



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA TOPOGRÁFICA Y**  
**AGRIMENSURA**



**RELACIÓN DEL MÉTODO DE KRIGING Y SHEPARD PARA**  
**DETERMINAR EL ESPESOR DE PELÍCULA DE AGUA EN VIAS**  
**URBANAS DE PUNO**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. FRANCISCO UBALDO VERA PINEDA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**  
**INGENIERO TOPÓGRAFO Y AGRIMENSOR**

**PUNO – PERÚ**

**2023**



NOMBRE DEL TRABAJO

**RELACIÓN DEL MÉTODO DE KRIGING Y SHEPARD PARA DETERMINAR EL ESPESOR DE PELÍCULA DE AGUA EN VIAS URBA**

AUTOR

**FRANCISCO UBALDO VERA PINEDA**

RECuento de palabras

**16490 Words**

RECuento de caracteres

**83444 Characters**

RECuento de páginas

**84 Pages**

Tamaño del archivo

**1.3MB**

Fecha de entrega

**Dec 1, 2023 8:53 AM GMT-5**

Fecha del informe

**Dec 1, 2023 8:55 AM GMT-5**

● **6% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base

- 6% Base de datos de Internet
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de Crossref
- Base de datos de contenido publicado de Crossref
- 3% Base de datos de trabajos entregados

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)

  
ING<sup>o</sup> SERGIO ISIDRO QUISPE

  
M. Sc. Luis Alberto Mamani Huanca  
SUBDIRECTOR DE INVESTIGACIÓN  
EPITA - FCA

Resumen



## DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia, por el apoyo incondicional, por estar cuando se les necesitaba, y ser la inspiración que necesitaba para culminar esta tesis.

Francisco Ubaldo Vera Pineda



## AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han contribuido de alguna manera en la realización de esta tesis.

En primer lugar. A mi alma mater la Universidad Nacional del Altiplano. Facultad de Ciencias Agrarias. Escuela Profesional de Ingeniería Topográfica y Agrimensura por su formación profesional.

Agradecer a mi director asesor de Tesis. M.Sc. Sergio Isidro Quispe, por su orientación, paciencia y apoyo constante a lo largo del proceso de investigación. Sus valiosos sugerencias y comentarios han sido fundamentales para lograr los objetivos propuestos.

Francisco Ubaldo Vera Pineda



## INDICE GENERAL

	Pág.
<b>DEDICATORIA</b>	
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	
<b>ÍNDICE GENERAL</b>	
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	
<b>ÍNDICE DE ANEXOS</b>	
<b>ACRÓNIMOS</b>	
<b>RESUMEN .....</b>	<b>11</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>12</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>INTRODUCCION</b>	
<b>1.1. OBJETIVO GENERAL .....</b>	<b>15</b>
<b>1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>	<b>15</b>
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b>	
<b>2.1. ANTECEDENTES.....</b>	<b>16</b>
2.1.1. Nacionales .....	16
2.1.2. Internacionales .....	20
<b>2.2. MARCO TEORICO .....</b>	<b>30</b>
2.2.1. Método geoestadístico de Kriging .....	30
2.2.2. Método geoestadístico de Shepard.....	35
2.2.3. Método de espesor de agua en relación de los pendientes .....	39



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

<b>3.1. LUGAR DE ESTUDIO .....</b>	<b>44</b>
<b>3.2. TIPO DE INVESTIGACION .....</b>	<b>45</b>
<b>3.3. POBLACION Y MUESTRA .....</b>	<b>45</b>
<b>3.4. METODOLOGIA .....</b>	<b>47</b>
3.4.1. Diseño de investigación .....	47
3.4.2. Materiales e instrumentos utilizados .....	47
3.4.3. Metodología para determinar el objetivo específico 1 .....	48
3.4.4. Metodología para determinar el objetivo específico 2 .....	49
3.4.5. Metodología para determinar el objetivo general .....	50

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

<b>4.1. RESULTADOS .....</b>	<b>52</b>
4.1.1. Prueba de la normalidad.....	52
4.1.2. Prueba de rho de spearman .....	52
4.1.3. Prueba geoestadística .....	53
<b>4.2. DISCUSIONES.....</b>	<b>54</b>
<b>4.3. APORTE TEORICO.....</b>	<b>55</b>
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>58</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>59</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>60</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>70</b>

**ÁREA:** Ingenierías

**TEMA:** Planificación del Transporte y Territorio

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 06 diciembre del 2023



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1</b> Prueba de fiabilidad de los datos para los 384 datos .....	46
<b>Tabla 2</b> Prueba de fiabilidad de incremento de datos .....	46
<b>Tabla 3</b> Prueba de fiabilidad de los datos con 459 puntos .....	46
<b>Tabla 4</b> Determinacion de la correlación de las variables.....	51
<b>Tabla 5</b> Prueba de la normalidad.....	52
<b>Tabla 6</b> Prueba de Rho de Spearman .....	52
<b>Tabla 7</b> Correlación de Spearman de la variable 1 y variable 2.....	53
<b>Tabla 8</b> Correlación entre el método de kriging y Spearman.....	54
<b>Tabla 9</b> Dimensiones mínimas de cuneta triangular típica .....	55



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1</b> Esquema de pendientes transversales/longitudinales del pavimento.....	41
<b>Figura 2</b> Ubicación geográfica de la ciudad de Puno .....	44
<b>Figura 3</b> Diseño de la investigación .....	47
<b>Figura 4</b> Proceso de la metodología del objetivo específico 1 .....	48
<b>Figura 5</b> Proceso de la metodología del objetivo específico 2 .....	49
<b>Figura 6</b> Composición de datos geostadístico en tres dimensiones.....	53
<b>Figura 7</b> Dimensiones recomendadas por el MTC .....	55
<b>Figura 8</b> Precipitaciones acumuladas en la ciudad de Puno .....	56





## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
<b>ANEXO 1</b> Evaluación estadística de las variables .....	70



## ACRÓNIMOS

<b>AASTHO:</b>	Asociación Estadounidense de Funciones Estatales de Carreteras y Transporte
<b>MLW:</b>	Pesos Máximos de Aterrizaje
<b>MTD:</b>	Profundidad Medidas de Texturas
<b>WTF:</b>	Espesor de Película de Agua



## RESUMEN

En la investigación su objetivo principal es relacionar el método de Kriging y Shepard para determinar el espesor de película de agua en vías urbanas de Puno, su nivel de investigación es correlacional, su propósito es básica, con un diseño de investigación no experimental, de corte transversal, utilizando los programas de cálculo libre HEC-HMS versión 4.4 y MINERVA V. 2.9, utilizando una muestra de 459 puntos obtenidos en la ciudad, resultando una correlación de Rho de Spearman de 0.985 que resulta una relación directa y muy alta como significativa entre ambos métodos. Construyendo así una distribución geoespacial de la altura de espejo de agua, para poder determinar las características geométricas de las vías en la ciudad de Puno, en función a las características topográficas e hidrologías de la zona.

**Palabras Clave:** Agua, espesor, pendiente transversal, pendiente longitudinal, vías urbanas



## ABSTRACT

In the research, its main objective is to relate the Kriging and Shepard method to determine the thickness of the water film in urban roads of Puno, its level of research is correlational, its purpose is basic, with a non-experimental, cutting-edge research design. transversal, using the free calculation programs HEC-HMS version 4.4 and MINERVA V. 2.9, using a sample of 459 points obtained in the city, resulting in a Spearman's Rho correlation of 0.985, which is a direct and very high significant relationship between both methods. Thus constructing a geospatial distribution of the height of the water mirror, in order to determine the geometric characteristics of the roads in the city of Puno, based on the topographic and hydrological characteristics of the area.

**Keywords:** Water, thickness, cross slope, longitudinal slope, urban roads



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad las ciudades tienen su importancia (Ketabdari et al., 2021), en el desarrollo de la humanidad, dentro de una comunidad buscando las ciudades sostenibles (Baar et al., 2018), muchas de ellas se pueden convertir en zonas seguras y saludables, si se tienen o cambian los diseños de sus calles, jirones, avenidas y barrios (Chen, 2021), las vías diseñadas sirven como arterias al centro de la ciudad, como facilitar con el diseño la transitabilidad de los habitantes, ya que en la actualidad es de exclusividad de los vehículos motorizados (Wang et al., 2021). Las vías son el cambio de la actividad en una nueva ciudad, es necesario rediseñar las vías con el fin (Qu et al., 2020), de lograr la sostenibilidad en las ciudades, pero se debe tomar en cuenta que para el nuevo diseño (Long et al., 2018), se tomar en cuenta varias variables dentro de las variables, están las pendientes longitudinales (Kakara & Chowdary, 2020), y las transversales, en especial de las ciudades altoandinas (Herath & Wijesekera, 2019).

La relación entre las pendientes longitudinales y transversales, no son considerados en los diseños en la normatividad peruana (Barreto, 2004), en una gran medida si fueron estudiadas en la comunidad científica internacional, desde el concepto que las vías son las venas de sostenibilidad en desarrollo de ciudades que se puedan adecuar a los cambios climáticos actuales (Navarro, 2021).

La ciudad de lago, tiene una topografía particular, como la orografía, como la ubicación de la misma a orillas del lago más alto navegable (Flores & Paucar, 2020), dentro de sus problemas principales está la evasión de aguas pluviales, la erosión, la



acumulación de escombros después de las lluvias, como los accidentes de tránsito, entre otros factores que el diseño de la vía juega un papel importante(Huanca, 2016)

El problema de Latinoamérica, en especial de las ciudades ubicadas en zonas altoandinas, como es el caso de la ciudad de Puno(Navarro, 2021), se tiene que el ancho de la calzada la distancia entre los dos bordillos de la acera, el ancho disponible para vehículos motorizados la relación de los edificios entre otros(Zelikov et al., 2021), de igual forma se tiene problemas en el sistema de alcantarillado, dando una ayuda considerable para evitar riesgos de inundación en las ciudades, con una topografía accidentada, con pendientes longitudinales y pendientes transversales que debe ser diseñados de manera adecuada para una característica tipo de ciudades altoandinas (Long et al., 2018).

El problema principal es el uso de la metodología adecuada para determinar dichos espesores de película de agua, que pueda ocasionar una precipitación en las vías urbanas, cambiando las vías que eran transitadas a intransitables por los fenómenos climáticos que tienen las ciudades altoandina que tiene una frecuencia considerable (Baar et al., 2018), para determinar el uso de los métodos, muchos ingenieros de caminos especialista en vías urbanas usan métodos de predicción espacial(Sheppard & McMaster, 2008), como son: el método ponderación de la distancia inversa también conocida en términos en inglés como “Inverse Distance Weighting (IDW)”(Álvarez et al., 2011,p5) , método Kriging(Álvarez et al., 2011; Rubinato et al., 2013; Sheppard & McMaster, 2008), método Shepard (Álvarez et al., 2011; Feng et al., 2023), y el método B-Spline(Álvarez et al., 2011; Feng et al., 2023; Huang et al., 2023).

El otro punto importante que tiene relación la topografía del terreno en ciudades, son los buzones en las alcantarillas sobrecargadas pueden provocar recargos que provoquen inundaciones superficiales(Chen et al., 2016). El desbordamiento de los



sistemas de alcantarillado comienza principalmente en las entradas hasta que la presión en el pozo es lo suficientemente alta como para levantar su tapa.

Etapa en la que el flujo sobrecargado puede descargarse a través del espacio entre el fondo de la tapa del pozo y la superficie del suelo, para ello existe varios métodos geoespaciales, por lo cual la investigación responde a la inquietud de relacionar los métodos más frecuentes de usos en distintos softwares como es el método Kriging y el método Shepard, por tal razón la investigación respondió a la siguiente interrogante: ¿Cuál es la relación del método de Kriging y Shepard para determinar el espesor de película de agua en vías urbanas de Puno?, y para responder dichas preguntas en la investigación se resolvió las siguientes preguntas específicas:

- ¿Cuáles son los valores de espesor de agua por el método Kriging en las vías urbanas de la ciudad de Puno?
- ¿Cuáles son los valores de espesor de agua por el método Shepard en las vías urbanas de la ciudad de Puno?

### **1.1. OBJETIVO GENERAL**

Relacionar el método de Kriging y Shepard para determinar el espesor de película de agua en vías urbanas de Puno.

### **1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Calcular los valores de espesor de agua por el método Kriging en las vías urbanas de la ciudad de Puno.
- Calcular los valores de espesor de agua por el método Shepard en las vías urbanas de la ciudad de Puno.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES

##### 2.1.1. Nacionales

Rojas & Humberto (2007) en su tesis titulada “Evaluación, diseño y modelamiento del sistema de drenaje pluvial de la ciudad de Juliaca con la aplicación del software SWMM”(p1), su objetivo fue evaluar un proyecto y plantear un nuevo sistema de drenaje pluvial para la ciudad de Juliaca aplicando técnicas geoespaciales, aplicando el software SWMM, concluyendo en su análisis que el cálculo del caudal de drenaje en el proyecto elaborado el caudal en un punto ( $Q=2.85 \text{ m}^3/\text{seg}$ ) es distinto en el obtenido ( $Q=8.59 \text{ m}^3/\text{seg}$ ), la variación es de 33% a 65% entre el método tradicional con el método geoestadístico (software), el otro punto que explica la variación que encontró un inadecuado planeación hidráulico de la ciudad, como el diseño de la evacuaciones pluviales entre otros puntos.

El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (2014), en su investigación titulada “Análisis comparativo de métodos de interpolación espacial para la elaboración de mapas climáticos de precipitación” (p1), elaboro mapas climáticos de la precipitación mensual y anual evaluando las cuencas del Chillón, Rímac, Lurín y parte alta de Mantaro en relación de modelo de geoestadístico, con la metodología de evaluación de indicadores de desempeño estadístico. Concluyo que la mejor técnica para caracterizar la distribución espacial de precipitación es la técnica Co-Kriging.





La otra ventaja es la variable de la elevación (covariable). Lo que mejoro la predicción de la precipitación con relación a los métodos tradicionales en función de los reajustes de bondad en épocas de mayor lluvia con mayor a 0.50.

