen grandes diferencias entre estos avalúos y los precios de venta comerciales de la vivienda. Muchos de estos inmuebles se quedan con su costo histórico por varios años, sin una actualización que garantice los recursos para ejecutar el plan de desarrollo de la ciudad.

Adicionalmente, han surgido fenómenos como la propiedad horizontal, los cluster, la concentración comercial e industrial, las remodelaciones, el cambio de uso de vivienda a comercio, etc., que complejizan el análisis de los precios de la vivienda en el territorio.

La reciente actualización catastral realizada por el IGAC en 2010, provee a los investigadores una riqueza de información confiable, robusta y oportuna que permitiría establecer los determinantes del precio de la vivienda en el municipio. De esta manera, se podría obtener una mayor comprensión del mercado inmobiliario de la vivienda en

¹El detonante de la crisis financiera y económica de 2008 fue la especulación que se derivó en el mercado inmobiliario de Estados Unidos al permitir el acceso al crédito hipotecario a personas con alto riesgo de impago y la posterior negociación de las hipotecas en los mercados financieros mundiales. Esta situación provocó quiebras de importantes entidades financieras y bancarias, intervenciones de los bancos centrales, caída en las cotizaciones bursátiles, disminución en el crecimiento real de la economía mundial y, de manera especial, en las economías avanzadas.

Manizales a través de la aplicación de herramientas provenientes de la nueva geografía económica y la econometría espacial.

1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

De acuerdo al planteamiento anterior se formula la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo cambia el avalúo hedónico de la vivienda en la ciudad de Manizales, a partir del cambio en las variables estructurales, de calidad y medioambientales?

1.2 SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

1-Qué incidencia tienen las características físicas o estructurales de la vivienda (superficie del lote y área construida) en el avalúo de la vivienda?

2-Cúal es el impacto marginal que tienen las variables ambientales (Riesgos, ATG y ladera.) sobre el avalúo de la vivienda?

3-De qué magnitud es el efecto marginal que tienen los atributos de calidad como (estrato, destino de la vivienda, N° de pisos, locales, baños y habitaciones.) sobre el avalúo de la vivienda?

4-Cómo afecta la interacción espacial, el avalúo hedónico de la vivienda en la ciudad de Manizales?

1.3 OBJETIVO GENERAL

Elaborar un modelo econométrico que permita evaluar los efectos marginales y espaciales que sobre el avalúo hedónico de la vivienda en la ciudad de Manizales tiene un cambio en las variables estructurales, de calidad y medioambientales.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Construir una base de datos con la información georeferenciada que se tiene disponible sobre las características de la vivienda en la ciudad de Manizales.
2. Identificar en el modelo econométrico los efectos marginales que sobre el avalúo de la vivienda tienen las variables estructurales, medioambientales y de calidad.
3. Hacer uso intensivo de la teoría y herramientas de la economía espacial para determinar el efecto de las variables medioambientales, físicas y de calidad en la formación del avalúo de la vivienda en Manizales
4. Utilizar el modelo econométrico para hallar la ecuación del precio hedónico de los predios con 67.802 observaciones.

1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación propuesta busca, mediante la aplicación de la teoría y los conceptos básicos de precios hedónicos y econometría espacial encontrar explicaciones a las variaciones que se presentan en el precio de la vivienda, dentro de una dinámica del mercado inmobiliario. Las fluctuaciones en el precio de los inmuebles están más sujetas a especulaciones y desinformación que a criterios técnicos como el modelo de precios implícitos. Metodológicamente se justifica cuando para lograr el cumplimiento de los objetivos del estudio se acude al empleo de información georeferenciada y de corte transversal y un software geoestadístico que permite obtener los efectos marginales y espaciales para cuantificar el impacto que tiene cada atributo sobre el avalúo de la

vivienda en la ciudad de Manizales, de esta manera los resultados de la investigación se apoyan en la aplicación de técnicas de investigación válidas en el campo científico.

Adicionalmente, se puede ver que de acuerdo con los objetivos de la investigación, su resultado permite encontrar los determinantes del avalúo hedónico de la vivienda, lo cual puede ser utilizada como herramienta científica para los avalúos de las viviendas y el correspondiente recaudo del impuesto predial, contribuciones a la valorización y plusvalía del suelo que tiene tantas reclamaciones por falta de transparencia en la política pública o se carece del conocimiento para dar las explicaciones serias al ciudadano común y corriente. El trabajo es un comienzo para continuar con nuevas investigaciones que corrijan los posibles problemas econométricos que se pueden presentar. El interés de este trabajo radica en la obtención de un grado de maestría y lo novedoso se soporta en que hay pocos trabajos sobre precios hedónicos con efectos espaciales. La utilidad va a ser para el municipio de Manizales que con base en este estudio puede comenzar a pensar en un observatorio inmobiliario que tanta falta le hace a la ciudad.

2. MARCO TEÓRICO

Según (Lever, 2000) en un Modelo de precios hedónicos normalmente, el proveedor de un bien o servicio enfrenta una demanda explícita por su producto, la cual determina, en conjunto con la estructura de costos relevante, el comportamiento en el mercado de dicho proveedor. Cada bien y servicio, por su parte, está constituido por una serie de características o atributos que, en conjunto, configuran la unidad básica que es transada en el mercado. Dichos atributos, en la medida en que son inevitablemente traspasados por el proveedor al consumidor al momento de efectuar éste la compra del bien, tienen la particularidad de afectar positiva o negativamente el precio de éste, dependiendo de la valoración que el demandante mantenga por cada uno de estos atributos.

De este modo, se generan mercados implícitos por cada atributo, cuyas demandas y ofertas, no obstante, no son observables en forma directa.

En la mayoría de los casos, conocer las demandas implícitas por las características que componen un bien o servicio carece de relevancia, especialmente en aquellos mercados en que dichas características, cuantitativa y cualitativamente, se reflejan en forma relativamente transparente en los precios. En mercados más complejos, como el de los bienes raíces, el conocimiento de las demandas o los "precio sombra" de cada atributo cobra especial interés, fundamentalmente por la alta heterogeneidad de los atributos observados, su fácil diferenciación y el alto valor relativo de este tipo de bienes. En tal sentido, la Teoría de Precios Hedónicos constituye un significativo avance metodológico en la modelación de mercados implícitos por atributos, proporcionando técnicas econométricas para la obtención de precios y demandas implícitas a partir de la medición del precio del bien compuesto y de la forma en que se efectúa la "mezcla" de atributos que lo compone.

El valor de un bien raíz no sólo está determinado por sus características estrictamente residenciales, comerciales o industriales, sino también por los complejos procesos de inversión, especulación y arbitraje que tienen lugar con el crecimiento y desarrollo urbano de las ciudades, con la congestión de las áreas urbanas inducida por el mayor poblamiento y el crecimiento de la edificación, y con las políticas de regulación urbana que implementa la autoridad, entre otros. La Teoría de Precios Hedónicos pretende explicar el valor de un bien raíz, entendido como un conjunto de atributos (superficie, aptitud de uso del suelo, calidad de la construcción, diseño interior y exterior, áreas verdes, ubicación, características del vecindario, etc.), en función de cada uno de ellos, obteniendo sus respectivas valoraciones y, por ende, demandas implícitas. En otras palabras, la teoría

permite identificar la importancia relativa de cada atributo en el valor asignado por el mercado a un bien raíz, mediante lo cual es posible determinar cómo cambiará dicho valor al variar la cantidad y calidad en que se encuentra presente cada uno de estos atributos, y consecuentemente, predecir precios. La metodología utilizada consiste en construir un modelo econométrico que explicita la relación funcional entre el precio del bien raíz y sus respectivas características, dotarlo de información estadística y regresarlo, procesando luego los resultados de manera de estimar la valoración implícita por cada atributo. (Lever, 2000)

Otro enfoque en la teoría de valuación de las viviendas establece que el precio de estas es función de determinados factores (topografía, proximidad a centros económicos, calidad del entorno, etc.) que pueden ser considerados como atributos individuales de la vivienda en cuestión.

Para una vivienda dada, el avalúo depende de dos tipos de factores:

Factores intrínsecos: Son aquellos que son propios de la vivienda y no dependen del sector en que se encuentran, tales como la ubicación de la manzana, superficie del lote, área construida, etc.

Factores extrínsecos: se refieren a aquellos que valorizan las casas y que son propios de la zona en la cual se ubica el inmueble. Entre estos se encuentra la topografía del lugar, el nivel de los servicios públicos y las obras de infraestructura de la zona (avenidas, escuelas, hospitales, etc.).

“Según esta teoría, cada vivienda tendrá un avalúo que dependerá de un conjunto de atributos cuyo rasgo más saliente es que estos atributos no tienen un valor explícito en un mercado, sino que se valúan en forma conjunta en un único precio del bien integrado” (Sánchez, 2008).

En la determinación del avalúo de la vivienda se debe tener en cuenta que los bienes se diferencian unos de otros por los atributos y características que poseen como la accesibilidad, la calidad, los rasgos estructurales y la calidad ambiental, indicando con esto, que los bienes no son homogéneos.

Este planteamiento conceptual, permite utilizar el modelo de precios hedónicos para observar el impacto que tienen las características y atributos sobre el precio de un bien y, por consiguiente, construir la demanda por estos atributos. Esto sugiere que un bien o servicio puede tener multiatributos que satisfacen varias necesidades al mismo tiempo, por ejemplo, cuando una persona decide comprar una casa, piensa en el medio ambiente que la rodea como el paisaje, la contaminación, el ruido, etc. Es aquí donde los precios hedónicos describen los multiatributos del bien o servicio, que explica el costo de la vivienda y averigua por la importancia cuantitativa de cada una de “las características ambientales, tratando de dar un precio implícito a cada atributo, que no es otra cosa, que la disponibilidad a pagar, de la persona, por una unidad adicional de la misma. Por ejemplo, si tenemos que decidir entre dos opciones para comprar una casa”: (Mendieta, 2001)

Si la casa A: Está ubicada en un sitio con tratamiento de ladera.

La casa B: Tiene una mejor localización libre del peligro de ladera.

En todo lo demás, las casas son idénticas. Cada casa tiene su precio, P_A y P_B . La diferencia entre estos dos precios se explica porque refleja una disposición a pagar DAP por el tratamiento de ladera. Entonces:

$$P_B - P_A = \text{DAP por el riesgo existente} \quad (1) \text{ (Mendieta, 2001)}$$

Esto es lo que se puede aplicar para el atributo ambiental que tienen los bienes y servicios que se transan en el mercado, para hallar su precio, haciendo la diferencia entre los precios de mercado de dos bienes o servicios que sólo se diferencian en el atributo ambiental. “Este método de precios hedónicos permite valorar intangibles y bienes o servicios no mercadeables como el medio ambiente, que se ha utilizado tantas veces en bienes raíces, mercados laborales, mercado de autos, etc.” (Mendieta, 2001). En general, externalidades positivas aumentan la disponibilidad de pago por una vivienda. Así, el consumidor paga por los beneficios externos que entregan el medio ambiente o calidad de una vivienda y deja de pagar por los costos externos o externalidades negativas.

La discusión teórica se interesa por conocer las contribuciones de algunas de las características de la vivienda al avalúo y precio del bien compuesto, utilizando técnicas econométricas para obtener las funciones hedónicas que tienen como regresores los atributos de la vivienda como un todo y único bien. La teoría indica que entre las muchas características estructurales o físicas que puede tener una vivienda se encuentran las siguientes:

Superficie en metros cuadrados construidos, el tamaño del lote, aptitud de uso del suelo, aspectos de arquitectura y diseño interior, “equipamiento interior, la calidad de los materiales, áreas comunes, número de cuartos, tamaño promedio de los cuartos, número de baños, número de alcobas, número de pisos, número de sanitarios, chimeneas, garajes, edad y año de construcción, pisos y techos, sótanos” (Asqueta, 1994), patio de ropas, redes inteligentes, terrazas, ascensor, altitud, visibilidad, confort, calidad de la vivienda, etc. Se pueden tener en cuenta para valuar las viviendas, agrupándolas de acuerdo a la disponibilidad de información georeferenciada. Todas estas características estructurales se pueden llamar Sh , que formalmente se representa en el modelo hedónico por:

$$Sh = Sh_1, \dots, Sh_n \quad (2) \text{ (Asqueta, 1994)}$$

Otros atributos serían los del vecindario como estrato socioeconómico, tipo de residentes, centros comerciales, escuelas, colegios, centros recreativos, centros deportivos, tipo de calle, iglesias, nivel de ingreso, porcentaje de desempleo, porcentaje de familias con niños, densidad de la población, densidad de viviendas, seguridad, población mayor de 60 años, familias sin carros y con más de dos carros, tiendas, accesibilidad a centros de importancia, distancia a las autopistas o avenidas, localización del inmueble dentro del plan de ordenamiento territorial POT de la ciudad de Manizales (POT, Acuerdo N° 663 de 13 sep, 2007), “ubicación del bien raíz en área residencial o industrial o comercial, distancia geográfica, densidad de la construcción, tipos de actividades y usos permitidos del suelo, proximidad al empleo, medios de transporte, tráfico vehicular y de transeúntes” (Asqueta, 1994), equipamiento externo, servicios e infraestructura que recibe el inmueble como acueducto, alcantarillado, electricidad, gas

domiciliario, telefonía fija, internet, televisión, iluminación de calles, conjunto cerrado, etc.

