Análisis de los valores de mercado de venta y alquileres de bienes inmuebles urbanos ubicados en los barrios Punta Carretas y Pocitos, Montevideo, Uruguay, a través de Regresión Espacial y Geoestadística.

Análise dos valores de mercado de venda e locação de imóveis urbanos situados nos bairros Punta Carretas e Pocitos, Montevidéu, Uruguai, por meio de Regressão Espacial e Geoestatística.

Edelvis Mónica Álvarez Cadena[1]
Juan Felipe Duró Olaso[2]
María Carolina Magnone Fea[3]
Carlos Alberto Peruzzo Trivelloni[4]

Resumen: Este trabajo analiza los factores que influyen en el valor de los bienes inmuebles urbanos ubicados en los barrios Punta Carretas y Pocitos, Montevideo, Uruguay. Para ello, se utilizaron datos de compraventa y alquiler complementados con información catastral y variables de localización, tales como categoría constructiva, estado de conservación, antigüedad, áreas del predio y edificada, y distancias a la Rambla y a las principales avenidas. Se aplicaron técnicas de regresión múltiple, inferencia estadística y geoestadística para identificar las variables que explican el comportamiento del mercado inmobiliario. Los resultados muestran que las características físicas de los inmuebles y su localización influyen significativamente en su valor. Posteriormente, los valores fueron homogeneizados y se realizó una interpolación mediante Kriging Ordinario con un modelo de variograma exponencial, permitiendo representar la distribución espacial de los valores inmobiliarios e identificar las zonas de mayor valorización dentro del área de estudio. Los resultados constituyen una herramienta de apoyo para la valoración inmobiliaria y la planificación territorial.

Palabras claves: valoración inmobiliaria; regresión múltiple; kriging; geoestadística; mercado inmobiliario.

Resumo: Este trabalho analisa os fatores que influenciam o valor dos imóveis urbanos localizados nos bairros Punta Carretas e Pocitos, em Montevidéu, Uruguai. Para isso, foram utilizados dados de compra e venda e de aluguel, complementados com informações cadastrais e variáveis de localização, tais como categoria construtiva, estado de conservação, idade, área do terreno, área construída e distâncias até a Rambla e às principais avenidas. Foram aplicadas técnicas de regressão múltipla, inferência estatística e geoestatística para identificar as variáveis que explicam o comportamento do mercado imobiliário. Os resultados mostram que as características físicas dos imóveis e sua localização influenciam significativamente o seu valor. Posteriormente, os valores foram homogeneizados e realizou-se uma interpolação por Krigagem Ordinária utilizando um modelo de variograma exponencial, permitindo representar a distribuição espacial dos valores imobiliários e identificar as áreas de maior valorização dentro da área de estudo. Os resultados constituem uma ferramenta de apoio para a avaliação imobiliária e o planejamento territorial.

Palavras-chave: avaliação imobiliária; regressão múltipla; krigagem; geoestatística; mercado imobiliário.

1 INTRODUCCIÓN

Los barrios Pocitos y Punta Carretas, ubicados en la ciudad de Montevideo, se encuentran entre las zonas con mayor valorización inmobiliaria de Uruguay debido a su cercanía a la costa, su infraestructura urbana y la amplia presencia de servicios, comercios y espacios públicos.

En estas áreas predominan los inmuebles destinados a vivienda, aunque también existe una importante actividad comercial y de servicios. Factores como la proximidad a la Rambla,

[1] Universidad de la República- Facultad de Ingeniería - Instituto de Agrimensura - alvarezedelvis@gmail.com
[2] Universidad de la República -Facultad de Ingeniería - Instituto de Agrimensura - juanfelipeduro@gmail.com
[3] Universidad de la República - Facultad de Ingeniería - Instituto de Agrimensura - mmagnone51@gmail.com
[4] Universidad de la República - Facultad de Ingeniería - Instituto de Agrimensura - carlos.peruzzo@gmail.com

el acceso a avenidas principales y la calidad del entorno urbano influyen directamente en el valor de mercado de las propiedades.

El crecimiento urbano y la demanda habitacional han generado un constante desarrollo inmobiliario en ambos barrios, con diferencias de valor según la ubicación y las características de cada inmueble, lo que motiva analizar cómo influyen tanto las variables físicas y los factores de localización en la formación de los precios de mercado.

El presente trabajo tiene como finalidad estudiar los valores de mercado de bienes inmuebles urbanos ubicados en Pocitos y Punta Carretas mediante el uso de herramientas estadísticas y espaciales. Para ello, se utilizan datos de compraventa, alquileres y características de los inmuebles obtenidas de diferentes fuentes, con el objetivo de identificar los principales factores que valorizan o desvalorizan las propiedades dentro del área de estudio.

