REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

# Universidad Católica de Santa María

## Facultad de Arquitectura, Ingeniería Civil y del Ambiente

## Escuela Profesional de Ingeniería Civil

**ANÁLISIS DE RIESGO FRENTE A MÁXIMAS AVENIDAS CON EL USO DEL PRODUCTO GRILLADO PISCO PD EN LAS QUEBRADAS POLANCO, SAN LÁZARO, MIRAFLORES Y MARIANO MELGAR EN LA PROVINCIA DE AREQUIPA**

Tesis presentada por los Bachilleres:

**Ramos Fernández, Christel Melissa**

**Saldivar Condori, Grecia Alejandra**

para optar el Título Profesional de

**Ingeniero Civil**

Asesor:

**Dr. Ing. Hidalgo Valdivia, Alejandro Víctor.**

**Arequipa- Perú**

**2022**

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

UCSM-ERP

# UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

## INGENIERIA CIVIL

## TITULACIÓN CON TESIS

## DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 31 de Mayo del 2022

**Dictamen: 002719-C-EPIC-2022**

Visto el borrador del expediente 002719, presentado por:

**2013402042 - RAMOS FERNÁNDEZ CHRISTEL MELISSA**
**2014221012 - SALDIVAR CONDORI GRECIA ALEJANDRA**

Titulado:

**ANÁLISIS DE RIESGO FRENTE A MÁXIMAS AVENIDAS CON EL USO DEL PRODUCTO GRILLADO PISCO PD EN LAS QUEBRADAS POLANCO, SAN LÁZARO, MIRAFLORES Y MARIANO MELGAR EN LA PROVINCIA DE AREQUIPA**

Nuestro dictamen es:

**APROBADO**

**1950 - ARROYO AMBIA ARTURO FELIX**
**DICTAMINADOR**



**3044 - GAMARRA TUCO RUBEN FRANCISCO**
**DICTAMINADOR**



**9745 - CORNEJO LECAROS KARLA FIORELLA**
**DICTAMINADOR**



REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

# DEDICATORIAS

*A mis abuelos, Flora y Alejandro; a mis tíos, Mabel y Lucho; y a mi nana Deys, por estar siempre para mí.*

*A mis hermanos Gabriela y Mauricio, por inspirarme a ser mejor persona y a nunca rendirme.*

*A Yuri por brindarme las primeras oportunidades en mi vida profesional.*

*Y a mi mamá, Yesica, porque sin ti, no hubiera llegado hasta aquí,*

***Bachiller Grecia A. Saldivar Condori***

*A mis padres y a mis hermanos por su apoyo, paciencia y comprensión, por enseñarme el valor de la disciplina y la constancia; en especial a mi hermana Luciana por darme aliento para nunca rendirme, con cada sonrisa y abrazo.*

***Bachiller Christel M. Ramos Fernández***

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

# AGRADECIMIENTO

*Al ingeniero Alejandro Hidalgo, por ser parte importante de nuestra formación académica y por la oportunidad brindada de participar en el proyecto de investigación que lidera.*

*Al ingeniero Joel Ccanccapa Puma, por su orientación, la disponibilidad de tiempo y los consejos para la elaboración de la presente tesis.*

*Y al resto del equipo de investigación del proyecto "Estimación de umbrales de precipitación máxima para el análisis y prevención de desastres por inundación en quebradas de alto riesgo en la Provincia de Arequipa" por ser parte de la experiencia.*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

# RESUMEN

Arequipa es una ciudad atravesada por quebradas, estas ante la ocurrencia de eventos de precipitación extrema suelen activarse desencadenando inundaciones que dejan a su paso una serie daños materiales y humanos que repercuten económica, social y ambientalmente.

El presente trabajo pretende analizar el riesgo frente a máximas avenidas en las quebradas San Lázaro; Polanco (Del Pato); Miraflores (Venezuela), y Mariano Melgar (Los Incas), haciendo uso de los datos de precipitación máxima diaria de la base de datos PISCO Pd y de las estaciones meteorológicas “La Pampilla” y “Chiguata” para distintos escenarios de ocurrencia basado en el modelamiento numérico bidimensional.

Para esto se validó los datos grillados de PISCO Pd V2.o usando medidas de comparación y se determinó los umbrales para identificar los eventos de precipitación extrema calculando los percentiles 75p, 90p, 95p y 99p.

Seguidamente se realizó el modelamiento hidrológico de las cuencas para la obtención de caudales de diseño y los hidrogramas de avenida para los periodos de diseño de 5 y 100 años. Posteriormente se realizó el modelamiento hidráulico de tránsito de avenidas de las quebradas para poder determinar el tirante y las zonas inundadas.

Finalmente se identificó las zonas riesgo por inundación para cada quebrada, donde había desbordamiento del cauce principal.

**Palabras claves:**

Umbrales de precipitación, modelamiento hidrológico, modelamiento hidráulico, análisis de riesgo, PISCO Pd

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

# ABSTRACT

Arequipa is a city crossed by ravines, these before the occurrence of extreme precipitation events are usually activated triggering floods that leave in their wake a series of material and human damages that have an economic, social and environmental impact.

This paper aims to analyze the risk in front of maximum avenues in the San Lázaro ravines; Polanco (Del Pato); Miraflores (Venezuela), and Mariano Melgar (Los Incas), making use of the maximum daily precipitation data from the PISCO Pd database and the meteorological stations "La Pampilla" and "Chiguata" for different scenarios of occurrence based on two-dimensional numerical modeling.

For this, the grilled data of PISCO Pd V2.o was validated using comparison measures and the thresholds to identify extreme precipitation events were determined by calculating the 75p, 90p, 95p and 99p percentiles.

Then the hydrological modeling of the basins was carried out to obtain design flows and the avenue hydrograms for the design periods of 5 and 100 years. Subsequently, the hydraulic modeling of traffic of avenues of the ravines was carried out to determine the tension and the flooded areas.

Finally, the flood risk zones were identified for each ravine, where there was overflow of the main channel.

**Keywords:**

Precipitation thresholds, hydrological modeling, hydraulic modeling, risk analysis, PISCO Pd.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

# INTRODUCCIÓN

Arequipa cuenta con la presencia de quebradas que atraviesan la parte urbana de la ciudad, en el presente trabajo se analizará cuatro de ellas, las cuales, se encuentran ubicadas en el hemisferio izquierdo de la ciudad y desembocan en el Río Chilli.

Estas quebradas han sido denominadas de diferentes formas a lo largo de los años, sin embargo en este proyecto de investigación se ha decidido utilizar las denominaciones más usadas en los informes, estudios, artículos y tesis en los últimos 3 años con la finalidad de que su divulgación sea más efectiva, por lo cual a partir de este momento nos referiremos a la quebrada Polanco como quebrada Del Pato, a la quebrada Miraflores como quebrada Venezuela, a la quebrada Mariano Melgar como quebrada Los Incas y la quebrada San Lázaro permanecerá con su nombre original.

Las quebradas antes descritas cada cierto tiempo se activan producto de eventos de precipitación extrema, ocasionando daños dentro de la ciudad, estos pueden ir desde daños materiales hasta pérdidas humanas, por lo cual es importante realizar y actualizar los estudios hidrológicos e hidráulicos, ya que estos representan una medida preventiva no estructural.

Es así que en el desarrollo de la tesis se buscó determinar las zonas de riesgo por inundación en las quebradas anteriormente mencionadas usando la información pluviométrica de la base de datos PISCO Pd y las estaciones meteorológicas “La Pampilla” y “Chiguata” para distintos escenarios de ocurrencia basado en el modelamiento numérico bidimensional.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

# ÍNDICE

DEDICATORIAS

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

CAPÍTULO I 1

1. Planteamiento Teórico 2

1.1. Título De La Investigación 2

1.2. Problema De La Investigación 2

1.2.1. Enunciado Del Problema 2

1.2.2. Justificación 3

1.3. Objetivos 6

1.3.1. Objetivo General 6

1.3.2. Objetivos Específicos 6

1.4. Hipótesis 7

1.5. Variables 7

1.5.1. Variable Independiente 7

1.5.2. Variable Dependiente 8

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

1.6. Antecedentes 8

1.7. Base Legal 9

CAPÍTULO II 11

2. Marco Teórico 12

2.1. Análisis Exploratorio de Datos 12

2.1.1. Histograma de Frecuencia 12

2.1.2. QQ-plot 14

2.1.3. Diagrama de Caja y Diagrama de Caja Ajustada 15

2.2. Medidas de Comparación 20

2.2.1. Error Absoluto Medio (MAE) 20

2.2.2. Raíz del Error Medio Cuadrático (RMSE) 21

2.2.3. Sesgo Porcentual (PBIAS) 22

2.2.4. Coeficiente de Determinación ($R^2$) 23

2.2.5. Criterio de Eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE) 23

2.3. Umbrales de Precipitación 24

2.3.1. Precipitación máxima 24

2.3.2. Indicadores de precipitación 25

2.4. Distribución De Probabilidades De Valores Extremos 25

2.4.1. Teoría De Valores Extremos Y Modelos 26

2.4.2. Distribución de valores extremos generalizado 26

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.5. Prueba De Bondad Y Ajuste 27

2.6. Método de Smirnov - Kolmogorov 27

2.7. Periodo De Retorno 28

2.8. Método De Polígono De Thiessen 29

2.9. Metodología De Dick Peschke 30

2.10. Curva Número 30

2.11. Tiempo De Concentración 31

2.12. Abstracción Inicial 31

2.13. Hidrograma 32

2.14. Hidrograma Unitario 32

2.15. Hidrograma Unitario Sintético 33

2.15.1. Hidrograma Unitario Sintético del SCS 33

2.16. Ecuación de Saint Venant 34

2.17. Muskingum 34

2.18. Condición de Courant 34

2.19. Flujos 34

2.19.1. Avenidas de lodos (Mud Floods) 35

2.19.2. Flujos de lodos (Mudflows) 35

CAPÍTULO III 36

3. Metodología 37

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3.1. Tipo Y Nivel De Investigación 37

