

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSGRADO



**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE
CIENCIAS AGRARIAS**

PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS

TESIS:

**MODELACIÓN GEOESTADÍSTICA DE SUSCEPTIBILIDAD A
DESLIZAMIENTOS EN EL DISTRITO DE CAJAMARCA.**

Para optar el Grado Académico de

DOCTOR EN CIENCIAS

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES

Presentada por:

Mg. WILDER CHUQUIRUNA CHÁVEZ

Asesor:

Dr. REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO

Cajamarca, Perú

2023

COPYRIGHT © 2023 by
WILDER CHUQUIRUNA CHÁVEZ
Todos los derechos reservados

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSGRADO



UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS

TESIS APROBADA:

MODELACIÓN GEOESTADÍSTICA DE SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS EN EL DISTRITO DE CAJAMARCA.

Para optar el Grado Académico de

DOCTOR EN CIENCIAS

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES

Presentada por:

Mg. WILDER CHUQUIRUNA CHÁVEZ

JURADO EVALUADOR

Dr. Reinaldo Rodríguez Cruzado
Asesor

Dr. Marcial Hidelso Mendo Velásquez
Jurado Evaluador

Dr. Alejandro Claudio Lagos Manrique
Jurado Evaluador

Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia
Jurado Evaluador

Cajamarca, Perú

2023



Universidad Nacional de Cajamarca
LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 080-2018-SUNEDU/CD

Escuela de Posgrado
CAJAMARCA - PERU



PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES

Siendo las 10 horas, del día 16 de enero del año dos mil veintitrés, reunidos en el Auditorio de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Jurado Evaluador presidido por el **Dr. MARCIAL HIDELSO MENDO VELÁSQUEZ**, **Dr. ALEJANDRO CLAUDIO LAGOS MANRIQUE**, **Dr. EDIN EDGARDO ALVA PLASENCIA**, y en calidad de Asesor el **Dr. REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO**, Actuando de conformidad con el Reglamento Interno de la Escuela de Posgrado y el Reglamento del Programa de Doctorado de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, se inició la SUSTENTACIÓN de la tesis titulada: **MODELACIÓN GEOESTADÍSTICA DE SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS EN EL DISTRITO DE CAJAMARCA**; presentada por el Magister en Geología con Mención en Recursos Mineros **WILDER CHUQUIRUNA CHÁVEZ**.

Realizada la exposición de la Tesis y absueltas las preguntas formuladas por el Jurado Evaluador, y luego de la deliberación, se acordó aprobos por una mención con la calificación de 81.25/100 la mencionada Tesis; en tal virtud, Magister en Geología con Mención en Recursos Mineros **WILDER CHUQUIRUNA CHÁVEZ**, está apto para recibir en ceremonia especial el Diploma que lo acredita como **DOCTOR EN CIENCIAS**, de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias, Mención **GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES**.

Siendo las 11:20 horas del mismo día, se dio por concluido el acto.

.....
Dr. Reinaldo Rodríguez Cruzado
Asesor

.....
Dr. Marcial Hidelso Mendo Velásquez
Presidente - Jurado Evaluador

.....
Dr. Alejandro Claudio Lagos Manrique
Jurado Evaluador

.....
Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia
Jurado Evaluador

Dedicatoria

*A mis Padres Rosalía y Emilio, mis Hermanos
Gilmer y Marvick, mis Tíos Georgina y Jorge y
Familiares que siempre me están ayudando
y guiando mi camino; A Aine que le sirva
de aliciente en su vida.*

Wilder Chuquiruna Chávez

Agradecimiento

*A la Universidad Nacional de Cajamarca
y Escuela de postgrado, por haberme
Permitido seguir avanzando en mi
desarrollo profesional.*

*Al Dr. Reinaldo Rodríguez Cruzado por
sus concejos y sugerencias acertadas en
mi desarrollo profesional y personal.*

*A todos mis profesores, alumnas(os) y
amigas (os) que aportaron
para la realización de la
presente Tesis.*

Wilder Chuquiruna Chávez

Lista de Abreviaciones

SIG: Sistema de información Geográfica

INGEMMET: El Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico

ZEE: zonificación ecológica económica

RNA: Redes Neuronales Artificiales

FTMF: Función de transferencia matriz y fisura

VR: variable regionalizada

COD. DIST.: Código de distancia

ST: Estandarización

VK: Varianza Kriging

SPH: Modelo Esférico

GAUS: Modelo Gaussiano

EXP: Modelo Exponencial

Índice

Resumen.....	XIV
Abstract.....	XV
Capítulo I Introducción.....	1
1.1. Objetivos.....	3
1.1.1. Objetivos Generales.....	3
1.1.2. Objetivos Específicos.....	3
Capítulo II Marco Teórico.....	4
2.1. Antecedentes De La Investigación.....	4
2.2. Bases Teóricas.....	7
2.2.1. Movimientos De Masa.....	7
2.2.2. Susceptibilidad De Deslizamientos.....	9
2.2.3. Factores Causales De La Susceptibilidad Al Deslizamiento.....	10
2.2.4. Técnicas De Susceptibilidad De Deslizamientos.....	14
2.2.5. Geomática.....	17
2.2.6. Estadísticos De Centralidad Y Variación.....	18
2.2.7. Estandarización De Datos.....	20
2.2.8. Correlación De Variables.....	20
2.2.9. Geoestadística.....	23
2.2.10. Glosario De Términos.....	31
Capítulo Iii Materiales Y Métodos.....	34
3.1. Ubicación De La Investigación.....	34
3.1.1. Ubicación Geografía.....	34
3.1.2. Características Climáticas.....	35
3.1.3. Acceso.....	36
3.2. Materiales.....	36
3.2.1. Campo.....	36
3.2.2. Gabinete.....	37
3.3. Metodología De Investigación.....	37
3.3.1. Fase Recolección De Información.....	37
3.3.2. Fase De Procesamiento Del Análisis Geoestadístico.....	38
3.3.3. Análisis De Susceptibilidad De Deslizamientos.....	39

3.3.4. Método Geoestadístico De Kriging.....	40
Capítulo Iv Resultados Y Discusión.....	42
4.1. Identificación Y Mapeo De Deslizamientos En El Área De Estudio	42
4.2. Identificación De Los Factores Condicionantes Relacionados A La Ocurrencia A Deslizamientos.....	44
4.2.1. Variables Categóricas.....	45
4.2.2. Variables Numéricas	49
4.3. Análisis Multivariable De Los Factores Condicionantes En La Ocurrencia De Deslizamientos.....	51
4.3.1. Variables Codificadas.	51
4.3.2. Estandarización De Variables.....	53
4.3.3. Correlación De Variables.	54
4.3.4. Cálculo De Los Pesos De Cada Variable.	55
4.4. Análisis Variografico De Susceptibilidad A Deslizamientos.....	58
4.4.1. Cálculo De Los Parámetros De La Variable Regionalizada.	59
4.4.2. Parámetros Del Variograma Experimental.....	63
4.4.3. Cálculo De Los Variogramas.....	64
4.4.4. Cálculo De Los Variogramas Experimentales Y Modelo De Variograma Teórico.	70
4.5. Modelación Geoestadístico A Susceptibilidad A Deslizamientos.....	80
4.6. Discusión De Resultados.....	81
Capitulo V Conclusiones	84
Capítulo Vi Recomendaciones.....	85
Capitulo Vii Referencias Bibliográficas	86
Capitulo Viii Anexos	93
Apéndice	106

Índice de Tablas

Tabla 1 Factores condicionantes a susceptibilidad a deslizamientos	10
Tabla 2 Factores geológico-estructurales y del suelo utilizados en estudios de susceptibilidad al deslizamiento de laderas.....	11
Tabla 3 Factores geomorfológicos utilizados en estudios de susceptibilidad al deslizamiento de laderas	12
Tabla 4 Factores de vegetación, uso del suelo y actividad antrópica utilizados en estudios de susceptibilidad al deslizamiento de laderas.	13
Tabla 5 Clasificación del factor pendiente según los rangos obtenidos	14
Tabla 6 Métodos de evaluación de susceptibilidad a deslizamientos	15
Tabla 7 Técnicas para la predicción de deslizamientos.....	17
Tabla 8 Coordenadas de la zona de estudio.....	34
Tabla 9 Código peligro geológico.....	46
Tabla 10 Formación geológica y valor ráster	46
Tabla 11 Pendientes por unidades morfogénicas	50
Tabla 12 Distancia de deslizamientos a carretera	51
Tabla 13 Distancia de deslizamientos a fallas geológicas	51
Tabla 14 Datos de tipos de peligros	52
Tabla 15 Estadísticos de centralidad y variabilidad	53
Tabla 16 <i>Estandarización de variables</i>	54
Tabla 17 Coeficiente correlación de variables	55
Tabla 18 Covarianza de variables	55
Tabla 19 Conformación de matriz.....	56
Tabla 20 Cálculo del inverso de la matriz A^{-1}	56
Tabla 21 Pesos de matriz $A^{-1}*B$	56

Tabla 22 Valores estimados.....	57
Tabla 23 Matriz de factores con valores normalizados	59
Tabla 24 Diferencia de pares al cuadrado.....	60
Tabla 25 Distancia entre puntos.....	60
Tabla 26 Azimut.....	61
Tabla 27 Distancia en el este	61
Tabla 28 Distancia al norte	62
Tabla 29 Ángulos entre 0 y 180	62
Tabla 30 Ángulos entro 180 y 360	63
Tabla 31 Elementos del variograma	63
Tabla 32 <i>Variograma en 0°</i>	64
Tabla 33 Variograma 90°.....	65
Tabla 34 Variograma 45°.....	66
Tabla 35 Variograma 135°	67
Tabla 36 Variograma 70°.....	68
Tabla 37 Variograma experimental vs modelo teórico en 0°	70
Tabla 38 Variograma experimental vs modelo teórico en 90°	72
Tabla 39 Variograma experimental vs modelo teórico en 45°	74
Tabla 40 Variograma experimental vs modelo teórico en 135°	76
Tabla 41 Variograma experimental vs modelo teórico en 70°	78

Índice de Figuras

Figura 1 Semivariograma	25
Figura 2 Tipos de anisotropía	25
Figura 3 Búsqueda del variograma.....	26
Figura 4 Tipos de variogramas teóricos	28
Tabla 8 Coordenadas de la zona de estudio	34
Figura 5 Ubicación de la zona de investigación	35
Figura 6 Temperatura máxima y mínima promedio.....	36
Figura 8 Inventariado de peligros geológicos.....	43
Figura 9 Geología de la zona de estudio.....	47
Figura 10 Geología en ráster.....	48
Figura 11 Modelo digital de elevaciones.....	49
Figura 12 Plano de pendientes	50
Figura 13 Variograma experimental a 0°	65
Figura 14 Variograma experimental a 90°.....	66
Figura 15 Variograma experimental a 45°.....	67
Figura 16 Variograma experimental a 135°.....	68
Figura 17 Variograma experimental a 70°.....	69
Figura 18 Variograma experimental y modelo esférico a 0°	70
Figura 19 Variograma experimental y modelo gaussiano a 0°	71
Figura 20 Variograma experimental y modelo exponencial a 0°.....	71
Figura 21 Variograma experimental y modelo esférico a 90°	72
Figura 22 Variograma experimental y modelo gaussiano a 90°	73
Figura 23 Variograma experimental y modelo exponencial a 90°	73
Figura 24 Variograma experimental y modelo esférico a 45°	74

Figura 25 Variograma experimental y modelo gaussiano a 45°	75
Figura 26 Variograma experimental y modelo exponencial a 45°	75
Figura 27 Variograma experimental y modelo esférico a 135°	76
Figura 28 Variograma experimental y modelo gaussiano a 135°	77
Figura 29 Variograma experimental y modelo exponencial a 135°	77
Figura 30 Variograma experimental y modelo esférico a 70°	78
Figura 31 Variograma experimental y modelo gaussiano a 70°	79
Figura 32 Variograma experimental y modelo exponencial a 70°	79
Figura 33 Zonas de susceptibilidad	81

Resumen

La modelación geoestadística de susceptibilidad a deslizamientos, tuvo como objetivo analizar el inicio deslizamientos y zonas que pueden ser afectados por la propagación de deslizamientos, la susceptibilidad a deslizamientos depende de los factores intrínsecos, los cuales se modeló utilizando el inventario histórico de los deslizamientos de los andes peruanos, específicamente en la zona sur en el distrito de Cajamarca. La metodología estocástica con la cual se obtiene una zonificación a susceptibilidad del terreno a la generación de deslizamientos por combinación de las variables pendiente, geología, fallas geológicas y cortes de carretera factores considerados para esta investigación. Los resultados se calcularon utilizando el software Excel y ArcGIS 10.5 obteniendo como resultado el cálculo de los pesos de cada factor, ello se realizó utilizando la técnica geoestadística de Kriging , del cual se obtuvo pesos de 0.05, 0.08, 0.24 y 0.13 respecto a la distancia a la carretera, distancia a falla geológica, pendiente y geología respectivamente; con estos resultados se procedió a calcular los valores estimados a susceptibilidad de deslizamiento, luego se procedió a desarrollar y calcular los variogramas en direcciones de 0°, 45°, 90°, 135° y 70° con cada modelo variografico teórico como el efecto pepita, esférico, exponencial y gaussiano para determinar la anisotropía. Concluyendo en la elaboración del mapa de susceptibilidad utilizando el kriging ordinario, para el cual se determinó que los factores intrínsecos más incidentes a la susceptibilidad a deslizamientos son la pendiente y la geología, además la zona de investigación tiene un comportamiento estructural en la dirección de 70° y se ajusta al modelo variografico esférico.

Palabras claves: *susceptibilidad, deslizamientos, geoestadística, variogramas y kriging*

Abstract

The geostatistical modeling of susceptibility to landslides, it focused analyze where the landslides start as well as those areas that can be affected by the propagation of landslides, the susceptibility depends on the intrinsic factors, which were modeled using the historical inventory of landslides. the Peruvian Andes, specifically in the southern zone in the district of Cajamarca. The stochastic methodology zoning of the degree of susceptibility of the land to the generation of landslides is obtained due to the combination of slope, geology, geological faults and road cuts, factors considered for this investigation. The results were calculated using the Excel and ArcGIS 10.5 software, obtaining results the calculation of the weights of each factor, this was done using the Kriging geostatistical technique, from which weights of 0.05, 0.08, 0.24 and 0.13 were obtained with respect to the distance to the road, distance to geological fault, slope and geology respectively; With these results, the estimated values of slip susceptibility were calculated, then the variograms were developed and calculated in directions of 0° , 45° , 90° , 135° and 70° with each theoretical variographic model such as the nugget effect. , spherical, exponential and Gaussian to determine the anisotropy. Concluding in the elaboration of the susceptibility map using the ordinary kriging, for which it was determined that the most incident intrinsic factors to the susceptibility to landslides are the slope and the geology, also the investigation zone has a structural behavior in the direction of 70° and fits the spherical variographic model.

Keywords: *susceptibility, landslides, geostatistics, variograms and kriging*

Capítulo I

Introducción

Los deslizamientos de tierra naturales son un grave peligro para los seres humanos, a nivel mundial desde 1999 hasta 2017 hubo 61,642 muertos por deslizamientos de tierra. En el estado peruano, INDECI indica que entre los años 2003 y 2017 se identificó a nivel nacional 3534 eventos entre deslizamientos y derrumbes. A nivel local, definido como distrito de Cajamarca, el Instituto Geológico Minero Metalúrgico (INGEMMET) identificó 171 zonas críticas por causa de peligros geológicos, los cuales están relacionados con la susceptibilidad a deslizamientos y estos son afectados por factores intrínsecos como: geomorfológicos, estructuras geológicas, geomecánicos, topográficos y factores extrínsecos determinados como: precipitación y sismología (Olaechea, 2019).

Los eventos de susceptibilidad a deslizamientos se correlacionan entre variables intrínsecas y extrínsecas; la predicción de ellos es importante para hacer el análisis de zonas críticas, utilizando la modelación geoestadística, sensoramiento remoto y sistema de información geográfica, logrando la modelación geoestadística aplicado a la susceptibilidad de deslizamientos.

La importancia de realizar un trabajo de investigación en susceptibilidad de deslizamientos aplicando geoestadística es para identificar las zonas críticas propensas a deslizamientos y sus niveles de probabilidad de ocurrencia, logrando zonificar las unidades de terreno que muestran actividad de deslizamientos y elaborar planos de zonificación a susceptibilidad de deslizamientos.

Por ello nos preguntamos, ¿Cómo la modelación geoestadística de susceptibilidad a deslizamientos contribuirá con la zonificación de áreas que muestran actividad de deslizamientos en el distrito de Cajamarca?

En el Perú, no encontramos estudios enfocados al tema de susceptibilidad a deslizamientos aplicando la modelación geoestadística, por consiguiente, es importante realizar análisis geoestadísticos que proporcionen el conocimiento en el análisis de las condiciones de zonificación de susceptibilidad a deslizamientos. Para ello debemos integrar imágenes de sensoramiento remoto, SIG y Geoestadística; de esta manera se reducirá el error de predicción.

El Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET) identificó 171 zonas críticas por peligros geológicos y precisó que al menos 73 familias fueron afectadas por deslizamientos en las provincias de Cajamarca, siendo las causas son diversos factores estructurales, geomorfológicos y climatológicos resultando como consecuencias los deslizamientos e inundaciones.

El presente trabajo de investigación se identificó zonas propensas a deslizamientos, sus niveles de probabilidad de ocurrencia y tendrá una base para realizar la Zonificación Ecológica Económica (ZEE).

En la investigación se hizo la modelación Geoestadística para la zonificación de susceptibilidad de deslizamientos, ya que la geoestadística es una técnica insesgada y con menor error en la predicción respecto a los métodos determinísticos, probabilísticos y geomorfológicos. La metodología aplicada para esta investigación es la metodología estocástica, esta interpola los parámetros que influyen en la susceptibilidad a deslizamientos para construir planos de elevación, pendiente, curvatura y orientación del terreno, proximidad a carreteras y ríos, a partir de estos generar planos de zonificación de susceptibilidad.

La investigación se desarrolló en el distrito de Cajamarca, entre los años 2019 al 2022. La zonificación espacial de susceptibilidad a deslizamientos, se utilizó la técnica de geoestadística considerando las variables de las unidades morfogenéticas,

geológicas y geodinámicas. En esta investigación se plantea usar el método estocástico en el cual se incluye a la geoestadística por ser un método que se ubica en el tiempo y espacio, ya que con este método se estimó la susceptibilidad a deslizamientos con parámetros correlacionados en el espacio a partir de la información de eventos ocurridos y/o parámetros condicionantes a susceptibilidad a deslizamientos.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivos Generales.

- Proponer la modelación geoestadística de susceptibilidad a deslizamientos para identificar zonas propensas a deslizamientos en la zona sur del distrito de Cajamarca.

1.1.2. Objetivos Específicos.

- Identificar factores condicionantes relacionados a la ocurrencia de deslizamientos.
- Análisis multivariable de factores condicionantes a la ocurrencia de deslizamientos.
- Análisis variográfico de susceptibilidad a deslizamientos.
- Modelar la susceptibilidad a deslizamientos aplicando geoestadística

Capítulo II

Marco Teórico

2.1. Antecedentes de la Investigación

Ríos, et al, (2016) En su estudio de combinación de redes neuronales y geoestadística para análisis de deslizamientos de tierra en el área de metropolitana San Salvador, El Salvador. Describe la creación de un modelo de evaluación de deslizamiento de tierra. El análisis lo inició con la obtención de una foto aérea en donde identifico 4792 deslizamientos junto con 7 factores condicionantes incluyendo: geomorfología, geología, precipitaciones máximas, aceleraciones sísmicas, pendiente del terreno, distancia a carretera y falla geológica. Las Redes Neuronales Artificiales (RNA) fueron utilizadas para la evaluación de la susceptibilidad a deslizamiento de tierra, logrando que más del 80% de deslizamientos fueran apropiadamente. Además, realizó un análisis de interpolación de puntos usando el método kriging proveniente del enfoque geoestadístico. Finalmente, como resultado obtuvo un mapa de riesgo a deslizamiento de tierra, haciendo uso y combinación de RNA y técnicas geoestadísticas puede ayudar a la mitigación de deslizamientos de tierra.

Romanazzi, (2017) En su tesis doctoral, Modelación geoestadística de medios geológicos naturalmente fracturados en el Cerro Solo, provincia de Chubut, Argentina. Estudió la modelación del flujo en medios geológicos naturalmente fracturados y define que estos dependen de la composición estructural de la relación matriz y fractura y del intercambio de fluido entre ambas fases. La metodología que uso son las herramientas geoestadísticas para estimar los parámetros de forma de la función de transferencia matriz y fisura (FTMF). En sus conclusiones destaca la importancia de la consideración de la doble porosidad en las ecuaciones de flujo, su aplicación concreta en la práctica de interpretación de los ensayos de bombeo con la metodología la

aplicación de la geoestadística para la vinculación del transporte de solutos en este tipo de acuíferos complejos.

Ramos,(2018) En su tesis doctoral Estudio de la susceptibilidad al deslizamiento de laderas en el Estado de Guerrero, México, aplicando Tecnologías de Información Geográfica, tuvo como objetivo diseñar, implementar y evaluar metodologías que permitan generar cartografía automática de deslizamientos de laderas ocurridos en el pasado, así como generar cartografía sobre la probabilidad de sufrir deslizamientos de laderas a futuro, la metodología aplicada es identificando las zonas que tienen el potencial de sufrir deslizamientos, a través del desarrollo de estudios y diseño de modelos de susceptibilidad; finalmente concluye que la pendientes pronunciadas y la topográfica se determina por una ecuación de regresión lineal en su modelado.

Se realizó una regresión por mínimos cuadrados desde $f_2=Y_{ij}^k$, Variable dependiente hasta $f_1=X_{ij}^k$, Variable independiente. Entonces aplicando los valores de f_1 se obtiene $Y' = mX + b$, donde m es pendiente y b ordenada al origen de la línea de regresión.

$$p = \frac{e^z}{1 + e^z}$$

Donde p representa la probabilidad (susceptibilidad) al deslizamiento; z corresponde al modelo lineal logístico cuyos valores varían de $-\infty$ a $+\infty$ y se define mediante la ecuación:

$$z = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \dots + \beta_nx_n$$

Donde:

β_0 Representa el valor del parámetro de intersección de la ecuación de regresión lineal;

$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ Representan los coeficientes de regresión individuales de los

factores considerados (variables independientes) contra la variable dependiente (inventario de deslizamientos); y

x_1, x_2, \dots, x_n Representan los valores de los factores considerados.

Gómez, et al , (2017) Evaluación geodinámica y modelamiento geotécnico del deslizamiento de Madrigal – Arequipa. Estudió el comportamiento del suelo-subsuelo mediante estudios geofísicos, métodos geodésicos y geotécnicos que permita definir las zonas con probabilidad de deslizamiento en el corto y mediano plazo. Finalmente propone tratamientos de mitigación o minimización del peligro de deslizamiento para reducir la vulnerabilidad física mediante drenaje de coronación, relleno estabilizador al pie de la escarpa principal y estructuras de sostenimiento tipo gaviones.

Rodríguez (2016) En su tesis Método de investigación geológico-geotécnico para el análisis de inestabilidad de laderas por deslizamientos zona Ronquillo, Cajamarca - Perú, analizó el comportamiento geoestructural, geomorfológico, geodinámico y geomecánico de los macizos rocosos que presentan laderas inestables por fuerte fracturamiento, finalmente concluye que existe correlación y causalidad de inestabilidad del macizo rocoso fuertemente fracturadas y meteorizadas por efecto de los procesos morfogenéticos y tectónicos y precipitaciones pluviales.

Lagos (2015) En su tesis Modelamiento de la Relación entre los Procesos Tectónicos y la Inestabilidad en los terrenos de las zonas: Urubamba y Tres Ríos, Cajamarca – Perú. Estudio los movimientos en masa, relación al tipo de roca, grado de tectonismo y condiciones hidrogeológicas. Concluye que a mayor presencia de agua en las rocas y al mayor contenido de material arcillo- calcáreo en su litología y un alto grado de tectonismo, mayor es la susceptibilidad a los movimientos de masa.

Villacorta, et al,(2007) Estudian el análisis de la susceptibilidad a los movimientos de ladera en la cuenca del Río Llaminchán Cajamarca, Perú, realizaron

un análisis de movimientos de ladera mediante Sistemas de Información Geográfica con ello obtuvo como resultado un mapa de susceptibilidad a los movimientos de ladera.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Movimientos de Masa

Los movimientos en masa constituyen los procesos geológicos que involucran desplazamiento o remoción de masas rocosas (fracturadas y/o meteorizadas), y un volumen de material constituido por roca, suelo, tierras, detritos, se desplaza por acción de la gravedad. Teóricamente se divide: Caídas, Vuelcos, Deslizamientos, Propagación Lateral, Flujos, Reptación y Movimientos Complejos. (Vílchez, 2021)

Caídas: Movimiento en masa de uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera sin que ocurra un desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido, el material cae y se desplaza principalmente por el aire; así puede efectuar golpes, rebotes y rodamiento, de subdivide en caída de rocas y derrumbes.

caída de rocas: Ocurre en laderas de montañas y colinas de moderada a fuerte pendiente, frentes rocosas escarpadas, montañas estructurales asociadas a litologías de diferente naturaleza (sedimentarias, ígneas y metamórficas), sujetas a fuerte fracturamiento, así como en taludes al efectuarse cortes en laderas para obras civiles (carreteras y canales)

Derrumbe: Son desprendimientos de masas de roca, suelo o ambas, a lo largo de superficies irregulares de arranque o desplome como una sola unidad, desde pocos metros hasta decenas y centenas de metros.

Vuelco: Movimiento en masa que tiene una rotación, de uno o varios bloques de roca o suelo, alrededor de un punto o pivote de giro. Ocurre por acción de la gravedad, empuje de unidades adyacentes o acción de la presión de fluidos en grietas.

Deslizamientos: Es el movimiento de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre a lo largo de una superficie de falla.

Propagación lateral: Desplazamiento que ocurre predominantemente por deformación interna (expansión) del material. Las propagaciones laterales pueden considerarse como la etapa final de una serie de movimientos donde la deformación interna predomina decididamente sobre otros mecanismos de desplazamiento como los que imperan en el deslizamiento o el flujo. Distinguiéndose dos tipos de propagación:
i) Movimiento afecta a todo el material sin distinguirse la zona basal de cizalla, típico de masas rocosas; ii) Suelos cohesivos que sobre yacen a materiales que han sufrido licuefacción o a materiales en flujo plástico.

Flujos: Movimiento en masa que durante su desplazamiento tiene un comportamiento semejante al de un fluido. Y se subdivide en Flujos de detritos o huaicos y Flujos de lodo o tierra

Flujos de detritos o huaicos: Movimiento de masa de flujo muy rápido a extremadamente rápido de detritos saturados, no plásticos, que transcurre principalmente confinado a lo largo de un canal o cauce con pendiente pronunciada.
Flujos de lodo y tierra. Movimiento de masa de flujo canalizado muy rápido a extremadamente rápido de detritos saturados plásticos, cuyo contenido de agua es significativamente mayor al del material fuente.

Reptación: Fenómeno típico de meteorización ya que los materiales involucrados suelen alterarse in situ o con un ligero desplazamiento por gravedad y tienen movimientos lentos del terreno en donde no se distingue una superficie de falla.

Movimiento complejo: Movimientos de masa que se producen por la combinación de uno o más de los 6 tipos de movimientos de masa.

2.2.2. Susceptibilidad de Deslizamientos.

Es la predisposición del terreno a la ocurrencia de deslizamientos. Estos son representados en mapas de susceptibilidad a deslizamientos, en donde muestra la probabilidad espacial de que ocurran dichos deslizamientos, es decir indica las zonas del territorio analizado que tienen mayor o menor propensión a sufrir deslizamientos, pero no nos informan sobre la probabilidad de cuándo ocurrirán (Ramos, 2018).

También susceptibilidad a deslizamientos, se define como qué tan propenso es un terreno al deslizamiento, independiente de los daños que cause a los elementos de riesgo, como bienes materiales y personas (Santacana N, et al., 2003 y Mahler C.F 2012, citado por (Díaz et al., 2019) .

La susceptibilidad a deslizamientos con un detonante dará resultado un movimiento de rocas, tierra o escombros por una pendiente, el cual es un fenómeno complejo caracterizado a los cual se llama peligro de deslizamiento de tierra como la probabilidad de que ocurra un deslizamiento de tierra dentro de un período especificado y área dada. Esta definición incluye dos características: la ubicación geográfica (probabilidad espacial) y la ocurrencia de los eventos (probabilidad temporal). Entonces la probabilidad espacial, representada por la susceptibilidad a los deslizamientos de tierra, es la probabilidad de ocurrencia de deslizamientos de tierra en un lugar determinado (o unidad de tierra) condicionada a sus características, (Grimaldi, 2016).

Finalmente, el Índice de Susceptibilidad a deslizamientos (IS) está conformado por la acumulación de la aportación individual de cada uno de los factores considerados (Recondo et al. 2000 citado por Ramos Bernal, 2018).

Calculado por la ecuación:

$$IS = PE + OE + DDE + CPE + IEP E + DLE + DCE + EPP E$$

Donde:

IS = Índice de Susceptibilidad;

PE = Pendiente estandarizada;

OE = Orientación de laderas estandarizada;

DDE = Densidad a red de drenaje estandarizada;

CPE = Curvatura plana estandarizada;

$IEPE$ = Índice de erosión potencial estandarizado;

DLE = Densidad a lineamientos estandarizada;

DCE = Densidad a infraestructura vial estandarizada; y

$EPPE$ = Efecto potencial de la precipitación estandarizado.

2.2.3. Factores Causales de la Susceptibilidad al Deslizamiento

Los factores causales de la susceptibilidad a deslizamientos se pueden clasificar principalmente en tres categorías: topográfico, ambiental y geológico. (Chen et al., 2018).

Tabla 1

Factores condicionantes a susceptibilidad a deslizamientos

CATEGORÍA	FACTORES
Factores topográficos	Altitud
	Plan de curvatura
	Angulo de talud
Factores ambientales	Distancia al rio
	Distancias a las vías
	Uso del suelo
Factores geológicos	Litología
	Distancia a las fallas

Fuente: Traducción de Chen , et al., 2018

Tabla 2

Factores geológico-estructurales y del suelo utilizados en estudios de susceptibilidad al deslizamiento de laderas.