Para ello, en primer lugar se aplican técnicas de regresión múltiple con el fin de determinar la incidencia de las características físicas y constructivas de los inmuebles sobre su valor de mercado (Dantas, 1998; Oliveira et al, 2016; Fontoura Jr. et al, 2018; Duarte et al., 2022). Posteriormente, se incorporan herramientas de regresión espacial y geoestadística, en particular, la interpolación mediante Kriging Ordinario (Chica Olmo, 1994; Peruzzo Trivelloni, 2005; Pozzi et al., 2024; Peruzzo Trivelloni et al., 2025), con el objetivo de captar el componente de localización y representar la distribución espacial de los valores dentro del área de estudio.

Se plantea como hipótesis que los inmuebles más próximos a la Rambla y los ubicados al sur de Av. Rivera representan mayores valores de mercado, debido a las ventajas paisajísticas, de accesibilidad y de servicios, y a las diferencias urbanas y territoriales presentes dentro del área de estudio.

El área de estudio comprende los barrios Punta Carretas y Pocitos, cuya ubicación dentro de la ciudad de Montevideo se presenta en la Figura 1.

Figura 1 - Mapa de ubicación.



Fuente: elaborado por los autores.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

El objetivo general del presente trabajo es analizar los valores de mercado de bienes inmuebles urbanos ubicados en los barrios de Punta Carretas y Pocitos, Montevideo, Uruguay,

a partir del análisis de precios de venta y alquiler con el uso de métodos de regresión espacial y geoestadística.

2.2 Objetivos Específicos

Desarrollar una base de datos de inmuebles en los barrios Punta Carretas y Pocitos, incorporando información de ventas y alquileres junto con variables físicas y de localización, y realizar un análisis exploratorio para caracterizar su comportamiento.

Establecer las relaciones entre las características de los inmuebles y sus valores de mercado, diferenciando entre propiedad horizontal y propiedad común, mediante la aplicación de modelos de regresión múltiple.

Estudiar la relación entre los valores de venta y de alquiler de los inmuebles, con el fin de estimar la tasa de retorno de la inversión inmobiliaria destinada al alquiler.

Examinar los patrones espaciales presentes en los valores inmobiliarios utilizando técnicas de regresión espacial y geoestadística, con el fin de identificar efectos de dependencia espacial.

Interpretar la influencia de factores urbanos y geográficos en la valorización de los inmuebles, vinculando los resultados obtenidos con las dinámicas territoriales del área de estudio.

3 METODOLOGÍA

3.1 Recopilación de datos iniciales

En primera instancia, se obtienen datos correspondientes a ofertas de compraventa y alquiler de inmuebles ubicados en los barrios Punta Carretas y Pocitos, Montevideo, Uruguay. Estos datos incluyen las coordenadas UTM, el número de padrón y la ubicación de cada inmueble. Asimismo, se elabora una tabla con las principales características de los inmuebles, tales como la categoría constructiva, el estado de conservación, la antigüedad, el número de habitaciones, el número de baños, el número de garajes, el área total y el área construida, información extraída de la Dirección Nacional de Catastro.

Los valores de oferta de compraventa se encontraban expresados en dólares estadounidenses, mientras que los valores de oferta de alquiler estaban expresados tanto en pesos uruguayos como en dólares estadounidenses. Con el fin de trabajar con una única unidad monetaria, todos los valores fueron convertidos a dólares estadounidenses.

Los barrios Punta Carretas y Pocitos se encuentran entre los más valorizados de Montevideo, con elevados precios por metro cuadrado por su cercanía a la costa, infraestructura de servicios y conectividad; Pocitos es además el de mayor población

Se evalúa la influencia de distintas infraestructuras urbanas. En este sentido, ambos barrios cuentan con importantes arterias de circulación, entre las que se destacan Avenida General Rivera, Bulevar General Artigas, Bulevar España, Ellauri, Avenida Brasil, 21 de Setiembre, Avenida Luis Alberto de Herrera, 26 de Marzo, Rambla Mahatma Gandhi y Rambla República del Perú. Para ello, se calcularon las distancias de cada inmueble a estas avenidas, bulevares y calles mediante el software QGIS, con el objetivo de analizar su incidencia en los valores de los inmuebles.

3.2 Regresión múltiple

Se utiliza inferencia estadística y regresión múltiple, se realiza un primer análisis de las variables independientes consideradas como el precio de los inmuebles (Modelo 1, de ahora en adelante), el logaritmo del precio de los inmuebles (Modelo 2, de ahora en adelante), el

valor unitario del precio de los inmuebles (Modelo 3, de ahora en adelante) y el logaritmo del valor unitario del precio de los inmuebles (Modelo 4, de ahora en adelante). Se utilizan como variables de localización las distancias a las avenidas, bulevares y calles mencionadas anteriormente y las variables dicotómicas.