Machaca (2016), en su investigación denominada “Caracterización geoambiental para una zonificación y ordenamiento territorial sostenido en la ciudad de Puno”, en su tesis doctoral sostiene que la ciudad de Puno, se encuentra en condiciones de peligrosidad alta moderada, con condiciones actuales de viviendas sin control de drenaje pluvial, ni planeamiento urbanístico, las arterias o las vías pueden favorecer a una evasión rápida del flujo de agua, pero a la vez congestionan el drenaje en las zonas bajas, el uso de metodología para poder determinar que la ciudad es de alta peligrosidad fue determinado con datos y técnicas geoestadísticas, comparando e interrelacionado las cartografías en sismos, lluvias, tipo de suelos y fallas geológicas, relacionados con los planes de gestión de la ciudad, por lo que se tiene que evaluar si estas técnicas pueden variar en forma tradicional.

Madrid (2019), en su tesis “Estimación de precipitación superficial utilizando cinco métodos como base para la determinación del balance hídrico en la cuenca media y alta del Mantaro” (p1), comparo cinco métodos geoestadísticos para determinar parámetros hidrológicos, para ello correlaciono cada método con medias y covarianzas, encontrando que la relación es directa entre los métodos; IDW, Kriging, Thiessen, Regresión lineal, y Spline (p90), encontrado resultados de la humedad (12.92, 12.88, 12.86, 12.51 y 12.86 en %), que el valor menor es del método lineal (tradicional), mientras que los métodos geoestadística son variados entre 12.92, 12.88, 12.86 y 12.86.



En donde el mayor valor es del método IDW, el intermedio de los métodos geoestadísticos es de Kriging, con relación a los métodos Thiessen (tradicional) y Spline (geoestadístico) son similares.

El comportamiento de las otras variables como son humedad, permeabilidad, saturación, precipitación, generación de caudales, las misma que tiene mayor bondad en relación a las pruebas estadísticas es de los métodos geoestadísticos en relación a los métodos tradicionales (Madrid, 2019).

Flores & Paucar (2020), en su tesis “Análisis y estimación de un modelo probabilística de riesgo por inundación, aplicado a la microcuenca Llavini, Distrito, Provincia y Región de Puno – Perú”, tuvo como objeto la investigación en analizar las zonas de inundación en la microcuenca de Llavini con un modelo probabilístico, desarrollo con una metodología el uso vehículos no tripulados para el levantamiento topográfico (método geoestadístico), como la delimitación de la cuenca con el uso de herramientas de tecnologías geoespaciales con el software ArcSIG (p131), determina la dirección de la cuenca, como la clasificación de las redes hidrológicas, determinando el caudal de concentración en el punto delimitado de la cuenca, no recomendado para vías urbanas, pero sin embargo con la comparación del método tradicional, muy adecuado en relación a la tradicional, por motivos de datos de precipitación de estaciones hidrográficas cercanas a la microcuenca.

Concluye que la ciudad de Puno tiene alto riesgo de inundación, gracias a una inadecuada planificación, dentro de la ubicación de zonificación urbana, insertando un riesgo alto en las zonas bajas, y el diseño de arterias o aceras no están adecuadas para poder mitigar la inundación por las precipitaciones fluviales (Flores & Paucar, 2020).



Chuquiruna (2020), en su tesis denominada “Análisis comparativo entre La precipitación media mensual estimada por el método Kriging y Thiessen en la cuenca del río Cajamarquino” (p1), el objeto de la investigación fue realizar un análisis comparativo entre los métodos Kriging y Thiessen para determinar la precipitación media en la cuenca del Río Cajamarquino, utilizando una metodología comparativa entre ambos métodos por optimiza la varianza de error. Con el método de Thiessen la precipitación media mensual, el promedio de precipitación de los meses de mayor precipitación (octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo, y abril) fue de 111.40 mm, y en los meses de mayo, junio, julio, agosto, y septiembre fue de 22.2 mm.

Mientras con el método kriging el promedio de la precipitación media mensual de los meses con mayor precipitación fue 70.73 mm, en relación con los meses de menor precipitación el promedio de precipitación fue de 16.22 mm. Encontrando una relación del 80% de error entre el método Thiessen y Kriging, comparado las técnicas de Kriging optimiza la varianza en comparación contra Thiessen, resolviendo que Kriging presenta mayor confiabilidad en comparación con Thiessen y eso se debe a que Kriging considera la distribución espacial de las estaciones.

Navarro (2021), en tesis titulada “Corredores urbanos ambientales como ejes estructurantes en la ciudad de Puno, Perú – 2019”, cuyo objetivo de su investigación fue determinar un modelo urbano con relación a los corredores urbanos ambientales en función de su uso de suelo, y su movilidad en el espacio público, utilizando una metodología utilizando métodos geoespaciales, como determinar la densidad población,



El movimiento vehicular, como la intensidad sonora en cada vía de la zona, interpolando la superposición de las cartografías de cada dimensión analizada. En donde concluye que la ciudad de Puno tiene una característica de bajas pendientes en la zona centristas, y pendientes pronunciadas en zonas periféricas de la zona urbana, en su tesis denominada.

### **2.1.2. Internacionales**

El uso de los métodos geoestadísticos o también llamados métodos espaciales o métodos de regionalización, son métodos empleados a partir del año 1965 Matheron, sustenta su tesis doctoral denominada “Las variables regionalizadas y su estimación” en donde sostiene y determina la covariograma y su transformada de Fourier, dando así el inicio de la geoestadística como ciencia y disciplina, clasificando en grupos de interés con la cual se podrían estimar datos que puedan explicar fenómenos geológicos y uso de estos en la minera de la época.

Shepard (1968) en su investigación denominada “Una función de interpolación bidimensional para datos espaciados irregularmente” (p517), sostiene y plantea un modelo de algoritmo general en donde la interpolación a partir de puntos de datos en un espacio tridimensional. En el espacio de dimensiones superiores, la métrica cartesiana reemplaza a la de dos dimensiones. Además, las expresiones que involucran productos escalares o incrementos de pendiente requieren otro término para cada dimensión adicional. Finalmente, el radio  $r$  se evalúa a partir del volumen del poliedro mínimo, en lugar del área del polígono mínimo, que contiene todos los puntos de datos.



En el año 1978 Gordon & Wixom desarrollo y se adecuo al método de Shepard, desarrollando un esquema de interpolación discreto arbitrariamente espaciado datos bivariados. Este esquema proporciona una representación global explícita para un interpolante que satisface un principio máximo y que reproduce funciones constantes. El método de interpolación es básicamente una fórmula de distancia inversa que se generaliza a cualquier métrica euclidiana. Estas técnicas se extienden para incluir la interpolación a datos de derivada parcial en los puntos de interpolación(Jeznach et al., 2023; Xie & Kwon, 2022).

Akima (1978) aplica un método geoespacial en su artículo denominado “Un método de interpolación bivariada y ajuste de superficie suave para puntos de datos distribuidos irregularmente”, desarrollo una metodología de interpolación variable y ajuste de superficie suave para valores z dados en puntos distribuidos irregularmente en el plano x-y. La función de interpolación es un polinomio de quinto grado en x e y definido en cada celda triangular que tiene proyecciones de tres puntos de datos en el plano xy como vértices. Cada polinomio está determinado por los valores dados de z y los valores estimados de las derivadas parciales en los vértices del triángulo.

Describe los procedimientos para dividir el plano x-y en varios triángulos, para estimar derivadas parciales en cada punto de datos y para determinar el polinomio en cada triángulo, finalmente estima que los métodos geoespaciales que se acerca un poco más que las tradicionales, encontrando algoritmos que puede rellenar datos en función de los datos existentes y poder generar un sistema de datos que puedan ser usados para el diseño en ingeniería hidráulica o hidrología (Akima, 1978).



Damant et al. (1983) desarrollo un trabajo de investigación titulada “Errores en la técnica de Thiessen para estimar cantidades reales de lluvia utilizando datos de radar meteorológico” (p1), cuyo objetivo era determinar y estimar los promedios de precipitación en la cuenca de Yamaska, para lo cual comparo dos métodos, el primero el método del polígono de Thiessen y el segundo tomado en cuenta es la de radar de promedio de precipitación aplicando herramientas de tecnologías geoespaciales se obtuvieron una relación de 3% y 69% en cada punto de la cuenca.

En su conclusión final manifiesta que esta impresionado del error probable, que sea una función mucho más fuerte del tipo de tormenta que causa la acumulación de lluvia (convectiva o generalizada) que del tamaño de la cuenca, que ha sido la principal preocupación de investigadores anteriores(Damant et al., 1983).

Borga & Vizzaccaro (1997) en su articulado publicado “Sobre la interpolación de variables hidrológicas: equivalencia formal de ajuste de superficie multicuadrático y kriging” su objetivo fue desarrollar y centrar los vínculos del kriging con un procedimiento de interpolación determinista, conocido como ajuste de superficies multicuadrático, utilizando una metodología de comparación entre las ecuaciones de kriging con un modelo de variograma lineal en relación con las ecuaciones de ajuste de superficies multicuadrático y superficies cónicas, concluyendo que el método kriging funciona mejor con una densidad de calibre más baja.

Goovaerts (2000) en su artículo titulada “Enfoques geoestadísticos para incorporar la elevación en la interpolación espacial de la lluvia”, cuyo objetivo de la investigación fue desarrollar algoritmos geoestadísticos.



Multivariados para incorporar un modelo de elevación digital en la predicción espacial de la precipitación: kriging simple con diferentes medios locales; kriging con deriva externa; y cokriging colocado, la misma que se evaluó con el método de polígono de Thiessen, distancia al cuadrado inverso y kriging ordinario, concluyendo el kriging ordinario produce predicciones más precisas que la regresión lineal cuando la correlación entre lluvia y elevación es moderada que es menor de 0,75 en el estudio de caso.

Cisneros et al. (2001) en su investigación denominada “Aplicación del método kriging en la construcción de campos de tormenta en la ciudad de México”(p1), el objetivo de la investigación fue desarrollar la estructura espacial de las tormentas, se describió las características de los modelos, para determinar la precipitación, de una red de pluviógrafos de la ciudad de México, los resultados obtenidos en relación a la metodología Spline son superados por el método kriging, conforme a los modelos de ajuste del variograma y grados de deriva del error de estimación en relación con el método general(p25).

Martinez & Ramírez (2005) aplica el método Kriging en su investigación denominada “Desarrollo actual de la geoestadística en el mundo”, cuyo objetivo fue relacionar los grupos fundamentales, geoestadística lineal, método no estacionario, método multivariado, método geoestadístico no lineal, método no estacionario, método multivariado, método no estacionario, método no lineal y finalmente el método de simulaciones, concluyendo como dichos métodos alcanzo en estos últimos años y la aplicación de la matemática aplicada.



Cibrián (2009), en su investigación realizada sobre pavimentos permeables, desarrollado en su tesis denominado “Reducción de escurrimientos pluviales mediante la utilización de pavimentos de concreto permeable”(Cibrián, 2009,p1), presentado para optar maestro, en la universidad autónoma de México, establece que el cuidado en el diseño de vías urbanas se da en un relación entre la pendiente longitudinal y transversal, cuidando la línea fluvial de la escorrentía y la sub rasante, para poder evacuar rápidamente el agua pluvial y no dañar el pavimento(Cibrián, 2009).

Los otros puntos abordados por el investigador, son que las rasante de zonas de estacionamiento, debe ser diseñados sin pendiente, para que puedan permitir un mayor tiempo para que la subrasante puede absorber el agua de lluvia acumulada, el otro punto es que el diseño de las vías urbanas con pendientes pronunciadas deben ser diseñados con franjas transversales, para evitar que el agua pueda ser transmitida a los bordillos y estas pueden ser transmitidos a las viviendas, así estimar que el agua siga la trayectoria de la pendiente longitudinal, el otro punto que se debe cuidar es el transporte de los finos, que ocurren diariamente en las vías urbanas, para ello el diseño de las franjas transversales está en función de la pendiente longitudinal (Cibrián, 2009).

Álvarez (2011) desarrollo la tesis titulada “Estimación de la distribución espacial de la precipitación en zonas montañosas mediante métodos geoestadísticos”, el objetivo de la tesis es la estimación de precipitaciones en áreas altas de España, usando método y técnicas geoestadísticos, realizando en un procedimiento de interpolación de regresión lineal, en todos los puntos muestrales tienen el mismo efecto en los resultados.





Se puede entender que la ecuación de regresión se ajusta mediante el método de mínimos cuadrados, en una aplicación x,y mientras las cotas no se estima en para la determinacion de la precipitación, el otro punto importante el uso de técnicas geoestadísticas si puedes incluir otras variables como son las cotas.

Debido a la variación en el gradiente de elevación, el aislamiento de los puntos más altos y la dificultad de controlar las variables predictivas que explican un gran porcentaje de la variación, se decidió ponderar los datos para estimar los parámetros de cada ecuación de regresión (Álvarez et al., 2011).

Álvarez et al. (2011) , en el trabajo de investigación denominada “Modelos digitales batimétricos generados por métodos de interpolación IDW(ponderación de distancia inversa), Kriging, Shepard y B-Spline en el archipiélago de islas del Rosario” (p.1), desarrollando la correlación geoestadísticos, con la metodología del error medio cuadrático, obteniendo así la correlación de los métodos el coeficiente de correlación R<sup>2</sup>, el error medio cuadrático, como el estándar de calidad medio, concluyendo que el método B-Spline se ajusta con los parámetros de corrección como el de extrapolación(p12).

Rubinato et al. (2013) realiza una comparación entre dos métodos un método digital y el otro método físico en su investigación “Comparación entre los resultados hidráulicos de InfoWorks y un modelo físico de un sistema de drenaje urbano”(p372), en desarrollo elabora un modelo digital para comparar con un modelo físico en donde encuentra que el uso de herramientas de modelado permite una evaluación de la capacidad del alcantarillado y la probabilidad de impacto de inundaciones pluviales, mostrando una relación directa de 0.98 entre ambos métodos.



García et al. (2015), en su investigación titula “Modelado y control en tiempo real de sistemas de drenaje urbano: una revisión”, sostiene que los sistemas de drenaje urbano pueden ser considerarse que son de gran escala por la cantidad de estados asociados y acciones de decisión, lo que ocasiona la complejidad dinámica de los drenajes urbanos a tiempo real, para lo cual se estimado varias técnicas geoestadísticas para estimar el desarrollo de los modelos de control, que puedan predecir las secuencias y los puntos de fallas en la estimacion del caudal producido en cada sistema de drenaje.

Garcia (2015) en su tesis titulada “Pavimentos Urbanos: Criterios para uso y diseño”, su objetivo de su investigación fue establecer criterios de diseño y uso en los pavimentos urbanos, en relación a la marcha humana de forma normal y de la patológica, la acción de la ergonomía, la antropometría, finalmente la biomecánica, en relación al diseño de la dimensión, la forma, el color, la textura, juntas, la usabilidad, la durabilidad, el desgaste, con un corte de factores externos como los contaminantes, lugar, usos que se da en la vía y finalmente la climatología como es la hidrología.

