

# **ANÁLISIS ESPACIAL DEL PRECIO DEL SUELO CON MODELOS DE REGRESION LINEAL MÚLTIPLE (MRLM) Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG), RESISTENCIA (ARGENTINA)**

Srta. ORTÍZ, ROMINA GABRIELA

Sr. ARIAS, FEDERICO CARLOS

Dr. CARDOZO, OSVALDO DANIEL

Prof. DA SILVA, CRISTIAN JAVIER

Laboratorio de Tecnologías de la Información Geográfica (LabTIG). UNNE-CONICET.

Resistencia, Chaco, Argentina.

## **RESUMEN**

Una de las prácticas más distinguidas en las ciudades contemporáneas es la actividad inmobiliaria, donde una de características más importantes son las oscilaciones que posee el precio del suelo en distintos espacios de la ciudad, lo cual generalmente responde a variables socioeconómicas, políticas y/o geográficas.

Es por ello que en el presente trabajo aplicamos un modelo de regresión lineal múltiple (MRLM) con el propósito de analizar la relación entre el precio fiscal del suelo a nivel de barrio con variables socioeconómicas y geográficas. Todas las variables fueron normalizadas en un entorno SIG y los test estadísticos estimados con paquetes estadísticos.

El modelo de regresión obtenido muestra la importancia de variables como Densidad de hogares de nivel socioeconómico alto, distancia al centroide comercial y distancia a espacios verdes a la hora de explicar el precio fiscal del suelo. El modelo es estadísticamente significativo (F de 93,436 y un p-valor de 0,0000), y presenta un  $R^2$  Ajustado que explica aproximadamente un 67 % de la variabilidad del precio fiscal del suelo por medio de las tres variables incluidas en el modelo.

**Palabras claves:** Resistencia, Precio Fiscal del Suelo, Modelo de Regresión Múltiple, Sistemas de Información Geográfica.

## **1. INTRODUCCIÓN**

El rubro inmobiliario es una de las actividades más dinámicas de la economía, especialmente en las áreas urbana donde actúa como promotor del desarrollo urbano y desempeña un importante rol en la fijación del precio del suelo, por lo tanto, en la cantidad de suelo disponible para el crecimiento espacial de la ciudad. A pesar de ello su estudio ha despertado poco interés en el ámbito científico-académico, prueba de esto es que los análisis sistemáticos y objetivos sobre el tema son recientes.

Lo cierto es que conocer en detalle los factores influyentes en la formación del precio del suelo es de suma utilidad, y como lo expone Lever (2009) tienen una amplia gama de aplicaciones. Por su parte, Cano y Chica (2004) lo reconocen como fundamental en el negocio hipotecario ya que, por un lado el monto del préstamo se calcula como un porcentaje del valor de tasación, y por otro, garantiza a la entidad financiera la recuperación del préstamo en caso de impago.

Un aspecto poco considerado pero no menos importante es el rol desempeñado por el Estado, como elemento de equilibrio en el libre mercado del suelo. En este sentido, la rentabilidad que ha logrado el negocio inmobiliario en la última década, plantea un panorama especulativo considerable donde acceder a un inmueble es una dificultad en cualquier país, independientemente del grado de desarrollo. La consecuencia de una falta de interés estatal en políticas públicas de este tipo, nos recuerda como la “burbuja inmobiliaria” de España que estalló en 2008 provocó importantes desórdenes económicos a nivel europeo y mundial.

Enmarcar estos estudios dentro de un campo disciplinar es dificultoso y arriesgado, porque resulta claro advertir que el precio del suelo depende de un conjunto con variables socio-demográfica, económicas y geográficas. Las variaciones que afectan el precio pueden provenir tanto por las inversiones realizadas en el predio, normalmente a cargo del propietario, como por las condiciones del entorno y que por lo general incumben al estado o las empresas promotoras; de esta última deriva lo que se conoce como precio fiscal del suelo.

Otro rasgo característico en mercados complejos como el inmobiliario, es la aparición de “precios sombra” que surgen de cada atributo del bien. Su conocimiento cobra gran interés por la alta heterogeneidad de dichos atributos, lo que puede significar un alto valor relativo de los bienes. En este sentido, la teoría de precios hedónicos constituye un significativo avance metodológico para la modelación de mercados implícitos por atributos, mediante la aplicación de técnicas econométricas es capaz de medir el valor de un bien compuesto y analizar la forma en que se “mezclan” sus atributos (Lever, 2009).

### **1.1. Antecedentes**

Una revisión literaria acerca del valor de la tierra en términos generales, nos permite identificar una diversidad de enfoques y perspectivas de análisis aplicadas, debido a sus múltiples implicancias. Así, desde el punto de vista económico, el clásico modelo agrario de Von Thünen de 1826 propone zonificar el espacio en torno a franjas de distancia para construir un esquema de usos del suelo y su correspondiente valor. Asimismo, Hurd en 1903 planteaba una relación entre valor del suelo urbano–renta y renta–localización, con lo cual se evidencia la estrecha relación entre variables socioeconómicas y geográficas (Humarán, 2010).

Por otro lado, la dimensión social del precio del suelo es la menos atendida por la comunidad científica, aunque no por ello sea menos importante. Anderson (1962) realiza un estudio del valor del suelo, encontrando relaciones importantes entre esta y la renta, distribuido de manera diferente en el territorio, concluyendo en que el valor se explica claramente en función de la estructura socio-económica del lugar. Asimismo, Harvey (1993) en sus estudios relacionados con las tendencias de urbanismo y desigualdades sociales, manifiesta que la problemática tiene amplia difusión espacial.

Más recientemente y en el contexto de la planificación del crecimiento espacial urbano, el precio del suelo cobra una gran trascendencia debido a que actúa como variable económica que limita el crecimiento del uso residencial y aumenta por ello los problemas relacionados

con el acceso a la vivienda. No obstante, muchos autores han considerado el precio del suelo conjuntamente con otras variables en sus análisis de crecimiento óptimo de ciudades, con un amplio uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Evaluación Multicriterio (EMC) como metodología de modelización (Barredo Cano, 1996; Wu y Webster, 1998; Barredo Cano y Bosque Sendra, 1999; Jiang y Eastman, 2000; Malczewski, 2002).

Pero sin dudas, la teoría de precios hedónicos es la aproximación más utilizada. Este enfoque del problema se remonta a mediados de los 60' en Estados Unidos cuando Ridker y Henning analizaron el impacto de un conjunto de variables ambientales en la conformación del predio de las casas en Saint Louis (Lever, 2009). La revisión de la literatura sobre todo Latinoamericana permite encontrar cierta diversidad en las aplicaciones, siendo el factor común en todos ellos la presentación de ecuaciones hedónicas (Vecchione, 1989; Nuñez y Schovelin, 2002; Meloni y Ruiz, 2002; Cano y Chica, 2004; Núñez y Roca, 2007; Lever, 2009).

Básicamente, la técnica de precios hedónicos consiste en estimar económicamente ecuaciones que tienen como variable dependiente el precio del bien o servicio y, como regresores a los atributos o características del mismo (Meloni y Ruiz, 2002). En Lever (2009) se presenta una interesante propuesta de clasificación de variables en una ecuación hedónica del tipo  $P = f(I, V, U, Z, S, E, w)$  donde:

P= Precio del suelo x m<sup>2</sup>.

I = Inmueble: superficie construida, superficie del terreno, aptitud de usos del suelo, aspectos arquitectónicos y de diseño interior, equipamiento interior, número de habitaciones, calidad de los materiales.