Se evaluaron cuatro modelos de regresión múltiple utilizando diferentes variables dependientes, con el objetivo de determinar cuál representa mejor el comportamiento del mercado inmobiliario de los barrios Punta Carretas y Pocitos. Como se muestra en la Tabla 1, los resultados evidencian diferencias en el ajuste estadístico entre los modelos analizados. Por este motivo, la selección del modelo final no se basó únicamente en el coeficiente de determinación ajustado (R^2), sino también en la coherencia de los resultados obtenidos y en la interpretación de las variables explicativas.

Tabla 1 - Comparación de los cuatro modelos de regresión múltiple evaluados para seleccionar el modelo más adecuado para el análisis.

MODELO	*VAR. DEPENDIENTE*	R^2	*OBSERVACIONES*	*SELECCIONADO*
Modelo 1	Valor de venta	0.75	Ajuste aceptable	No
Modelo 2	Logaritmo del valor de venta	0.98	Muy buen ajuste estadístico	No
Modelo 3	Valor unitario	0.27	Bajo ajuste estadístico	No
Modelo 4	Logaritmo del valor unitario	0.97	Muy buen ajuste y mejor interpretación	Si

Fuente: elaborado por los autores.

4 RESULTADOS DE LA REGRESIÓN MULTIPLE

Como se observa en la Tabla 1, se evaluaron cuatro modelos de regresión múltiple utilizando diferentes variables dependientes. De ellos, se seleccionó el Modelo 4, correspondiente al logaritmo del valor unitario, para continuar con el análisis. Si bien el modelo basado en el logaritmo del valor de venta presentó un R^2 ajustado ligeramente superior, la diferencia entre ambos fue mínima. Se optó por el Modelo 4 porque el valor unitario permite comparar de mejor manera inmuebles de diferentes dimensiones y facilita la interpretación de los resultados. Además, las variables obtenidas mostraron un comportamiento más coherente con la realidad del mercado inmobiliario, por lo que este modelo fue considerado el más adecuado para desarrollar el análisis de los resultados y el estudio espacial posterior.

Los resultados obtenidos mediante la regresión múltiple del Modelo 4 en el software GeoDa se presentan en la Figura 2.

Figura 2 - Resultados del Modelo 4 obtenidos mediante regresión múltiple en GeoDa.

```
>>13/07/2026 18:39:41
REGRESSION
----------
SUMMARY OF OUTPUT: ORDINARY LEAST SQUARES ESTIMATION
Data set            :  Base de Datos 2.0.xlsx - GeoDa (4)
Dependent Variable  : log val uni  Number of Observations:  199
Mean dependent var  :     3,01211  Number of Variables   :   13
S.D. dependent var  :    0,931748  Degrees of Freedom    :  186

R-squared           :    0,971210  F-statistic           :     522,877
Adjusted R-squared  :    0,969352  Prob(F-statistic)     :           0
Sum squared residual:     4,97388  Log likelihood        :     84,6971
Sigma-square        :   0,0267413  Akaike info criterion :    -143,394
S.E. of regression  :    0,163528  Schwarz criterion     :    -100,581
Sigma-square ML     :   0,0249944
S.E of regression ML:    0,158096

------------------------------------------------------------------------------
       Variable      Coefficient      Std.Error    t-Statistic   Probability
------------------------------------------------------------------------------
          CONSTANT        6,13687      0,0981859        62,5025      0,00000
           V=1 A=2       -2,32618      0,0306595       -75,8713      0,00000
     AREA TERR PC   0,000277033   0,000134989        2,05227      0,04154
        GARAJE PH      0,0822875      0,0231077        3,56105      0,00047
          BAÑOS PC      0,0371346      0,0268129        1,38495      0,16773
          BAÑOS PH      0,0605195       0,020718        2,92111      0,00392
            EST PH     -0,0501203      0,0198575       -2,52399      0,01244
            EST PC      -0,114755      0,0227969       -5,03377      0,00000
     AREA CONS PC  -0,000619132   0,000240174       -2,57785      0,01072
     AREA CONS PH    -0,00197449   0,000386726       -5,10564      0,00000
          EDAD PH    -0,00999435     0,0104127      -0,959826      0,33839
  dist_21setiembre  -7,12605e-05   3,27326e-05       -2,17705      0,03074
  dist_LAdeHerrera  -5,06723e-05   2,54824e-05       -1,98852      0,04822
------------------------------------------------------------------------------
```

Fuente: elaborado por los autores

Tabla 2 - Variables de las observaciones.

