

MODELAMIENTO KRIGING EN LA TASACIÓN DE PRECIOS PREDIALES URBANOS KRIGING MODELING IN URBAN PROPERTY PRICE APPRAISAL

Grover Marin Mamani¹, Arnaldo Cahui Galarza², Julio Rumualdo Gallegos Ramos³, Néstor Bolívar Espinoza³,
Vitaliano Enríquez Mamani³

¹Universidad Nacional del Altiplano, Perú (UNAP)

²Universidad Peruana Unión, Perú (UPEU)

³Universidad Nacional del Juliaca, Perú (UNAJ)

gmarin@unap.edu.pe

(Recibido el 27 de mayo 2021, aceptado para publicación el 25 de junio 2021)

RESUMEN

En la actualidad la necesidad de obtener un predio urbano para construir una unidad habitacional es imperante. El propósito fue determinar el modelo geoestadístico óptimo para la tasación del precio de lotes urbanos en la ciudad de Puno. La metodología aplicada analizó 145 predios en venta los que se dividieron en cuatro zonas urbanas ubicadas por su rumbo, además se usó análisis estructural de datos para las variables área y precio. Los resultados mostraron el área fue de $90,66 \pm 10,63 \text{ m}^2$, con respecto a los precios prediales la media fue de $107367,03 \pm 18772,30$ nuevos soles, la coherencia gráfica del semivariograma para la variable precio es el hole effect con un nivel de confianza de 97,52%.

Palabras Clave: Geoestadística, Mapa, Predio, Tasación.

ABSTRACT

At present, the need to obtain an urban property to build a housing unit is prevalent. The purpose was to determine the optimal geostatistical model for the valuation of the price of urban lots in the city of Puno. The methodology applied analyzed 145 properties for sale which were divided into four urban zones located by their direction, also used structural data analysis for the variables area and price. The results showed that the area was $90.66 \pm 10.63 \text{ m}^2$, with respect to property prices the average was 107367.03 ± 18772.30 nuevos soles, the graphic coherence of the semi variogram for the price variable is the hole effect with a confidence level of 97.52%.

Keywords: Appraisal, Geostatistics, Map, Urban Property.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad más de la mitad de la población mundial reside en asentamientos urbanos, y el subcontinente latinoamericano en particular presenta mayor proporción de población urbana [1], esto debido a las constantes migraciones del campo a la ciudad generando nuevos asentamientos humanos e incrementando cada vez más el valor del suelo, las nuevas zonas periurbanas se consolidan, extendiendo los límites de las ciudades [2], una de las consecuencias de este fenómeno de la nueva modernidad es la desigualdad a la adquisición de lote (predio vacío) donde poder construir una unidad habitable, el sostenido crecimiento económico con inclusión social y la notable expansión de la oferta residencial privada y la de interés social de la última década no fueron acompañados por una mejora en el acceso al suelo y la vivienda en las ciudades [3], este problema no solo es latinoamericano, en España por el pasado boom inmobiliario, que alcanzó una intensidad y duración sin precedentes, originando una crisis económica también sin precedentes, haciendo que las burbujas inmobiliarias condicionaran la marcha de la economía española con mucha más intensidad que en los otros países europeos [4].

El presente caso de estudio el boom inmobiliario se dio por la creciente actividad minera en la mina de la Rinconada, Lunar de oro y Pampa blanca ocasionando una masiva migración a las ciudades de Juliaca y Puno [5], los excedentes de capital generaron altos ingresos por explotación, una parte se invierte en inmuebles para asegurar valor a largo plazo, impulsando así el crecimiento urbano a alto costo [6], se ha demostrado que el sur Peruano existe un auge económico debido a la explotación de metales preciosos y las inversiones inmobiliarias con alto poder adquisitivo ha generado una brecha entre habitantes estacionarios y migrantes.

La necesidad de modelar el comportamiento de los precios de predios urbanos después de la caída del boom minero en la región de Puno por aplicaciones normativas ha generado en la actualidad un incremento desmedido del valor del suelo urbano [7], además de una desmembración de lotes con área mínimas, para el análisis de esta problemática actualmente los métodos geoestadísticos son los más usados, en muchas áreas de estudio y la aplicación al campo inmobiliario podría mejorar la comprensión de este fenómeno espacial, pudiéndose identificar dentro de un amplio rango de ecuaciones del modelo Kriging, los que se basan en la auto-correlación espacial de los puntos para la

predicción y generación de superficies continuas, la posibilidad de ampliar las aplicaciones del Kriging a la predicción de superficies [8].

El propósito fue determinar el mejor modelo geoestadístico para la tasación del precio de lotes urbanos en la ciudad de Puno. Información necesaria para el conocimiento detallado del recurso que permita analizar, manejar y planificar el arancel municipal en equilibrio con el desarrollo urbano sectorial.

1.1 MARCO TEÓRICO

Economía urbana y Tasación predial: Las ciudades, que concentran capital humano y generan efectos de escala y aglomeración, son un motor para las actividades económicas [9]. Los procesos de urbanización y crecimiento económico están relacionados entre sí [10]. Las ciudades existen para recoger las ventajas derivadas del comercio que se debe a la existencia de economías de escala en la producción y las economías de aglomeración [11]. La tierra y la propiedad determinan el ciclo central de la economía política con el valor para la producción, generación de riqueza, la acumulación de capital y haciendo dinero para el poder [12]. La tasación predial es la estimación más próxima a los precios establecidos por las fuerzas de mercado inmobiliario [13], siendo la valoración económica y social de la vivienda como producto material poseedora de características físicas, de localización y de funcionalidad, acoge en su interior el producto social de su habitabilidad [14]. El valor de mercado es el foco de la mayoría de las asignaciones de tasación de propiedades, su estimación es el propósito de la mayoría de las valuaciones. Un mercado inmobiliario es la interacción de individuos que intercambian derechos de propiedad u otros activos, como el dinero [15].