La representación para el modelo de las anteriores características es:

$$N_h = N_{h_1, \dots, N_{h_m}} \quad (3) \quad (\text{Asqueta, 1994})$$

Las características ambientales que pueden ser externalidades positivas o negativas como las siguientes serían otro vector a considerar:

El entorno, brillo solar, la calidad del aire y del agua, nivel de ruido, paisaje, zonas verdes, parques, vistas, partículas suspendidas totales, SO_x , CO_x , NO_x , posibilidades de riesgo de avalanchas, erosión inundación; Áreas de tratamiento geotécnico; recolección, transporte y disposición final de las basuras; los malos olores, cercanía de acuíferos, gasoductos, oleoductos, quebradas y ríos, humedad, contaminación visual, tratamiento de ladera, etc. Su función sería:

$$Q_h = Q_{h_1, \dots, Q_{h_q}} \quad (4) \quad (\text{Asqueta, 1994})$$

2.1 EXPRESIÓN TEÓRICA DEL MODELO

Para determinar la relación entre el precio estadístico de compra-venta del bien que tiene mercado y una serie de variables que explican dicho precio, entre las cuales está la variable ambiental, según expresiones 2, 3 y 4. Tendríamos una función del tipo:

$$P = f (S_{h_1, \dots, S_{h_n}}, N_{h_1, \dots, N_{h_m}}, Q_{h_1, \dots, Q_{h_q}}) \quad (5)$$

(Asqueta, 1994)

Donde P es el precio estadístico de compra-venta del bien con mercado y S_h , N_h y Q_h son los atributos y características que determinan el precio de la vivienda, donde la Q_h es la variable ambiental que no tiene mercado. Si se procede estadísticamente, de la

función 5 podemos calcular el deseo marginal a pagar “D”, que será igual a la derivada parcial del precio con respecto a la variable ambiental Qh:

$$D = \partial P / \partial Qh \quad (6)$$

Obteniendo el deseo total a pagar a partir del deseo marginal a pagar, que en forma lineal podemos expresar:

$$P_l = \beta_0 + \beta_i Sh_{li} + \alpha_j Nh_{lj} + \gamma_k Qh_{lk} + u \quad (7)$$

$\forall l: (1, 2, \dots, n); \forall i: (1, 2, \dots, n); \forall j = (1, 2, \dots, n); \forall k = (1, 2, \dots, n)$; donde Sh_{li} : es la matriz $1 \times i$ que representa los i - atributos de la muestra l ; Nh_{lj} : es la matriz $1 \times j$ que representa los j - atributos de la muestra l ; Qh_{lk} : es la matriz $1 \times k$ que representa los k - atributos de la muestra l

$$\text{De esta expresión se deduce que } D = \partial P / \partial Qh = \gamma_k \quad (8)$$

O sea, que γ_k es constante y no depende del nivel alcanzado por la variable ambiental. Además, γ_k informa cuánto varía el precio residencial cuando la variable ambiental varía en forma marginal, dejando lo demás constante.

Los fundamentos teóricos de este procedimiento para obtener los determinantes de precios de la vivienda se encuentran en (Rosen, 1974). Tomando como base la hipótesis hedónica de que los bienes son valuados por la utilidad que brindan sus atributos o características

En un marco histórico, la mayoría de los autores sitúan el origen de la metodología de precios hedónicos (MPH) en los trabajos realizados por (Court, 1939) “para la determinación de precios en el mercado automovilístico”. No obstante, otros autores citados por (Caridad, 2008) como Colwell y Dillmore– “señalan que el verdadero origen de los modelos hedónicos es preciso situarlo diecisiete años antes”, en 1922, cuando (Hass, 1922) “aplica esta metodología al cálculo de precios de la tierra de cultivo”. (Wallace, 1926) “continúa esta misma línea de investigación en Iowa”. También encontramos en 1929 una aplicación de la MPH en el estudio de la calidad de

las legumbres realizada por (Waught, 1929). Los estudios posteriores sobre MPH son atribuibles a (Lancaster, 1966) “que a mediados de los sesenta desarrolla la denominada Nueva Teoría del Consumidor, según la cual la utilidad se deriva de las características de los bienes y no de los bienes en sí mismos”.

Algunos referentes teóricos indican que la primera aplicación de esta metodología al mercado de la vivienda se halló en los trabajos de (Ridker, 1967) “que aportaron evidencia empírica cuando analizaron para St. Louis, Estados Unidos el efecto de la contaminación del aire sobre el precio de mercado de las viviendas, así como las otras características propias de los inmuebles y su vecindario”. Pero es Shervin Rosen en 1974 el primero en proporcionar un tratamiento formal y unificado del modelo teórico de los mercados implícitos subyacentes en el Modelo de Precios Hedónicos MPH. A partir de este momento, el modelo desarrollado por Rosen ha llegado a ser generalmente aceptado como el paradigma del enfoque hedónico. El modelo teórico en que se basa el estudio de los precios hedónicos desarrollado por Rosen, (Rosen, 1974) “plantea que los bienes son valorados por la utilidad que brindan sus atributos o características”. De este modo, los precios implícitos o precios sombra de los atributos son revelados a los agentes económicos a partir de los precios observados de los productos diferenciados y de las cantidades y calidades de los atributos asociados a ellos. Después, Rosen enunció formalmente un MPH en dos etapas para obtener precios (primera etapa) y demandas (segunda etapa) implícitas para cada atributo o característica (Rosen, 1974). Así mismo, (Freeman III, 1979) “facilitó la primera justificación teórica para la aplicación de esta metodología al mercado de la vivienda”.

2.2 APLICACIONES DE LAS TEORÍAS HEDÓNICAS

Un ejemplo clásico sobre la demanda de calidad ambiental fue hecho en 1978 por Harrison y Rubinfeld (Rubinfeld, 1978) para la ciudad de Boston USA, donde quisieron medir los beneficios de una propuesta de regulación ambiental para justificar su costo. Concretamente se trataba de imponer una fuerte regulación a las emisiones de óxidos de

nitrógeno de los autos. Este modelo sirvió de base para construir y aplicar dicha metodología en este trabajo.

Los autores hallaron la ecuación del precio hedónico para la vivienda con 506 observaciones para explicar el precio medio de las casas habitadas por sus propietarios MEDV, utilizando, el censo decenal de población Estadounidense. Emplearon trece variables, entre las que figuran, las características estructurales como los cuartos promedios por casa habitada por su propietario RM y características del vecindario como la tasa de criminalidad o delincuencia per cápita CRIM, otras, de accesibilidad como la distancia ponderada a cinco centros de trabajo DIS y un atributo o mejor un daño ambiental como la concentración anual promedio de óxido de nitrógeno NOX partes por 10 millones por ciudad. Tenemos también la tasa de impuestos por USD 10.000 sobre el valor total de la propiedad TAX; Tasa de alumnos por profesor PTRATIO; Proporción de negros B; Valores porcentuales de la población de menor estrato LSTAT; Índice de accesibilidad a las autopistas radiales por ciudad RAD; Proporción de viviendas ocupadas por sus dueños, construidas antes de 1940 AGE; Variable Dummy que vale 1 si bordea el río Charles y 0 en otro caso CHAS; Proporción de industrias por acre INDUS; Proporción de casas con lotes sobre los 25.000 pie² por ciudad ZN.

Este estudio probó que los beneficios por la limpieza del aire que tendría una familia promedio estaba entre un valor de \$59 y \$118 dólares por año y concluyeron que con la regulación se podía reducir la contaminación de autos con un beneficio esperado de \$100 dólares para la familia típica (Kolstad, 2000).

En Colombia se hizo en el 2011 un estudio con aplicaciones de precios hedónicos y variables espaciales para la vivienda en la ciudad de Bogotá con una buena capacidad predictiva. Los propósitos de éste trabajo fueron fiscales y se centraron en el modelo basado en la heterogeneidad espacial, siendo pionero en Colombia. Y concluyendo que la inclusión de las variables espaciales predice mejor que los modelos tradicionales (Lozano, 2011).

El Colombiano Daniel Revollo plantea que a través de un modelo de precios hedónicos se determina qué variables estructurales y del entorno afectan el precio de la vivienda en Bogotá de localidades pobres y ricas. Asimismo se concluye que la inversión en obras públicas puede afectar positiva o

negativamente el nivel de precios por vía indirecta a través del cambio en el uso de la tierra y dependiendo de la localidad donde sea ejecutada (Revollo Fernández, 2009).

Otro Colombiano utilizó modelos econométricos tradicionales, de la econometría espacial y de regresión ponderada geográficamente, para analizar y comparar a la luz de estos modelos la influencia que tiene en los precios de las viviendas la existencia de una estación del metro en San Javier ubicada en el centro occidente de la ciudad de Medellín. El principal hallazgo en este estudio es que la presencia de la estación del metro tiene una influencia positiva en los precios de las viviendas localizadas en un radio de 600 metros alrededor de la estación; sin embargo, las viviendas cercanas a las vías de acceso del metro a la estación presentan un importante decremento en sus precios (Duque, 2011).

Para terminar con la aplicaciones en Colombia se referencia para Manizales el trabajo de Liliana Velásquez que aplica un método diseñado por el BID para el monitoreo de la calidad urbana que se basa en la combinación de dos enfoques: precios hedónicos y satisfacción con la vida. Esta combinación permite efectuar una valoración de los bienes públicos locales tanto desde el punto de vista del mercado como de la utilidad. Los resultados de la aplicación del método para la ciudad de Manizales, Colombia revelan que, aunque para algunos bienes públicos la valoración que efectúa el mercado resulta suficiente, para otros existe una valoración adicional representada en el bienestar que les aportan a los habitantes y que el mercado no logra capturar (Velásquez, 2011).

Las siguientes aplicaciones fueron citadas en la web por un anónimo:

Tyrväinen y Mettinen (2000), muestran que en Salo (Finlandia) se paga un 4.8% más por una vivienda que tenga vistas a un bosque. Así mismo, la proximidad a un parque forestal también afecta al precio de la vivienda, cada kilómetro adicional que esté más alejada reduce el precio de ésta en un 5.7% (Anónimo).

Bond, Seiler y Seiler (2002), examinan el efecto que las vistas del lago Erie en Cleaveland (EE.UU) tienen sobre el valor de una casa. Señalan que una de las situaciones más agradables en esta vida es la sensación de placer que proporciona la vista de una gran extensión de agua. En su estudio, muestran que una casa con vistas al lago cuesta \$256.544 (89,9%) más que una casa que carezca de esta característica (Anónimo). Des Rosiers (2002) analiza el impacto que los tendidos eléctricos de alta tensión tienen sobre el precio de las viviendas en Brossard, cerca de Montreal (Canadá). En concreto, concluye que el impacto visual que tiene la vista directa de una torre de alta tensión ejerce un impacto negativo sobre el valor de la vivienda. En conjunto, la reducción del valor es de aproximadamente un 10% (Anónimo).

(Wilhelmsson, 2002) analiza el impacto que tiene el ruido procedente del tráfico rodado sobre el valor de viviendas unifamiliares en un barrio de Estocolmo (Suecia). En particular, los resultados obtenidos demuestran que en promedio por cada decibelio adicional el precio de la vivienda se reduce un 0,6%, mientras que una casa situada en un lugar ruidoso vale, en promedio, un 30% menos que otra situada en un lugar tranquilo (Anónimo).

Además de la valorización de inmuebles, a partir de la aplicación de modelos hedónicos ha sido posible establecer efectos sobre la valorización de distintos tipos de bienes raíces ante la presencia de diversas externalidades. Recientemente, por ejemplo, George Lever determinó que en la ciudad de Sao Paulo la proximidad de una favela genera una desvalorización de un 19% en las viviendas cercanas, pero que dicha desvalorización disminuye en un 2% por cada 100 metros que se aleja la favela. En la localidad de Pirque, en Santiago, se estimaron desvalorizaciones de distinta magnitud en los terrenos afectados por el trazado de un gasoducto, dependiendo de la cercanía a éste. También en Sao Paulo, se calculó una valorización de un 12.6% para viviendas próximas a áreas verdes, resultado similar al descubierto en la V Región de Chile, donde se estimó una valorización de un 12.9% en desarrollos residenciales con más de un 10% de su superficie destinada a áreas verdes (Lever, 2000).

Para terminar con estos referentes teóricos, se presenta una serie de autores que han trabajado el objetivo de obtener el precio de la vivienda, utilizando el MPH:

(Ridker, 1967)” emplea la variable ingreso como proxy para las características de la propiedad y del vecindario no incluidas explícitamente en su modelo de precios de viviendas, y encuentran un efecto positivo”; (Witte, 1974) “dice que las viviendas son productos heterogéneos, por lo tanto, los diferentes precios a los que se transan no reflejan necesariamente diferencias en valoración monetaria, sino que pueden ser atribuidos a diferencias en sus características”. Esta heterogeneidad se vuelve evidente cuando se comparan viviendas entre barrios o comunas, ya que es más factible que las viviendas encontradas en la base de datos sean muy diferentes. Por ejemplo, una proporción de la población tiene ingresos más altos que cualquier otro barrio y las viviendas asociadas a esos ingresos tienen características muy distintas y de mayor costo que en un sector de bajos ingresos. Por lo tanto, para efectuar comparaciones de costo de viviendas entre barrios es necesario corregir la heterogeneidad espacial de ellas.

(Manning, 1988) “explica diferenciales de precios de terrenos entre ciudades de Estados Unidos, por diferenciales de ingresos de los residentes”. (Peiser, 1987), “concluye que vecindarios con mayores ingresos determinan mayores rentas al comercio circundante, lo que produce mayores precios de la tierra urbana en su período de desarrollo”; (Roback, 1982) “utiliza la variable densidad poblacional como proxi para el nivel de urbanización del sector, encontrándole todos ellos coeficientes positivos”; (Manning, 1988) “pese a advertir que mayor densidad poblacional está asociada a mayores índices de delincuencia y polución, encuentra empíricamente que, tanto aumentos de densidad como mayores velocidades de crecimiento de la densidad, provocan aumentos en los precios de los bienes raíces”. (Manning, 1988) “explica el predominio de los efectos positivos por las mayores oportunidades económicas, culturales y sociales que induce la mayor densidad”; (Diamond, 1980)” presenta estudios en distintas ciudades que identifican una gradiente de precios determinada por la distancia a los centros de negocios (central business district)”; (Johnson, 1987)”descubre que viviendas alejadas de los centros de negocio pueden revertir la declinación de los precios si cuentan con buenas vías de acceso”; (Li, 1980)”sostienen que se puede producir un exceso de cercanía al centro, cuando este genera congestión”.

(Palmquist, 1984) nota que el efecto neto de usar los precios de venta incluyendo el valor de la renta es probablemente pequeño debido a otros efectos contrarios a la dirección del impuesto a la propiedad. Los datos sobre precios de ventas son más utilizados en la estimación de modelos hedónicos, mientras que los datos sobre renta son sólo aplicados en modelos de postura de renta.

(Maller, 1977) ha enfatizado la importancia de asumir la complementariedad débil², por ejemplo, las familias tienen una DAP positiva por calidad ambiental sólo si ellos actualmente viven en esta zona. Si la complementariedad débil no es un supuesto válido la estimación hedónica debería subestimar la Disponibilidad a Pagar. La distinción entre la

² La complementariedad débil se presenta cuando se desconoce la relación que liga el precio de la vivienda con la cantidad del bien ambiental. Esta complementariedad débil supone que la utilidad marginal del bien ambiental se hace 0 cuando la cantidad demandada del bien de mercado es 0, en otras palabras, existe complementariedad débil entre un bien privado y un bien ambiental, si la utilidad marginal que proporciona el bien ambiental (medida por la disposición marginal a pagar por una unidad adicional del mismo, su precio implícito) se hace 0 al dejar de consumir el bien privado.

percepción de las familias por calidad ambiental y la medición de la calidad ambiental actual es importante. Los estudios hedónicos asumen implícitamente que las familias pueden percibir las diferencias en calidad ambiental.