Nombre de la variable	**Tipo**	**Descripción**
log val uni	Dependiente	Logaritmo del valor unitario de la oferta de los inmuebles en base 10
V= 1 A=2	Dicotómica	Inmuebles en venta = 1; inmuebles en alquiler = 2.
ÁREA TERR PC	Continua	Área del terreno, en m², de los inmuebles en régimen de Propiedad Común (casas); en Propiedad Horizontal = 0.
GARAJE PH	Ordinal	Cantidad de espacios de garaje en régimen de Propiedad Horizontal (edificios); en Propiedad Común = 0.
BAÑOS PC	Ordinal	Cantidad de baños en régimen de Propiedad Común (casas); en Propiedad Horizontal = 0.
BAÑOS PH	Ordinal	Cantidad de baños en régimen de Propiedad Horizontal (edificios); en Propiedad Común = 0.
EST PH	Ordinal	Estado de conservación en Propiedad Horizontal: 1 = Excelente, 2 = Bueno, 3 = Regular, 4 = Malo, 5 = Muy malo; en Propiedad Común = 0.
EST PC	Ordinal	Estado de conservación en Propiedad Común: 1 = Excelente, 2 = Bueno, 3 = Regular, 4 = Malo, 5 = Muy malo; en Propiedad Horizontal = 0.
ÁREA CONS PC	Continua	Área construida total, en m², de los inmuebles en régimen de Propiedad Común (casas); en Propiedad Horizontal = 0.
ÁREA CONS PH	Continua	Área construida total, en m², de los inmuebles en régimen de Propiedad Horizontal (edificios); en Propiedad Común = 0.
EDAD PH	Dicotómica	Edad de las construcciones en régimen de Propiedad Horizontal (edificios); en Propiedad Común = 0.
dist_21setiembre	Continua	Distancia euclidiana en metros del inmueble a la calle 21 de setiembre
dist_LAdeHerrera	Continua	Distancia euclidiana en metros del inmueble a la avenida Luis Alberto de Herrera

Fuente: elaborado por los autores.

Entre las variables analizadas, el área del terreno, la presencia de garaje, el número de baños, el estado de conservación, el área construida y la distancia a la avenida 21 de Setiembre presentaron una influencia estadísticamente significativa sobre el valor unitario de los inmuebles. Estos resultados evidencian que tanto las características físicas de las propiedades como su localización contribuyen a explicar las diferencias de valor observadas en el área de estudio.

La separación de estas variables por régimen de propiedad no fue arbitraria, sino que respondió a que las características físicas de una vivienda y de un apartamento inciden de manera estructuralmente distinta sobre su valor, en tanto responden a lógicas de valorización diferentes. De haberse utilizado una única variable común a ambos regímenes, el modelo habría impuesto un mismo coeficiente para ambos tipos de inmueble, lo cual podría haber enmascarado o distorsionado el efecto real de cada característica según el régimen. Por este motivo, se optó por especificar variables diferenciadas para Propiedad Común y Propiedad Horizontal, lo que permitió estimar de forma independiente la magnitud y significancia de cada efecto en cada régimen.

Cabe señalar que diversas variables fueron definidas de forma específica para cada régimen de propiedad, Propiedad Común y Propiedad Horizontal, por lo que resultaron significativas únicamente para uno de los dos regímenes, o para ambos con distinta magnitud. La Tabla 3 resume esta diferenciación, junto con su interpretación en función de la dinámica del mercado.

Tabla 3 - Significancia de las variables por régimen de propiedad y su interpretación.

Variable	**Significativa para**	**Interpretación**
Área del terreno	Solo Propiedad Común	En Propiedad Horizontal el valor depende principalmente de la superficie construida y los servicios; en Propiedad Común, el tamaño del lote incide directamente en el precio.
Garaje	Solo Propiedad Horizontal	En zonas de alta densidad, la cochera en edificios es un bien escaso, aumentando su incidencia en el valor.
Baños	Solo Propiedad Horizontal; no significativa en Común	En Propiedad Horizontal, un baño adicional puede aumentar el valor de la unidad. En Propiedad Común, su efecto es menor frente a la incidencia del terreno.
Estado de conservación	Ambos regímenes, con mayor peso en Común que en Horizontal	El mal estado afecta más a las casas, que pueden aproximarse al valor del terreno, mientras que en apartamentos el edificio sostiene parte del valor.
Área construida	Ambos regímenes, con mayor peso en Horizontal que en Común	En Propiedad Común incluye toda la superficie edificada, mientras que en Propiedad Horizontal comprende la unidad, balcones y terrazas techadas.
Edad	Solo evaluada en Propiedad Horizontal; no significativa	En apartamentos, el efecto de la antigüedad puede verse compensado por construcciones más sólidas y ambientes de mayor tamaño.

Fuente: elaborado por los autores.

4.1 Diagnóstico del modelo

De acuerdo con las recomendaciones de Anselin (1999), Dantas et al. (2002), Dantas (2003) con el objetivo de comprobar que el modelo seleccionado era adecuado, se realizaron diferentes pruebas estadísticas sobre los residuos de la regresión, se evaluó si los residuos presentaban un comportamiento espacial mediante el Índice de Moran, obteniéndose un valor de I = -0,0199 y un pseudo p-valor = 0,18.

Este resultado indica que no existe una autocorrelación espacial significativa entre los residuos. Para confirmar este resultado, se aplicaron las pruebas Lagrange Multiplier (LM Lag, LM Error, Robust LM Lag, Robust LM Error y SARMA). En todos los casos los valores obtenidos no fueron significativos ($p > 0,05$), por lo que no sería necesario utilizar modelos de regresión espacial.