Referencias	Factor									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Varnes (1984)	X									
Fernandez et al. (1996)	X				X		X			
Binaghi et al. (1998)	X			X						
Guzzetti et al. (1999)	X									
Alcántara-Ayala (2000)	X									
Barredo et al. (2000)	X									
Baeza y Corominas (2001)	X						X			
Clerici et al. (2002)	X									
Dai y Lee (2002)	X									
Ercanoglu y Gokceoglu (2002)								X		
Hervás et al. (2002)	X									
Pistocchi et al. (2002)	X			X						
Zezere (2002)	X						X			
Cevik y Topal (2003)	X									
Fernández et al. (2003)	X	X			X	X				
Remondo et al. (2003)	X						X			
Ayalew et al. (2004)	X									
Fernández et al. (2004)	X				X					
Lee et al. (2004a)	X						X			X
Lee et al. (2004b)	X			X		X	X			X
Ayalew y Yamagishi (2005)	X			X						
Gómez y Kavzoglu (2005)	X			X		X				
Lee (2005)	X			X						
Lee y Talib (2005)	X			X						
Yesilnacar y Topal (2005)	X			X	X					
Delgado et al. (2006)	X									
Poli y Sterlacchini (2007)	X									
Pradhan y Lee (2007)	X			X		X				
Dahal et al. (2008)	X					X	X			
Nefeslioglu et al. (2008a)	X									
Van Westen et al. (2008)	X			X		X	X	X		
Nandi y Shakoor (2009)						X			X	
Mancini et al. (2010)	X									
Pradhan y Lee (2010a)	X			X		X				
Yilmaz et al. (2012)	X									
Convertino et al. (2013)									X	
Park et al. (2013)							X			X
Pourghasemi et al. (2013)	X			X						
Conforti et al. (2014)	X			X						
O'Banion y Olsen (2014)	X			X						
Poiraud (2014)	X					X				
Dou et al. (2015)	X	X	X	X						
Rawat et al. (2015)	X				X					
Chen et al. (2017)	X									
Wang et al. (2017)	X			X						

1- Litología	6- Suelos
2- Límites geológicos	7- Espesor de depósitos superficiales
3- Densidad a límites geológicos	8- Meteorización/profundidad
4- Distancia a lineamientos	9- Erosión
5- Densidad a lineamientos	10- Clase textural del suelo

Fuente: (Ramos, 2018)

Tabla 3

Factores geomorfológicos utilizados en estudios de susceptibilidad al deslizamiento de laderas

Referencias	Factor																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Fernandez et al. (1996)	X	X	X					X											
Binaghi et al. (1998)	X	X	X					X											
Larsen y Torres-Sánchez (1998)	X	X	X																
Guzzetti et al. (1999)	X	X	X	X															
Alcántara-Ayala (2000)		X								X									
Barredo et al. (2000)			X					X											
Baeza y Corominas (2001)	X	X	X	X								X	X	X					
Clerici et al. (2002)			X																X
Dai y Lee (2002)	X	X	X	X				X											
Ercanoglu y Gokceoglu (2002)	X	X	X																
Hervás et al. (2002)			X					X											
Pistocchi et al. (2002)		X	X					X											
Zezere (2002)			X													X			X
Cevik y Topal (2003)	X	X	X					X	X										
Fernández et al. (2003)	X	X	X	X					X		X					X			
Remondo et al. (2003)	X	X	X	X							X	X	X	X					
Ayalew et al. (2004)	X	X	X		X	X													
Fernández et al. (2004)		X	X	X					X		X								
Lee et al. (2004a)	X		X	X															
Lee et al. (2004b)			X	X	X														
Ayalew y Yamagishi (2005)	X	X	X																X
Gómez y Kavzoglu (2005)	X	X	X							X									
Lee (2005)		X	X	X				X											
Lee y Talib (2005)		X	X	X				X											
Yesilnacar y Topal (2005)	X	X	X		X	X	X	X	X	X							X		
Delgado et al. (2006)			X																
Gorsevski et al. (2006)	X		X		X	X				X									
Poli y Sterlacchini (2007)	X	X	X																
Pradhan y Lee (2007)		X	X	X				X											
Dahal et al. (2008)		X	X	X				X											
Nefeslioglu et al. (2008a)	X	X	X		X	X				X							X	X	
Van Westen et al. (2008)		X	X						X										
Nandi y Shakoore (2009)			X					X											
Mancini et al. (2010)	X		X		X	X	X												
Pradhan y Lee (2010a)		X	X	X				X											
Yilmaz et al. (2012)	X	X	X		X	X	X	X	X										
Convertino et al. (2013)	X		X					X											
Park et al. (2013)	X	X	X					X	X	X									X
Pourghasemi et al. (2013)	X	X	X		X	X		X					X						X
Conforti et al. (2014)	X	X	X		X	X		X	X	X									X
O'Banion y Olsen (2014)		X	X					X											
Poiraud (2014)		X	X	X				X	X	X									
Dou et al. (2015)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X									X
Rawat et al. (2015)		X	X																
Chen et al. (2017)	X	X	X		X	X	X	X		X									
Wang et al. (2017)		X	X	X		X	X												

Fuente : (Ramos, 2018)

Tabla 4

Factores de vegetación, uso del suelo y actividad antrópica utilizados en estudios de susceptibilidad al deslizamiento de laderas.

Referencias	Factor								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Varnes (1984)	X								
Fernandez et al. (1996)	X								
Binaghi et al. (1998)		X							
Larsen y Torres-Sánchez (1998)		X				X			
Guzzetti et al. (1999)	X								
Barredo et al. (2000)		X							
Baeza y Corominas (2001)		X	X						
Clerici et al. (2002)		X							
Dai y Lee (2002)		X							
Ercanoglu y Gokceoglu (2002)		X							
Hervás et al. (2002)		X							
Pistocchi et al. (2002)	X								
Cevik y Topal (2003)	X	X							
Remondo et al. (2003)		X							
Lee et al. (2004a)	X		X						
Lee et al. (2004b)	X		X						
Ayalew y Yamagishi (2005)								X	
Gómez y Kavzoglu (2005)	X								
Lee (2005)		X		X					
Lee y Talib (2005)		X		X					
Yesilnacar y Topal (2005)	X						X	X	
Poli y Sterlacchini (2007)		X							
Pradhan y Lee (2007)	X			X					
Dahal et al. (2008)		X					X		
Van Westen et al. (2008)	X	X			X		X		
Nandi y Shakoor (2009)	X								
Mancini et al. (2010)	X						X		
Pradhan y Lee (2010a)	X			X					
Yilmaz et al. (2012)								X	X
Convertino et al. (2013)	X	X							
Park et al. (2013)	X	X	X						
Pourghasemi et al. (2013)		X		X			X		
Conforti et al. (2014)		X							
O'Banion y Olsen (2014)				X					
Rawat et al. (2015)	X	X							
Chen et al. (2017)	X	X		X			X		
1- Cobertura vegetal	6- Áreas desarrolladas (Población y carreteras)								
2- Uso del suelo	7- Distancia a red de carreteras								
3- Densidad de arboles	8- Densidad a red de carreteras								
4- NDVI	9- Distancia a líneas de energía eléctrica								
5- Población y/o actividad industrial									

Fuente: (Ramos, 2018)

Tabla 5*Clasificación del factor pendiente según los rangos obtenidos*

UNIDAD MORFOGENÉTICA	PENDIENTE	COD. PENDIENTE
Inclinación suave	2°-4°	2
Pendientes Inclinas	4°-8°	3
Modelo Escarpado	8°-16°	4
Escarpado	16°-35°	5
Muy Escarpado	35°-55°	6
Extremadamente Escarpado	>55°	7

Fuente: (Quesada & Feoli-Boraschi2, comparación de la Metodología Mora-Vahrson y el Método Morfométrico para Determinar Áreas Susceptibles a Deslizamientos en la Microcuenca del Río Macho, Costa Rica, 2018)

2.2.4. Técnicas de Susceptibilidad de Deslizamientos.

Hoy en día hay muchas técnicas aplicadas para la realización de mapas de susceptibilidad a deslizamientos, de los cuales destacan los métodos determinísticos, probabilísticos y geomorfológicos, los cuales se utilizan para la evaluación y confección de mapas de susceptibilidad, N. Santacana, 2001 citado por (Díaz et al., 2019).

Tabla 6*Métodos de evaluación de susceptibilidad a deslizamientos*

Método	Ventaja	Desventaja
Determinístico	Estudio detallado a gran resolución sobre la falla de un talud.	Requiere inventarios de deslizamientos con pruebas de laboratorio y levantamiento topográfico detallado.
Probabilístico	Implementación de modelos matemáticos replicables y flexibles para anexar o reducir información y obtener mejores resultados.	Se requiere de un inventario de deslizamiento con ubicación geográfica conocida y mapas de parámetros, muchas veces no existen para la zona de estudio en interés.
Geomorfológico	Método moderno que incorpora tecnologías de detección remota a través de SIG.	Se requieren imágenes digitales de alta resolución a costos muy elevados.

Fuente: Díaz, Acosta, & Sáez , 2019

Los mapas de susceptibilidad a los deslizamientos son muy útiles para una planificación y seleccionar ubicaciones adecuadas para actividades de desarrollo de las regiones. Dentro de los métodos de análisis se tiene a los heurísticos, estadísticos y

deterministas, que fueron desarrollados para evaluar la susceptibilidad a los deslizamientos de tierra. Los métodos heurísticos tienen en cuenta la relación entre la ubicación de deslizamientos de tierra previos y escenarios geomorfológicos y geolitológicos (Anbalagan & Sing 1996, Ayalew et al.2004, Wati et al. 2010, Bijukchhen et al. 2012, citado por Grimaldi, 2016). Este enfoque depende en gran medida de la experiencia del experto: cada factor geomorfológico y geolitológico se pondera según su influencia supuesta o esperada para provocar movimientos de masas.

El Método determinista se basa en los modelos hidrogeotécnicos de pendiente estabilidad. Hay una variedad de marcos disponibles en la literatura que se refieren a diferentes modelos físicos. Por ejemplo, muchos autores han utilizado el paradigma de estabilidad de taludes infinitos, modelos hidrológicos con pendiente componente de estabilidad, modelos dinámicos de evolución del paisaje y modelos de flujo subsuperficies, superficiales y deslizamientos de tierra para evaluar la susceptibilidad a los deslizamientos de tierra. El principal inconveniente del método determinista es que requiere información detallada en muchas condiciones ambientales dentro de un paisaje a alta resolución espacial (Grimaldi, 2016).

Tabla 7

Técnicas para la predicción de deslizamientos

Técnica	Ponderación variables independientes	Relaciones no lineales	Dependencia espacial	Dependencia temporal	Dependencia espacio-temporal	Variaciones locales	Heterogeneidad	Heterogeneidad espacial	Multicolinealidad	Permite variables de diferente naturaleza	Afectado ante presencia de outliers
Modelos bayesianos [20]	♦	--	--	--	--	--	--	--	--	--	♦
Modelos bivariados [29]	♦	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
Modelos lineales generalizados (GLM) [46]	--	--	--	--	--	--	♦	--	♦	--	♦
Modelos lineales adaptativos (GAM) [66]	--	♦	--	--	--	--	♦	--	♦	--	♦
Geoestadística [74]	--	--	♦	--	--	♦	♦	♦	♦	--	♦
Regresión espacial global (SR) [63]	--	♦	♦	--	--	--	♦	♦	♦	--	♦
Regresión geográficamente ponderada (GWR) [92]	--	♦	♦	--	--	♦	♦	♦	♦	--	♦
Redes neuronales artificiales (ANN) [100]	--	♦	--	♦	--	♦	♦	--	♦	♦	--
Máquinas de soporte vectorial (SVM) [108]	--	♦	--	--	--	--	♦	--	♦	♦	--
Lógica difusa [116]	♦	♦	--	--	--	--	--	--	--	♦	--
Naive Bayes (NB) [119]	--	--	--	--	--	--	♦	--	--	--	--
Modelo logístico de árbol (LMT) [130]	--	♦	--	--	--	--	♦	--	--	♦	--
Bosques aleatorios (RF) [132]	--	♦	--	--	--	--	♦	--	--	♦	--
Clasificación y regresión de árboles (CART) [138]	--	♦	--	--	--	--	♦	--	--	♦	--
Regresión multivariada adaptativa de splines (MARS) [141]	--	♦	--	--	--	--	♦	--	--	♦	--

Fuente: (Florez & Pérez , 2019)

2.2.5. Geomática.

La información de imágenes mediante el fomento y la facilitación de la investigación y el desarrollo en sus áreas de actividad científica, avanzando en el conocimiento a través de redes científicas, estimulando la cooperación internacional, persiguiendo la integración interdisciplinaria, facilitando la educación y la capacitación, mejorando y explorando nuevas aplicaciones, y desarrollando el

reconocimiento público de la fotogrametría, la teledetección y la ciencia de la información espacial. Las imágenes aéreas y satelitales se han utilizado exitosamente en una variedad de áreas tales como el mapeo topográfico, la planificación urbana, la evaluación ambiental, silvicultura, agricultura de precisión, recursos hídricos, monitoreo de desastres y susceptibilidad de deslizamientos (Bey et al., 2016)

La delimitación espacial de las áreas con potencial susceptibilidad a deslizamiento, utilizo indicadores morfo-dinámicos tales como el factor pendiente, que en este caso sustituirá al factor de relieve relativo utilizado en la metodología original (Mora & Sanorío, 2018)

La susceptibilidad a deslizamiento considera como parámetros a la litología, la humedad del suelo, la sismicidad (intensidad sísmica Mercalli) y la precipitación (intensidad de lluvias), las cuales pueden ser trabajadas en un Sistema de Información Geográfica (SIG) (Robles, 2019).

2.2.6. Estadísticos de Centralidad y Variación

En el trabajo de investigación se utilizó los estadísticos de centralidad o medidas de tendencia central, el cual pretende resumir en un solo valor a un conjunto de valores.

Las medidas de centralización más usadas para el análisis y procesamiento de datos son: la media, la mediana y la moda, estos estadísticos de centralidad nos van a permitir describir un conjunto de datos entregándonos información acerca de su posición.

Media Aritmética o Promedio

Es la medida de tendencia central más conocida y utilizada y se representa por la letra griega μ cuando se trata del promedio del universo o población y de la muestra. (Quevedo, 2017)

La fórmula para calcular el valor de la media dentro de un conjunto de datos no agrupado es la siguiente:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_i + \dots + x_n}{n}$$

De aquí podemos sacar la fórmula generalizada:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Donde:

\bar{x} : media muestral

n: el tamaño de la muestra

x_i : valor de la muestra i

La medida de variación sirve para determinar qué tan homogéneo o heterogéneo es un grupo que se está estudiando. Para las escalas nominales, la principal medida de variabilidad es la Razón de variación (V), otras medidas importantes de variabilidad son la varianza (poblacional y muestral), la desviación estándar o desviación típica (poblacional y muestral) y el coeficiente de variación (Salazar & Del Castillo, 2018).

Desviación Media

“Es la medida de dispersión que mide más exactamente el grado de dispersión de un conjunto de datos con relación a la media aritmética” (Salazar P. & Del Castillo G., 2018), esto quiere decir que la desviación media nos determina en cuantas unidades en promedio los datos se hallan desviados o alejados de la media aritmética. Para su cálculo usaremos la siguiente fórmula:

$$D_{\bar{x}} = \frac{\sum_{i=1}^N |X_i - \bar{x}|}{N}$$

2.2.7. Estandarización de Datos

La estandarización de datos es conocido como normalización de datos, considerando a la media aritmética y la desviación estándar para estandarizar los datos, se recomienda estandarizar los datos cuando las variables están medidas en distinta escala o poseen diferente magnitud. La estandarización de datos o transformación Z, es un procedimiento aritmético que se efectúa sobre los datos de una distribución que se aproxima a la distribución normal, a fin de que el nuevo conjunto de datos tenga como media el número cero y como desviación estándar el número uno. De esto se deriva que la media de una distribución normal estándar será siempre cero y la desviación estándar será siempre uno. Propiedad importante dado que cualquier distribución empírica puede ser estandarizada, transformando sus puntuaciones originales en puntuación Z aplicando la siguiente fórmula:

$$z_i = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma}$$

Entre los nuevos valores habrá positivos y negativos debido a que el promedio es igual a 0. (Lorenzo, 2019)

2.2.8. Correlación de Variables

La correlación de variables, es determinar la asociación o relación existente entre dos a más variables. Los cual es representado por valores entre -1 y +1, el cual se clasifica por alta a nula correlación.

Correlación Pearson

Es coeficiente de correlación, mide el grado de relación o asociación entre dos variables aleatorias, este coeficiente variara entre $-1 \leq \rho \leq 1$

$$\rho = \frac{cov(x, y)}{\sigma_x \sigma_y} \quad -1 \leq \rho \leq 1$$

$$cov(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \underline{X})(Y_i - \underline{Y})}{n}$$

Rango de valores r_{XY}	Interpretación
$0.00 \leq \rho \text{ o } r_{XY} \leq 0.10$	Correlación nula
$0.10 \leq \rho \text{ o } r_{XY} \leq 0.30$	Correlación débil
$0.30 \leq \rho \text{ o } r_{XY} \leq 0.50$	Correlación moderada
$0.50 \leq \rho \text{ o } r_{XY} \leq 1.00$	Correlación fuerte

El coeficiente de correlación de Pearson está estrechamente con la covarianza y; puede variar de -1, que representa correlación negativa perfecta, 0 indica correlación nula y +1 correlación positiva perfecta (Schober y otros, 2018) .

Análisis Multivariable

La estadística es una rama de la matemática y se divide en variables cuantitativas y Cualitativas las cuales se representa por modelos que nos ayudan a entender y a cuantificar el fenómeno al cual se realiza el estudio; sin embargo, estos fenómenos no siempre intervienen una o dos variables, ya que en la práctica se necesita de más variables debido a su complejidad de la realidad observada el cual permite al modelo aproximarse más a la realidad, a lo que conocemos como un análisis multivariable y con ello evitar observaciones sesgadas de la realidad el cual está centrada sola variable de un conjunto de variables (Hahs-Vaughn, 2016).

Los principales análisis multivariable son: Análisis de Interdependencia y Análisis de Dependencia. (Meneses, 2019)

Análisis de Interdependencia: Este análisis de interdependencia todas las variables tienen el mismo peso o status, los diferentes métodos de este análisis son los análisis Factoriales y Dimensionales, los análisis de interdependencia también pueden ser clasificados por su naturaleza de las variables en estudio, es decir variables son cuantitativas se usa análisis Factoriales o por el análisis multidimensional.

Análisis de Dependencia: Estos análisis tienen la finalidad de determinar el grado de asociaciones que existe entre las variables en estudio, donde la dependencia implica una causalidad de manera que uno de los problemas es discernir que variable juega el papel de causa y que variable es el efecto.

Es la distribución en el cual hacemos una o más variables constantes y una o más variables son variables como tal, se representa como:

$$P(X_1 \leq x_1 | X_2 = x_2, \dots, X_p = x_p)$$

La regresión lineal múltiple se tiene que identificar una variable dependiente y las demás variables independientes para lo cual puede ser representada por:

$$Y = mx + b$$

O

$$Y = m_1x_1 + m_2x_2 + \dots + b$$

Si hay varios rangos de valores x , donde los valores Y dependientes son función de los valores x independientes. Los valores m son coeficientes que corresponden a cada valor x , y b es un valor constante. Observe que Y , x y m pueden ser vectores.

La matriz que devuelve la función ESTIMACION.LINEAL es $(m, m_1, \dots, m_{n-1}, b)$. ESTIMACION.LINEAL también puede devolver estadísticas de regresión adicionales.

2.2.9. Geoestadística.

La geoestadística surgió en los años 1950, desarrollado por Daniel Krige en las estimaciones del contenido de oro en la mina Witwatersrand en Sudáfrica. Señaló que era impracticable estimar el contenido de oro en bloques mineralizados sin tomar el volumen y la ubicación de las muestras. Matheron, 1962, padre de la geoestadística mostró las aplicaciones de teoría de variables regionalizadas para la estimación de depósitos minerales. La geoestadística se ha extendido y hoy en día se utiliza mucho en las áreas más diversas. Con el avance de la tecnología de la información, el estudio se volvió más rápido, más barato y más accesible. El análisis geoestadístico es fundamental para la evaluación de las reservas minerales. La variabilidad natural de un depósito se expresa mediante un estudio variográfico, que permite determinar el modelo de correlación espacial de la variable. Esto se calcula experimentalmente correlación mediante puntos de muestreo y posteriormente, se ajusta a un modelo teórico. El modelo de variograma teórico permite reconocer anisotropías y determinar el valor de correlación espacial para cualquier distancia dentro del espacio muestreado (Da Silva, 2016).

a. Análisis Espacial

Los mapas de la distribución espacial se diseñaron a partir de un análisis geoestadístico que consistió de las siguientes etapas: 1. Análisis exploratorio de datos para corroborar una distribución normal; en caso de no existir se hace transformación para la normalización de los datos, 2. Autocorrelación espacial. Se ajusta el semivariograma a los datos medidos. Los criterios para la elección del modelo son: el coeficiente de determinación (R^2), el porcentaje de la varianza estructural y la distancia a la cual se alcanza la varianza máxima (D). (Delgado y otros, 2018).

El semivariograma se calcula de la manera siguiente:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

En donde:

$\gamma(h)$ significa el valor del semivariograma experimental

$Z(x_i)$ es el parámetro en un punto georreferenciado, conocido también como variable regionalizada.

$Z(x_i + h)$ es el parámetro en un punto georreferenciado separado por una distancia h .

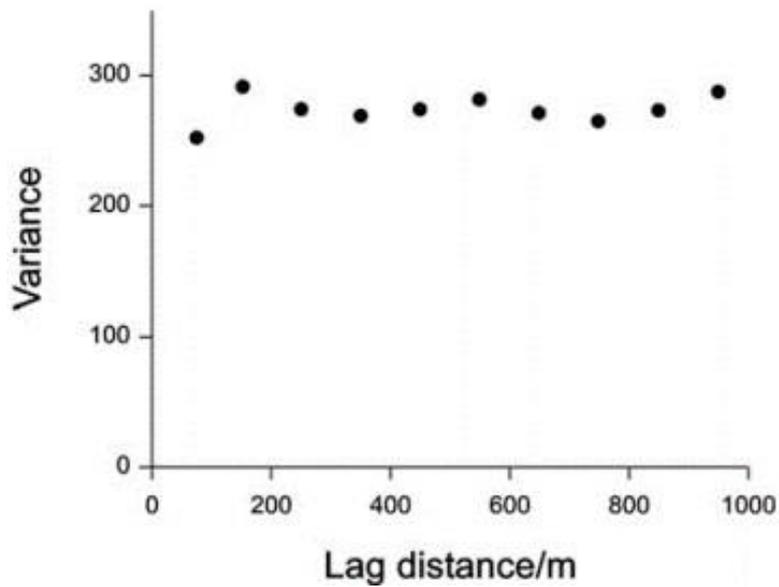
$N(h)$ es el número de pares de puntos medidos y separados por una distancia h .

b. Variograma Experimental

El variograma experimental se construye a partir de los datos de entrada o datos de muestra, donde $Z(X_1), Z(X_2), \dots, Z(X_n)$, donde X_1 hasta X_n denotan las posiciones de la muestra en un espacio. (Pyrcz, 2018).

Figura 1

Semivariograma



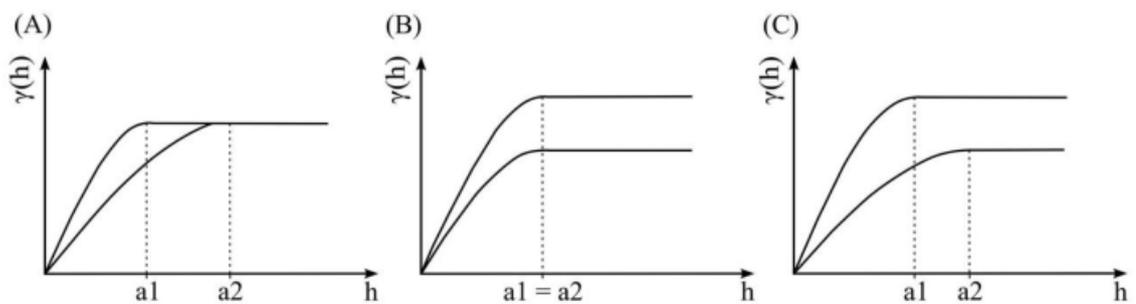
Semivariograma ($\gamma(h)$) y distancia (h)

c. Anisotropía

La anisotropía está relacionado al comportamiento estructural y estas se presenta en diferentes direcciones del espacio, entonces la anisotropía se puede identificar comparando los variogramas experimentales calculados a lo largo de diferentes direcciones espaciales.

Figura 2

Tipos de anisotropía

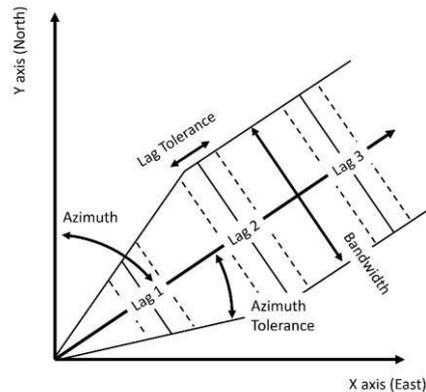


Anisotropías (a) geométrica; (b) zonal; (c) mixta Fuente: mixta (YAMAMOTO,

2001 citado por (Da Silva, 2016)).

Figura 3

Búsqueda del variograma.



Fuente: mixta (YAMAMOTO, 2001 citado por (Da Silva, 2016)).

d. Modelo Teórico de Variograma

Calculado el variograma experimental, es necesario ajustar un modelo teórico de variograma, ya que será necesario para el procedimiento de estimación de kriging.

Este procedimiento consiste en ajustar una función matemática que describe continuamente la variabilidad espacial o correlación en los datos. Para el análisis del variograma puede aplicarse, se debe asumir la hipótesis de que el modelo teórico del variograma ajustado al variograma experimental es válido para cualquier punto del dominio estudiado (OLEA, 1991 citado por (Da Silva, 2016)).

Existen varios modelos teóricos de variogramas, que puede explicar la variabilidad de la gran mayoría de los fenómenos espaciales. La clasificación se suele hacer en modelos teóricos, donde los principales son esféricos (Matheron), exponencial (Formery) y parabólico (Gauss); y modelos sin umbral, que son lineal y logarítmica (Guerra, 1988 citado por Da Silva, 2016).

Definidas por las siguientes ecuaciones:

Modelo Esférico

$$\gamma(h) = C_0 + C \left[\frac{3}{2} \left(\frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right] \text{ para } h < a$$

$$\gamma(h) = C_0 + C \text{ para } h \geq a$$

Modelo Exponencial

$$\gamma(h) = C_0 + C \left[1 - \exp \left(- \left(\frac{h}{a} \right) \right) \right]$$

Modelo Parabólico

$$\gamma(h) = C_0 + C \left[1 - \exp \left(- \left(\frac{h}{a} \right)^2 \right) \right]$$

Modelo Linear

$$\gamma(h) = C_0 + \alpha h$$

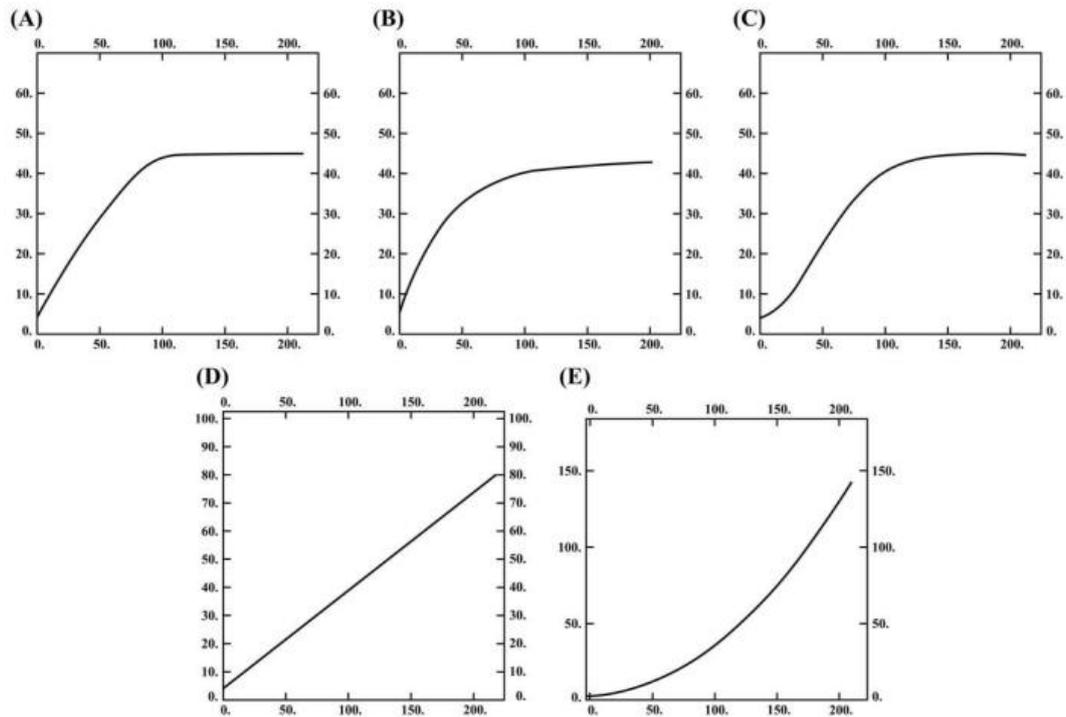
Modelo Logarítmico

$$\gamma(h) = C_0 + C \left(\frac{h}{a} \right)^\alpha \quad 0 < \alpha < 2$$

Modelos Teóricos de Variograma. (a) Modelo Esférico; (b) Modelo Exponencial; (c) Modelo Parabólico; (d) Modelo Linear; (e) Modelo Logarítmico. (Modificado de Yamamoto 2001 citado por Da Silva, 2016).

Figura 4

Tipos de variogramas teóricos



e. Método Kriging

El sistema kriging es un método de estimación que pesa el número de muestras y la calidad de los datos en cada punto. Mediante análisis variográfico, considera la distancia entre las muestras y los puntos o bloques a estimar, además de la continuidad espacial de variables (Da Silva, 2016).

Kriging es un método de inferencia espacial, el cual nos permite estimar los valores de una variable en lugares no muestreados utilizando la información proporcionada por la muestra. El método está planteado de manera que nos da el mejor estimador lineal no sesgado con una varianza mínima. Hay que ser cuidadosos de no mal interpretar lo anterior, ya que puede haber mejores estimadores que los obtenidos con Kriging, pero con características diferentes: con sesgo, por ejemplo. La aplicación del método Kriging supone que contamos con N valores observados $Z(x_1), \dots, Z(x_N)$ a

nuestra disposición y deseamos estimar una función lineal de la variable $Z(x)$. Por ejemplo, su promedio en una región determinada Z_v (Porras, 2017)

Esta cantidad la podemos denominar mediante la expresión:

$$z_v = \frac{1}{V} \int_V z(x) dx$$

En donde V puede ser desde todo un depósito o un simple punto.

Para estimar Z_v , consideramos un promedio ponderado de los datos: (Porras, 2017)

$$z_v^* = \sum \lambda_i z(x_i) \text{ en donde } \lambda_i \text{ son los pesos asignados}$$

El símbolo “*” se usa para denotar una estimación. El problema reside en obtener los pesos de la mejor forma. Es aquí en donde utilizamos el modelo geoestadístico, considerando la variable regionalizada. Anteriormente se mencionó que el método Kriging obtiene la mejor estimación no sesgada de una variable, esto se expresa matemáticamente como (Porras, 2017):

$$E[Z_v^* - Z_v] = 0$$

Es decir, el promedio (valor esperado $E []$) de la población de diferencias entre los valores estimados y los valores reales de la variable debe ser cero. Por otro lado, una segunda condición establece que la varianza del estimador debe ser mínima, esto es (Porras, 2017):

$$\text{Var}[Z_v^* - Z_v] \text{ es un mínimo}$$

La media del error de estimación $E [Z_v^* - Z_v]$ se puede expresar de la forma

$$E \left[\sum \lambda_i z(x_i) - Z_v \right] = \sum \lambda_i m - m = m \left[\sum \lambda_i - 1 \right]$$

En donde $Z_v^* = \sum \lambda_i Z(x_i)$ es una combinación lineal de los valores observados $z(x_i)$ y las λ_i corresponden a los pesos asignados a cada observación. Para que no

exista sesgo, el valor esperado del error debe ser 0, así que en la expresión de la media del error de estimación o $m = 0$ o los pesos λ_i deben sumar 1. En el primer caso la media es conocida, hecho que conduce al método Kriging simple (KS). Si m es desconocido y las λ_i suman 1, entonces la solución se obtiene por el método Kriging ordinario (KO) (Porrás, 2017).