La metodología de investigación fue el método cualitativo, determinando con la observación del entorno, análisis documentario, recopilación de imágenes, entrevistas, para determinar el estado actual de la vía, como las entrevistas de los fabricantes, relacionando con el entorno de las características de las vias, En sus conclusiones menciona que el diseño de las vias depende fundamentalmente de las características geometría de las vias, tanto en calzada y en las veredas, relacionado las pendientes en función que debe cumplir y debe responder a la hidrología de la zona, como las condiciones de uso del suelo(Garcia, 2015).



Aragón et al. (2019) desarrolla una metodología en donde compara tres métodos de interpolación, los métodos analizados son el polígono de Thiessen, inverso de la distancia y Kriging ordinario, en su investigación titulada “Distribución espacial de variables hidrológicas. Implementación y evaluación de métodos de interpolación”, con el objetivo de determinar a precipitación media de la zona de estudio con información distribuida y puntual, concluyendo que los métodos calculados son diferentes para cada caso, siendo en los puntuales el método de los polígonos de Thiessen tiene mejores resultados a comparación de otros, en relación con la información distribuida, el método inverso de la distancia es la más adecuada. En consideración de los métodos de interpolación de correlación cruzada es adecuada por el método de Kriging ordinario.

Zeng et al. (2021) estudio la relación de los métodos geoestadísticos para determinar el espejo de agua en zonas urbanas, la investigación es titula “Diseño e implementación de un marco de servicios web basado en SWMM para brindar apoyo a las decisiones para la gestión de aguas pluviales urbanas en tiempo real”, cuyo objetivo de investigación desarrollar un modelo de aguas pluviales (SWMM), para desarrollar un modelo hidrodinámico de simulación de drenaje urbano, escorrentía y lluvia, cuya aplicación se desarrollaría a la planificación, el análisis y el diseño, para ello relaciono distintos métodos geoestadísticos que pueden permitir la implementación del modelo, para luego aplicar con datos de la Web a tiempo real, en donde la relación de los métodos es directo con el nuevo modelo planteado con los métodos tradicionales de hidrología.



Ketabdari et al. (2021), en su artículo científico denominado “Evaluación del impacto de los taludes en la capacidad de drenaje de la pista en función de las condiciones de adherencia de la superficie de la rueda/trayectoria”, cuyo objetivo era desarrollar diseñar pendiente transversal del 1% al 1,5% para que estas pendientes puedan realizar un rápido drenaje del agua de la superficie de la pista y a la vez que permita la seguridad en el frenado de vehículos pesados.

En la investigación el autor desarrollo un código de simulador que inicialmente calcula el espesor de la película de agua existente, como resultado de una precipitación intensa, bajo el engranaje principal del vehículo y luego aplica esta variable como una de las entradas principales para el cálculo de la distancia de frenado de la aeronave. Conforme a los resultados obtenidos, el gradiente longitudinal no tiene un efecto significativo en la profundidad del agua existente en la superficie, aunque afecta a la longitud de la trayectoria del flujo, pero sin embargo las pendientes transversales son determinantes para la dirección del flujo en función del perfil longitudinal, tomando en cuenta la precipitación y la velocidad del vehículo(Ketabdari et al., 2021).

Chen (2021) en su artículo publicado titulado “Investigación sobre la distribución del agua en la sección curva circular de la autopista” estudio la influencia de la alineación geométrica de la sección de la curva circular de la carretera en la distribución del espesor del agua del área de la carretera, se estableció la prueba ortogonal estándar con las principales variables de investigación de la pendiente transversal, la pendiente longitudinal, el ancho de la carretera y el radio de la curva circular.



Utilizo la metodología geoespacial para determinar la distribución del agua de la superficie de la carretera, la misma que realizo una simulación virtual en base a la dinámica de fluidos computacional. Concluyendo en varios puntos; el principal sostiene que la influencia de la pendiente transversal, la pendiente longitudinal, el ancho de la carretera y el radio de la curva circular influencia en el espesor del agua y está a la vez de la tormenta y el lugar de recepción en donde se encuentra la vía(Chen, 2021).

El segundo punto demuestra que a mayor es el número de carriles, es mayor el valor máximo del espesor del agua acumulada tomando en cuenta la hidrología del lugar y la intensidad de la lluvia. El tercer punto sostiene que la intensidad de lluvia influencia en el espesor de agua de la carretera como la longitud de la vía en este caso la cantidad de carriles que tiene la vía. El espesor del agua en la superficie de la carretera curva circular se correlaciona positivamente con la altura y el ancho y se correlaciona negativamente con la pendiente longitudinal(Chen, 2021).

El otro punto de las conclusiones sostiene que no existe una relación lineal aparente entre el radio de la curva circular y el espesor del agua, pero el grado de influencia del espesor del agua en la superficie de la carretera curva circular es el ancho de la carretera , la pendiente transversal ,la pendiente longitudinal, el radio de la curva circular, es directa, por lo que se recomienda el uso de técnicas geoestadísticas para determinar el lugar de la infraestructura hidráulica (Chen, 2021).



## 2.2. MARCO TEORICO

### 2.2.1. Método geoestadístico de Kriging

En la década de los 60, su enfoque fue formalizado por Matheron (1963), Matheron (1965), acuñando el término "Kriging" en su honor. En las dos décadas siguientes, los científicos medioambientales vieron el mérito de esta tecnología en sus propios campos de investigación como; Burgess & Webster (1980) desarrolla en el estudio de suelos, De Marsily & Ahmed (1987) aplica en la ciencias de la hidrología subterránea dando algunos procedimientos, Gajem et al. (1981) utilizo para determinar el pH y otras características de los suelos, McBratney et al. (1982) sostuvo variaciones en los suelos, Vauclin et al. (1983) determino los contenidos de arena, limo y arcilla, el contenido de agua, Russo (1984) estudio la heterogeneidad de suelos, y Oliver & Webster (1987) estudio la distribución espacial del suelo.

Actualmente el kriging se aplica ampliamente y con creciente sofisticación en la ingeniería petrolera, minería y geología, meteorología, hidrología, ciencias del suelo, agricultura de precisión, control de la contaminación, salud pública, pesca, ecología vegetal y animal y teledetección. Kriging se ha convertido en un término genérico para varios métodos de mínimos cuadrados estrechamente relacionados que proporcionan las mejores predicciones lineales insesgadas y también algunos tipos de predicción no lineales. Es un avance importante con respecto a los métodos matemáticos de interpolación comunes en la primera mitad del siglo XX.



### a) Planteamiento de los principios básicos

Las características del medio ambiente, como el suelo, son producto de muchos procesos físicos, químicos, biológicos, hidrológicos entre otros factores y variables que interactúan. Estos procesos están determinados físicamente, pero sus interacciones son tan complejas que la variación parece aleatoria.

Esta complejidad y comprensión incompleta de los procesos significa que una solución determinista o matemática para cuantificar la variación está fuera de alcance en la actualidad. La solución lógica requirió un salto de imaginación por parte Matheron (1970) en su tesis fundamental para tratar la variación como si fuera aleatoria. Primero traducamos esta idea de propiedad aleatoria a una idea matemática, a la que llamaremos proceso aleatorio. Tenemos la siguiente proposición en tres principios fundamentales:

1. El valor de una propiedad, digamos  $z$ , en cualquier lugar  $x$ , equivalente a  $x_1, x_2$ , en dos dimensiones, y denotada por  $z(x)$  es uno de una infinidad de valores de una variable aleatoria  $Z(x)$  en ese lugar. Lo llamamos una "realización" del proceso.
2. El conjunto de valores aleatorios en todos esos lugares, nuevamente en número infinito, en una región es un proceso aleatorio y también se denota por  $Z(x)$ .
3. La variable aleatoria está correlacionada espacialmente en alguna escala.

Variabes como la altura de los niveles freáticos, las concentraciones de elementos en el suelo, la temperatura del aire y las precipitaciones, se consideran variables aleatorias espaciales.



Para cada uno, sin embargo, tenemos sólo una realización única. En consecuencia, no podemos calcular estadísticas para la realización ni sacar inferencias de ella. La inferencia requiere muchas realizaciones y, por lo tanto, para superar este punto muerto debemos hacer una suposición adicional: que el proceso es estacionario.

### b) Fundamento básico de la geoestadística

La noción de estacionariedad sustenta la geoestadística y nos permite suponer que existe el mismo grado de variación de un lugar a otro. Podemos representar el proceso aleatorio mediante el modelo (McBratney et al., 1982).

$$Z(x) = \mu + \varepsilon(x) \dots\dots\dots (1)$$

De la ecuación 1, se tiene que donde  $\mu$  es la media del proceso y  $\varepsilon(x)$  es una cantidad aleatoria con una media de cero y una covarianza,  $C(h)$ , dada por:

$$C(h) = E[\varepsilon(x)\varepsilon(x + h)] \dots\dots\dots (2)$$

De la ecuación (2), se tiene que es equivalente a:

$$C(h) = E[\{Z(x) - \mu\}\{Z(x + h) - \mu\}] = E[Z(x)Z(x + h) - \mu^2] \dots\dots\dots (3)$$

En estas ecuaciones  $h$  es la separación entre muestras en ambas distancias y dirección;  $Z(x)$  y  $Z(x + h)$  son los valores de  $Z$  en los lugares  $x$  y  $x + h$ , y  $E$  denota la expectativa. Si la media no es constante entonces la covarianza no puede existir, e invocamos la teoría de (Matheron, 1970) supuesto algo más débil de estacionariedad intrínseca en el que el las diferencias esperadas son cero, es decir,  $E[Z(x) - Z(x + h)] = 0$ , y la covarianza se reemplaza por la mitad de la varianza de las diferencias, la semivarianza (Hawkins & Merriam, 1973):





$$\gamma(h) = \frac{1}{2} \text{var}[Z(x) - Z(x + h)] = \frac{1}{2} E[\{Z(x) - Z(x + h)\}^2] \dots \dots \dots (4)$$

Al igual que la covarianza, la semivarianza depende de h y sólo de h, y en función de h es el variograma,  $\gamma(h)$ . El variograma es más generalmente útil que la función de covarianza debido a estos supuestos más débiles, y por eso se ha convertido en la herramienta central de la geoestadística. Para segundo orden procesos estacionarios la función de covarianza y el variograma son equivalente (Hawkins & Merriam, 1974):

$$\gamma(h) = C(0) - C(h) \dots \dots \dots (5)$$

De la ecuación 5, se tiene un  $C(0) \sigma^2$  es la varianza del proceso aleatorio mencionando uno más una función de h, a saber el correlograma:  $\rho(h) = \frac{C(h)}{\sigma^2}$

Teniendo una sección enfatizando que la aleatoriedad y la estacionariedad con atributos asumidos de nuestros modelos de variación; no son propiedades del mundo real o de los datos, y no existe una prueba formal para ellos. El otro punto, son útiles porque nos ayudan a comprender la complejidad del mundo real y predecir sus condiciones en lugares no visitados (McBratney & Webster, 1981; Warrick et al., 2018).

**c) El variograma**

El variograma definido anteriormente es el del proceso aleatorio  $Z(x)$  que suponemos que ha dado lugar a la realización real en el geoespacio; es una función teórica, de igual forma existe otros dos variogramas que deben reconocerse.

- El variograma regional es el de una realización particular del azar proceso en una región finita, en donde se calcula si hubieras completado información de la región y una computadora con infinitas capacidades. Puede diferir del variograma teórico en que una región no necesariamente abarca toda la variación en el supuesto teórico. proceso(Crampton, 1982).

- El variograma experimental es aquel que estimando a partir de datos,  $Z(x_i)$ , siendo  $i = 1, 2, \dots$  generalmente se calcula mediante el método de los momentos(Matheron, 1970).

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2m(h)} \sum_{j=1}^{m(h)} \{Z(x_j) - z(x_j + h)\}^2 \dots\dots\dots (6)$$

De la ecuación 6, se tiene que  $m(h)$  es el número de comparaciones pareadas en el retardo  $h$ . Por incrementando  $h$  en pasos obtenemos un conjunto ordenado de valores, conociendo que es el variograma experimental, también conocido como variograma de muestra. porque se basa en una muestra. Estima puntos en la región variograma. Programando la ecuación (6) podemos calcular el experimental variograma a partir de datos.

El resultado depende de la forma precisa en que lo apliquemos el programa para la toma de decisiones que tomamos, que discutimos después del modelado. El variograma experimental consta de semivarianzas en un conjunto finito. de retrasos discretos, mientras que la función subyacente es continua para todos  $h$  según la ecuación (4), por lo que se tiene que ajustar la curva o superficie suave, dando así los valores experimentales, uno que describa las características principales de la secuencia ignorando la fluctuación errática de punto a punto(Oliver & Webster, 1987).

La curva debe tener una expresión matemática que pueda describir las varianzas. de procesos aleatorios con retraso cambiante y garantía no negativa variaciones en sus predicciones. La elección se limita a unas pocas funciones simples que las satisfacen. Una de las funciones más populares es el modelo isotrópico esférico más pepita. Aquí damos su ecuación a introduzca los parámetros mencionados teniendo la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned}\gamma(h) &= C_0 + c \left\{ \frac{3h}{2r} - \frac{1}{2} \left( \frac{h}{r} \right)^3 \right\} \text{ for } 0 < h \leq r \\ &= C_0 + c \text{ for } h > r \dots\dots\dots (7) \\ &= 0 \text{ for } h = 0\end{aligned}$$

En la ecuación (7) se tiene en el que  $h = |h|$  es la distancia de retraso, y los parámetros son  $C_0$ , la varianza de la zona u objeto de estudio,  $C$  la varianza correlacionada espacialmente, y  $r$  el rango, que es el límite de la correlación espacial (Russo, 1984; Vauclin et al., 1983).

### 2.2.2. Método geoestadístico de Shepard

Los métodos de interpolación automatizados ofrecen las ventajas de que son objetivos, los resultados son reproducibles y manejan grandes conjuntos de datos con eficiencia. Sin embargo, los métodos de interpolación automatizados reconstruyen superficies estrictamente en función de la ubicación de las coordenadas (x, y) y un conjunto de valores de control  $i$  conocidos.

Las rutinas de interpolación automatizadas generalmente no admiten el ajuste de superficies para incorporar variables de ubicación adicionales o conocimiento experto.