3.2. Diseño de Investigación 37

3.3. Fuentes de Información 38

3.3.1. Información Pluviométrica 38

3.3.2. Información Histórica de Eventos Extremos 38

3.3.3. Información de Modelo Digital de Información 39

3.3.4. Información Topográfica 40

3.4. Instrumentos Usados en el Proyecto 40

3.4.1. Bases de Datos 40

3.4.2. Instrumentos Para Procesar Datos 42

3.5. Desarrollo del Proyecto 46

3.5.1. Análisis Exploratorio de Datos 46

3.5.2. Validación de Datos Grillados (PISCO Pd v2.0) con Datos Observados 47

3.5.3. Determinación de Umbrales de Precipitación 47

3.5.4. Estudio Hidrológico 48

3.5.5. Modelamiento Hidrológico 49

3.5.6. Engrosamiento de Flujo 49

3.5.7. Modelamiento Hidráulico 49

CAPÍTULO IV 50

4.Descripción De La Zona De Estudio 51

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

4.1. Ubicación de las Quebradas 51

4.2. Clima e Hidrología 54

4.3. Aspectos Geológicos 57

4.4. Data Histórica de Eventos de Precipitación Extrema 64

CAPÍTULO V 67

5. Umbrales De Precipitación 68

5.1. Estaciones Meteorológicas 68

5.1.1. Selección De Datos De Precipitación De Estaciones Meteorológicas 68

5.1.2. Análisis Exploratorio De Datos de Precipitación Por Estación Meteorológica 69

5.1.3. Caracterización de Umbrales de Precipitación por Estación 77

5.1. Datos Pluviométricos del Producto PISCO Pd V2.0 88

5.1.1. Validación de los datos PISCO precipitación diaria con datos observados 88

5.1.2. Selección de Área para Cálculo de Umbrales 91

5.1.3. Análisis Exploratorio de Datos de Precipitación Diaria por Área 92

5.1.4. Caracterización de Umbrales de Precipitación Diaria de la Unidad Hidrográfica 95

5.2. Comparación de Resultados 98

CAPÍTULO VI 103

6. Estudio Hidrológico 104

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

6.1. Parámetros Morfométricos 104

6.1.1. Área 104

6.1.2. Perímetro 105

6.1.3. Coeficiente de compacidad 105

6.1.4. Factor de forma 106

6.2. Parámetros Geomorfológicos 108

6.2.1. Pendiente de la cuenca 108

6.2.2. Curva Hipsométrica 108

6.2.3. Polígono De Frecuencia De Altitudes 109

6.2.4. Altitudes Representativas 110

6.2.5. Pendiente Del Cauce Principal 110

6.3. Parámetros De La Red De Drenaje 112

6.3.1. Orden De Corrientes 112

6.3.2. Régimen De Las Corrientes 112

6.3.3. Longitud De Tributarios 113

6.3.4. Longitud De Cauce Principal 113

6.4. Análisis De Registro Pluviométrico De La Red De Estaciones 114

6.4.1. Estaciones Pluviométricos 114

6.4.2. Registro De Precipitación De Las Estaciones 115

6.4.3. Análisis Y Tratamiento De La Información 116

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

6.4.4. Precipitación Media Areal 120

6.4.5. Curvas Intensidad - Duración - Periodo De Retorno (I-D-T) 121

6.4.6. Hietograma de Diseño 123

6.5. Análisis De Registro Pluviométrico Del Producto Pisco Pd 126

6.5.1. Estaciones Virtuales 126

6.5.2. Registro De Precipitación Del Producto Pisco Pd 126

6.5.3. Análisis Y Tratamiento De La Información 127

6.5.4. Precipitación Media Areal 134

6.5.5. Curvas Intensidad - Duración - Periodo de Retorno (IDT) 135

6.5.6. Hietograma De Diseño 136

CAPÍTULO VII 139

7. Modelamiento Hidrológico 140

7.1. Datos De Entrada Para El Modelo Hidrológico 140

7.1.1. Numero Curva 140

7.1.2. Tiempo De Concentración 141

7.1.3. Abstracción Inicial 142

7.1.4. Tiempo de retardo (Lag time) 143

7.1.5. Impermeabilidad 143

7.2. Ingreso de Datos Para El Modelo Hidrológico 144

7.3. Ejecución De Simulación 145

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

7.4. Caudales Máximos De Diseño 146

7.5. Calibración del modelo hidrológico 147

CAPÍTULO VIII 150

8. Engrosamiento De Flujo 151

8.1. Criterios de engrosamiento 151

8.2. Obtención del factor de engrosamiento 153

8.3. Hidrogramas líquidos y solidos 155

CAPÍTULO IX 156

9. Modelamiento Hidráulico 157

9.1. Datos de entrada para el modelo hidráulico 157

9.1.1. Modelo Digital Del Terreno 157

9.1.2. Usos De Suelo Y Número De Manning 157

9.2. Ingreso de Datos Para El Modelo Hidráulico 158

9.3. Ejecución y obtención de resultados 160

CAPÍTULO X 163

10. Análisis De Zonas De Riesgo 164

10.1. Quebrada Del Pato 164

10.2. Quebrada San Lázaro 165

10.3. Quebrada Venezuela 167

10.4. Quebrada Los Incas 168

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

CAPÍTULO XI 170

11. Conclusiones Y Recomendaciones 171

11.1. Conclusiones 171

11.2. Recomendaciones 175

REFERENCIAS 176

ANEXOS 190

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

# INDICE DE TABLAS

Tabla 1 *Equipo de investigación del proyecto 2018-IF-02-17* ..... 4

Tabla 2 *Descripción de variable independiente* ..... 7

Tabla 3 *Descripción de variable dependiente* ..... 8

Tabla 4 *Partes de un diagrama de caja* ..... 16

Tabla 5 *Partes de un diagrama de caja ajustada* ..... 19

Tabla 6 *Interpretación del Error Medio Absoluto* ..... 21

Tabla 7 *Interpretación Raíz del Error Medio Cuadrático (RMSE)* ..... 21

Tabla 8 *Interpretación del porcentaje de sesgo* ..... 22

Tabla 9 *Interpretación del criterio de Eficiencia de Nash-Sutcliffe* ..... 24

Tabla 10 *Determinación de umbrales extremos de precipitación* ..... 25

Tabla 11 *Valores críticos para la prueba Kolmogorov – Smirnov* ..... 28

Tabla 12 *Fuentes de la información pluviométrica* ..... 38

Tabla 13 *Fuentes de base histórica de eventos de precipitación extrema* ..... 39

Tabla 14 *Estaciones meteorológicas convencionales utilizadas* ..... 42

Tabla 15 *Paquetes usados en RStudio* ..... 44

Tabla 16 *Descripción de las torrenteras* ..... 53

Tabla 17 *Horas de sol en la ciudad* ..... 54

Tabla 18 *Temperatura promedio máxima y mínima en la ciudad de Arequipa* ..... 55

Tabla 19 *Precipitación promedio en la ciudad de Arequipa* ..... 57

Tabla 20 *Porcentaje de humedad relativa promedio de la ciudad de Arequipa* ..... 57

Tabla 21 *Descripción de los aspectos geológicos de las quebradas del estudio* ..... 59

Tabla 22 *Peligros geológicos de las quebradas del estudio* ..... 60

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 23 *Eventos de precipitación en extrema en la ciudad de Arequipa* ..... 64

Tabla 24 *Resumen de análisis de datos de precipitación diaria de las estaciones meteorológicas* ..... 69

Tabla 25 *Resumen de datos analizados* ..... 70

Tabla 26 *Características estadísticas descriptivas por estación* ..... 77

Tabla 27 *Resumen de selección de datos de precipitación diaria por estaciones* ..... 77

Tabla 28 *Medcouple de las estaciones meteorológicas con datos RR/día > 0.1* ..... 78

Tabla 29 *Análisis de valores atípicos de la estación La Pampilla* ..... 81

Tabla 30 *Resumen del análisis de valores atípicos de la estación La Pampilla* ..... 82

Tabla 31 *Análisis 1 de valores atípicos de la estación Chiguata* ..... 84

Tabla 32 *Análisis 2 de valores atípicos de la estación Chiguata* ..... 84

Tabla 33 *Resumen de análisis de valores atípicos de la estación Chiguata* ..... 85

Tabla 34 *Caracterización de los umbrales de precipitación de la estación la Pampilla* ..... 86

Tabla 35 *Caracterización de los umbrales de precipitación de la estación Chiguata* ..... 87

Tabla 36 *Medidas de comparación para la validación del producto PISCO pd* ..... 89

Tabla 37 *Características estadísticas descriptivas de la Unidad Hidrográfica* ..... 94

Tabla 38 *Resumen de selección de datos de precipitación mensual por Unidad Hidrográfica* ... 95

Tabla 39 *Características del diagrama de caja ajustada de la Unidad Hidrográfica* ..... 97

Tabla 40 *Caracterización de los umbrales de precipitación de la Unidad Hidrográfica* ..... 97

Tabla 41 *Comparación de percentiles 75p, 90p, 95p y 99p* ..... 99

Tabla 42 *N° de eventos extremos según umbrales de precipitación* ..... 100

Tabla 43 *Clasificación según el área* ..... 105

Tabla 44 *Formas de la Cuenca de Acuerdo con el Índice de Compacidad* ..... 106

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 45 *Forma de la cuenca hidrográfica según su factor de forma* ..... 107

Tabla 46 *Parámetros Morfométricos de las Quebradas*..... 107

Tabla 47 *Parámetros geomorfológicos de las Quebradas* ..... 111

Tabla 48 *Parámetros de la red de drenaje de las quebradas* ..... 114

Tabla 49 *Estaciones meteorológicas cercanas* ..... 115

Tabla 50 *Medcouple de las estaciones meteorológicas para eventos extremos* ..... 116

Tabla 51 *Mejor ajuste de distribución para la precipitación máxima de 24 hr.* ..... 119

Tabla 52 *Precipitación máxima (mm) de diseño corregida por estación*..... 120

Tabla 53 *Precipitación media (mm) por microcuenca.* ..... 121

Tabla 54 *Cálculo del hietograma por bloques alternos Dick Peschke 3 horas para 100 años, Quebrada Del Pato.* ..... 125

Tabla 55 Medcouple de las estaciones virtuales de PISCO Pd v2.0..... 127

Tabla 56 *Detalles del diagrama de caja ajustado de las estaciones PISCO Pd* ..... 129

Tabla 57 *Resumen de análisis de datos atípicos de las estaciones virtuales PISCO pd v2.0* .... 130

Tabla 58 *Detalles del diagrama de caja ajustada de las estaciones PISCO Pd corregido*..... 132

Tabla 59 *Mejor ajuste de distribución para la data de precipitación grillada Pisco Pd.*..... 133

Tabla 60 *Precipitación máxima (mm) de diseño con la data grillada Pisco Pd.* ..... 134

Tabla 61 *Precipitación media (mm) areal con la data grillada Pisco Pd.*..... 135

Tabla 62 *Calculo del hietograma por bloques alternos, Dick Peschke 3 hrs Tr = 100 años, microcuenca Del Pato con la data grillada Pisco Pd.* ..... 138

Tabla 63 *Número de curva para cada microcuenca*..... 140

Tabla 64 *Tiempo de concentración en horas y minutos para cada microcuenca* ..... 141

Tabla 65 *Valores de abstracción inicial para cada microcuenca* ..... 142

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 66 *Tiempo de retardo para cada microcuenca* ..... 143

Tabla 67 *Porcentaje de impermeabilidad para cada microcuenca* ..... 144

Tabla 68 *Caudales máximos para diferentes periodos de retorno, con los datos de las estaciones* ..... 145

Tabla 69 *Caudales máximos por Dick Peschke 3 hrs para diferentes periodos de retorno, con la data grillada PISCO Pd.* ..... 146

Tabla 70 *Resultado de medidas de comparación entre caudales.* ..... 146

Tabla 71 *Cálculo de caudales registrados* ..... 148

Tabla 72 *Caudales máximos corregidos* ..... 149

Tabla 73 *Tipos de flujo de acuerdo con las características de la mezcla y del canal.* ..... 152

Tabla 74 *Caracterización de flujos de las quebradas* ..... 154

Tabla 75 *Caudal de flujo de lodo para diferentes periodos de retorno* ..... 154

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

# INDICE DE FIGURAS

Figura 1 *Ejemplo de histograma de frecuencia* ..... 13

Figura 2 *Tipos de histogramas según la distribución de sus datos* ..... 13

Figura 3 *Diagramas de cuantiles correspondientes a distintos tipos de distribución* ..... 14

Figura 4 *Ejemplo de datos atípicos* ..... 15

Figura 5 *Construcción del Diagrama de Caja y su relación con la función de densidad para una distribución normal.* ..... 17

Figura 6 *Ejemplo de diagrama de caja de Turkey para distribuciones asimétricas* ..... 18

Figura 7 *Diagrama de caja vs diagrama de caja ajustada* ..... 20

Figura 8 *Distribución de las Áreas Aferentes Según los Polígonos de Thiessen* ..... 29

Figura 9 *Representación Simplificada de las Abstracciones Iniciales o Pérdidas* ..... 32

Figura 10 *Esquema de la Hidrógrafa del SCS* ..... 33

Figura 11 *Ubicación de unidad hidrográfica de la zona de estudio* ..... 51

Figura 12 *Zona de estudio con vistas a los cauces de las quebradas* ..... 52

Figura 13 *Matriz de precipitación mensual- Estación "La Pampilla" (mm/mes)* ..... 56

Figura 14 *Matriz de precipitación mensual- Estación "Chiguata" (mm/mes)* ..... 56

Figura 15 *Comparación de la Quebrada Del Pato 2004 vs 2018* ..... 61

Figura 16 *Material suelto en el cauce de la Quebrada Del Pato* ..... 61

Figura 17 *Viviendas al margen del cauce de la Quebrada San Lázaro* ..... 62

Figura 18 *Material suelto en la Quebrada San Lázaro* ..... 62

Figura 19 *Estrechamiento del cauce de la Quebrada Venezuela* ..... 63

Figura 20 *Estrechamiento del cauce de la Quebrada Los Incas* ..... 63

Figura 21 *Ubicación de estaciones meteorológicas* ..... 68

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 22 *Histograma de frecuencia de precipitación diaria de la estación "La Pampilla"* ..... 71

Figura 23 *Histograma de frecuencia de precipitación máxima mensual de la estación "La Pampilla"* ..... 71

Figura 24 *Histograma de frecuencia de precipitación diaria de la estación Chiguata* ..... 72

Figura 25 *Histograma de frecuencia de precipitación máxima mensual de la estación Chiguata* ..... 73

Figura 26 *Q-Q plot, estación La Pampilla* ..... 74

Figura 27 *Q-Q plot, estación Chiguata* ..... 74

Figura 28 *Diagramas de caja de la estación La Pampilla* ..... 75

Figura 29 *Diagramas de caja de la estación Chiguata* ..... 76

Figura 30 *Histograma de RR/día> 0.1 mm. de la estación La Pampilla* ..... 79

Figura 31 *Diagrama de caja ajustada de la estación La Pampilla* ..... 80

Figura 32 *Histograma de RR/día> 0.1 mm. de la estación Chiguata* ..... 82

Figura 33 *Diagrama de caja ajustada de la estación Chiguata* ..... 83

Figura 34 *Visualización de percentiles en la serie de tiempo de la estación La Pampilla* ..... 86

Figura 35 *Visualización de percentiles en la serie de tiempo de la estación Chiguata* ..... 88

Figura 36 *Comparación de series de tiempo del producto PISCO Pd vs estación La Pampilla* .. 90

Figura 37 *Comparación de series de tiempo del producto PISCO Pd- estación Chiguata* ..... 90

Figura 38 *Unidad Hidrográfica 13257* ..... 91

Figura 39 *Histograma de frecuencia de precipitación diaria de la Unidad Hidrográfica* ..... 92

Figura 40 *Q-Q plot, Unidad Hidrográfica* ..... 93

Figura 41 *Diagrama de caja de la precipitación diaria de la Unidad Hidrográfica* ..... 94

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 42 *Histograma de frecuencias de los datos de precipitación máxima de la Unidad Hidrográfica* ..... 96

Figura 43 *Diagrama de caja ajustada de la Unidad Hidrográfica* ..... 96

Figura 44 *Visualización de percentiles en la serie de tiempo de la Unidad Hidrográfica*..... 98

Figura 45 *Comparación de percentiles 75p, 90p, 95p y 99p* ..... 100

Figura 46 *N° de eventos de precipitación según umbrales de precipitación*..... 101

Figura 47 *Total de eventos extremos* ..... 102

Figura 48 *Curva hipsométrica y polígono de frecuencias de la microcuenca Del Pato* ..... 109

Figura 49 *Diagrama de caja ajusta de las estaciones meteorológicas para eventos extremos* . 117

Figura 50 *Diagrama de caja de ajustada de estaciones meteorológicas para eventos extremos corregida*..... 118

Figura 51 *Curvas IDT para la microcuenca Del Pato* ..... 123

Figura 52 *Hietograma para un periodo de retorno de 100 años de la quebrada Del Pato.* ..... 124

Figura 53 *Ubicación de las estaciones virtuales PISCO Pd con respecto al área de estudio* ... 126

Figura 54 *Diagrama de caja ajustada de las estaciones virtuales PISCO Pd v2.0*..... 128

Figura 55 *Diagrama de caja ajustada de las estaciones virtuales PISCO Pd v2.0 corregido*... 131

Figura 56 *Curvas IDT para la Microcuenca Del Pato con la data grillada Pisco Pd.*..... 136

Figura 57 *Hietograma para un periodo de retorno de 100 años de la microcuenca Del Pato con la data grillada de Pisco Pd.* ..... 137