Como se mencionó anteriormente, se debe cumplir la condición de que la varianza del error $[Z_v^* - Z_v]$ sea mínima. Esta varianza mínima se conoce como varianza de Kriging y se expresa como (Porrás, 2017).

$$\sigma_k^2 = \sum \lambda_i \bar{\gamma}(x_i, V) - \bar{\gamma}(V, V) + \mu$$

La derivación de la expresión anterior se da mediante procedimientos de álgebra lineal, introduciendo los multiplicadores de Lagrange (μ). Para conocer a detalle los pasos para obtener la varianza de Kriging se puede consultar el capítulo 7 del libro de Armstrong (1998) o el capítulo 5 del libro de Goovaerts (1997). Las ecuaciones obtenidas para el caso del Kriging ordinario son (Porrás, 2017):

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j \gamma(x_i, x_j) + \mu = \bar{\gamma}(x_i, V) \quad i = 1, 2, \dots, N$$

$$\sum_{i=1}^N \lambda_i = 1$$

En donde λ_j será el peso asignado a cada observación j en la combinación lineal del estimador. $\gamma(x_i, x_j)$ es el valor de la función del modelo teórico del variograma obtenido en el análisis estructural, mismo que depende de la distancia de separación entre x_i y x_j . $\bar{\gamma}(x_i, V)$ es el valor de la función del variograma evaluado para la distancia de separación entre la observación x_i y el punto o volumen a interpolar V . El sistema anterior se puede expresar de manera equivalente en términos matriciales como (Porrás, 2017).

$$\begin{bmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} & \dots & \gamma_{1N} & 1 \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} & \dots & \gamma_{2N} & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & 1 \\ \gamma_{N1} & \gamma_{N2} & \dots & \gamma_{NN} & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \dots \\ \lambda_N \\ \mu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma(x_1, V) \\ \gamma(x_2, V) \\ \dots \\ \gamma(x_N, V) \\ 1 \end{bmatrix}$$

En donde la primera matriz la podemos denominar como A, misma que se multiplica con un vector de pesos λ , dando como resultado una matriz a la que llamamos B, es decir, tenemos un sistema de la forma $A \lambda = B$. Como se ha visto, el valor interpolado para un punto es una combinación lineal (Porras, 2017),

$$z_v^* = \sum \lambda_i z(x_i) \text{ en donde } \lambda_i \text{ son los pesos asignados}$$

de manera que hay que despejar los pesos λ del sistema $A \lambda = B$

$$\mathbf{A}^{-1} \mathbf{A} \lambda = \mathbf{A}^{-1} \mathbf{B}$$

Es decir

$$\lambda = \mathbf{A}^{-1} \mathbf{B}$$

En donde A-1 es la matriz inversa de A, es decir,

$$\mathbf{A} \mathbf{A}^{-1} = \mathbf{I}$$

En donde I es la matriz identidad (Porras, 2017).

2.2.10. Glosario de Términos.

Deslizamiento. Ruptura y desplazamiento de pequeños o grandes masas de suelos, rocas, rellenos artificiales o combinaciones de éstos, en un talud natural o artificial. Se caracteriza por presentar necesariamente un plano de deslizamiento o falla, a lo largo del cual se produce el movimiento. (Montenegro y otros, 2018).

La susceptibilidad. La susceptibilidad es una propiedad del terreno que indica que tan favorables o desfavorables son las condiciones de éste, para que pueda ocurrir

inestabilidad. Se refiere solamente a factores intrínsecos a los materiales naturales de la ladera, sin considerar factores desencadenantes (Cenapred, 2016).

Proceso de Remoción en Masa. Es el deslizamiento de parte del material superficial de la corteza terrestre (rocas, arenas, suelos, etc.) ladera abajo, por acción de la gravedad (Cenapred, 2016).

Inestabilidad de Laderas. Ello ocurre cuando se rompe o pierde el equilibrio de los materiales y éstos se mueven por acción de la gravedad (Cenapred, 2016).

Estabilidad de Laderas. Depende de factores condicionantes o internos que dependen de la naturaleza propia de los suelos y rocas como: geología, uso de suelo y vegetación, forma del terreno (pendiente), intemperismo, grado de fracturamiento (Cenapred, 2016).

Peligro de Deslizamientos de Tierra: representado por la susceptibilidad, que es la probabilidad de la ocurrencia de un deslizamiento de tierra potencialmente dañino en una determinada área (Oas.org, 2020).

Vulnerabilidad: es el nivel de poblaciones, propiedades, actividades económicas, incluyendo los servicios públicos, etc., en riesgo en determinada área como resultado de la ocurrencia de un deslizamiento de tierra de determinado tipo (Oas.org, 2020).

Riesgo (específico): el monto de las pérdidas esperadas por causa de un fenómeno particular de deslizamiento (Oas.org, 2020).

Geoestadística. Es una rama de la matemática y de la Estadística aplicada, que se encarga del estudio de datos geográficos (relacionados entre sí), los cuales se obtienen de los cambios espaciales o temporales que ocurren en la superficie terrestre con la intención de analizar fenómenos y/o predecir el valor de una variable. Se aplican métodos de cálculo geoespaciales para obtener probabilidades precisas (DefinicionXYZ, 2018).

Kriging. Procedimiento geoestadístico avanzado que genera una superficie estimada a partir de un conjunto de puntos dispersados con valores z , a los cual se puede definir como variable regionalizada. Es un método de interpolación del conjunto de herramientas Interpolación, utilizando la Kriging de forma efectiva implica una investigación interactiva del comportamiento espacial del fenómeno representado por los valores z (Esri, 2020).

Variable Regionalizada. Estudia la variación espacial de ciertas magnitudes, el cual tiene una localización geográfica específica, además debe tener continuidad y anisotropía (Matheron G, 1965 traducido por Alfaro Sironvalle , 2008).

Capítulo III

Materiales Y Métodos

3.1. Ubicación de la Investigación

3.1.1. Ubicación Geografía.

La zona de investigación se ubica geográficamente en el departamento de Cajamarca, situado en la sierra norte del país. El área a estudiar se especifica en la tabla 8, dicha zona está en parte sur del distrito de Cajamarca.

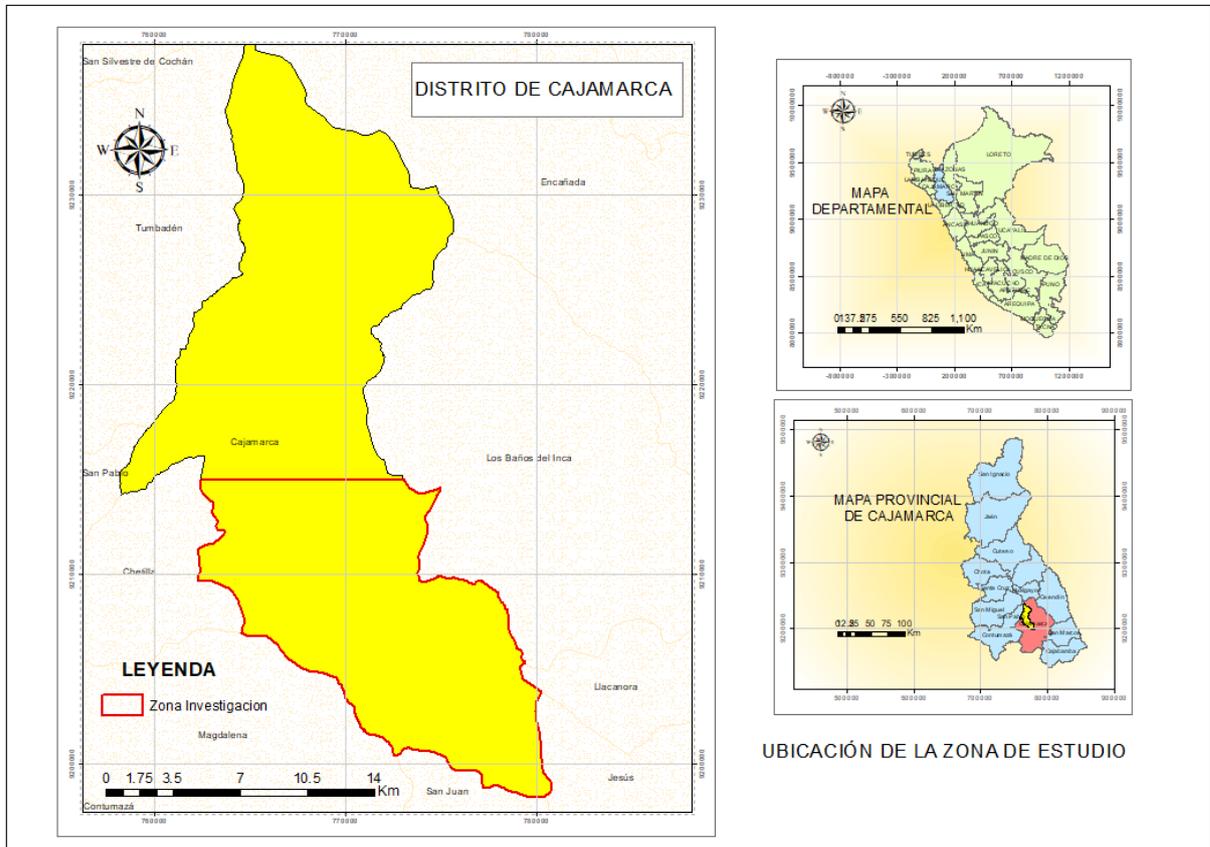
Tabla 8

Coordenadas de la zona de estudio

Vértice	Norte	Este
V1	9215000	762200
V2	9215000	780800
V3	919800	780800
V4	9198000	7622000

Figura 5

Ubicación de la zona de investigación

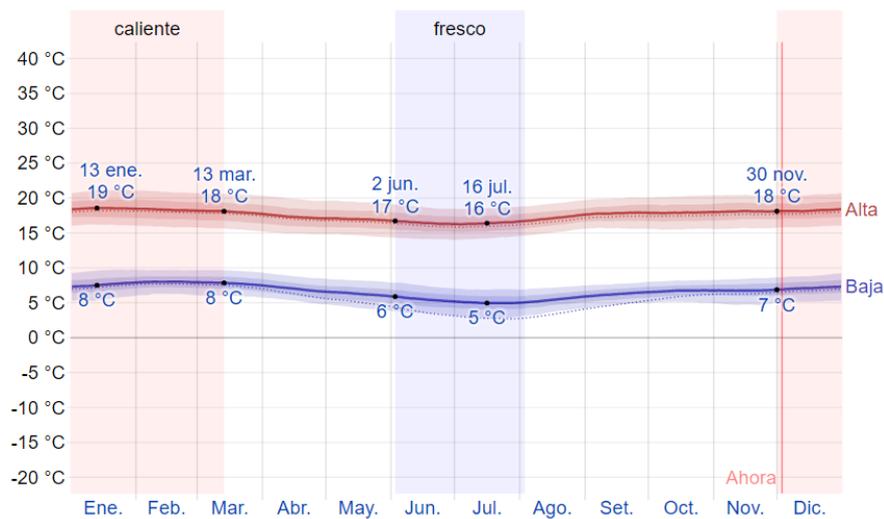


3.1.2. Características Climáticas

El distrito de Cajamarca esta entre las cotas 2300-3.500 m s. n. m. por lo que perteneces a la región quechua, por tiene un clima templado, seco; soleado durante el día, pero frío durante la noche. Su temperatura media anual es de 15,6 °C, siendo época de lluvias de diciembre a marzo, que coinciden con el cíclico fenómeno de El Niño, los veranos son frescos y nublados y los inviernos son cortos, fríos, secos y parcialmente nublados. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 5 °C a 19 °C y rara vez baja a menos de 3 °C o sube a más de 21 °C (es.weatherspark.com, 2020) .

Figura 6

Temperatura máxima y mínima promedio



La temperatura máxima (línea roja) y la temperatura mínima (línea azul) promedio diario con las bandas de los percentiles 25° a 75°, y 10° a 90°. Fuente (es.weatherspark.com, 2020).

3.1.3. Acceso

La zona de investigación cuenta con las vías principales, tales como carretera Cajamarca – Bambamarca, Cajamarca - San Pablo, Cajamarca - Chetilla y Cajamarca – Ciudad de Dios y Cajamarca Celendín.

3.2. Materiales

3.2.1. Campo.

Para el desarrollo de la investigación, se utilizó principalmente:

- Libreta de campo, que son para cartografiado geológico.
- Planos geológicos 1/100 000, obtenidas del instituto geológico minero metalúrgico (INGEMMET).
- Planos Topográfico 1/100 000, obtenidas del instituto geológico minero metalúrgico (INGEMMET).

- Tablero y útiles de escritorio.

3.2.2. Gabinete.

- Imágenes satelitales Landsat, obtenida de web de aeronáutica nacional y administración espacial (NASA)
- Banco de datos de deslizamientos del GEOCATMIN.
- Software de análisis de datos, análisis de sistema de información geográfica y Geoestadístico.

3.3. Metodología de Investigación

La investigación se hizo considerando los factores de gestión de riesgo y la relación correspondiente con los parámetros que influyen en la inestabilidad de laderas, con los cuales en materia de susceptibilidad se elaboraron los mapas de la geología, pendiente, proximidad a carreteras y fallas geológicas. La metodología utilizada en la presente investigación, se desarrolló en la fase de recolección de información y la fase de procesamiento del análisis geoestadístico.

3.3.1. Fase Recolección de Información

La investigación en esta fase se centró en inventariar los deslizamientos que ocurrieron en el pasado las cuales se encuentra Geocatmin 2021 del instituto geológico minero metalúrgico (INGEMET), (Rodríguez, 2016) y (Lagos, 2015), además se agregado los deslizamientos del cartografiado a partir de imágenes satelitales del servidor SAS.Planet.

- 1.Codificación de los datos categóricos de peligros geológicos, considerando el valor más alto al tipo de peligro que es más numeroso.
- 2.Codificación de la litología agrupándolo por formación geológica las cuales fueron agrupados por la génesis de tipo de roca, dándole valor más alto a lo que más área ocupa la zona de investigación.

3. Se clasifican las unidades morfogénicas en base a intervalos de pendiente el cual se agrupa en base a lo que más se encuentra en la zona de trabajo.
4. Los intervalos de las distancias de las carreteras se agrupan para asignarles valores enteros.
5. Los intervalos de las distancias de las fallas se agrupan para asignarles valores enteros

3.3.2. Fase de Procesamiento del Análisis Geoestadístico..

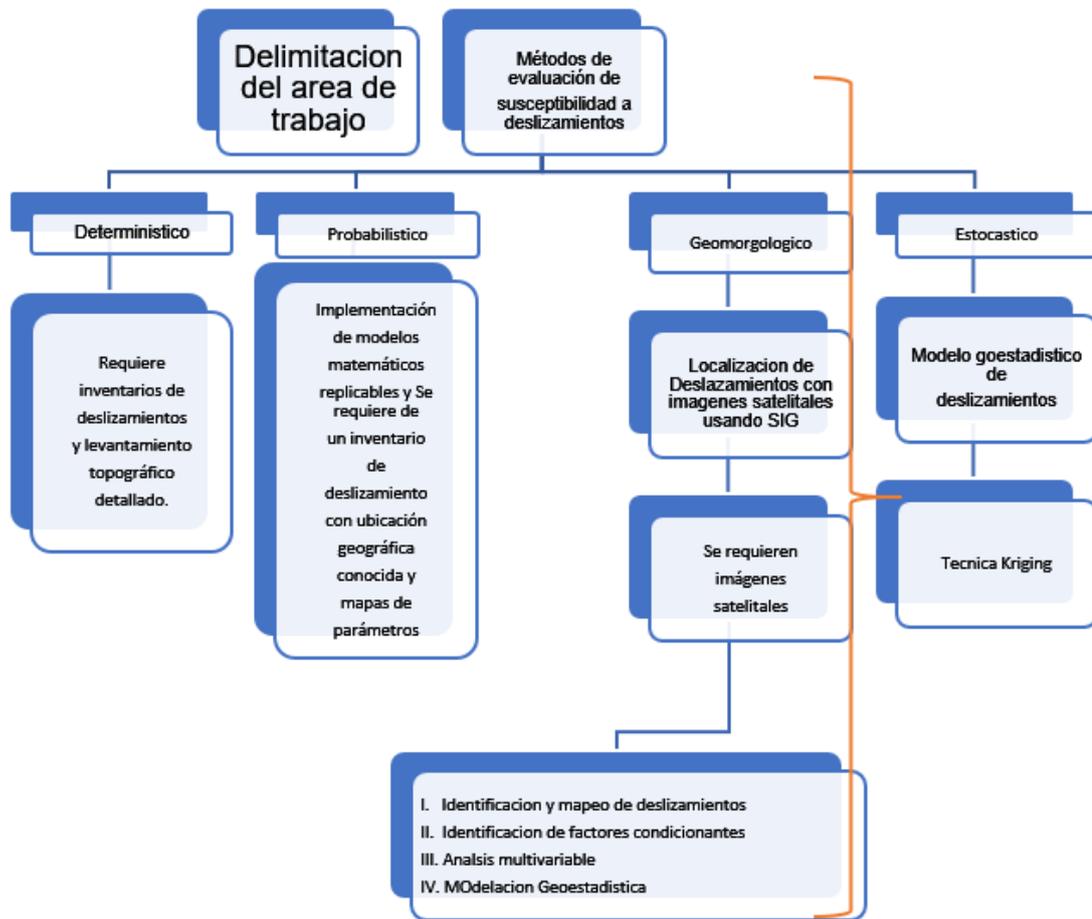
Realizar el análisis con cada uno de los factores, utilizando softwares de cálculo y modelamiento geoestadístico.

Luego de inventariar y codificar los deslizamientos se procedió a:

1. Se realizó la estadística descriptiva
2. Se estandariza las variables consideradas para la investigación
3. Cálculo de correlación entre las variables y covarianza.
4. Cálculo de los pesos de cada variable.
5. Cálculo de valores estimados de susceptibilidad.
6. Cálculo de los variogramas experimentales en las direcciones al menos a 0° , 45° , 90° , 135° Y 70° .
7. Ajuste por cada dirección a los variogramas experimentales a los variogramas teóricos como efecto pepita, esférico, gaussiano y exponencial.
8. Determinar el comportamiento estructural y anisotrópico interpretado del análisis de los variogramas experimentales y ajustado a los variogramas teóricos.
9. A partir de los valores estimados de las zonas susceptibles a deslizarse se modela las zonas de susceptibilidad, utilizando el modelado de 3D análisis del software ArcGIS.

Figura 7

Proceso del trabajo



3.3.3. Análisis de Susceptibilidad de Deslizamientos

Los riesgos de deslizamientos se clasifican en susceptibilidad por elementos pasivos: pendiente, litología, humedad del suelo y susceptibilidad por elementos activos: intensidad sísmica e intensidad de lluvias. Combinando estas 2 variables se obtiene un nivel de amenaza relativa, aclarando que cada parámetro se debe considerar un peso ponderado. Entonces el nivel relativo de amenaza (H), a través de la multiplicación y sumas de los índices por medio de las siguientes ecuaciones (Mora y Vahrson (1994) citado por Adolfo & Feoli-Boraschi, 2018).

$$H = (Sr * Sl * Sh) * (Ts + Tp).$$

En donde:

Pendiente (S_r): representa la topografía del área en estudio.

Litología (S_l): este factor representa la influencia de los tipos de materiales, sedimentos y rocas en la activación de los deslizamientos.

Humedad del suelo (S_h): cuantifica la influencia de la humedad acumulada du
Intensidad sísmica (T_s): este factor se determina mediante el análisis de los deslizamientos de tierra provocados por terremotos para establecer la influencia de intensidades sísmicas durante todo el año.

Intensidad de lluvias (T_p): este factor calcula la influencia de la lluvia en el tiempo (Adolfo & Feoli-Boraschi, 2018)

3.3.4. Método Geoestadístico de Kriging

La susceptibilidad a deslizamientos es un fenómeno de la ciencia de la tierra el cual tienen ubicación en el tiempo y/o espacio por lo cual es una variable regionalizada (VR), está tiene sus coordenadas este, norte, cota y variable en análisis en un punto específico, siendo la VR base para la conformación de los variogramas experimentales el cual es desarrollado por la geoestadística.

La Geoestadística al inicio fue vista como un medio para describir los patrones espaciales e interpolar los valores de un atributo de interés en sitios no muestreados. Actualmente se usa para modelar incertidumbre sobre valores desconocidos a través de la generación de imágenes alternativas (realizaciones), las cuales reproducen aspectos de los patrones de dependencia espacial, las estimaciones se mejoran si se considera las muestras vecinas, es decir, descubrió que existía una autocorrelación. Al mismo tiempo que Krige trabajó empíricamente con la autocorrelación, (desarrollado por Daniel Gerhardus Krige (1919-2013) citado por (Velasquez, 2017).

Matheron (1930 - 2000), matemático y geólogo francés, quien también buscó la forma de estimar con mayor precisión las concentraciones de metales a partir de muestras de datos auto correlacionados. El éxito de la Geoestadística radica en que varias disciplinas tienen el mismo problema. Se cuenta con un entorno continuo, pero, debido al costo o a la dificultad para hacer muestreos, sólo se tienen mediciones en un número finito de lugares (Velasquez, 2017).

Capítulo IV

Resultados y Discusión

4.1. Identificación y Mapeo de Deslizamientos en el Área de Estudio

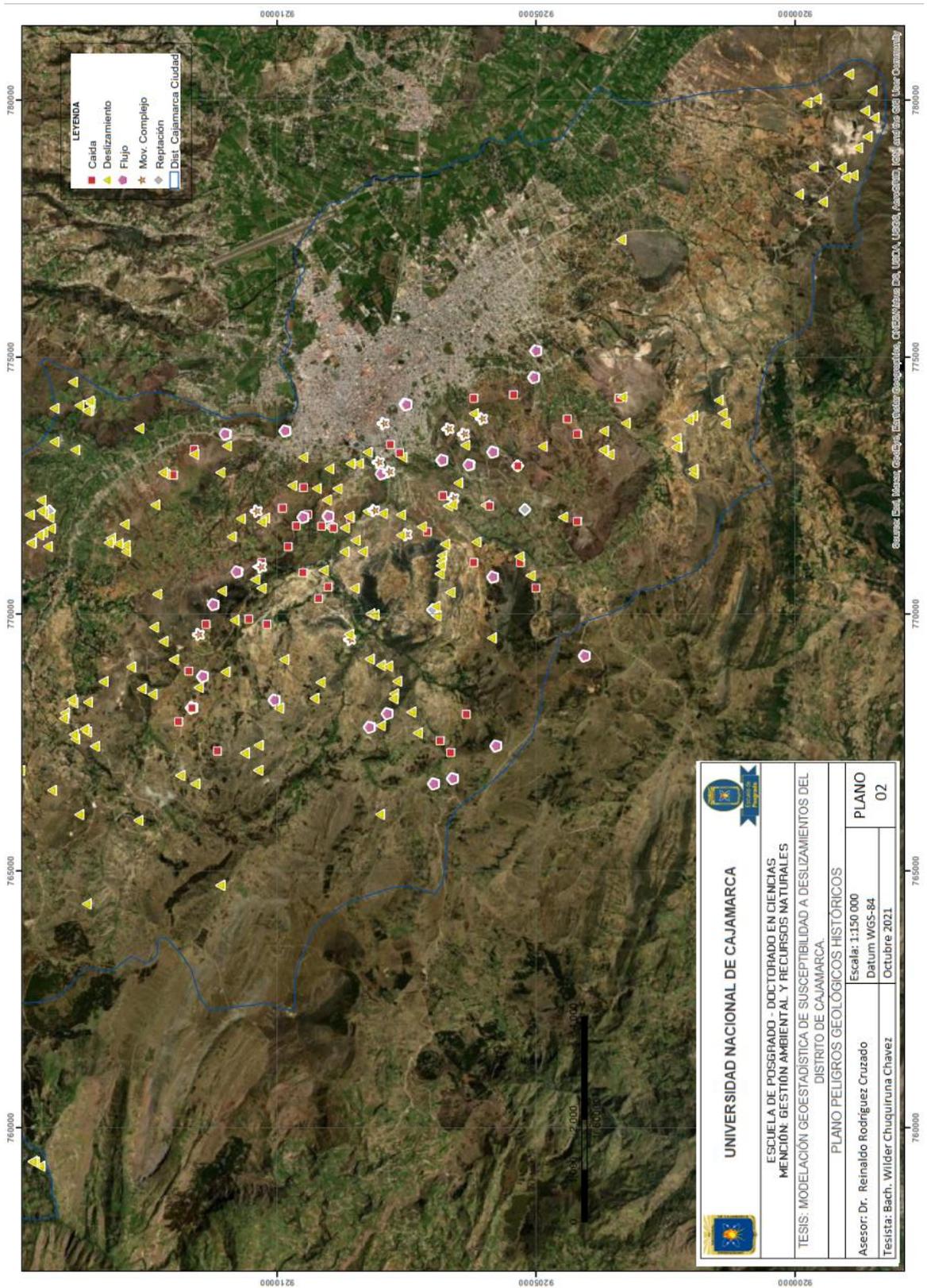
La identificación de los deslizamientos históricos es la herramienta básica para la evaluación de la susceptibilidad a través de métodos geoestadísticos. Este es la principal fuente de información con fines de calibración y validación de los resultados de los mapas de zonificación de la susceptibilidad (Aristizábal y otros, 2019).

Actualmente los métodos para el análisis de susceptibilidad están divididos en cualitativo y cuantitativo. Para el primer caso se encuentran el análisis geomorfológico y heurístico, los cuales son modelos que dependen del conocimiento del experto, para el segundo caso destacan los métodos determinísticos y modelos estadísticos, que buscan estandarizar los criterios de análisis y disminuir la profesional intervención en la elaboración del modelo (Rosa y otros, 2021). Indicar que en el trabajo de investigación se utilizó las técnicas estocásticas a la cual pertenece la geoestadística, ya que analiza y estima las variables ubicándose en el espacio o en el tiempo de una forma estructurada.

Con respecto al proceso de fotointerpretación, se enfocó verificar he identificar los procesos morfodinámicos presentes en el área de estudio activos o inactivos para lo cual se utilizó los softwares SAS.Planet. Nightly, Google Earth y World_Imagery de ESRI.

Figura 8

Inventariado de peligros geológicos



La identificación de los diferentes tipos de deslizamiento en el sur del distrito de Cajamarca se ploteo en la Figura 8, se realizó mediante levantamiento de eventos históricos, fotointerpretación y trabajo de campo posterior para verificar el inventariado de los deslizamientos. Los datos históricos de deslizamientos se descargaron de zonas críticas y peligro geológico nacional del Geocatmin (Ingemmet, 2021) así como también de las tesis de Maestría (Rodríguez, 2016) y tesis doctoral (Lagos, 2015)

4.2. Identificación de los Factores Condicionantes Relacionados a la Ocurrencia a Deslizamientos.

La identificación de los factores condicionantes a la susceptibilidad a deslizamientos, para análisis de susceptibilidad se hizo con enfoque cualitativo y cuantitativo.

En los métodos cualitativos se encuentran el análisis heurístico, estos modelos expresan alta subjetividad y dependen del conocimiento del experto. Y el método cuantitativo se encuentran determinista, geomorfológico y modelos estadísticos, estos estandarizan los criterios de análisis, para que los expertos tengan una ponderación semejante. (Rosa y otros, 2021)

Las variables se clasifican en cualitativas o categóricas y cualitativas o numéricas; las categóricas se clasifican en nominales permiten clasificar y permiten jerarquizar y las numéricas se clasifican en discretas que son números enteros y continuas que son números decimales (Bhalla , 2021).

Los factores que intervienen susceptibilidad a deslizamientos se dividen en pasivos y activos: La susceptibilidad por elementos pasivos interviene la pendiente, litología, humedad del suelo y La susceptibilidad por elementos activos intervienen intensidad sísmica e intensidad de lluvias (Quesada, Comparación de la Metodología

Mora-Vahrson y el Método Morfométrico para Determinar Áreas Susceptibles a Deslizamientos en la Microcuenca del Río Macho, Costa Rica, 2018) en el que se citó a Mora y Vahrson (1994)

Respecto a los deslizamientos debemos clasificar las variables condicionantes, conocidas como intrínsecas o de predisposición entre ellas tenemos las características internas e inherentes del terreno que favorecen la ocurrencia de deslizamientos. Por lo general estas variables no varían en el espacio y tiempo por lo que se denominan variables estáticas o cuasiestáticas. En la clasificación numérica pertenecería a variable continúa debido a que estas se pueden medir; y las variables categóricas se denotan las cualidad, característica o atributo, que permite clasificar en rangos o categorías.

Las variables numéricas continuas tenemos a variables morfométricas obtenidas a partir del DEM de donde se obtiene: pendientes, aspecto, rugosidad, curvatura, índice topográfico de humedad, índice de relieve relativo, inclinación de la ladera, distancia relativa al cauce, y distancia a fallas. Estas variables se han procesado partir de un modelo de elevación del terreno, utilizando el software Excel y ARCSIG.

En el trabajo de investigación se definió el índice de influencia o peso para cada factor en el análisis Geoestadístico utilizando la técnica de Kriging.

4.2.1. Variables Categóricas

Las variables categóricas que se consideraron para el análisis de susceptibilidad a deslizamientos.

Tabla 9

Código peligro geológico

Tipo de Peligro	Código
Reptación	1
Movimiento	2
Flujo	3
Caída	4
Deslizamiento	5

La Tabla 9 se observa la codificación de los tipos de peligros, esta codificación se realizó en base a la cantidad de datos de cada tipo de peligro con la finalidad de tener diferentes valores y se pueda realizar la comparación de estos con el valor estimado por la técnica del kriging la cual consideramos para el cálculo los factores como pendiente litología y otros.