V= Vecindario: nivel socioeconómico, tipo de residentes, seguridad.

U= Ubicación: área residencial/industrial, distancia geográfica y accesibilidad a los centros de importancia.

Z= Zonning (características determinadas por la ubicación del inmueble en el plano regulador de la ciudad): densidad de construcción, tipos de actividades, usos del suelo permitidos.

S= Servicios, equipamiento exterior e infraestructura: agua, alcantarillado, electricidad, pavimento.

E= Externalidades (existentes en el entorno de la propiedad): actividades contaminantes, vertederos, áreas verdes.

w= conjunto de parámetros que acompañan a cada atributo y que constituyen los precios implícitos o "sombra" de cada atributo del inmueble.

En el área local son escasos trabajos que evalúen la distribución del precio del suelo, citamos en este contexto el trabajo realizado por Arias et. al. (2013), en el que analizan el precio inmobiliario del suelo en conjunto con la distribución de los usos del suelo asociados al transporte. Uno de los primeros trabajos fue un amplio diagnóstico expeditivo del equipamiento e infraestructura en el Gran Resistencia, donde una de las variables analizadas fue el uso del suelo urbano (Scornik 1998). Por otro lado, Lucca y Rey (1999), realizan un estudio integrado de los usos del suelo y otros aspectos del entorno urbano, implementando una metodología de relevamiento in situ y una propuesta de clasificación<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Residencial, Comercial, Industrial, Administrativo (Cultura, Educación, Religión, Seguridad, Salud, Deporte, Privados), Espacios verdes y de recreación, Otros, Baldíos, Abandonado, Desocupado, En Construcción

Recientemente, Da Silva et. al, (2013) analizan distribución espacial de los usos del suelo para el casco céntrico de la ciudad, corroborando que el uso comercial muestra indicios de concentración en inmediaciones a la plaza central, y donde más del 40 % de las personas que compran utilizan transporte público -frente a un 10 % que lo hace en automóvil-, lo cual sugiere una buena correspondencia entre la población usuaria del transporte y la actividad comercial.

## **1.2. Área de Estudio**

La ciudad de Resistencia localizada en el Departamento San Fernando, y capital de la Provincia del Chaco, fue fundada en el año 1878 en un asentamiento forestal, sumándose luego un contingente de inmigrantes italianos que permitió luego la colonización total del territorio.

Con una población de 390.874 habitantes según el Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas del año 2010, es la ciudad más poblada de la región del NEA (Nordeste Argentino). Asimismo, se encuentra situada en el valle aluvional del Río Paraná, y atravesada por el Río Negro al norte y por el riacho Arazá al Sur, el cual fue parcialmente entubado causando importantes problemas en el natural escurrimiento de las aguas en la zona.

Para un adecuado análisis estadístico se han empleado las unidades administrativas barriales debido a que resumen significativamente, las variaciones locales del precio fiscal del suelo y reduce los tiempos computacionales de procesamiento, tanto de los software SIG como estadísticos empleados.

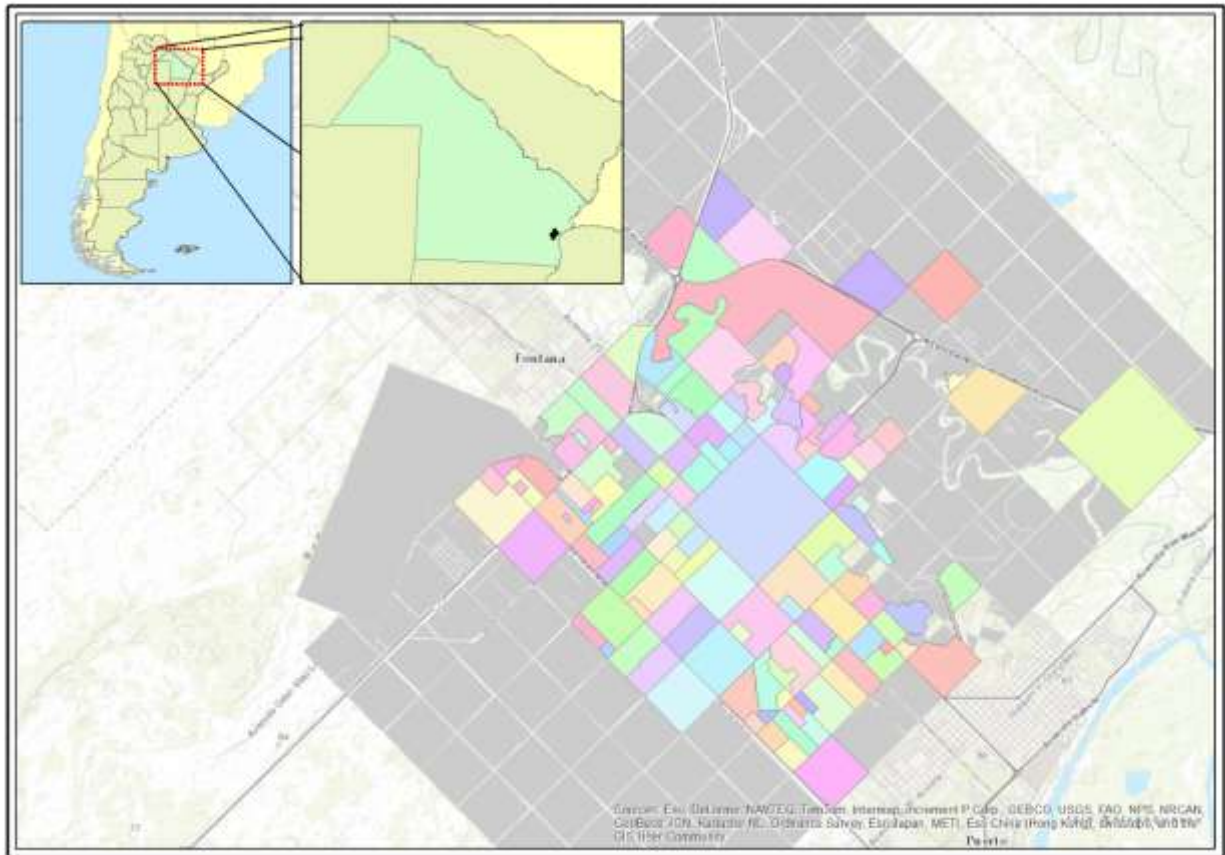


Fig. Nº 1: Distribución de los barrios de la ciudad de Resistencia. Elaboración Propia.

### 1.3. Objetivos e Hipótesis

Se busca básicamente probar una metodología objetiva para medir las valoraciones inmobiliarias, específicamente se busca identificar el peso o incidencia de algunas variables socio-ambientales en la conformación del precio fiscal en la ciudad de Resistencia.

En base a lo expresado se han formulado los siguientes objetivos específicos:

- Caracterizar la distribución espacial del fenómeno en estudio.
- Obtener un modelo explicativo de la variación del precio del suelo.

La hipótesis de trabajo ( $H_1$ ) sostiene que las variables ambientales o del entorno inciden significativamente en el precio del suelo a nivel de barrio, y se esperan los precios más elevados en el centro de la ciudad. Esta afirmación se apoya en el supuesto de que, el área de mayor cobertura de servicios y accesibilidad corresponde al centro de la ciudad.

Entonces, se buscará contrastar  $H_0: \beta_i = 0$  versus  $H_1: \beta \neq 0$ ; es decir al menos uno de los coeficientes  $\beta_i$  estimados debe ser distinto de 0.