Figura 58 *Clasificación de los deslizamientos y flujos de acuerdo con la velocidad y concentración de sedimentos.* ..... 153

Figura 59 *Hidrograma líquido y sólido de la quebrada Del Pato.*..... 155

Figura 60 *MDT de la quebrada Del Pato* ..... 157

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 61 *Ráster inicial (izquierdo) y corregido (derecho) de la quebrada San Lázaro.* ..... 158

Figura 62 *Map layers Manning de la quebrada San Lázaro.* ..... 159

Figura 63 *Ventana Unsteady Flow Analysis* ..... 160

Figura 64 *Ventana Calculation Option And Tolerance* ..... 162

Figura 65 *Villa Confraternidad, Alto Selva Alegre* ..... 164

Figura 66 *Áreas verdes, aguas abajo* ..... 165

Figura 67 *Parque Selva Alegre* ..... 166

Figura 68 *Edificación de la empresa Michell & Cia S.A* ..... 167

Figura 69 *Tramo de la Avenida Venezuela* ..... 168

Figura 70 *Terminal terrestre de Arequipa* ..... 169

Figura 71 *Puente Avenida Jesús* ..... 169

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**INDICE DE ANEXOS**

Anexo 1. Curva hipsométrica y polígono de frecuencia de altitudes de las microcuencas. ..... 191

Anexo 2. Registro de precipitación máxima de 24 horas de las estaciones..... 197

Anexo 3. Ajuste de precipitación y prueba de bondad de ajuste de las estaciones..... 201

Anexo 4. Curvas IDT de las microcuencas con el registro de las estaciones pluviométricas. ... 203

Anexo 5. Hietogramas para diferentes periodos de retorno por cada microcuenca..... 206

Anexo 6. Registro de precipitación máxima de 24 hrs anual de las estaciones virtuales. ..... 231

Anexo 7. Diagramas de caja de estaciones virtuales. ..... 232

Anexo 8. Hietogramas para diferentes periodos de retorno por cada microcuenca de la data grillada Pisco Pd..... 235

Anexo 9. Hidrograma Liquido y solido de las quebradas para un periodo de retorno de 100 años. ..... 260

Anexo 10. Modelo Digital del Terreno de las quebradas. ..... 262

Anexo 11. Códigos en Rstudio para la realización de procesos estadísticos..... 264

Anexo 12. Panel fotográfico de Reconocimiento de zona de estudio..... 284

Anexo 13. Lista de planos..... 291

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

# CAPÍTULO I



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

# 1. Planteamiento Teórico

## 1.1. Título De La Investigación

"Análisis de Riesgo Frente a Máximas Avenidas con el Uso del Producto Grillado PISCO Pd en las Quebradas Polanco, San Lázaro, Miraflores y Mariano Melgar en la Provincia de Arequipa"

## 1.2. Problema De La Investigación

### *1.2.1. Enunciado Del Problema*

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático advierte, en su Sexto Informe de Evaluación sobre el cambio climático, que los eventos de precipitación extrema que desencadenan inundaciones, deslizamientos y sequías serán cada vez más frecuentes y con mayor intensidad en Sudamérica, siendo Perú uno de los países más afectados, el cual podría aumentar en un 400% las incidencias por inundación. (Bednar-Friedl et al,2022)

Arequipa es una ciudad ubicada al sur del Perú en una zona semiárida, con periodos de lluvias estacionales, los cuales se producen en la temporada de verano entre enero y febrero, donde es cada vez más frecuente que se susciten inundaciones, producto de las intensas lluvias en la ciudad, las cuales causan grandes pérdidas materiales y humanas, afectando de manera directa la economía de la región que ve paralizada sus actividades diarias debido a los daños antes descritos (Ettinger et al., 2014).

Tal como se pudo observar el 8 de marzo del 2013, fecha en la que la precipitación alcanzó los 124.5 mm, lo cual, tal como lo describe Cacya et al (2013), ocasionó la activación de las quebradas San Lázaro, Venezuela y Los Incas, lo que provocó inundaciones y desbordes que



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

afectaron 50 km de vías el sistema de agua potable y desagüe, destruyendo 79 viviendas y afectando otras 10 000, además de los centros comerciales.

A su vez podemos observar la escaza bibliografía focalizada y actualizada sobre los umbrales de precipitación que determinan y clasifican los eventos extremos de precipitación (Alfaro L, 2014) en la ciudad, lo que dificulta un análisis efectivo del comportamiento de la información pluviométrica, esto sumado a la ausencia de registros continuos de las diferentes estaciones meteorológicas de la red local, no permite un correcto modelamiento hidrológico de la zona.

De la misma forma no hay suficientes estudios que consideren el flujo de lodos al momento de realizar el modelamiento hidráulico, lo que deja obsoleto cualquier modelo que no tenga presente este punto en su análisis, ya que no reflejaría de manera fehaciente la realidad del área de estudio.

### *1.2.2. Justificación*

#### 1.2.2.1. Académica.

El presente proyecto de tesis se presentará como parte de los entregables del proyecto de investigación “Estimación de umbrales de precipitación máxima para el análisis y prevención de desastres por inundación en quebradas de alto riesgo en la Provincia de Arequipa”. identificado con código 2018-IF-02-17 y ganador del concurso “Fondo para la Investigación 2018 (TIPO 2)” según resolución N° 26617-R-2019 convocado (realizado) por el Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Católica de Santa María en la Región Arequipa.

En la Tabla 1 se tiene la conformación del EQUIPO DE INVESTIGACIÓN y la función respectiva de cada integrante.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Tabla 1**

*Equipo de investigación del proyecto 2018-IF-02-17*

| NOMBRE | FUNCIÓN TÉCNICA | DNI |
|---|---|---|
| Alejandro Víctor Hidalgo Valdivia | Investigador Principal | 29688899 |
| Guillermo Yorel Noriega Aquise | Co – Investigador | 43673910 |
| Alex Eduardo Aguilar Chávez | Asistente | 45475137 |
| Joel Ccanccapa Puma | Asistente | 46487787 |
| Grecia Alejandra Saldívar Condori | Tesista | 72905095 |
| Christel Melissa Ramos Fernández | Tesista | 74773421 |

*Nota. Tabla elaborada por el investigador principal del proyecto de investigación.*

#### 1.2.2.2. Técnica.

El proyecto de investigación se ajusta a la realidad de la ingeniería moderna, principalmente en el uso de conceptos contemporáneos, métodos vanguardistas para el tratamiento de datos y la elaboración de los modelos hidrológicos e hidráulicos; y en el uso de herramientas tecnológicas que facilitaron el desarrollo de la investigación.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

#### 1.2.2.3. Social.

El modelamiento hidrológico e hidráulico y su respectivo análisis desarrollado en la tesis deja un precedente para que a futuro sirva como herramienta de inicio para aquellos estudiantes que deseen profundizar en la investigación.

Así mismo deja establecido zonas de riesgo donde se puede producir desbordes y/o inundaciones que afectarían directamente a las personas de las zonas descritas, por lo cual sirve como referente para la comunidad y las autoridades competentes.

#### 1.2.2.4. Económica.

El proyecto de investigación ayudará a reducir las pérdidas económicas de los que habitan y desarrollan actividades económicas en los alrededores de las quebradas en estudio, ya que, establece zonas de riesgo por inundación o desborde, por lo cual, se considera una medida de prevención no estructural que pondrá en alerta a la población de los distritos afectados.

#### 1.2.2.5. Política.

El proyecto de investigación tiene como principal objetivo identificar zonas de riesgo por inundación, por lo cual, los resultados pueden ser considerados por las autoridades de los distritos afectados para la toma de decisiones con respecto a proyectos de obras públicas, planes de gestión de riesgo de desastres y ordenamiento territorial.

#### 1.2.2.6. Ambiental.

El proyecto de investigación sirve como principal divulgador de las consecuencias del cambio climático, ya que analiza la frecuencia y la magnitud de los eventos de precipitación extrema en la ciudad de Arequipa a través del tiempo usando el enfoque de umbrales de precipitación.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

## 1.3. Objetivos

### *1.3.1. Objetivo General*

Analizar el riesgo frente a máximas avenidas de las quebradas San Lázaro, del Pato, Venezuela y los Incas en la provincia de Arequipa haciendo uso de la base de datos PISCO Pd desarrollando modelos numéricos bidimensionales.

### *1.3.2. Objetivos Específicos*

- Realizar la validación de la base de datos PISCO Pd en el área de estudio con datos de las estaciones meteorológicas “La Pampilla” y “Chiguata” a través de las medidas de comparación.
- Generar umbrales de precipitación máxima en las quebradas San Lázaro, del Pato, Venezuela y los Incas con la información pluviométrica de las estaciones meteorológicas y el producto grillado PISCO Pd.
- Determinar los parámetros morfométricos, geomorfológicos e hidrológicas de las quebradas, utilizando los softwares HEC-HMS 4.8 y QGIS 3.10.0.
- Analizar la información de las series históricas de Precipitaciones Máximas de 24 horas de las estaciones meteorológicas y de la data del producto grillado PISCO Pd, usando lenguaje de programación R.
- Realizar el modelo hidrológico para diferentes periodos de retorno con el software HEC- HMS 4.8.0
- Realizar el modelo hidráulico para simular de una forma acertada las zonas de inundación, con los programas HEC – RAS 5.0.7. 2D.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

## 1.4. Hipótesis

Dado que se conocen los datos hidrológicos y geográficos de las quebradas Del Pato, San Lázaro, Venezuela y Los Incas ubicadas en la provincia de Arequipa, es factible analizar el riesgo frente a máximas avenidas desarrollando modelos numéricos bidimensionales.

## 1.5. Variables

### *1.5.1. Variable Independiente*

**Tabla 2**

*Descripción de variable independiente*

| Variable | Tipo de variable | Unidad | Indicadores | Herramientas | Descripción Operacional |
|---|---|---|---|---|---|
| **Precipitación extrema** | Independiente | mm | Precipitación | -Estaciones meteorológicas<br>-Base de datos PISCO Pd | Se estima bajo el enfoque de umbrales en base a la información de precipitación diaria. |

*Nota. Tabla elaborada con información descrita en la Nota Técnica: Umbrales de precipitación para la emisión de avisos meteorológicos (Alfaro,2014)*



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

### *1.5.2. Variable Dependiente*

**Tabla 3**

*Descripción de variable dependiente*

| Variable | Tipo de variable | Unidad | Indicadores | Herramientas | Descripción Operacional |
|---|---|---|---|---|---|
| **Máximas Avenidas** | Dependiente | $m^3/s$ | Caudal | HEC-HMS | La estimación se realiza con base en un nivel de riesgo determinado, que se traduce en un periodo de retorno de diseño. |

## 1.6. Antecedentes

**A.** Resultados preliminares sobre la evaluación de peligros geohidrológicos en la ciudad de Arequipa.

Estudio donde se identifica que las quebradas con mayor actividad en peligros geológicos y geohidrológicos son Polanco, San Lázaro, Venezuela, Los Incas, Mariano Melgar y la Ichuza; también se identifica que las torrenteras se encuentran antropizadas, significa que se encuentran estrechas en sus cauces, por la construcción de viviendas, puentes, o por el arrojo de desmonte y basura (Vilchez, Villacorta, Sosa, Rivera & Luque, 2016).



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**B.** Peligros por huaicos en la ciudad de Arequipa.

En este informe encontramos un mapa que muestra las quebradas por donde descienden los flujos de lodo, y tiene como conclusión que la fuente de huaicos está asociada a la ocurrencia de lluvias intensas que discurren por las quebradas o torrenteras, las cuales nacen en el volcán Misti, atravesando la ciudad para desembocar en el río Chili. También identifica que las riberas están desprotegidas sin protección natural o artificial (Rivera, 2018).

**C.** Peligro geológico por movimientos en masa en la ciudad de Arequipa. INGEMMET, *Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica N°85*.

En este informe INGEMMET determina zonas críticas donde anteriormente hubo desbordamientos que afectaron la ciudad y que tienen relación directa con las quebradas que atraviesan la misma. Así mismo presenta una data histórica de los eventos extremos registrados en la ciudad que tuvieron un impacto negativo en ella. Finalmente se realiza el modelamiento hidráulico de la quebrada San Lázaro considerando el flujo de detritos (Vilchez & Sosa, 2021)

### 1.7. Base Legal

**A.** Ordenanza Municipal Nº 990- Arequipa 12 de Julio del 2016- Plan de desarrollo local concertado de Arequipa 2016-2021.

En el capítulo I en inciso 1.1. "*Sistema Ambiental"* en el apartado g. Riesgos realiza una descripción de la situación actual de las torrenteras que atraviesan la región, haciendo hincapié en los problemas particulares de cada una.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**B.** RM N°049-2020-PCM: Protocolo para la Emisión de Avisos, Alertas y Alarmas ante Lluvias Intensas y Peligros Asociados

La presente resolución ministerial evidencia la necesidad de contar con el protocolo mencionado, debido a que permitirá orientar respecto a la emisión de los avisos, alertas y alarmas respecto a lluvias intensas y peligros derivados de las mismas, ya que estos causan grandes daños en la infraestructura y en la calidad de vida de las personas afectadas por los mismos.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

# CAPÍTULO II



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

# 2. Marco Teórico

## 2.1.Análisis Exploratorio de Datos

Para Rojas Suárez el Análisis Exploratorio de Datos se define como "un conjunto de técnicas estadísticas, las que tienen como finalidad explicar de forma sencilla los datos y de las relaciones existentes entre las variables analizadas. Permite detectar fallos en el diseño y adquisición de datos, así como también la identificación de valores atípicos" (2011).

Es así como a continuación se presentará una serie de términos estadísticos que nos ayudarán a la comprensión posterior de la metodología y los resultados de la tesis.

### *2.1.1. Histograma de Frecuencia*

En el libro "Estadística Básica para los Negocios" los autores Ramos, del Águila Bazalar (2017) indican que la construcción de un histograma hay que tener los siguientes criterios:

-Los intervalos en que se divide el rango de valores de la variable tienen que tener igual amplitud.