Los resultados de estas pruebas de diagnóstico, junto con el diagrama de dispersión del Índice de Moran, se presentan en la Figura 3.

Figura 3 - Resultados de la regresión y diagrama de dispersión del Índice de Moran

```
REGRESSION DIAGNOSTICS
MULTICOLLINEARITY CONDITION NUMBER   23,832919
TEST ON NORMALITY OF ERRORS
TEST                  DF          VALUE             PROB
Jarque-Bera            2        7279,2613          0,00000

DIAGNOSTICS FOR HETEROSKEDASTICITY
RANDOM COEFFICIENTS
TEST                  DF          VALUE             PROB
Breusch-Pagan test    10          362,1368          0,00000
Koenker-Bassett test  10           23,3438          0,00955

DIAGNOSTICS FOR SPATIAL DEPENDENCE
FOR WEIGHT MATRIX : Base de Datos 2.0.xlsx - GeoDa
   (row-standardized weights)
TEST                          MI/DF        VALUE          PROB
Moran's I (error)           -0,0199       -0,0550        0,95616
Lagrange Multiplier (lag)         1        2,4573        0,11698
Robust LM (lag)                   1        2,2894        0,13026
Lagrange Multiplier (error)       1        0,1753        0,67547
Robust LM (error)                 1        0,0074        0,93124
Lagrange Multiplier (SARMA)       2        2,4647        0,29161
```

Fuente: elaborado por los autores

En consecuencia, se consideró que el modelo de regresión múltiple era adecuado para explicar el comportamiento del valor unitario de los inmuebles y permitió continuar con el análisis espacial mediante la interpolación por kriging.

5 HOMOGENEIZACIÓN DE LOS VALORES INMOBILIARIOS

Antes de realizar la interpolación espacial fue necesario homogeneizar los valores unitarios de los inmuebles utilizando los coeficientes obtenidos en el modelo de regresión espacial múltiple. Esta homogeneización es necesaria para realizar el análisis geoestadístico que debe ser aplicado a variables regionalizadas (Chica Olmo, 1994; Chica Olmo, 1995).

Este procedimiento permitió eliminar el efecto de las diferencias en las características físicas de cada propiedad, expresando todos los inmuebles bajo un mismo patrón de comparación. Para ello se definió un inmueble tipo, con características representativas del área de estudio, cuyos valores fueron incorporados en la ecuación de regresión. De esta manera, cada inmueble fue ajustado como si presentara las mismas condiciones de área, estado de conservación, número de baños, garaje y demás variables significativas del modelo.

Las características utilizadas para definir el inmueble tipo se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4 - Características del inmueble tipo utilizado para la homogeneización de los valores inmobiliarios.

CARACTERÍSTICA	VALOR DE REFERENCIA
Tipo de inmueble	Propiedad común (V=1)
Área del terreno	300 m^2
Garage	1
Baños	1
Estado conservación	3 (regular)

CARACTERÍSTICA	VALOR DE REFERENCIA
Edad	3 (media)
Área construida prop. Común	235 m^2 (promedio de la muestra)
Área construida prop. horizontal	98 m^2(promedio de la muestra)

Fuente: elaborado por los autores.

Una vez definido el inmueble tipo, el monto homogeneizado se obtuvo mediante la aplicación de los coeficientes estimados en el modelo de regresión múltiple, ajustando las diferencias entre las características observadas de cada inmueble y las correspondientes al inmueble tipo (Tabla 4). Para ello se empleó la siguiente expresión general de homogeneización:

$$VH = VO - \sum_{I=1}^{n} \beta_i \left(x_i - x_{i\,tipo}\right) \quad (1)$$

Donde:

VH: valor homogeneizado.
VO: valor observado (logaritmo del valor unitario).
β_i: coeficiente estimado mediante la regresión espacial
x_i: valor observado de la variable iii.
$x_{i\,tipo}$: valor de la misma variable correspondiente al inmueble tipo.