Tabla 10*Formación geológica y valor ráster*

Formación Geológica	Tipo Roca	Código
Formación Santa		4
Formación Yumagual		4
Formación Chulec	No Clástica	4
Formación Pariatambo		4
Formación Quilquiñan/Mujarrun		4
Formación Cajamarca		4
Formación Carhuaz		3
Formación Farrat	Clástica	3
Formación Chimú		3
Volcánico Huambos	Volcánica	2
Volcánico San Pablo		2
Depósitos Fluviales		1
Depósitos Aluviales	Depósitos	1
Depósitos Lacustres		1
Formación Inca		1

Figura 9

Geología de la zona de estudio

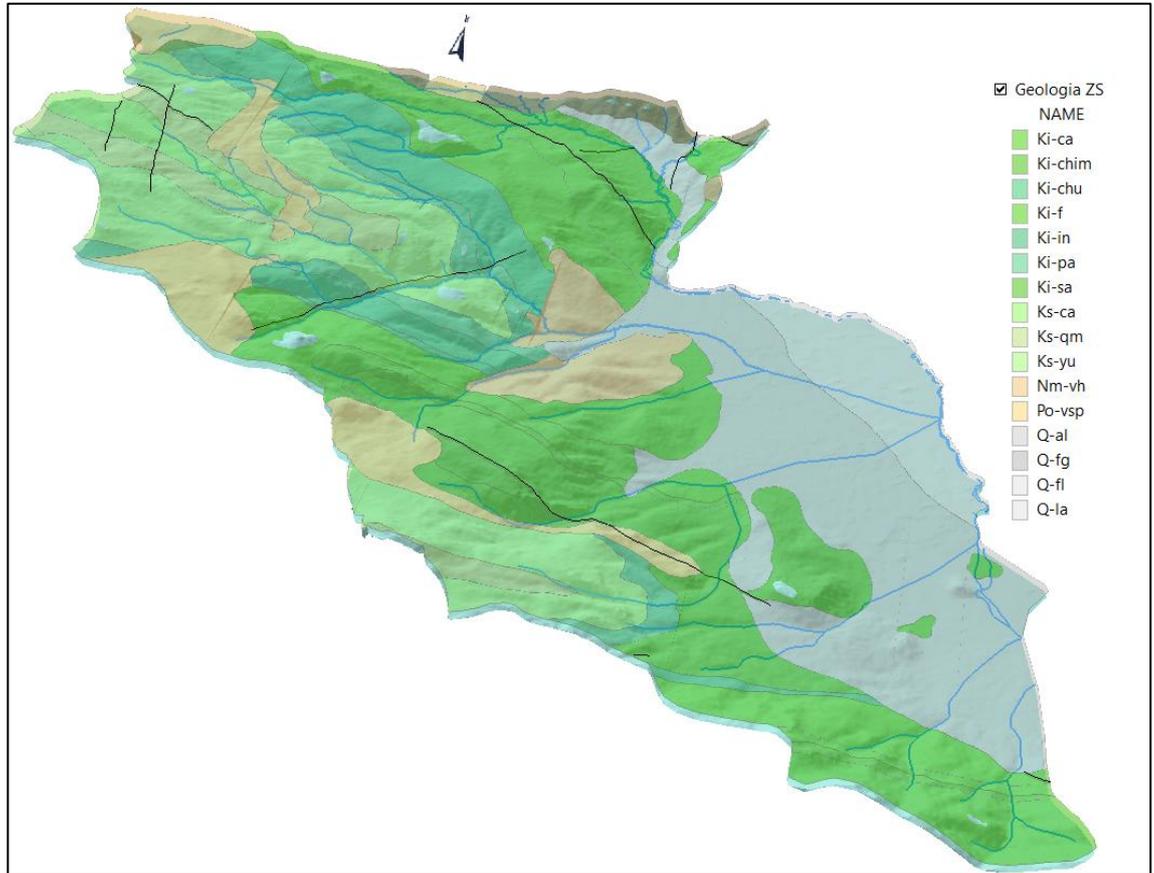
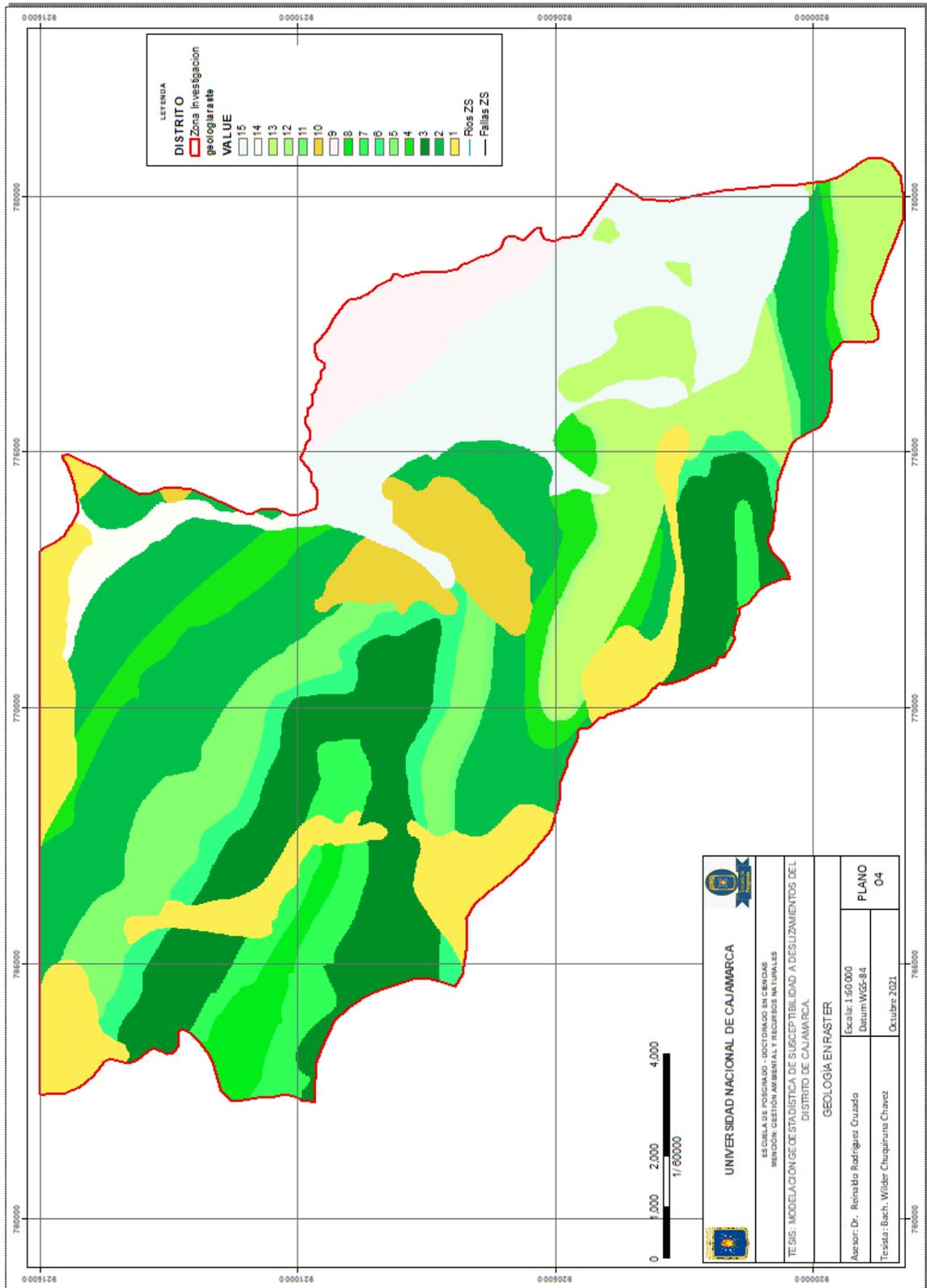


Figura 10

Geología en ráster



En la figura 10 se aprecia la geología presente en el área de investigación la cual se convirtió en una imagen ráster según la codificación de la tabla 10, Teniendo en cuenta que los valores asignados son considerando el área de incidencia, por tipo de litología y área de incidencia.

4.2.2. Variables Numéricas

Las variables numéricas se clasifican en discretas que son números enteros y continuos que son números decimales

Figura 11

Modelo digital de elevaciones

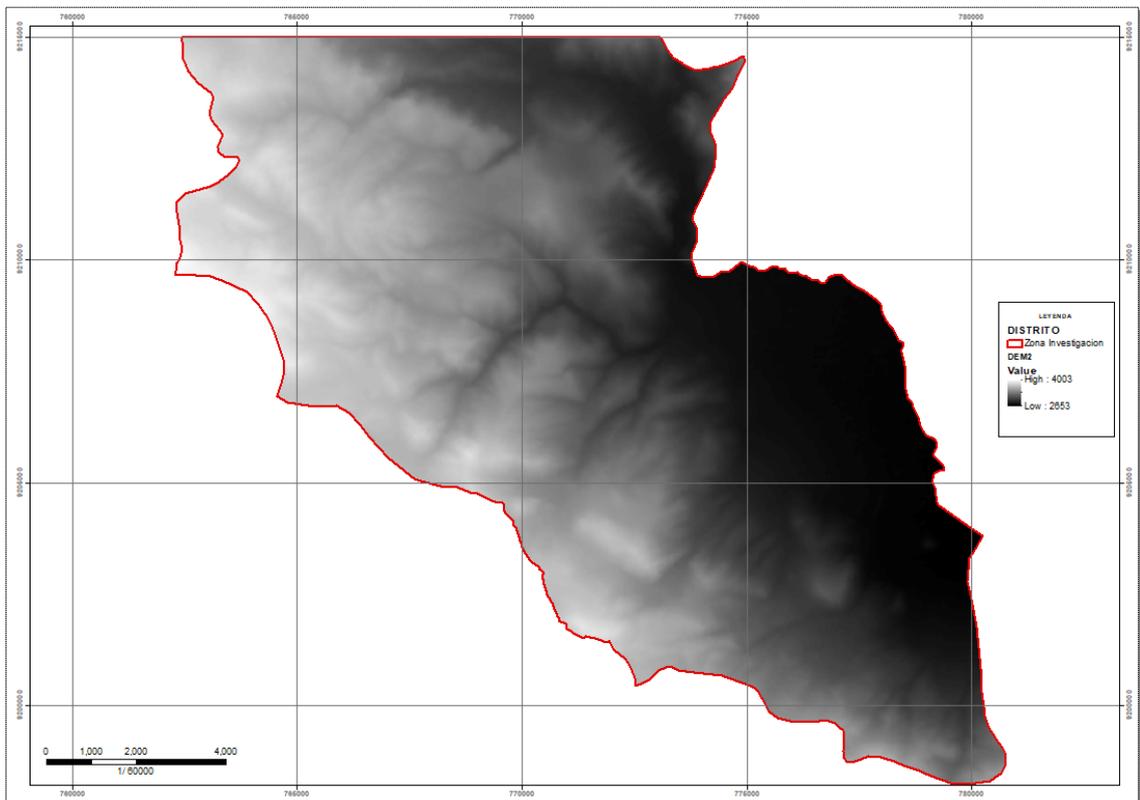


Figura 12

Plano de pendientes

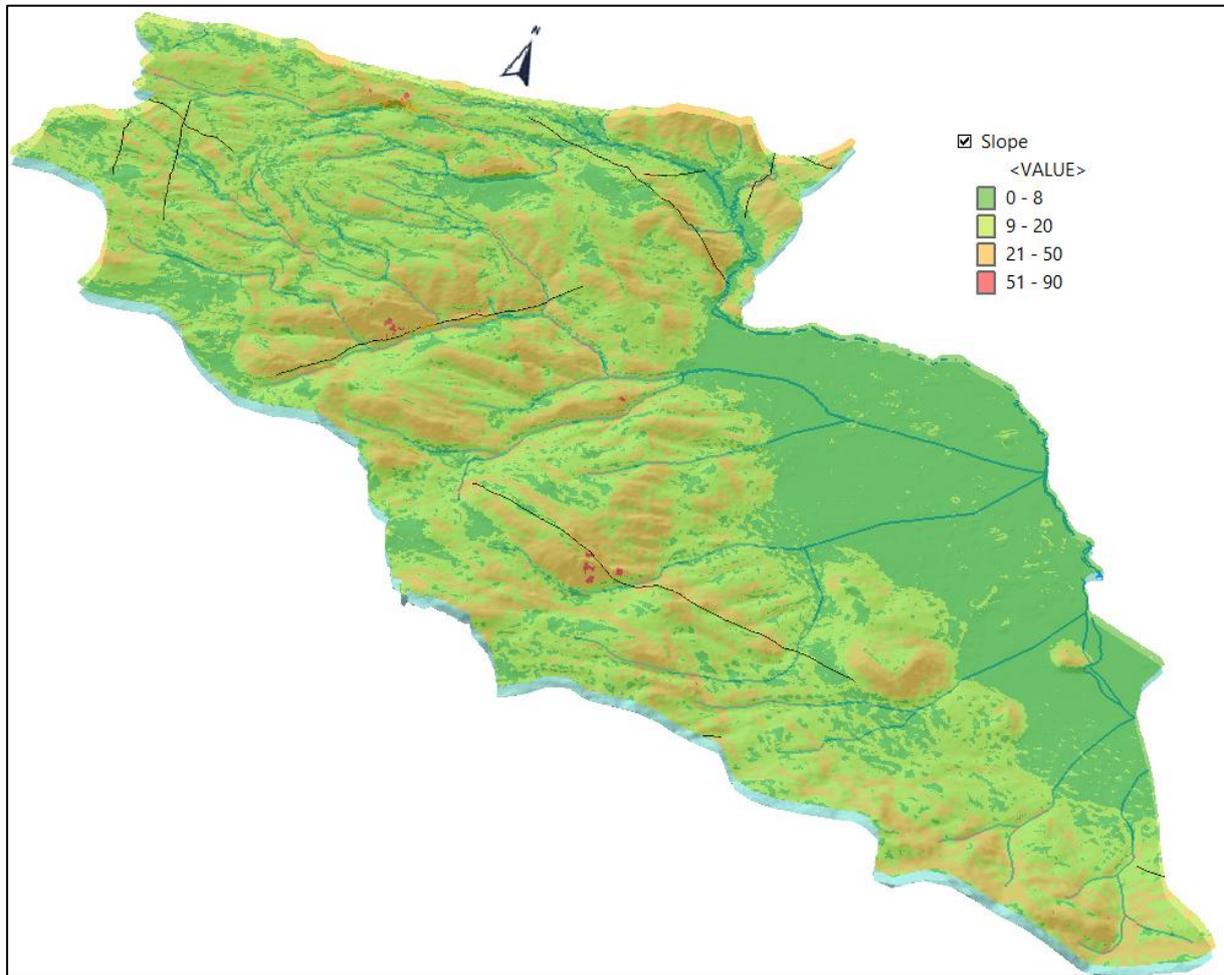


Tabla 11

Pendientes por unidades morfológicas

Unidad	Pendiente	Código
Planicies	0°-8°	2
Lomadas	8°-20°	3
Laderas	20°-50°	4
Escarpes	>50°	1

Fuente. (Rodríguez, 2016)

De la figura 13 se genera el plano, considerando la codificación que se detalla en la tabla 11, considerando las pendientes analizadas y estudiadas por el autor de la tabla 11, además cabe recalcar que la codificación de las pendientes se ha codificado dando valores de acuerdo donde se ha encontrado mayor cantidad de deslizamientos.

Tabla 12*Distancia de deslizamientos a carretera*

Dist.	Cod.
Carretera	Dist.
0-20	1
20-40	2
40-60	3
60-80	4
80-100	5
>100	0

La Distancia de deslizamientos a carretera se detalla en la tabla 12, la cual se codifico considerando la distancia que se encuentra el número de deslizamientos, es decir para los deslizamientos más distantes se codifico con el valor más alto.

Tabla 13*Distancia de deslizamientos a fallas geológicas*

Dist.	Cod.
Fallas	Dist. Falla
0-20	1
20-40	2
40-60	3
60-80	4
80-100	5
>100	0

La Distancia de deslizamientos a fallas geológicas se detalla en la tabla 13, la cual se codifico considerando la distancia que se encuentra el número de deslizamientos, es decir para los deslizamientos más distantes se codifico con el valor más alto.

4.3. Análisis Multivariable de los Factores Condicionantes en la Ocurrencia de Deslizamientos

4.3.1. Variables Codificadas.

El primer paso para el análisis multivariable, es realizar la estandarización de datos (transformación Z), los cuales están detallados en la tabla 14, para ello se

dispuso las variables peligro geológico, distancia a carretera, distancia a fallas, pendiente y geología en columnas, las cuales son X_1 , X_2 , X_3 , X_4 y X_5 respectivamente.

Tabla 14

Datos de tipos de peligros

ID	Este	Norte	Deslizamiento	Cód. Deslizamiento	Cód. Dist. Carretera	Cód. Dist Fallas	Pendiente	Geología
1	766953	9214964	Deslizamiento	5	6	0	9	3
2	771928	9214772	Deslizamiento	5	6	0	27	2
3	771377	9214746	Deslizamiento	5	6	0	10	2
4	771396	9214735	Deslizamiento	5	6	0	14	2
5	771531	9214589	Deslizamiento	5	6	0	18	2
231	773774	9202047	Deslizamiento	5	6	0	29	4
232	773853	9201964	Deslizamiento	5	6	0	35	4
233	772815	9201961	Deslizamiento	5	6	0	19	4
234	772731	9201956	Deslizamiento	5	6	0	23	4
235	774160	9201471	Deslizamiento	5	6	0	25	4
236	773905	9201401	Deslizamiento	5	6	0	23	4
237	773705	9201339	Deslizamiento	5	6	0	10	4
238	778166	9199923	Deslizamiento	5	6	0	42	3
239	779951	9199758	Deslizamiento	5	6	0	21	3
240	778695	9199636	Deslizamiento	5	6	0	19	3
241	780022	9199579	Deslizamiento	5	6	0	22	4
242	778021	9199463	Deslizamiento	5	6	0	18	4
243	778687	9199102	Deslizamiento	5	3	0	25	3
244	778492	9199019	Deslizamiento	5	6	0	32	3
245	780503	9198957	Deslizamiento	5	6	0	12	3
246	778531	9198869	Deslizamiento	5	6	0	28	3
247	779072	9198781	Deslizamiento	5	6	0	29	3
248	779794	9198643	Deslizamiento	5	6	0	36	3
249	779292	9198596	Deslizamiento	5	1	0	36	3
250	780178	9198505	Deslizamiento	5	6	0	31	3
251	779658	9198462	Deslizamiento	5	6	0	24	3

La Tabla 14 muestra los tipos de peligros y los factores intrínsecos considerados para el cálculo de estimación, además se debe tener en cuenta que a partir de la tabla 14 la línea ploma que parece dentro de la tabla es indicador de la función inmovilización de paneles del Software Excel, este ayuda a ver los encabezados y los datos iniciales y finales con el fin de mostrar la cantidad de datos que se utilizaron en la presente investigación.

Tabla 15

Estadísticos de centralidad y variabilidad

Estadística	Cód. Deslizamiento	Cód. Dist. Carretera	Cód. Dist Fallas	Pendiente	Geología
Media	4.41	5.63	0.08	19.88	3.15
Des Ets	0.99	1.02	0.57	8.85	0.87

En la tabla 15 se muestra los resultados estadísticos de centralidad y variabilidad obtenidos de los valores codificados. Siendo el parámetro pendiente el que presenta mayor variabilidad respecto a los demás parámetros.

4.3.2. Estandarización de Variables.

La estandarización de datos es importante, ya que es una forma de asegurarnos uniformidad en los datos, además organiza la información compleja y facilita el análisis.

En nuestro trabajo de investigación la estandarización de datos nos ayudó a evitar los efectos indeseables de las de las escalas diferentes.

La estandarización de los datos es el segundo paso de los 251 puntos ubicados se ha obtenido los estadísticos de centralidad y variabilidad para la estandarización de los datos Z para las variables Distancia a la carretera, distancia a las fallas, pendiente y geología.

$$z_i = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma}$$

Tabla 16*Estandarización de variables*

ID	ST. Deslizamiento	ST. Dist. Carretera	ST Dist. Falla	ST Pendiente	ST Geología
1	0.6	0.4	-0.1	-1.2	-0.2
2	0.6	0.4	-0.1	0.8	-1.3
3	0.6	0.4	-0.1	-1.1	-1.3
4	0.6	0.4	-0.1	-0.7	-1.3
233	0.6	0.4	-0.1	-0.1	1.0
234	0.6	0.4	-0.1	0.4	1.0
235	0.6	0.4	-0.1	0.6	1.0
236	0.6	0.4	-0.1	0.4	1.0
237	0.6	0.4	-0.1	-1.1	1.0
238	0.6	0.4	-0.1	2.5	-0.2
239	0.6	0.4	-0.1	0.2	-0.2
240	0.6	0.4	-0.1	-0.1	-0.2
241	0.6	0.4	-0.1	0.3	1.0
242	0.6	0.4	-0.1	-0.2	1.0
243	0.6	-2.6	-0.1	0.6	-0.2
244	0.6	0.4	-0.1	1.4	-0.2
245	0.6	0.4	-0.1	-0.9	-0.2
246	0.6	0.4	-0.1	0.9	-0.2
247	0.6	0.4	-0.1	1.0	-0.2
248	0.6	0.4	-0.1	1.8	-0.2
249	0.6	-4.6	-0.1	1.8	-0.2
250	0.6	0.4	-0.1	1.3	-0.2
251	0.6	0.4	-0.1	0.5	-0.2

En la tabla 16 se muestran los valores estandarizados, variables distancia a la carretera, distancia a las fallas, pendiente y geología. Con la finalidad de normalizar los datos y reducir la influencia de los valores atípicos.

4.3.3. Correlación de Variables.

Los métodos para analizar la asociación o correlación entre dos o más variables se usa el coeficiente de correlación Pearson y por lo general se describe el comportamiento de una de las variables, que se llama la variable dependiente (Y), y en función de la variable (X), que se llama la variable independiente o explicativa.

Tabla 17*Coefficiente correlación de variables*

	<i>ST.Deslizamiento</i>	<i>Dist. Carretera</i>	<i>Dist. Falla</i>	<i>Pendiente</i>	<i>ST Geología</i>
Cód. Deslizamiento	1	0.1	0.1	0.3	0.1
Cód. Dist. Carretera		1	-0.1	0.1	0.2
Cód. Dist. Fallas			1	0.1	-0.1
Pendiente				1	0.0
Geología					1

El tercer paso se calcula la correlación multivariable, en donde se observa el grado de asociación entre las variables. En la tabla 17 se muestra la correlación moderada entre la pendiente y los deslizamientos.

Tabla 18*Covarianza de variables*

	<i>ST.Deslizamiento</i>	<i>Dist. Carretera</i>	<i>Dist. Falla</i>	<i>ST Pendiente</i>	<i>ST Geología</i>
Cód. Deslizamiento	1	0.1	0.1	0.3	0.1
Cód. Dist. Carretera		1	-0.1	0.1	0.2
Cód. Dist. Fallas			1	0.1	-0.1
Pendiente				1	0.0
Geología					1

En la tabla 18, se muestra los resultados de covarianza, que muestra la relación entre cada una de las variables. Esta es la comprobación del análisis de correlación de resultados, debido a que muestra valores similares a los de correlación de Pearson.

4.3.4. Cálculo de los pesos de Cada Variable.

Para el cálculo de los pesos de cada variable se utilizó la técnica geoestadística de kriging este es un método espacial, el cual calcula los pesos de cada variable a partir de la conformación de la matriz de correlaciones y con ello estima los valores de cada variable en análisis. El kriging es un estimador insesgado con una varianza mínima.

Tabla 19*Conformación de matriz*

Matriz A						Matriz B	
	ST. Dist. Carretera	T Dist. Falla	T Pendiente	ST Geología		ST.Deslizamiento	
Cód. Dist. Carretera	1.0	-0.1	0.1	0.2	×	Cód. Dist. Carretera	0.10
Cód. Dist. Fallas	-0.1	1.0	0.1	-0.1		Cód. Dist. Fallas	0.08
Pendiente	0.1	0.1	1.0	0.0		Pendiente	0.25
Geología	0.2	-0.1	0.0	1.0		Geología	0.14

Tabla 20*Cálculo del inverso de la matriz A^{-1}*

	ST.Deslizamiento	Dist. Carretera	T Dist. Falla	T Pendiente	ST Geología
Cód. Deslizamiento	1	0.1	0.1	0.3	0.1
Cód. Dist. Carretera	0.10	1	-0.1	0.1	0.2
Cód. Dist. Fallas	0.08	-0.06	1	0.1	-0.1
Pendiente	0.25	0.11	0.05	1	0.0
Geología	0.14	0.19	-0.06	0.00	1

Tabla 21*Pesos de matriz $A^{-1} * B$*

	Pesos Factores
Cód. Dist. Carretera (W1)	0.05
Cód. Dist. Fallas (W2)	0.08
Pendiente (W3)	0.24
Geología (W4)	0.13

De la tabla 19 y 20, se muestra el desarrollo de la matriz para obtener los pesos de cada parámetro intrínseco de la susceptibilidad a deslizamientos, obteniendo como resultado que la pendiente y la geología son los parámetros más influyentes para la estimación de zonas de deslizamientos tal como se presenta en la tabla 21.

Varianza Kriging (VK)

El cálculo de la varianza del Kriging una unidad menos la suma de los productos de cada parámetro por el peso que intervienen en el desarrollo de un peligro geológico.

$$VK = 1 - (DC * W_1 + DF * W_2 + P * W_3 + G * W_4)$$

$$VK = 1 - (0,10 * 0,05 + 0,08 * 0,08 + 0,25 * 0,24 + 0,14 * 0,13)$$

$$VK = 0,9$$

Con el producto de los pesos de cada variable W_1, W_2, W_3 y W_4 , que se muestran en la tabla 21, estos se multiplican con cada valor estandarizado de cada variable, distancia a la carretera (X_1), distancia a la falla (X_2), pendiente (X_3) y geología (X_4), que se muestran en la tabla 21; se obtendrá el valor el estimado estandarizado V_z .

$$V_z = X_1W_1 + X_2W_2 + X_3W_3 + X_4W_4$$

Tabla 22

Valores estimados.

ID	Este	Norte	Deslizamiento	ST. Deslizamiento	ST. Dist. Carretera	ST Dist. Falla	ST Pendiente	ST Geología	Estimación Factores	Valor Estimado
1	766953	9214964	Deslizamiento	0.6	0.4	-0.1	-1.2	-0.2	-0.3	4.11
2	771928	9214772	Deslizamiento	0.6	0.4	-0.1	0.8	-1.3	0.0	4.43
3	771377	9214746	Deslizamiento	0.6	0.4	-0.1	-1.1	-1.3	-0.4	3.98
4	771396	9214735	Deslizamiento	0.6	0.4	-0.1	-0.7	-1.3	-0.3	4.07
5	771531	9214589	Deslizamiento	0.6	0.4	-0.1	-0.2	-1.3	-0.2	4.18
233	772815	9201961	Deslizamiento	0.6	0.4	-0.1	-0.1	1.0	0.1	4.52
234	772731	9201956	Deslizamiento	0.6	0.4	-0.1	0.4	1.0	0.2	4.64
235	774160	9201471	Deslizamiento	0.6	0.4	-0.1	0.6	1.0	0.3	4.69
236	773905	9201401	Deslizamiento	0.6	0.4	-0.1	0.4	1.0	0.2	4.63
237	773705	9201339	Deslizamiento	0.6	0.4	-0.1	-1.1	1.0	-0.1	4.27
238	778166	9199923	Deslizamiento	0.6	0.4	-0.1	2.5	-0.2	0.6	5.00
239	779951	9199758	Deslizamiento	0.6	0.4	-0.1	0.2	-0.2	0.0	4.43
240	778695	9199636	Deslizamiento	0.6	0.4	-0.1	-0.1	-0.2	0.0	4.37
241	780022	9199579	Deslizamiento	0.6	0.4	-0.1	0.3	1.0	0.2	4.62
242	778021	9199463	Deslizamiento	0.6	0.4	-0.1	-0.2	1.0	0.1	4.49
243	778687	9199102	Deslizamiento	0.6	-2.6	-0.1	0.6	-0.2	0.0	4.39
244	778492	9199019	Deslizamiento	0.6	0.4	-0.1	1.4	-0.2	0.3	4.72
245	780503	9198957	Deslizamiento	0.6	0.4	-0.1	-0.9	-0.2	-0.2	4.18
246	778531	9198869	Deslizamiento	0.6	0.4	-0.1	0.9	-0.2	0.2	4.61
247	779072	9198781	Deslizamiento	0.6	0.4	-0.1	1.0	-0.2	0.2	4.64
248	779794	9198643	Deslizamiento	0.6	0.4	-0.1	1.8	-0.2	0.4	4.83
249	779292	9198596	Deslizamiento	0.6	-4.6	-0.1	1.8	-0.2	0.2	4.58
250	780178	9198505	Deslizamiento	0.6	0.4	-0.1	1.3	-0.2	0.3	4.70
251	779658	9198462	Deslizamiento	0.6	0.4	-0.1	0.5	-0.2	0.1	4.51

Finalmente se realiza la transformación inversa tal como se muestra en la tabla 22, para obtener los nuevos valores de peligro geológico (PG).

$$PG = \sum_i^n V_z * Des. Esta. + Promedio$$

Los cálculos hechos de la tabla 14, el cual son los datos categóricos convertidos a numéricos con el fin de realizar los cálculos para encontrar los pesos de cada factor, para ello se estandarizó los valores y con estos valores se aplicó correlación de Pearson por ser datos aleatorios para hallar el grado de asociación entre los factores que influyen en la estimación de deslizamientos, de este análisis se obtuvo un correlación de 0.3, siendo una correlación moderada y también entre geología y distancia a las carreteras se obtuvo una correlación 0.2 siendo una baja correlación y los demás factores tendrían una interacción independiente. Con el análisis de correlación y los resultados obtenidos se procedió a conformar la matriz para el cálculo de los pesos de cada factor aplicando la técnica de Kriging, obteniendo los factores que más influyen en un deslizamiento son para la geología de 0.24, geología 0.13, fallas geológicas 0.08 y distancia a los cortes de carretera 0.05. Estos valores se podrían utilizar por los métodos que categorizan el nivel de susceptibilidad. Finalmente, con los valores calculados se estimó el nivel de susceptibilidad a deslizamientos considerando los pesos de cada factor, obteniendo un 82% de similitud entre el valor estimado y el valor real.

4.4. Análisis variografico de susceptibilidad a deslizamientos.

Con el análisis variografico se definirá el comportamiento estructural y la variabilidad espacial. A partir de los 251 datos normalizados en el subcapítulo 4.3.2.

Estandarización de variables de los parámetros considerados que influyen en la susceptibilidad a deslizamientos. Además, aclarar que las tablas siguientes se muestran los datos estandarizados utilizando el software Excel.

4.4.1. Cálculo de los Parámetros de la Variable Regionalizada.

A partir de la variable regionalizada que es cada punto a evaluar se procederá con el cálculo del variograma o semivariograma la cual es una herramienta que analiza el comportamiento espacial de una variable en área definida para la investigación, del cual se obtendrá como resultado un variograma experimental y donde se calculará hasta que distancia hay dependencia de las variables regionalizadas.