## 2. FUENTES DE DATOS Y METODOLOGÍA

### 2.1. Los datos

La base cartográfica de barrios, red vial, límites políticos y el Precio Fiscal del Suelo provienen de la Dirección de Catastro y Cartografía de la Municipalidad de Resistencia, en formato shapefile (shp) actualizada al año 2013.

Las variables poblacionales se han extraído del Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2001 a nivel de Radio y Fracción censal, los cuales fueron normalizados a nivel de Barrio (Población con NBI). Además, se ha empleado datos de niveles socioeconómicos (Estrato Socioeconómico Alto) normalizados y calculados a partir de datos generados en el marco del proyecto “Georreferenciación de niveles socioeconómicos a nivel de manzana en el Gran Resistencia y la ciudad de Corrientes” (Odriozola y Falcón, 2007). Otra variable que se incluyó en los análisis debido a que fue recogida en varios trabajos de referencia, fue el nivel de inseguridad a nivel de barrio (Pyszczek, 2012).

Por último, dado el formato digital de los datos se han calculado por medio de herramientas SIG las variables: Densidad de Estrato Socioeconómico Alto, Distancia Centroides Comerciales, Distancia a Calles Comerciales, Distancia a las Av. Principales, Distancia al Pavimento, Distancia a las Paradas de Colectivos Públicos, Presencia de Viviendas Planificadas y Distancia a Espacios Verdes.

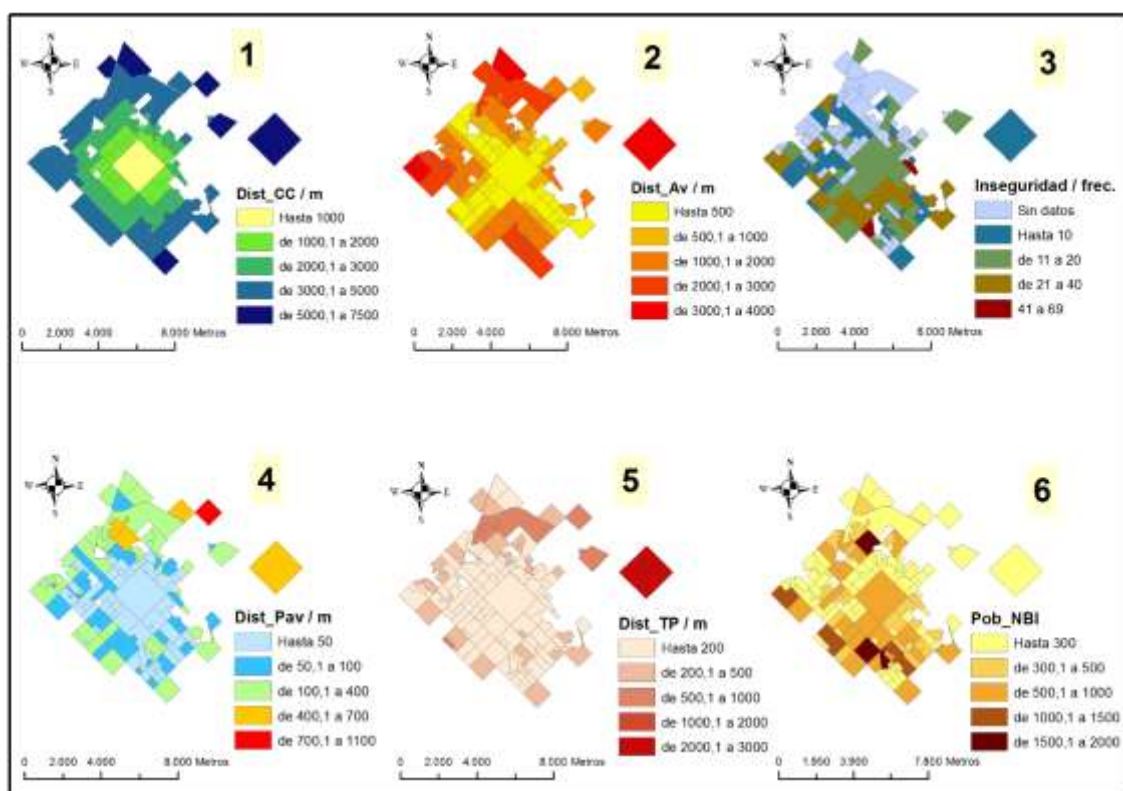


Fig. Nº 2: Distribución de las Variables Empleadas. Parte 1 (1 - Distancia Centroides Comerciales; 2 - Distancia a las Av. Principales; 3 - Inseguridad; 4 - Distancia al Pavimento; 5 - Distancia a las Paradas de Colectivos Públicos; 6 - Población con NBI). Elaboración Propia.

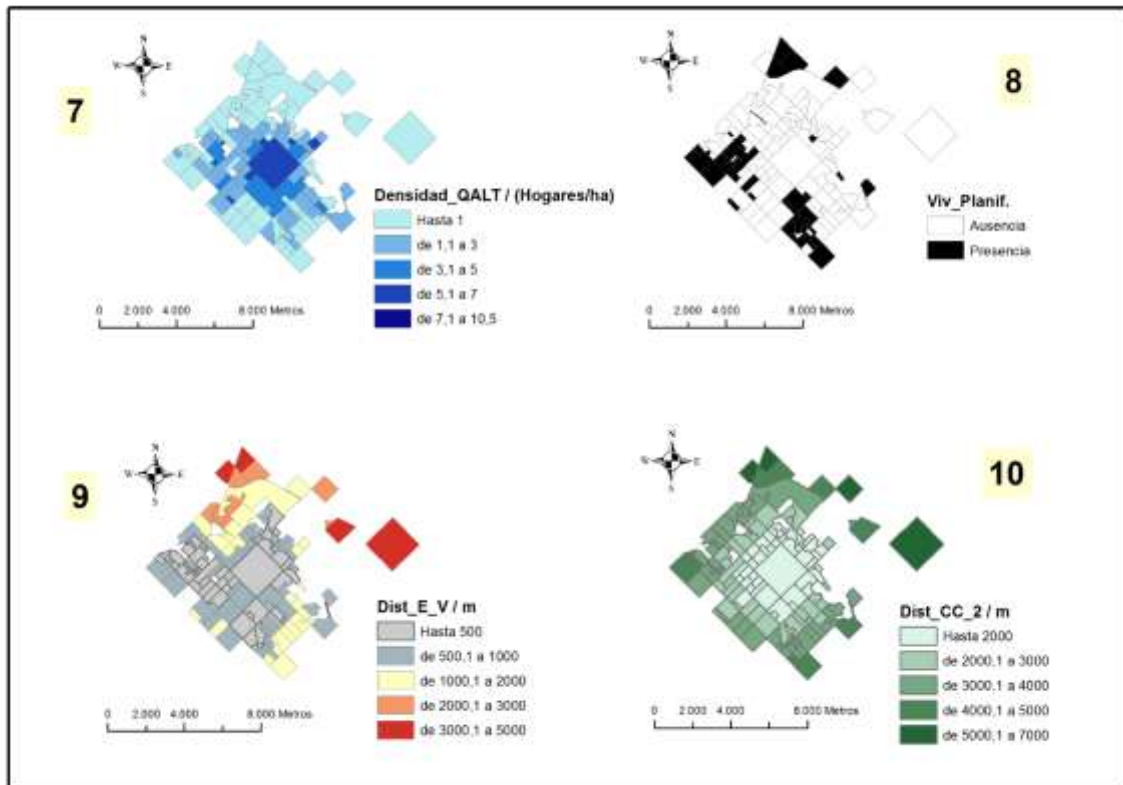


Fig. Nº 3: Distribución de las Variables Empleadas. Parte 1 (7 - Densidad de Estrato Socioeconómico Alto; 8 - Presencia de Viviendas Planificadas; 9 - Distancia a Espacios Verdes; 10 - Distancia a Calles Comerciales). Elaboración Propia.