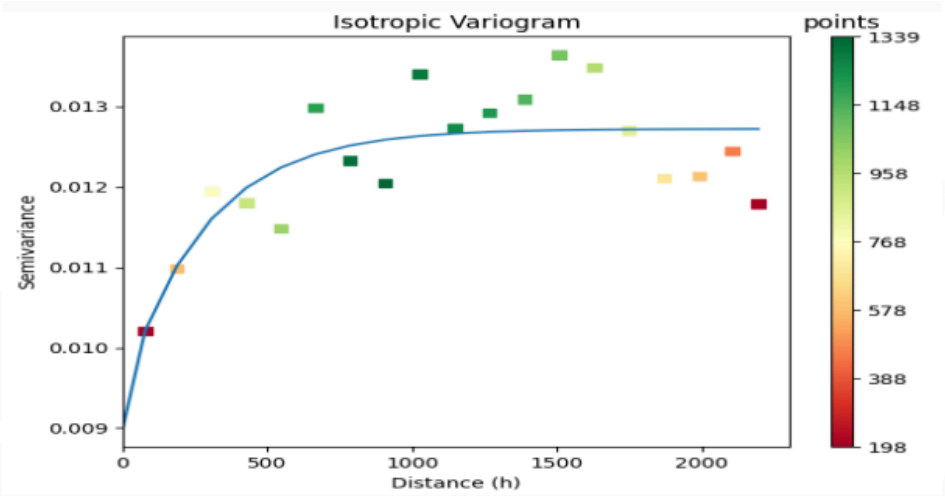
6 ANÁLISIS ESPACIAL DEL VALOR UNITARIO MEDIANTE KRIGING

Una vez validado el modelo de regresión y obtenidos los valores homogeneizados, se aplicó la interpolación mediante kriging con el fin de estimar la distribución espacial del valor unitario en el área de estudio. Para ello se utilizaron los valores homogeneizados y las coordenadas de cada inmueble, obteniendo una superficie continua que permitió identificar las zonas de mayor y menor valorización inmobiliaria (Peruzzo Trivelloni, 2005; Pozzi et al., 2024; Peruzzo Trivelloni et al., 2025).

6.1 Variograma

Para ajustar el modelo de interpolación se evaluaron distintos modelos teóricos de variograma, seleccionándose el modelo exponencial por presentar el mejor ajuste a la estructura espacial de los datos (Figura 4). El modelo obtenido presentó un efecto pepita (Co) de 0,009, un umbral (Co + C) de 0,013 y un alcance (Range) de 851,19 m, con un coeficiente de determinación (R^2) de 0,614. Estos resultados indican que los valores inmobiliarios mantienen dependencia espacial hasta aproximadamente 851 m, distancia considerada durante el proceso de interpolación.

Figura 4 - Variograma experimental y modelo exponencial ajustado utilizado para la interpolación mediante kriging.



Fuente: elaborado por los autores

6.2 Validación cruzada

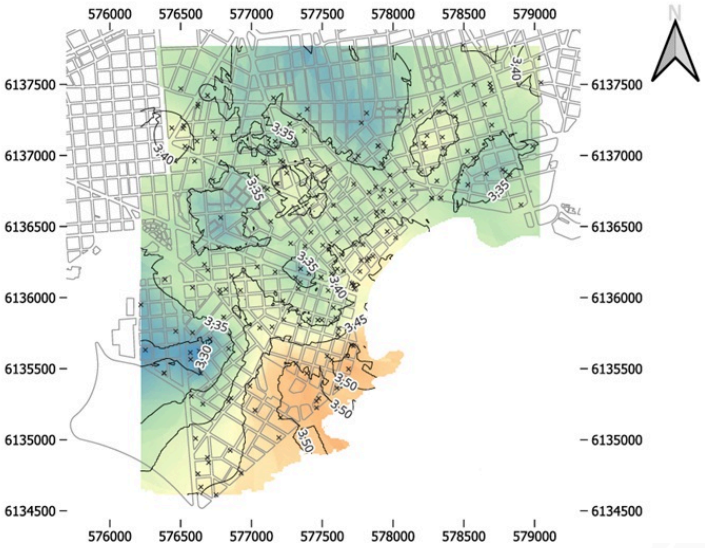
Como paso previo a la generación de la superficie interpolada, se realizó una validación cruzada del modelo de kriging con el fin de comprobar su capacidad predictiva. Los resultados mostraron un error de predicción aceptable (RMSE = 0,107), por lo que el modelo se consideró adecuado para la interpolación espacial de los valores unitarios homogeneizados.

7 RESULTADOS DE LA INTERPOLACIÓN MEDIANTE KRIGING

El resultado de la interpolación, representado mediante un mapa de superficie continua del valor unitario homogeneizado, se presenta en la Figura 5.

La interpolación mediante kriging permitió representar la distribución espacial del valor unitario homogeneizado en el área de estudio. En el mapa se observa una variación gradual de los valores, donde los tonos rojizos representan las zonas de mayor valor unitario, mientras que los tonos azulados corresponden a las zonas de menor valor. Las curvas de nivel complementan esta representación al unir puntos con igual valor unitario, facilitando la identificación de las áreas de mayor y menor valorización inmobiliaria.

Figura 5 - Mapa de interpolación mediante kriging del valor unitario homogeneizado en los barrios Pocitos y Punta Carretas.



Fuente: elaborado por los autores

Los mayores valores se concentran principalmente en el sector sur de Punta Carretas y en las áreas próximas a la Rambla, mientras que los valores más bajos se localizan hacia el oeste de Punta Carretas y el norte de Pocitos. Entre ambos sectores predominan valores intermedios, observándose una transición gradual del valor unitario dentro del área de estudio. Este comportamiento evidencia la influencia de la localización sobre el valor inmobiliario, con una tendencia a mayores valorizaciones en sectores cercanos a la costa y menores valores hacia el interior del área analizada.