(Harris, 1981) nota que la estructura de los precios hedónicos debería reflejar solamente la *DAP* de los hogares por un atributo en particular, si el nivel de medición de este atributo corresponde a lo percibido por el consumo de las familias. La estimación del precio de un atributo requiere la percepción de la calidad ambiental como una variable independiente.

Los problemas relacionados con la aplicación de modelos hedónicos son las imperfecciones de mercado, información imperfecta (faltante) y los problemas en la medición del error. Para las aplicaciones empíricas se supone que el mercado está en equilibrio y la oferta por viviendas es fija. Estos supuestos son válidos para el corto plazo pero no para el largo plazo. Por lo general, el mercado de la vivienda en el largo plazo no está en equilibrio.

Para (Cropper, 1981) "la no observación de los productos o las características de los agentes y los errores de medición pueden tener una gran influencia sobre la estimación hedónica". Para una profundización de esta temática se puede consultar (Freeman III, 1979) y (Kolstad, 2000).

Algunos referentes espaciales mencionados por (Moreno, 2000) son: (Student, 1914) "que trató los problemas causados por la estructura y la dependencia espacial y sus efectos en la validez de los métodos estadísticos tradicionales". "Pero el desarrollo de un campo separado de la estadística espacial se atribuyen a la obtención de los primeros índices formales para detectar la presencia de autocorrelación espacial" en los trabajos de (Moran, 1948).

Sin embargo, es en la década de los setenta, cuando surge el término econometría espacial, acuñado por (Paelinck, 1979) y originariamente referido a los esfuerzos realizados para abordar la autocorrelación espacial en los términos de perturbación de

las regresiones, así mismo, designó un campo creciente de la economía regional, que trataba de desarrollar modelos econométricos multirregionales. En su libro *Spatial Econometrics*, Paelinck y Klaassen destacan cinco características principales del nuevo campo en relación con los temas considerados en el mismo:

- 1) El papel de la interdependencia espacial en modelos espaciales.
- 2) La asimetría en las relaciones espaciales.
- 3) La importancia de factores explicativos localizados en otros lugares.
- 4) Diferenciación entre interacciones ex-ante y ex-post.
- 5) Modelización explícita del espacio

En (Anselin L. , 1988a) “la econometría espacial se define más concretamente como la colección de técnicas que tratan las peculiaridades causadas por el espacio en el análisis estadístico de los modelos tradicionales de la ciencia regional”. (Anselin & Getis, 1992) “puso a disposición de la comunidad investigadora el programa SpaceStat” inicialmente, pero luego diseñó el programa GEODA que ha permitido procesar las extensas bases de datos socio-económicas y geo-referenciadas.

3. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

3.1 ANÁLISIS ESPACIAL

Una de las técnicas más usuales para determinar cuáles son los atributos relevantes y la importancia relativa de cada uno de ellos, es el análisis de regresión de corte transversal, sin embargo existen interacciones espaciales que en la mayoría de estos trabajos no son tenidos en cuenta. Es por eso que este trabajo no solo hace los análisis de los efectos marginales, sino que muestra la interacción espacial de los datos, aprovechando la información georeferenciada. La Cuestión espacial propuesta por Krugman en la nueva geografía económica NGE permite conectar y relacionar los efectos marginales que se obtienen en el análisis hedónico con los efectos espaciales de vecindad como la imitación, los spill-overs, las externalidades, el contagio, etc. La econometría espacial facilita ensayar métodos globales y locales de análisis de autocorrelación espacial en las observaciones que se construyen y las variables que se utilizan. La no inclusión de las interacciones espaciales puede sesgar los resultados e invalidar los test de significancia que se utilicen.

Como se mencionó anteriormente, existen dos tipos de interacciones espaciales: dependencia espacial y heterogeneidad, que se describen a continuación.

3.2 DEPENDENCIA ESPACIAL O AUTOCORRELACIÓN ESPACIAL

La dependencia espacial se presenta cuando una de las variables explicativas asume valores similares a otras que están geográficamente cercanas, dando lugar al surgimiento de clústers. Si los valores altos están relacionados con altos precios en las viviendas vecinas, entonces la autocorrelación es positiva, y si los valores altos se corresponden con valores bajos, la autocorrelación es negativa. Esto se puede observar en el mercado de la vivienda, donde las casas costosas tienden a estar agrupadas al igual que las casas baratas. Esta autocorrelación espacial aparece por la existencia

de una relación funcional entre lo que ocurre en un punto determinado del espacio y lo que ocurre en otro lugar (Moreno, 2000).

Por ejemplo, el valor que toma una variable en un predio *cartográfico* no viene explicado únicamente por condiciones internas, sino, también por el valor de esa misma variable en predios vecinos, incumpléndose, por tanto, el supuesto de independencia entre las observaciones muestrales y, de esta forma, la existencia de la dependencia espacial no hace posible cambiar la localización de los valores de una variable sin afectar a la información contenida en la muestra. La dependencia espacial no puede resolver sus problemas con la econometría estándar, debido a la multidireccionalidad que domina las relaciones de interdependencia entre unidades espaciales y, por esta razón, surgió la econometría espacial (Moreno, 2000).

3.3 HETEROGENEIDAD ESPACIAL

La otra interacción es la heterogeneidad espacial que muestra la inestabilidad estructural y la heteroscedasticidad en el espacio de los datos en estudio que pueden variar de acuerdo con la localización como el paisaje, la contaminación, la tasa de criminalidad, las cuales tienden a ser diferentes en cada barrio o cuadra, lo cual, se puede resolver con técnicas econométricas existentes para series temporales.

La heterogeneidad espacial indica la presencia de diferencias sistemáticas en la ocurrencia de un fenómeno en distintas zonas geográficas, por ejemplo los precios del norte son distintos a los del sur o si las variables explicativas tienen un efecto distinto en ciertas regiones.

3.4 IDENTIFICACIÓN DE PATRONES ESPACIALES

Es muy importante identificar los patrones espaciales para entender cuál de ellos describe mejor los datos y saber si vamos por el camino de la heterogeneidad espacial o por el de la correlación espacial. Para este procedimiento se han presentado algunos estadísticos globales como los índices de Moran y la C de Geary, y otros locales como Lisa y Glisa (Moreno, 2000)

La índice de Moran es una medida de autocorrelación espacial que es análoga al coeficiente de correlación, cuyo valor está entre -1 y 1, significando autocorrelación espacial negativa fuerte con el -1 y autocorrelación positiva fuerte con el 1. Antes de construir la Índice de Moran se debe definir la matriz de vecindad espacial. Este es uno de los temas operacionales cruciales en la econometría espacial, ya que se requiere expresar formalmente la estructura de dependencia espacial que va ser incorporada al modelo. Esta matriz representa el patrón espacial entre las observaciones que llamaremos localizaciones (Anselin & Getis, 1992).

3.5 FORMULACIÓN DE LA ÍNDICE DE MORAN

Dado un conjunto de n localizaciones (A_1, \dots, A_n), se construye la matriz W_{ij} , donde cada elemento de W_{ij} , representa una medida de proximidad entre A_i y A_n . Entonces la Índice de Moran se define de la siguiente manera:

$$I(d) = \frac{\sum_i^n \sum_{j \neq i}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{s^2 \sum_i^n \sum_{j \neq i}^n w_{ij}} \quad (9)$$

Donde

$$s^2 = \sum_n^1 (X_1 - \bar{X})^2 \quad (10)$$

X_i denota el valor observado de la población en la localización i , \bar{x} es el promedio de la x_i sobre las localizaciones de n y el W_{ij} es la medida espacial del ponderador de proximidad. Es importante observar que los elementos de W_{ij} son no-estocásticos y exógenos al modelo. El estadístico I de Moran es positivo cuando los valores observados de las localizaciones a cierta distancia (d) tienden a ser similares, negativo cuando tienden a ser disímiles, y aproximadamente cero cuando los valores observados se distribuyen en forma aleatoria e independiente sobre el espacio. Respecto a la distribución del contraste, cuando el tamaño muestral es suficientemente grande la I de Moran estandarizada sigue una distribución asintótica normal. Si se asume que la distribución espacial de los datos es normal, la varianza del Moran para una muestra de tamaño n puede ser calculada y por lo tanto también su significatividad estadística.

Este test tiene como hipótesis nula la no autocorrelación espacial entre los valores observados sobre las localizaciones y puede ser estimado con base a la siguiente variable aleatoria estandarizada:

$$Z(d) = \frac{I(d) - E(I)}{\sqrt{\text{Var}(I)}} \quad (11)$$

Donde, $E(I)$ y $\text{VAR}(I)$ son la esperanza y la varianza de la I de Moran respectivamente (Sánchez, 2008).

En este caso, el resultado de no significatividad indica que no hay autocorrelación espacial significativa dada la estructura de vecindad utilizada, pero si el valor es significativo, llevará a no rechazar la hipótesis nula de no autocorrelación espacial, mientras que un valor significativo positivo o negativo del mismo informará acerca de la presencia de un esquema de autocorrelación espacial positiva o negativa, es decir, la presencia de una concentración de valores similares o disímiles de x entre predios vecinos (Moreno, 2000).

Los rasgos que caracterizan el test de la I de Moran, cuando analiza todas las regiones de la muestra de forma conjunta es detectar la presencia o ausencia de un esquema de dependencia espacial a nivel univariante con un

esquema global. Por eso, este test no es recomendable donde hay inestabilidad en la distribución espacial de la variable objeto de estudio, por ejemplo, en procesos no estacionarios espacialmente, se les dificulta detectar clúster en áreas específicas del territorio. Esta limitación puede ser superable por medio del cálculo de los contrastes locales de asociación espacial entre los que se encuentran los índices de LISA Y GLISA que tocan un esquema local bivariante para obtener valores estadísticos por cada región de la muestra, pudiendo así, analizar la situación de cada unidad espacial por separado (Moreno, 2000).

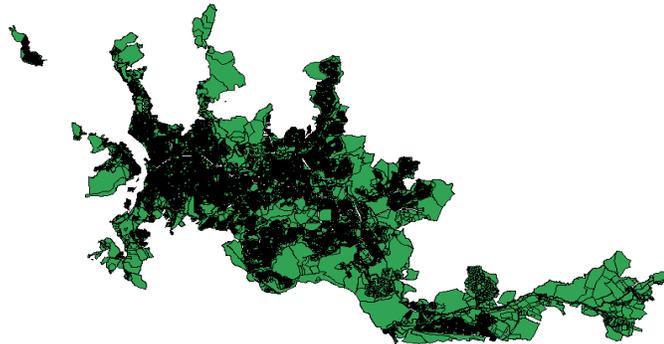
Por último se quiere resaltar que el principal problema es la estimación de la dependencia espacial que se presenta cuando una variable tiende a asumir valores similares en unidades geográficamente cercanas, dando lugar al surgimiento de clusters, donde la presencia de clusters espaciales viola el supuesto de la independencia de las observaciones y genera problemas en la correcta estimación de los modelos OLS (Sánchez, 2008).

“Si se ignora este tipo de autocorrelación, los estimadores de las regresiones serán ineficientes, los estadísticos t y F estarán sesgados y el valor del R^2 será engañoso” (Anselin & Getis, 1992).

3.6 POBLACION Y DATOS

El trabajo se realiza con información referida al municipio de Manizales que se tiene en la secretaría de planeación, el IGAC, CORPOCALDAS, Cámara de Comercio y CAMACOL suministrada en diciembre de 2011 y resumida en una gran base de datos que se preparó con la forma shape para poder ser validada por el software geoda suministrado por el PhD Luc Anselin. En esta base de datos encontramos la información sobre las variables estructurales, de calidad y medioambientales que se van a utilizar en el modelo. Se dispone de la información de 67.802 predios residenciales de un total de 110.339 predios que tiene la ciudad, que se van a utilizar en los análisis. La información está geográficamente referenciada, la cual se presentará en un mapa donde se puede observar la distribución espacial de los datos que se van a usar en este modelo, como se puede ver en el siguiente mapa:

Mapa 1. Distribución espacial de los datos



Construcción propia con la ayuda de Geoda

Las partes oscuras señalan la cantidad de predios que se concentran en la distribución geoespacial, donde no se alcanza a detallar la figura de los predios, pero si se utiliza el zoon del programa Geoda, se puede apreciar mejor la localización de los predios como se muestra en la siguiente gráfico que seleccionó una parte de la ciudad y

donde se puede observar que el tamaño de cada predio es proporcional a su extensión por metro cuadrado, los cuales se pueden ver en las formas rectangulares de los predios:

Mapa 2. Distribución espacial de datos en el centro



Elaboración propia con ayuda de geoda.

Con esta información se trata de hallar la ecuación del precio hedónico para la vivienda con 67.802 observaciones para explicar los determinantes del avalúo por metro cuadrado de las casas habitadas por propietarios e inquilinos, utilizando la información institucional que se mencionó más arriba.

3.7 EXPRESIÓN DEL MODELO

$$AVM^2 = f(IC, PUNTAJE1, RIESGO, ATG, LADERA, Z) \quad (12)$$

La variable dependiente AVM^2 , corresponde al avalúo del bien raíz, el cual se asume está determinado por los argumentos de la función f . Normalmente se tiende a privilegiar el uso de esta variable como el avalúo por metro cuadrado en lugar del avalúo total del inmueble, siguiendo la indicación teórica (corroborada por la experiencia empírica) de que la superficie de éste ejerce una fuerte influencia como variable explicativa del valor del metro cuadrado.