Se propone una versión modificada del método de interpolación ponderada por distancia inversa (IDW) que permite al científico controlar el grado de ajuste de la superficie al cruzar límites poligonales de variables de ubicación adicionales.

El método Shepard también conocido como la técnica del Inverso de la Distancia (IDW) se demuestra mediante una reconstrucción simple de una superficie determinada para ello se debe analizar la interpolación automatizada multivariada, en donde se plantea el modelo general para la interpolación de valores Z esto esta expresado como:

$$Z_{x,y} = f(x, y) \dots\dots\dots (8)$$

De la ecuación (7) se tiene un modelo puede considerarse univariado en donde se determina la altura de la superficie Z en cualquier punto (x, y), solo una variable, tomando en cuenta que no se considera otras variables al mismo punto.

Agregando otras variables se tendría m variables adicionales, u..., v.... que se refieren a una ubicación de muestra dada z, entonces una expresión multivariada para interpolar otros valores de Z se puede expresar como:

$$Z_{x,y} = f(x, y, v_1, \dots v_m) \dots\dots\dots (9)$$

De la ecuación (9) se tiene la interpolación multivariada, las cuales fueron desarrollados por Journel & Huijbregts (1978) , la misma que fue modificada por la técnica de interpolación en diferencias finitas desarrollado por (Zoraster, 1987, 1992), para poder incorporar discontinuidades de falla en las superficies de los horizontes geológicos, también este método se adecuo a las diferencias finitas modificadas de Hutchinson (1989), en donde permite la reconstrucción de superficies de elevación para respetar las corrientes hidrológicas.

Otros han optado por dividir la reconstrucción de superficies en un conjunto de procesos independientes de generación de superficies basados en regiones temáticas únicas, y posteriormente unir el conjunto de superficies resultantes nuevamente en un compuesto general (Hamilton & Henize, 1992; Sinclair & Vallée, 1994), desarrollando un enfoque de buscar eludir las limitaciones tecnológicas en lugar de resolverlas, y se vuelve operativamente inviable cuando se desea incorporar más de un variable temática adicional, por los problemas de reconstruir superficies con variables incorporando conocimientos sobre el comportamiento relativo de las características de la superficie a través de los límites de la estratigrafía y la estructura del terreno, optaron por modificar la técnica de interpolación univariante inversa ponderada por distancia (IDW) para convertirla en multivariada (Bartier & Keller, 1996; Journel & Huijbregts, 1978).

#### **a) Interpolación univariante inversa ponderada por distancia (IDW)**

La interpolación IDW es ampliamente utilizada por los científicos en ciencia de la tierra (Ware et al., 1991). La ecuación genérica para la distancia inversa ponderada la interpolación es:

$$Z_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n Z_i w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \dots\dots\dots (10)$$

De la ecuación (10), se tiene  $Z_{xy}$  es el punto para estimar  $Z$ , representa el valor de control para el  $i$ ésimo punto de muestra,  $i$  es un peso que determina la importancia relativa del punto de control individual  $Z_i$ , en el procedimiento de interpolación. Como interruptor binario  $w_i = 1$  para los  $n$  puntos de control más cercanos al punto que se va a interpolar, o para el conjunto de puntos de control dentro de cierto radio,  $r$  del punto que se va a interpolar  $w_i = 0$  en caso contrario.

Una de la estrategia de ponderación alternativa que otorga a los puntos cercanos relativamente más influencia que a los distantes se basa en la inversa de la distancia a una potencia, de modo que:

$$W_i = d_{x,y,i}^{-\beta} \dots\dots\dots (11)$$

De la ecuación (11) donde  $d_{x,y,i}$  es la distancia entre  $Z_{x,y}, Z_i$  y  $\beta$  es un exponente definido por el usuario. Por lo tanto, la ecuación (10) se puede reescribir como:

$$Z_{x,y} = \frac{\sum_{i=1}^n Z_i d_{x,y,i}^{-\beta}}{\sum_{i=1}^n d_{x,y,i}^{-\beta}} \dots\dots\dots (12)$$

Clarke (1995), Hodgson (1989) y Sampson (1988) analiza otros métodos para definir y rellenar los datos faltantes, mientras Grain (1970) sostiene las estrategias más específicas de ponderación de distancia inversa tal como lo define Sampson (1988) y Watson (1992) que plantea dos características importantes asociadas con este tipo de interpolación son que los algoritmos basados en la ecuación (12) no inferirán máximos y mínimos de superficie más allá de los definidos por los puntos de control existentes y que el proceso de interpolación no garantizará que la superficie reconstruida pase exactamente por todos los puntos de control a menos que se agregue la siguiente restricción:

$$Z_{x,y} = Z_i \text{ para todo } Z_i \dots\dots\dots (13)$$

La técnica IDW univariado también supone que la superficie entre dos puntos cualesquiera es lisa, pero no diferenciable, es decir, esta técnica de no permite cambios abruptos de altura.

## b) Interpolación IDW multivariada

Es posible modificar la rutina de interpolación IDW para admitir la inclusión de variables independientes adicionales para la estratigrafía o estructura del terreno, que controlarán la brusquedad del cambio de superficie a través de los límites temáticos. Esta versión multivariada para la interpolación IDW basada en las ecuaciones (9) y (10) se puede expresar en su forma más simple como:

$$Z_{x,y} = \frac{\sum_{i=1}^n Z_i W_i(v_i, \dots, v_m)}{\sum_{i=1}^n W_i(v_i, \dots, v_m)} \dots\dots\dots (14)$$

De la ecuación (14), en donde los pesos  $w$ , se modifican según los valores de las variables  $v, \dots, u, \dots$ . Una versión multivariada basada en la ecuación (12) es:

$$Z_{x,y} = \frac{\sum_{i=1}^n Z_i d_{x,y,i}^{-\beta} W_i(v_i, \dots, v_m)}{\sum_{i=1}^n d_{x,y,i}^{-\beta} W_i(v_i, \dots, v_m)} \dots\dots\dots (15)$$

En esta ecuación se supone que hay dos pesos independientes que controlan el proceso de interpolación, a saber, el peso de distancia inversa, y un segundo peso que resume la influencia de todos otros conocimientos, en relación de estos dos pesos se pueden combinar en uno solo.

### 2.2.3. Método de espesor de agua en relación de los pendientes

Para evaluar el efecto de las pendientes longitudinales y transversales y la capacidad de drenaje en el pavimento, en las últimas décadas se desarrolló varias metodologías dentro de este se desarrolló su propia metodología de cálculo para predecir los espesores de película de agua, en inglés Water-Film Thicknesses (WFT), como los pesos máximos de los vehículos, en sus siglas en inglés Maximum Landing Weights (MLW).

Contacto de las pendientes longitudinales y transversales con textura media del pavimento, en términos de sigla en inglés Mean Texture Depths (MTD), las cuales desarrollaron varios autores dentro de ellos se tienen:

$$WFT = \left( 0.00073 * L^{0.519} * I^{0.562} * \frac{MTD^{0.125}}{S^{0.365}} \right) - MTD \dots \dots \dots (16)$$

La fórmula anterior fue desarrollada por American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) en el año 1990, considerando que L es la longitud de trayecto de la vía (m), I es la intensidad de la lluvia (mm/hora), y S pendiente del drenaje (m/m), WFT en mm, MTD en mm.

El otro método de desarrollado por Gallaway en el año 1979, para lo cual planteo la siguiente relación se obtuvo:

$$WFT = \left( 0.01485 * L^{0.43} * I^{0.59} * \frac{MTD^{0.11}}{S^{0.42}} \right) - MTD \dots \dots \dots (17)$$

Mientras Chesterton y otros en el año 2006, desarrolla un método denominado Modified New Zealand, ajustando las variables conforme a la siguiente ecuación:

$$WFT = \left( 0.003264 * L^{0.316} * \frac{I^{0.2712}}{S^{0.3}} \right) - MTD \dots \dots \dots (18)$$

Finalmente Chesterton y otros en el mismo año desarrollo otra metodología:

$$WFT = \left( n * L * \frac{I}{105.425 * S^{0.5}} \right) - MTD \dots \dots \dots (19)$$

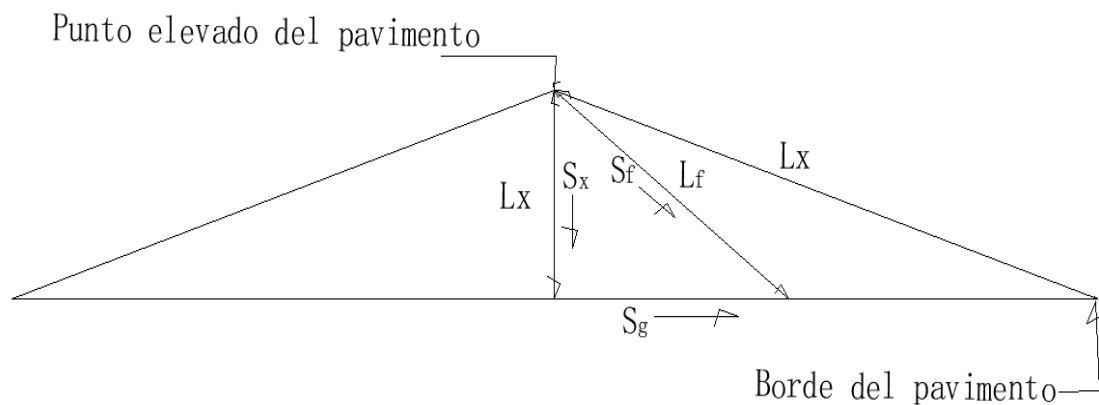
Donde n es el coeficiente de rugosidad de Manning.



En el año 2021 Ketabdari y otros se desarrolló la teoría de mecánica de fluidos del comportamiento de película de agua en la superficie del pavimento, en donde se desarrolla que la lluvia cae en una superficie de pavimentos inclinada, el flujo de agua llamado escorrentía toma un camino hacia el borde del pavimento, lo que lo denomina la trayectoria de flujo resultante y su longitud ( $L_f$ ), y su pendiente ( $S_f$ ), como se precisara en la figura 1.

**Figura 1**

*Esquema de pendientes transversales/longitudinales del pavimento*



*Nota*, Guven y Melville en el año 1999, desarrolla el modelo del esquema de definición del pavimento en relación de las pendientes longitudinal y transversal.

De la figura 1, en base al esquema se planteó las siguientes relaciones:

$$S_f = (S_x^2 + S_g^2)^{0.5} = S_x * \left(1 + \left(\frac{S_g}{S_x}\right)^2\right)^{0.5}$$

$$L_f = L_x * \left(\frac{S_f}{S_x}\right) = L_x * \left(1 + \left(\frac{S_g}{S_x}\right)^2\right)^{0.5} \dots\dots\dots (20)$$

Donde  $S_x$  es la pendiente transversal del pavimento,  $S_g$  pendiente longitudinal del pavimento,  $S_f$  pendiente de la trayectoria del flujo de la película de agua resultante.



$L_x$  ancho del pavimento en (m), finalmente  $L_f$  es la longitud de la trayectoria del flujo de la película del agua (m), finalmente las dos ecuaciones de  $S_f$  y  $L_f$  en función de la ecuación  $WFT$ , por lo que se tiene la siguiente formula:

$$WFT = (0.00338 * MTD^{0.11} * L_f^{0.43} * I^{0.59} * S_f^{-0.42}) - MTD \dots \dots \dots (21)$$

En la ecuación anterior se tiene las siguientes variables;  $L_f$  es la longitud de la trayectoria de flujo (pies),  $I$  es la intensidad de lluvia (pulg/h),  $MTD$  está en (pulg),  $S_f$  es la pendiente de la trayectoria del flujo (pie/pie), se debe entender que este análisis es exclusivamente de una vía, mas no en la conexión con otras vias, como de sebe estimar la acumulación mediante redes desde la parte elevada, hasta llegar al punto de evacuación, considerando los cruce en cada red vial.

El otro punto crítico desde la hidrología es el cálculo del espejo de agua que se acumula en el pavimento, durante los eventos de tormenta, se formaría una película de agua insegura si el agua de lluvia no puede drenar rápidamente la superficie del pavimento, la estimación de la profundidad de la película de agua ( $WFD$ ) es un proceso crítico en el análisis de la seguridad de la vía en el pavimento(Luo et al., 2019).

Para este propósito, una variedad de modelos matemáticos ha sido desarrollados por numerosas agencias de carreteras en el último medio siglo. Los modelos que pueden predecir el espesor de la película de agua que se desarrolla en las carreteras y estos pueden clasificar en tres categorías: empírica, analítica y numérica(Jayasooriya & Gunaratne, 2014).



El otro punto para estudiarse es la intensidad de la lluvia. La intensidad de las lluvias, que puede calcularse dividiendo la profundidad de las lluvias de un período dado por la duración total del período (mm/h), se clasifica según la tasa de precipitación (Monjo, 2016). La precipitación se considera para la intensidad de la lluvia con el fin de evaluar el peor de los casos, que conduce a una acumulación de una película de agua más espesa en la superficie de la pista.

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. LUGAR DE ESTUDIO

La ciudad de Puno está ubicada geográficamente; Longitud oeste:  $15^{\circ} 50' 15''$   
Latitud sur:  $70^{\circ} 01' 18''$ , Altitud: 3850.00 msnm, ubicado en la zona 19L (WGS 84),  
según la municipalidad provincial de Puno.

#### Figura 2

*Ubicación geográfica de la ciudad de Puno*



*Nota*, imagen recopilada por Google Earth Pro en fecha 17 de mayo del 2023



### 3.2. TIPO DE INVESTIGACION

Según su propósito es básica, buscando la correlación de dos técnicas geoestadísticas que determinan el espejo de tirante de agua en la ciudad de Puno. Según su nivel de investigación, es correlacionar se determinará la correlación de las variables estudiadas en función de la pendiente vertical y horizontal de las vías urbanas en la ciudad de Puno. Según el tratamiento de datos, la investigación es de enfoque cuantitativo, por que realizar las pruebas estadísticas descriptivas como las inferenciales, clasificando las pendientes de las secciones transversales y longitudinales. Según el diseño de investigación es no experimental, con datos de información transversal, con evaluación de datos documentales.