Tabla 23

Matriz de factores con valores normalizados

Id	Peligro Geológico	Este	Norte	ST. Deslizamiento	ST. Dist. Carretera	ST Dist. Falla	ST. Pendiente	ST. Geología
1	Deslizamiento	766953	9214964	0.59	0.36	-0.14	-1.19	-0.17
2	Deslizamiento	771928	9214772	0.59	0.36	-0.14	0.79	-1.32
3	Deslizamiento	771377	9214746	0.59	0.36	-0.14	-1.09	-1.32
4	Deslizamiento	771396	9214735	0.59	0.36	-0.14	-0.70	-1.32
5	Deslizamiento	771531	9214589	0.59	0.36	-0.14	-0.24	-1.32
232	Deslizamiento	773853	9201964	0.59	0.36	-0.14	1.68	0.98
233	Deslizamiento	772815	9201961	0.59	0.36	-0.14	-0.11	0.98
234	Deslizamiento	772731	9201956	0.59	0.36	-0.14	0.38	0.98
235	Deslizamiento	774160	9201471	0.59	0.36	-0.14	0.60	0.98
236	Deslizamiento	773905	9201401	0.59	0.36	-0.14	0.36	0.98
237	Deslizamiento	773705	9201339	0.59	0.36	-0.14	-1.14	0.98
238	Deslizamiento	778166	9199923	0.59	0.36	-0.14	2.54	-0.17
239	Deslizamiento	779951	9199758	0.59	0.36	-0.14	0.16	-0.17
240	Deslizamiento	778695	9199636	0.59	0.36	-0.14	-0.12	-0.17
241	Deslizamiento	780022	9199579	0.59	0.36	-0.14	0.29	0.98
242	Deslizamiento	778021	9199463	0.59	0.36	-0.14	-0.23	0.98
243	Deslizamiento	778687	9199102	0.59	-2.59	-0.14	0.60	-0.17
244	Deslizamiento	778492	9199019	0.59	0.36	-0.14	1.36	-0.17
245	Deslizamiento	780503	9198957	0.59	0.36	-0.14	-0.89	-0.17
246	Deslizamiento	778531	9198869	0.59	0.36	-0.14	0.91	-0.17
247	Deslizamiento	779072	9198781	0.59	0.36	-0.14	1.04	-0.17
248	Deslizamiento	779794	9198643	0.59	0.36	-0.14	1.83	-0.17
249	Deslizamiento	779292	9198596	0.59	-4.56	-0.14	1.80	-0.17
250	Deslizamiento	780178	9198505	0.59	0.36	-0.14	1.26	-0.17
251	Deslizamiento	779658	9198462	0.59	0.36	-0.14	0.47	-0.17

La tabla 23 muestra la variable regionalizada con los valores normalizados, en esta tabla se muestra los 5 primeros datos separados de los últimos datos por líneas plomas que son separaciones de la función inmovilización de paneles del software Excel, utilizado con el objetivo de mostrar los datos de inicio a fin, que se utilizarán para el cálculo de los variogramas.

Tabla 24*Diferencia de pares al cuadrado*

DIFERENCIA PARES AL CUADRADO				Este	766953	771928	771377	771396	771531	772211	780178	779658
				Norte	9214964	9214772	9214746	9214735	9214589	9214554	9198505	9198462
				Pel. Geológico	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59
Tipo Peligro	Este	Norte	Pel. Geológico	1	2	3	4	5	6	250	251	
Deslizamiento	766953	9214964	0,59	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Deslizamiento	771928	9214772	0,59	2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Deslizamiento	771377	9214746	0,59	3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Deslizamiento	779794	9198643	0,59	248	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Deslizamiento	779292	9198596	0,59	249	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Deslizamiento	780178	9198505	0,59	250	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Deslizamiento	779658	9198462	0,59	251	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Cálculo de Distancia.

Es el primer paso para el cálculo de las distancias con cada punto que conformara el variograma experimental, para lo cual se aplica el teorema de Pitágoras.

Tabla 25*Distancia entre puntos*

DISTANCIA				Este	766953	771928	778531	779072	779794	779292	780178	779658
				Norte	9214964	9214772	9198869	9198781	9198643	9198596	9198505	9198462
				Pel. Geológico	-0,30	0,02	0,20	0,24	0,42	0,17	0,29	0,10
Tipo Peligro	Este	Norte	Pel. Geológico	1	2	246	247	248	249	250	251	
Deslizamiento	766953	9214964	-0,30	1	0,00	4978,58	19826,66	20218,11	20767,79	20498,20	21114,61	20826,50
Deslizamiento	771928	9214772	0,02	2	4978,58	0,00	17219,01	17514,45	17945,50	17773,46	18239,91	18049,15
Deslizamiento	771377	9214746	-0,43	3	4429,25	551,62	17413,92	17722,79	18170,63	17985,29	18472,70	18268,62
Deslizamiento	771396	9214735	-0,34	4	4448,59	533,50	17396,07	17704,62	18152,07	17967,03	18453,97	18250,20
Deslizamiento	771531	9214589	-0,23	5	4593,50	436,79	17207,86	17514,80	17960,41	17776,83	18261,54	18059,15
Deslizamiento	778531	9198869	0,20	246	19826,66	17219,01	0,00	547,95	1283,65	808,75	1687,21	1198,32
Deslizamiento	779072	9198781	0,24	247	20218,11	17514,45	547,95	0,00	735,81	287,59	1140,50	667,27
Deslizamiento	779794	9198643	0,42	248	20767,79	17945,50	1283,65	735,81	0,00	504,48	407,88	226,44
Deslizamiento	779292	9198596	0,17	249	20498,20	17773,46	808,75	287,59	504,48	0,00	890,88	389,58
Deslizamiento	780178	9198505	0,29	250	21114,61	18239,91	1687,21	1140,50	407,88	890,88	0,00	522,16
Deslizamiento	779658	9198462	0,10	251	20826,50	18049,15	1198,32	667,27	226,44	389,58	522,16	0,00

En la tabla 25 se muestra el análisis de las distancias entre cada uno de los puntos, para ello se aplica la distancia entre cada uno de los puntos que entra en el radio de búsqueda.

Cálculo del Azimut.

Es el segundo paso para el cálculo de las direcciones que calculara el variograma experimental.

Tabla 26

Azimut

AZIMUTH				Este	766953	771928	771377	778531	779072	779794	779292	780178	779658
				Norte	9214964	9214772	9214746	9198869	9198781	9198643	9198596	9198505	9198462
				Pel. Geológico	-0,30	0,02	-0,43	0,20	0,24	0,42	0,17	0,29	0,10
Tipo Peligro	Este	Norte	Pel. Geológico		1	2	3	246	247	248	249	250	251
Deslizamiento	766953	9214964	-0,30	1		272,21	272,83	324,27	323,17	321,81	322,99	321,22	322,41
Deslizamiento	771928	9214772	0,02	2	92,21		87,29	337,45	335,93	334,00	335,52	333,11	334,64
Deslizamiento	771377	9214746	-0,43	3	92,83	267,29		335,74	334,27	332,40	333,89	331,55	333,05
Deslizamiento	771396	9214735	-0,34	4	92,96	266,00	120,59	335,78	334,31	332,44	333,93	331,58	333,08
Deslizamiento	771531	9214589	-0,23	5	94,68	245,26	135,44	336,00	334,50	332,61	334,11	331,74	333,26
Deslizamiento	772211	9214554	0,01	6	94,46	127,54	102,94	338,05	336,49	334,52	336,07	333,60	335,17
Deslizamiento	779072	9198781	0,24	247	143,17	155,93	154,27	99,31		280,82	309,97	284,00	298,54
Deslizamiento	779794	9198643	0,42	248	141,81	154,00	152,40	100,18	100,82		84,70	289,76	37,08
Deslizamiento	779292	9198596	0,17	249	142,99	155,52	153,89	109,76	129,97	264,70		275,88	290,13
Deslizamiento	780178	9198505	0,29	250	141,22	153,11	151,55	102,48	104,00	109,76	95,88		85,30
Deslizamiento	779658	9198462	0,10	251	142,41	154,64	153,05	109,88	118,54	217,08	110,13	265,30	

Cálculo de la distancia al este.

El tercer paso para el cálculo de las distancias al este con lo que se calculara el variograma experimental.

Tabla 27

Distancia en el este

dx				Este	766953	771928	771377	779794	779292	780178	779658
				Norte	9214964	9214772	9214746	9198643	9198596	9198505	9198462
				Pel. Geológico	-0,30	0,02	-0,43	0,42	0,17	0,29	0,10
Tipo Peligro	Este	Norte	Pel. Geológico		1	2	3	248	249	250	251
Deslizamiento	766953	9214964	-0,30	1	0,00	-4974,86	-4423,86	-12841,33	-12339,01	-13225,20	-12704,80
Deslizamiento	771928	9214772	0,02	2	4974,86	0,00	551,01	-7866,47	-7364,15	-8250,34	-7729,94
Deslizamiento	771377	9214746	-0,43	3	4423,86	-551,01	0,00	-8417,48	-7915,16	-8801,35	-8280,94
Deslizamiento	771396	9214735	-0,34	4	4442,66	-532,20	18,80	-8398,67	-7896,35	-8782,54	-8262,14
Deslizamiento	780503	9198957	-0,23	245	13550,30	8575,44	9126,44	708,97	1211,29	325,10	845,50
Deslizamiento	778531	9198869	0,20	246	11577,87	6603,01	7154,02	-1263,46	-761,14	-1647,33	-1126,93
Deslizamiento	779072	9198781	0,24	247	12118,60	7143,74	7694,75	-722,73	-220,41	-1106,60	-586,20
Deslizamiento	779794	9198643	0,42	248	12841,33	7866,47	8417,48	0,00	502,32	-383,87	136,53
Deslizamiento	779292	9198596	0,17	249	12339,01	7364,15	7915,16	-502,32	0,00	-886,19	-365,79
Deslizamiento	780178	9198505	0,29	250	13225,20	8250,34	8801,35	383,87	886,19	0,00	520,40
Deslizamiento	779658	9198462	0,10	251	12704,80	7729,94	8280,94	-136,53	365,79	-520,40	0,00

Cálculo de la distancia al norte.

El cuarto paso para el cálculo de las distancias al norte con lo que se calculara el variograma experimental.

Tabla 28

Distancia al norte

dy				Este	766953	771928	779794	779292	780178	779658
				Norte	9214964	9214772	9198643	9198596	9198505	9198462
				Pel. Geológico	-0,30	0,02	0,42	0,17	0,29	0,10
Tipo Peligro	Este	Norte	Pel. Geológico		1	2	248	249	250	251
Deslizamiento	766953	9214964	-0,30	1	0,00	192,34	16321,81	16368,41	16459,67	16502,46
Deslizamiento	771928	9214772	0,02	2	-192,34	0,00	16129,47	16176,07	16267,33	16310,12
Deslizamiento	771377	9214746	-0,43	3	-218,46	-26,12	16103,35	16149,95	16241,21	16284,00
Deslizamiento	779072	9198781	0,24	247	-16183,68	-15991,33	138,13	184,73	276,00	318,78
Deslizamiento	779794	9198643	0,42	248	-16321,81	-16129,47	0,00	46,60	137,86	180,65
Deslizamiento	779292	9198596	0,17	249	-16368,41	-16176,07	-46,60	0,00	91,26	134,05
Deslizamiento	780178	9198505	0,29	250	-16459,67	-16267,33	-137,86	-91,26	0,00	42,78
Deslizamiento	779658	9198462	0,10	251	-16502,46	-16310,12	-180,65	-134,05	-42,78	0,00

Cálculo de los ángulos.

El quinto paso se realizó el cálculo de las direcciones en que se realizara el cálculo de los variogramas experimentales.

Tabla 29

Ángulos entre 0 y 180

dx>0				0	0	0	0	0	0	0	0	
				Este	766953	771928	778531	779072	779794	779292	780178	779658
				Norte	9214964	9214772	9198869	9198781	9198643	9198596	9198505	9198462
				Pel. Geológico	-0,30	0,02	0,20	0,24	0,42	0,17	0,29	0,10
Tipo Peligro	Este	Norte	Pel. Geológico		1	2	246	247	248	249	250	251
Deslizamiento	766953	9214964	-0,30	1	92,21	144,27	143,17	141,81	142,99	141,22	142,41	
Deslizamiento	771928	9214772	0,02	2	92,21	157,45	155,93	154,00	155,52	153,11	154,64	
Deslizamiento	771377	9214746	-0,43	3	92,83	87,29	155,74	154,27	152,40	153,89	151,55	153,05
Deslizamiento	771396	9214735	-0,34	4	92,96	86,00	155,78	154,31	152,44	153,93	151,58	153,08
Deslizamiento	771531	9214589	-0,23	5	94,68	65,26	156,00	154,50	152,61	154,11	151,74	153,26
Deslizamiento	778531	9198869	0,20	246	144,27	157,45	99,31	100,18	109,76	102,48	109,88	
Deslizamiento	779072	9198781	0,24	247	143,17	155,93	99,31	100,82	129,97	104,00	118,54	
Deslizamiento	779794	9198643	0,42	248	141,81	154,00	100,18	100,82	84,70	109,76	37,08	
Deslizamiento	779292	9198596	0,17	249	142,99	155,52	109,76	129,97	84,70	95,88	110,13	
Deslizamiento	780178	9198505	0,29	250	141,22	153,11	102,48	104,00	109,76	95,88	85,30	
Deslizamiento	779658	9198462	0,10	251	142,41	154,64	109,88	118,54	37,08	110,13	85,30	

Tabla 30*Ángulos entro 180 y 360*

dx<0				Este	766953	771928	779794	779292	780178	779658
				Norte	9214964	9214772	9198643	9198596	9198505	9198462
				Pel. Geológico	-0,30	0,02	0,42	0,17	0,29	0,10
Tipo Peligro	Este	Norte	Pel. Geológico		1	2	248	249	250	251
Deslizamiento	766953	9214964	-0,30	1	272,21	321,81	322,99	321,22	322,41	
Deslizamiento	771928	9214772	0,02	2	272,21	334,00	335,52	333,11	334,64	
Deslizamiento	771377	9214746	-0,43	3	272,83	267,29	332,40	333,89	331,55	333,05
Deslizamiento	771396	9214735	-0,34	4	272,96	266,00	332,44	333,93	331,58	333,08
Deslizamiento	779072	9198781	0,24	247	323,17	335,93	280,82	309,97	284,00	298,54
Deslizamiento	779794	9198643	0,42	248	321,81	334,00		264,70	289,76	217,08
Deslizamiento	779292	9198596	0,17	249	322,99	335,52	264,70		275,88	290,13
Deslizamiento	780178	9198505	0,29	250	321,22	333,11	289,76	275,88		265,30
Deslizamiento	779658	9198462	0,10	251	322,41	334,64	217,08	290,13	265,30	

En la tabla 24, 25 y 26 se muestra el análisis de las distancias entre cada uno de los puntos, para ello se aplica la distancia entre cada uno de los puntos que entra en el radio de búsqueda. Para definir la tolerancia angular, es que se realizan los cálculos que se muestran en las tablas 29 y 30, además que con las distancias de las tablas 26 se definen el ancho de banda y además para intervalo de tolerancia que es el 50% del del intervalo. Estos cálculos son los parámetros de búsqueda para el cálculo del variograma y definir el comportamiento estructural, para la zona de investigación se definió 5 direcciones que se calculan en los siguientes ítems.

4.4.2. Parámetros del Variograma Experimental.

Tabla 31*Elementos del variograma*

Parametro	Direcciones				
	Dir1	Dir2	Dir3	Dir4	Dir5
Azimut (°)	0	90	45	135	70
Tolerancia Angular	45	45	45	45	45
Lag Distancia	250				
Lag Tolerancia	125				
Max distancia	25,000				

La tabla 31 muestra las direcciones en que se realizaron los variogramas para definir la dirección del comportamiento estructural y al modelo variográfico teórico que tiene la zona de investigación.

4.4.3. Cálculo de los Variogramas.

Este ítem se ha calculado los parámetros de los variogramas y las figuras de los variogramas experimentales en las direcciones 0°, 45°, 90°, 135° y 70°.

Tabla 32

Variograma en 0°

Lag	0	1	25	26	27	28	29	30
Distancia (h)	0	250	6250	6500	6750	7000	7250	7500
Distancia	0	250	6250	6500	6750	7000	7250	7500
SumCuadrados	0,90	6,87	114,16	97,27	88,15	78,23	79,09	90,38
Npair	23	79	584	445	436	437	457	482
Gamma(h) Dir1-0°	0,02	0,04	0,10	0,11	0,10	0,09	0,09	0,09
Peso Dir1	0,17	0,19	0,28	0,29	0,30	0,32	0,30	0,33
Sill	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09

Figura 13

Variograma experimental a 0°

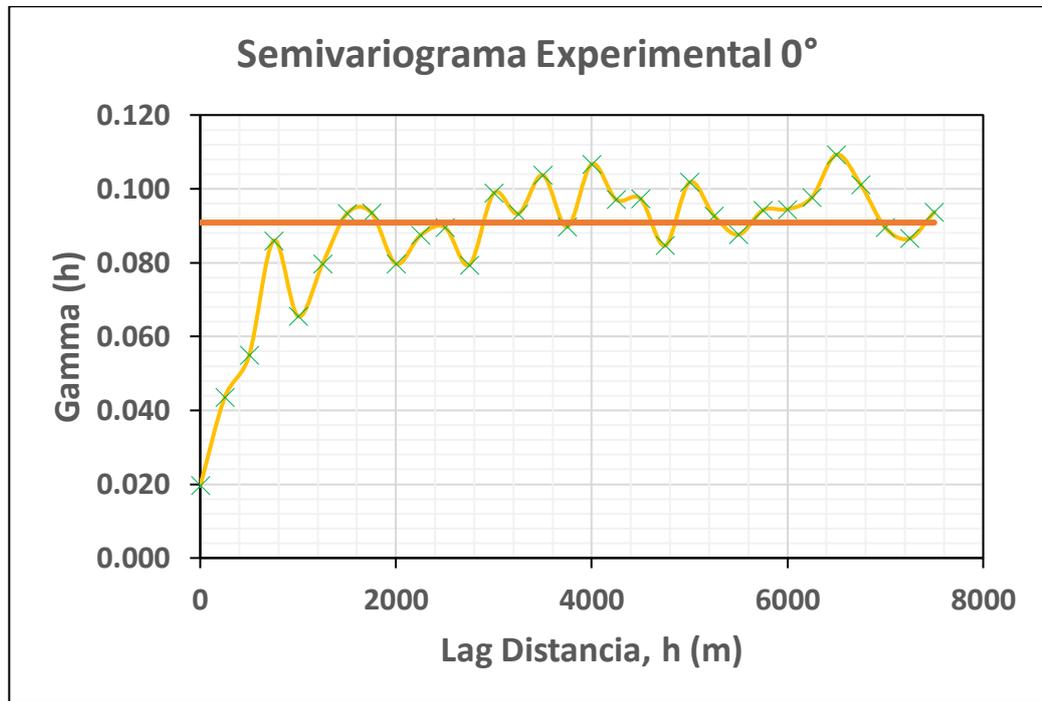


Tabla 33

Variograma 90°

Lag	0	1	25	26	27	28	29	30
Distancia (h)	0	250	6250	6500	6750	7000	7250	7500
Distancia	0	250	6250	6500	6750	7000	7250	7500
SumCuadrados	0,89	5,97	51,64	41,38	41,56	37,12	37,41	25,75
Npair	30	88	323	244	219	185	230	185
Gamma(h) Dir2-90°	0,01	0,03	0,08	0,08	0,09	0,10	0,08	0,07
Peso Dir2	0,22	0,21	0,16	0,16	0,15	0,14	0,15	0,13
Sill	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09

Figura 14

Variograma experimental a 90°

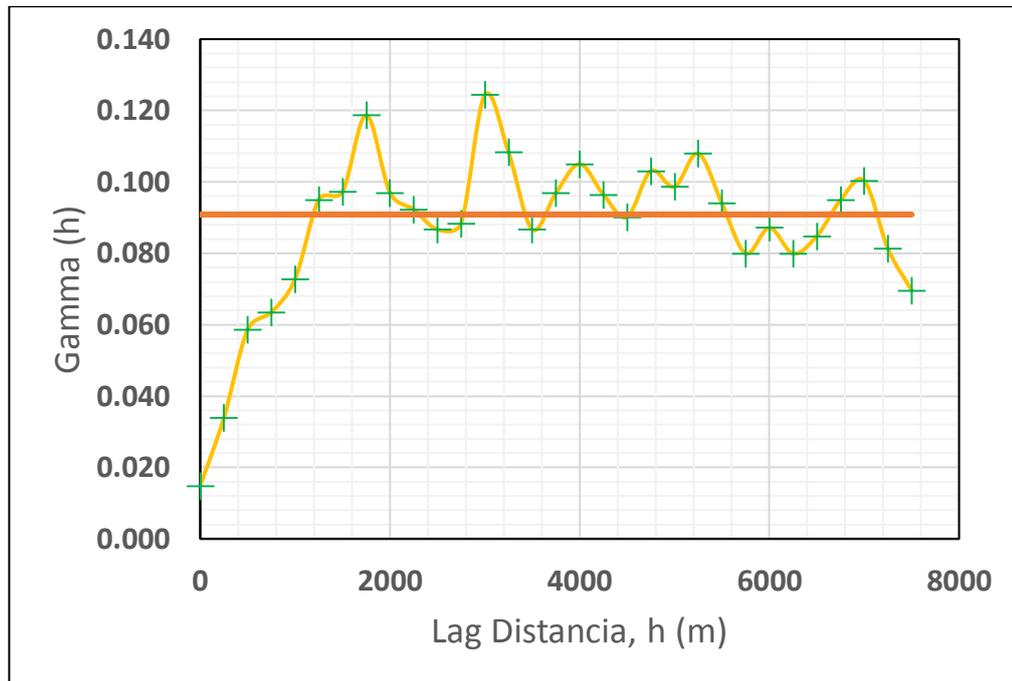


Tabla 34

Variograma 45°

Lag	0	1	25	26	27	28	29	30
Distancia (h)	0	250	6250	6500	6750	7000	7250	7500
Distancia	0	250	6250	6500	6750	7000	7250	7500
SumCuadrados	0,57	8,60	62,47	49,82	40,62	31,28	29,38	40,95
Npair	29	90	300	198	168	162	178	230
Gamma(h) Dir3-45*	0,01	0,05	0,10	0,13	0,12	0,10	0,08	0,09
Peso Dir3	0,21	0,21	0,14	0,13	0,12	0,12	0,12	0,16
Sill	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09

Figura 15

Variograma experimental a 45°

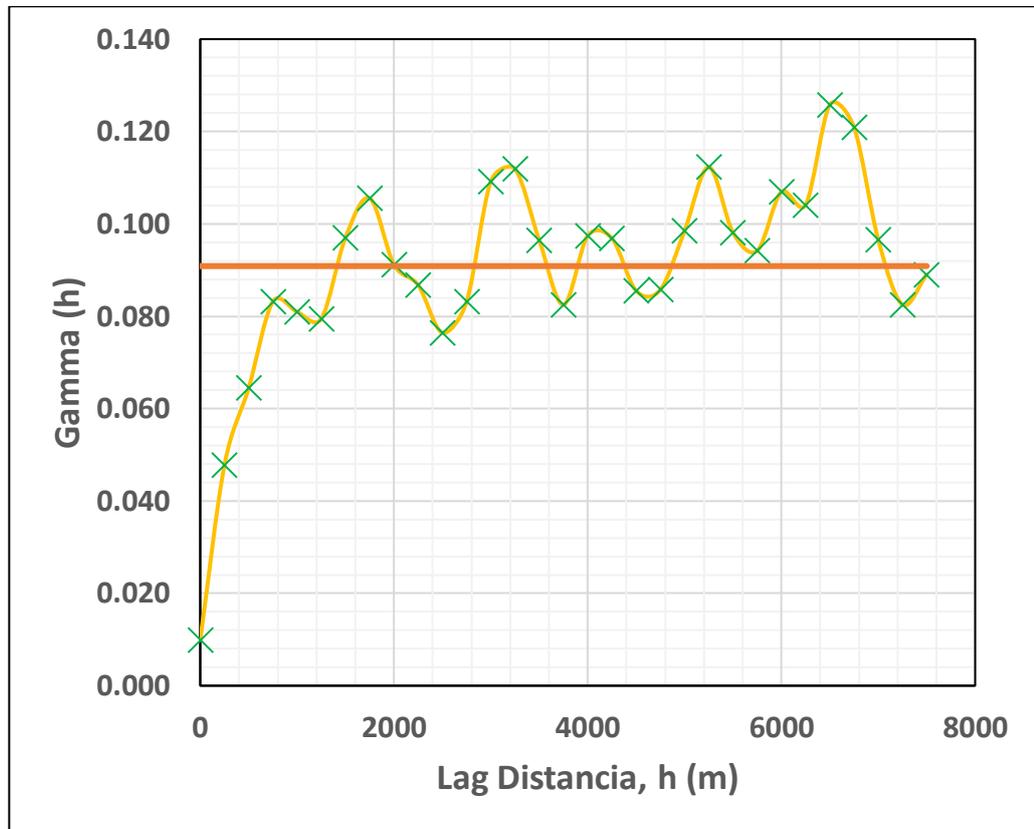


Tabla 35

Variograma 135°

Lag	0	1	25	26	27	28	29	30
Distancia (h)	0	250	6250	6500	6750	7000	7250	7500
Distancia	0	250	6250	6500	6750	7000	7250	7500
SumCuadrados	1,22	4,25	103,33	88,83	89,09	84,07	87,12	75,18
Npair	24,0	77,0	607,0	491,0	487,0	460,0	509,0	437,0
Gamma(h) Dir4-135°	0,03	0,03	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
Peso Dir4	0,18	0,18	0,29	0,32	0,34	0,34	0,34	0,30
Sill	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09

Figura 16

Variograma experimental a 135°

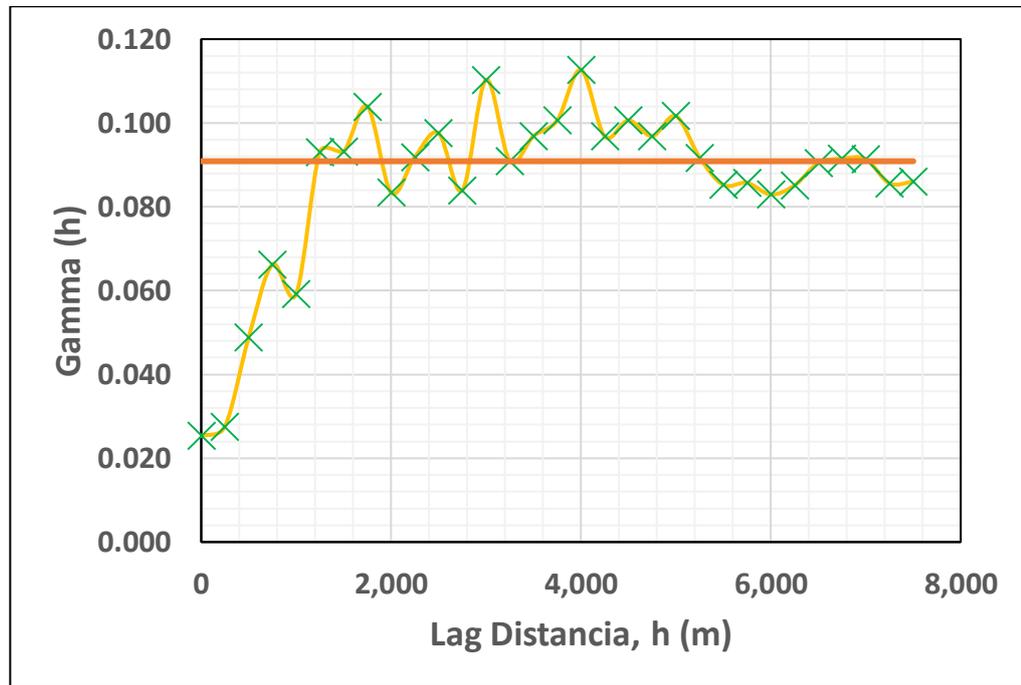


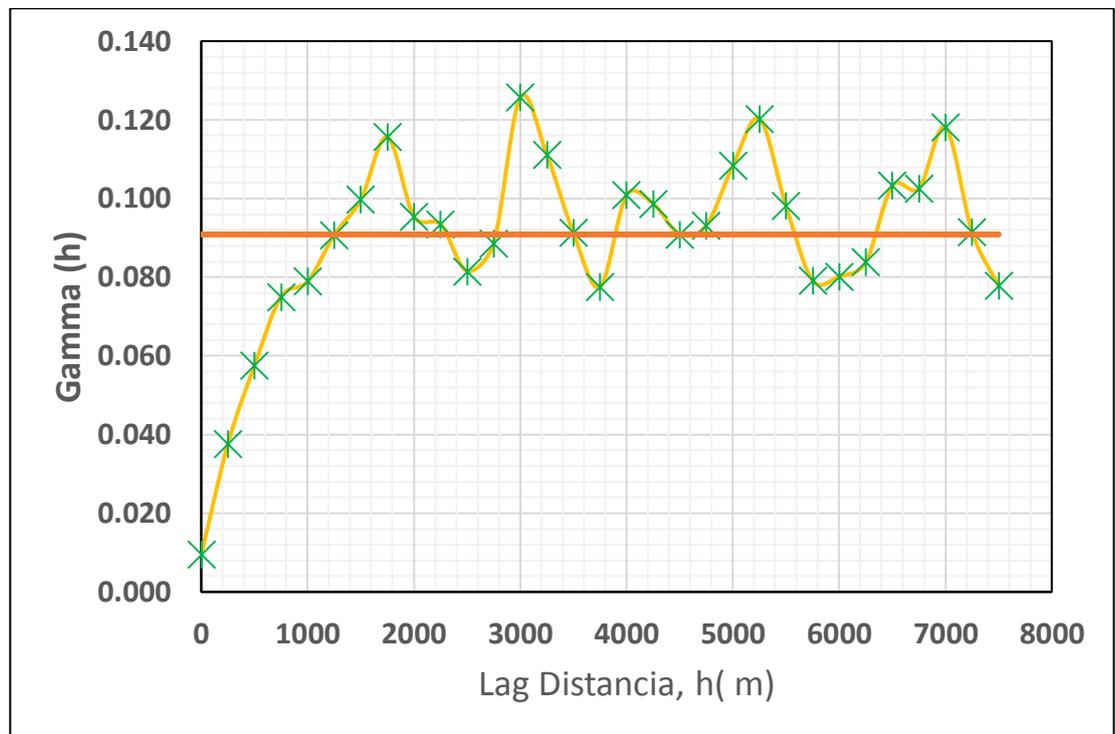
Tabla 36

Variograma 70°

Lag	0	1	25	26	27	28	29	30
Distancia [h]	0	250	6250	6500	6750	7000	7250	7500
Distancia	0	250	6250	6500	6750	7000	7250	7500
SumCuadrados	0,59	6,68	44,58	30,57	28,90	27,63	24,70	22,72
Npair	31	89	266	148	141	117	135	146
Gamma(h) Dir5-70*	0,009	0,038	0,084	0,103	0,102	0,118	0,091	0,078
Peso Dir5	0,23	0,21	0,13	0,10	0,10	0,09	0,09	0,10
Sill	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09

Figura 17

Variograma experimental a 70°



Las Tablas 32 a la 36 muestran el cálculo de los variogramas considerando hasta 30 lag. Con los cálculos de los variogramas de a podido obtener las gráficas desde la figura 14 hasta figura 18 en las direcciones 0°, 45°, 90°, 135° y 70° respectivamente, por lo tanto, del análisis de cada parámetro variografico en las direcciones analizadas se calcula una meseta parcial promedio de (c) 0.07 y un rango o alcance (r o a) promedio de 1440 m, de ello se puede concluir que presenta una anisotropía geométrica, debido a que el mayor cambio observa en el rango que varía de 1000 m a 2000 m. Sin dejar de mencionar que presenta el menor efecto pepita en la dirección de 70°.

4.4.4. Cálculo de los Variogramas Experimentales y Modelo de Variograma Teórico.

Este ítem se ha ajustado los variogramas experimentales a variogramas teóricos en las direcciones 0°, 45°, 90°, 135° y 70°.