-Los rectángulos que se encuentran sobre cada intervalo tienen como representación el cálculo de las frecuencias absolutas o relativas de los datos entre intervalos.

-Se debe mantener la proporcionalidad entre el área de los rectángulos y la frecuencia absoluta.



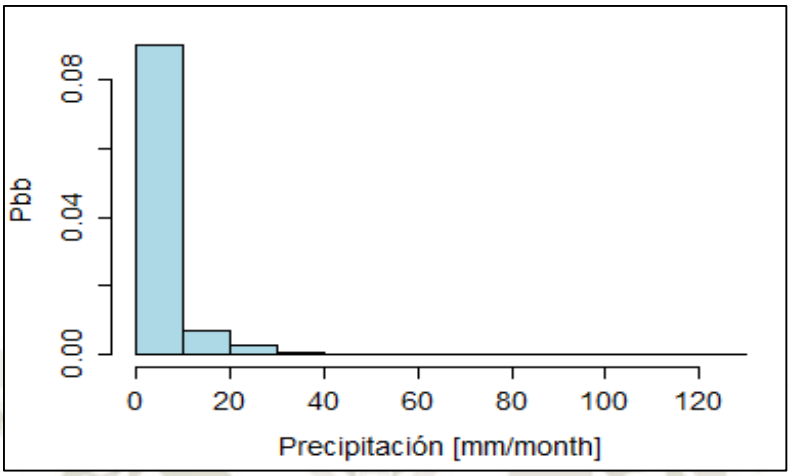
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Figura 1**

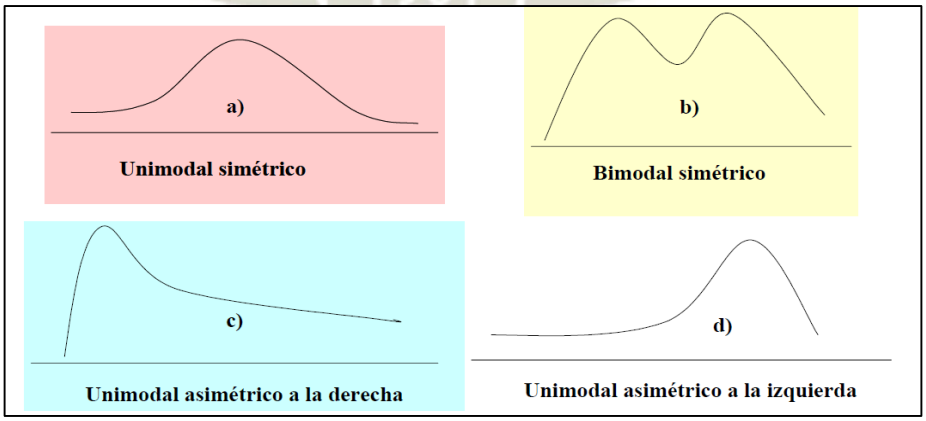
*Ejemplo de histograma de frecuencia*




Wickham y Garret en su libro "R for Data Science" nos indican que el histograma de frecuencia se usa principalmente para "examinar la distribución de una variable continua" (2011). En la Figura 2 podemos observar las diferentes formas que puede adoptar el histograma según la distribución de datos.

**Figura 2**

*Tipos de histogramas según la distribución de sus datos*




*Nota. Extraído de la guía de "Análisis Exploratorio de Datos" (Salvador & Gargallo, 2003)*



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

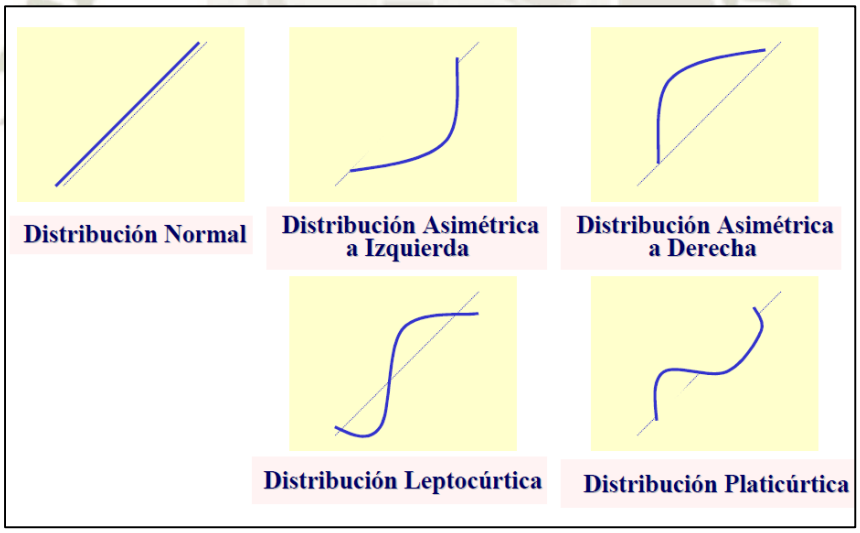
### *2.1.2. QQ-plot*

Marrone (2017) define el Q-Q plot o diagrama de cuantiles como "un gráfico que compara dos distribuciones de probabilidades, la empírica obtenida a partir de las muestras y la teórica a partir de las distribuciones elegidas como las más adecuadas y cuyos parámetros fueron estimados a partir de las muestras", cuyo principal objetivo es determinar la normalidad de los datos analizados, cuanto más alejados los datos de la estén de la recta hipotética monos normales serán.

En la siguiente figura observamos los posibles diagramas de cuantiles dependiendo de la distribución de frecuencias.

**Figura 3**

*Diagramas de cuantiles correspondientes a distintos tipos de distribución*




*Nota. Extraído de la guía de "Análisis Exploratorio de Datos" (Salvador & Gargallo, 2003)*



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

### 2.1.3. Diagrama de Caja y Diagrama de Caja Ajustada

#### 2.1.3.1. Datos Atípicos.

Sanjuán en la Economipedia (2021) define de manera técnica los datos atípicos u outliers como "una observación anormal y extrema en una muestra estadística o serie temporal de datos que puede afectar potencialmente a la estimación de los parámetros del mismo."

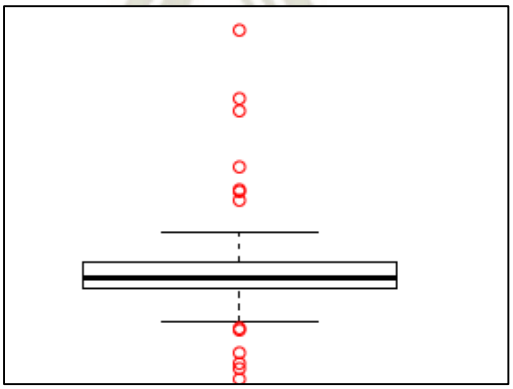
En la guía "Análisis Exploratorio de Datos" Salvador y Gargallo indican que los datos atípicos se pueden deber por cuatro razones:

- Error de procedimiento, ya sea al momento de ingresar datos o al codificar.
- Debido a un evento extraordinario no representativo de la variable.
- Observaciones que caen dentro del rango regular, pero que son únicas en la combinación de valores.
- Observaciones extraordinarias que no se pueden explicar

En la Figura 4 observamos en color rojo los valores atípicos u outliers:

**Figura 4**

*Ejemplo de datos atípicos*



*Nota: Gráfico extraído de la tesis "Detección de datos atípicos para datos funcionales asimétricos" (Vena,2014).*



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

### 2.1.3.2. Diagrama de Caja- Turkey (1977).

El método gráfico conocido como diagrama de caja o boxplot fue introducido por Turkey en 1977 y sirve para representar la distribución de una muestra univariada unimodal. Es una de las principales herramientas para realizar el análisis exploratorio de datos, cuyo principal uso recae en la rápida detección de los valores atípico u outliers por su denominación en inglés, sin embargo, las conclusiones a las que se puede llegar con él no se limitan a este parámetro, ya que, sintetiza de manera sencilla la información sobre la posición, dispersión y forma de la distribución, permitiendo que su interpretación sea sencilla (Vena, 2014).

En la siguiente tabla se presentan las partes del diagrama de caja y el conjunto de elementos que conforman su construcción.

**Tabla 4**

*Partes de un diagrama de caja*

| **Partes de un Boxplot** | **Medida estadística** |
|---|---|
| Límite de caja inferior | Q1- Primer cuartil (25p) |
| Límite de caja superior | Q3- Tercer cuartil (75p) |
| Línea al interior de la caja | Q2- Mediana (50p) |
| Bigote inferior | Q1 - 1.5 IQR |
| Bigote superior | Q3 + 1.5 IQR |
| Rango Intercuantil (IQR) | Q3- Q1 |

*Nota: Tabla construida con la información de la tesis "Detección de datos atípicos para datos funcionales asimétricos" (Vena,2014).*



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

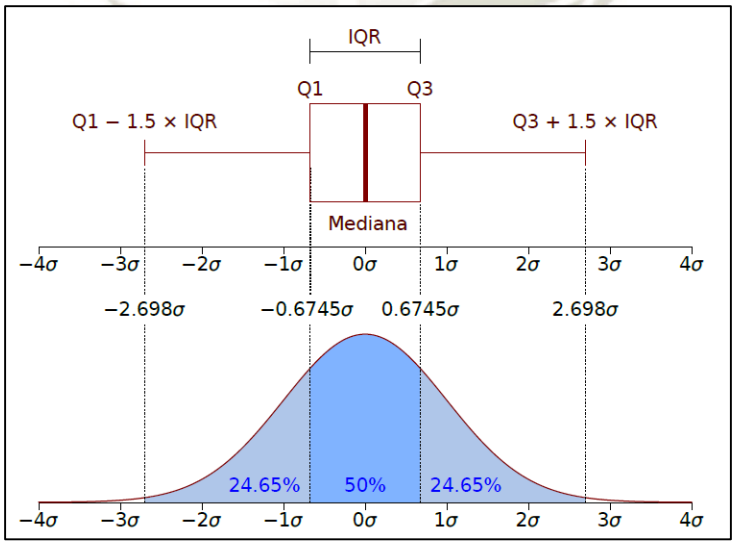
Vena (2014) explica la lectura del diagrama respecto a los datos: “Si todos los datos cayeran dentro del intervalo, es decir que fueran todos regulares, los bigotes corresponderán al máximo y mínimo de la muestra. Aquellos datos que excedieran el intervalo, se marcarán y clasificarán como potenciales datos atípicos”. Sin embargo, tal como el mismo autor describe los datos atípicos que muestra la caja, no son necesariamente reales, sino que son potenciales datos atípicos, ya que estos deben ser cuidadosamente analizados y se debe observar el comportamiento de estos en relación con el conjunto de datos, y como afecta a los mismos

Cabe aclarar que la definición de los datos atípicos depende directamente del factor 1.5, el cual se comporta de mejor manera en el caso de distribuciones normales.

La Figura 5 muestra la construcción del diagrama de caja, donde podremos observar todas las partes de misma, y a si mismo vemos su relación con la función de densidad para una distribución normal.

**Figura 5**

*Construcción del Diagrama de Caja y su relación con la función de densidad para una distribución normal.*




*Nota: Gráfico extraído de la tesis “Detección de datos atípicos para datos funcionales asimétricos” (Vena, 2014).*



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

### 2.1.3.3. Medcouple (MC).

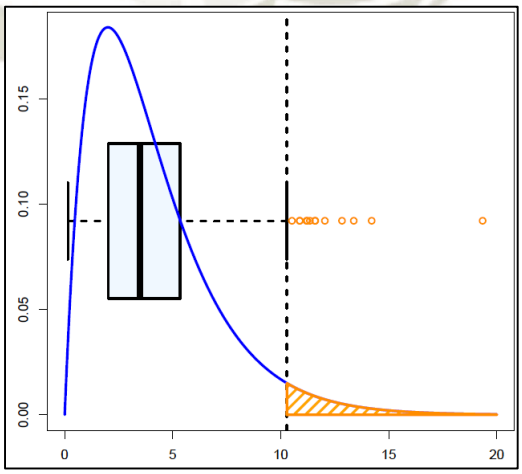
La (MC) fue introducida en Brys, Hubert y Struyf en el 2003, quienes la definen como una estadística robusta que mide la asimetría de los datos que presentan una distribución unimodal continua como, por ejemplo, las series de tiempo de precipitación. La MC siempre se posiciona entre 1 y -1. Si la MC presenta valores positivos nos indica una distribución asimétrica a la derecha, mientras que si los valores son negativos la distribución es asimétrica sesgada a la izquierda, finalmente si la MC es igual a cero tenemos datos simétricos (Hubert y Van der Veeken, 2008).

### 2.1.3.4. Diagrama de Caja Ajustada - Hubert y Van der Veeken (2008).

En apartado 2.1.3.2 indicamos que el boxplot se ajusta de mejor manera a las distribuciones simétricas y normales, por lo cual en el caso de distribuciones asimétricas no normales el factor 1.5 dejaría afuera a un porcentaje de los datos atípicos. Esto lo podemos observar en la Figura 6 donde el bigote superior no acompaña a la cola derecha de la distribución. (Vena, 2014).

**Figura 6**

*Ejemplo de diagrama de caja de Turkey para distribuciones asimétricas*




*Nota: Gráfico extraído de la tesis "Detección de datos atípicos para datos funcionales asimétricos" (Vena, 2014).*



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Es así que debido a la necesidad de tener un criterio que se adapte al caso asimétrico, se determinó la necesidad de una medida de asimetría de la muestra y con esta cambiar la definición de los bigotes.