### 3.3. POBLACION Y MUESTRA

Para determinar la muestra de la vía, se determinar en función a las vías de la ciudad, tomando en cuenta que la vía, es cada tramo será considerado de esquina a esquina teniendo así una población es  $N= 505879$  tramos, nivel de confianza es de 95% (1.96), el error esperado 5%, y la probabilidad de éxito  $p=q=0.5$ , aplicando la fórmula para poblaciones finitas de tiene:

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q}$$
$$n = \frac{505\ 879 * (1.96)^2 * 0.5 * 0.5}{(0.05)^2 * (24\ 829 - 1) + (1.96)^2 * 0.5 * 0.5}$$
$$n = 383.87 \approx 384$$

Para el muestre se tendrá de 384 tramos en 42 zonas aleatoriamente 9 tramos en cada zona.

### Tabla 1

*Prueba de fiabilidad de los datos para los 384 datos*

Alfa de Cronbach	N de grupos
.634	5

*Nota*, según la tabla 1 el Alfa de Cronbach ( $\alpha$ ) es de 0.634, y es menor de 0.7, por lo que se debe incorporar otros registros para cumplir con la condición de la prueba de fiabilidad.

### Tabla 2

*Prueba de fiabilidad de incremento de datos*

		N	%
Casos	Válidos	385	83.9
	Incluidos	74	16.1
	Total	459	100.0

*Nota*, los datos para la nueva evaluación para cumplir con la condición de la fiabilidad es de 74 puntos más, lo que representa el 16.1% lo que representa de un total de 459 datos analizados.

### Tabla 3

*Prueba de fiabilidad de los datos con 459 puntos*

Alfa de Cronbach	N de grupos
.833	10

*Nota*, según la tabla 3 el Alfa de Cronbach ( $\alpha$ ) es 0.833, por lo que cumple con la condición de la fiabilidad de los registros en cada punto, por tal razón la muestra a tomarse en el análisis es de 459 puntos.

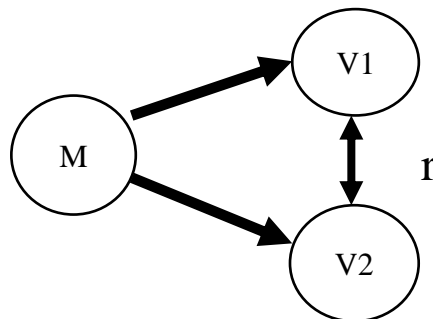
### 3.4. METODOLOGÍA

#### 3.4.1. Diseño de investigación

El diseño de investigación es no experimental, correlacional con un enfoque cuantitativo, de corte transversal, tal como se muestra en la siguiente figura 3

**Figura 3**

*Diseño de la investigación*



*Nota*, M es la muestra, V1 es el método de Kriging, la variable V2 es el Sherpard, siendo r la correlación de ambos variables, el uso de método estadístico para evaluación la relación (Rho de Spearman).

#### 3.4.2. Materiales e instrumentos utilizados

Para el análisis y determinación de las variables se utilizaron dos softwares libres:

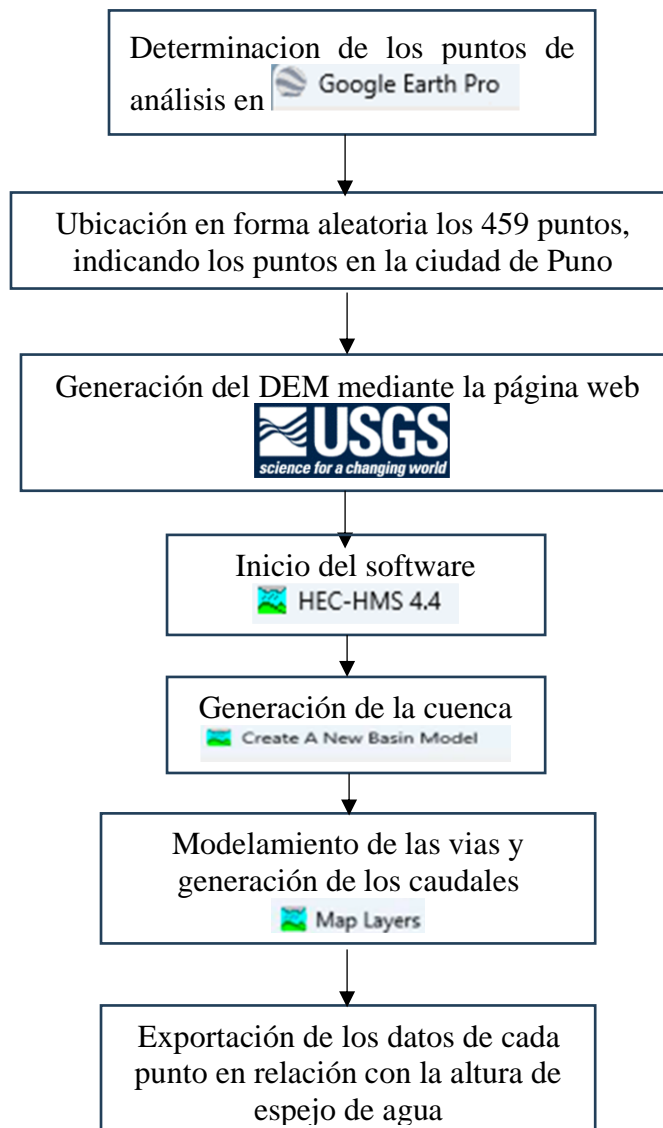
- Variable 1, método de Kriging, se utilizó el software libre HEC-HMS 4.4 descargado en el año 2023.
- Variable 2, método de Sherpard, se utilizó el software libre RS MINERVE 2.9 descargado en el año 2023
- Generación del DEM (modelo de elevación digital), desarrollado con base de datos de la página web del servicio geológico de los Estados Unidos Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS).

### 3.4.3. Metodología para determinar el objetivo específico 1

Para determinar y analizar la metodología de Kriging, para lo cual se realizó los siguientes pasos tal como se puede apreciar en la figura 4.

**Figura 4**

*Proceso de la metodología del objetivo específico 1*



*Nota,* Para el uso de los datos (coordenadas x, y,z), para ambos métodos y el uso DEM de la misma manera es para ambos métodos, en relación al método de Kriging, el software determinar las líneas de las vías, como la ubicación de los puntos son insertados para tener datos por cada punto de análisis.

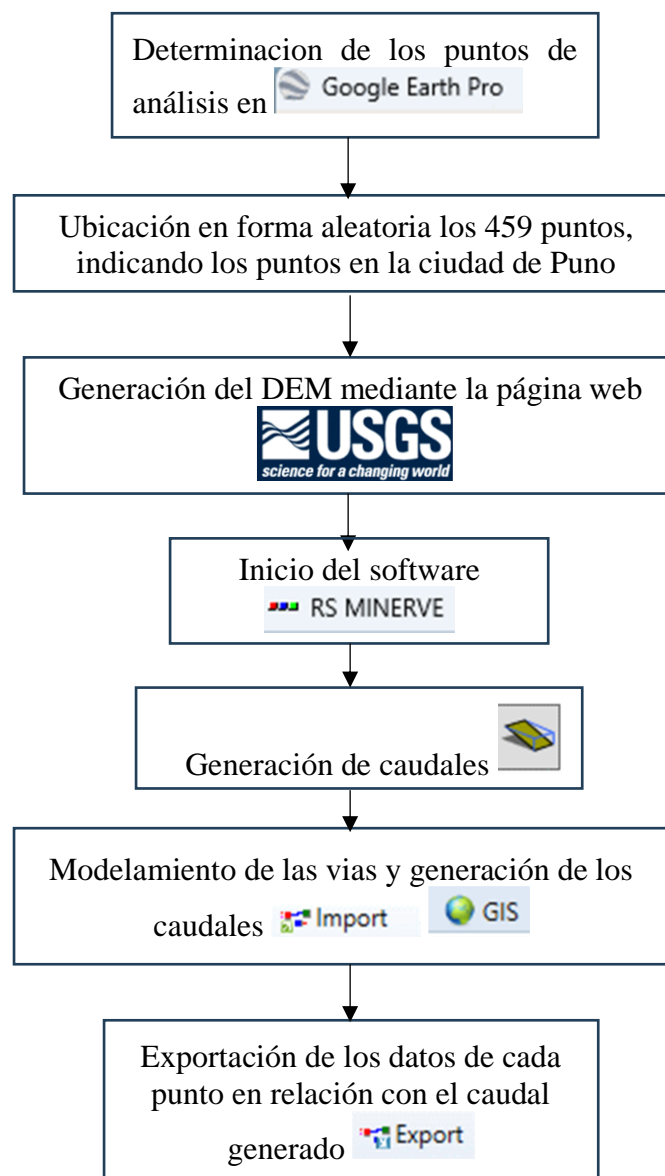


### 3.4.4. Metodología para determinar el objetivo específico 2

Para determinar y analizar la metodología de Sherpard, para lo cual se realizó los siguientes pasos tal como se puede apreciar en la figura 5.

**Figura 5**

*Proceso de la metodología del objetivo específico 2*



*Nota,* En relación con el método Sherpard, se determina los puntos para lo cual se exporto de los puntos mediante el DEM, para determinar el caudal, posteriormente se determina el espejo de agua, para la exportación de datos.



### 3.4.5. Metodología para determinar el objetivo general

Para poder determinar una evaluación, primeramente se debe tomar en cuenta la distribución normal de los datos a analizar, la prueba de la normalidad permite determinar si la muestra procede de una población en donde la probabilidad con media y desviación estándar dada, a la vez determina que tipo de pruebas estadísticas se debe tomar en cuenta para determinar las conclusiones.

#### a) Prueba de la normalidad

- Hipótesis Nula ( $H_o$ ): Los resultados obtenidos por los dos métodos es normal
- Hipótesis alterna ( $H_a$ ): Los resultados obtenidos por los dos métodos no es normal.

Para decidir la hipótesis se tiene:

- Si  $\rho < 0.05$  rechazamos la  $H_o$  y acepto la  $H_a$ , o
- Si  $\rho \geq 0.05$  aceptamos la  $H_o$  y rechazamos la  $H_a$

#### b) Determinación de la prueba estadística

Una vez determinado si los datos analizados son paramétricos y no paramétricos se buscó determinar el método estadístico en función de la primera condición, adoptando el tipo de dato:

- Si los datos son paramétricos se utilizará la correlación de Pearson
- Si los datos no son paramétricos se utilizará la correlación de rangos Spearman.

Para la aplicación por cada coeficiente obtenido se realiza el contraste de hipótesis, para determinar si el coeficiente es igual a cero.

$$H_0: \rho = 0$$

$$H_a: \rho \neq 0$$

Para decidir la hipótesis se tiene:

- Si  $\rho \geq 0.05$  aceptamos la  $H_0$ , es decir no existe correlación
- Si  $\rho < 0.05$  aceptamos  $H_a$ , es decir existe correlación

### c) Toma de decisiones

Para la interpretación de los resultados por la correlación se utilizó la siguiente tabla 4, para poder determinar qué tipo de correlación determina la ecuación que resultó después de la evaluación.

La escala planteada el modelo fue propuesto por primera vez por Charles Spearman en 1904, lo que plantea de la teoría bifactorial, la misma que relaciona la correlación de las variables entre sí.

**Tabla 4**

*Determinación de la correlación de las variables*

Rango	Relación	Correlación
$\rho = 0$	No existe	Nula
$0.00 < \rho \leq 0.20$	Muy poco intensa	Pequeña
$0.20 < \rho \leq 0.40$	Pequeña/Apreciable	Baja
$0.40 < \rho \leq 0.60$	Considerable	Regular
$0.60 < \rho \leq 0.80$	Intensa	Alta
$0.80 < \rho \leq 1.00$	Muy Intensa	Muy Alta

*Nota,* La teoría bifactorial planteado por Spearman (1904), en donde se plantea una escala en donde establece la relación de las variables.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. RESULTADOS

##### 4.1.1. Prueba de la normalidad

La evaluación de la normalidad se realizó de las variables 1 y 2, tomando en cuentas de 459 datos analizados por cada variable, se evaluó con la metodología de Kolmogorov-Smirnova, se tiene la tabla 5.

**Tabla 5**

*Prueba de la normalidad*

	Kolmogorov-Smirnov		
	Estadístico	gl	Sig.
Variable 1	.171	459	.000
Variable 2	.169	459	.000

*Nota*, según los resultados obtenidos la Sig.  $\rho < 0.05$ , en ambos variables por lo que se interpreta que los datos analizados no son normales, por lo que se analizó la correlación por el método de Rho de Spearman.

##### 4.1.2. Prueba de Rho de Spearman

**Tabla 6**

*Prueba de Rho de Spearman*

		Variable 1	Variable 2	
Rho de Spearman	Variable 1	Coficiente	1	0.985**
		Sig.		0
	N	459	459	
	Variable 2	Coficiente	0,985**	1
		Sig.	0	
	N	459	459	

*Nota*, según la tabla 4 se encuentra en la escala de 0.8 a 1.0, encontrando la variable 1 y 2 de 0.999, con una significancia menor a 0.05, de signo positivo.

**Tabla 7**

*Correlación de Spearman de la variable 1 y variable 2*

	$\rho$	<b>p</b>	<b>N</b>
Variable 1- Variable 2	0.985	0	459

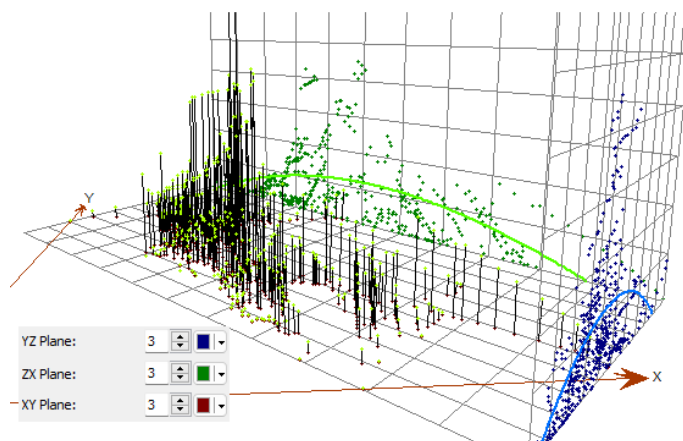
*Nota*, Como  $p=0$  menor a 0.05, por lo tanto, existe relación significamente entre el método 1 y el método 2, esta relación es directa, es decir, a mayor altura de espejo de agua entre la variable1 con relación a la variable 2, además la relación es muy alta (= 0.999).

#### 4.1.3. Prueba Geoestadística

La prueba de la geoestadística es determinar la distribución espacial de los elementos de prueba, para lo cual se usó herramientas geoespaciales(Davis & Sampson, 1986).