Tabla 37

Variograma experimental vs modelo teórico en 0°

Dir1-0	C	Tipo	r ó a
0	0,02	Nugget	
1	0,07	Sph	2,000
		Gaus	
		Exp	

Figura 18

Variograma experimental y modelo esférico a 0°

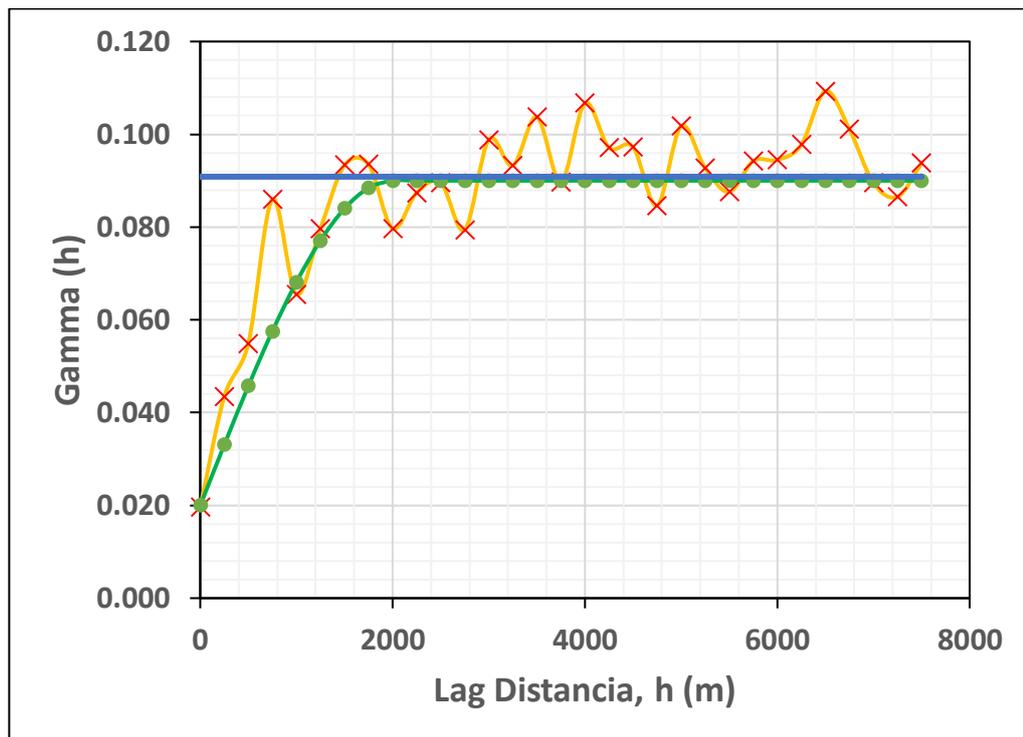


Figura 19

Variograma experimental y modelo gaussiano a 0°

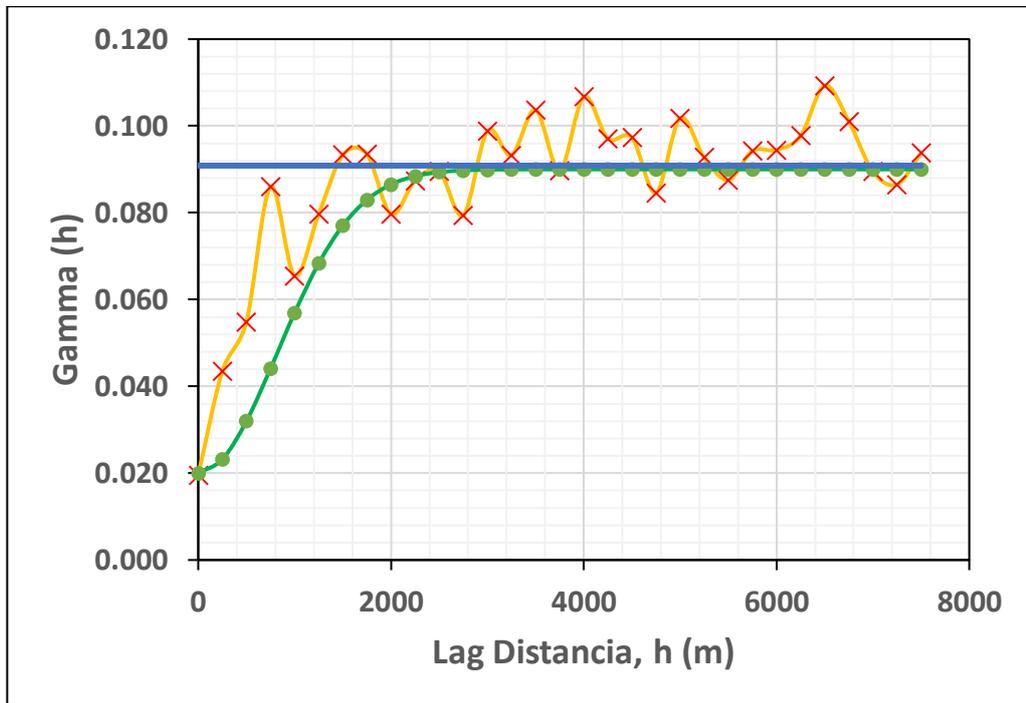


Figura 20

Variograma experimental y modelo exponencial a 0°

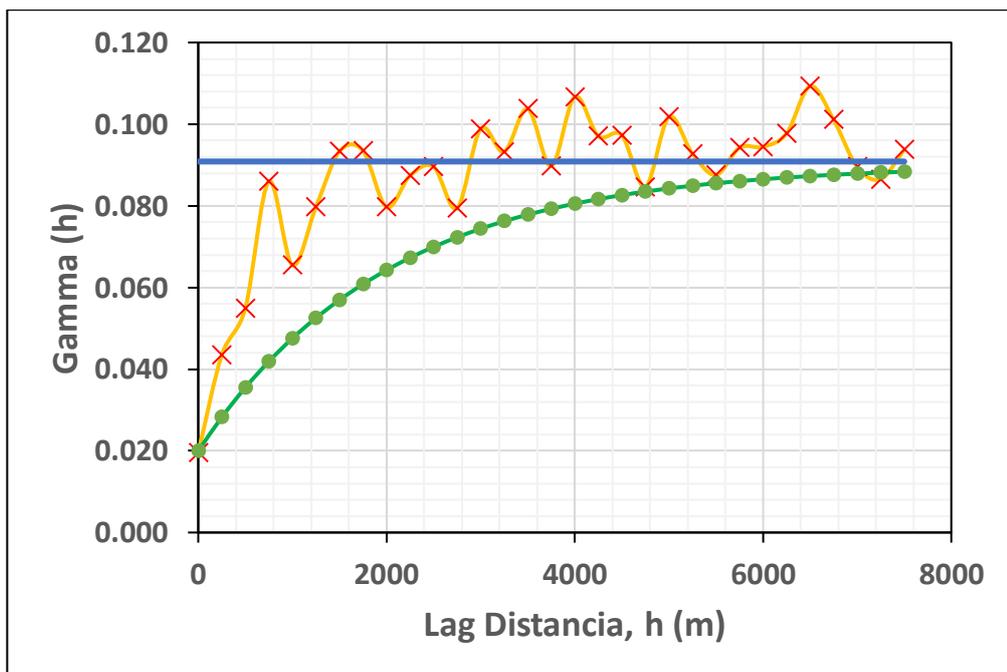


Tabla 38

Variograma experimental vs modelo teórico en 90°

Dir2-90			
Estructura	C	Tipo	r ó a
0	0,0150	Nugget	
		Sph	
1	0,0750	Gaus	1,000
		Exp	

Figura 21

Variograma experimental y modelo esférico a 90°

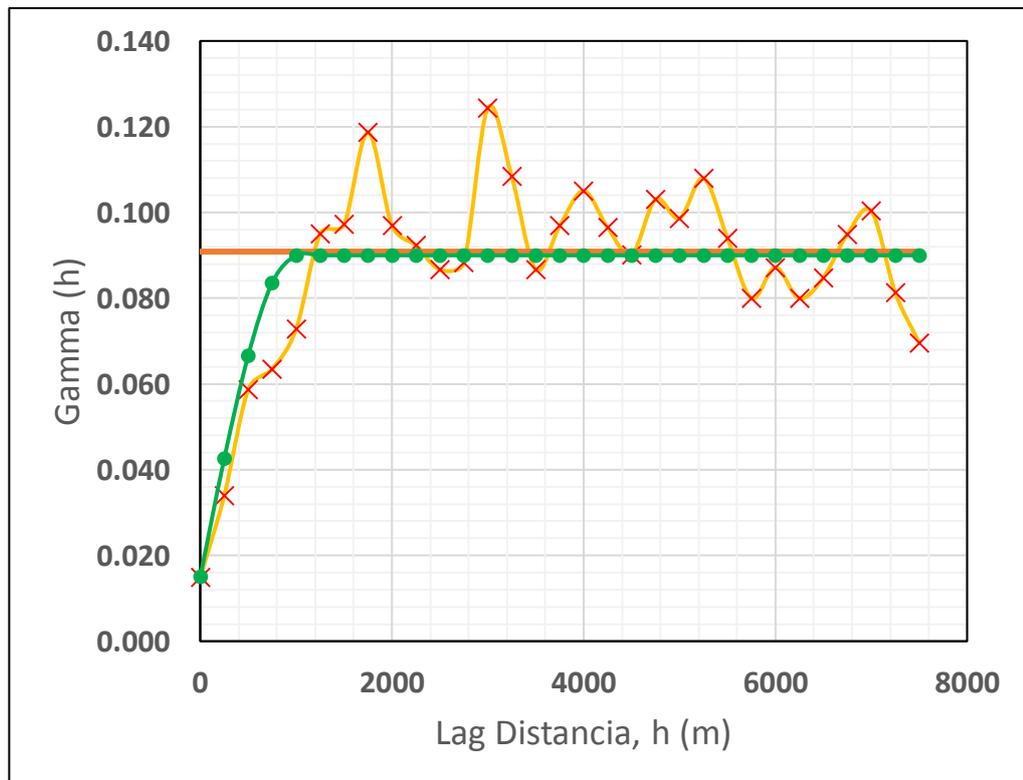


Figura 22

Variograma experimental y modelo gaussiano a 90°

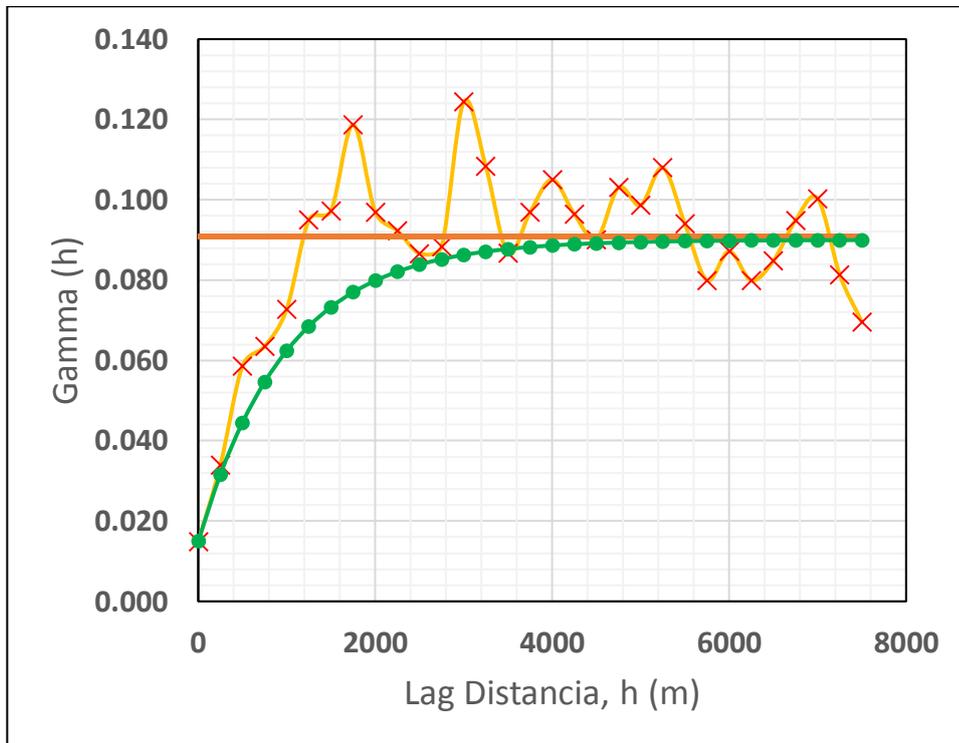


Figura 23

Variograma experimental y modelo exponencial a 90°

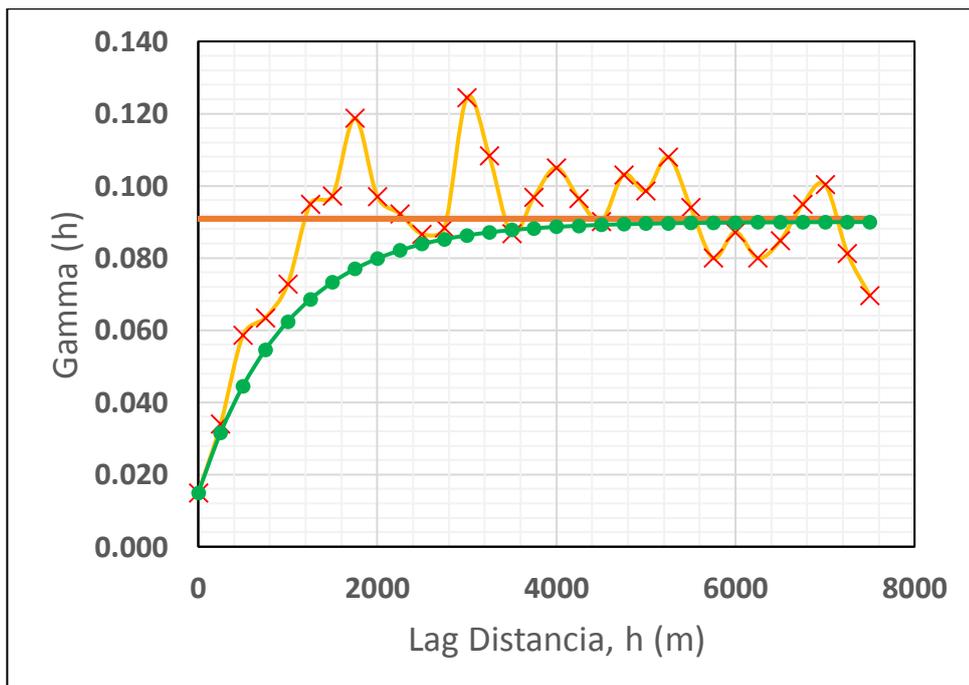


Tabla 39

Variograma experimental vs modelo teórico en 45°

Dir3-45	C	Tipo	ro a
0	0,0100	Nugget	
		Sph	
1	0,0800	Gaus	1,200
		Exp	

Figura 24

Variograma experimental y modelo esférico a 45°

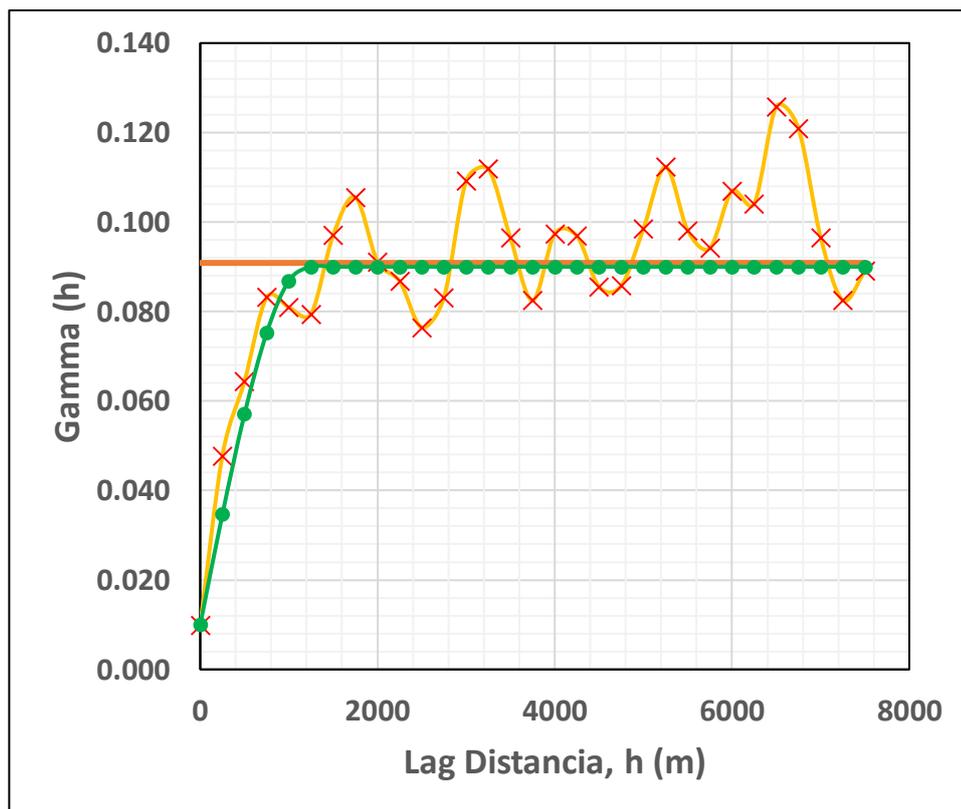


Figura 25

Variograma experimental y modelo gaussiano a 45°

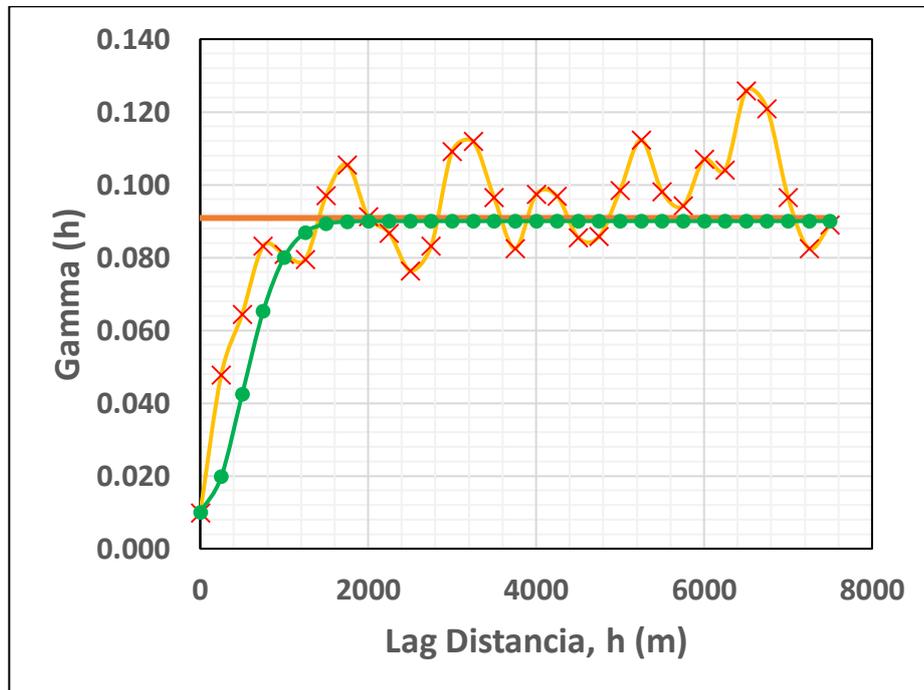


Figura 26

Variograma experimental y modelo exponencial a 45°

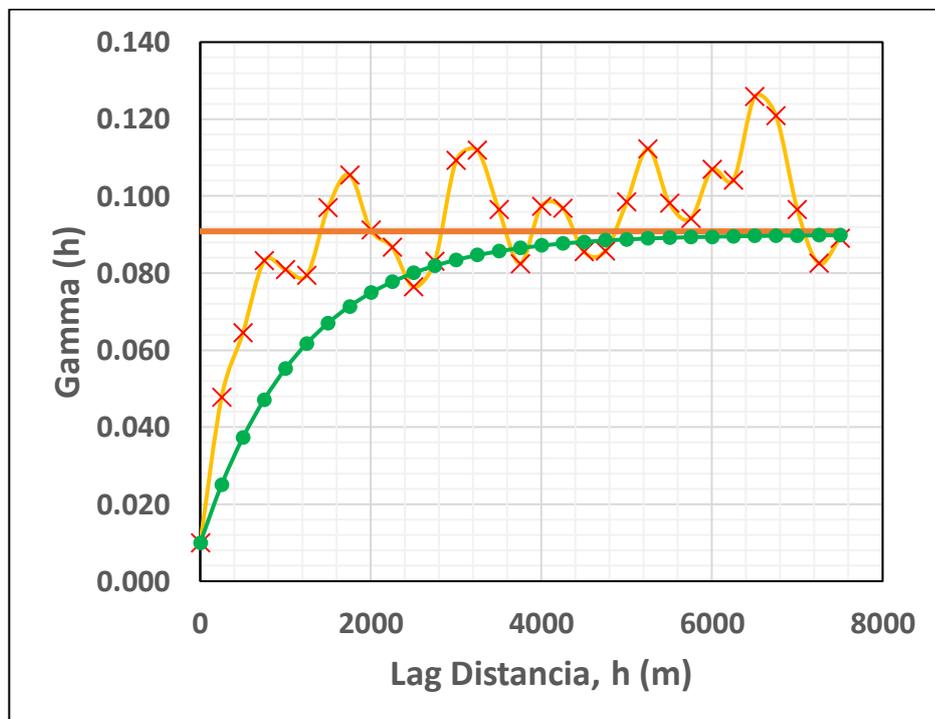


Tabla 40

Variograma experimental vs modelo teórico en 135°

Dir4-135			
Estructura	C	Tipo	r ó a
0	0.025	Nugget	
1	0.065	Sph	1,800
		Gaus	
		Exp	

Figura 27

Variograma experimental y modelo esférico a 135°

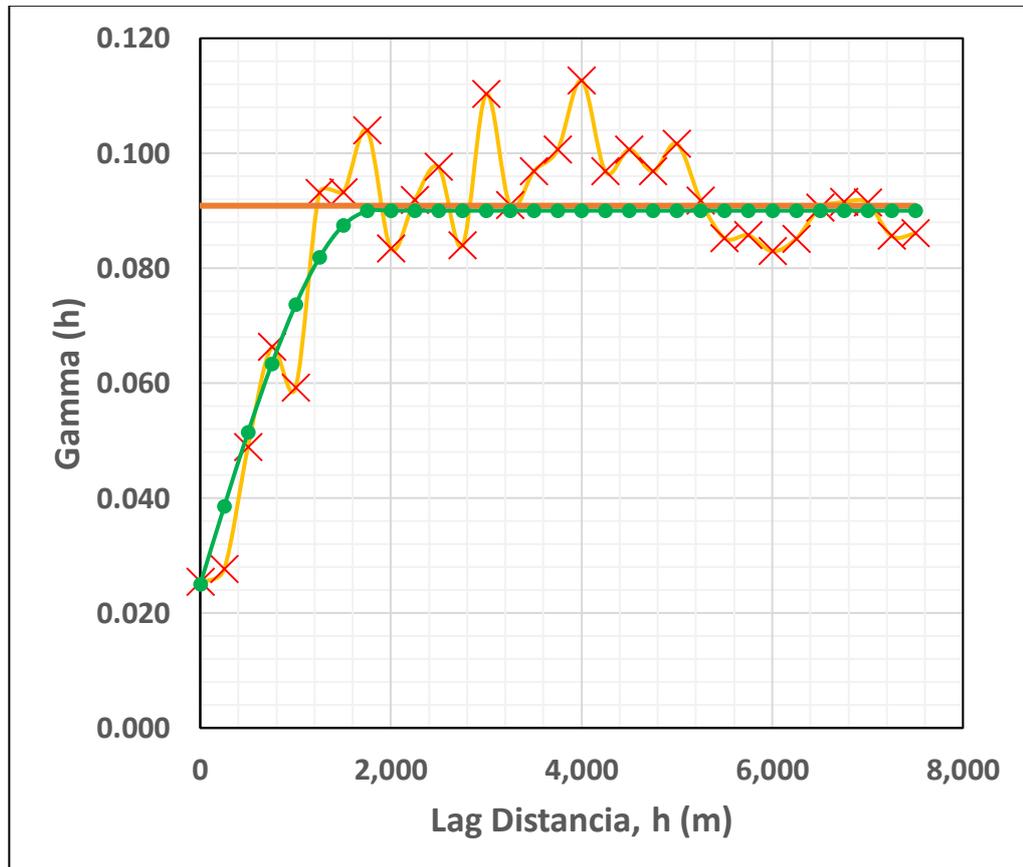


Figura 28

Variograma experimental y modelo gaussiano a 135°

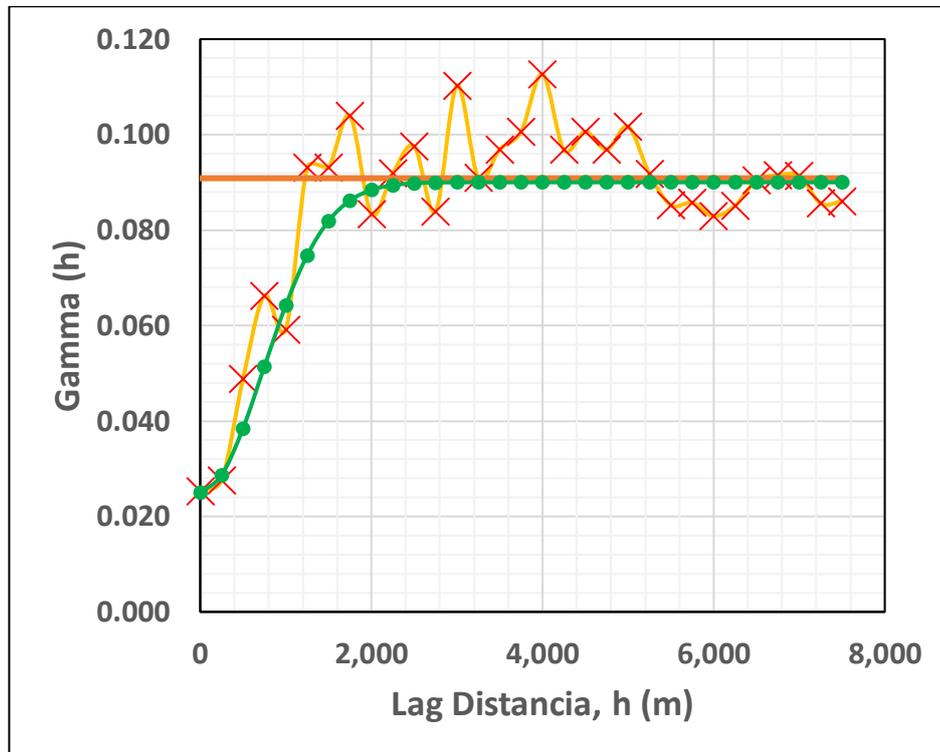


Figura 29

Variograma experimental y modelo exponencial a 135°

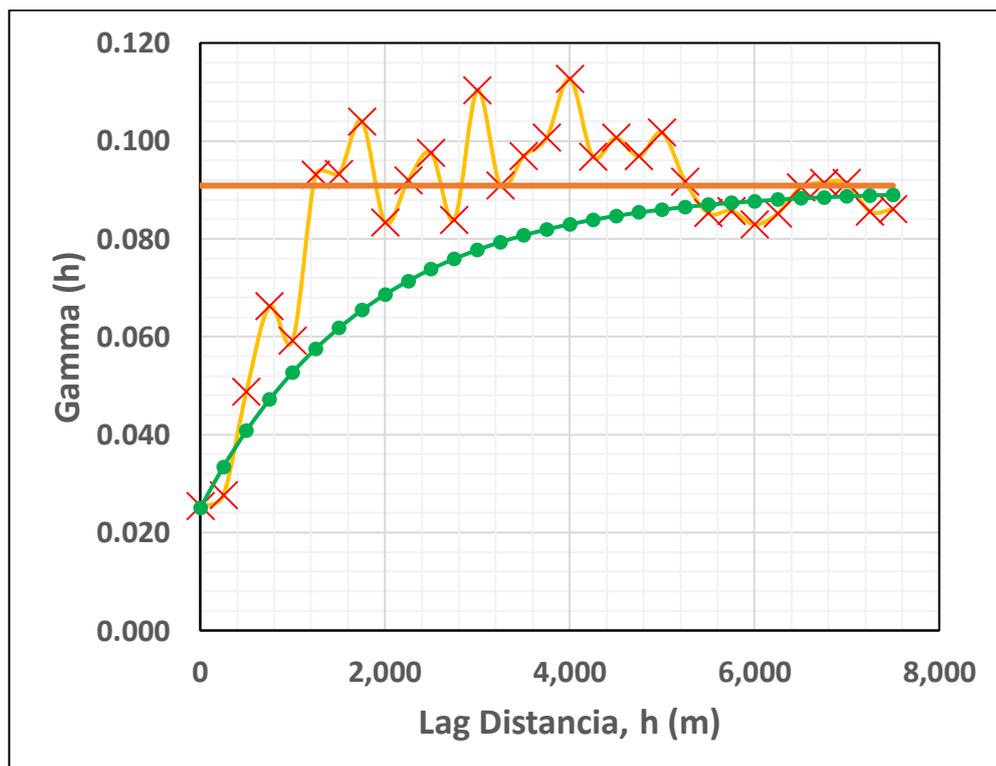


Tabla 41

Variograma experimental vs modelo teórico en 70°

Dir5-70			
Estructura	C	Tipo	r ó a
0	0.009	Nugget	
1	0.0081	Sph	1,200
		Gaus	
		Exp	