El resultado de esta interpolación fue almacenado en una nueva variable denominada "krig_1", la cual corresponde a la misma variable incorporada posteriormente como componente de localización en el modelo de regresión final (Figura 7).

8 REGRESIÓN FINAL

Con el fin de incorporar el efecto de la ubicación en la valoración inmobiliaria, se añadió al modelo de regresión una nueva variable correspondiente al componente de localización, obtenido mediante la interpolación por kriging de los valores unitarios homogeneizados. Esta variable se incorporó junto con las características físicas del inmueble previamente seleccionadas, incorporando la variable "Edad", la cual expresa la edad de los inmuebles en Régimen Propiedad Común y Propiedad Horizontal, obteniéndose el modelo final de regresión múltiple. Los coeficientes estimados y los indicadores de ajuste del modelo se presentan en la figura 6.

Figura 6 - Regresión Múltiple, con variables intrínsecas y variables de localización

```
>>13/07/2026 18:47:44
REGRESSION
----------
SUMMARY OF OUTPUT: ORDINARY LEAST SQUARES ESTIMATION
Data set            :  Base de Datos 2.0.xlsx - GeoDa (1)
Dependent Variable  :LOG VAL UNIT  Number of Observations:  194
Mean dependent var  :     3,00887  Number of Variables   :   11
S.D. dependent var  :    0,930363  Degrees of Freedom    :  183

R-squared           :    0,971503  F-statistic           :      623,88
Adjusted R-squared  :    0,969946  Prob(F-statistic)     :           0
Sum squared residual:      4,7852  Log likelihood        :     83,8519
Sigma-square        :   0,0261487  Akaike info criterion :    -145,704
S.E. of regression  :    0,161705  Schwarz criterion     :    -109,757
Sigma-square ML     :    0,024666
S.E of regression ML:    0,157054

------------------------------------------------------------------------------
       Variable      Coefficient      Std.Error    t-Statistic   Probability
------------------------------------------------------------------------------
          CONSTANT       1,79675       0,891378         2,0157     0,04529
           V=1 A=2      -2,31098       0,030489       -75,7972     0,00000
      AREA TERR PC   0,000247976    0,000132897        1,86592     0,06365
             GARAJE     0,0270695      0,0161957         1,6714     0,09635
              BANOS     0,0601646      0,0167428        3,59345     0,00042
            EST PH    -0,0532556      0,0189283       -2,81354     0,00544
            EST PC     -0,108149      0,0222694       -4,85637     0,00000
      AREA CONS PC  -0,000608599    0,000215351       -2,82608     0,00524
      AREA CONS PH   -0,00156407    0,000329848       -4,74178     0,00000
            krig_1         1,232        0,26385        4,66932     0,00001
              EDAD    -0,0108931     0,00954403       -1,14136     0,25521
------------------------------------------------------------------------------

REGRESSION DIAGNOSTICS
MULTICOLLINEARITY CONDITION NUMBER   288,425494
TEST ON NORMALITY OF ERRORS
TEST                     DF           VALUE             PROB
Jarque-Bera               2        11882,9193          0,00000

DIAGNOSTICS FOR HETEROSKEDASTICITY
RANDOM COEFFICIENTS
TEST                     DF           VALUE             PROB
Breusch-Pagan test       10            79,8206          0,00000
Koenker-Bassett test     10             4,0377          0,94563
================================ END OF REPORT =================================
```

Fuente: elaborado por los autores

Para la estimación de este modelo final se eliminaron 4 muestras de la base de datos original, debido a que dichos puntos quedaban fuera del área interpolada, no siendo posible obtener un valor de localización (variable krigeada).

La incorporación del componente de localización permitió mejorar el ajuste del modelo, alcanzando un coeficiente de determinación (R^2) de 0,972. Además, esta variable resultó estadísticamente significativa ($p < 0,001$), evidenciando que la ubicación del inmueble constituye un factor importante para explicar la variación del valor unitario en el área de estudio.

El porcentaje que representa el valor de alquiler respecto al valor de venta de un inmueble se obtiene elevando la base del logaritmo utilizado para transformar la variable dependiente al coeficiente estimado de la variable venta/alquiler: si se hubiera utilizado logaritmo natural (ln) corresponde elevar el número e a dicho coeficiente, mientras que si se utiliza, como en este caso, logaritmo en base 10 (LOG VAL UNIT), corresponde elevar 10 al coeficiente. Aplicando esta transformación al coeficiente obtenido para la variable "V=1 A=2" en el modelo final ($\beta = -2,311$; Figura 7), se obtiene $10^{(-2,311)} \approx 0,0049$, es decir, el valor de alquiler representa en promedio aproximadamente un 0,41% del valor de venta del inmueble, constituyendo un indicador de la rentabilidad promedio de los alquileres en el área de estudio.