**Figura 6**

*Composición de datos geoestadístico en tres dimensiones*



*Nota*, la relación de los planos en tres dimensiones se tiene que la configuración geoestadística, observando la al variograma en sus tres dimensiones(Wackernagel, 2003)

## 4.2. DISCUSIONES

Según los resultados obtenidos la correlación de los métodos Kriging y Spearman es de 0.985 entre ambos métodos para determinar la altura del espejo de agua, tomando en consideración los demás estudios analizados se tiene la tabla 8, en donde se menciona las correlaciones de los dos métodos para el cálculo de distintas variables como la determinación de la altura de la marea, determinación de la altura, las variables hidrológicas como precipitación, temperatura y espejo de agua.

**Tabla 8**

*Correlación entre el método de kriging y Spearman*

Autores	Métodos (Correlación entre kriging y Spearman)				
	mareas	altura	precipitación	temperatura	espejo de agua
Álvarez et al. (2011)	0.891	0.899			
Andrade & Moreano (2013)			0.780	0.850	
Oliva (2015)		0.915			
Fonseca et al. (2018)				0.610	
Chen (2021)					0.852
Zeng et al. (2021)					0.891
Aragón et al. (2019)			0.859		
Rubinato et al. (2013)			0.852		
Cisneros et al. (2001)			0.785		

*Nota*, Andrade & Moreano (2013), Álvarez et al. (2011), Oliva (2015), Fonseca et al. (2018) ente otros determinaron una correlación entre los métodos para poder tomar una decisión de uso y aplicación del diseño en estructuras hidráulicas u en obras civiles como el diseño de los pavimentos urbanos.

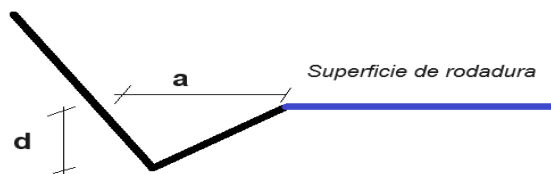
Las variaciones de la relación entre ambos métodos se encuentran entre 0.610 a 0.891, pero en relación con la ciudad de Puno, se encuentra en 0.985, la variación puede ser a distintos factores, como el uso de parámetros iniciales como la generación del DEM, o quizás de usar como única variable la intensidad de lluvia de corte transversal(Álvarez et al., 2011).

### 4.3. APORTE TEORICO

Para el diseño del drenaje en las vías urbanas, siempre se toma como referencia las normas como el uso de las tablas recomendados por el ministerio de transportes y comunicaciones (MTC), como el ministerio de vivienda y construcción, mientras el uso de tablas ábacos y recomendaciones se da en la mayoría, no existe en el Perú un método racional o diferencial para determinar el canal de evacuación u drenaje correspondiente.

**Figura 7**

*Dimensiones recomendadas por el MTC*



**Tabla 9**

*Dimensiones mínimas de cuneta triangular típica*

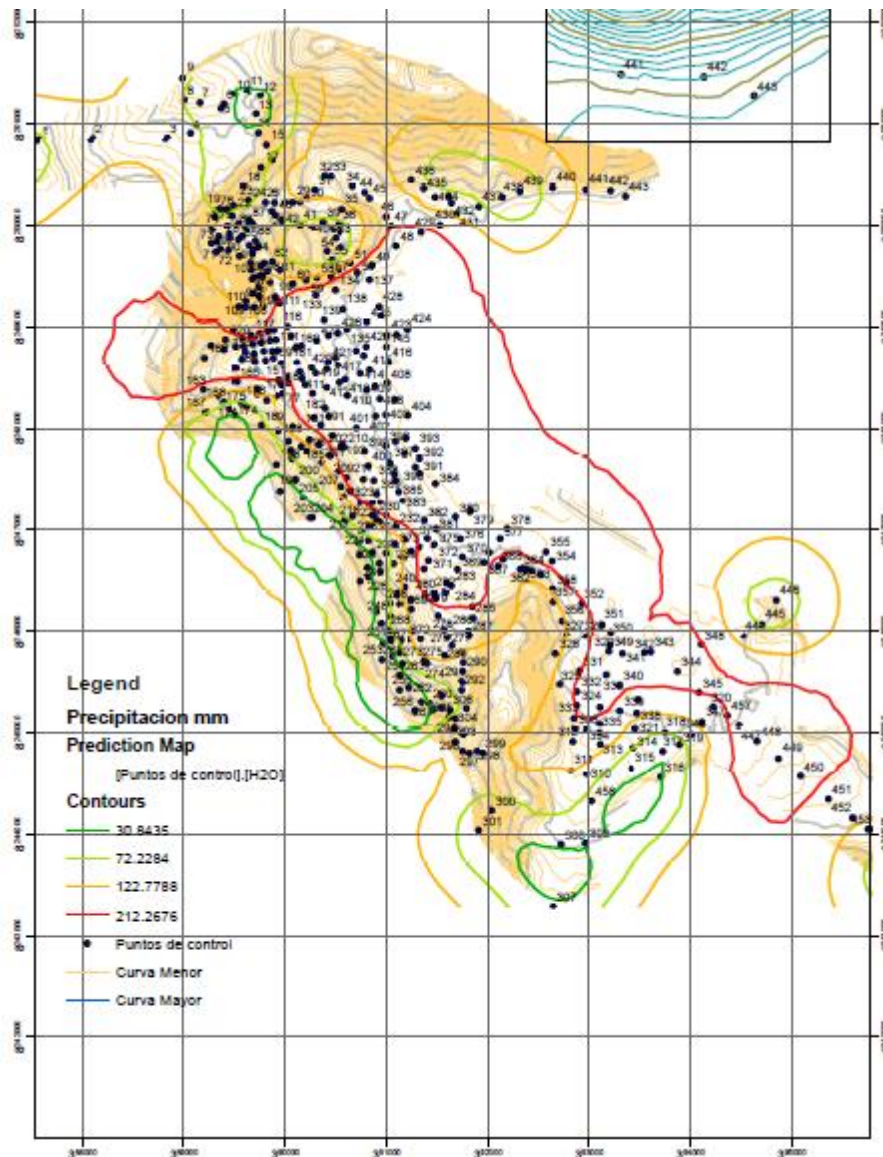
<b>Región (mm/año)</b>	<b>Profundidad (d) mts</b>	<b>Ancho (a) mts.</b>
Seca (menor a 400)	0.2	0.5
Lluviosa (400-1600)	0.3	0.75
Muy lluviosa (1600-3000)	0.4	1.2
Muy lluviosa (mayor a 3000)	0.3	1.2

*Nota*, de la Figura 7 y de la Tabla 9, son datos tomados del MTC de su Manual de hidrología, hidráulica y drenaje publicado en el año 2011, mediante la Resolución Directoral N°20-2011-MTC/14 es aprobada por la entidad, la misma que no precisa las pendientes transversales, pendientes longitudinales, ni mucho menos la rugosidad del pavimento, ni la acumulación del agua de lluvia en el punto de diseño. No se pudo relacionar con ningún método establecido con la presente tesis, por tal razón es la crítica a la norma por ser simple y sin considerar otros factores.

Para poder determinar con un poco de criterio en ciudades se debe tomar en cuenta principalmente la acumulación de lluvias, en cada tramo de diseño de pavimentos urbanos para lo cual se plantea la siguiente formula como aporte para el diseño de las vias antes mencionadas para la ciudad de Puno.

### Figura 8

*Precipitaciones acumuladas en la ciudad de Puno*



*Nota*, las líneas de precipitación acumulada de 0 a 30.84 mm de la altura de espejo de agua (color verde), de 30.84 a 72.23 mm (color verde claro), de 72.23 a 122.78 mm (color naranja), mientras la mayor precipitación acumulada es de 122.78 a 212.27 mm.





En relación con la Figura 8, se puede estimar que la relación entre las pendientes longitudinales, pendientes transversales, rugosidad del pavimento, intensidad de lluvia, como la acumulación de la precipitación en altura de espejo de agua se tiene la siguiente relación:

$$A = (0.00338 * R^{0.11} * L_f^{0.43} * I^{0.59} * S_f^{-0.42}) - R$$

En donde:

- A es la acumulación de la lluvia en función de la ubicación de la vía, utilizando la Figura 8 en mm.
- R es la rugosidad del pavimento expresado en mm
- I intensidad de lluvia máxima del día expresado en mm/hora
- $L_f$  es la relación de la longitud del tramo expresado en m.
- $S_f$  es la relación del ancho del tramo expresado en m.



## V. CONCLUSIONES

- 5.1.** La relación entre ambos métodos es de 0.985, la misma que es directa y muy intensa, con una significancia alta entre ambos métodos para determinar la altura de espejo de agua en el diseño de pavimentos urbanos de la ciudad de Puno.
- 5.2.** Las alturas de espejo de agua expresado en mm varia desde 1.68 en las zonas altas hasta 874.23 en las zonas bajas de la ciudad de Puno, con una media de 138.78 mm, con una mediana de 94.82 mm, con desviación típica de 144.21 mm.
- 5.3.** Las alturas de espejo de agua expresado en mm varia desde 1.60 en zonas altas de la ciudad hasta una acumulación de 830.52 en la zona baja de la ciudad, con una media de 146.14 mm, con una mediana de 102.06 mm, con desviación típica de 151.30 mm.



## VI. RECOMENDACIONES

Para las nuevas líneas de investigación respecto al diseño de vías urbanas:

**6.1.** Se recomienda en las investigaciones posteriores el estudio del comportamiento hidráulico en las vías en ciudades en donde las precipitaciones tenga una consideración como es el caso de Puno, como de Juliaca, u otras ciudades como el de Cusco, Huancayo entre otras, en clásico que en cada precipitación, se inundan las calles, o se eleva el espesor de agua en las vías, causando malestar a las transeúntes como las viviendas cercanas a las vías.

**6.2.** La normatividad vigente en el diseño de vías urbanas en el Perú, está muy deficiente en el aspecto del diseño de las pendientes en las vías, que solamente tiene una relación de pendiente transversal, más la longitudinal, por lo que se recomienda seguir evaluando si esta norma llega a satisfacer en los diseños respecto a la hidrología de las zonas en donde se diseñan las vías urbanas, por lo que se recomienda el uso de sistemas o herramientas de tecnologías geoespaciales en relación al diseño de las vías .

**6.3.** Existe una deficiente evaluación de zonas de riesgo respecto a la construcción de vías, por una deficiente reglamentación en la aplicación de métodos, como la interpretación de los resultados, es claro que la precipitación, intensidad, como la acumulación esta determinados para un punto, es muy caro es determinar por cada esquina de una ciudad, por lo que se recomienda seguir en los estudios, en donde se relaciones estudios con métodos clásicos con tecnologías actuales, como el uso de satélites, u otros que ya existen en el mercado.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akima, H. (1978). A Method of Bivariate Interpolation and Smooth Surface Fitting for Irregularly Distributed Data Points. *ACM Transactions on Mathematical Software (TOMS)*, 4(2), 148–159. <https://doi.org/10.1145/355780.355786>
- Álvarez, J. (2011). *Estimación de la distribución espacial de la precipitación en zonas montañosas mediante métodos geoestadísticos*. 315.
- Álvarez Osorio, D. S., Matiz León, J. C., & Cárdenas Contreras, A. (2011). Modelos digitales batimétricos generados por métodos de interpolación IDW, Kriging, Shepard y B-Spline en el archipiélago de islas del Rosario. *UD y La Geomática*, 5, 3–14.
- Andrade, L., & Moreano, R. (2013). Sistema de Información para la Interpolación de datos de Temperatura y de Precipitación. *Revista Politecnica*, 32(1), 70–75.
- Aragón, J. L., Jiménez, M. R., Aguilar, G. A., Maya, A., & Velázquez, U. (2019). Distribución espacial de variables hidrológicas . Implementación y evaluación de métodos de interpolación Spatial distribution of hydrological variables . Implementation and evaluation of interpolation methods. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 20(2), 1–15.
- Baar, A., Albernaz, M. B., Van Dijk, W., & Kleinhans, M. (2018). The influence of transverse slope effects on large scale morphology in morphodynamic models. *E3S Web of Conferences*, 40, 1–7. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184004021>
- Baar, A. W., de Smit, J., Uijttewaal, W. S. J., & Kleinhans, M. G. (2018). Sediment Transport of Fine Sand to Fine Gravel on Transverse Bed Slopes in Rotating Annular Flume Experiments. *Water Resources Research*, 54(1), 19–45. <https://doi.org/10.1002/2017WR020604>



- Barreto, J. (2004). Control de erosión en obras de drenaje transversal de carreteras ubicadas en zonas andinas. *Universidad Nacional de Ingeniería*.  
<http://hdl.handle.net/20.500.14076/3104>
- Bartier, P. M., & Keller, C. P. (1996). Multivariate interpolation to incorporate thematic surface data using inverse distance weighting (IDW). *Computers & Geosciences*, 22(7), 795–799. [https://doi.org/10.1016/0098-3004\(96\)00021-0](https://doi.org/10.1016/0098-3004(96)00021-0)
- Borga, M., & Vizzaccaro, A. (1997). On the interpolation of hydrologic variables: Formal equivalence of multiquadratic surface fitting and kriging. *Journal of Hydrology*, 195(1–4), 160–171. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(96\)03250-7](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(96)03250-7)
- Burgess, T. M., & Webster, R. (1980). OPTIMAL INTERPOLATION AND ISARITHMIC MAPPING OF SOIL PROPERTIES. *Journal of Soil Science*, 31(2), 315–331. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1980.tb02084.x>
- Chen, A. S., Leandro, J., & Djordjević, S. (2016). Modelling sewer discharge via displacement of manhole covers during flood events using 1D/2D SIPSON/P-DWave dual drainage simulations. *Urban Water Journal*, 13(8), 830–840.  
<https://doi.org/10.1080/1573062X.2015.1041991>
- Chen, X. (2021). Research on Water Distribution in the Circular Curve Section of the Highway. *2021 6th International Conference on Transportation Information and Safety (ICTIS)*, 1266–1268. <https://doi.org/10.1109/ICTIS54573.2021.9798679>
- Chuquiruna, M. (2020). *Análisis comparativo entre La precipitación media mensual estimada por el método Kriging y Thiessen en la cuenca del río Cajamarquino*. Universidad Nacional de Cajamarca.
- Cibrián, I. (2009). Reducción de escurrimientos pluviales mediante la utilización de pavimentos de concreto permeable. In *Universidad Nacional Autónoma de México*.  
<http://www.remeri.org.mx/portal/REMERI.jsp?id=oai:tesis.dgbiblio.unam.mx:0>



00646005

- Cisneros Iturbe, H. L., Bouvier, C., & Dominguez Mora, R. (2001). Aplicación del método kriging en la construcción de campos de tormenta en la ciudad de México. *Ingeniería Hidráulica En Mexico*, 16(3), 5–14.
- Clarke, K. C. (1995). *Analytical and computer cartography*.
- Crampton, C. B. (1982). Podzolization of soils under individual tree canopies in Southwestern British Columbia, Canada. *Geoderma*, 28(1), 57–61.  
[https://doi.org/10.1016/0016-7061\(82\)90041-6](https://doi.org/10.1016/0016-7061(82)90041-6)
- Damant, C., Austin, G. L., Bellon, A., & Broughton, R. S. (1983). Errors in the Thiessen technique for estimating areal rain amounts using weather radar data. *Journal of Hydrology*, 62(1–4), 81–94. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(83\)90095-1](https://doi.org/10.1016/0022-1694(83)90095-1)
- Davis, J. C., & Sampson, R. J. (1986). Statistics and data analysis in geology. In *Statistics and data analysis in geology* (Vol. 646).
- De Marsily, G., & Ahmed, S. (1987). Application of kriging techniques in groundwater hydrology. *Geological Society of India*, 29(1), 57–82.  
<https://indianjournalofcapitalmarkets.com/index.php/jgsi/article/view/73343>
- Feng, D., Shi, X., & Renaud, F. G. (2023). Risk assessment for hurricane-induced pluvial flooding in urban areas using a GIS-based multi-criteria approach: A case study of Hurricane Harvey in Houston, USA. *Science of the Total Environment*, 904(August), 166891.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166891>
- Flores, W., & Paucar, M. (2020). Análisis y estimación de un modelo probabilística de riesgo por inundación, aplicado a la microcuenca Llavini, Distrito, Provincia y Región de Puno - Perú. In *Universidad Nacional del Altiplano*.