Teledetección: La teledetección es una ciencia multidisciplinar que tiene en la actualidad una gran importancia para los países a escala mundial [16]. La precisión de los sensores ópticos ha aumentado significativamente en los últimos años, mejorando drásticamente las resoluciones, espacial espectral y radiométrica, e incrementado la capacidad de identificar mejor los rasgos del terreno [17]. Es así que los datos geoespaciales, son una importante fuente de información tanto en análisis tradicionales como en grandes análisis, estos, integrados con otros análisis, están reemplazando la cartografía tradicional, como la visualización y el análisis predictivo [18].

Estadística espacial y Geoestadística: Tobler en 1970 originó un enunciado que todas las cosas están relacionadas, pero las cercanas están más relacionadas que las distantes [19]. Con el uso de las tecnologías de la información geográfica, en la primera de Tobler está presente en trabajos que involucran el territorio, para conocer mejor los alcances y limitaciones de los resultados que se puedan obtener y darle un carácter netamente espacial [20]. La estadística espacial revela los patrones de localización de los precios prediales, para evitar los problemas de la estadística tradicional (no espacial) cuando se aplica análisis en el territorio [21]. La geoestadística hace uso de la estadística espacial. El Kriging es considerado un interpolador lineal, es decir, genera una combinación lineal de media móvil ponderada [22]. La magnitud de estos pesos depende de la estructura de correlación espacial de los datos, estimada mediante el ajuste de una función denominada semivariograma y de la configuración de los puntos muestrales dentro del vecindario [23]. El semivariograma representa la autocorrelación espacial de los puntos de muestra medidos. Una vez que se ha trazado cada par de ubicaciones [24]. El semivariograma empírico y la covarianza proporcionan información sobre la autocorrelación espacial de los conjuntos de datos. Sin embargo, no proporcionan información para todas las direcciones y distancias posibles. Por esta razón y para asegurar que las predicciones de Kriging tengan varianzas de Kriging positivas, es necesario ajustar un modelo [25]. El semivariograma empírico dispone de os modelos Circular (Circular), Spherical (Esférico), Tetraspherical (Tetraesférico), Pentaspherical (Pentaesférico), Exponential (Exponencial), Gaussian (Gaussiano), Rational Quadratic (covarianza cuadrática racional), Hole Effect (crecimiento no monótono), K-Bessel, J-Bessel y Stable. [26]. Siendo la interpolación espacial el proceso por el cual se estiman los valores desconocidos de cualquier punto geográfico, utilizando puntos con valores conocidos [27]. Las técnicas de interpolación se pueden agrupar en: deterministas, las que crean superficies a partir de puntos medidos, ya sea basado en el grado de similitud como el método IDW o en el grado de suavizado como el método CRS; y las geoestadísticas tales como Kriging, que utilizan propiedades estadísticas de los puntos con valores, cuantificando la correlación entre todos los puntos alrededor de la ubicación a predecir [11].

2. METODOLOGÍA

La investigación fue realizada en la ciudad de Puno capital de la región del mismo nombre en el Sur del Perú que se encuentra ubicada entre las coordenadas 15°50'15" Latitud Sur y 70°01'18" Longitud Oeste a una altura de 3819 msnm. En general el clima de Puno es frío y seco sin embargo al ubicarse a orillas del lago Titicaca el clima es templado por su influencia. Las precipitaciones pluviales duran 5 meses de diciembre a abril [28], siendo atractivo estas condiciones climáticas para el mercado inmobiliario regional. Para realizar el estudio la ciudad de Puno se dividió por rumbos en cuatro sectores como se muestra en la Tabla 1, siendo el punto de origen la intersección del Jr. Lima con el Jr. Deustua en la plaza de Armas de la ciudad de Puno, en las cuales se identificaron un total de 145 predios urbanos a la venta y se detallan en la Tabla 1.

TABLA 1 - NUMERO DE PREDIOS URBANOS VACÍOS A LA VENTA POR ZONA

Zona	N*	Referencia
NE	44	Jr. Lima con Jr Deustua hacia el muelle Titicaca
NO	40	Jr. Lima con Jr Deustua hacia el cerro Azoguine
SE	31	Jr. Lima con Jr Deustua hacia el puerto turístico
SO	30	Jr. Lima con Jr Deustua hacia el cerro Cancharani

* Numero de predios urbanos vacíos (lotes) a la venta.

Se organizaron 4 cuadrillas de 11 integrantes, los cuales registraron en fichas datos de ubicación geográfica en coordenadas UTM WGS 84 zona 19 L [29], el área de venta, el costo en moneda nacional (S/.), croquis y registro fotográfico del predio, el tiempo de registro de la información se dio en 4 meses desde enero a abril del 2019. Para procesar los datos espaciales se utilizaron imágenes satélites con resolución de 21z [30], como se muestra en la Figura 1, además se consideró la totalidad del área urbana consolidada de la ciudad de Puno, El análisis se hizo en el software Arcgis, Sas planet y Google Earth [31]. La tabulación de datos y análisis estadísticos se usó los programas Microsoft office – Excel y SPSS v.22, para facilitar el tratamiento del conjunto de datos.