## 2.2. Modelo de Regresión Lineal Múltiple (MRLM)

Una definición clásica de análisis regresión acuñada por Francis Galton la define como una técnica estadística que permite predecir el valor promedio de una variable, tomando como base los valores conocida de otra/s.

Asimismo, en Estadística son muchas las maneras de nombrar a las variables empleadas, es este caso nos inclinamos por *Variables dependientes* y *Variables independientes*. A su vez, existe una diversidad de expresiones utilizadas para representar la relación lineal entre las variables dependientes e independiente, por ello empleamos la notación comúnmente utilizada, quedando definida como:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon$$

dónde:  $y$  es la variable dependiente;  $\beta_0$ , el punto de intersección en el eje de ordenadas;  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ...  $\beta_k$  constantes numéricas que se deben estimar utilizando para ello los datos disponibles:  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$ ...  $x_k$  son variables independientes utilizadas para realizar las estimaciones;  $\varepsilon$  es el termino aleatorio del error.

Emplear modelos de inferencia estadística habitualmente está destinado a obtener buenos ajustes en la explicación del término dependiente, sin embargo esto último no constituye todo lo necesario, más bien, se debe garantizar buenas explicaciones absteniéndose de no violar los supuestos de comportamiento -homocedasticidad, linealidad, no autocorrelación, normalidad, no colinealidad, entre otros- (Da Silva et. al., 2014).

### 2.2.1. Supuestos en los que se apoya el modelo de regresión

Empleados tanto para los modelos de regresión lineal simple y múltiple, la consideración de estos a la hora de llevar a cabo el análisis, permite obtener interpretaciones de los resultados de manera adecuada, a lo que se adiciona la ventaja de ampliar las conclusiones obtenidas de él (Estebanez Alvarez y Bradshaw, 1978). Por ello, se describen sintéticamente los supuestos básicos del modelo de regresión:

- *Linealidad*: establece que la relación entre la variable dependiente y la/s independiente/s debe ser lineal, debido a que de lo contrario el modelo puede llevar a resultados erróneos. El incumplimiento del supuesto de linealidad suele denominarse error de especificación. Algunos ejemplos son: omisión de variables independientes importante, inclusión de variables independientes irrelevantes, no linealidad (la relación entre las variables independientes y dependientes no es lineal), parámetros cambiantes (los parámetros no permanecen constantes durante el tiempo que duran la recogida de datos), no aditividad (el efecto de alguna variable independiente es sensible a los niveles de alguna otra variable independiente).
- *Ausencia de errores de medición*: establece que las variables independientes son consideradas fijas y no sujetas a errores de medición, debido a que no existen ningún "test" simple para medir el error. En el caso de la variable dependiente, puede tomarse una muestra y por lo tanto, puede estar sujeta a errores de medición lo cual en cuyo caso estos errores forman una distribución normal.
- *Normalidad de los residuales*: para cada valor de la variable independiente (o combinación de valores de las variables independiente), los residuos se distribuyen normalmente. En otras palabras, si el error de medida es el único factor que produce variación en los valores de  $y$  (para cualquier valor de  $x$ ), entonces las variaciones formarán una *distribución normal*.
- *La Media de los residuales ha de ser igual a 0*: este supuesto implica que la media de los residuales se encuentra en la línea de regresión. El cumplimiento de este supuesto establece que la línea de regresión es la forma funcional y proporciona un buen ajuste a los datos estudiados.
- *Homocedasticidad*: establece que la varianza de las distribuciones deben tener todos el mismo valor. La presencia de la *heterocedasticidad* puede influir en los test que se apliquen al modelo, y por ello producir error en las estimaciones.
- *No Colinealidad entre las variables independientes*: establece que no existe relación lineal entre las variables independientes. El incumplimiento de este supuesto da origen a colinealidad o multicolinealidad. Además, la violación de este supuesto puede dificultar la evaluación del peso de las variables independiente en la explicación de la variación de la variable dependiente.
- *El número de observaciones ha de ser mayor que el número de variables independientes*: este supuesto establece que se deben contar con un número de datos ( $n$ ) mayor que la cantidad de variables independientes empleadas.

Además, el supuesto de *No autocorrelación* es otro de los considerados al momento de aplicar un modelo de regresión lineal, pero ello merece una atención especial, debido a que estamos empleando en el análisis variables geográficas, lo cual comentamos en la próxima sección.



### 2.3. Autocorrelación Espacial

Este supuesto establece que los residuales no deben presentar autocorrelación ni temporal ni espacial. En el primer caso, los residuales no se dispersan aleatoriamente en torno a la recta de regresión en tanto que en el segundo, manifiestan agrupamientos definidos por proximidad con valores positivos y/o negativos. La importancia de evaluar la autocorrelación radica en que de hallarse no puede emplearse la ecuación lineal, sino que se debe considerar emplear alguna forma curvilínea que mejor ajuste los datos.

#### 2.3.1. Contraste $d$ de Durbin – Watson (DW)

Es una de las pruebas mayormente empleadas para detectar presencia de autocorrelación serial en los modelos de regresión. Este test se basa en el contraste de hipótesis de no autocorrelación con la de presencia de autocorrelación en los residuos.

El Estadístico se define como:

$$d = \frac{\sum_{t=2}^n (e_t - e_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^n e_t^2}$$

A partir de este se puede interpretar que:

- Si hay autocorrelación positiva las diferencias entre los residuos toma un valor muy próximo a 0.
- Por el contrario, si existe autocorrelación negativa tomará un valor muy próximo a 4.
- En caso de no existencia de autocorrelación, el DW tomará un valor muy próximo a 2.

Asimismo, se debe calcular los valores críticos para realizar el contraste debido a que la distribución varía según las variables empleadas, y por lo tanto los límites críticos varían. Calcular estos límites  $d_L$  (Límite inferior) y  $d_U$  (Límite superior) permite evaluar si el contraste es concluso o no, por ello se espera que el DW calculado no caiga entre las dos cotas mencionadas (Gallego Gómez, 2008).

### 2.4. Aplicación de un Modelo de Regresión Lineal Múltiple (MRLM)

Una vez concebido todos los supuestos y normalizadas las variables a emplear, se ha procedido a evaluar las variables independientes de modo de incluir en el modelo de regresión propuesto. Para ello se ha empleado el método denominado “paso a paso” (stepwise) que permite elegir el subconjunto de variables regresoras con mejor performance para el modelo. La lógica procedimental del paso a paso está dada por introducir las variables independientes que no se encuentren en la ecuación y que tengan la probabilidad F más pequeña. Por otro lado, las variables ya introducidas en la ecuación se eliminan si su probabilidad F llega a ser suficientemente grande, concluyendo el método de selección cuando ya no existan variables candidatas a ser incluidas o eliminadas. Una vez concluido con la selección de las variables, se debe optar por la utilización de medidas de bondad de ajuste y verificar las hipótesis estructurales para seleccionar el modelo de regresión más adecuado, de modo tal que los resultados obtenidos sean consistentes y estadísticamente significativos.