Donde, la variable dependiente es:

AVM² que es el avalúo por metro cuadrado de la vivienda

y las variables explicativas son:

IC es el índice de construcción igual al área construida sobre la superficie del predio

PUNTAJE1 es el índice de calidad de la vivienda

RIESGO es el peligro de deslizamientos

ATG son áreas de tratamiento geotécnico con pantallas de concreto

LADERA es el peligro de estar cerca a este tipo de terreno

Z. son el conjunto de parámetros que acompañan a cada atributo y que constituyen los precios implícitos (sombra) de cada característica del inmueble

3.8 DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES

Tabla 1

Nombre de la variable	nombre de la variable en el modelo	Descripción
Variable dependiente		
Avalúo de la vivienda	LNAV ²	Log del avalúo por metro cuadrado
Variables explicativas		
Índice de construcción	LNIC	Es el log. del índice de construcción que es igual al área construida sobre la superficie del predio
Calidad de la vivienda	LNPUNTAJE1.	La calidad de la vivienda considera los siguientes seis atributos: El destino de la vivienda, el estrato socioeconómico, el N° de pisos de la vivienda, locales, baños y habitaciones.
Riesgo de deslizamiento e inundación	RIESGO	Variable dummy con valor de 1 si tiene este peligro y 0 en caso contrario
Tratamiento de ladera	LADERA	Variable dummy con valor de 1 si tiene este peligro y 0 en caso contrario

áreas de tratamiento geotécnico	ATG	Variable dumy con valor de 1 si tiene este peligro y 0 en caso contrario
Avalúo del predio vecino	W-LNAVM ² .	Es el log. del avalúo por metro cuadrado del predio vecino

Los argumentos de la ecuación hedónica (12) se agrupan en cinco categorías que contienen las características estructurales, de calidad y ambientales, se describen a continuación:

1- El índice de construcción, que reúne dos atributos: área construida y superficie del lote.

Esta variable se usa en el modelo como el logaritmo del índice de construcción (LNIC)

2- La calidad de la vivienda que considera los siguientes seis atributos: El destino de la vivienda, el estrato socioeconómico, el N° de pisos de la vivienda, locales, baños y habitaciones. En la ecuación hedónica esta variable lleva el nombre de logaritmo índice de calidad de la vivienda llamado LNPUNTAJE1.

Los temas ambientales consideran las otras tres variables, a saber:

3- Las zonas de tratamiento geotécnico en 453 puntos de la ciudad (ATG).

4- El factor riesgo detectado en 28 sitios del municipio (RIESGO).

5- El factor ladera ubicado en 99 espacios de este ente territorial (LADERA).

Adicionalmente se tiene el avalúo de la propiedad como variable dependiente, la cual se llama en el modelo: logaritmo del avalúo por metro cuadrado de los predios LNAVM². También se utiliza el avalúo por metro cuadrado de los predios vecinos W-LNAVM².

En el presente trabajo, se utiliza el logaritmo de las siguientes variables: del avalúo por metro cuadrado del predio LNAVM², del índice de construcción LNIC, del

índice de calidad de la vivienda LNPUNTAJE1, ya que estos permiten una fácil comprensión de los coeficientes de la regresión, interpretándolos como elasticidades. Se espera una relación positiva entre LNIC, LNPUNTAJE y el LNAVM².

También se utilizaron unas dumys que identifican las variables ambientales RIESGO, LADERA y ATG, dando el valor de 1 si tiene alguno de estos peligros y 0 en caso contrario, esperando una relación inversa entre estas variables ambientales y el LNAVM².

Este camino conduce a la ecuación del precio hedónico de la vivienda, como se indicó, en los objetivos del presente trabajo.

Las zonas de tratamiento geotécnico ATG mide la inestabilidad del terreno en 453 puntos críticos que tiene detectados el plan de ordenamiento territorial POT para Manizales (POT, Acuerdo N° 663 de 13 sep, 2007), la variable RIESGO que mide la vulnerabilidad del predio a las amenazas de la naturaleza como inundaciones, deslizamientos, avalanchas encontradas en 28 sitios de la ciudad y, por el otro lado, está la variable LADERA que se debe tratar o está en tratamiento en 99 puntos del área urbana para mitigar su peligro (POT, Acuerdo N° 663 de 13 sep, 2007). Se tiene también el valor del avalúo del predio por metro cuadrado que equivale al 70% del precio total de mercado de la vivienda.

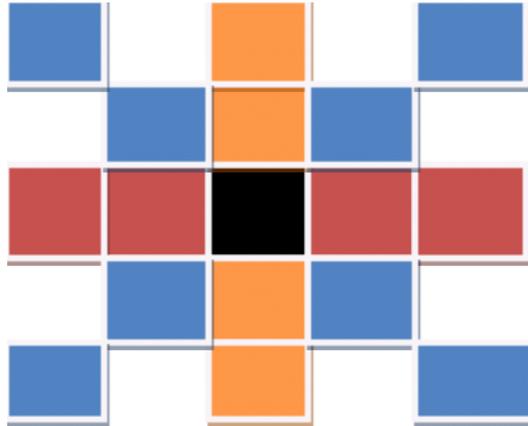
Se consideró como variable dependiente el logaritmo del avalúo por metro cuadrado de los predios ocupados por las viviendas y otras construcciones dedicadas a la industria, comercio y servicios, mientras que las otras cinco variables mencionadas más arriba serán las explicativas.

3.9 ANÁLISIS EXPLORATORIO

Una de las formas de detectar patrones espaciales es a través del estadístico índice de Moran (I de Moran) (Moran, 1948), que es análogo al coeficiente de correlación y sirve para medir la autocorrelación espacial. Para esto es necesario definir la matriz de ponderadores.

En la matriz de ponderadores espaciales utilizada para el cálculo de la I de Moran, se definieron como vecinos, aquellos predios que siguen el criterio de contigüidad de reina o *queen*, que establece, que serán vecinos del lote *i* todos los predios que comparten algún lado o vértice con *i*. Cuando se presentan algunos problemas de redundancias o rutas circulares en los predios vecinos que conduce a resultados espurios, se deben eliminar de las matrices de pesos espaciales estos inconvenientes para lograr una adecuada aproximación a la creación de retardos espaciales, lo cual, se hace posible definiendo la contigüidad de órdenes superiores. Para este trabajo se determinó que dos predios *i* y *j* serán contiguos de segundo orden, si ambos están separados por un tercer predio que es contiguo de primer orden a ambos, encontrando 16 vecinos posibles al predio *i*, como se puede apreciar en el siguiente gráfico, donde el cuadro negro es la reina y se puede mover por todos los lados y los vértices hasta el segundo cuadro.

Gráfico 1



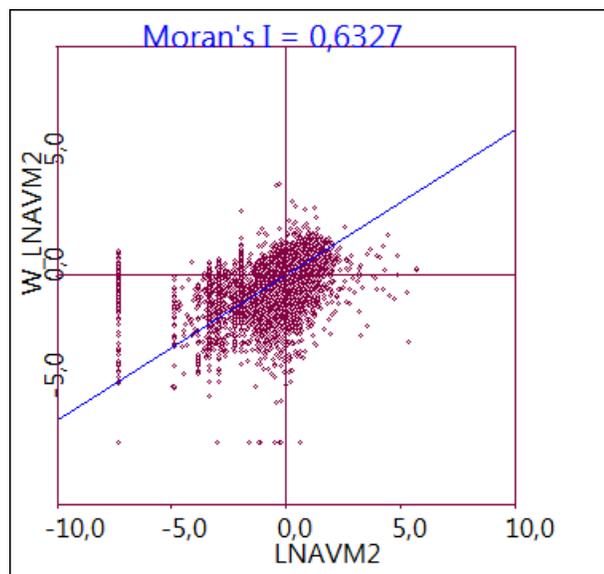
Construcción propia

4. APLICACIÓN EMPÍRICA

4.1 ANÁLISIS UNIVARIANTE DE LA I DE MORAN PARA EL LOGARITMO DEL AVALÚO POR METRO CUADRADO

Se trata de relacionar el avalúo de una vivienda en el eje X con el avalúo de las viviendas vecinas que se representan en el eje Y.

Gráfica N° 2



I: 0,6327 P-Value: 0,002 Sd: 0,0027

Construcción propia con la ayuda de Geoda

En la gráfica N° 2, el índice de Moran presenta un valor alto de 0,6327 que muestra la existencia de una correlación espacial positiva y fuerte entre el logaritmo (log.) del avalúo por metro cuadrado de los predios LNAV² y el log. del avalúo por metro cuadrado de los predios vecinos W-LNAV², indicando con esto, que los predios más costosos tienden a situarse cerca de los predios de mayor valor y los predios de menor valor tienden a situarse cerca de los más baratos, sin embargo, quedan algunos datos en el II y IV cuadrante que no permiten presentar un índice de Moran más elevado, que muestre mayor similitud entre los predios observados con este criterio de vecindad utilizado. Es importante resaltar que el índice de Moran es significativo al 0,002, indicando que se puede rechazar la hipótesis nula de no autocorrelación espacial entre los valores observados.

A continuación se presenta una tabla que resume el análisis espacial global de las cinco variables explicativas y la variable dependiente. Se presenta la I de Moran con su correspondiente significatividad:

Tabla 2. Análisis univariante de las variables utilizadas en el modelo

Variabes	Índice de Morán	Desviación standar	P Seudo P-Value
LNavalúo por M2	0,6327	0,0027	0,002
LNíndice de construcción	0,3617	0,0025	0,002
Riesgo: 1=riesgo	0,7997	0,0025	0,002
Ladera 1=ladera	0,7398	0,0027	0,002
ATG: 1=ATG	0,4985	0,0026	0,002
LNíndice calidad de la vivienda	0,4905	0,0026	0,002

Construcción propia

El mismo análisis univariante realizado para la variable dependiente logaritmo del avalúo por metro cuadrado se puede hacer para las demás variables. Por ejemplo el

índice de construcción presenta un índice de morán de 0,3617, que muestra la existencia de una correlación espacial positiva y débil entre los índices de construcción de las viviendas, es decir que pueden haber viviendas de bajo índice de construcción con vecinos de alto índice de construcción. La variable riesgo fue la que mejor correlación registró en este análisis global, marcando un índice de moran de 0,7997, indicando una correlación espacial positiva y fuerte entre las viviendas con riesgo de deslizamientos o sea que las casas con este riesgo tienen vecinos con el mismo problema. Es importante marcar que la índice de morán es significativa al 0,2 % para todas las variables analizadas, indicando que hay una buena autocorrelación espacial entre los valores observados.

(Anselin & Getis, 1992) Proponen una serie de test que permiten detectar el tipo de relación espacial que se encuentra presente en los datos. El programa mostró un estadístico de akaike muy favorable en los errores espaciales de 181.504 (anexo 3), mientras que en los rezagos espaciales (modelo espacial-lag) se observó un resultado mucho mayor de 202.180 (anexo 2), indicando que el modelo Spacial-error se puede acercar a estos datos, sin embargo, se va a presentar el comparativo de OLS, Spacial-lag y Spacial-error para observar que el modelo que mejor explica las variaciones en el log. del avalúo de los predios por metro cuadrado es el spacial-lag, especialmente, cuando se mira la relación de las variables $LNAVVM^2$, RIESGO y LADERA con sus vecinos y su grado de significancia, pero las otras dos variables explicativas ATG y LNPUNTAJE1 tienen mejores resultados en el modelo spacial-error con una significancia de 0,2 %.

En la sección anterior se hizo el análisis espacial global, en los cuales el término global se refiere al hecho de que en estos modelos se asume que las relaciones entre las variables son las mismas a lo largo de toda la zona analizada.

A continuación describimos la parte del modelo que se conoce como regresión geográficamente ponderada (GWR) que busca analizar la no estacionariedad de los datos. Esta técnica hace posible explorar si la asociación entre el valor de los predios y

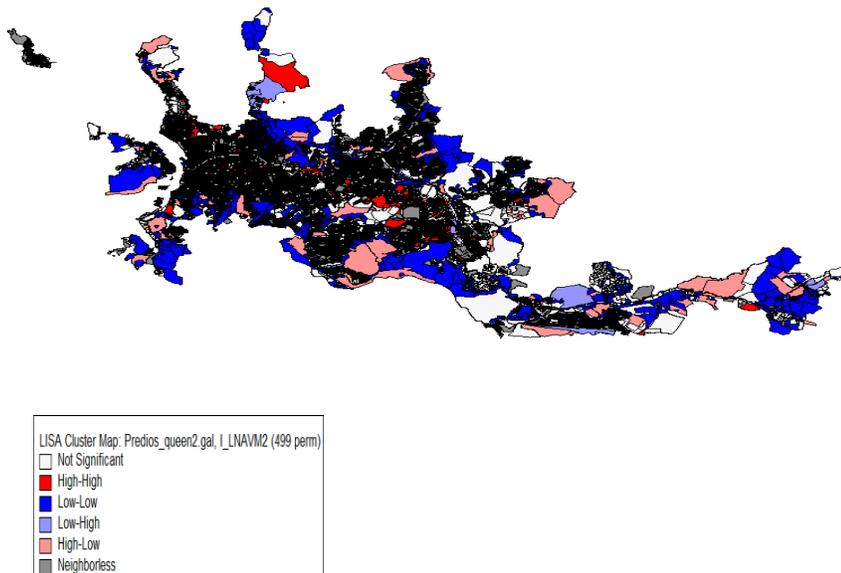
sus variables explicativas es constante en toda la región o si es posible identificar variaciones por zona.

4.2 ANÁLISIS ESPACIAL LOCAL LISA

Estos análisis generalmente se realizan sobre los mapas que genera Geoda tanto para los análisis espaciales (colores rojo, azul, lila y rosado), como para el mapa que muestra la significancia de las variables (diferentes tonos de color verde). Hacer el análisis espacial Local LISA Univariante del $LNAV\bar{M}^2$ con el avalúo del vecino ($W-LnAVM^2$) que se puede relacionar en la siguiente mapa N° 3, pero que dada la cantidad de 67.802 predios, no se alcanza a visualizar plenamente los colores que identifican las relaciones espaciales. Para resolver este problema se presenta un Zoom que amplía con más detalles los predios y los colores, tanto en el análisis espacial local, como en el mapa que muestra el grado de significancia.

El siguiente mapa muestra el análisis espacial local LISA de la variable $LNAV\bar{M}^2$

Mapa 3. Análisis espacial local LISA de la variable $LNAV\bar{M}^2$



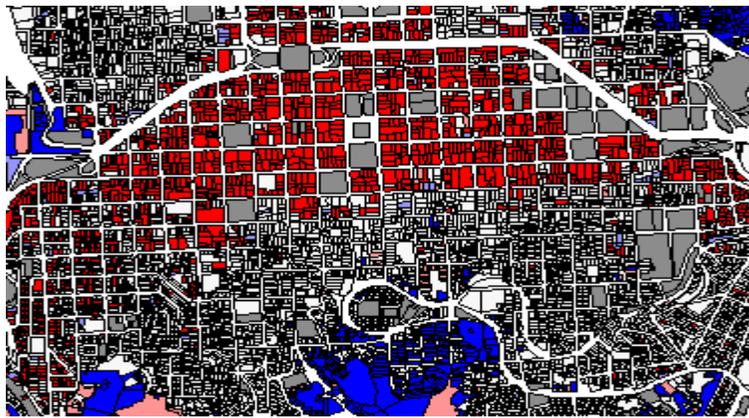
El color rojo (High-high) quiere decir que los predios de alto valor se ubican cerca de los predios costosos de los vecinos como se observa en el centro de la ciudad.