Como respuesta a este problema, Hubert y Van der Veeken (2008) utilizaron la medcouple (MC), definida en la sección anterior, para agregar la asimetría de la muestra a la caracterización de los bigotes (Vena, 2014). Finalmente, la construcción del Diagrama de Caja Ajustada quedaría de la siguiente manera:

**Tabla 5**

*Partes de un diagrama de caja ajustada*

| **Partes de un Boxplot** | **Medida estadística** |
|---|---|
| Límite de caja inferior | Q1- Primer cuartil (25p) |
| Límite de caja superior | Q3- Tercer cuartil (75p) |
| Línea al interior de la caja | Q2- Mediana (50p) |
| Bigote inferior | $Q1 - 1.5 \times e^{aM} \times IQR$ |
| Bigote superior | $Q3 + 1.5 \times e^{aM} \times IQR$ |
| Rango Intercuantil (IQR) | Q3- Q1 |

*Nota: Tabla construida con la información del reporte técnico "An Adjusted Boxplot For Skewed Distributions" (Hubert y Van der Veeken ,2008).*

Hay que recalcar que este tipo de ajuste del diagrama de caja, según Hubert y Vandervieren (2008), funciona con asimetría moderada ($-0.6 \leq M \leq 0{,}6$).

En la Figura 7 podemos observar la comparación entre el diagrama de caja regular y el diagrama de caja ajustado.



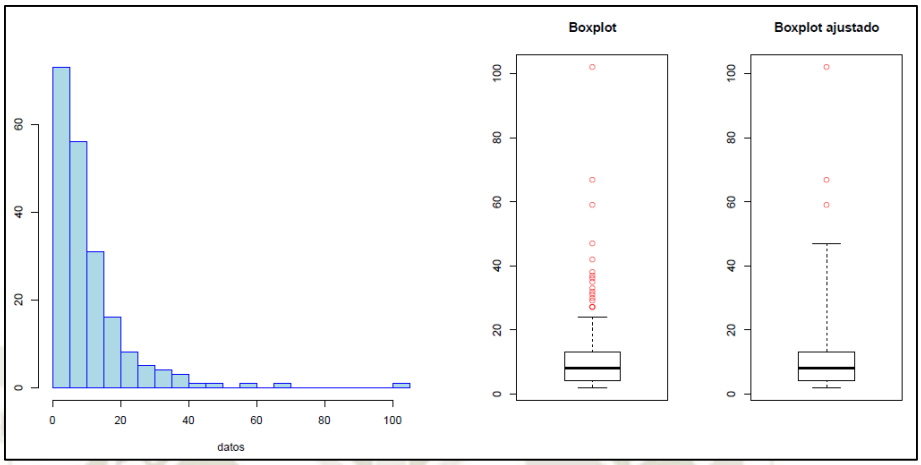
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Figura 7**

*Diagrama de caja vs diagrama de caja ajustada*




*Nota: Gráfico extraído de la tesis "Detección de datos atípicos para datos funcionales asimétricos" (Vena, 2014).*

## 2.2.Medidas de Comparación

### *2.2.1. Error Absoluto Medio (MAE)*

Nate Watson (2012) nos señala que el indicador MAE, tal como dice su nombre, se refiere al promedio de los errores absolutos en una serie de tiempo. El error absoluto es el valor absoluto de la diferencia entre los valores de la base de datos simulados (Si) y los valores de observados (Oi), los cuales se deben encontrar en las mismas unidades.

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} |S_i - O_i|$$



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

**Tabla 6**

*Interpretación del Error Medio Absoluto*

| Rango | Unidad | Óptimo |
|---|---|---|
| **0 -** ∞ | mm- m3/s | 0 indica ajuste perfecto |

*Nota: Extraído del artículo "Validación de la Base de Datos de Precipitación Chirps para Colombia a Escala Diaria, Mensual y Anual en el Periodo 1981-2014" (Urrea, Ochoa, & Mesa, 2016).*

### *2.2.2. Raíz del Error Medio Cuadrático (RMSE)*

Mendéz (2016) define el RMSE como el indicador que "permite cuantificar la magnitud de la desviación" de los valores de simulados con respecto a los valores observados. Castro (2014) también señala que este indicador hace énfasis en los valores extremos.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(S_i - O_i)^2}$$

Donde, S son datos simulados y O son datos observados.

**Tabla 7**

*Interpretación Raíz del Error Medio Cuadrático (RMSE)*

| Rango | Unidad | Óptimo |
|---|---|---|
| **0 -** ∞ | mm- m3/s | 0 indica ajuste perfecto |

*Nota: Extraído del artículo "Productos de Precipitación Satelital de Alta Resolución Espacial y Temporal en Zonas de Topografía Compleja" (Méndez, 2016).*



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

### *2.2.3. Sesgo Porcentual (PBIAS)*

El sesgo porcentual, BIAS o PBIAS, tal como ha indica Azursa (2017), "mide la tendencia de los valores simulados (datos de precipitación de PISCO Pd) si son más grandes o más pequeños en función de los valores observados (estaciones meteorológicas)". En este indicador los valores negativos señalan subestimación, los valores positivos sobreestimación y 0 indica un ajuste perfecto.

$$PBIAS = 100 * \frac{\sum_{i=1}^{n}(S_i - O_i)}{\sum_{i=1}^{n}(O_i)}$$

Donde, S son datos simulados y O son datos observados.

**Tabla 8**

*Interpretación del porcentaje de sesgo*

| PBIAS | Interpretación del Modelo |
|---|---|
| PBIAS < ±10 | Muy Bueno |
| ±10 ≤ PBIAS < ±15 | Bueno |
| ±15 ≤ PBIAS < ±25 | Satisfactorio |
| PBIAS ≥ ±25 | Insatisfactorio |

*Nota: Extraído del artículo "Análisis comparativo de modelos hidrológicos de simulación continua en cuencas de alta montaña: caso del Río Chinchiná" (Ocampo y Vélez, 2014).*



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

### *2.2.4. Coeficiente de Determinación ($R^2$)*

Endara (2017) describe al coeficiente de determinación ($R^2$) "como una medida de bondad que resume las discrepancias entre los valores observados y los valores modelados". Es así que tomando en consideración lo enunciado por Carmona (2019) los resultados variarán entre 0 y 1, donde la unidad significa un ajuste perfecto del modelo.

$$R^2 = \frac{SCR}{SCT}$$

Donde:

-SCR es la suma de cuadrados residuales

-SCT es la suma de cuadrados totales

### *2.2.5. Criterio de Eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE)*

Méndez (2016) explica en su tesis que el NSE "mide cuánto de la variabilidad de las observaciones es explicada por la simulación". Así mismo, de acuerdo a Delgado (2019) el NSE también cuantifica la precisión de la estimación de la precipitación en relación con los datos de precipitación observados.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(S_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(O_i - \ddot{O}\right)^2}$$

Donde, S son datos simulados y O son datos observados.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

**Tabla 9**

*Interpretación del criterio de Eficiencia de Nash-Sutcliffe*

| NSE | Ajuste |
|---|---|
| $0.75 < NSE \leq 1.00$ | Muy Bueno |
| $0.65 < NSE \leq 0.75$ | Bueno |
| $0.50 < NSE \leq 0.65$ | Satisfactorio |
| $NSE \leq 0.50$ | Insatisfactorio |

*Nota: Extraído del artículo "Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations." (Moriasi, Arnold, Van Liew, Bingner, & Harmel, 2007).*

## 2.3. Umbrales de Precipitación

### *2.3.1. Precipitación máxima*

Cole (2001) señala que la teoría de los valores extremos es "el área de la estadística a desarrollar modelos y técnicas que permitan estimar eventos inusuales o raros". Estos eventos los podemos ver al final de la cola de las distribuciones y se alejan de los valores de la media y la mediana, justamente por su condición de atípicos.

Sin embargo, tal como Endara (2017) afirma, no existe una definición técnica o mayoritaria respectos a los eventos extremos. Una de las opciones para definirlos es el enfoque de los umbrales, donde los eventos exceden la magnitud de un umbral.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

### *2.3.2. Indicadores de precipitación*

En la Tabla 10 se listan los indicadores de precipitación extrema, la técnica usada es el índice de percentiles.

**Tabla 10**

*Determinación de umbrales extremos de precipitación*

| Indicador | Categoría | Definición | Unidad |
|---|---|---|---|
| **P99** | Extremadamente lluvioso | Precipitación diaria para días húmedos mayores a 99P (días con precipitación >= 0.01 mm) | mm/día |
| **P95** | Muy lluvioso | Precipitación diaria para días húmedos mayores a 95p y menores a 99p (días con precipitación >= 0.01 mm) | mm/día |
| **P90** | Lluvioso | Precipitación diaria para días húmedos mayores a 90p y menores a 95p (días con precipitación >= 0.01 mm) | mm/día |
| **P75** | Moderadamente lluvioso | Precipitación diaria para días húmedos mayores a 75p y menores a 90p (días con precipitación >= 0.01 mm) | mm/día |

*Nota: Tabla extraída del estudio "Determinación de extremos de precipitación a partir de PISCO diario" (Endara, 2017)*

## 2.4. Distribución De Probabilidades De Valores Extremos

Endara (2017) indica que "las principales distribuciones de la teoría de valores extremos son diseñadas para caracterizar los eventos de precipitación extrema", y se clasifican en tres tipos:

- Gumbel (EV0),
- Fréchet (EV1) y
- Weibull (EV2) (Reiss, 1989)7



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

### *2.4.1. Teoría De Valores Extremos Y Modelos*

Dado X1, X2,…, Xn una secuencia de variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas (i.i.d) con función de distribución F y dado Mn = máx(X1, X2,…, Xn) denominado el máximo. La distribución del máximo puede ser descrita como.

$$Pr(Mn \leq z) = Pr(X1 \leq z, \dots, Xn) = Pr(X1 \leq z), \dots, Pr(Xn \leq z) = (F(z))^n$$

El indicador asociado a la función de I(Xn > z) el cual es una proceso de Bernoulli con una probabilidad de éxito de p(z)=(1-F(z)) que depende de la magnitud z. El número de eventos extremos con n-éxitos siguen una distribución binomial y el número de éxitos antes que ocurra el evento siguen una distribución geométrica con valor esperado y desviación estándar del mismo orden O(1/p(z)).

En la práctica no se trabaja con la función distribución F, pero Fisher- Tippett-Gnedenko proporcionaron los siguientes resultados asintóticos. (Endara,2017)

### *2.4.2. Distribución de valores extremos generalizado*

Para Endara (2017) la distribución de valores extremos generalizados (GEV) es una familia de distribuciones de probabilidad continua que incluye las distribuciones de Gumbel, Fréchet y Weibull. Estas tres distribuciones se pueden caracterizar por una sola función de distribución generalizada acumulada, y así llamarse distribución de extremos generalizados.

$$F(x; \mu, \sigma, \xi) = exp\{-[1 + \xi(\frac{x - \mu}{\sigma})]^{-1/\xi}\}$$

Si $\xi$=0 la expresión es formalmente indefinida, entonces sería un caso limitante. (Endara,2017)



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

## 2.5. Prueba De Bondad Y Ajuste

Es una prueba de hipótesis para evaluar si un grupo de datos es independiente a la distribución escogida.

Para Saldaña (2016) las pruebas de bondad de ajuste son usados para contrastar los datos de la muestra en una determinada distribución o modelo de probabilidad. Estas pruebas de bondad de ajuste permiten verificar el tipo de distribución para nuestros datos y cuál de las pruebas (paramétricas o no) podemos usar en el contraste estadístico.

## 2.6. Método de Smirnov - Kolmogorov

En el Manual De Hidrología, Hidráulica y Drenaje (2011) del MTC lo define como un método por el cual se comprueba la bondad de ajuste de las distribuciones, permitiendo elegir la más significativa, es decir la que tiene un mejor ajuste. Esta prueba consiste en comparar el máximo valor absoluto de la diferencia D entre la función de distribución de probabilidad observada Fo(xm) y la estimada F (xm):

$$D = máx\,|Fo(xm) - F(xm)|$$

El valor crítico depende del número de datos y el nivel de significancia de la Tabla 11. Si $D < d$, la hipótesis nula se acepta. Esta prueba tiene la ventaja sobre la prueba de $X_2$de que compara los datos con el modelo estadístico sin necesidad de agruparlos (Aparicio, 1996).



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

**Tabla 11**

*Valores críticos para la prueba Kolmogorov – Smirnov*

| TAMAÑO DE LA MUESTRA | α = 0.10 | α = 0.05 | α = 0.01 |
|---|---|---|---|
| 5 | 0.51 | 0.56 | 0.67 |
| 10 | 0.37 | 0.41 | 0.49 |
| 15 | 0.3 | 0.34 | 0.4 |
| 20 | 0.26 | 0.29 | 0.35 |
| 25 | 0.24 | 0.26 | 0.32 |
| 30 | 0.22 | 0.24 | 0.29 |
| 35 | 0.2 | 0.22 | 0.27 |
| 40 | 0.19 | 0.21 | 0.25 |

*Nota. Extraído del Manual De Hidrología, Hidráulica Y Drenaje (2011).*

Según Chakravarti, Laha, & Roy (1967) la prueba de Kolmogorov - Smirnov "es una de las más clásicas en el estudio de la normalidad, se basa en el concepto de la función de distribución empírica y sus propiedades como aproximación de la función de distribución teórica cuando se trabaja sobre variables continuas y se conocen todos los parámetros de las muestras. Así, esta prueba compara la función de distribución teórica con la empírica y calcula un valor de discrepancia máxima entre ambas distribuciones".

## 2.7. Periodo De Retorno

Para Santana (2007) un evento extremo ocurre si una variable aleatoria es mayor o igual que un cierto nivel, este intervalo de ocurrencia es el tiempo entre ocurrencias, entonces, el periodo de retorno de un evento es el valor promedio de los tiempos "entre ocurrencias".