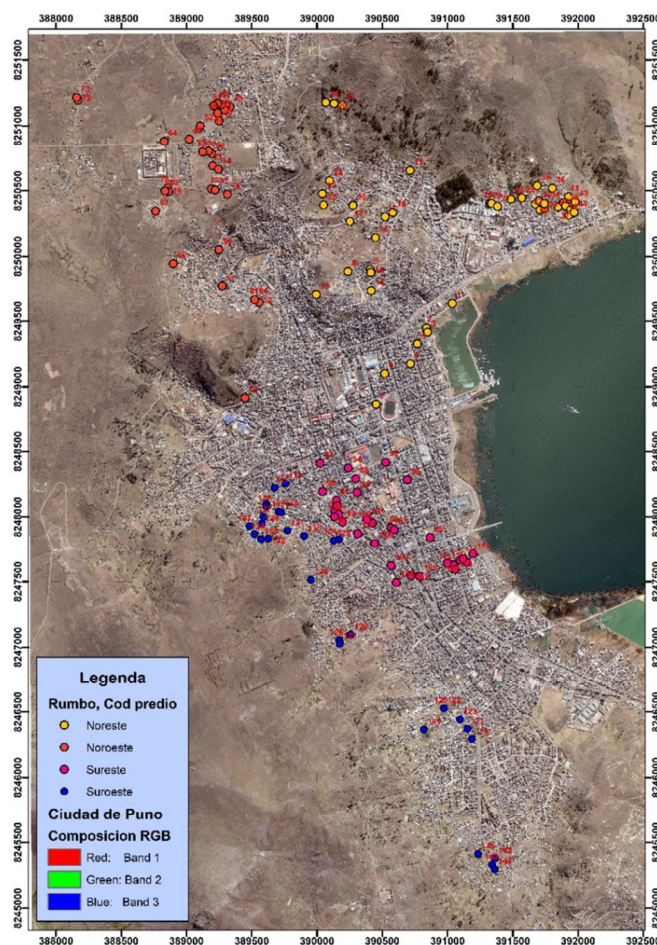


Figura 1: Ubicación de predios urbanos, lotes vacíos a la venta por dueño o inmobiliaria.

Los datos espaciales se ubicaron en el espacio en un raster de 21z de resolución para luego analizarlos a través de la geoestadística, los resultados del registro se modelarán para ver el comportamiento planimétrico del precio predial urbano en formato raster de cálculo compatible [32], se georreferenciará los puntos de muestreo en un sistema de información geográfica para la construcción y digitalización de una base de datos gráfica para sobre poner los resultados de la investigación en una imagen satelital de la ciudad de Puno. La comparación de método de interpolación a través de la geoestadístico se establece 2 pasos, análisis exploratorio; de datos donde se obtuvo un histograma, la gráfica Q-Q Plot de datos teóricos y reales, la ubicación espacial de muestras a través del análisis de tendencia para la obtención del orden de las ecuaciones y generar un mapa de voronoi. Análisis estructural de datos; donde se obtuvo un

mapa predictivo con las siguientes condicionantes, se analizaron los 11 modelos de semivariograma predeterminados en el Arcgis donde se descartó la presencia de anisotropías en los modelos, además se comparó la acumulación los errores en el dataset de los valores del root mean square, mean standardized, root mean square standardized y average standard error. El mapa predictivo y de error estándar nos mostró el nivel de confiabilidad y coherencia grafica del mapa resultante [33]. Este proceso se muestra en la Figura 2.

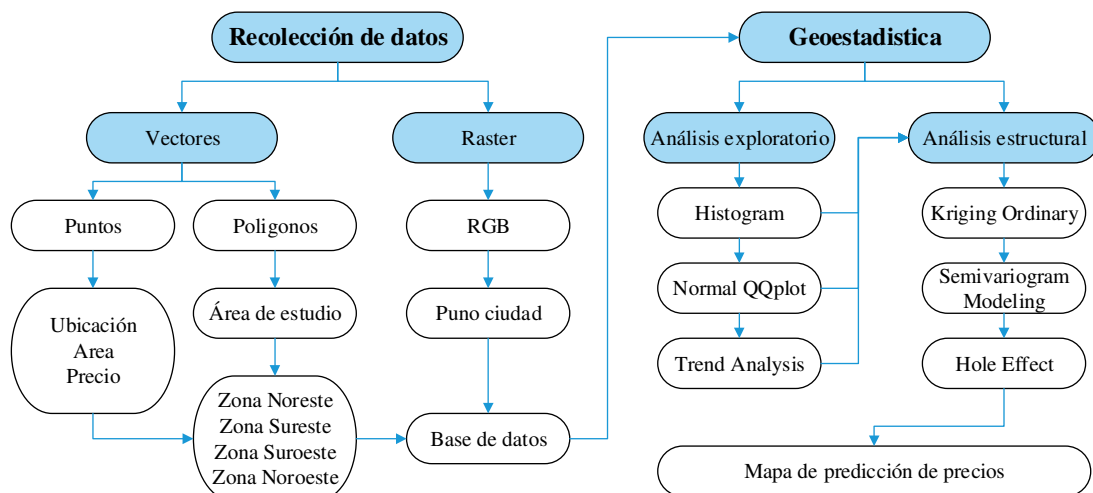


Figura 2: Esquema de proceso metodológico.

3. DISCUSIÓN Y RESULTADOS

Los resultados del análisis exploratorio indica que los promedios de las áreas y precios de los predios urbanos válidos para el periodo enero a julio de 2019, para la variable área muestra una media de $190,66 \pm 10,63 \text{ m}^2$ y con respecto a los precios prediales la media es de $107367,03 \pm 18772,30$ soles, ambos resultados muestran que el precio predial por metro cuadrado es 563,13 soles, al cambio a dólar americano equivale 168,09 dólares estos resultados nos muestran el valor del suelo en este estudio de caso como se muestra en la Tabla 2; sin embargo, se puede apreciar que la variable precio del dataset no tiene comportamiento normal, y se transformaron los datos en función logarítmica para su inferencia como se muestra en la Figura 3.