Los datos fueron transformados con el propósito de lograr en ellos un comportamiento lineal con respecto a la variable dependiente. Asimismo, los datos obtenidos y calculados mediante SIG son descriptos en la siguiente tabla:

Tipo	Denominación	Descripción	Unidad de Medida
Dependiente	PRECIO_SUE	Precio fiscal del suelo definido por la municipalidad de Resistencia.	\$/m <sup>2</sup>
Independiente	DENSIDAD_QALT	Densidad de hogares con estrato socioeconómico alto calculada en el barrio.	Hogares/ha
	DIST_AV	Indica la distancia euclidiana a las avenidas principales (9 de Julio, 25 de Mayo, Sarmiento y Alberdi).	m
	INSEGURIDAD	Frecuencia de opinión acerca de la estigmatización como barrio inseguro	Frecuencia
	DIST_PAV	Representa la distancia euclidiana a la red vial.	m
	DIST_TP	Indica la distancia euclidiana a las paradas de Transporte Publico.	m
	POB_NBI	Total de Población con Necesidades Básicas Insatisfechas.	Cantidad por unidad administrativa
	VIV_PLANIF	Presencia o no de viviendas planificadas.	Dummy
	DIST_E_V	Distancia euclidiana a los espacios verdes presentes en el área de estudio.	m
	DIST_CC_2	Distancia euclidiana a calles comerciales.	m
	LN_DIST_CC	Logaritmo natural de la distancia euclidiana al Centroides Comercial.	(Logaritmo Natural) m

Tabla 1: descripción de las variables utilizadas en el modelo de regresión.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Distribución del Precio fiscal del Suelo

Uno de los primeros pasos en el análisis explicativo del precio del suelo consiste en conocer la distribución del mismo a los efectos de tener una visión espacial de su comportamiento.

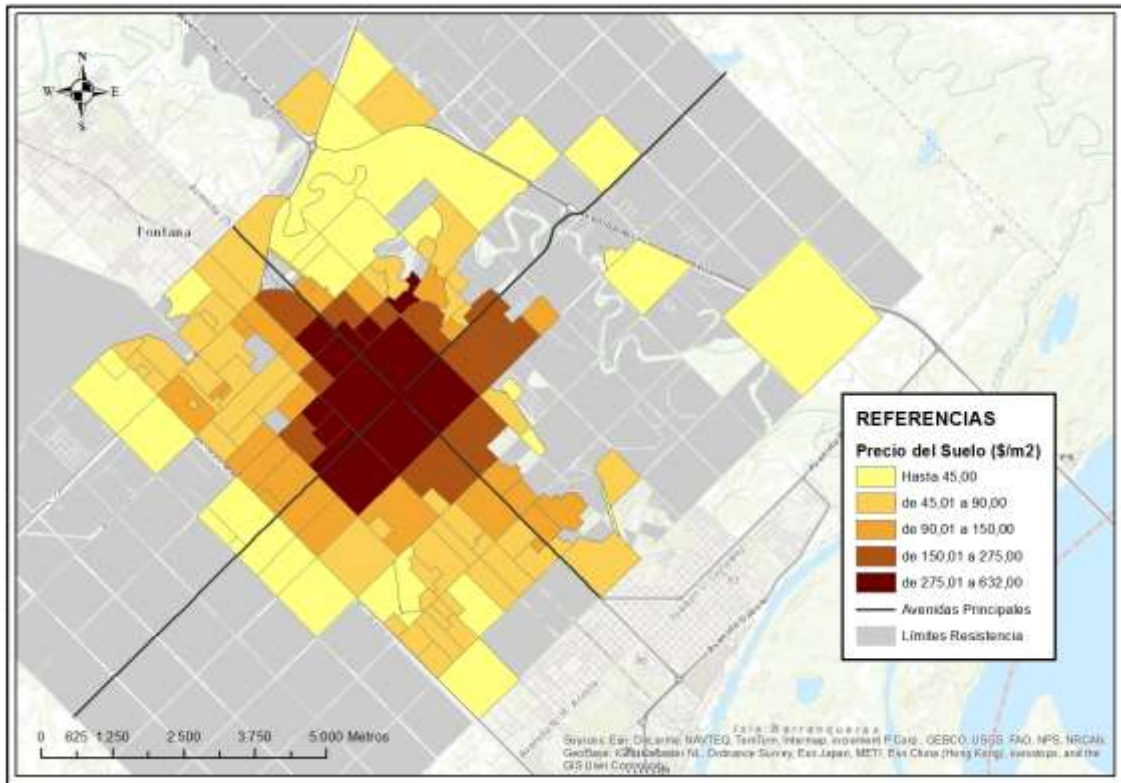


Fig. N° 4: Distribución del Precio fiscal del Suelo. Elaboración Propia.

En la Fig. N° 4 vemos la distribución espacial del precio fiscal del suelo, donde el centro de la ciudad es el espacio geográfico que alberga los intervalos de precios más elevados (150,01 a 632,00 \$/m<sup>2</sup>), disminuyendo paulatinamente hacia la periferia.

### 3.2. Análisis de Correlación de las variables

Los resultados obtenidos fueron sometidos al cumplimiento de los supuestos de modo tal que el ajuste obtenido sea estadísticamente significativo. En este contexto, uno de los primeros pasos fue elaborar una tabla de correlaciones bivariadas para corroborar la relación lineal entre las todas las variables. Para ello se ha utilizado el coeficiente de correlación de Pearson ( $r$ ) a niveles de significación de 0,01 y 0,05.

	PRECIO_ SUELO	DENSIDA D_ QALT	DIST_ AV	INSEGU RIDAD	DIST_ PA V	DIST_ TP	POB_ NBI	VIV_ PLA NIF	DIST_ E_ V	DIST_ CC _2	LN_ DIST _CC
PRECIO_ SUELO	1										
DENSIDA D_ QALT	,642**	1									
DIST_ AV	-,431**	-,281**	1								
INSEGU RIDAD	-,093	,034	-,036	1							
DIST_ PA V	-,364**	-,365**	,186*	-,140	1						

DIST_TP	-,210*	-,230**	,225**	-,075	,572**	1					
POB_NBI	-,139	-,159	-,026	,345**	,023	-,070	1				
VIV_PLA NIF	-,267**	,059	,498**	,095	-,093	-,131	-,026	1			
DIST_E_ V	-,250**	-,328**	,156	-,175*	,528**	,619**	-,077	-,109	1		
DIST_CC _2	-,647**	-,492**	,656**	,016	,507**	,453**	-,034	,284**	,566**	1	
LN_DIST _CC	-,761**	-,540**	,603**	,060	,458**	,367**	,010	,300**	,468**	,961**	1

Tabla 2: matriz de correlaciones bivariadas entre las variables (\*\*. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (2 colas);\*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (2 colas). Elaboración Propia.

La Tabla 2 muestra los coeficientes de correlación obtenidos para cada una de las variables independientes y para cada independiente con respecto a la dependiente. Puede observarse que las correlaciones entre las variables independientes entre sí no alcanzan al 0,7, siendo la más alta la de DIST\_CC\_2 con DIST\_AV con un coeficiente de 0,656 a un nivel de significación de 0,05.