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

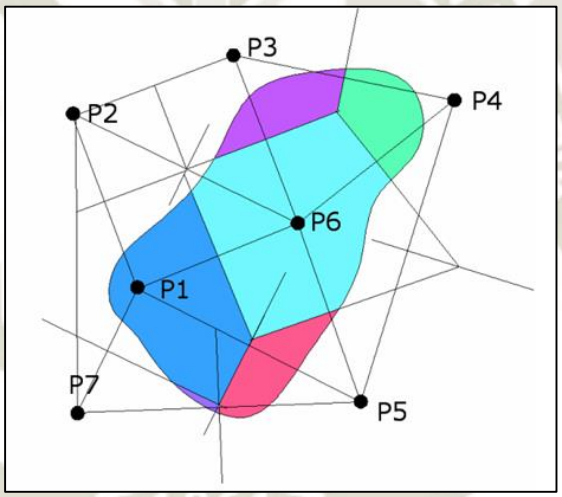
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

## 2.8. Método De Polígono De Thiessen

Es uno de los métodos más utilizados para evaluar la lluvia sobre un área específica, en una cuenca de área específica en la cual se encuentran dentro y alrededor una cierta cantidad de pluviómetros y cada uno de estos registra una cantidad de lluvia acumulada. Los polígonos evaluarán qué área de la cuenca le pertenece a cada pluviómetro, y así establecer cada parte de la cuenca con un pluviómetro.

**Figura 8**

*Distribución de las Áreas Aferentes Según los Polígonos de Thiessen*




Las áreas se distribuyen trazando primero las líneas que unen los polígonos, creando un cerco alrededor de cada pluviómetro. Luego se calcula el área que pertenece a cada pluviómetro y la relación para conocer la precipitación del área de la cuenca (Bateman, A., 2007).



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

## 2.9. Metodología De Dick Peschke

En el Manual de Hidrologia, Hidraulica y drenaje (2011) del MTC (Ministerio de Transportes y Comunicaciones) para el caso que no se cuente con registros pluviográficos que permitan obtener las intensidades máximas, estas se calculan mediante la metodología de Dick Peschke (Guevara, 1991) que relaciona la duración de la tormenta con la precipitación máxima en 24 horas. Mediante la siguiente expresión:

$$P_d = P_{24h} * (\frac{d}{1440})^{0.25}$$

Donde:

- $P_d = Precipitacion\ total\ (mm)$
- $d = duración\ de\ la\ lluvia\ en\ minutos$
- $P_{24h} = Precipitación\ máxima\ en\ 24\ horas\ (mm)$

Para calcular la intensidad se divide la precipitación $P_d$ entre la duración.

## 2.10. Curva Número

Según Díaz Carvajal & Mercado Fernández (2017), “el número de curva es un parámetro hidrológico, el cual permite caracterizar el potencial de escorrentía en una cuenca hidrográfica y se determina a partir de algunas características físicas del territorio como el tipo, la densidad y el tratamiento de las coberturas, así como por el grupo hidrológico de suelo”.

La Autoridad Nacional del Agua aplicó una metodología para generar un mapa temático de Número de Curva para el territorio peruano, esta metodología se basa en la utilización de herramientas de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), los cuales trabajan con diversos datos como mapas de cobertura vegetal, suelos y modelos digitales de elevaciones (MDE). Para la



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

generación de este mapa se aplicó tablas de reclasificación, interpolación y operaciones de superposición de las distintas capas de información, obteniendo mapas ráster para condiciones normales, condiciones húmedas y condiciones secas.

## 2.11. Tiempo De Concentración

En hidrología el tiempo de concentración (tc) es el tiempo de viaje de una gota de lluvia que cae en el punto más alejado de la cuenca y escurre superficialmente hasta su salida, esto quiere decir es el tiempo a partir del cual toda la cuenca contribuye al caudal en el punto de salida (Bentancor, 2014).

## 2.12. Abstracción Inicial

Las precipitaciones intensas espacialmente concentradas son el origen más común de las avenidas súbitas (Gaume, 2009). Sin embargo, no toda la precipitación que se produce sobre un área determinada termina formando parte directamente del caudal transportado por la red de drenaje. Así, la precipitación puede desagregarse en dos fracciones (Díez Herrero & Martín Duque, 2006). La primera es el porcentaje de lluvia que discurre por la superficie terrestre hacia zonas de menor cota, alcanzando la red hidrográfica de la cuenca y formando parte del caudal (Ferrer, 1993). A esto se denomina escorrentía superficial; siendo, la fracción para generar una avenida. La segunda fracción es aquella que no pasa directamente a formar de la escorrentía, y se le define como "pérdidas" o "abstracciones iniciales" (Herrero et al., 2008).

La lluvia en exceso está repartida en el área de la cuenca, la cual corresponde al volumen de escorrentía, y la distribución temporal de esta lluvia determina la caudal punta (Schoener Gerhard, 2017).



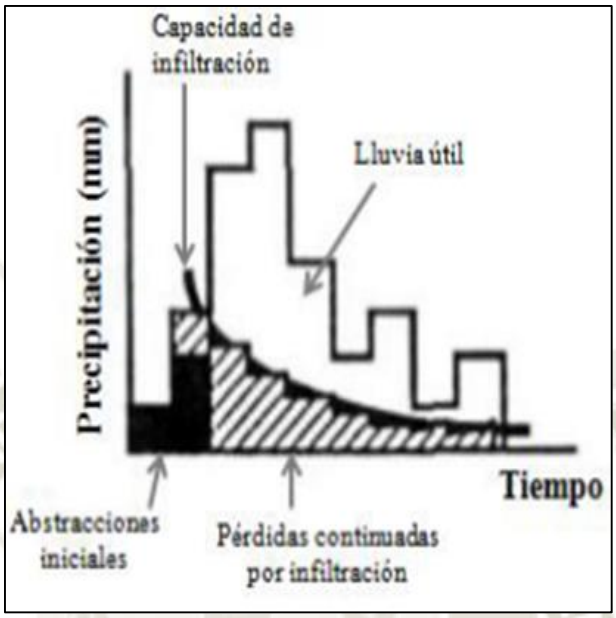
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

**Figura 9**

*Representación Simplificada de las Abstracciones Iniciales o Pérdidas*




*Nota: Se puede observar cómo las pérdidas por infiltración continúan y se producen durante todo el evento de precipitación; tomado y traducido de O'Loughlin, 1996.*

## 2.13. Hidrograma

Según Villon (2020) un hidrograma de corriente es la representación gráfica de la variación del caudal con respecto al tiempo, también representa una expresión integral de las características fisiográficas y climáticas que gobiernan la relación lluvia - escorrentía.

## 2.14. Hidrograma Unitario

Como señala el MTC (Drenaje, 2011) “es un gráfico que muestra la variación en el tiempo de alguna información hidrológica; siendo el hidrograma unitario de una cuenca, el hidrograma de escorrentía directa que se produciría en la salida de la cuenca si sobre ella se produjera una precipitación neta de una duración determinada (por ejemplo, 1 mm. durante 1 hora).” Se denomina unitario puesto que, el volumen de escorrentía bajo el hidrograma se ajusta generalmente a 1 cm o 1 pulg.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

## 2.15. Hidrograma Unitario Sintético

Para obtener un hidrograma unitario es necesario contar con un hidrograma medido a la salida de la cuenca además de registros de precipitación, pero la mayoría de las cuencas no cuenta con ello, entonces es necesario solo usar las características generales de la cuenca para así obtener los hidrogramas unitarios, es por esta razón que se les denomina sintéticos.

### *2.15.1. Hidrograma Unitario Sintético del SCS*

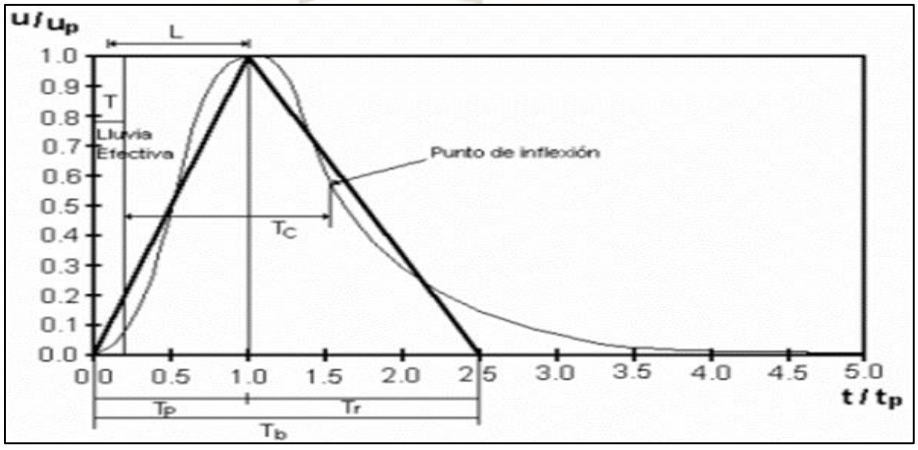
El servicio de conservación de suelos de los Estados Unidos (SCS) desarrolló un hidrograma unitario adimensional con base en una serie de hidrógrafas observadas en cuencas de diferentes tamaños y ubicadas en diferentes zonas de los Estados Unidos.

#### 2.15.1.1. Esquema de la Hidrógrafa del SCS.

Es representado por una hidrógrafa unitario triangular que equivale a las mismas unidades de tiempo y caudal, teniendo en conclusión el mismo porcentaje del volumen en lado creciente del hidrograma (Rojo Hernández, 2014).

**Figura 10**

*Esquema de la Hidrógrafa del SCS*




*Nota. Obtenido de Hidrología Aplicada de Ven Te Chow 1994*



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

## 2.16. Ecuación de Saint Venant

Las ecuaciones de Saint-Venant (1871) son un modelo matemático que se puede aplicar para diversas ramas de la hidráulica, estos modelos se basan en ecuaciones diferenciales que modelan la variación de caudal y el nivel de un flujo en un espacio unidimensional y el tiempo de forma no permanente para canales abiertos. Estas modelaciones se presentan en tres di-mensiones, pero al aplicar en la práctica se utiliza una aproximación unidimensional en la di-rección que tiene mayor relevancia, esto sue-le ser a lo largo del canal en dirección al flujo. (Amarís Castro et al., 2015)

## 2.17. Muskingum

Es un método hidrológico para el enrutamiento de flujo, se usa necesita los parámetros K y X, los cuales se calculan por calibración, usando aforos de hidrogramas de flujo de entrada y de salida en un tramo específico del río o corriente (Ponce, 2021).

## 2.18. Condición de Courant

Es una condición de convergencia para la resolución de ecuaciones diferenciales usando el método de diferencias finitas. Además, este permite indicar el intervalo de tiempo computacional para el cálculo de la modelación en HEC- RAS. Los criterios en que se basa la condición de Courant realizan el análisis del espaciamiento de la sección transversal y la velocidad de las olas de inundación.

## 2.19. Flujos

Como plantea Suárez (2009) los flujos son deslizamientos, los cuales adquieren grandes velocidades y que se van comportando como como fluidos viscosos en movimiento. También se tiene masas que se comportan como un fluido, pero su comportamiento no es igual a los convencionales como el agua. Los flujos son parte de uno de los desastres naturales más



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

catastróficos ya que ha cobrado bastantes vidas, estos tienen relación con las lluvias que tienen índices pluviométricos muy altos.

### *2.19.1. Avenidas de lodos (Mud Floods)*

Son flujos hiperconcentrados de partículas no cohesivas, tienen un comportamiento muy fluido para concentraciones de 20% a 45% en volumen. En la hidrodinámica, estos flujos son turbulentos y su resistencia depende de la rugosidad del canal de flujo.

Estos no soportan esfuerzos sin deformarse y no muestran esfuerzos de cedencia. Los sedimentos se encuentran uniformemente distribuidos en la profundidad del flujo, por la viscosidad del fluido intersticial que reduce la velocidad de sedimentación de las partículas (Niño Piña, n.d.).

### *2.19.2. Flujos de lodos (Mudflows)*

Tienen una concentración alta de limos y arcillas, que cambian las propiedades de la mezcla de fluido. Estos flujos tienen un comportamiento altamente viscoso, su concentración volumétrica de sedimentos se encuentra en un rango de $45\% < Cv < 55\%$. Tambien pueden viajar grandes distancias en zonas poco empinadas a pequeñas velocidades, dejando a su paso depósitos de material. (Niño Piña, n.d.).



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

# CAPÍTULO III



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

# 3. Metodología

## 3.1. Tipo Y Nivel De Investigación

Fidias G. Arias (2012), en su libro "*El Proyecto de Investigación: Introducción a la metodología científica"* define a la investigación explicativa como aquella *"que se encarga de buscar el porqué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa- efecto."*

Es así que el anterior enunciado sirve para dar la explicación técnica del nivel de investigación en la que se encuentra la presente tesis, ya que, esta busca dar respuestas al porqué del evidente impacto negativo que se suscita en el área estudiada a través del modelamiento numérico bidimensional.

## 3.2. Diseño de Investigación

"La investigación experimental es un proceso que consiste en someter a un objeto o grupo de individuos a determinadas condiciones, estímulos o tratamiento, para observar los efectos o reacciones que se producen" (Arias, 2012).

Tal como Arias lo define concluimos que la presente tesis se ajusta dentro del diseño de investigación experimental debido a que existe una clara relación causa-efecto entre las variables del proyecto, siendo los eventos de precipitación extrema (variable independiente), en conjunto con las condiciones propias de la zona, las principal causas de que se produzcan grandes avenidas (variable dependiente) que derivan en desbordamientos y/o inundaciones con consecuencias negativas para el área de estudio.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

## 3.3. Fuentes de Información

### *3.3.1. Información Pluviométrica*

Para la recolección de datos de precipitación máxima diaria se utilizaron dos instrumentos administrados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) las estaciones meteorológicas “La Pampilla” y “Chiguata”, y la base de datos PISCO pd.