<https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/2975>

Fonseca, K., Ilbay, C., Bustillos, L., Barbosa, S., & Alisson, I. (2018). Comparacion de métodos de interpolacion para la estimacion de temperatura del reservorio

CEASA. *Revista Bases de La Ciencia*, 3, 57–67.

Gajem, Y. M., Warrick, A. W., & Myers, D. E. (1981). Spatial Dependence of Physical Properties of a Typic Torrifluent Soil. *Soil Science Society of America Journal*,

45(4), 709–715. <https://doi.org/10.2136/sssaj1981.03615995004500040007x>

García, L., Barreiro-Gomez, J., Escobar, E., Téllez, D., Quijano, N., & Ocampo-

Martinez, C. (2015). Modeling and real-time control of urban drainage systems:

A review. *Advances in Water Resources*, 85, 120–132.

<https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2015.08.007>

Garcia, R. (2015). Pavimentos Urbanos: Criterios para uso y diseño [Universidad

Politecnica de Madrid]. In *Universidad Politecnica de Madrid*.

<https://oa.upm.es/40988/>

Goovaerts, P. (2000). Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall. *Journal of Hydrology*, 228(1–2), 113–129.

[https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(00\)00144-X](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00144-X)

Gordon, W., & Wixom, J. (1978). Shepard’s method of “metric interpolation” to

bivariate and multivariate interpolation. *Mathematics of Computation*, 32(141), 253–264.

Grain, I. K. (1970). Computer interpolation and contouring of two-dimensional data: A

review. *Geoexploration*, 8(2), 71–86. [https://doi.org/10.1016/0016-](https://doi.org/10.1016/0016-7142(70)90021-9)

[7142\(70\)90021-9](https://doi.org/10.1016/0016-7142(70)90021-9)

Hamilton, D. E., & Henize, S. K. (1992). Computer mapping of pinnacle reefs,

rvaporites, and carbonates: Northern trend. *Michigan Basin*.



<https://archives.datapages.com/data/specpubs/methodo2/data/a096/a096/0001/0000/0047.htm>

- Hawkins, D. M., & Merriam, D. F. (1973). Optimal zonation of digitized sequential data. *Journal of the International Association for Mathematical Geology*, 5(4), 389–395. <https://doi.org/10.1007/BF02111989>
- Hawkins, D. M., & Merriam, D. F. (1974). Zonation of multivariate sequences of digitized geologic data. *Journal of the International Association for Mathematical Geology*, 6(3), 263–269. <https://doi.org/10.1007/BF02082892>
- Herath, H., & Wijesekera, N. (2019). A State-of-the-Art Review of Flood Risk Assessment in Urban Area. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 281(1), 012029. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/281/1/012029>
- Hodgson, M. E. (1989). SEARCHING METHODS FOR RAPID GRID INTERPOLATION\*. *The Professional Geographer*, 41(1), 51–61. <https://doi.org/10.1111/j.0033-0124.1989.00051.x>
- Huanca, P. (2016). Concentración de material particulado menores a 2.5 micrómetros para la gestión de áreas verdes en la ciudad de Juliaca. *Universidad Nacional Del Altiplano*, 168. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4197>
- Huang, H., Lei, X., Liao, W., Liu, D., & Wang, H. (2023). A hydrodynamic-machine learning coupled (HMC) model of real-time urban flood in a seasonal river basin using mechanism-assisted temporal cross-correlation (MTC) for space decoupling. *Journal of Hydrology*, 624, 129826. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129826>
- Hutchinson, M. F. (1989). A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. *Journal of Hydrology*, 106(3–4), 211–232. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(89\)90073-5](https://doi.org/10.1016/0022-1694(89)90073-5)





- Jayasooriya, W., & Gunaratne, M. (2014). Evaluation of widely used hydroplaning risk prediction methods using Florida's past crash data. *Transportation Research Record*, 2457(2457), 140–150. <https://doi.org/10.3141/2457-15>
- Jeznach, L. C., Granato, G. E., Sharar-Salgado, D., Jones, S. C., & Imig, D. (2023). Assessing Potential Effects of Climate Change on Highway-Runoff Flows and Loads in Southern New England by Using Planning-Level Space-for-Time Analyses. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 036119812311551. <https://doi.org/10.1177/03611981231155183>
- Journel, A. G., & Huijbregts, C. J. (1978). Mining Geostatistics. *Gringarten and Deutsch*.
- Kakara, S., & Chowdary, V. (2020). Effect of Pavement Roughness and Transverse Slope on the Magnitude of Wheel Loads. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 45(5), 4405–4418. <https://doi.org/10.1007/s13369-020-04492-9>
- Ketabdari, M., Toraldo, E., & Crispino, M. (2021). ASSESSING THE IMPACT OF THE SLOPES ON RUNWAY DRAINAGE CAPACITY BASED ON WHEEL/PATH SURFACE ADHESION CONDITIONS. *Aviation*, 25(3), 140–148. <https://doi.org/10.3846/aviation.2021.15329>
- Long, Y. Q., Gai, Y. W., Guan, X. K., Hu, X. Y., & Cui, T. T. (2018). Advance of the Method estimating the Benefit of Storm Water Usage in Urban Area. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 186(4), 012065. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/186/4/012065>
- Luo, W., Wang, K. C. P., & Li, L. (2019). Field test validation of water film depth (WFD) prediction models for pavement surface drainage. *International Journal of Pavement Engineering*, 20(10), 1170–1181.



<https://doi.org/10.1080/10298436.2017.1394099>

Machaca, H. (2016). Caracterización Geoambiental Para Una Zonificación Y Ordenamiento Territorial Sostenido En La Ciudad De Puno. In *Tesis*.

Madrid, H. (2019). *Estimación de precipitación superficial utilizando cinco métodos como base para la determinación del balance hídrico en la cuenca media y alta del Mantaro* [Universidad Nacional del Centro].

<https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/4809/Madrid-Laurente.pdf?sequence=1&isAll>

Martinez, A., & Ramírez, J. (2005). Present development of geostatistics in the world Adrián. *Minería y Geología*, 21(4), 22.

Matheron, G. (1970). *Teoría de las Variables Regionalizadas*.

McBratney, A. B., & Webster, R. (1981). Spatial dependence and classification of the soil along a transect in northeast Scotland. *Geoderma*, 26(1–2), 63–82.

[https://doi.org/10.1016/0016-7061\(81\)90076-8](https://doi.org/10.1016/0016-7061(81)90076-8)

McBratney, A. B., Webster, R., McLaren, R. G., & Spiers, R. B. (1982). Regional variation of extractable copper and cobalt in the topsoil of south-east Scotland. *Agronomie*, 2(10), 969–982. <https://doi.org/10.1051/agro:19821010>

Monjo, R. (2016). Measure of rainfall time structure using the dimensionless n-index. *Climate Research*, 67(1), 71–86. <https://doi.org/10.3354/cr01359>

Navarro, Y. (2021). Corredores urbanos ambientales como ejes estructurantes en la ciudad de Puno, Perú - 2019. *Universidad Nacional Del Altiplano*.

<https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/17331>

Oliva, M. (2015). Evaluación de la precisión de cinco interpoladores del surfer11 en la modelación de relieves montañosos. In *Universidad de Holguín Oscar Lucero Moya*.



- <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:EM+Demystified:+An+Expectation-Maximization+Tutorial#0%0Ahttps://www2.ee.washington.edu/techsite/papers/documents/UWEETR-2010-0002.pdf%0Ahttp://dx.doi.org/10.1038/srep22311%0Ahttp://www.life.umd.edu>
- Oliver, M. A., & Webster, R. (1987). The elucidation of soil pattern in the Wyre Forest of the West Midlands, England. II. Spatial distribution. *Journal of Soil Science*, 38(2), 293–307. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1987.tb02146.x>
- Qu, Z., Mei, J., Liu, L., & Zhou, D.-Y. (2020). Crack Detection of Concrete Pavement With Cross-Entropy Loss Function and Improved VGG16 Network Model. *IEEE Access*, 8, 54564–54573. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2981561>
- Rojas, P., & Humberto, V. (2007). Evaluación, Diseño y Modelamiento del sistema de drenaje pluvial de la ciudad de Juliaca con la aplicación del software SWMM. In *Universidad Nacional del Altiplano*.
- Rubinato, M., Shucksmith, J., Saul, A. J., & Shepherd, W. (2013). Comparison between InfoWorks hydraulic results and a physical model of an Urban drainage system. *Water Science and Technology*, 68(2), 372–379. <https://doi.org/10.2166/wst.2013.254>
- Russo, D. (1984). A Geostatistical Approach to Solute Transport in Heterogeneous Fields and Its Applications to Salinity Management. *Water Resources Research*, 20(9), 1260–1270. <https://doi.org/10.1029/WR020i009p01260>
- Sampson, R. J. (1988). SURFACE III user's manual Lawrence: Kansas. *Geological Survey*.
- SENAMHI. (2014). Análisis comparativo de métodos de interpolación espacial para la elaboración de mapas climáticos de precipitación. *Servicio Nacional de*



*Meteorología e Hidrología Del Perú*, 1–57.

- Shepard, D. (1968). A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data. *Proceedings of the 1968 23rd ACM National Conference, ACM 1968*, 517–524. <https://doi.org/10.1145/800186.810616>
- Sheppard, E., & McMaster, R. (2008). Scale and geographic inquiry: Nature, society, and method. In John Wiley & Sons. (Ed.), *Nature, society, and method*.
- Sinclair, A. J., & Vallée, M. (1994). Reviewing continuity; an essential element of quality control for deposit and reserve estimation. *Exploration and Mining Geology*.
- Vauclin, M., Vieira, S. R., Vachaud, G., & Nielsen, D. R. (1983). The Use of Cokriging with Limited Field Soil Observations. *Soil Science Society of America Journal*, 47(2), 175–184. <https://doi.org/10.2136/sssaj1983.03615995004700020001x>
- Wackernagel, H. (2003). Multivariate geostatistics: an introduction with applications. In *Springer Science & Business Media*.
- Wang, X., Zhang, G., Shi, X., & Zhang, C. (2021). Modeling method of irregular cross section annular axis braided preform based on finite element simulation. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 16(399), 155892502110372. <https://doi.org/10.1177/15589250211037243>
- Ware, C., Knight, W., & Wells, D. (1991). Memory intensive statistical algorithms for multibeam bathymetric data. *Computers & Geosciences*, 17(7), 985–993. [https://doi.org/10.1016/0098-3004\(91\)90093-S](https://doi.org/10.1016/0098-3004(91)90093-S)
- Warrick, A. W., Myers, D. E., & Nielsen, D. R. (2018). *Geostatistical Methods Applied to Soil Science* (pp. 53–82). <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2ed.c3>
- Watson, D. E. (1992). *Contouring: a guide to the analysis and display of spatial data* Pergamon.



- Xie, Q., & Kwon, T. J. (2022). Development of a Highly Transferable Urban Winter Road Surface Classification Model: A Deep Learning Approach. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2676(10), 445–459. <https://doi.org/10.1177/03611981221090235>
- Zelikov, V., Denisov, G., Zlobina, N., Zelikova, N., Kliavin, V., & Strukov, Y. (2021). On Organization of Reverse Traffic on Main Streets of the Cities. *2021 3rd International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA)*, 973–977. <https://doi.org/10.1109/SUMMA53307.2021.9632153>
- Zeng, Z., Yuan, X., Liang, J., & Li, Y. (2021). Designing and implementing an SWMM-based web service framework to provide decision support for real-time urban stormwater management. *Environmental Modelling & Software*, 135, 104887. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2020.104887>
- Zoraster, S. (1987). Honoring discontinuities and other surface features during grid processing on vector computers. *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*, 24(4), 37–48. <https://doi.org/10.3138/Q328-65Q0-0423-G4J8>
- Zoraster, S. (1992). *Fault Representation in Automated Modeling of Geologic Structures and Geologic Units*.

## ANEXOS

### ANEXO 1 Evaluación estadística de las variables

#### A.1. Determinación de la Normalidad de la ecuación de la demanda

**Tabla A 1.** Prueba de normalidad

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Método 1	,171	459	,000	,793	459	,000
Método 2	,169	459	,000	,795	459	,000

Como se tiene 459 datos (mayor a cincuenta), se utilizará la prueba de Kolmogorov Smirnov, la misma que menor que 0.05, por lo que tiene que se no es normal ambas variables, por lo que son no paramétricos

#### A.2. Determinación de la correlación de las variables

**Tabla A 2.** Correlación no paramétrica

Correlaciones			Método 1	Método 2
Rho de Spearman		Coefficiente de correlación	1,000	,985**
	Método 1	Sig. (bilateral)	.	,000
		N	459	459
	Método 2	Coefficiente de correlación	,985**	1,000
		Sig. (bilateral)	,000	.
		N	459	459

\*\* . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).