Figura 30

Variograma experimental y modelo esférico a 70°

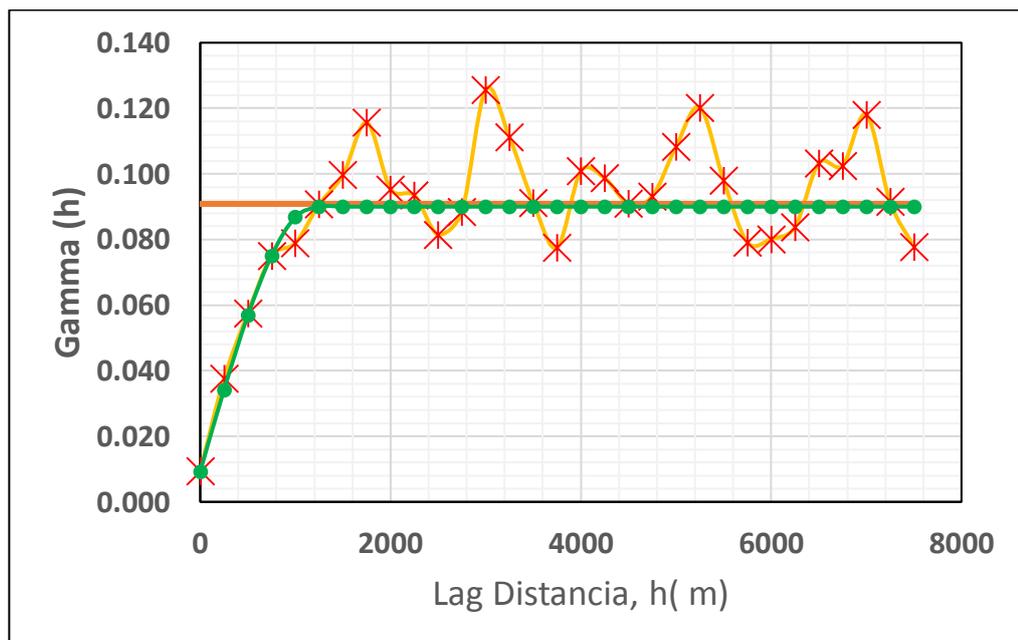


Figura 31

Variograma experimental y modelo gaussiano a 70°

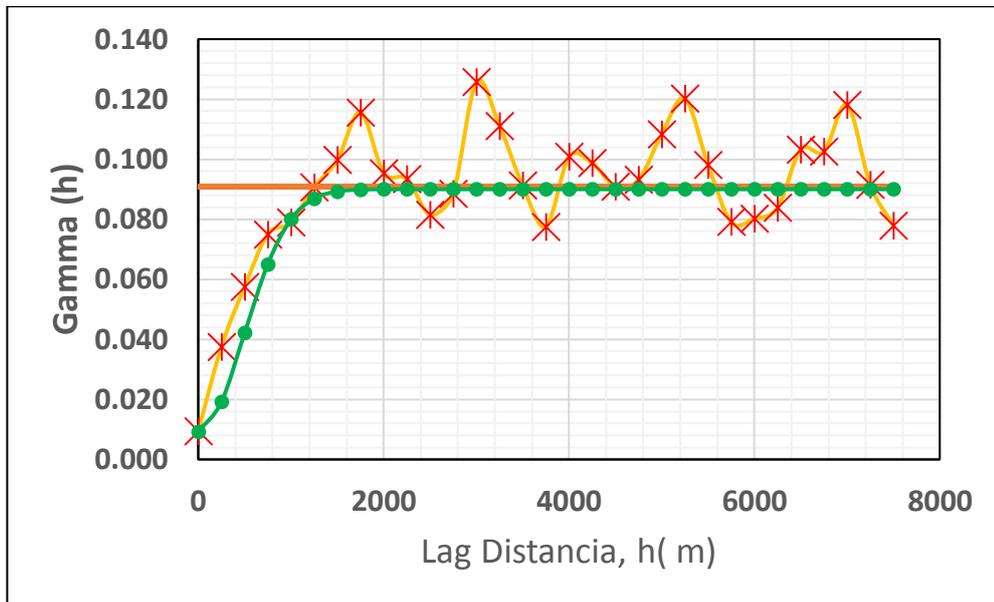
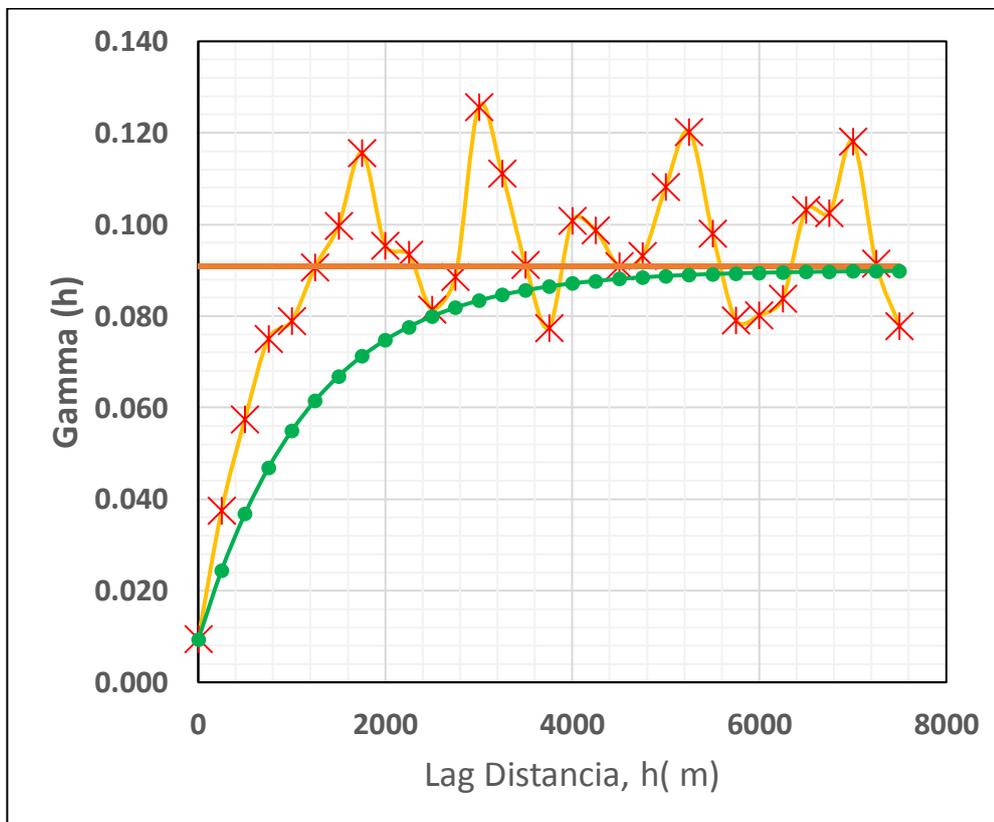


Figura 32

Variograma experimental y modelo exponencial a 70°



Las Tablas 37 a la 41 muestran el cálculo de los parámetros de variogramas obtenidas del cálculo de los variogramas experimentales en las direcciones de 0°, 45°, 90°, 135° y 70° respectivamente, por lo que se tuvo que generar 15 figuras de modelos de variogramas experimentales haciendo las combinaciones por cada dirección los siguientes modelos variográficos teóricos como son el esférico (Sph), gaussiano (Gaus) y Exponencial (Exp), las cuales se muestran en las gráficas 19 a la figura 33. De los cuales se puede concluir que en el área de investigación el variograma experimental en la dirección de 70° se ajusta al modelo variografico esférico (Sph) y existe una dependencia espacial hasta 1200 m tal como resultado el alcance.

4.5. Modelación Geoestadístico a susceptibilidad a deslizamientos

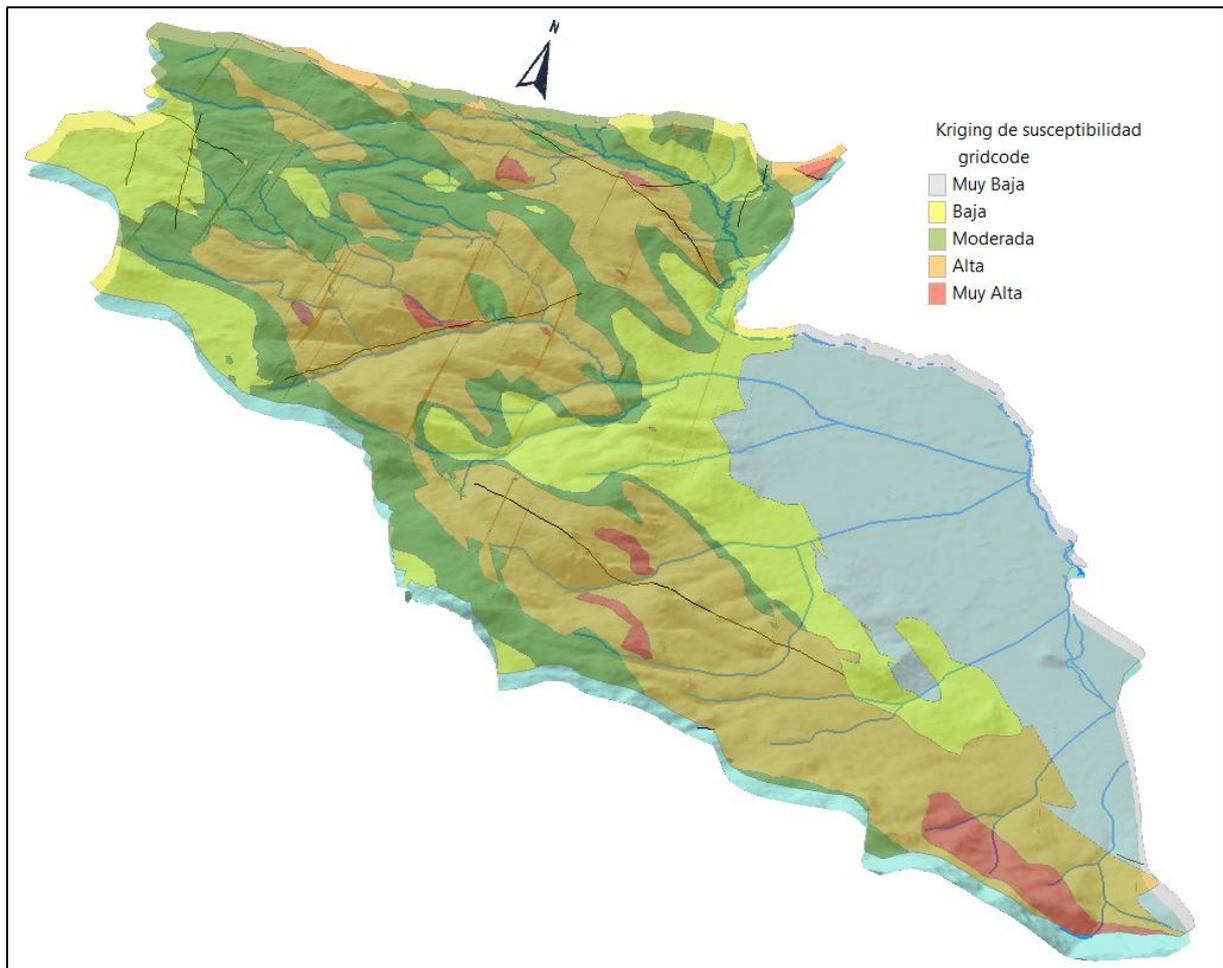
Para el desarrollo del mapa de susceptibilidad a deslizamientos en la zona sur en el distrito de Cajamarca, luego del inventariado de deslizamientos se codifico las variables en análisis distancia a carretera, distancia a fallas, pendiente y geología. De ello obtener, i. estadística descriptiva, ii. seguidamente estandarizar las variables consideradas, iii. Correlación entre las variables y covarianza, iv. cálculo de los pesos de cada variable, v. cálculo de valores de susceptibilidad estimados.

En el análisis variografico, vi. Se calculo los variogramas en las direcciones 0°. 45°, 90°, 135 Y 70° y por los modelos teóricos efecto pepita, esférico, gaussiano y exponencial, vii. Del análisis se definió que se tiene mejor comportamiento estructural en N70° y al modelo esférico.

Con los resultados mencionados se procedió a modelar las zonas de susceptibilidad, utilizando el modelado de 3D Análisis del software ArcGIS versión 10.5.

Figura 33

Zonas de susceptibilidad



4.6. Discusión de Resultados

En la investigación de modelación geoestadística a la susceptibilidad a deslizamientos, se ha enfocado en estimar los pesos de las variables que intervienen en la susceptibilidad a deslizamientos. Los pesos de cada variable se muestran en la tabla 22, siendo el parámetro pendiente y geología más incidentes.

Siendo la susceptibilidad a deslizamientos un tema complejo, se ha tomado criterios para elegir los parámetros más incidentes y reducir la incertidumbre, considerando que estos parámetros son necesarios a la hora de avanzar con una aplicación práctica.

La investigación se ha centrado en desarrollar la modelación geoestadística a la susceptibilidad de deslizamientos utilizando el software EXCEL para el análisis multivariable y variográfico mostrando este análisis de forma sencilla práctica. Y para la zonificación de las categorías de susceptibilidad se utilizó la técnica de kriging en el software ARCGIS.

La modelación geoestadística de susceptibilidad a deslizamientos, muestra del análisis variográfico experimental que existe dependencia espacial entre estos aproximadamente en 1200m, lo cual está determinado por el alcance o rango, los variogramas experimentales muestran una anisotropía de 70° y del análisis kriging multivariable el parámetro más influyente es la pendiente con 0,3 de peso.

La geoestadística es una técnica de análisis espacial y/o temporal, por lo que puede predecir las zonas susceptibles a deslizamientos considerando multiparámetros y localizando espacialmente. Por lo que la geoestadística es una técnica más exacta para predecir las zonas de susceptibilidad a deslizamientos comparado con los métodos determinístico, probabilístico, geomorfológico y otros. Lo cual coincide con Flórez & Pérez, (2019), quien menciona que: “Las técnicas híbridas en los últimos años, han mejorado el rendimiento predictivo en comparación con modelos heurísticos y estadísticos, han ido reduciendo su margen de mejora, lo que lleva a que hoy en día aún se debata cuál es la manera más adecuada para modelar los procesos de ladera y predecir nuevas zonas susceptibles. Además, indica que en la predicción de susceptibilidad a deslizamientos se descuidado el componente espacio-temporal. Las actuales técnicas propuestas no están construidas para modelar de manera adecuada la heterogeneidad espacio-temporal, por lo que sin la consideración de la dependencia

espacio-tiempo el método resulta arbitrario, lo que hace más difícil interpretar los resultados.

La geoestadística es una técnica de análisis espacial que realiza los cálculos considerando las variables regionalizadas, multiparámetros y localizando espacialmente, de este análisis los valores estimados versus al valor real se obtuvo una similitud de 82%, al compararlo con (Palacios, 2020), en su trabajo de investigación “Susceptibilidad a deslizamientos en la vía Alog Santo Domingo, mediante Lógica Difusa” determino la susceptibilidad a deslizamientos mediante Lógica Difusa como una técnica para la zonificación e identificación de puntos críticos de peligro geológico y para ello utilizo variables como cercanía a ríos, vías, fallas geológicas y pendiente, obtuvo dos modelos, el primero lo analizo por promedio difuso, y el segundo de una mixtura entre Lógica Difusa, alcanzado un ajuste de 87.7% y 88.7% para el primero y segundo modelo respectivamente. Además, compara sus resultados con un registro de deslizamientos, de los cuales en su mayoría coinciden con las zonas críticas (75%) identificadas mediante Lógica Difusa, lo que respalda el resultado de 82% en nuestra investigación

Capítulo V

Conclusiones

- Se realizó la modelación geoestadística de susceptibilidad a deslizamientos para la zonificación de la investigación, del cual se concluye que se ajusta mejor al modelo variográfico teórico esférico y comportamiento estructural de 70° .
- Se logró identificar los factores condicionantes intrínsecos relacionados a la susceptibilidad de deslizamientos, siendo los más relevantes, la pendiente, geología, distancia a las fallas geológicas y a las carreteras, teniendo incidencia en el orden mencionado.
- El análisis multivariable de los factores condicionantes a la ocurrencia de deslizamientos. Se tienen como más influyente a la pendiente con un peso de 0,24 en segundo lugar a la geología con un peso de 0,13 distancia a la falla 0,08 y distancia a carretera de 0,05.
- Del análisis variográfico de susceptibilidad a deslizamientos se obtuvo un alcance de 1200 m, el cual indica la distancia de dependencia espacial.
- Se realizó la modelación Geoestadística a susceptibilidad a deslizamientos con dominios de diferentes niveles de susceptibilidad se ha encontrado relacionado a pendiente entre 20° y 50° , a las rocas sedimentarias del cretácico inferior.

Capítulo VI

Recomendaciones.

- Se recomienda hacer la evaluación de susceptibilidad a deslizamiento usando los pesos de los factores intrínsecos y los factores detonantes a deslizamientos.
- Cada zona tiene sus propias características intrínsecas y extrínsecas, por lo que se recomienda hacer estas evaluaciones por cuencas hidrográficas.
- Se recomienda que las entidades estatales responsables de administrar mapas de susceptibilidades y riesgos geológicos deben considerar los pesos de las variables pendiente y litología como las más incidentes y con ello ajustar sus planos de peligros geológicos. Los resultados de la presente investigación deberían compartirse como convenio interinstitucional de la escuela de postgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca y las instituciones como INDESI e INGEMMET.

Capítulo VII

Referencias Bibliográficas

- Bhalla , D. (02 de 10 de 2021). *Listendata*. Obtenido de <https://www.listendata.com/2014/04/basic-statistics-types-of-variables.html>
- Chen , W., Shahabi , H., Zhang, S., Khosravi , K., Shirzadi , A., Chapi , . . . Ahmad, B. B. (2018). Landslide Susceptibility Modeling Based on GIS and Novel Bagging-Based Kernel Logistic Regression. *Applied Sciences*. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2076-3417/8/12/2540>
- Delgado, C., Alcántara, I. I., Bautista, F., Gogichaishvil, A., Márquez, C., Cejudo, R., . . . González, I. (2018). Distribución Espacial De Fe Li, Pb, Mn, V, Y Zn En Suelos Urbanos De Morelia, Michoacán, México. *Revista internacional de contaminación ambiental. Scielo*. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992018000300427
- Díaz, A., Acosta, D., & Sáez , D. (2019). Mapa de susceptibilidad a deslizamientos en el distrito de San Miguelito, Panamá, incorporando herramientas de sistema de información geográfica. *I + D Tecnológico*, 59-70. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Daniel_Acosta23/publication/330767912_Mapa_de_susceptibilidad_a_deslizamientos_en_el_distrito_de_San_Miguelito_Panama_incorporando_herramientas_de_sistema_de_informacion_geografica/links/5d18aa37458515c11c037779/Mapa-d
- Grimaldi, S. (2016). Multifactor empirical mapping of the protective function of forests against landslide occurrence: statistical approaches and a case study. *i Forest*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/290780896_Multifactor_empirical_mapping

_of_the_protective_function_of_forests_against_landslide_occurrence_Statistical_approaches_and_a_case_study/link/56a111f608ae984c4498ca15/download

Hahs-Vaughn, D. (2016). *Applied Multivariate Statistical Concepts*. Published November 28, 2016 by Routledge.

Meneses, J. (2019). *Introducción al análisis multivariante*. Universitat Oberta de Catalunya. Obtenido de <https://femrecerca.cat/meneses/publication/introduccion-analisis-multivariante/introduccion-analisis-multivariante.pdf>

Da Silva, M. F. (2016). Aplicação de Técnicas Estatísticas e Geoestatísticas para Estimativa de Teores de Ouro e Modelamento de um Depósito Neral - Estudo de Caso Em Pilar De Goiás (Go). *Universidade Estadual Paulista*.

Pyrcz, M. (2018). *Spatial Interpretation Modeling*. Obtenido de Michael Pyrcz at the University of Texas at Austin, Austin, Texas, USA: <http://www.michaelpyrcz.com/my-resources.html>

Adolfo, R., & Feoli-Boraschi, S. (2018). Comparación de la metodología Mora-Vahrson y el método morfométrico para determinar áreas susceptibles a deslizamientos en la microcuenca del río Macho, Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*. Obtenido de <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/view/10677/13251>

Alfaro Sironvalle, M. A. (2008). Las Variables Regionalizadas y Su Estimación. Obtenido de http://cg.ensmp.fr/bibliotheque/public/Matheron_Ouvrage_00638.pdf

Aristizábal, E., Vásquez, M., & Ruíz, D. (2019). Métodos estadísticos para la evaluación de la susceptibilidad por movimientos en masa. *TecnoLógicas*. doi:<https://doi.org/10.22430/22565337.1247>

- Bey, A., Sánchez-Paus Díaz, A., Maniatis, D., Marchi, G., & Mollicone, D. (2016). Collect Earth: Land Use and Land Cover Assessment through Augmented Visual Interpretation. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2072-4292/8/10/807>
- Castro Carvajal, D., & Zabala Corrales, J. (2018). Variación estadística: un estudio con profesores en ejercicio. *Tercer encuentro colombiano de educación estocástica: Experiencias de aula para la educación estadística*, (págs. 375-384). Tolima - Colombia.
- Cenapred, M. (Septiembre de 2016). *Causas Que Propician Deslizamientos y Medidas De Prevención*. Obtenido de Cenapred, Mexico: <http://www.cenapred.gob.mx/es/documentosWeb/Enaproc/IdentiDeslizamientos.pdf>
- DefinicionXYZ. (Enero de 2018). *Definicion XYZ*. Obtenido de Concepto de Geoestadística: <https://www.definicion.xyz/2018/01/geoestadistica.html>
- es.weatherspark.com. (03 de 12 de 2020). *El Clima Promedio en Cajamarca*. Obtenido de <https://es.weatherspark.com/y/19956/Clima-promedio-en-Cajamarca-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- Esri. (26 de 11 de 2020). *Pro. Arcsig.com*. Obtenido de Conceptos del Conjunto de Herramientas Interpolación Raster: <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/tool-reference/3d-analyst/how-kriging-works.htm>
- Florez García, A. C., & Pérez Castillo, J. N. (2019). Técnicas para la predicción espacial de zonas susceptibles a deslizamientos. *Dialnet*, 29.
- Gómez Avalos, J. C., Guadalupe Góme, E., Bedia Guillén, C., & Chacón Abad, N. (2017). Cuantificación y propuesta de medidas de reducción de gases de efecto invernadero en la construcción de una línea de trEvaluación geodinámica y modelamiento geotécnico del deslizamiento de Madrigal–Arequipa. *Revista del Instituto de Investigación*,

- FIGMMG -UNMSM*, 49-56. Obtenido de
<https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/14165/12479>
- Ingemmet. (27 de 08 de 2021). 2021. Obtenido de Ingemmet.gob.pe:
<https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/>
- Lagos, A. C. (2015). Modelamiento de la Relación Entre Los Procesos Tectónicos y La Inestabilidad En Los Terrenos De Las Zonas: Urubamba Y Tres Ríos. Cajamarca-Perú. *Universidad Nacional De Cajamarca*.
- Lorenzo, J. (2019). *Tutorial de Estadística*. Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba.
Obtenido de
<https://ansenuza.unc.edu.ar/comunidades/bitstream/handle/11086.1/1202/01%20-%20Tutoriales%20de%20Estad%C3%ADstica%20-%20Libro.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Montenegro, S., Sáenz Yaya, J., Pinedo Torres, R., & Contreras Estrada, Y. (2018). Compendio Estadístico. *INDECI*.
- Mora, S., & Sanorío, J. (2018). Análisis regional de las amenazas de la inestabilidad de laderas y de la licuefacción sísmica de suelos, Costa Rica. *Universidad Estatal a Distancia (UNED)*.
- MuniCaj.gob.pe. (93 de 12 de 2020). *Diagnostico Urbano*. Obtenido de
<https://www.municaj.gob.pe/archivos/pdu/03-CAP-IV-S-1.pdf>
- Oas.org. (25 de Noviembre de 2020). *Evaluación del peligro de deslizamientos de tierra*.
Obtenido de Organización de los Estados Americanos:
<https://www.oas.org/usde/publications/Unit/oea65s/ch15.htm>
- Olaechea, J. (6 de Marzo de 2019). *Existen 171 zonas críticas en la región Cajamarca*.
Obtenido de Agencia Andina: <https://www.andina.pe/agencia/noticia-alerta-existen-171-zonas-criticas-la-region-cajamarca-744443.aspx>

- Palacios, I. F. (2020). Susceptibilidad A Deslizamientos En La Vía Aloag –Santo Domingo, Mediante Lógica Difusa. *GEOESPACIAL*. Obtenido de <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/revista-geoespacial/article/view/1571/1392>
- Porras, A. (23 de 11 de 2017). *Método Kriging de inferencia espacial*. Obtenido de Centro Publico de Investigacion CONACYT: <https://centrogeo.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1012/160/1/16-M%C3%A9todo%20Kriging%20de%20Inferencia%20espacial%20-%20Diplomado%20en%20An%C3%A1lisis%20de%20Informaci%C3%B3n%20Geoespacial.pdf>
- Quesada , A., & Feoli-Boraschi2, S. (2018). omparación de la Metodología Mora-Vahrson y el Método Morfométrico para Determinar Áreas Susceptibles a Deslizamientos en la Microcuenca del Río Macho, Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*, vol. 2, núm. 61,, pp. 17-45, 2018. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/4517/451755941001/html/>
- Quesada, A. (2018). Comparación de la Metodología Mora-Vahrson y el Método Morfométrico para Determinar Áreas Susceptibles a Deslizamientos en la Microcuenca del Río Macho, Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central N° 61 ISSN 1011-484X*, pp. 17–45.
- Quevedo, F. (2017). Medidas de tendencia central y dispersión. *Medwave*.
- Ramos, R. N. (2018). Estudio de la susceptibilidad al deslizamiento de laderas en el Estado de Guerrero, México, aplicando Tecnologías de Información Geográfica. *Universidad Rey Juan Carlos*. Obtenido de <https://burjcdigital.urjc.es/handle/10115/15869>
- Ríos, R., Ribó, A., Mejía, R., & Molina, G. (2016). Combinando Redes Neuronales Y Geoestadística Para Evaluación De Deslizamientos De Tierra Del Área Metropolitana De San Salvador, El Salvador. *Revista De Matemática: Teoría Y Aplicaciones*, 155–

172. Obtenido de <https://www.scielo.sa.cr/img/revistas/rmta/v23n1/1409-2433-rmta-23-01-00155.pdf>
- Robles, J. C. (2019). Propuesta de Zonificación Territorial ante Susceptibilidad a Deslizamientos en el Distrito Monterrey de San Carlos. *Universidad de Costa Rica, Sistema de Estudios de Posgrado*. Obtenido de <http://www.kerwa.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/79172/Tesis%20final%2025-septiembre-19%20Juan%20Carlos%20Robles%20Rojas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rodríguez, S. R. (2016). Método de Investigación Geológico-Geotécnico para el Análisis De Inestabilidad De Laderas Por Deslizamientos Zona Ronquillo – Corisorgona Cajamarca - Perú. *Universidad Nacional Mayor de San Marcos*.
- Romanazzi, P. (2017). Modelación geoestadística de medios geológicos naturalmente fracturados. *Universitat Politècnica de València. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente*. doi:10.4995/Thesis/10251/90580
- Rosa, M. L., Sobreira, F. G., & Barella, C. F. (2021). andslide susceptibility mapping using the statistical method of Information Value: A study case in Ribeirão dos Macacos basin, Minas Gerais, Brazil. *An Acad Bras Cienc*.
- Rosa, M. L., Sobreira, F. G., & Barella, C. F. (2021). Landslide susceptibility mapping using the statistical method of Information Value: A study case in Ribeirão dos Macacos basin, Minas Gerais, Brazil. *An Acad Bras Cienc*.
- Salazar P., C., & Del Castillo G., S. (2018). *Fundamentos básicos de estadística*.
- Salazar, C., & Del Castillo, S. (2018). *Fundamentos Basicos de la Estadística*. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/13720/3/Fundamentos%20B%C3%A1sicos%20de%20Estad%C3%ADstica-Libro.pdf>

- Schober, P., Boer, C., & Schwarte, L. (2018). Correlation Coefficients: Appropriate Use and Interpretation. *Anesthesia & Analgesia*, Volume 126 - Issue 5 - p 1763-1768. Obtenido de https://journals.lww.com/anesthesia-analgesia/fulltext/2018/05000/correlation_coefficients__appropriate_use_and.50.aspx
- Seminario, J. F. (07 de Abril de 2011). *Investigacionyacademia.blogspot.com*. Obtenido de <http://investigacionyacademia.blogspot.com/2011/04/la-investigacion-cientifica-separata-2.html>
- Velasquez, A. P. (2017). *Centrogeo.repositorioinstitucional.mx*. doi:<https://centrogeo.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1012/164/1/20-Variables%20Regionalizadas%20-%20%20Diplomado%20en%20An%C3%A1lisis%20de%20Informaci%C3%B3n%20Geoespacial.pdf>
- Vílchez, M. (27 de 07 de 2021). *Sociedad geológica del Perú*. Obtenido de <https://www.sgp.org.pe/diccionario-geologico-movimientos-de-masa/>
- Villacorta, S., Llorente, M., Laín, L., Fide, L., Machare, J., & Carlott, V. (2007). Análisis de la susceptibilidad a los movimientos de ladera en la cuenca del Río Llaminchán (Cajamarca, Perú). *Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG*. Obtenido de http://oa.upm.es/34050/1/INVE_MEM_2007_185974.pdf

Capitulo VIII

Anexos

Base Datos y Resultados

ID	Este	Norte	Deslizamiento	Cód. Deslizamiento	Cód. Dist. Carretera	Cód. Dist. Fallas	Pendiente	Geología	ST.	ST. Dist.	ST	ST	ST	Estimación	Valor
									Deslizamiento	Carretera	Falla	Pendiente	Geología	Factores	Estimado Deslizamiento
1	766953	9214964	Deslizamiento	5	6	0	9	3	0.6	0.4	-0.1	-1.2	-0.2	-0.3	4.11
2	771928	9214772	Deslizamiento	5	6	0	27	2	0.6	0.4	-0.1	0.8	-1.3	0.0	4.43
3	771377	9214746	Deslizamiento	5	6	0	10	2	0.6	0.4	-0.1	-1.1	-1.3	-0.4	3.98
4	771396	9214735	Deslizamiento	5	6	0	14	2	0.6	0.4	-0.1	-0.7	-1.3	-0.3	4.07
5	771531	9214589	Deslizamiento	5	6	0	18	2	0.6	0.4	-0.1	-0.2	-1.3	-0.2	4.18
6	772211	9214554	Deslizamiento	5	6	0	27	2	0.6	0.4	-0.1	0.8	-1.3	0.0	4.42
7	772010	9214551	Deslizamiento	5	6	0	28	2	0.6	0.4	-0.1	0.9	-1.3	0.0	4.46
8	771587	9214517	Deslizamiento	5	6	0	29	2	0.6	0.4	-0.1	1.1	-1.3	0.1	4.50
9	771965	9214503	Deslizamiento	5	6	0	24	2	0.6	0.4	-0.1	0.5	-1.3	0.0	4.36
10	771314	9214425	Deslizamiento	5	6	0	20	1	0.6	0.4	-0.1	0.1	-2.5	-0.3	4.10
11	772000	9214400	Reptacion	1	6	0	14	1	-3.4	0.4	-0.1	-0.7	-2.5	-0.5	3.92
12	771879	9214392	Deslizamiento	5	6	0	25	1	0.6	0.4	-0.1	0.5	-2.5	-0.2	4.21

13	771663	9214364	Deslizamiento	5	6	0	19	1	0.6	0.4	-0.1	0.0	-2.5	-0.3	4.08
14	766563	9214343	Deslizamiento	5	6	0	39	3	0.6	0.4	-0.1	2.2	-0.2	0.5	4.91
15	773350	9214300	Deslizamiento	5	4	0	19	2	0.6	-1.6	-0.1	-0.1	-1.3	-0.3	4.12
16	767966	9214114	Deslizamiento	5	6	0	22	3	0.6	0.4	-0.1	0.2	-0.2	0.0	4.45
17	768068	9214097	Deslizamiento	5	6	0	24	3	0.6	0.4	-0.1	0.4	-0.2	0.1	4.49
18	768328	9213967	Deslizamiento	5	6	0	25	3	0.6	0.4	-0.1	0.6	-0.2	0.1	4.53
19	774513	9213941	Deslizamiento	5	6	5	26	2	0.6	0.4	8.7	0.7	-1.3	0.7	5.14
20	768265	9213932	Deslizamiento	5	6	0	20	3	0.6	0.4	-0.1	0.0	-0.2	0.0	4.40
21	767650	9213921	Deslizamiento	5	6	0	17	3	0.6	0.4	-0.1	-0.3	-0.2	-0.1	4.32
22	773195	9213897	Deslizamiento	5	4	0	13	1	0.6	-1.6	-0.1	-0.8	-2.5	-0.6	3.80
23	767565	9213900	Deslizamiento	5	6	0	21	3	0.6	0.4	-0.1	0.1	-0.2	0.0	4.42
24	774058	9213817	Deslizamiento	5	6	0	30	3	0.6	0.4	-0.1	1.1	-0.2	0.2	4.66
25	766091	9213820	Deslizamiento	5	6	0	6	4	0.6	0.4	-0.1	-1.5	1.0	-0.2	4.18
26	767754	9213718	Deslizamiento	5	6	0	35	3	0.6	0.4	-0.1	1.7	-0.2	0.4	4.81
27	773953	9213668	Deslizamiento	5	6	0	29	3	0.6	0.4	-0.1	1.0	-0.2	0.2	4.64
28	767704	9213670	Deslizamiento	5	6	0	36	3	0.6	0.4	-0.1	1.8	-0.2	0.4	4.83
29	764355	9213674	Deslizamiento	5	6	0	16	4	0.6	0.4	-0.1	-0.5	1.0	0.0	4.43
30	768281	9213655	Deslizamiento	5	6	0	33	3	0.6	0.4	-0.1	1.5	-0.2	0.4	4.76
31	773958	9213639	Deslizamiento	5	6	0	28	3	0.6	0.4	-0.1	0.9	-0.2	0.2	4.61
32	773974	9213621	Deslizamiento	5	6	0	25	3	0.6	0.4	-0.1	0.6	-0.2	0.1	4.53