La información antes mencionada se obtuvo de las páginas oficiales del SENAMHI tal como se especifica en la siguiente tabla:

**Tabla 12**

*Fuentes de la información pluviométrica*

| Fuente | Tipo de información | Instrumento de recolección |
|---|---|---|
| Descarga de datos Meteorológicos a nivel nacional. | Información de libre acceso | Estaciones meteorológicas |
| Red de estaciones con información termo pluviométrica adelantada. | Información de libre acceso | Estaciones meteorológicas |
| IRI Climate data library | Información de libre acceso | SENAMHI HSR PISCO: Peruvian Interpolated data. |

### *3.3.2. Información Histórica de Eventos Extremos*

Para la recolección de información acerca de los diferentes eventos de precipitación extremas suscitados en la ciudad de Arequipa en el periodo de 1981 hasta el 2016 se utilizaron las siguientes fuentes que en su conjunto lograron que se forme una base histórica confiable.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

**Tabla 13**

*Fuentes de base histórica de eventos de precipitación extrema*

| Fuente | Tipo de Fuente |
|---|---|
| La República | Periódico |
| El Búho | Periódico |
| Correo | Periódico |
| RPP | Periódico |
| El Perú | Periódico |
| Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del INGEMMET | Informes |
| SENAMHI | Página web |
| Peligro geológico por movimientos en masa en la ciudad de Arequipa. INGEMMET (Vilchez & Sosa, 2021) | Boletín Serie C |
| The physical vulnerability of urban areas facing the threat of inundation from lahars and flash floods: application to the case study of Arequipa, Peru (Martelli,2011) | Tesis |

### *3.3.3. Información de Modelo Digital de Información*

El modelo digital de información o DEM por sus siglas en inglés se obtuvo del satélite ALOS PALSAR, la información se descargó de la página Alaska Satellite Facility (ASF) la cual, es administrada por la NASA y es de libre acceso. El DEM descargado fue "AP_26607_FBS_F6850_RT1".



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

### *3.3.4. Información Topográfica*

La información fue proporcionada por el equipo de investigación del proyecto de investigación "Estimación de umbrales de precipitación máxima para el análisis y prevención de desastres por inundación en quebradas de alto riesgo en la Provincia de Arequipa" identificado con código 2018-IF-02-17, previa autorización del Vicerrectorado académico de investigación. El Levantamiento Topográfico de la zona se realizará con ayuda de drones para una mejor precisión de los datos.

## 3.4. Instrumentos Usados en el Proyecto

### *3.4.1. Bases de Datos*

#### 3.4.1.1. Peruvian Interpolated data of the SENAMHI's Climatological and hydrological Observations (PISCO Pd V2.0)

Es la primera base de datos espacial de precipitación máxima diaria a una resolución de grilla de 0.05 º para una serie que se inicia el 1 enero de 1981 hasta el 31 de diciembre 2016, creado por SENAMHI a través de su Dirección de Hidrología – DHI (Aybar *et al.*, 2017).

Endara (2017) señala que la información obtenida es de la combinación de datos observado de las 434 estaciones meteorológicas de SENAMHI con datos de precipitación de sensoramiento remoto, así mismo el producto usa como covariables imágenes del satélite CHIRP ("Climate Hazard Group InfraRed Precipitation"). Además, incorpora procesos de control de calidad y la completación de datos faltantes por la técnica cut off.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

#### 3.4.1.2. The Advanced Land Observing Satellite- The Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar (ALOS PALSAR)

La European Space Agency (s.f.) define a ALOS como un satélite japonés de imágenes de la Tierra de JAXA que fue lanzado el 24 de enero de 2006 y completó su fase operativa el 12 de mayo de 2011 después de fallar debido a una anomalía de energía, cuyo principal objetivo es el desarrollo de Modelos de Elevación Digital y productos de datos geográficos relacionados.

Según la agencia ALOS tiene tres instrumentos derivados del mismo, sin embargo, el utilizado para la tesis fue PALSAR, que en palabras de la misma agencia "fue un sensor sucesor del radar de apertura sintética a bordo del JERS-1 con funciones más avanzadas, como una mayor capacidad de resolución espacial, ángulos variables fuera del nadir y modos adicionales, como el modo de polarimetría completa y el modo ScanSAR."

#### 3.4.1.3. Estaciones Meteorológicas Administradas por SENAMHI

La página oficial del SENAMHI indica que las estaciones meteorológicas son una instalación que tienen el objetivo de medir y registrar regularmente múltiples variables meteorológicas, estos datos serán usados para la determinación de umbrales y el estudio hidrológico. Las estaciones utilizadas en la presenta tesis se describen en la Tabla 14:



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

**Tabla 14**

*Estaciones meteorológicas convencionales utilizadas*

| | La Pampilla | Chiguata |
|---|---|---|
| **Región** | Arequipa | Arequipa |
| **Provincia** | Arequipa | Arequipa |
| **Distrito** | Arequipa | Arequipa |
| **Latitud** | 16° 24’ 12.2’’ | 16° 24’ 1’’ |
| **Longitud** | 71° 31’ 0.6’’ | 71° 24’ 1’’ |
| **Altitud** | 2326 msnm. | 2902 msnm |
| **Tipo** | MAP-Meteorológica | MAP-Meteorológica |
| **Código** | 116017 | 116020 |
| **Periodo de registro** | 1961-2021 | 1977-2021 |

*Nota: Tabla elaborada con los datos de la página oficial de SENAMHI*

### *3.4.2. Instrumentos Para Procesar Datos*

#### 3.4.2.1. Hydrognomon

Hydrognomon es un software para la gestión y análisis de datos hidrológicos. Se usa principalmente para el procesamiento de series de tiempo, en el presente trabajo fue usado para realizar el análisis de eventos extremos para hallar la precipitación máxima de 24 horas para los periodos de retorno considerados en el trabajo encontrando la mejor distribución de ajuste (RHydro Ingenieros).



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

#### 3.4.2.2. Rstudio y lenguaje de programación R

Hadley y Garret (2017) en su libro *R for Data Science* señala que Rstudio es "un ambiente de desarrollo integrado (o IDE, por su sigla en inglés: Integrated Development Environment) para programar en R.".

El lenguaje de programación R tal como lo indica Santana y Mateos (2014) es un software poderoso que es utilizado de diversas formas para el procesamiento de datos en ciencias. Este es un lenguaje de programación de uso libre bajo la licencia GNU con un ambiente principalmente diseñado para la aplicación de técnicas estadísticas y el computo de gráficos.

Para el desarrollo de los diferentes procesamientos de datos a lo largo de la tesis se utilizó diferentes packages o paquetes que son conjuntos de funciones R, código o datos que comparten similares características con un propósito en concreto, estos son compartidos por la comunidad de RStudio, son distribuidos de manera libre y se almacenan en el "library" dentro del entorno R.

En la presente tesis se utilizó diferentes paquetes de funciones, todas ellas con licencia de uso libre, que fueron compartidos por diferentes autores. Cabe aclarar que estos paquetes se actualizan regularmente, por lo cual, es necesario precisar las fechas de actualización al momento de redactar esta tesis, ya que, en el futuro según la versión, las funciones podrían cambiar o aumentar, de acuerdo a las exigencias de los usuarios.

La Tabla 15 describen los paquetes más importantes, precisando en que fueron utilizados, los creadores de los mismos y la fecha de actualización:



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

**Tabla 15**

*Paquetes usados en RStudio*

| Paquete | Uso | Autor | Fecha de actualización |
|---|---|---|---|
| **zoo (Z's Ordered Observations)** | Leer y organizar series temporales. | Zeileis, A., Grothendieck, G., Ryan, J. A., Ulrich, J. M., & Andrews, F | 15/04/2022 |
| **hydroGOF** | Calcular medidas de comparación | Mauricio Zambrano-Bigiarini | 12/03/2020 |
| **hydroTSM** | Gráfica y manejo de series de tiempo | Mauricio Zambrano-Bigiarini | 12/03/2020 |
| **ncdf4** | Abrir y leer datos de archivos netCDF | David Pierce | 15/12/2021 |
| **raster** | Leer y analizar data espacial, ya sea raster o vector | Hijmans, R. J., van Etten, J., Sumner, M., Cheng, J., Baston, D., Bevan, A., Bivand, R., Busetto, L., Canty, M., Fasoli, B., Forrest, D., Ghosh, A., & Golicher, D. | 23/01/2022 |
| **sp** | Lectura de información de ubicación espacial (coordenadas) | Pebesma, E., Bivand, R., Rowlingson, B., Gomez-Rubio, V., Hijmans, R., Sumner, M., MacQueen, D., Lemon, J., Lindgren, F., O'Brien, J., & O'Rourke, J. | 14/11/2021 |
| **rgdal** | Escribir archivos ráster y vectoriales en formatos compatibles. | Bivand, R., Keitt, T., Rowlingson, B., Pebesma, E., Sumner, M., Hijmans, R., Baston, D., Rouault, E., Warmerdam, F., Ooms, J., & Rundel, C. | 18/04/2022 |
| **tydiverse** | Conjunto de paquetes para tratamiento de datos. | Wickham, H., & RStudio. | 15/04/2021 |



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

| | | | |
|---|---|---|---|
| **lubridate** | Analizar de manera rápida y fácil los datos que contengan fecha y hora. | Spinu, V., Grolemund, G., Wickham, H., Vaughan, D., Costigan, I., Law, J., Mitarotonda, D., Larmarange, J., Boiser, J., Lee, C. H., & Google Inc | 07/10/2021 |
| **dplyr** | Trabajar con marcos de datos como objetos | Wickham, H., & RStudio. | 27/04/2022 |
| **ggplot2** | Realizar gráficos visualmente más atractivos | Wickham, Hadley, Chang, W., Henry, L., Pedersen, T. L., Takahashi, K., Wilke, C., Woo, K., Yutani, H., Dunnington, D., & RStudio | 25/06/2021 |
| **robustbase** | Graficar y analizar el diagrama de caja ajusta usando el método de Hubert, M. and Vandervieren, E (2008). | Maechler, M., Rousseeuw, P., Croux, C., Todorov, V., Ruckstuhl, A., Salibian-Barrera, M., Verbeke, T., Koller, M., Conceicao, E. L. T., & di Palma, M. A. | 22/04/2022 |
| **mrfDepth** | Calcular la medcouple | | 26/08/2020 |

*Nota: Tabla construida con la información obtenida de la herramienta "Help" en el entorno R.*

#### 3.4.2.3. QGIS 3.10.0

Es un Sistema de Información Geográfica (SIG) de Código Abierto licenciado bajo GNU - General Public License, permite la visualización edición y análisis de datos geográficos. Soporta numerosos formatos (Shapefile, ArcInfo, MapInfo, GRASS GIS, GeoTIFF, TIFF, JPG, etc.) y funcionalidades de datos vector, datos ráster y bases de datos (QGIS.ORG, 2018).

#### 3.4.2.6. HEC-HMS 4.8.0

HEC-HMS, The Hydrologic Modeling System por sus siglas en inglés, está diseñado principalmente para realizar simulaciones hidrológicas de cuencas hidrográficas. La página oficial del software, administrada por el cuerpo de ingenieros de la armada de los Estados Unidos precisa lo siguiente respecto al producto: "El software incluye muchos procedimientos tradicionales de



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

análisis hidrológico, como infiltración de eventos, hidrogramas unitarios y enrutamiento hidrológico. También se proporcionan capacidades avanzadas para la simulación de escorrentía cuadriculada utilizando la transformación de escorrentía cuasi-distribuida lineal" (Hydrologic Engineering Center, s.f.).

#### 3.4.2.5. HEC-RAS 5.0.7

El Sistema de Análisis de Ríos del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EE. UU (HEC-RAS por sus siglas en inglés) es como lo describe Brunner & CEIWR-HEC (2016) "un software que le permite realizar modelos hidráulicos unidimensionales de flujo constante; cálculos hidráulicos bidimensionales de caudal inestable del río; transporte de sedimentos de flujo quasi inestable y completamente inestable". Su principal objetivo es realizar estudios de inundabilidad y determinar las zonas inundables

## 3.5. Desarrollo del Proyecto

### *3.5.1. Análisis Exploratorio de Datos*

El análisis exploratorio de datos (AED) de las estaciones meteorológicas se realizó antes de la validación del producto grillado PISCO Pd, mientras que el AED de la serie de datos de precipitación diaria extraída del producto mencionado se realizó después de su validación.

- Se realizó los histogramas de frecuencia de la precipitación diaria para poder observar la distribución.

- A continuación, usamos el Q-Qplot para poder evaluar y visualizar la normalidad de las series de tiempo.

- Finalmente realizamos el análisis por el diagrama de caja para poder observar el comportamiento de los datos y llegar a conclusiones.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

### *3.5.2. Validación de Datos Grillados (PISCO Pd v2.0) con Datos Observados*

Se siguió el procedimiento propuesto por Endara (2017) en el informe "Determinación de Extremos de Precipitación a Partir de PISCO Diario"

-Para la validación de la base de datos vamos a denominar como datos observados (OBS) a las series de tiempo de precipitación diaria proporcionada por las estaciones meteorológicas, y como datos simulados (SIM) a las proporcionadas por PISCO PD v2.0, esto con la finalidad de que sea práctico el uso del package "HydroGOF".

- Eliminamos los datos faltantes (NA) de las series de tiempo de precipitación diaria de las estaciones meteorológicas "La Pampilla" y "Chiguata"

- Se seleccionó los pixeles a analizar en base a las coordenadas geográficas (latitud y longitud) de las estaciones meteorológicas "La Pampilla" y "Chiguata".

- Extraemos los datos de la base de datos PISCO Pd V2.0 desde 1981 al 2016, y nos aseguramos de que ten la misma longitud de datos que las estaciones meteorológicas.

- Calculamos 5 indicadores de comparación Error promedio absoluto (MAE), Error de la raíz cuadrada del cuadrado de la media (RMSE), Porcentaje de sesgo (PBIAS), el Coeficiente de determinación ($R^2$) y el criterio de Eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE).