El color azul (low-Low) indica que los predios de bajo costo se localizan cerca de los lotes baratos como los que se ven de color azul en el mapa.

El color lila (Low-High) muestra los predios de bajo costo rodeados de lotes vecinos costosos.

El color rosado (High-Low) referencia los lotes costosos que están rodeados de lotes baratos.

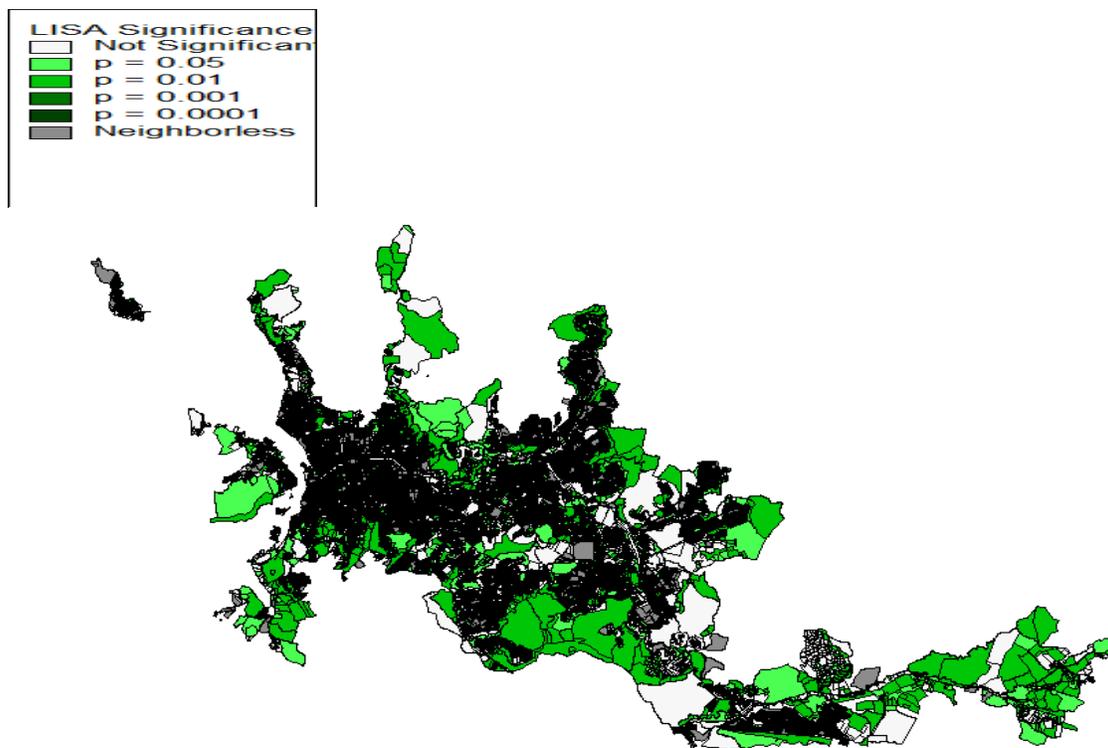
Mapa 4. Análisis espacial lisa de LNAV² sector centro ampliado



En esta sección de la ciudad que va desde el Parque Olaya hasta el Parque Fundadores se puede ver que los mayores avalúos de los predios ocupados por viviendas y negocios dedicados al comercio y servicios (puntos de color rojo) se ubican cerca de los otros predios costosos. Este fenómeno espacial se puede observar entre la carrera 24 y la avenida del centro desde la calle 14 hasta la calle 33. Los puntos de color gris corresponden a los predios ocupados por parques, iglesias, instituciones públicas como la alcaldía, la gobernación, viaductos y otros predios que no son significantes en el análisis Lisa.

Las zonas azules Low-Low localizadas entre las carreras 27 y 33 que van desde las calles 20 hasta la 27 muestran los avalúos bajos de los predios que se ubican cerca de lotes baratos con un alto grado de significancia, según el análisis siguiente.

Mapa 5. Grado de significancia representado en el mapa lisa univariante del LNAVM²



Nuevamente la cantidad concentrada de datos no deja ver el tono de los colores verdes, lo que exige utilizar el Zoom del programa para ampliar el sector central de la ciudad

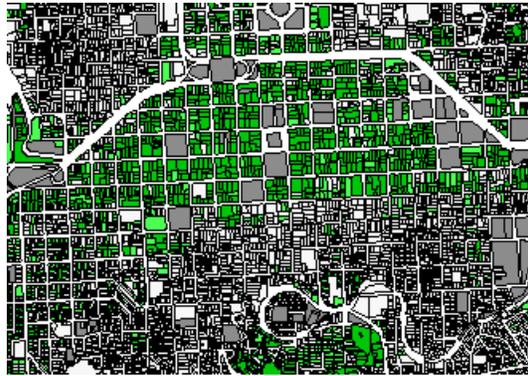
El color verde claro indica que los lotes ubicados en esta zona son significativos al 5 %.

La zona color verde es significativa al 1 %, el sector verde menos obscuro es significativo al 0,1 % y la zona con el verde más obscuro es la más significativa de todas con un 0,01 %.

El mapa 6 del sector centro ampliado, registra mejor el grado de significancia que el mapa 5, como se puede ver a continuación:

Sector: Parque Olaya a Fundadores

Mapa 6 Grado de significancia Lisa del LNAVM² sector centro



Construcción propia con ayuda de Geoda

Aquí, se ve que los predios de alto valor se ubican cerca de los predios costosos de los vecinos HIGH-HIGH (color rojo mapa 4) con un grado de significancia de $P = 0,01$ (color verde mapa 6).

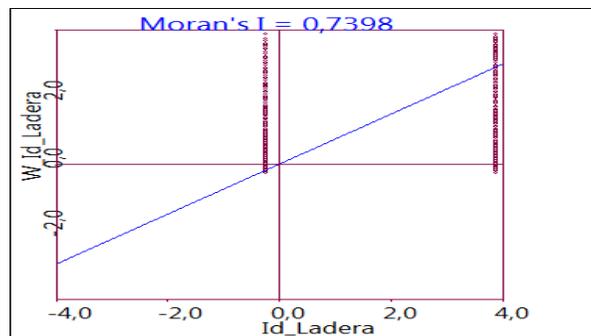
Los puntos de color azul indican que los predios de bajo costo se ubican cerca a los vecinos que tienen predios baratos LOW-LOW con un grado de significancia de $P = 0,01$, mostrando algo parecido a una clusterización de los predios baratos (mapa verde).

Los predios de bajo costo con vecinos que tienen predios caros LOW-HIGH están esparcidos por la parte central de la ciudad.

4.3 Análisis exploratorio de la variable ambiental Ladera

Se comienza este estudio con un análisis espacial univariante, relacionando las viviendas que tienen esta amenaza de ladera con las viviendas vecinas que también la tienen.

Gráfica 3



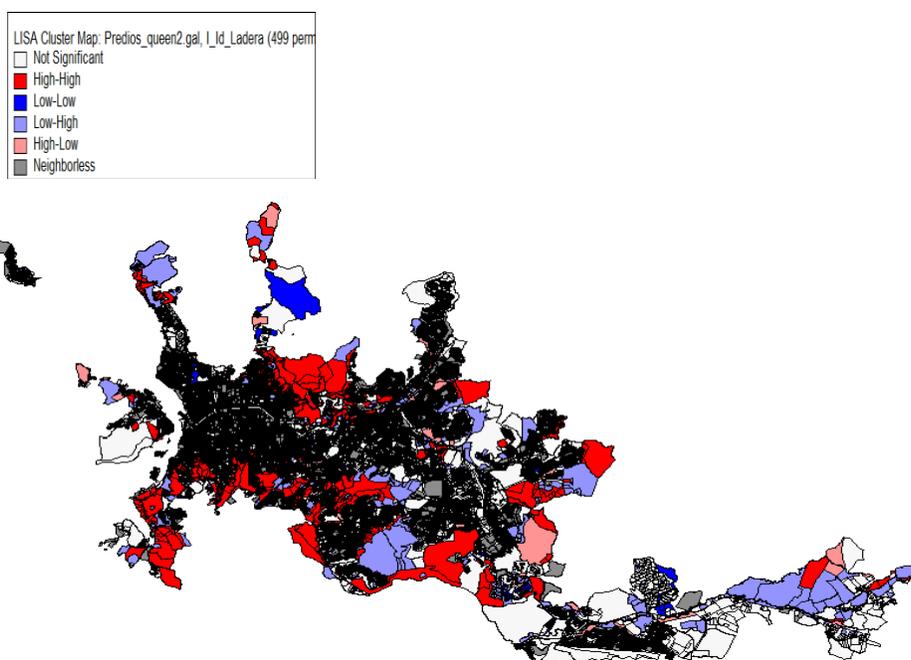
P-value: 0,002 I:0,7398 Sd: 0,0027 Permut: 499

Construcción propia

Este análisis global muestra una relación espacial positiva y fuerte del Índice de Moran igual a 0,7398 en un análisis univariante de la variable ambiental ladera indica que el criterio de contigüidad de la queen de segundo orden es relevante en el análisis espacial, mostrando una buena autocorrelación espacial.

4.4 ANÁLISIS LISA DE LADERA

Mapa 7. Análisis espacial lisa de la variable ladera



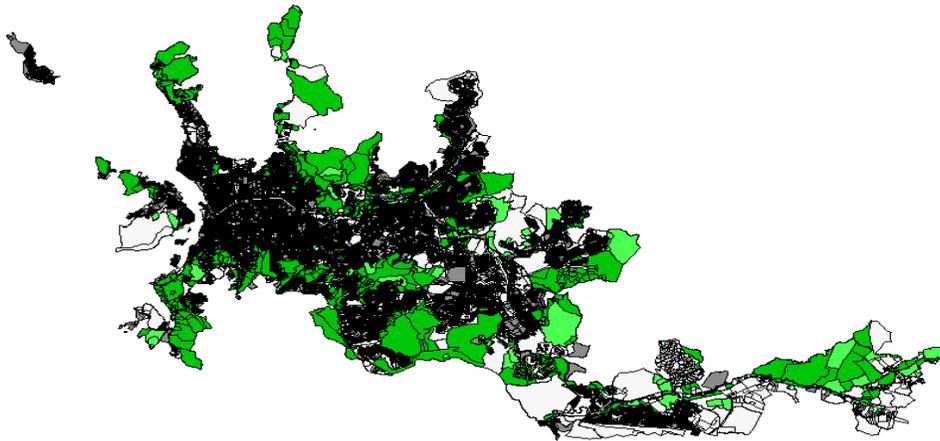
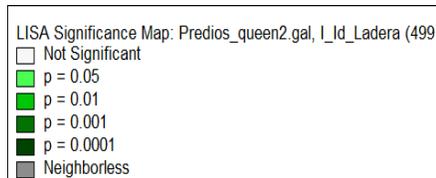
El color rojo (High-High) indica que las viviendas con esta amenaza alta se agrupan alrededor de la ladera o sea que los vecinos también tienen este peligro.

El color azul (Low-Low) muestra la baja amenaza de las viviendas con vecinas que tampoco tienen este peligro. El lila (Low-High) tienen baja amenaza, pero los vecinos están en peligro y el color rosado (High-Low) indican amenaza alta con vecinos que no la tienen.

El siguiente mapa con zonas de color verde enseña el grado de significancia que tiene la variable Ladera en este análisis espacial univariante local

La intensidad del color verde que va desde el verde claro con una menor significancia de $P=0,05$ hasta el verde oscuro con la mayor significancia de $P=0,0001$.

Mapa 8. Grado de significancia lisa de ladera



El grado de significancia de color verde (mapa 8), se ubica en la correspondiente zona del color que muestra el mapa 7 y que están afectados por las 99 laderas de la ciudad. Este mismo análisis univariante se puede observar en las demás variables que se registran en los anexos 4, 5, 6 y 7. Por ejemplo, si se analiza el mapa del anexo 4, se observa que los predios con bajo índice de construcción se localizan alrededor de otros con IC similares y que corresponden a la gran mayoría de predios esparcidos por toda la ciudad (color azul), lo que evidencia que en esta ciudad predominan las construcciones de 1 y 2 pisos, mostrando un desarrollo horizontal, sin embargo, en los últimos años se viene cambiando esta tendencia por un crecimiento vertical de las construcciones (Low-High).

El color rojo que se identifica como HIGH-HIGH en el mismo anexo 4, indica que los predios con los más altos IC se localizan al lado de vecinos que construyen

verticalmente, especialmente, en el centro de la ciudad. Otros outliers (puntos fuera del clúster) de color rojo se ven en diferentes sitios de la ciudad.

De este análisis univariante de las variables se pasa al análisis multivariante, donde efectivamente se relaciona cada una de las variables explicativas con la variable dependiente $LNAV M^2$. La tabla 3 resume los índices de Moran de estas relaciones con su grado de significancia.

4.5 ANÁLISIS ESPACIAL MULTIVARIANTE GLOBAL

Análisis de la índice de Moran multivariante

Tabla 3.

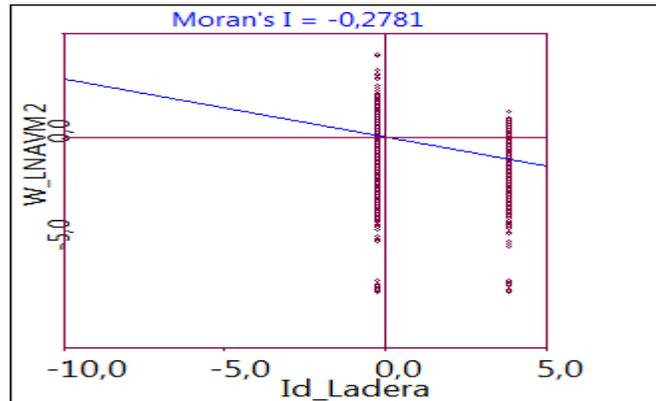
VARIABLES	Índice de Morán	Desviación Standar	P Seudo P-Value
$LNAV M^2$ -LNIC	0,1450	0,0027	0,002
$LNAV M^2$ -RIESGO	-0,1962	0,0027	0,002
$LNAV M^2$ -LADERA	-0,2781	0,0026	0,002
$LNAV M^2$ -ATG	-0,1534	0,0025	0,002
$LNAV M^2$ -LNPUNTAJE1	0,3653	0,0026	0,002

Construcción propia

Uno de los intereses de este trabajo es involucrar la variable ambiental en las interacciones espaciales, en este caso, se trata de observar el comportamiento de la variable LADERA en el eje X con el avalúo por metro cuadrado de los predios vecinos $W-LNAV M^2$ en el eje Y

En la siguiente gráfica N° 4 se muestra esta relación que se explica a continuación:

Gráfica N° 4



I: -0,2781 P-Value: 0,002 Sd: 0,0026 Permut: 499

Construcción propia con ayuda del Geoda.