Sin embargo, si observamos la correlación entre LN\_DIST\_CC y DIST\_CC\_2, el coeficiente obtenido es de 0,961 con lo cual se podría estar violando el supuesto de *No Colinealidad entre las variables independientes*, por lo tanto se debe considerar emplear una u otra variable en el modelo. La naturaleza de esta característica radica en que ambas variables comparten la unidad espacial de observación, aunque DIST\_CC\_2 a diferencia de LN\_DIST\_CC incorpora no solamente el centroide comercial, sino también otras calles de presencia comercial marcada.

### 3.3. Resultados del modelo de regresión aplicado

Posteriormente a la normalización de las variables y la exploración descriptiva de asociación, se procedió a implementar el método de paso a paso para seleccionar las variables que mayor significancia tengan en el modelo final.

De todas las variables empleadas, las que han resultado significativas son LN\_DIST\_CC, DENSIDAD\_QALT y DIST\_E\_V, dado sus coeficientes de significancia obtenidos (ver Tabla 4). Asimismo, a los efectos de observar la asociación de dichas variables independientes con la dependiente, se ha elaborado gráficos de dispersión que sintetizan dicho comportamiento, ellos son:

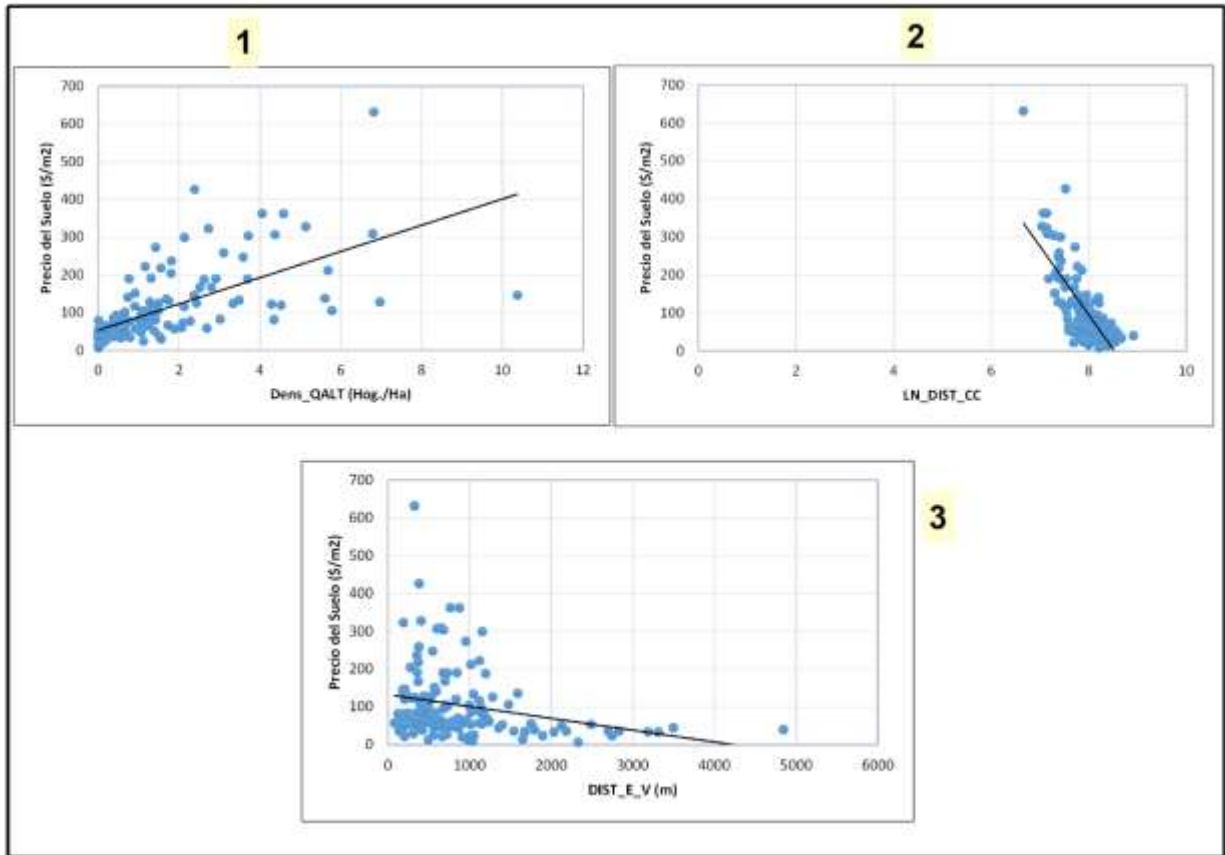


Fig. N° 5: Gráfico de Correlación entre (1= PRECIO\_SUELO - DENS\_QALT); (2= PRECIO\_SUELO - LN\_DIST\_CC); (3= PRECIO\_SUELO - DIST\_E\_V).

Con los gráficos de dispersión (Fig. N° 5) se puede observar la linealidad entre las variables independientes y la dependiente, con lo cual se satisface el supuesto de *Linealidad* con ciertas limitaciones en la relación de Precio del Suelo y DIST\_E\_V que presenta una tendencia más a curvilínea, debido a la distribución de los espacios verdes en la ciudad.

Atendiendo los coeficientes obtenidos (Ver Tabla 3) en la aplicación del modelo de regresión lineal múltiple, podemos observar un  $R^2$  de 0,677 y un  $R^2$  Ajustado de 0,669, lo cual expresados en porcentajes indican que un 66,9% de la variabilidad de los datos de precio fiscal del suelo, se encuentran explicados por las variables independientes empleadas en este modelo.

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Durbin-Watson
1	,823 <sup>a</sup>	,677	,669	54,99282088	1,685

Tabla 3: Resumen del modelo.

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1 Regresión	847707,969	3	282569,323	93,436	,000 <sup>b</sup>

Residuo	405244,187	134	3024,210	
Total	1252952,156	137		

Tabla 4: Tabla ANOVA del modelo de regresión.

Asimismo, la Tabla 4 muestra la significación del modelo en el que el test F resulta estadísticamente significativo dado su valor de 93,436 que supera el límite crítico establecido para un número de observaciones (n) de 138 y una significación del 0,05.

Ahora bien, si atendemos los coeficiente obtenidos para cada una de las variables independiente, vemos que son estadísticamente significativas al 0,05 con una valor de “t” superior a 2 o -2 en todos los casos, lo cual revela la que el modelo presenta ajuste válidos en los valores obtenidos.

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
		B	Error estándar	Beta		
1	(Constante)	1291,379	118,447		10,903	,000
	DENSIDAD_Q	18,621	3,174	,344	5,866	,000
	DIST_ESP_V	,021	,007	,169	3,028	,003
	LN_DIST_CC	-155,069	14,869	-,654	-10,429	,000

Tabla 4: Coeficientes obtenidos en el modelo de regresión.

### 3.4. Análisis de los Residuales

En los modelos de regresión, el estudio de los residuales constituye una de las partes más importantes, debido a que permite descartar o no las inferencias que puedan realizarse sobre a variable dependiente a partir del modelo empleado.

Por ello, se llevará a cabo el análisis de los residuales empleando para ello una serie de análisis gráfico y test específicos, que permiten ver el grado de cumplimiento de los supuestos que sustentan el análisis de regresión.

#### 3.4.1. Prueba de Normalidad de los residuales

El supuesto de *Normalidad de los residuales* establece que para cada valor de la variable independiente (o combinación de valores de las variables independiente), los residuos de distribuyen normalmente. La comprobación de ello se lleva a cabo mediante la organización de los residuos sobre los gráficos a tal fin.