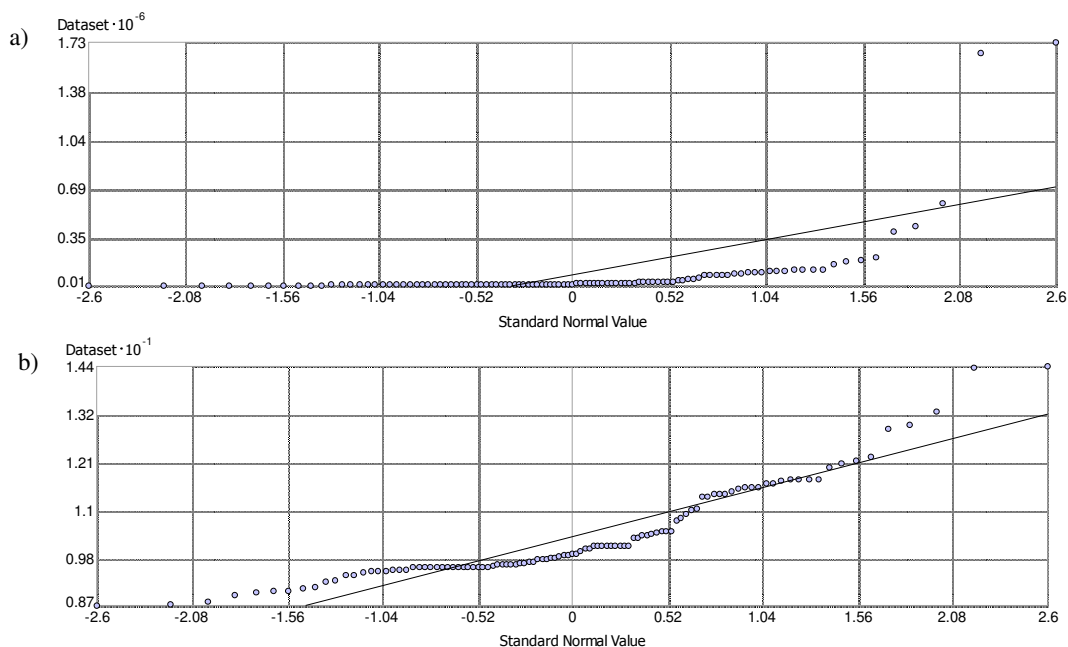


Figura 3: Normal QQPlot, a) dataset sin transformación, b) dataset con transformación logarítmica.

TABLA 2 - ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS

Variable	Zona	Media	Error estándar
Área	NE	163,53	16,26
	NO	205,50	8,690
	SE	123,51	11,76
	SO	280,08	37,06
	Puno	190,66	10,63
Precio	NE	18233,490	1250,820
	NO	20517,350	1357,990
	SE	250912,90	22577,32
	SO	205565,06	78043,02
	Puno	107367,03	18772,30

El análisis de tendencia (ecuación de la recta) que se muestra en la Figura 4, donde se observó que la tendencia de los precios prediales, de norte a sur (línea azul) y de este a oeste (línea verde), forma una curva graficada en una ecuación de segundo grado para el análisis estructural.

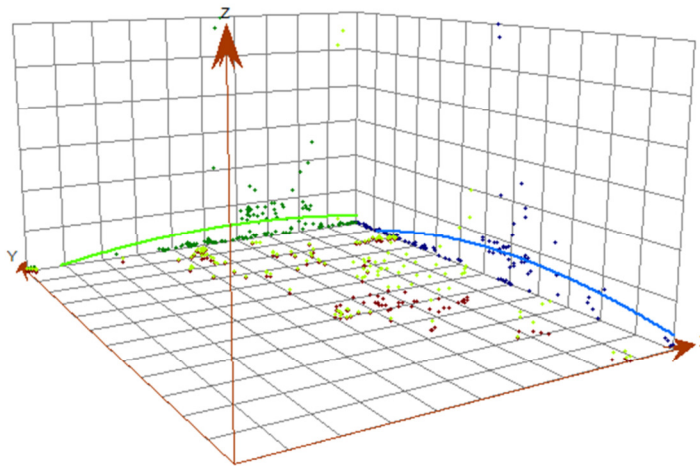


Figura 4: El análisis de tendencia precio predial muestra el vector X de Este a Oeste, vector Y de Norte a Sur y Z altura. Las funciones son de segundo orden en ambas direcciones, esto permite establecer correlaciones y formular modelos de comportamiento espacial de los precios prediales.

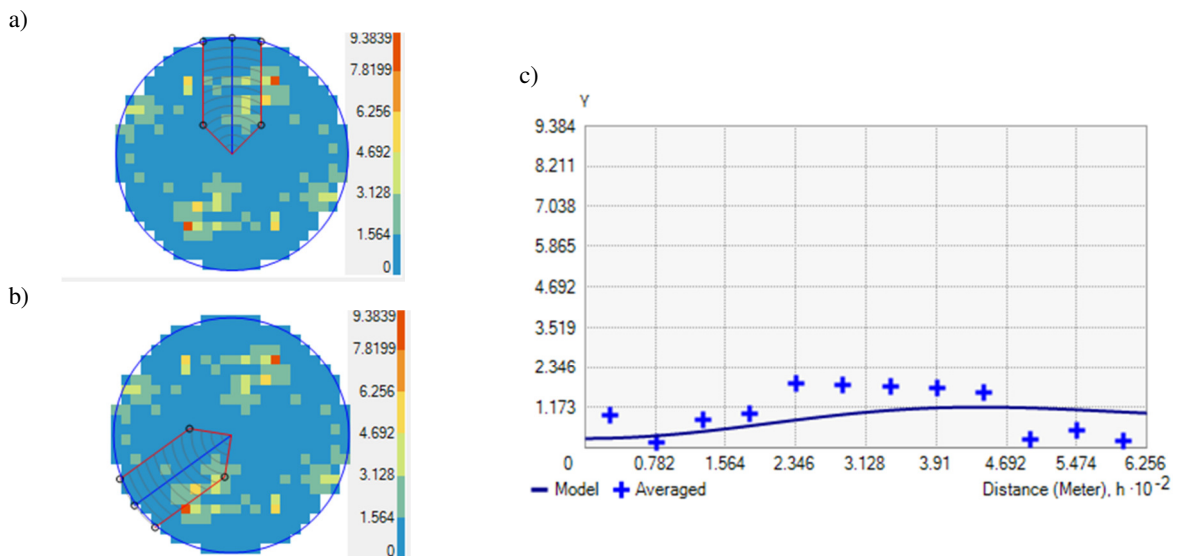


Figura 5: Descarte de anisotropía en los 11 modelos a) y b) mapa del semivariograma con dirección de 360° y 234° seleccionados al azar, c) grafico del semivariograma, a pesar de los cambios en la dirección no hay modificación.