La índice de Moran = -0,2781 con un grado de significancia de $P=0,002$, que nos calculó el programa muestra una relación negativa y débil entre la variable ambiental LADERA que se observa en el eje X y el log. del avalúo por metro cuadrado de los predios vecinos ($W-LNAV M^2$) que se registra en el eje vertical.

Esta relación indica que a medida que aumenta la proximidad a una ladera disminuye el log. del avalúo por metro cuadrado de las viviendas de los vecinos en la ciudad de Manizales.

La debilidad de esta relación negativa, puede estar ocasionada porque existen datos que se alejan de la tendencia, especialmente, en el III cuadrante, sin embargo, el grado de significancia de 0,002 puede avalar estos resultados, aunque se puede pensar que el modelo que mejor recoge los efectos marginales y espaciales es el Spatial-lag por cuanto el mejor impacto sobre el avalúo de los predios fue la variable ladera que con un coeficiente de 0,374 fue menor en la confirmación al considerar los rezagos espaciales.

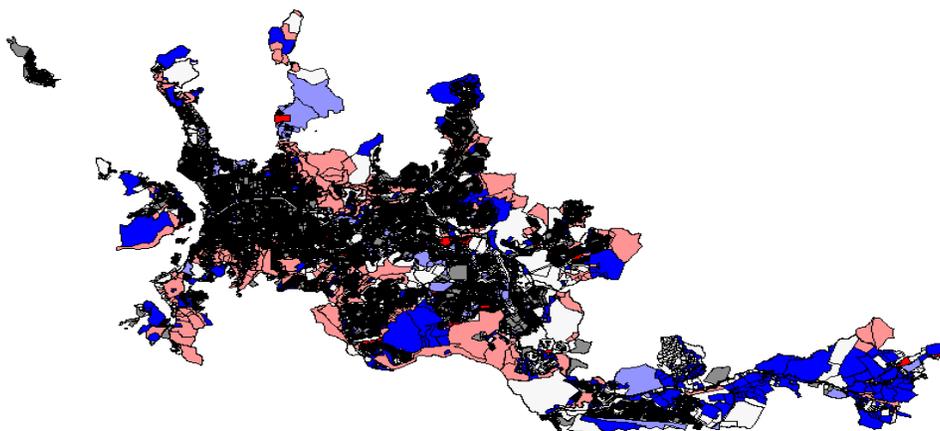
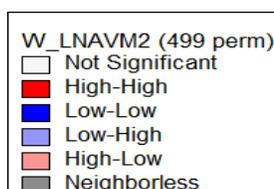
El mapa 9 muestra un análisis multivariante Lisa de ladera para indicar los cluster que se forman en la ciudad con esta relación: Se observa cómo este tipo de peligro afecta el avalúo de los predios vecinos, por ejemplo, los escasos puntos rojos se ubican donde hay un alto riesgo de ladera y, sin embargo, los avalúos de estos predios vecinos a la ladera son costosos (caso tejares). Las zonas azules dejan ver, cómo el bajo riesgo de ladera no eleva el avalúo de los predios en muchas partes de la ciudad, sin

embargo, el color rosado deja mirar el efecto que tiene el peligro de ladera en el bajo avalúo de los predios vecinos (caso perímetro urbano). El bajo efecto de las laderas sobre los altos avalúos de los predios vecinos se muestran en las partes menos peligrosas de la ciudad como el centro y otros sitios ubicados a los lados de las avenidas Santander y Paralela que se ven en el mapa pintados de color lila y que para una mejor visualización se presenta el anexo 8.

A continuación se hace un análisis Bilisa cluster map entre ladera y $w\text{-lnavm}^2$

El color rojo (high-high) indica alto peligro de ladera rodeada de altos avalúos catastrales, el color azul (Low-Low) muestra bajo peligro de ladera con casas de bajo costo alrededor. El color lila (Low-High) deja ver las zonas sin laderas con altos avalúos y el último color rosado (High-Low) muestra el bajo valor de las viviendas que están ubicadas cerca a las laderas.

Mapa 9. Análisis multivariante lisa de ladera – $w\text{-lnavm}^2$

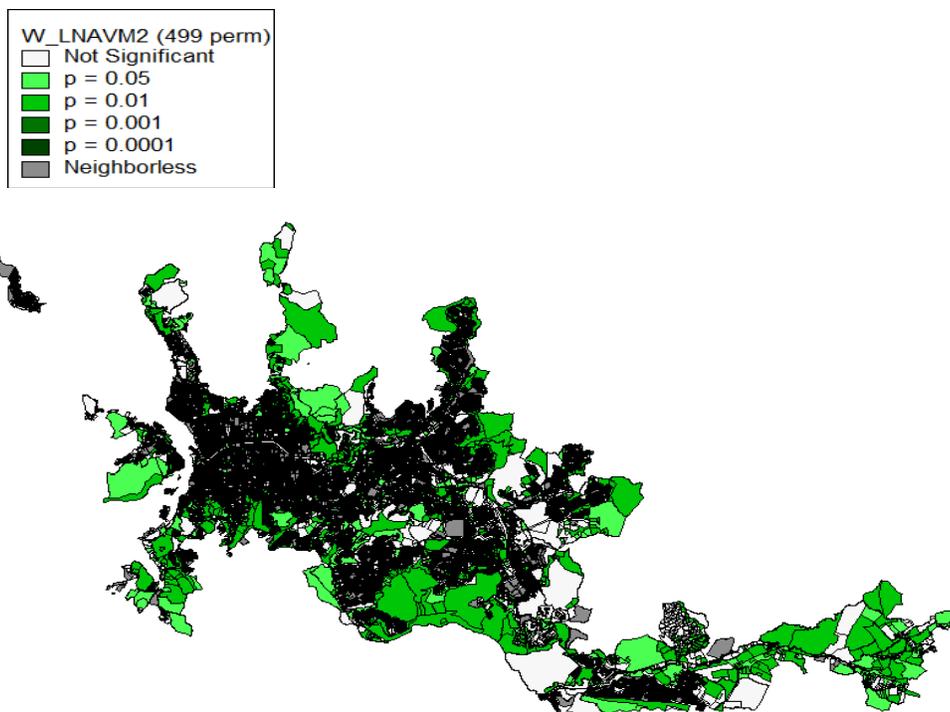


La ampliación de este mapa se registra en el anexo N° 8

El grado de significancia de esta relación también se mapea con los mismos colores verdes que se presentan a continuación:

El programa fija el nombre de Bilisa significativo map ladera-wlnavm² a los grados de significancia de la relación Ladera y avalúo de las casas vecinas que va desde el menos significativo (color verde claro P=0,05) hasta el más significativo (color verde oscuro P=0,0001).

Mapa 10. Grado de significancia del Lisa Ladera – W-LNAVVM²



4.6 ANÁLISIS CONFIRMATORIO

En esta sección se analiza la relación entre el avalúo de la vivienda y las variables que componen el “paquete de características”, a través de la estimación del modelo de precios hedónicos con efectos espaciales que es el objetivo de este trabajo y la respuesta a la pregunta planteada inicialmente.

En la tabla 9 se presenta un resumen comparativo de los resultados obtenidos en las regresiones que el programa geoda corrió utilizando los tres modelos (OLS, Spacial-Lag y Spacial.error)

Resumen de los efectos marginales y espaciales

Tabla 4

VARIABLES	OLS	Spacial-lag	Spacial-error
W-LNAVM2		0,2087	
LNIC	0,659	0,58	0,583
RIESGO	-0,2174	-0,1196	-0,10
LADERA	-0,4786	-0,3741	-0,5386
ATG	-0,3848	-0,2195	-0,3455
LNPUNTAJE1	0,90639	0,7514	0,74
LAMBDA			0,6669

Construcción propia

Antes de analizar los coeficientes obtenidos es necesario analizar la consistencia de los resultados. En los anexos 1, 2 y 3 se observa que la mayoría de los coeficientes son significativos, los test de significatividad global permiten afirmar que todas las variables explicativas son simultáneamente relevantes para la determinación del logaritmo del avalúo de los predios por metro cuadrado en la ciudad de Manizales.

Al analizar los resultados de la regresión indicados en la tabla 4, se desprende que existe una relación negativa, significativa entre las variables ambientales Riesgo, Ladera y ATG y el logaritmo del avalúo por metro cuadrado del predio. Las únicas variables que muestran una relación directa con el log. del avalúo por metro cuadrado de los predios son: el logaritmo del índice de construcción LNIC y el log. del índice de la calidad de la vivienda LNPUNTAJE1. Estos resultados muestran alto grado de significancia en la determinación del log del avalúo de los predios por metro cuadrado de las construcciones.

Se observa que los coeficientes que más influyen en el avalúo por metro cuadrado de los predios son el log. del índice de calidad de la vivienda que por el modelo OLS influye en un 0,9063%, por el modelo spacial-lag (que recoge rezagos espaciales) da 0,7514% y por el spacial-error (con errores espaciales) da 0,7407%, no obstante los tres modelos tienen un buen grado de significancia. El efecto espacial en el

caso de la variable dependiente se puede interpretar, así: por un aumento del 1% en el avalúo del predio por metro cuadrado del vecino, el avalúo del predio analizado se incrementa en 0,21%

La otra variable altamente significativa que influye en el avalúo de la vivienda es el log. del índice de construcción, donde el coeficiente tiene un valor de 0.58, indicando que un aumento del 1% en los avalúos vecinos incide en un 0,58% en el avalúo del predio por metro cuadrado. Las variables que marcan una relación positiva, incrementan el avalúo de la vivienda, cuando aumentan y las que tienen una relación inversa, disminuyen el avalúo de la vivienda.

Tabla5

Variable concept	OLS			SPACIAL LAG			SPACIAL ERROR		
	Coeffici	Std.Erro	t-Statisti	Coeffici	Std.Erro	t-Statisti	Coeffici	Std.Erro	t-Statisti
R-squar	0,54947			0,61127			0,74347		
F-statisti	16537								
Log likelihood	-105756			-101083			-907461		
Akaike i	211524			202180			181504		
W_LNAV M2				0,208727	0,002219023	94,06254			
CONSTA	9,60712	0,01403	684,685	7,51923	0,02646	284,122	10,1352	0,014081	719,7518
LNIC	0,65916	0,00776	84,8433	0,58073	0,00726	79,9661	0,58326	0,006543	89,13158
Id_Riesg	-0,2174	0,03084	-7,0491	-0,1146	0,02866	-3,9987	-0,1008	0,036282	-2,77937
IdLadera	-0,4786	0,02368	-20,212	-0,3741	0,02204	-16,972	-0,5386	0,023675	-22,7495
Id_ATG	-0,3848	0,02396	-16,055	-0,2195	0,02232	-9,8330	-0,3455	0,021531	-16,0472
LNPUNT AJE1	0,9063914	0,004015237	225,7379	0,7513858	0,003996852	187,9944	0,740706	0,003389182	218,5501
LAMBD							0,66690	0,003206	208,0148
MULTICI	6,73400								
JarqBera	5298114								
Breusch-Pagan	153603,7			135117,5			131667,4		
Koenker	6930,66								
Likelihood Ratio Test				9345,707			30019,88		

Construcción propia

ver anexos 1,2 y 3

En la tabla 5 se observan los resultados del modelo OLS sin modificar las variables, encontrando las mismas relaciones positivas y negativas del modelo espacial lag y espacial-error. La gran diferencia entre los tres modelos está marcada en los valores de los coeficientes y los errores estándar que disminuyeron al pasar del modelo OLS al modelo espacial lag y espacial-error, También se observan mejoras en el R^2 y en la prueba de heterocedasticidad.

Las variables ambientales disminuyen en un alto porcentaje el avalúo y precio de la vivienda por los peligros que representan para la integridad de las personas, como se va a registrar en el próximo capítulo de conclusiones.

5. CONCLUSIONES Y APLICACIONES

1- Mediante la valoración hedónica y a través de técnicas de econometría espacial se determinó el efecto marginal de las variables estructurales, de calidad y ambientales en el avalúo de la vivienda en Manizales, en promedio las viviendas cercanas a las áreas de riesgo reducen el precio hasta un 11,46%, el vivir cerca a una ladera lo afecta en un 37,41% y el encontrarse en zona de tratamiento geotécnico hasta un 21,95%. El índice de construcción afecta el avalúo de la vivienda en 58 % y la calidad de la vivienda incide en 75 %, cuando utilizamos el modelo espacial-lag. Estos coeficientes fueron mejores que los obtenidos en los modelos espacial-error y mínimos cuadrados ordinarios³.

2- Las técnicas de econometría espacial mostradas por el programa GEODA suministrado por Luc Anselin, lograron mostrar y cuantificar las interrelaciones que tienen los datos en el espacio geográfico, encontrándose que la autocorrelación espacial es el patrón que mejor describe los datos en la ciudad de Manizales.

3-El resultado del análisis confirmatorio, resumido en las tablas 9 y 10 mostró que el modelo que más se acomoda en el caso de la variable riesgo es el espacial-error con menores R^2 , Criterio de Akaike y una reducción de los errores con relación a los otros modelos OLS y Spatial-lag.

4-La estimación de modelos de precios hedónicos permitió conocer cuáles son los determinantes más importantes en el avalúo de una vivienda y la influencia de cada uno de ellos, de acuerdo a los objetivos planteados.

5-Una de las bondades de la metodología de regresiones geográficamente ponderadas (GWR) es que permite ver la distribución espacial de los coeficientes locales.

³ El coeficiente de riesgo, pasó de tener un valor de -0.2174 en la regresión con los OLS a un valor inferior de -0.1146 en la regresión espacial lag, reflejando con esto que haciendo un análisis espacial, la incidencia de la variable riesgo en el precio de la vivienda en Manizales es 10 veces menor que si utilizamos el simple modelo de mínimos cuadrados ordinarios OLS.