33	774143	9213622	Deslizamiento	5	6	0	26	3	0.6	0.4	-0.1	0.7	-0.2	0.2	4.57
34	774093	9213602	Deslizamiento	5	6	0	28	3	0.6	0.4	-0.1	1.0	-0.2	0.2	4.63
35	767425	9213515	Deslizamiento	5	6	0	10	3	0.6	0.4	-0.1	-1.2	-0.2	-0.3	4.12
36	768681	9213348	Deslizamiento	5	6	0	40	3	0.6	0.4	-0.1	2.3	-0.2	0.5	4.94
37	771385	9213246	Deslizamiento	5	6	0	19	3	0.6	0.4	-0.1	-0.1	-0.2	0.0	4.38
38	771471	9213208	Deslizamiento	5	6	0	21	3	0.6	0.4	-0.1	0.2	-0.2	0.0	4.44
39	771365	9213060	Deslizamiento	5	6	4	19	3	0.6	0.4	6.9	-0.1	-0.2	0.5	4.95
40	771744	9212946	Deslizamiento	5	6	4	26	3	0.6	0.4	6.9	0.6	-0.2	0.7	5.13
41	771333	9212928	Deslizamiento	5	6	3	19	3	0.6	0.4	5.1	-0.1	-0.2	0.4	4.82
42	771210	9212918	Deslizamiento	5	6	0	23	3	0.6	0.4	-0.1	0.4	-0.2	0.1	4.49
43	768965	9212816	Deslizamiento	5	6	0	18	3	0.6	0.4	-0.1	-0.2	-0.2	-0.1	4.34
44	765982	9212678	Deslizamiento	5	6	0	18	4	0.6	0.4	-0.1	-0.2	1.0	0.1	4.50
45	773609	9212665	Deslizamiento	5	6	0	25	1	0.6	0.4	-0.1	0.6	-2.5	-0.2	4.24
46	768541	9212613	Deslizamiento	5	6	0	19	4	0.6	0.4	-0.1	-0.1	1.0	0.1	4.53
47	768436	9212405	Deslizamiento	5	6	0	6	4	0.6	0.4	-0.1	-1.5	1.0	-0.2	4.18
48	769738	9212379	Deslizamiento	5	6	0	46	3	0.6	0.4	-0.1	3.0	-0.2	0.7	5.11
49	772124	9212355	Deslizamiento	5	6	0	27	3	0.6	0.4	-0.1	0.8	-0.2	0.2	4.59
50	770385	9212316	Deslizamiento	5	6	0	22	3	0.6	0.4	-0.1	0.2	-0.2	0.0	4.45
51	769467	9212196	Deslizamiento	5	6	0	39	3	0.6	0.4	-0.1	2.1	-0.2	0.5	4.91
52	772750	9212202	Deslizamiento	5	6	0	16	3	0.6	0.4	-0.1	-0.4	-0.2	-0.1	4.29

53	772715	9212156	Deslizamiento	5	6	0	20	3	0.6	0.4	-0.1	0.0	-0.2	0.0	4.39
54	772700	9212000	Caida	4	6	0	25	3	-0.4	0.4	-0.1	0.6	-0.2	0.1	4.54
55	769108	9211991	Deslizamiento	5	6	0	20	3	0.6	0.4	-0.1	0.0	-0.2	0.0	4.40
56	767900	9211900	Caida	4	6	0	15	4	-0.4	0.4	-0.1	-0.5	1.0	0.0	4.43
57	766854	9211872	Deslizamiento	5	6	0	17	4	0.6	0.4	-0.1	-0.3	1.0	0.1	4.48
58	768886	9211706	Caida	4	6	0	7	4	-0.4	0.4	-0.1	-1.5	1.0	-0.2	4.19
59	768176	9211646	Deslizamiento	5	5	0	10	4	0.6	-0.6	-0.1	-1.2	1.0	-0.2	4.22
60	768172	9211645	Flujo	3	5	0	10	4	-1.4	-0.6	-0.1	-1.2	1.0	-0.2	4.22
61	768172	9211645	Mov. Complejo	2	5	0	10	4	-2.4	-0.6	-0.1	-1.2	1.0	-0.2	4.22
62	768172	9211645	Mov. Complejo	2	5	0	10	4	-2.4	-0.6	-0.1	-1.2	1.0	-0.2	4.22
63	768172	9211645	Caida	4	5	0	10	4	-0.4	-0.6	-0.1	-1.2	1.0	-0.2	4.22
64	773200	9211600	Caida	4	6	0	20	3	-0.4	0.4	-0.1	0.0	-0.2	0.0	4.39
65	773107	9211600	Deslizamiento	5	6	0	26	3	0.6	0.4	-0.1	0.7	-0.2	0.1	4.56
66	766691	9211576	Deslizamiento	5	6	0	17	4	0.6	0.4	-0.1	-0.4	1.0	0.1	4.46
67	768568	9211512	Deslizamiento	5	5	0	6	4	0.6	-0.6	-0.1	-1.6	1.0	-0.3	4.13
68	769597	9211520	Mov. Complejo	2	6	0	2	4	-2.4	0.4	-0.1	-2.0	1.0	-0.3	4.08
69	768780	9211445	Flujo	3	4	0	10	4	-1.4	-1.6	-0.1	-1.2	1.0	-0.2	4.17
70	769800	9211372	Caida	4	6	0	8	4	-0.4	0.4	-0.1	-1.3	1.0	-0.2	4.23
71	770180	9211234	Flujo	3	6	0	6	4	-1.4	0.4	-0.1	-1.5	1.0	-0.2	4.18
72	767334	9211153	Caida	4	6	0	10	4	-0.4	0.4	-0.1	-1.2	1.0	-0.1	4.27

73	772750	9211100	Deslizamiento	5	6	0	18	3	0.6	0.4	-0.1	-0.2	-0.2	-0.1	4.34
74	764713	9211094	Deslizamiento	5	6	0	8	4	0.6	0.4	-0.1	-1.4	1.0	-0.2	4.22
75	764713	9211094	Deslizamiento	5	6	0	8	4	0.6	0.4	-0.1	-1.4	1.0	-0.2	4.22
76	770447	9211064	Deslizamiento	5	6	0	3	4	0.6	0.4	-0.1	-1.9	1.0	-0.3	4.10
77	773500	9211000	Flujo	3	6	0	1	3	-1.4	0.4	-0.1	-2.2	-0.2	-0.5	3.88
78	768871	9210998	Deslizamiento	5	6	0	13	4	0.6	0.4	-0.1	-0.8	1.0	-0.1	4.35
79	773271	9210971	Deslizamiento	5	2	4	24	3	0.6	-3.6	6.9	0.4	-0.2	0.5	4.88
80	771504	9210876	Deslizamiento	5	6	0	20	3	0.6	0.4	-0.1	0.0	-0.2	0.0	4.41
81	769878	9210821	Deslizamiento	5	5	0	24	4	0.6	-0.6	-0.1	0.5	1.0	0.2	4.61
82	770819	9210776	Flujo	3	6	0	19	3	-1.4	0.4	-0.1	-0.1	-0.2	0.0	4.38
83	771852	9210696	Deslizamiento	5	6	0	25	3	0.6	0.4	-0.1	0.5	-0.2	0.1	4.53
84	767289	9210623	Deslizamiento	5	6	0	12	4	0.6	0.4	-0.1	-0.9	1.0	-0.1	4.33
85	767289	9210623	Deslizamiento	5	6	0	12	4	0.6	0.4	-0.1	-0.9	1.0	-0.1	4.33
86	769900	9210550	Caida	4	6	0	12	4	-0.4	0.4	-0.1	-0.9	1.0	-0.1	4.33
87	770668	9210424	Deslizamiento	5	2	0	15	4	0.6	-3.6	-0.1	-0.5	1.0	-0.2	4.22
88	772000	9210400	Mov. Complejo	2	6	0	32	3	-2.4	0.4	-0.1	1.3	-0.2	0.3	4.71
89	770916	9210380	Deslizamiento	5	5	0	20	4	0.6	-0.6	-0.1	0.0	1.0	0.1	4.50
90	766956	9210362	Deslizamiento	5	6	0	8	2	0.6	0.4	-0.1	-1.3	-1.3	-0.5	3.93
91	767444	9210352	Deslizamiento	5	6	0	22	4	0.6	0.4	-0.1	0.3	1.0	0.2	4.61
92	770915	9210323	Mov. Complejo	2	5	0	15	4	-2.4	-0.6	-0.1	-0.5	1.0	0.0	4.38

93	770500	9210300	Deslizamiento	5	6	0	28	4	0.6	0.4	-0.1	0.9	1.0	0.4	4.77
94	770999	9210303	Caida	4	1	0	16	4	-0.4	-4.6	-0.1	-0.5	1.0	-0.2	4.18
95	771791	9210295	Deslizamiento	5	6	0	25	3	0.6	0.4	-0.1	0.6	-0.2	0.1	4.54
96	771867	9210229	Deslizamiento	5	6	0	43	3	0.6	0.4	-0.1	2.6	-0.2	0.6	5.01
97	769800	9210200	Caida	4	6	0	17	4	-0.4	0.4	-0.1	-0.3	1.0	0.1	4.47
98	768320	9210058	Flujo	3	6	0	12	4	-1.4	0.4	-0.1	-0.9	1.0	-0.1	4.32
99	768165	9209958	Deslizamiento	5	6	0	17	4	0.6	0.4	-0.1	-0.3	1.0	0.1	4.48
100	772054	9209900	Caida	4	6	0	34	3	-0.4	0.4	-0.1	1.5	-0.2	0.4	4.76
101	773560	9209851	Flujo	3	1	0	3	1	-1.4	-4.6	-0.1	-1.9	-2.5	-1.0	3.39
102	769110	9209856	Deslizamiento	5	6	0	16	4	0.6	0.4	-0.1	-0.4	1.0	0.0	4.45
103	771310	9209786	Caida	4	4	0	17	4	-0.4	-1.6	-0.1	-0.3	1.0	0.0	4.38
104	772499	9209706	Deslizamiento	5	6	0	26	3	0.6	0.4	-0.1	0.7	-0.2	0.1	4.55
105	771714	9209630	Caida	4	5	0	21	3	-0.4	-0.6	-0.1	0.1	-0.2	0.0	4.37
106	770800	9209500	Caida	4	6	0	28	4	-0.4	0.4	-0.1	0.9	1.0	0.4	4.78
107	773049	9209492	Deslizamiento	5	6	0	26	3	0.6	0.4	-0.1	0.7	-0.2	0.2	4.57
108	772456	9209495	Caida	4	6	0	22	3	-0.4	0.4	-0.1	0.3	-0.2	0.1	4.46
109	771876	9209501	Flujo	3	5	0	25	2	-1.4	-0.6	-0.1	0.6	-1.3	-0.1	4.33
110	771933	9209410	Caida	4	5	0	23	2	-0.4	-0.6	-0.1	0.4	-1.3	-0.1	4.28
111	768357	9209277	Deslizamiento	5	6	0	14	4	0.6	0.4	-0.1	-0.7	1.0	0.0	4.38
112	772440	9209235	Deslizamiento	5	6	0	18	2	0.6	0.4	-0.1	-0.2	-1.3	-0.2	4.19

113	770300	9209200	Caida	4	6	0	14	4	-0.4	0.4	-0.1	-0.6	1.0	0.0	4.40
114	768670	9209161	Deslizamiento	5	6	0	12	4	0.6	0.4	-0.1	-0.9	1.0	-0.1	4.33
115	771704	9209143	Caida	4	6	0	12	4	-0.4	0.4	-0.1	-0.9	1.0	-0.1	4.33
116	770850	9209100	Deslizamiento	5	6	0	18	4	0.6	0.4	-0.1	-0.2	1.0	0.1	4.50
117	772219	9209041	Deslizamiento	5	3	0	14	2	0.6	-2.6	-0.1	-0.7	-1.3	-0.5	3.93
118	770520	9209016	Caida	4	6	0	16	4	-0.4	0.4	-0.1	-0.4	1.0	0.0	4.44
119	771900	9209022	Flujo	3	5	0	14	4	-1.4	-0.6	-0.1	-0.7	1.0	-0.1	4.34
120	771700	9209000	Deslizamiento	5	6	0	12	4	0.6	0.4	-0.1	-0.9	1.0	-0.1	4.34
121	772823	9208988	Deslizamiento	5	6	0	26	2	0.6	0.4	-0.1	0.7	-1.3	0.0	4.40
122	771673	9208962	Deslizamiento	5	6	0	8	4	0.6	0.4	-0.1	-1.3	1.0	-0.2	4.23
123	771671	9208914	Caida	4	6	0	8	4	-0.4	0.4	-0.1	-1.3	1.0	-0.2	4.24
124	772435	9208838	Deslizamiento	5	4	0	13	2	0.6	-1.6	-0.1	-0.8	-1.3	-0.5	3.96
125	771206	9208694	Deslizamiento	5	6	0	32	4	0.6	0.4	-0.1	1.4	1.0	0.5	4.88
126	771676	9208688	Deslizamiento	5	6	0	29	4	0.6	0.4	-0.1	1.0	1.0	0.4	4.78
127	769500	9208600	Mov. Complejo	2	6	0	20	4	-2.4	0.4	-0.1	0.1	1.0	0.2	4.56
128	769600	9208610	Deslizamiento	5	6	0	24	4	0.6	0.4	-0.1	0.5	1.0	0.2	4.66
129	771899	9208608	Deslizamiento	5	6	0	22	4	0.6	0.4	-0.1	0.3	1.0	0.2	4.61
130	771857	9208586	Caida	4	6	0	26	4	-0.4	0.4	-0.1	0.7	1.0	0.3	4.72
131	772923	9208576	Deslizamiento	5	3	0	18	2	0.6	-2.6	-0.1	-0.3	-1.3	-0.4	4.03
132	770500	9208500	Deslizamiento	5	6	0	5	4	0.6	0.4	-0.1	-1.7	1.0	-0.3	4.14

133	771430	9208482	Deslizamiento	5	6	0	17	4	0.6	0.4	-0.1	-0.3	1.0	0.1	4.48
134	772930	9208418	Deslizamiento	5	2	0	9	2	0.6	-3.6	-0.1	-1.3	-1.3	-0.7	3.74
135	771213	9208343	Deslizamiento	5	6	0	35	4	0.6	0.4	-0.1	1.8	1.0	0.6	4.97
136	772000	9208250	Deslizamiento	5	6	0	18	4	0.6	0.4	-0.1	-0.2	1.0	0.1	4.50
137	773148	9208248	Deslizamiento	5	6	0	7	1	0.6	0.4	-0.1	-1.4	-2.5	-0.7	3.74
138	767792	9208220	Flujo	3	6	0	14	4	-1.4	0.4	-0.1	-0.6	1.0	0.0	4.39
139	770000	9208200	Deslizamiento	5	6	0	30	4	0.6	0.4	-0.1	1.2	1.0	0.4	4.83
140	769120	9208210	Deslizamiento	5	6	0	33	4	0.6	0.4	-0.1	1.5	1.0	0.5	4.90
141	772015	9208130	Mov. Complejo	2	6	0	32	4	-2.4	0.4	-0.1	1.3	1.0	0.5	4.87
142	769977	9208118	Deslizamiento	5	6	0	35	4	0.6	0.4	-0.1	1.7	1.0	0.5	4.96
143	772948	9208045	Mov. Complejo	2	6	0	1	2	-2.4	0.4	-0.1	-2.2	-1.3	-0.7	3.73
144	766097	9208011	Deslizamiento	5	6	0	22	4	0.6	0.4	-0.1	0.3	1.0	0.2	4.61
145	769000	9208000	Deslizamiento	5	6	0	27	4	0.6	0.4	-0.1	0.8	1.0	0.3	4.73
146	772724	9207988	Flujo	3	6	0	17	2	-1.4	0.4	-0.1	-0.3	-1.3	-0.2	4.16
147	767827	9208001	Deslizamiento	5	6	0	17	4	0.6	0.4	-0.1	-0.3	1.0	0.1	4.47
148	771953	9207956	Deslizamiento	5	6	0	24	2	0.6	0.4	-0.1	0.5	-1.3	-0.1	4.36
149	773708	9207951	Mov. Complejo	2	6	0	3	2	-2.4	0.4	-0.1	-2.0	-1.3	-0.6	3.77
150	768056	9207875	Flujo	3	6	0	10	4	-1.4	0.4	-0.1	-1.2	1.0	-0.1	4.27
151	768984	9207858	Deslizamiento	5	6	0	16	4	0.6	0.4	-0.1	-0.4	1.0	0.0	4.45
152	772766	9207842	Mov. Complejo	2	6	0	21	2	-2.4	0.4	-0.1	0.1	-1.3	-0.1	4.27

153	773294	9207811	Caida	4	6	0	13	1	-0.4	0.4	-0.1	-0.8	-2.5	-0.5	3.89
154	768347	9207748	Deslizamiento	5	6	0	28	4	0.6	0.4	-0.1	1.0	1.0	0.4	4.78
155	768445	9207742	Deslizamiento	5	6	0	22	4	0.6	0.4	-0.1	0.3	1.0	0.2	4.62
156	768690	9207680	Deslizamiento	5	6	0	31	4	0.6	0.4	-0.1	1.2	1.0	0.4	4.84
157	773133	9207635	Caida	4	6	0	11	1	-0.4	0.4	-0.1	-1.0	-2.5	-0.6	3.86
158	771532	9207606	Deslizamiento	5	6	0	22	4	0.6	0.4	-0.1	0.2	1.0	0.2	4.60
159	771926	9207609	Deslizamiento	5	6	0	12	4	0.6	0.4	-0.1	-0.8	1.0	-0.1	4.34
160	773052	9207580	Deslizamiento	5	6	0	12	1	0.6	0.4	-0.1	-0.9	-2.5	-0.5	3.88
161	774085	9207530	Flujo	3	6	0	13	2	-1.4	0.4	-0.1	-0.8	-1.3	-0.4	4.05
162	774075	9207519	Flujo	3	6	0	14	2	-1.4	0.4	-0.1	-0.7	-1.3	-0.3	4.07
163	774075	9207519	Flujo	3	6	0	14	2	-1.4	0.4	-0.1	-0.7	-1.3	-0.3	4.07
164	771545	9207512	Mov. Complejo	2	6	0	29	4	-2.4	0.4	-0.1	1.0	1.0	0.4	4.80
165	768090	9207410	Deslizamiento	5	6	0	27	4	0.6	0.4	-0.1	0.8	1.0	0.3	4.74
166	767683	9207286	Deslizamiento	5	6	0	34	4	0.6	0.4	-0.1	1.6	1.0	0.5	4.93
167	771693	9207209	Deslizamiento	5	6	0	19	4	0.6	0.4	-0.1	-0.1	1.0	0.1	4.51
168	771600	9207100	Caida	4	6	0	16	4	-0.4	0.4	-0.1	-0.4	1.0	0.0	4.45
169	770080	9207000	Reptacion	1	6	0	28	4	-3.4	0.4	-0.1	0.9	1.0	0.4	4.77
170	766691	9206980	Flujo	3	6	0	9	2	-1.4	0.4	-0.1	-1.2	-1.3	-0.5	3.96
171	770149	9206944	Deslizamiento	5	6	0	29	4	0.6	0.4	-0.1	1.0	1.0	0.4	4.78
172	769964	9206921	Deslizamiento	5	6	0	20	4	0.6	0.4	-0.1	0.0	1.0	0.1	4.56

173	770780	9206861	Deslizamiento	5	6	0	14	4	0.6	0.4	-0.1	-0.7	1.0	0.0	4.38
174	767530	9206850	Caida	4	6	0	19	2	-0.4	0.4	-0.1	-0.1	-1.3	-0.2	4.21
175	772991	9206822	Flujo	3	6	0	20	2	-1.4	0.4	-0.1	0.0	-1.3	-0.2	4.23
176	771029	9206827	Deslizamiento	5	6	0	18	4	0.6	0.4	-0.1	-0.2	1.0	0.1	4.50
177	770939	9206834	Deslizamiento	5	6	0	9	4	0.6	0.4	-0.1	-1.2	1.0	-0.1	4.26
178	771138	9206812	Deslizamiento	5	6	0	13	4	0.6	0.4	-0.1	-0.8	1.0	0.0	4.36
179	772300	9206800	Caida	4	6	0	32	4	-0.4	0.4	-0.1	1.3	1.0	0.5	4.86
180	771358	9206756	Deslizamiento	5	6	0	12	4	0.6	0.4	-0.1	-0.9	1.0	-0.1	4.33
181	772100	9206700	Deslizamiento	5	6	0	24	4	0.6	0.4	-0.1	0.4	1.0	0.2	4.65
182	773600	9206700	Mov. Complejo	2	6	0	25	2	-2.4	0.4	-0.1	0.6	-1.3	0.0	4.38
183	767300	9206650	Caida	4	6	0	19	2	-0.4	0.4	-0.1	-0.1	-1.3	-0.2	4.22
184	770420	9206654	Deslizamiento	5	6	0	15	4	0.6	0.4	-0.1	-0.5	1.0	0.0	4.42
185	766791	9206613	Flujo	3	6	0	16	2	-1.4	0.4	-0.1	-0.5	-1.3	-0.3	4.13
186	772131	9206614	Deslizamiento	5	6	0	27	4	0.6	0.4	-0.1	0.8	1.0	0.3	4.74
187	772250	9206600	Mov. Complejo	2	6	0	26	2	-2.4	0.4	-0.1	0.7	-1.3	0.0	4.42
188	772550	9206500	Deslizamiento	5	6	0	19	2	0.6	0.4	-0.1	0.0	-1.3	-0.2	4.23
189	773500	9206400	Mov. Complejo	2	3	0	28	2	-2.4	-2.6	-0.1	0.9	-1.3	-0.1	4.31
190	773283	9206367	Deslizamiento	5	2	0	37	2	0.6	-3.6	-0.1	1.9	-1.3	0.1	4.50
191	768050	9206350	Caida	4	6	0	26	3	-0.4	0.4	-0.1	0.7	-0.2	0.2	4.57
192	772900	9206300	Flujo	3	6	0	16	2	-1.4	0.4	-0.1	-0.4	-1.3	-0.3	4.14

193	773900	9206200	Deslizamiento	5	5	0	8	3	0.6	-0.6	-0.1	-1.3	-0.2	-0.4	4.03
194	774200	9206200	Caida	4	5	0	24	3	-0.4	-0.6	-0.1	0.5	-0.2	0.1	4.47
195	771000	9206200	Caida	4	6	0	12	3	-0.4	0.4	-0.1	-0.9	-0.2	-0.2	4.19
196	771403	9206150	Deslizamiento	5	6	0	19	3	0.6	0.4	-0.1	-0.1	-0.2	-0.1	4.36
197	773800	9206050	Mov. Complejo	2	3	0	13	3	-2.4	-2.6	-0.1	-0.8	-0.2	-0.4	4.06
198	772116	9205975	Deslizamiento	5	2	0	11	2	0.6	-3.6	-0.1	-1.0	-1.3	-0.6	3.81
199	772115	9205975	Deslizamiento	5	2	0	11	2	0.6	-3.6	-0.1	-1.0	-1.3	-0.6	3.81
200	772100	9205900	Caida	4	6	0	16	2	-0.4	0.4	-0.1	-0.4	-1.3	-0.3	4.15
201	769532	9205850	Deslizamiento	5	6	0	32	3	0.6	0.4	-0.1	1.4	-0.2	0.3	4.72
202	773149	9205843	Flujo	3	5	0	18	2	-1.4	-0.6	-0.1	-0.2	-1.3	-0.3	4.15
203	770716	9205843	Flujo	3	6	0	24	3	-1.4	0.4	-0.1	0.4	-0.2	0.1	4.50
204	767430	9205780	Flujo	3	6	0	16	2	-1.4	0.4	-0.1	-0.5	-1.3	-0.3	4.13
205	774266	9205440	Caida	4	6	0	15	3	-0.4	0.4	-0.1	-0.5	-0.2	-0.1	4.27
206	772881	9205360	Reptacion	1	4	0	6	3	-3.4	-1.6	-0.1	-1.6	-0.2	-0.5	3.91
207	772881	9205360	Caida	4	5	0	6	3	-0.4	-0.6	-0.1	-1.6	-0.2	-0.5	3.96
208	771116	9205319	Deslizamiento	5	6	0	20	3	0.6	0.4	-0.1	0.1	-0.2	0.0	4.41
209	771000	9205300	Caida	4	6	0	19	3	-0.4	0.4	-0.1	-0.1	-0.2	0.0	4.36
210	772029	9205214	Reptacion	1	5	0	18	3	-3.4	-0.6	-0.1	-0.3	-0.2	-0.1	4.28
211	770748	9205103	Deslizamiento	5	6	0	6	3	0.6	0.4	-0.1	-1.6	-0.2	-0.4	4.02
212	774600	9205050	Flujo	3	3	0	9	1	-1.4	-2.6	-0.1	-1.2	-2.5	-0.8	3.64

213	775118	9205009	Flujo	3	6	0	2	3	-1.4	0.4	-0.1	-2.0	-0.2	-0.5	3.92
214	770500	9205000	Caida	4	6	0	15	3	-0.4	0.4	-0.1	-0.5	-0.2	-0.1	4.27
215	773261	9204871	Deslizamiento	5	6	0	23	3	0.6	0.4	-0.1	0.4	-0.2	0.1	4.48
216	771883	9204477	Deslizamiento	5	6	0	5	3	0.6	0.4	-0.1	-1.7	-0.2	-0.4	3.99
217	773800	9204400	Caida	4	6	0	30	3	-0.4	0.4	-0.1	1.1	-0.2	0.3	4.67
218	771800	9204200	Caida	4	6	0	40	3	-0.4	0.4	-0.1	2.2	-0.2	0.5	4.93
219	773500	9204200	Caida	4	6	0	18	3	-0.4	0.4	-0.1	-0.2	-0.2	-0.1	4.35
220	773181	9203685	Deslizamiento	5	6	0	23	3	0.6	0.4	-0.1	0.3	-0.2	0.1	4.47
221	773195	9203689	Deslizamiento	5	6	0	22	3	0.6	0.4	-0.1	0.3	-0.2	0.0	4.46
222	773559	9203686	Deslizamiento	5	6	0	30	3	0.6	0.4	-0.1	1.1	-0.2	0.2	4.66
223	773104	9203580	Deslizamiento	5	6	0	29	3	0.6	0.4	-0.1	1.0	-0.2	0.2	4.64
224	774200	9203400	Caida	4	6	0	17	3	-0.4	0.4	-0.1	-0.3	-0.2	-0.1	4.32
225	777281	9203353	Deslizamiento	5	1	0	27	3	0.6	-4.6	-0.1	0.9	-0.2	-0.1	4.35
226	774227	9203334	Deslizamiento	5	6	0	26	3	0.6	0.4	-0.1	0.6	-0.2	0.1	4.55
227	773710	9203264	Deslizamiento	5	6	0	39	3	0.6	0.4	-0.1	2.1	-0.2	0.5	4.90
228	773243	9202295	Deslizamiento	5	6	0	18	4	0.6	0.4	-0.1	-0.3	1.0	0.1	4.49
229	773419	9202284	Deslizamiento	5	6	0	16	4	0.6	0.4	-0.1	-0.5	1.0	0.0	4.43
230	773238	9202270	Deslizamiento	5	6	0	20	4	0.6	0.4	-0.1	0.0	1.0	0.1	4.56
231	773774	9202047	Deslizamiento	5	6	0	29	4	0.6	0.4	-0.1	1.0	1.0	0.4	4.79
232	773853	9201964	Deslizamiento	5	6	0	35	4	0.6	0.4	-0.1	1.7	1.0	0.5	4.95

233	772815	9201961	Deslizamiento	5	6	0	19	4	0.6	0.4	-0.1	-0.1	1.0	0.1	4.52
234	772731	9201956	Deslizamiento	5	6	0	23	4	0.6	0.4	-0.1	0.4	1.0	0.2	4.64
235	774160	9201471	Deslizamiento	5	6	0	25	4	0.6	0.4	-0.1	0.6	1.0	0.3	4.69
236	773905	9201401	Deslizamiento	5	6	0	23	4	0.6	0.4	-0.1	0.4	1.0	0.2	4.63
237	773705	9201339	Deslizamiento	5	6	0	10	4	0.6	0.4	-0.1	-1.1	1.0	-0.1	4.27
238	778166	9199923	Deslizamiento	5	6	0	42	3	0.6	0.4	-0.1	2.5	-0.2	0.6	5.00
239	779951	9199758	Deslizamiento	5	6	0	21	3	0.6	0.4	-0.1	0.2	-0.2	0.0	4.43
240	778695	9199636	Deslizamiento	5	6	0	19	3	0.6	0.4	-0.1	-0.1	-0.2	0.0	4.37
241	780022	9199579	Deslizamiento	5	6	0	22	4	0.6	0.4	-0.1	0.3	1.0	0.2	4.62
242	778021	9199463	Deslizamiento	5	6	0	18	4	0.6	0.4	-0.1	-0.2	1.0	0.1	4.49
243	778687	9199102	Deslizamiento	5	3	0	25	3	0.6	-2.6	-0.1	0.6	-0.2	0.0	4.39
244	778492	9199019	Deslizamiento	5	6	0	32	3	0.6	0.4	-0.1	1.4	-0.2	0.3	4.72
245	780503	9198957	Deslizamiento	5	6	0	12	3	0.6	0.4	-0.1	-0.9	-0.2	-0.2	4.18
246	778531	9198869	Deslizamiento	5	6	0	28	3	0.6	0.4	-0.1	0.9	-0.2	0.2	4.61
247	779072	9198781	Deslizamiento	5	6	0	29	3	0.6	0.4	-0.1	1.0	-0.2	0.2	4.64
248	779794	9198643	Deslizamiento	5	6	0	36	3	0.6	0.4	-0.1	1.8	-0.2	0.4	4.83
249	779292	9198596	Deslizamiento	5	1	0	36	3	0.6	-4.6	-0.1	1.8	-0.2	0.2	4.58
250	780178	9198505	Deslizamiento	5	6	0	31	3	0.6	0.4	-0.1	1.3	-0.2	0.3	4.70
251	779658	9198462	Deslizamiento	5	6	0	24	3	0.6	0.4	-0.1	0.5	-0.2	0.1	4.51

Apéndice