Al desarrollar el análisis estructural de datos para el análisis del método geoestadístico considerando el Kriging/coKriging de tipo ordinary con una superficie resultante tipo predicción para el dataset se usó en todos los casos transformación logarítmica con una tendencia de datos de segundo orden, usándose 11 modelos de predicción en los cuales se descartó la presencia de anisotropía como se muestra en la Figura 5.

Los modelos matemáticos del semivariograma mostraron comportamiento diferente en los valores del Nugget, sin embargo, los coeficientes de los modelos del semivariograma son similares en el modelo circular, Spherical, Tetraspherical, Pentaspherical, R quadratic, Gauss J-bessel y Stable, y diferentes en los modelos Hole effect y K-bessel como se ve en la Tabla 3. El resultado de coherencia gráfica muestra que el modelo Hole effect tiene el menor error en el mapa de predicción con respecto a los demás modelos de semivariograma y muestra una superficie blanca alrededor de los puntos con datos que es apreciada en el mapa de error estándar como se ve en la Figura 7b.

TABLA 3 - MODELOS MATEMÁTICOS DEL SEMIVARIOGRAMA

Funciones	Modelo	CG*
Circular	0.49822*Nugget+0.56882*Circular(625.58)	No
Spherical	0.67674*Nugget+0.2112*Spherical(625.58)	No
Tetraspherical	0.80221*Nugget+0*Tetraspherical(625.58)	No
Pentaspherical	0.80902*Nugget+0*Pentaspherical(625.58)	No
Exponential	0.79811*Nugget+0*Exponential(625.58)	No
Gauss	0.2883*Nugget+0.89482*Gaussian(448.92)	No
R quadratic	0.94414*Nugget+0*Rational Quadratic(625.58)	No
Hole effect	0.27313*Nugget+0.74637*Hole Effect(615.28)	Si
K-bessel	0.30307*Nugget+0.90361*K-Bessel(495.91)	No
J-Bessel	0.26644*Nugget+0.67302*J-Bessel(625.58)	No
Stable	0.2883*Nugget+0.89482*Stable(448.92)	No

* Coherencia gráfica.

Los parámetros de búsqueda de vecindad fueron de tipo estándar con un máximo de búsqueda de 5 neighbors y un mínimo de 2 neighbors sectorizado en 4 sectores con un rumbo a 45° y offset a los 4 lados. Las pruebas estadísticas muestran los errores de predicción el cual es un indicador para elegir un modelo de mapeo con mayor exactitud y mejor grado de confianza como se muestra en la Tabla 4.

TABLA 4 - RESULTANTES DE PREDICCIÓN DE LOS MODELOS MATEMÁTICOS

Modelo	Mean	RMS*	MS**	RMSs***	ASE****	Σ
Circular	-8433.64	168577.98	-0.06	2.31	135503.17	295649.76
Spherical	-8582.15	155213.35	-0.15	3.33	137476.94	284111.32
Tetraspherical	-8177.91	155273.77	-0.15	3.37	138294.61	285393.69
Pentaspherical	-8035.22	155294.02	-0.15	3.39	138834.75	286096.79
Exponential	-6916.28	161687.16	-0.20	4.11	147361.52	302136.31
Gauss	-8837.67	139030.26	-0.08	2.23	129139.90	259334.64
R quadratic	-13615.91	204846.37	-0.11	1.77	162631.14	353863.26
Hole effect	-10963.07	131780.42	-0.10	2.05	118182.45	239001.75
K-bessel	-8622.10	139742.42	-0.08	2.23	130101.27	261223.74
J-Bessel	-9831.52	135697.05	-0.09	2.16	126082.50	251950.10
Stable	-8837.67	139030.26	-0.08	2.23	129139.90	259334.64

* Root mean square, ** Mean standardized, *** Root mean square standardized, **** Average standard error.

Las ecuaciones de las funciones resultantes de las regresiones de los 11 modelos matemáticos del semivariograma para el dataset, además la sumatoria de errores muestran que el mejor modelo es el Hole effect con una acumulación de error de 239001,75 unidades del coeficiente de determinación, garantizando que las pruebas estadísticas muestran las ecuaciones funcionales y correctas con intervalos de confianza mayores al 95%, así mismo el gráfico Normal QQPlot del error estandarizado muestra un comportamiento normal a diferencia de los demás modelos que muestran una dispersión clara de -2.599 al -1.654 en la recta normal y de -1.098 al - 0.143 de la recta del standardized error como se muestra en la Figura 6, los cuales son indicadores para elegir un modelo de mapeo con mayor exactitud, el resultado de modelo Hole effect en la predicción del precio predial se muestra en la Figura 7.