La Fig. N° 6 muestra la distribución de las frecuencias de sobre un histogramas de los residuales con una curva normal. En ella apreciamos que existen observaciones que tiene un comportamiento fuera de la normal y por ello sobresale la curva de ajuste.

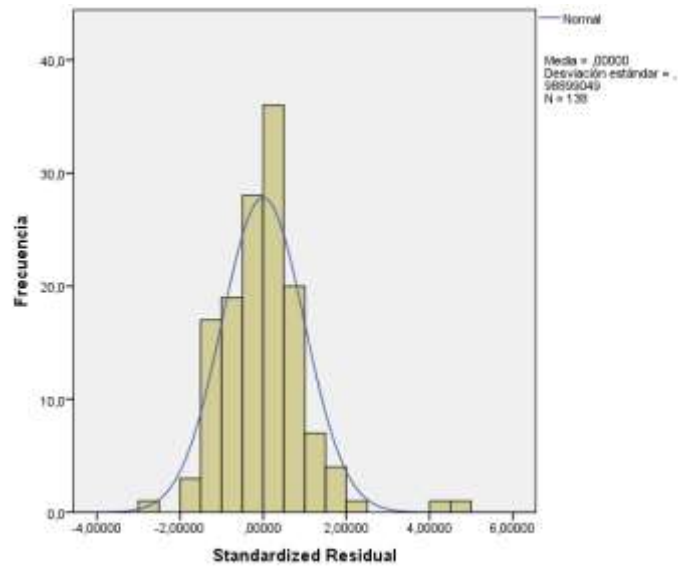
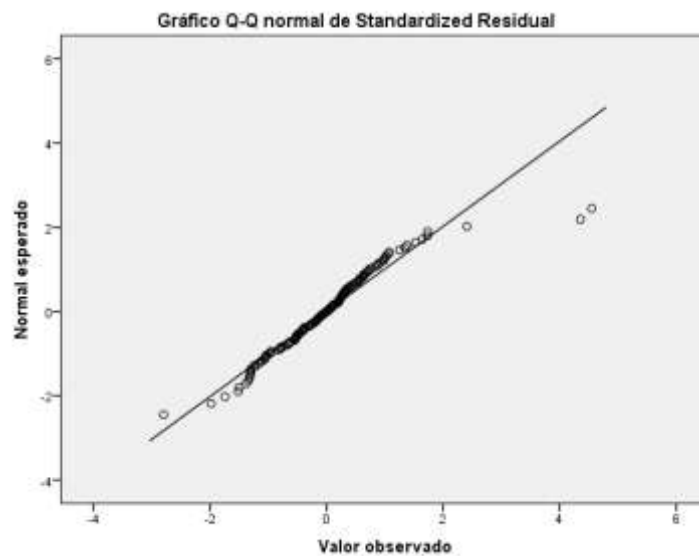


Fig. N° 6: Histograma de Frecuencia con curva normal.

Asimismo, se ha realizado el gráfico Q-Q normal, con el propósito de evaluar la distribución de los residuales sobre una curva normal teórica.



Además, se aplicó el contraste de Kolmogorov-Smirnov con el propósito de evaluar la bondad de ajuste referida a la normalidad de los residuales. Este test se llevó a cabo debido a que es independiente del tipo de variable que se esté aplicando, además de brindar un valor de significancia que permite aceptar o no la hipótesis nula.

**Pruebas de normalidad**

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Standardized Residual	,078	138	,040	,923	138	,000

a. Corrección de significación de Lilliefors

Tabla 5: Resultados obtenidos de las pruebas de normalidad de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk.

El estadístico de prueba Kolmogorov-Smirnov se interpreta bajo la formulación de las siguientes hipótesis:

- $H_0$ : la distribución de las observaciones no proceden de una distribución Normal.
- $H_1$ : la distribución de las observaciones proceden de una distribución Normal.

Dado que el estadístico dio una significancia de 0,04, trabajando a un nivel de confianza del 95%, no podemos rechazar la  $H_0$ , y por lo tanto, de acuerdo a este test analítico observamos problemas en la normalidad de los residuales.

### 3.4.2. Supuesto de Media 0 y Homocedasticidad

Estadísticos descriptivos				
	N	Media	Desviación estándar	Varianza
Standardized Residual	138	,0000000	,98899049	,978
N válido (por lista)	138			

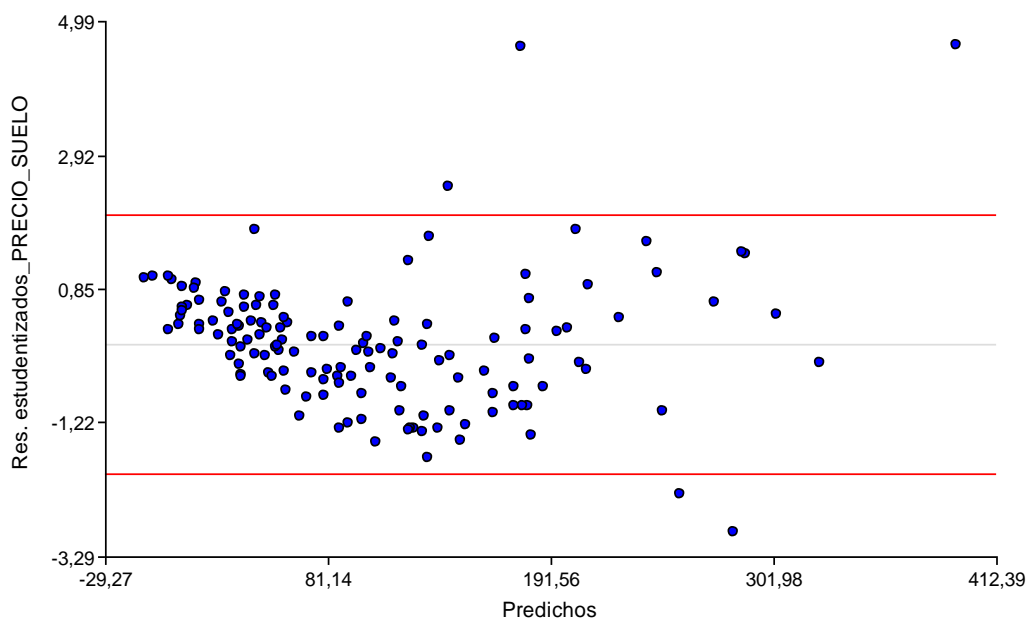


Fig. N° 7: Residuos Estudentizados vs Predichos.

Si observamos los valores obtenidos para corroborar los supuestos de Media 0 y Homocedasticidad de los residuales, vemos que el primer caso el supuesto queda satisfecho. Asimismo, el valor de la varianza de los residuales se encuentra muy próximo a 1, pero en una prueba gráfica (ver Fig. N° 7), vemos la presencia de valores atípicos y una tendencia al inicio de la gráfica de residuales.

### 3.5. Análisis de la autocorrelación de los residuos



Por último, cabe mencionar la importancia de comprobar la autocorrelación de los residuales debido a que pueden influir en las estimaciones hecha con el modelo. En este sentido, el estadístico Durbin-Watson es una prueba de autocorrelación que permite observar comportamiento en los residuales de autocorrelación positiva o negativa o bien la no autocorrelación.