9 CONCLUSIÓN

El análisis realizado en los barrios Punta Carretas y Pocitos evidenció que el valor de los inmuebles está determinado tanto por sus características físicas como por su ubicación. Los resultados obtenidos muestran una mayor valorización en los sectores próximos a la Rambla y una disminución gradual del valor hacia las zonas más alejadas, confirmando el comportamiento esperado dentro del área de estudio.

La homogeneización de los valores permitió comparar los inmuebles bajo las mismas condiciones, mientras que la interpolación mediante kriging facilitó la representación del componente de localización y la identificación de las zonas con mayor y menor valor inmobiliario.

La incorporación del componente de localización al modelo de regresión mejoró el ajuste estadístico, confirmando que la ubicación constituye un factor relevante en la estimación del valor unitario de los inmuebles. Estos resultados demuestran la importancia de combinar herramientas estadísticas y geoestadísticas para comprender el comportamiento del mercado inmobiliario y obtener estimaciones más representativas.

Por último, a partir del coeficiente estimado para la variable venta/alquiler en el modelo final (transformado considerando que el modelo utiliza logaritmos en base 10), se determinó que el valor de alquiler representa en promedio un 0,41% del valor de venta de los inmuebles, este resultado constituye una estimación de la rentabilidad bruta promedio del mercado de alquileres en el área de estudio y aporta un indicador complementario para la evaluación de inversiones inmobiliarias en los barrios Punta Carretas y Pocitos.

REFERENCIAS

ANSELIN, L. **Spatial Econometrics.** Discussion paper. Bruton Center, School of Social Sciences, University of Texas at Dallas, 1999.

ANSELIN, L. **GeoDa 0.9 User's Guide**. Spatial Analysis Laboratory, University of Illinois, Urbana-Champaign, 2003.

CHICA OLMO, J. **Teoría de las Variables Regionalizadas. Aplicación en Economía Espacial y Valoración Inmobiliaria**. Ed. Universidad de Granada, 1994.

CHICA OLMO, J. **Spatial Estimation of Housing Prices and Locational Rents. Urban Studies**, Vol. 32, N. 8, pag. 1331-1344, 1995.

DANTAS, R. A. **Engenharia de avaliações: uma introdução à metodologia científica**. Ed. Pini, 1998.

DANTAS, R. A., MAGALHÃES, A. M., ROCHA, F. J. S. **La importancia de la regresión espacial en la tasación inmobiliaria. I Congreso Internacional en Tasación y Valoración.** Valencia, 2002.

DANTAS, R. A. **Modelos Espaciais aplicados ao Mercado Habitacional. Um Estudo de Caso para a Cidade do Recife.** Tese de Doutorado em Economia. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2003.

DUARTE, S.; HOCHHEIM, N; REGINATO, V. S. C. **Regressão Linear Múltipla Aplicada em Avaliação Imobiliária. Estudo de una área central de Florianópolis. Concilium (Brasil)** Vol. 22, N° 6, 2022.

FONTOURA JR, C. F. N.; UBERTI, M. S. **Avaliação em Massa de Imóveis Urbanos utilizando Regressão Múltipla e Estimador Kernel. XIII Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário e Gestão Territorial.** Florianópolis, 2018.

OLIVEIRA, H. F.; RAMOS, A. P. M.; MALAMAN, C. S.; AMORIM, A. **Análise de Modelos de Regressão Linear Múltipla para elaboração da Planta de Valores Genéricos. XII Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário e Gestão Territorial.** Florianópolis, 2016.

PERUZZO TRIVELLONI, C. A. **Método para determinação do valor de localização com uso de técnicas inferenciais e geoestatísticas na avaliação em massa de imóveis.** Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.

PERUZZO TRIVELLONI, C. A.; HOCHHEIM, Norberto. **O valor de localização dos imóveis: determinação por Análise Espacial. XIII Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias e XXII Congreso Panamericano de Valuación**, Fortaleza, Brasil, 2006.

PERUZZO TRIVELLONI, Carlos Alberto; GONZALEZ, Matías; VIÑALES Mateo. Análise dos valores de venda de bens imóveis urbanos localizados no bairro Malvín, **Montevidéu, Uruguai, por meio de inferência estatística, regressão espacial e geoestatística. COBREAP,** João Pessoa, Paraíba, Brasil, 2025.

POZZI VAZQUEZ, Ana Caren; GARCIA OVIEDO, Julia; PERUZZO TRIVELLONI, Carlos Alberto; SINIACOFF DEL PINO, Martha. **Análisis de los valores de Mercado de Bienes Inmuebles ubicados en el barrio Malvín, Uruguay, a través de Regresión Espacial y Geoestadística**. **COBRAC**. Florianópolis, Brasil, 2024.