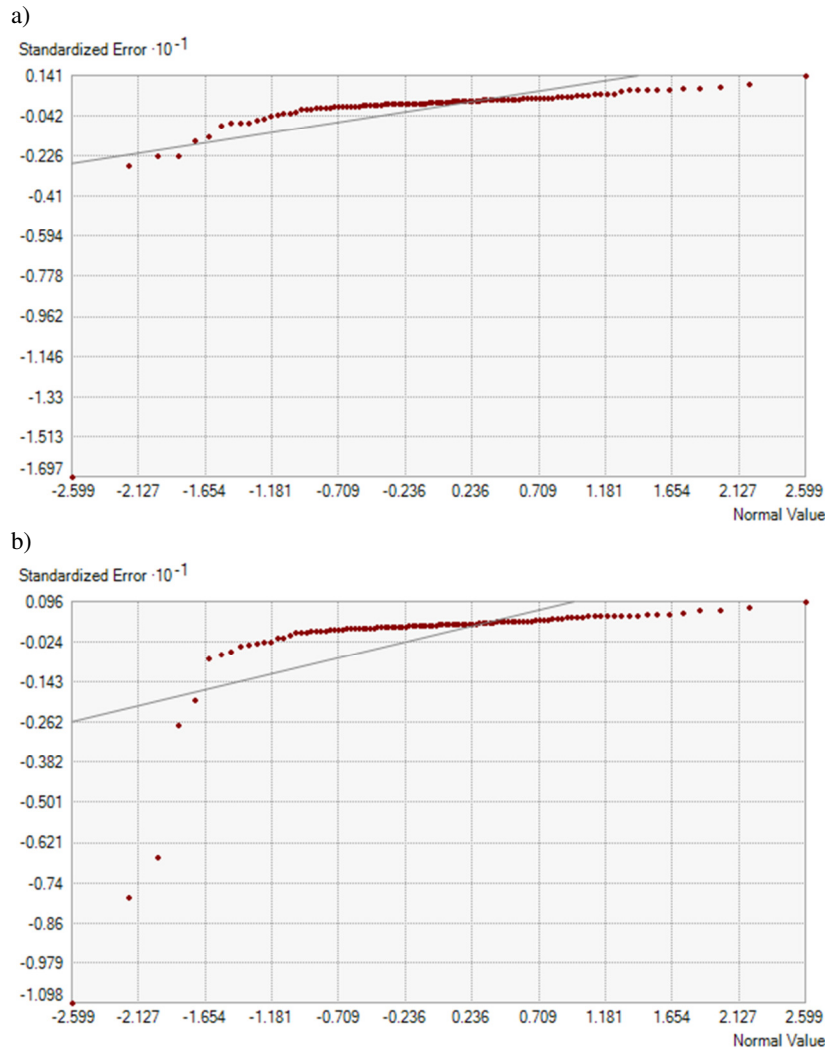


Figura 6: Normal QQPLOT del standardized error a) modelo Hole effect, b) modelos Spherical, Tetraspherical, Pentaspherical, R quadratic, Gauss J-Bessel K-Bessel y Stable.

Los resultados muestran el índice de confianza, el coeficiente de determinación y la coherencia gráfica se muestra en la Figura 7, siendo el modelo Hole effect el que muestran un error de modelo de 2.48% para la superficie de respuesta y su gráfica es coherente con la ubicación de la nube de puntos que es lo esperado para el modelado. Seguir con una metodología general para superar restricciones geoestadísticas de homogeneidad en monitoreo y análisis espacial mostro que los modelos matemáticos del semivariograma reducen eficientemente la probabilidad de error [34], además se infiere que nuestro modelo de predicción tiene una confiabilidad de 97.52%, además se puede apreciar que los costos inmobiliarios más altos se encuentran entre los 620017.00 hasta 1727682.00 nuevos soles por un promedio de 160 m², constando así el metro cuadrado de terreno entre 3875.00 a 10798.00 nuevo soles, estas zonas se encuentran ubicados al Noreste y Sureste de nuestro estudio exactamente en la rívera de la bahía interior del lago Titicaca en la zona antigua de la ciudad de Puno la que cuenta con todos los servicios públicos, accesibilidad y variedad de equipamiento urbano. La zona periurbana ubicada al Noroeste y Suroeste de nuestro estudio en la cadena montañosa del Azoguine, Ventilla y Cancharían con una topografía agreste considera la zona periurbana de la ciudad de Puno experimenta un fenómeno totalmente distinto ya que los precios se encuentran entre los 6000.00 a 12130.00 nuevos soles esto debido a que no cuentas con servicios básicos, accesibilidad ni equipamiento urbano. Por tal motivo las personas adquieren lotes en esta zona por su condición económica y la necesidad de vivienda, generando problemas administrativos en las entidades gubernamentales y sobretodo en la calidad de vida de los nuevos pobladores, la dinámica del mercado inmobiliario en la ciudad es causada por la demanda y la oferta no regulada debido al exceso de ahorro de los trabajadores de la minería informal por el auge del oro.