Por ello, dado un número de observaciones (N) de 138 y 3 variable independientes (k), se ha calculado los Límites inferior (LI) y superior (LS), para llevar a cabo el análisis. Los resultados obtenidos para cada uno de los parámetros son:

N=138;  
k=3;  
LI 1.69262;  
LS 1.75138;

En este sentido, dado el DW obtenido 1,685 vemos que se encuentra por debajo de los límites calculados, por ello concluimos que los residuales presentan una Autocorrelación Positiva, lo cual implica la violación de este supuesto y la necesidad de aplicar alguna regla de transformación de los datos o analizar más detenidamente la naturaleza de ellos.

#### **4. CONSIDERACIONES FINALES**

Desde el punto de vista metodológico, el enfoque de los precios hedónicos se muestra adecuado para el análisis del valor del suelo, ya que una ecuación edonica puede resumir de manera objetiva la influencia de un conjunto de variables significativas en la conformación del precio del suelo. Pero el principal aporte es este sentido, ha sido su integración con los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la generación y cálculo de las variables que alimentaron el modelo de regresión múltiple.

El modelo obtenido presenta un ajuste aceptable ( $R^2=0,67$ ) y significación conjunta ( $F=93,436$  y  $p<000$ ). Por su parte, las variables introducidas muestran coeficientes con signos correctos, valores  $\neq 0$  y estadísticamente significativos al 0,05. Esto nos permite afirmar que la densidad de estratos socioeconómicos altos, y las distancias a espacios verdes y el centro comercial de Resistencia, influyen efectivamente en la estructura del precio fiscal del suelo; de esta forma podemos aceptar la hipótesis de trabajo ( $H_1$ ) formulada oportunamente.

Como líneas futuras de trabajo, se propone indagar en la posible presencia de autocorrelación espacial en los residuos, lo que podría derivar en la utilización de modelos de regresión espaciales, como los del tipo GWR, Spatial Lag, Spatial Error, etc. Por otra parte, se debería complementar este trabajo con la modelización del precio del suelo en el mercado inmobiliario, a los efectos de tener una visión más completa de fenómeno, como también evaluar su comportamiento o peso al momento de explicar otros procesos más complejos, tales como la expansión urbana de la ciudad.

#### **5. REFERENCIAS**

- Anderson, T.R. (1962). **Social and Economic Factors affecting the Location of Residential Neighborhoods**. Papers and Proceedings, Regional Science Association, (9): 161-170.
- Arias, F., Ortiz, R., Cardozo, O., y Da Silva, C. (2013). **Análisis de la Distribución Espacial de Actividades Económicas en la Ciudad de Resistencia, Argentina**. V Seminario Internacional Sobre Políticas Urbanas, Gestión Territorial y Ambiental para el Desarrollo Local. Resistencia: Instituto de Planeamiento Urbano y Regional - Facultad de Arquitectura y Urbanismo - UNNE.
- Barredo Cano, J. I. (1996). **Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio**. Madrid, Ed. RA-MA.
- Barredo Cano, J. I. y Bosque Sendra, J. (1999). **Multicriteria evaluation methods for ordinal data in a GIS environment**, Geographical Systems, 5, pp. 313-327.
- Cano Guervós, R. A y Chica Olmo, J. M. (2004). **Una Metodología Objetiva para las Valoraciones Inmobiliarias**. Capítulo 7. Departamento de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa. ISBN 84-338-3108-9. Editorial Universidad de Granada. 28 p.
- Da Silva, C. J., Cardozo, O. D., Odiozola, J. G., y Bondar, C. E. (2013). **Usos del Suelo: Distribución, Análisis y Clasificación con Sistemas de Información Geográfica (SIG)**. *Geografía y Sistemas de Información Geográfica*. (GESIG-UNLU, Luján)(5), 142-152.
- Da Silva, C. J., Cardozo, O. D., Odiozola, J. G., Bondar, C. E., y Brillada, D. S. (2014). **Uso Comercial del Suelo y Transporte Público en el Centro de la Ciudad de Resistencia, Argentina**. XVIII Congreso Panamericano de Ingeniería del Tránsito, Transporte y Logística, (págs. 1-18). Santander.
- Estebanez Alvarez, J., & Bradshaw, R. P. (1978). **Técnicas de Cuantificación en Geografía**. Madrid: TEBAR FLORES.
- Gallego Gómez, J. L. (2008). **Apuntes de Econometría**. LADE y LE. Departamento de Economía. Universidad de Cantabria.
- Gómez Delgado, M., y Barredo Cano, J. I. (2005). **Sistemas de Información Geográfica y evaluación Multicriterio en la ordenación del territorio**. Madrid: Ra-Ma.
- Harvey. D (2009). **Social Justice and the City**. University of Georgia Press. Revised edition. ISBN: 978-0-8203-3604-6.
- Humarán Nahed, I., y Roca Cladera, J. (2010). **Hacia una medida integrada del Factor de Localización en la valoración residencial: el caso de Mazatlán**. ACE. Architecture, City and Environment, 13, 185-218. ISSN-e 1886-4805.
- Jiang, H. y Eastman, J. R. (2000). **Application of fuzzy measures in multi-criteria evaluation in GIS**. International Journal of Geographical Information Science, 14, 2, pp. 173-184.
- Lever G. D. (2009). **El Modelo de Precios Hedónicos**. Asociación de Arquitectos Tasadores de Chile (Asatch). 13 p.
- Malczewski, J. (2002). **Fuzzy screening for land suitability analysis**. Geographical & Environmental Modelling, 6, 1, pp. 27-39.
- Meloni, O. y Ruiz Nuñez. F. (2002). **El precio de los terrenos y el valor de sus atributos. Un enfoque de precios hedónicos**. Económica, Vol. XLVIII (1-2): 69-88. Facultad de Ciencias Económicas. Universidad Nacional de La Plata. ISSN-e: 1852-1649.
- Núñez Cerda, F. y Schovelin Surhoff, R. (2002). **Modelos de Precio de Suelo Urbano en Gran Concepción**. Revista Ingeniería Industrial - Año 1, N° 1. Concepción, Chile. ISSN-e: 0717-9103.

- Núñez Cerda, F.J. y Roca Cladera, J. (2007). **Especificación y estimación de modelos de formación de precios del suelo urbano en el Gran Concepción, Chile.** ACE. Architecture, City and Environment, 2, 4, 554-584. ISSN-e 1886-4805.
- Odriozola, J. G. y Falcón, V. L. (2007). **Geo-referenciación de los niveles socioeconómicos del Gran Resistencia.** <http://www.educa-al.com.ar/index.html>.
- Pyszcsek, O. L. (2012). **La estructura formal y funcional de la Seguridad Pública, y su relación con los Espacios del miedo, en la ciudad de Resistencia, Chaco.** XIV Encuentro de Profesores en Geografía del Nordeste Argentino, (págs. 1-11). Resistencia.
- Rey, W., y Lucca, A. (1999). **Aplicación de SIG a Aspectos Socio-Ambientales del Centro de la ciudad de Resistencia 1999.** Serie Geográfica (8), 137-151.
- Scornik, C. O. (1998). **Diagnóstico Expositivo del Área Metropolitana del Gran Resistencia.** Informe General. Ministerio del Interior. Resistencia, Chaco.
- Vecchione de Ochoa, Lina. (2007). **Un modelo del valor del suelo urbano en el área metropolitana de Mérida.** Instituto de Investigaciones Económicas y Sociales. Universidad de los Andes.
- Wu, F. y Webster, C. J. (1998). **Simulation of land development through the integration of cellular automata and multicriteria evaluation.** Environment and Planning B: Planning and Design, 25, pp. 103-126.