### A.3. Determinación de los datos a evaluar

**Tabla A 3.** Datos evaluados de HEC -MINERVA

<b>Puntos</b>	<b>HEC (mm)</b>	<b>MINERVA (mm)</b>
0	3.95	4.35
1	32.96	33.33
2	44.54	45.03
3	56.77	57.40
4	59.99	59.39
5	64.37	63.72
6	28.17	29.61
7	35.19	34.84
8	35.19	34.84
9	40.77	40.36
10	23.42	23.19
11	15.60	15.45
12	3.95	3.91
13	20.52	20.32
14	28.52	28.24
15	32.67	33.03
16	37.50	37.92
17	37.99	38.41
18	42.50	42.97
19	50.04	50.59
20	11.20	11.32
21	18.27	18.47
22	25.13	25.41
23	32.38	32.73
24	35.72	36.12
25	38.23	78.27
26	40.33	119.04
27	42.50	121.24
28	44.14	122.89
29	45.51	124.53
30	47.02	126.06
31	48.29	127.34
32	52.03	131.13
33	52.99	132.10
34	56.34	135.49
35	23.42	23.73
36	25.54	25.87
37	3.95	4.00
38	14.04	16.86
39	22.51	22.80
40	28.17	28.54



**Tabla A 4.** Datos evaluados de HEC -MINERVA

<b>Puntos</b>	<b>WTF (mm)</b>	<b>HEC (mm)</b>
41	31.78	32.13
42	37.26	37.67
43	39.18	39.61
44	17.65	153.07
45	22.03	157.50
46	31.16	166.73
47	34.38	169.98
48	39.41	175.07
49	34.92	39.30
50	30.20	34.53
51	25.54	29.81
52	15.60	19.77
53	14.04	18.19
54	25.13	25.41
55	28.52	29.98
56	32.38	32.73
57	35.19	35.58
58	38.95	39.38
59	41.43	45.62
60	44.14	48.60
61	47.75	52.58
62	49.52	54.53
63	50.88	56.02
64	41.21	107.74
65	35.46	101.40
66	34.38	100.21
67	30.84	96.32
68	26.71	84.25
69	19.99	77.46
70	14.04	71.45
71	56.63	57.25
72	56.48	57.11
73	55.60	56.21
74	54.09	54.68
75	53.31	53.89
76	51.71	52.27
77	16.32	93.96
78	22.97	100.69
79	27.45	111.86
80	17.00	71.45





**Tabla A 5.** Datos evaluados de HEC -MINERVA

<b>Puntos</b>	<b>HEC (mm)</b>	<b>MINERVA (mm)</b>
81	22.03	76.54
82	30.53	85.12
83	45.90	103.66
84	29.55	107.33
85	7.06	140.92
86	15.60	116.46
87	19.99	120.78
88	28.52	129.40
89	13.17	70.50
90	21.54	78.96
91	26.71	84.17
92	32.38	89.90
93	35.72	93.28
94	37.99	95.57
95	38.47	96.06
96	38.95	96.53
97	40.99	98.60
98	43.53	101.17
99	17.65	226.71
100	14.85	127.35
101	21.54	120.58
102	23.42	23.66
103	18.86	19.05
104	20.52	39.78
105	23.42	42.71
106	29.21	86.55
107	31.47	88.83
108	37.75	95.18
109	13.17	148.06
110	2.29	2.31
111	29.21	29.50
112	5.84	262.11
113	25.54	42.45
114	28.87	45.81
115	31.16	48.13
116	34.92	314.04
117	22.03	22.25
118	16.32	16.48
119	25.93	174.25
120	17.65	192.07



**Tabla A 6.** evaluados de HEC -MINERVA

<b>Puntos</b>	<b>HEC (mm)</b>	<b>MINERVA (mm)</b>
121	25.54	200.04
122	30.20	243.51
123	34.10	208.69
124	35.98	210.59
125	38.23	212.87
126	40.55	215.20
127	42.29	216.96
128	43.53	218.22
129	46.46	535.22
130	17.00	552.39
131	19.99	555.41
132	31.47	567.01
133	27.81	290.21
134	34.10	296.56
135	36.50	572.09
136	44.74	580.41
137	25.13	620.79
138	24.30	311.87
139	25.13	321.94
140	17.65	90.78
141	17.00	145.97
142	26.32	172.55
143	20.52	253.52
144	24.72	176.72
145	24.30	201.26
146	18.27	99.77
147	14.04	81.32
148	15.60	72.96
149	22.97	57.20
150	14.04	286.30
151	15.60	272.12
152	29.55	256.36
153	21.54	226.52
154	11.20	221.90
155	14.85	227.86
156	15.60	205.79
157	16.32	231.69
158	16.32	234.70
159	18.86	253.75
160	19.99	254.89



**Tabla A 7.** evaluados de HEC -MINERVA

<b>Puntos</b>	<b>HEC (mm)</b>	<b>MINERVA(mm)</b>
161	19.99	254.89
162	18.27	218.49
163	28.52	292.50
164	21.54	25.01
165	21.54	46.77
166	17.65	357.09
167	3.22	3.25
168	5.84	5.90
169	27.81	34.00
170	6.07	8.20
171	17.00	23.30
172	19.99	43.49
173	23.42	67.14
174	14.04	26.21
175	17.65	44.03
176	28.17	72.49
177	17.00	207.77
178	12.23	247.09
179	4.43	4.47
180	14.85	150.88
181	14.85	307.70
182	16.32	287.68
183	23.87	271.20
184	14.04	81.15
185	16.32	97.64
186	16.32	114.12
187	14.85	87.93
188	21.54	72.94
189	24.72	51.18
190	16.32	292.71
191	21.54	135.88
192	23.87	129.18
193	10.03	114.15
194	14.04	85.56
195	18.86	105.07
196	18.86	86.02
197	18.86	66.97
198	3.09	3.12
199	2.79	2.81
200	20.52	44.80



**Tabla A 8.** Datos evaluados de HEC -MINERVA

<b>Puntos</b>	<b>HEC (mm)</b>	<b>MINERVA (mm)</b>
201	26.32	71.38
202	18.27	104.01
203	3.01	3.04
204	9.39	9.49
205	3.22	3.25
206	21.04	92.63
207	19.44	127.95
208	28.87	160.22
209	15.60	108.40
210	11.20	115.32
211	19.99	192.77
212	12.23	172.58
213	18.27	178.67
214	19.44	198.30
215	12.23	213.91
216	3.22	3.25
217	3.22	3.25
218	3.22	3.25
219	18.86	22.30
220	16.32	37.56
221	15.60	58.48
222	17.65	21.07
223	17.00	20.42
224	3.22	3.25
225	3.22	3.25
226	15.60	22.57
227	17.00	42.99
228	28.87	109.03
229	22.03	131.28
230	13.17	173.63
231	19.99	160.35
232	17.65	126.85
233	14.85	19.25
234	17.00	36.42
235	23.87	346.59
236	18.86	79.87
237	4.21	4.25
238	18.86	79.87
239	17.65	60.82
240	15.60	87.49



**Tabla A 9.** Datos evaluados de HEC -MINERVA

<b>Puntos</b>	<b>HEC (mm)</b>	<b>MINERVA (mm)</b>
241	15.60	85.80
242	14.85	71.73
243	18.27	56.74
244	26.32	30.15
245	3.53	3.56
246	4.12	4.16
247	4.86	9.06
248	14.85	71.73
249	18.27	46.97
250	7.06	28.52
251	17.65	21.39
252	16.32	21.39
253	4.86	4.90
254	4.86	6.07
255	4.86	4.90
256	4.86	4.90
257	4.86	4.90
258	4.86	4.90
259	4.86	4.90
260	4.86	4.90
261	4.86	4.90
262	4.86	4.90
263	4.86	4.90
264	13.17	49.86
265	14.04	35.57
266	13.17	70.04
267	21.04	136.48
268	14.85	151.47
269	22.03	173.73
270	19.44	135.19
271	15.60	97.51
272	17.00	168.64
273	22.97	159.68
274	10.03	169.81
275	21.04	191.07
276	41.65	81.75
277	14.04	95.93
278	19.44	115.56
279	17.65	75.02
280	22.03	247.46



**Tabla A 10.** Datos evaluados de HEC -MINERVA

<b>Puntos</b>	<b>HEC (mm)</b>	<b>MINERVA (mm)</b>
281	15.60	168.12
282	17.00	152.36
283	25.13	177.77
284	16.32	152.39
285	18.27	135.91
286	12.23	117.45
287	20.52	105.10
288	16.32	84.37
289	14.85	67.89
290	15.60	52.89
291	14.04	37.13
292	21.04	22.95
293	1.68	1.50
294	14.85	171.29
295	16.32	123.94
296	13.17	107.46
297	14.04	94.15
298	13.17	79.97
299	35.46	66.67
300	23.87	30.85
301	6.68	6.75
302	22.97	23.20
303	13.17	13.30
304	18.86	156.30
305	13.17	13.30
306	14.85	186.29
307	4.57	4.62
308	35.98	40.96
309	3.95	3.99
310	25.13	83.34
311	38.47	79.82
312	25.13	105.21
313	17.65	123.03
314	21.04	28.00
315	6.68	6.75
316	6.88	6.94
317	23.87	31.05
318	17.00	48.22
319	20.52	68.95
320	7.92	8.00



**Tabla A 11.** Datos evaluados de HEC -MINERVA

Puntos	MINERVA	
	HEC (mm)	(mm)
321	21.04	49.25
322	14.04	154.38
323	19.44	174.01
324	22.97	161.34
325	25.54	54.80
326	24.30	29.01
327	4.43	4.47
328	27.45	239.63
329	22.51	223.72
330	26.71	200.98
331	21.54	211.91
332	28.52	190.15
333	15.60	138.14
334	27.08	149.73
335	17.00	140.20
336	17.00	122.38
337	17.65	87.36
338	18.86	68.31
339	20.52	194.74
340	23.87	111.46
341	12.23	123.82
342	22.51	146.55
343	32.67	157.54
344	25.93	262.67
345	28.17	244.25
346	19.44	48.89
347	21.04	29.26
348	30.20	97.19
349	18.86	116.24
350	18.86	135.29
351	17.00	152.46
352	25.93	178.66
353	22.97	201.86
354	23.87	225.96
355	17.00	243.13
356	18.86	53.70
357	22.03	75.95
358	33.54	37.87
359	19.99	58.06
360	16.32	74.54



**Tabla A 12.** Datos evaluados de HEC -MINERVA

<b>Puntos</b>	<b>HEC (mm)</b>	<b>MINERVA (mm)</b>
361	12.23	86.89
362	8.69	95.67
363	8.69	95.67
364	11.20	106.98
365	8.69	95.67
366	21.54	117.43
367	18.86	154.31
368	22.03	129.24
369	19.99	197.96
370	16.32	214.45
371	14.04	360.77
372	19.44	380.40
373	14.04	50.60
374	16.32	67.08
375	17.00	84.25
376	26.71	144.41
377	19.99	137.62
378	30.53	273.96
379	29.55	303.81
380	26.32	279.35
381	23.87	252.76
382	18.27	271.21
383	25.93	297.41
384	28.17	325.86
385	22.97	183.55
386	17.00	200.72
387	12.23	596.94
388	15.60	383.87
389	14.85	175.34
390	21.54	618.70
391	12.23	631.05
392	18.86	650.11
393	16.32	666.59
394	16.32	458.25
395	16.32	474.74
396	18.27	493.19
397	19.99	617.13
398	22.03	441.77
399	19.44	419.52
400	17.65	401.69





**Tabla A 13.** Datos evaluados de HEC -MINERVA

<b>Puntos</b>	<b>HEC (mm)</b>	<b>MINERVA (mm)</b>
401	22.97	442.72
402	25.54	467.56
403	25.13	500.12
404	23.42	481.91
405	21.54	503.67
406	18.86	493.79
407	17.65	865.61
408	16.32	882.10
409	21.54	354.00
410	24.30	332.24
411	18.86	306.73
412	17.65	324.56
413	15.60	340.32
414	19.44	359.95
415	14.04	374.13
416	22.03	396.38
417	15.60	151.76
418	17.00	136.00
419	18.86	118.83
420	17.65	108.61
421	19.99	128.80
422	17.00	189.72
423	26.32	216.31
424	16.32	232.79
425	41.43	577.07
426	34.10	569.67
427	27.08	562.57
428	14.85	595.40
429	21.54	170.18
430	21.04	148.42
431	17.00	127.17
432	12.23	77.72
433	18.27	65.36
434	18.27	46.91
435	18.27	28.46
436	9.91	10.01
437	24.72	32.28
438	7.24	8.34
439	20.52	28.04
440	26.71	55.02



**Tabla A 14.** Datos evaluados de HEC -MINERVA

<b>Puntos</b>	<b>HEC (mm)</b>	<b>MINERVA (mm)</b>
441	27.08	82.45
442	23.87	106.58
443	19.99	136.71
444	32.96	71.97
445	25.13	36.03
446	7.92	8.64
447	23.42	237.88
448	24.30	212.35
449	25.13	185.86
450	27.81	158.47
451	25.93	128.15
452	21.04	99.88
453	20.52	76.94
454	23.87	54.57
455	17.65	28.55
456	8.55	9.31
457	18.86	232.91
458	29.14	36.07



### DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo FRANCISCO LBAO VERA PINEDA,  
identificado con DNI 01297849 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGROMENSURA

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

" RELACION DEL METODO DE KRISHING Y SHEPARD  
PARA DETERMINAR EL ESPESOR DE PELICULA DE AGUA  
EN VIAS URBANAS DE PUNO "

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 27 de NOVIEMBRE del 2023

  
FIRMA (obligatoria)



Huella



## AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo FRANCISCO UGALDO VERA PINEDA,  
identificado con DNI 01297849 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIENSURD  
informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

“REGULACION DEL METODO DE KRIGING Y SHEPARD PARA  
DETERMINAR EL ESPESOR DE PELICULA DE AGUA  
EN LAS VIAS URBANAS DE PUNO”

para la obtención de  Grado,  Título Profesional o  Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 27 de NOVIEMBRE del 20 23

  
FIRMA (obligatoria)



Huella