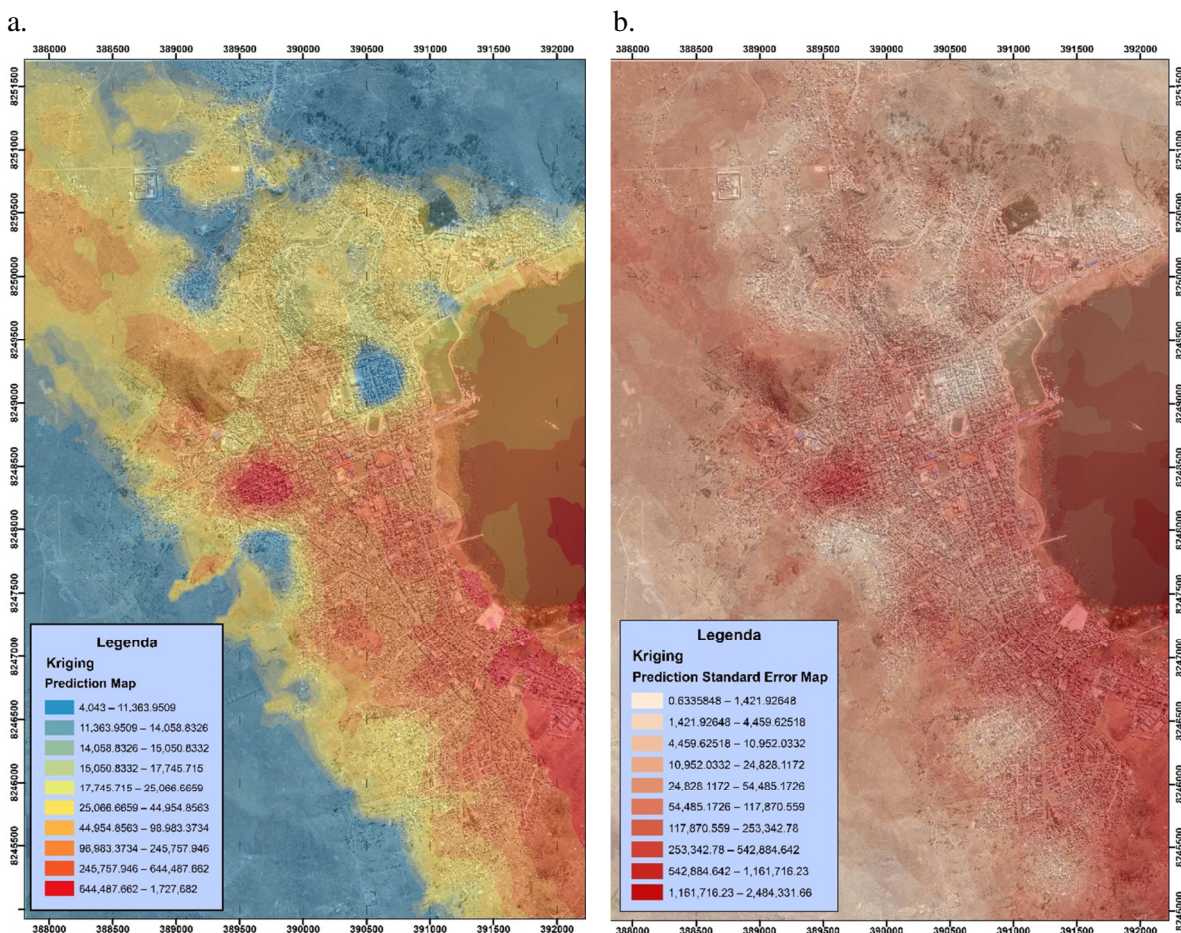


Figura 7: Resultado del modelo del semivariograma a) superficie resultante del modelo matemático superficie resultante modelo matemático Hole effect, b) superficie del error del modelo Hole effect.

4. CONCLUSIONES

El mejor modelo geoestadístico para la tasación predial es el hole effect, sin embargo, para mejorar estos resultados es necesario aplicar modelos de regresión multivariado como el Empirical Bayesian Kriging, Geographically Weighted Regression, Ordinary least Squares ó Spatial Autocorrelation Morans I. Además de identificar el precio de los predios urbanos se encuentra en alza debido a la importancia de las ciudades por orden y jerarquía es necesario estudiar variables de relación como la accesibilidad, equipamiento urbano, servicios básicos, topografía y calidad ambiental. El mercado inmobiliario ha sido influenciado por actores intervinientes como el auge de economías transitivas y extractivas como la minería ocasionan un desorden en el mercado inmobiliario incrementando sus precios repentinamente por metro cuadrado, sin embargo, cuando estas actividades extractivas terminan su apogeo el mercado inmobiliario se ve obligado a subdividir los predios para no perder las ganancias a las que están acostumbradas. El promedio de área de los predios urbanos en venta es de $160,66 \pm 10,63 \text{ m}^2$ lotes de 8 m de frente a la calle y 18 m de largo reduciéndose al 50% menos área del predio e incrementado hasta en un 400% el precio por metro cuadrado que en función al modelo geoestadístico alcanza precios hasta de 10798.00 nuevos soles en los últimos años.

REFERENCIAS

- [1] N. Freaza, L. Giglio, and L. Aón, “Pérdida de complejidad en la ciudad compacta del mercado inmobiliario: diez años de crecimiento del parque habitacional y desarrollo inmobiliario en área central de La Plata”, *Geograficando*, vol. 13, pp. 1-15, 2017. http://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/art_revistas/pr.8336/pr.8336.pdf
- [2] C.A. Barenboim, *Mercado inmobiliario, normativa e impacto territorial: Rosario y su periferia*, Argentina: editorial UNR, 2014. <http://core.cambeiro.com.ar/0-174398-0.pdf>