En los mapas realizados se encontró que el efecto de las variables índice de construcción de la vivienda IC, el índice de calidad de la vivienda PUNTAJE1 y las variables ambientales LADERA y ATG con una perfecta significancia son mostrados los clusters donde los predios se relacionan con los predios vecinos, teniendo en cuenta cada una de estas variables.

6- Los test de significatividad global permiten afirmar que todas las variables explicativas son simultáneamente relevantes para la determinación del logaritmo del avalúo de los predios en todos los modelos estimados.

7- La base de datos construida con información georeferenciada, sirvió para conocer los determinantes de los avalúos de las viviendas y estar más cerca del precio de mercado.

8- La ecuación de precios hedónicos hallada permite observar la importancia cuantitativa que tiene cada una de las variables utilizadas en la fijación del avalúo de la vivienda para la ciudad de Manizales, como se evidencia a continuación:

$$\text{LNAV}M^2 = 7,52 + 0,58\text{LNIC} - 0,1146\text{RIESGO} - 0,3741\text{LADERA} - 0,2195\text{ATG} + 0,75\text{LNPUNTAJE1} + 0,20872\text{W} + \text{U}$$

(13)

Donde 0,20872W es el efecto espacial, las otras son las variables explicativas con su correspondiente efecto marginal o coeficiente y U son los posibles errores que todavía quedan en el modelo Spacial-lag. En esta función se observan los atributos de la vivienda como regresores de la función hedónica, cuantificando los efectos propuestos en este trabajo.

APLICACIONES:

A partir de esta ecuación hedónica es posible elaborar un modelo de determinación y simulación de precios que permita, entre otras cosas, las siguientes aplicaciones:

Si las características del proyecto (o bien raíz) están dadas, es posible determinar el valor de mercado de éste.

Si se desea alterar una de las características (por ejemplo, índice de construcción, calidad de la vivienda y variable ambiental), es posible determinar cuánto valora el mercado el cambio. Para ello, se estima el precio en ausencia de la característica y luego se la compara con aquél que la incorpora. El diferencial entre ambas predicciones representa la valorización que según el modelo debiera experimentar el bien raíz producto de la ejecución del proyecto.

Si se desea diseñar un proyecto, es posible determinar la combinación óptima de atributos que éste debe contener, de manera de maximizar el valor del proyecto frente a su costo (es decir, cuál es la combinación más rentable entre superficie, área construida, calidad y externalidades).

La metodología permite identificar zonas de potencial desarrollo urbano, anticipando sus valorizaciones futuras. Para ello, se estudia las áreas de tratamiento geotécnico ATG, las laderas y los riesgos, de manera de proyectar y predecir su proceso de crecimiento.

Por último se recomienda a las oficinas de planeación georreferenciar otros atributos y características que no se encontraron en la base datos para perfeccionar el modelo, especialmente falta involucrar más variables ambientales como los niveles de ruido, las partes suspendidas de gases contaminantes, las basuras, etc. También faltan los niveles de criminalidad y otras externalidades que pueden servir para realizar futuras investigaciones.

REFERENCIAS

- Anónimo. (s.f.). *www.uv.es/ssaz/hedónicos.pdf*. Recuperado el martes de julio de 2010, de *www.uv.es/ssaz/hedónicos.pdf*.
- Anselin, L. (1988a). *Spatial Econometrics: Methods and models*. The Netherlands: Kluwer Academic publishers.
- Anselin, L., & Getis, A. (1992). *Spatial Statistical Analysis and Geographic Information Systems*.
- Asqueta, D. (1994). *Valoración Económica de la Calidad Ambiental*. Madrid: Mc Graw Hill.
- Caridad, J. M. (2008). *Metodología de precios hedónicos vs. Redes Neuronales*. Córdoba: Universidad de Córdoba.
- Codazi, I. I. (2011). Manizales.
- Court, A. (1939). *Hedonic Price Indexes with Automotive Examples, Dynamics of Automobile*.
- Cropper, M. (1981). The value of urban amenities. *Journal of regional science*, 21 , 359-374.
- Diamond, D. (1980). The relationship between amenities and urban land prices. *Land Economics* 57 , 21-32.
- Duque, J. C. (2011). Infraestructura pública y precios de vivienda: una aplicación de regresión geográficamente ponderada en el contexto de precios hedónicos. *Ecos de Economía vol 15 N° 33* .
- Freeman III, M. A. (1979). *The Benefits of Environmental Improvements*. Washington D.C.: The Johns Hopkins University Press.
- García-Montalvo, J. (2000). *Un análisis empírico del crecimiento del precio de la vivienda en las comunidades autónomas españolas*. Madrid: Universidad Pompeu Fabra IVIE.
- Harris, A. (1981). *The Hedonic Technique and the valuation of Environmental quality, in advances in applied microeconomics*. Connecticut: Kerry V. Smith.
- Hass, G. (1922). Sales prices as a basis for farm land appraisal”, Technical Bulletin of the University of Minnesota., *Revista de estudios regionales* , 135, 158.
- Johnson, M. y. (1987). CBD Land values and multiple externalities. *Land Economics* .

- Kolstad, C. (2000). *Economia Ambiental*. Oxford: Oxford University press.
- Lancaster, K. J. (1966). *A New Approach to Consumer Theory*. *Journal of Political Economy*.
- Lever, G. (2000). Determinantes del precio de la vivienda en Santiago: Una estimación Hedónica. *Paper* . Santiago, Chile.
- Li, M. y. (1980). Micro-Neighborhood externalities and hedonic prices. *Land economics* , 125-141.
- Lozano, N. y. (2011). *Is the Price Right? Assessing Estimates of cadastral values for Bogotá, Colombia*. California Usa: Geoda center Arizona state university.
- Maller, G. K. (1977). A note on the use of property values in estimating marginal willingness to pay for environmental quality. *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 4 , 355-369.
- Manning, C. (1988). *The determinants of intercity home building site price differences*. Land Economics.
- Mendieta, J. C. (2001). *Manual de Valoración Económica de Bienes No Mercadeables*. Bogotá: Universidad de los Andes Facultad de Economía.
- Moran, P. (1948). *The Interpretation of Statistical maps*, *Journal of the Royal Statistical Society B*.
- Moreno, R. (2000). *Técnicas econométricas para el tratamiento de datos espaciales: La econometría espacial*. Barcelona: Edicions universitat de Barcelona.
- Municipal, S. d. (2011). Manizales.
- Paelinck, J. H. (1979). Spatial Econometrics. *Famborough, Saxon House* .
- Palmquist, R. (1984). Estimating the demand for the characteristics of housing. *Review economics and statistics* , 394-404.
- Peiser, R. (1987). *The determinants of nonresidential urban land values*. J. Urban Economics.
- POT, Acuerdo N° 663 de 13 sep. (2007). *plan de ordenamiento territorial*. Manizales.
- Revollo Fernández, D. A. (2009). Calidad de la vivienda a partir de la metodología de precios hedónicos para la Ciudad de Bogotá - Colombia. *Revista digital universitaria de la Unam vol 10 N° 7* .

- Ridker, R. a. (1967). *The determinants housing prices and the demand for clean air. Journal Environmental Economy.*
- Roback, J. (1982). Wages rents and the quality of life. *Journal Political Economy* , 1257-1258.
- Rosen, S. (1974). *hedonic prices and Implicit Markets.*
- Rubinfeld, H. a. (1978). *Hedonic Housing Prices and the Demand for Clean Air.* Bostón.
- Sánchez, R. (2008). Econometría espacial en los modelos de precios hedónicos. *Cedlas-Unlp-University of Texas at Austin* .
- Student. (1914). The elimination of spurious correlation due to position in time or space. *Biometrika*, 10 , 179-180.
- Velásquez, L. (2011). La importancia de los bienes públicos en la calidad de vida local El caso de Manizales, Colombia. *Centro de Estudios Regionales Cafeteros y Empresariales (CRECE)* .
- Wallace, H. (1926). Comparative farmland values in Iowa”, *Journal of Land and Public Utility Economics*,. *Revista de estudios regionales* , 385, 392.
- Waught, F. V. (1929). *Quality as a Determinant of Vegetable Prices.* *Columbia University Press.* New York.
- Witte, A. H. (1974). An Estimate of a Structural Hedonic Price. *Cuadernos de Economía* , 1151-1174.

ANEXOS

Anexo 1. Regresión por mínimos cuadrados ordinarios

```

Regression
SUMMARY OF OUTPUT: ORDINARY LEAST SQUARES ESTIMATION
Data set      : Predios_Riesgo_Laderas_ATG_Avaluo_Regis2
Dependent Variable : LNAV2  Number of Observations:67802
Mean dependent var : 12,6118  Number of Variables : 6
S.D. dependent var : 1,71203  Degrees of Freedom : 67796
    
```

```

R-squared      : 0,546096  F-statistic      : 16313,2
Adjusted R-squared : 0,546063  Prob(F-statistic) : 0
Sum squared residual: 90205  Log likelihood   : -105885
Sigma-square    : 1,33054  Akaike info criterion : 211783
S.E. of regression : 1,15349  Schwarz criterion  : 211837
Sigma-square ML  : 1,33042
S.E of regression ML: 1,15344
    
```

Variable	Coefficient	Std.Error	t-Statistic	Probability
CONSTANT	9,597392	0,01417928	676,8603	0,0000000
LNIC	0,6508898	0,007790208	83,5523	0,0000000
Id_Riesgo	-0,1682915	0,03090766	-5,444975	0,0000001
Id_ATG	-0,08310696	0,02413549	-3,443351	-0,0001078
Id_Ladera	-0,8252855	0,0234345	-35,21668	0,0000000
LNPUNTAJE1	0,9096078	0,004063702	223,8372	0,0000000

Anexo 2. Regresión por espacial - lag

```

Regression
SUMMARY OF OUTPUT: SPATIAL LAG MODEL - MAXIMUM LIKELIHOOD ESTIMATION
Data set      : Predios_Riesgo_Laderas_ATG_Avaluo_Regis2
Spatial Weight : Predios_queen2.gal
Dependent Variable : LNAVM2   Number of Observations:67802
Mean dependent var : 12,6113  Number of Variables : 7
S.D. dependent var : 1,71516  Degrees of Freedom : 67795
Lag coeff. (Rho) : 0,208727
  
```

```

R-squared      : 0,611273  Log likelihood      : -101083
Sq. Correlation : -      Akaike info criterion : 202180
Sigma-square   : 1,14355  Schwarz criterion   : 202244
S.E of regression : 1,06937
  
```

Variable	Coefficient	Std.Error	z-value	Probability
W_LNAVM2	0,208727	0,002219023	94,06254	0,0000000
CONSTANT	7,51923	0,02646474	284,1226	0,0000000
LNIC	0,580737	0,007262282	79,96619	0,0000000
Id_Riesgo	-0,1146179	0,0286633	-3,99877	0,0000637
Id_Ladera	-0,374173	0,0220453	-16,97292	0,0000000
Id_ATG	-0,21955	0,02232783	-9,83302	0,0000000
LNPUNTAJE1	0,7513858	0,003996852	187,9944	0,0000000

REGRESSION DIAGNOSTICS

DIAGNOSTICS FOR HETEROSKEDASTICITY

RANDOM COEFFICIENTS

```

TEST      DF      VALUE      PROB
Breusch-Pagan test  5      135117,5  0,0000000
  
```

DIAGNOSTICS FOR SPATIAL DEPENDENCE

SPATIAL LAG DEPENDENCE FOR WEIGHT MATRIX : Predios_queen2.gal

```

TEST      DF      VALUE      PROB
Likelihood Ratio Test  1      9345,707  0,0000000
  
```

Anexo 3. Regresión por espacial - error

```

Regression
SUMMARY OF OUTPUT: SPATIAL ERROR MODEL - MAXIMUM LIKELIHOOD ESTIMATION
Data set          : Predios_Riesgo_Laderas_ATG_Avaluo_Regis2
Spatial Weight    : Predios_queen2.gal
Dependent Variable : LNAVM2      Number of Observations:67802
Mean dependent var : 12,611334   Number of Variables : 6
S.D. dependent var : 1,715160    Degrees of Freedom : 67796
Lag coeff. (Lambda) : 0,666906
  
```

```

R-squared          : 0,743479   R-squared (BUSE)      : -
Sq. Correlation    : -          Log likelihood        : -90746,122724
Sigma-square       : 0,754628   Akaike info criterion : 181504
S.E of regression  : 0,868693   Schwarz criterion     : 181559
  
```

Variable	Coefficient	Std.Error	z-value	Probability
CONSTANT	10,13529	0,01408164	719,7518	0,0000000
LNIC	0,5832659	0,006543875	89,13158	0,0000000
Id_Riesgo	-0,1008431	0,03628265	-2,779376	0,0054465
Id_Ladera	-0,5386158	0,02367591	-22,74953	0,0000000
Id_ATG	-0,345526	0,02153177	-16,04726	0,0000000
LNPUNTAJE1	0,740706	0,003389182	218,5501	0,0000000
LAMBDA	0,6669062	0,003206052	208,0148	0,0000000

REGRESSION DIAGNOSTICS

DIAGNOSTICS FOR HETEROSKEDASTICITY

RANDOM COEFFICIENTS

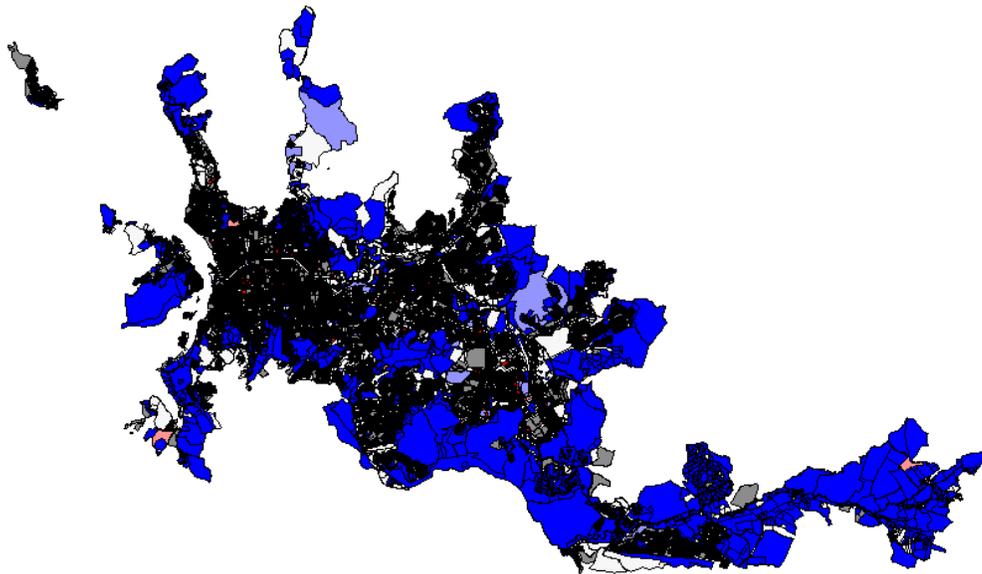
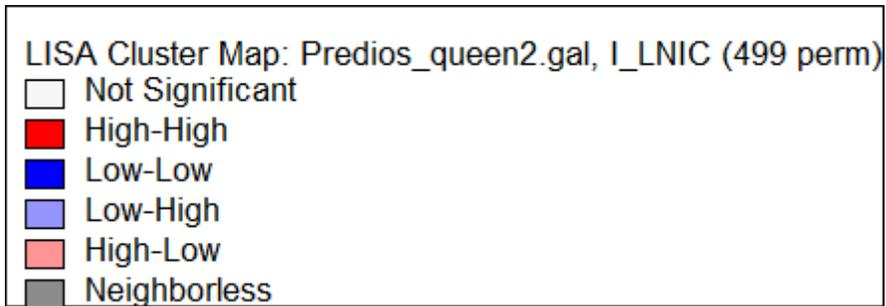
TEST	DF	VALUE	PROB
Breusch-Pagan test	5	131667,4	0,0000000