- [3] L. Baer, and M. Kauw, “Mercado inmobiliario y acceso a la vivienda formal en la Ciudad de Buenos Aires, y su contexto metropolitano, entre 2003 y 2013”, *EURE (Santiago)*, vol. 42, pp. 5-25, 2016. https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250-71612016000200001
- [4] J. M. Naredo, “El modelo inmobiliario español y sus consecuencias”, *Boletín cfs*, vol. 44, pp. 13-28, 2014. <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n44/ajnar.html>
- [5] V. T. Cuzcano, *Minería ilegal e informal en el Perú: Impacto Socioeconómico*. Lima: CooperAcción, 2015. http://cooperaccion.org.pe/wp-content/uploads/2015/10/Libro_Mineria_Ilegal,%20Victor%20Torres%20Cuzcano.pdf
- [6] J. Rehner, and S. Rodríguez-Leiva, “Inversión inmobiliaria en tiempos de auge y crisis: ¿Es la ciudad un producto minero o un derivado financiero?”, *Revista de geografía norte grande*, vol. 67, pp. 183-210, 2017. <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rgeong/n67/art10.pdf>
- [7] D. P. Pérez, “La exploración minera en el Perú: Un breve alcance sobre las principales autorizaciones para el desarrollo de un proyecto de exploración en el Perú”, *Derecho y Sociedad*, vol. 42, pp. 321-328, 2014. <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/derechoysociedad/article/view/12487>
- [8] G. Marín, *Modelamiento Kriging del decibelio en mapas temáticos de las festividades culturales de la región Puno, 2016*. Tesis doctoral en la Universidad Nacional del Altiplano Puno, 2018. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/8959>
- [9] M. L. Silveira, “Modernização contemporânea e nova constituição dos circuitos da economia urbana”, *GEOUSP Espaço e Tempo*, vol. 19, pp. 929-938, diciembre 2015.
- [10] N. Q. Díaz, and V. Gago, “Una mirada feminista de la economía urbana y los comunes en la reinención de la ciudad”, *Economía social solidaria y sustentabilidad*, pp. 157-184, 2018.
- [11] C. Garrocho-Rangel, “Ciencias sociales espacialmente integradas: la tendencia de Economía, Sociedad y Territorio”, *Economía, sociedad y territorio*, vol. 16, pp. 10-20, abril 2016.
- [12] S. P. Quete, *Metodología de clasificación física para el avalúo masivo de terrenos de predios rurales en un catastro multipropósito*. Tesis de magister en la Universidad Nacional de Colombia, 2017. <http://bdigital.unal.edu.co/62573/>
- [13] I. Gómez, G. Pinzón, L. Bustamante, A. Valdés, L. Sandoval, and S. Soler, (2009): *Sistemas valuatorios en Colombia. Modelos de valoración inmobiliaria en Iberoamérica*, capítulo 3, pp. 91-133, 2009.
- [14] J. Di Paula, “Viviendo (en) la vivienda. Cambios y valores transformadores en el entorno construido”, *Revista INVI*, vol. 24, pp. 13-36, 2007. <http://revistainvi.uchile.cl/index.php/INVI/article/view/279/253>
- [15] M.A. Razzak, (2017). *Location profiling in cadaster for property value intelligence*, Switzerland: Editorial Springer, 2017.
- [16] N. Di Leo, “Drones: nova divulgação do sensoriamento remoto agroambiental e um novo paradigma para a agricultura de precisão”, *Revista Agromensajes*, vol.41, pp. 7-17, 2015.
- [17] J. Carpenter, and J. Snell, *Future trends in geospatial information management: the five to ten year vision*. United Nations, 2013. http://www.intermap.com/hubfs/media/UN-GGIM_Future-trends_in_geospatial_information_management.pdf?t=1508883583843
- [18] J. P. Celemin, (2020). “Cincuenta años de la primera ley de Tobler: revisión de sus aportes teóricos y prácticos a la ciencia geográfica”, *GEOSIG Luján*, vol. 12, pp. 1-18, diciembre 2020.
- [19] W. Tobler, “On the First Law of Geography: A Reply”, *Annals of the Association of American Geographers*, vol. 94, pp. 304-310, diciembre 2004.
- [20] E. L. Navarrete, A. Trujillo, C. Garrocho, and E. Cadena, “Un enfoque de estadística espacial para explorar la geodemografía de los niños en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México”, *Estudios demográficos y urbanos*, vol. 35, pp. 369-403, junio 2020. <https://doi.org/10.24201/edu.v35i2.1862>
- [21] C. Garrocho, *Dinámica de las ciudades de México en el siglo XXI: cinco vectores clave para el desarrollo sostenible*. Zinacantepec, Estado de México: El Colegio Mexiquense, A.C. / Consejo Nacional de Población / Fondo de Población de las Naciones Unidas, 2013.
- [22] R. M. González-Ruiz, S. Martínez-Cuevas, F. García-Erviti, and M. C. Morillo-Balsera, “Análisis geoestadístico del coeficiente de corrección por accesibilidad a núcleos de población en las valoraciones urbanísticas en España”, *EURE (Santiago)*, vol. 45, pp. 125-146, 2019. <https://scielo.conicyt.cl/pdf/eure/v45n134/0717-6236-eure-45-134-0125.pdf>
- [23] F. Monzani, M. G. Montenegro, M. A. Piumetto, M. A. Cordoba, M. J. Salomon, and J. P. Carranza, “Técnicas geoestadísticas aplicadas a la valuación masiva de la tierra urbana: el caso de la ciudad de rio cuarto, provincia de córdoba”, presentado en el 13º congreso Brasileiro de cadatro técnico multifinalitario e gestao territorial COBRAC, Florianopolis, Brasil, 2018.
- [24] R. Augusto, and C. M. Panazio, “Sobre a geração de mapas de ambiente de rádio com Kriging ordinário”, *Brazilian Symposium on Telecommunications (SBrT)*, vol. 34, pp. 883-887, agosto 2016.
- [25] W. J. C. Lundgren, J. A. A. D. Silva, and R. L. C. Ferreira, “Accuracy of the Kriging Error Estimate Through Cross Validation”. *Floresta e Ambiente*, vol. 24, pp. 1-12, junio 2017.

- [26] L. A. Londoño, J. E. Cañón, R. D. Villada, and L. Y. López Ceballos, “Caracterización espacial de PM10 en la ciudad de Medellín mediante modelos geoestadísticos”, *Ing. USBMed*, vol. 6, pp. 26–35, diciembre 2015.
- [27] L. Mitasova, H. Mitas, and R. S. Harmon, “Simultaneous spline approximation and topographic analysis for lidar elevation data in open-source GIS”, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol. 2, pp. 375-379, 2005. <https://ieeexplore.ieee.org/document/1522204>
- [28] A. L. Laura, J. P. Aragón, and E. L. Laura, “Regionalización de caudales mensuales en la región hidrográfica del Titicaca Puno Perú”, *Revista de Investigaciones Altoandinas-Journal of High Andean Research*, vol. 19, pp. 219-230, 2017. <http://www.scielo.org.pe/pdf/ria/v19n2/a12v19n2.pdf>
- [29] Z. Gojković, M. Kaplar, and N. Vulović, “Application for coordinate transformation between Gauss-Kruger projection-Bessel ellipsoid and UTM projection-WGS84 ellipsoid”, *Podzemni radovi*, vol. 30, pp. 29-45, 2017. https://www.researchgate.net/publication/319297514_Application_for_coordinate_transformation_between_Gauss_-_Kruger_projection_Bessel_ellipsoid_and_UTM_projection_WGS84_ellipsoid
- [30] J. C. Miranda Aranibar, *Adquisición de Datos Espaciales para el Municipio de Capinota*. Universidad Mayor de San Simón, 2018. <http://hdl.handle.net/123456789/10863>
- [31] F. Guedez, A. Gómez, and M. Numa, “Diseño de un sistema de información geográfico para las microáreas”, *Universidad y Ciencia*, vol. 3, pp. 44-53, 2014. <http://revistas.unica.cu/index.php/uciencia/article/view/329/939>
- [32] C. U. Paredes, W. E. Salinas, X. Martínez, and S. B. Jiménez, “Evaluación y comparación de métodos de interpolación determinísticos y probabilísticos para la generación de modelos digitales de elevación”, *Investigaciones geográficas: Boletín del instituto de geografía UNAM*, vol. 82, pp. 118–130, 2013. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112013000300009&lng=es&tlng=es
- [33] ESRI, *ArcGIS Desktop: Release 10.0* Redlands, California; Esri, 2011. <http://www.esri.com/software/arcgis>.
- [34] A. López-Quílez, and F. Muñoz, “Geostatistical computing of acoustic maps in the presence of barriers”, *Mathematical and Computer Modelling*, vol. 50, pp. 929–938, 2009. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0895717709001551>