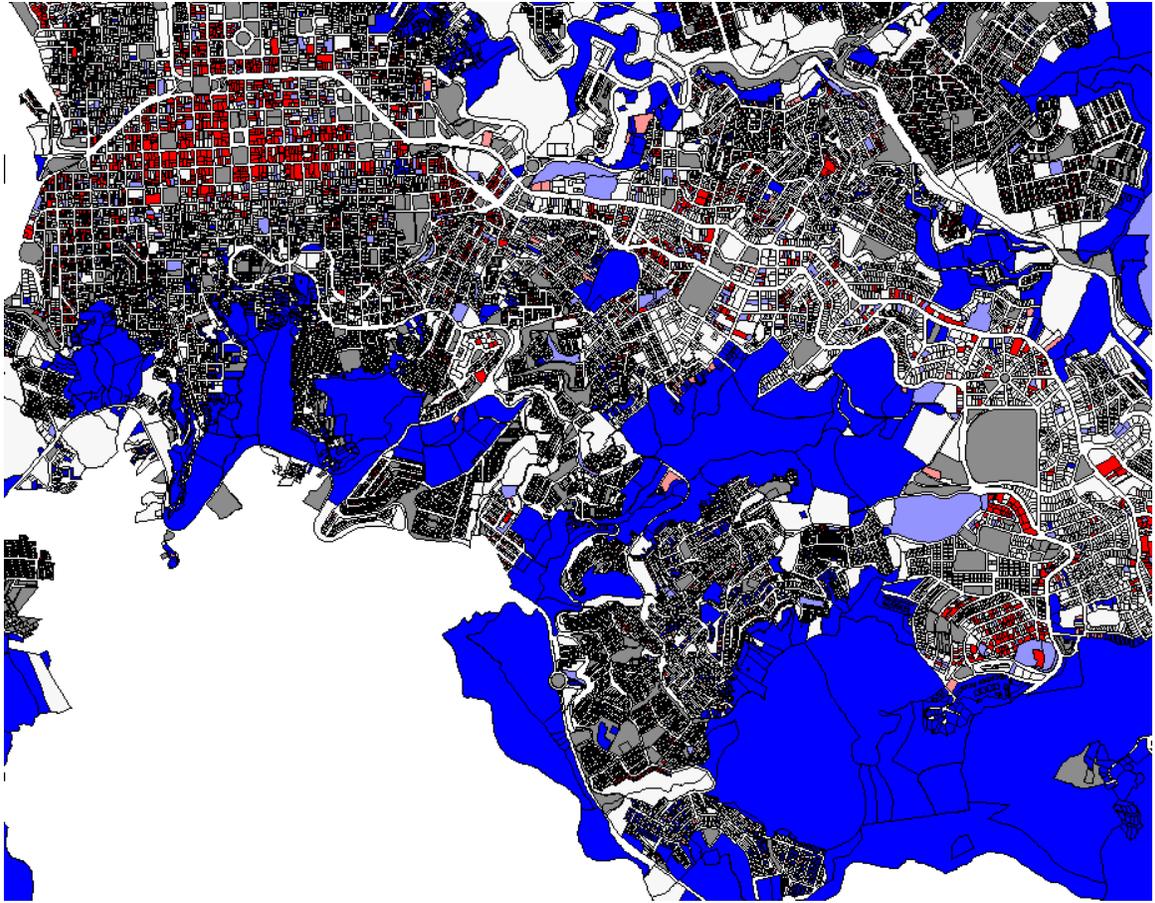
DIAGNOSTICS FOR SPATIAL DEPENDENCE

SPATIAL ERROR DEPENDENCE FOR WEIGHT MATRIX |: Predios_queen2.gal

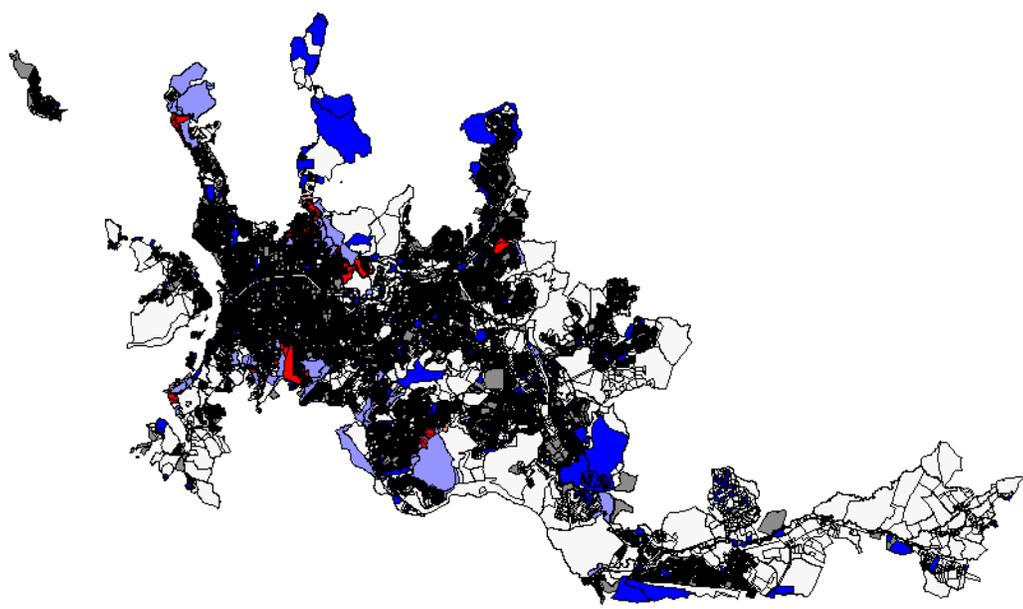
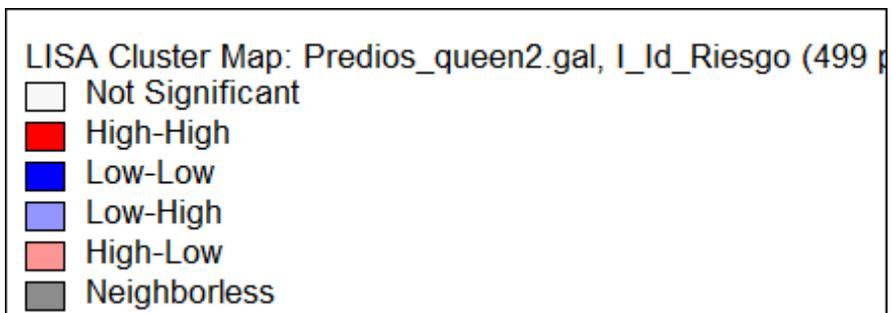
TEST	DF	VALUE	PROB
Likelihood Ratio Test	1	30019,88	0,0000000

Anexo 4. Distribución espacial de la variable logaritmo Índice de construcción

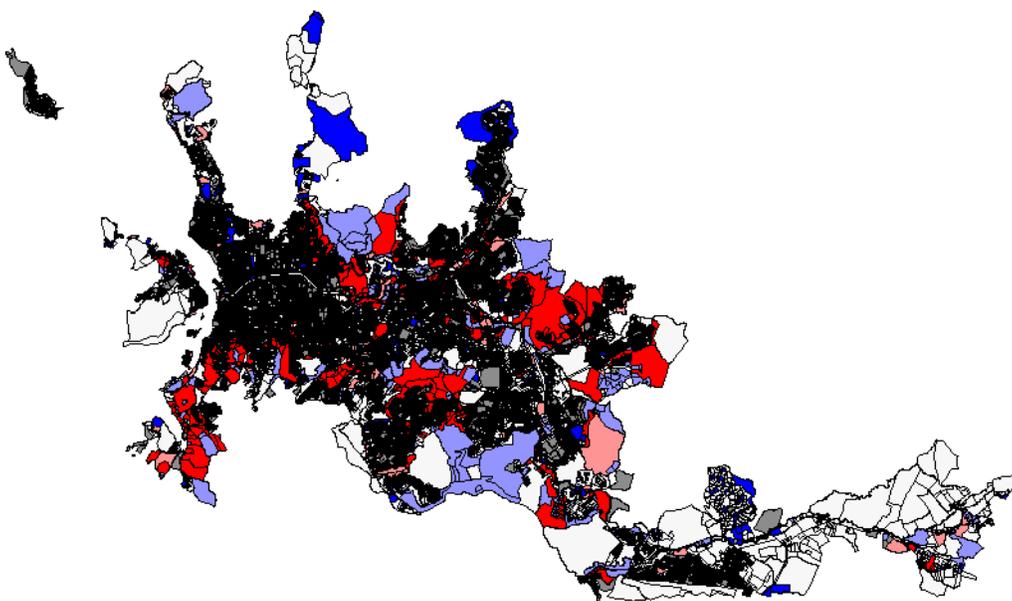
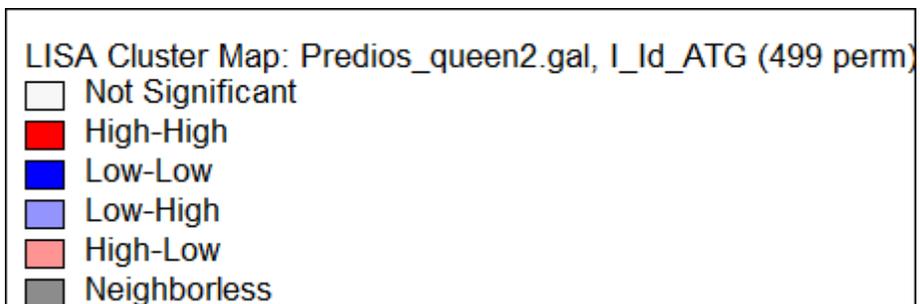




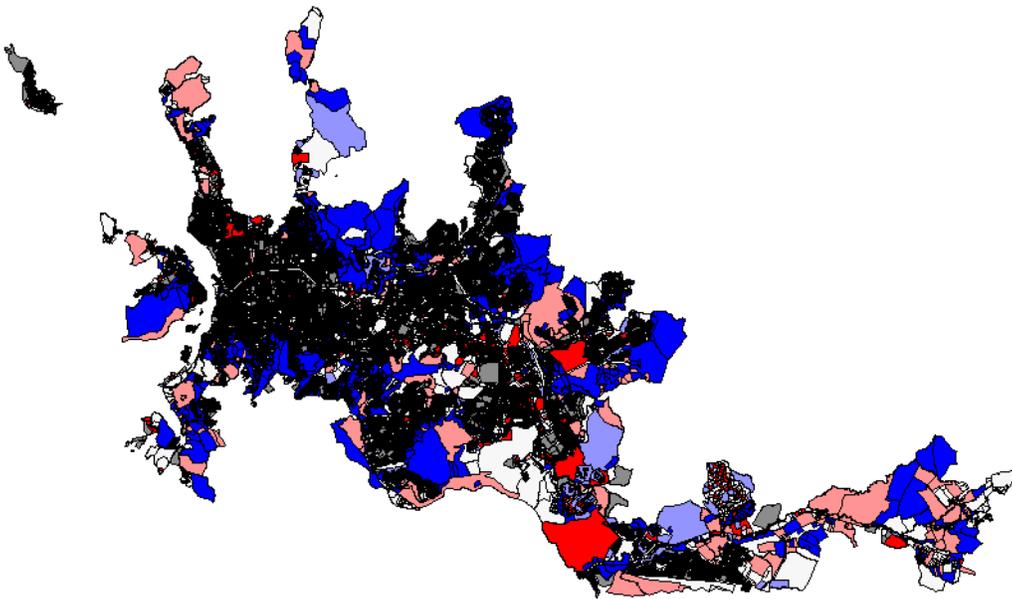
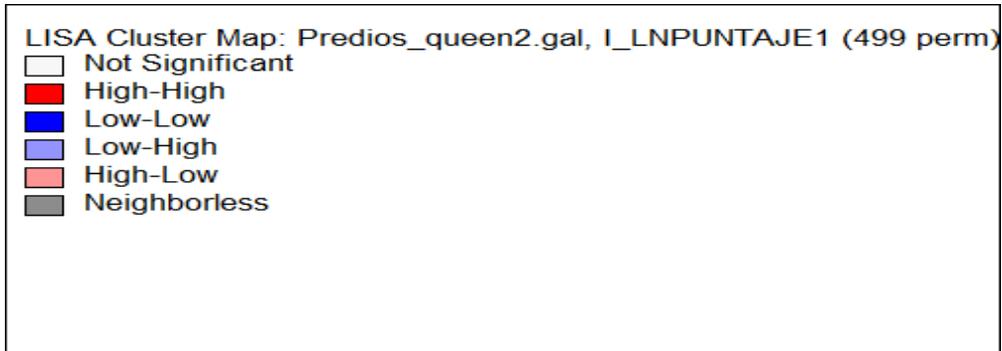
Anexo 5. Distribución espacial de la variable Riesgo



Anexo 6. Distribución espacial de la variable ATG



Anexo 7. Distribución espacial de la variable logaritmo índice de calidad de la vivienda



Anexo 8. Análisis multivariante de ladera - W-lnavm² sector centro