### *3.5.3. Determinación de Umbrales de Precipitación*

Se determinó los umbrales de las estaciones meteorológicas y de la unidad hidrográfica de la zona, para lo último se extrajo los datos de la serie de tiempo de precipitación media diaria de dicha unidad.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Para determinar los umbrales de precipitación máxima se utilizó el procedimiento descrito por Alfaro L. (2014) en la Nota Técnica 001-SENAMHI-DGM-2014 en conjunto con el procedimiento descrito por Endara (2017) en el informe "Determinación de Extremos de Precipitación a Partir de PISCO Diario" el cual es el siguiente.

- Considerar para la detección de umbrales solo aquellos datos de precipitación diaria mayores a 0.1 mm

- Con los Diagramas de Cajas ajustada detectar los datos atípicos u outliers y realizar el análisis respectivo de los mismos con el objetivo de eliminar solo aquello que afectan la estadística.

- Calcular los percentiles 75p, 90p, 95p, 99p y determinar los umbrales según el cuadro de indicadores que describe Alfaro L (2014)

### *3.5.4. Estudio Hidrológico*

- Se realizó la descripción de la situación actual de las quebradas usando la bibliografía correspondiente y la data proporcionada por las entidades competentes.

- Para la delimitación de las quebradas y sus parámetros morfométricos, geomorfológicos e hidráulicos se utilizó técnicas de geoprocesamiento usando el software HEC-HMS 4.8.0 y el QGIS 3.10.0.

- Los datos de precipitación máxima diaria que entren en la categoría de eventos extremos determinado por los umbrales serán sometidos al análisis exploratorio de datos para la detección de outliers o datos atípicos.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

- Se realizó el ajuste de precipitación para valores extremos y finalmente se realizó la prueba de bondad y ajuste para el software HYDROGNOMON obteniendo la precipitación de diseño para periodos de retorno de 2,5, 10, 25, 50, 100 y 200 años.

- Se realizó la distribución de tiempo de duración de lluvia por el método de Dick Peshke para obtener los histogramas de diseño.

### *3.5.5. Modelamiento Hidrológico*

- Con los parámetros obtenidos en el estudio hidrológico realizaremos la simulación hidrológica para obtener los caudales de diseño y los hidrogramas líquidos para los diferentes periodos.

### *3.5.6. Engrosamiento de Flujo*

- Al observarse que en eventos anteriores se suscitó arrastre de sedimento en las quebradas se utilizó la metodología de engrosamiento de flujo, obteniendo de esta manera hidrogramas sólidos.

### *3.5.7. Modelamiento Hidráulico*

- Se realizará la simulación hidráulica con HEC-RAS 5.0.7. con los parámetros anteriormente obtenidos y el hidrograma sólido para determinar las zonas en riesgo por inundación.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

# CAPÍTULO IV



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

## 4.Descripción De La Zona De Estudio

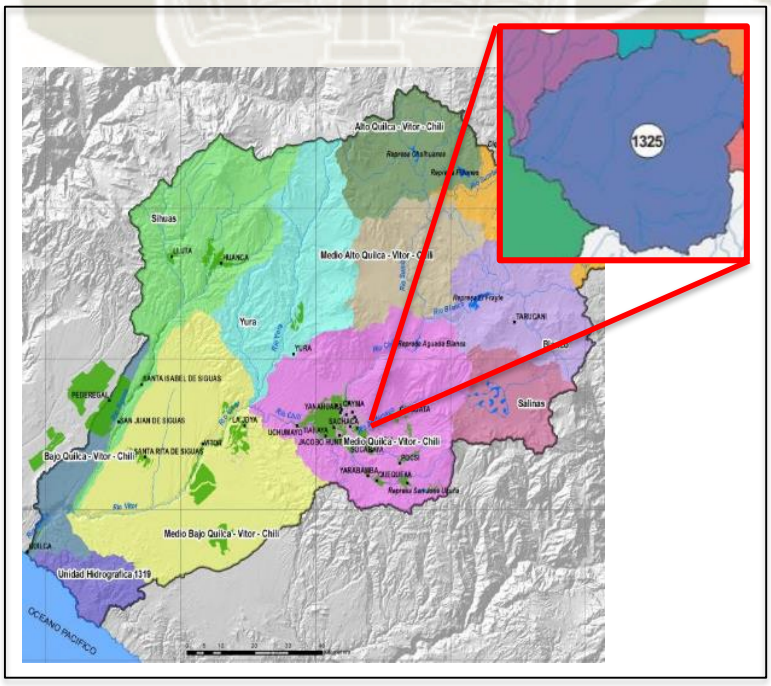
### 3.5. Ubicación de las Quebradas

Las quebradas analizadas en la presente tesis se encuentran ubicadas en la ciudad de Arequipa, al sur del territorio peruano.

Así mismo, forman parte de la unidad hidrográfica Medio-Quilca-Chilli, cuyo código designado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) es 1325, la cual configura una de las 11 unidades hidrográficas de la cuenca Quilca- Chilli identificada con el número 132. La Cuenca Quilca-Chili presenta una superficie a 13,457.00 km2, pertenece a la vertiente del Océano Pacífico, y se encuentra entre la latitud Sur 15°37’50’’ y 16°47’10’’y longitud Oeste 70°49’15’’ y 72°26’35’’ (Autoridad Nacional del Agua, s. f.).

**Figura 11**

*Ubicación de unidad hidrográfica de la zona de estudio*




*Nota: Imagen extraída la página oficial de la Autoridad Nacional del Agua*



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Las quebradas analizadas se encuentran ubicadas al margen izquierdo del río Chilli, el cual se encuentra al centro de la ciudad de Arequipa. Así mismo, por las quebradas pasan torrenteras y ambas atraviesan los distritos de Alto Selva Alegre, Miraflores, Mariano Melgar, Jacobo Hunter y Arequipa.

En la Figura 12 se puede observar la zona de estudio y los cauces de las quebradas que fueron analizadas.

**Figura 12**

*Zona de estudio con vistas a los cauces de las quebradas*



En la siguiente tabla se realizó la descripción de las torrenteras que pasan por las quebradas del mismo nombre estudiadas:



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Tabla 16**

*Descripción de las torrenteras*

| Torrentera | Descripción |
|---|---|
| **Del Pato** | Torrentera a la que hasta hace poco no se le había dado real relevancia, se comienza a tomar en consideración a raíz de que se crean dos asentamientos humanos de alta significación, Independencia y Pampas de Polanco, en su zona de influencia. Está posicionada inmediatamente al norte la quebrada San Lázaro. |
| **San Lázaro** | Torrentera que encuentra su inicio en los distritos de Miraflores y Alto Selva Alegre, en orientación noreste de la ciudad de Arequipa, por lo que tiene una dirección aproximada NE-SO, para finalmente desembocar en el río Chili a la altura del Puente Grau. |
| **Venezuela** | Tiene su origen en las depresiones topográficas occidentales del cerro El Botadero en los distritos de Mariano Melgar, Miraflores y Arequipa. Desde su inicio hasta el Cuartel Mariano Bustamante presenta un rumbo NO-SE, seguidamente el de NE-SO hasta que desemboca en el río Chili, a unos 150 metros antes del Puente Trébol del inicio de la Variante de Uchumayo. |
| **Los Incas** | Tiene su inicio en los distritos de Mariano Melgar y Paucarpata, presentando una dirección general de este a oeste hasta su desembocadura en el río Chili a la altura del Cuartel Arias Aragüés en Tingo. |

*Nota: La tabla fue construida con la información obtenida del Boletín serie C "Peligro geológico por movimientos en masa de la ciudad de Arequipa" (Vilchez & Sosa, 2021)*



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

### 3.6. Clima e Hidrología

Jiménez, Amézaga, Rotting y Guzmán (2010) precisan que la ciudad de Arequipa posee un clima predominantemente seco de Abril a Diciembre justo los meses que transcurren el otoño, invierno y verano, también se indica la presencia de un clima semiárido debido a la precipitación efectivo y templada debido a la acción térmica. También se precisa las horas de sol de acuerdo a la altura tal como se indica en la Tabla 17:

**Tabla 17**

*Horas de sol en la ciudad*

| Altura | Horas de sol promedio |
|---|---|
| Zona baja | De 9 a 11 horas |
| Zona intermedia | Más de 7 horas |
| Zona por encima de los 4000 msnm | Más de 8 horas |

*Nota: Tabla construida con la información de la tesis "El río Chili: Cuenca árida con presencia minera" (Jiménez, Amézaga, Rotting y Guzmán, 2010).*

La información proporcionada por la página oficial del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) señala que en la zona urbana de Arequipa las temperaturas no sobrepasan los 24°C y rara vez son inferiores a 7°C. Como se observa en la Tabla 18 los meses más fríos son junio y julio.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Tabla 18**

*Temperatura promedio máxima y mínima en la ciudad de Arequipa*

| Meses | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul. | Ago. | Sep | Oct | Nov. | Dic. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **T°C Máx** | 22.1 | 22.1 | 22.3 | 22.8 | 22.8 | 22.8 | 22.6 | 22.9 | 23.1 | 23.2 | 23 | 22.6 |
| **T°C Mín** | 10.9 | 11.2 | 10.6 | 9.8 | 8.2 | 7.2 | 6.9 | 7.8 | 8.4 | 9.1 | 9.4 | 10.2 |

*Nota: Tabla construida con la información recolectada de la página oficial del SENAMHI*

La Figura 12 y 13 muestran los registros de precipitación máxima mensual en mm de las estaciones meteorológicas “La Pampilla” y “Chiguata” respectivamente. Como se puede observar en ambos gráficos, la mayor concentración de precipitación se suscita en los meses diciembre, enero, febrero y marzo, esto coincide con manifestado por Rivera, Vilchez y Vela en su artículo “Peligros por huaicos en la ciudad de Arequipa” donde coinciden respecto a los meses de temporada de lluvia en la ciudad de Arequipa.

Otra observación respecto a los gráficos hallados es el intervalo de tiempo entre los máximos de precipitación, con periodo más cortos entre cada evento extremo.



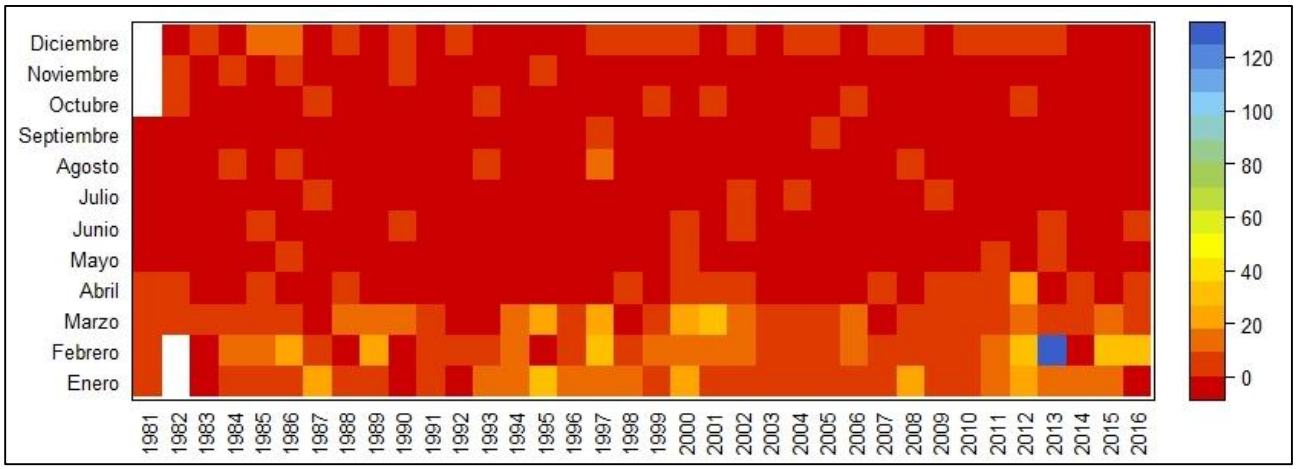
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

**Figura 13**

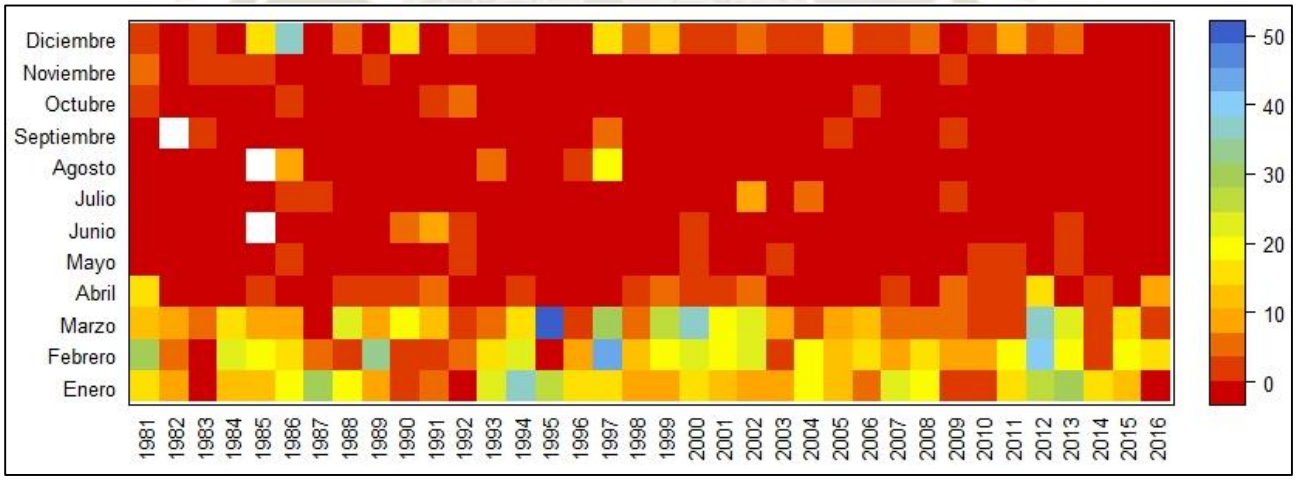
*Matriz de precipitación mensual- Estación "La Pampilla" (mm/mes)*




*Nota: Los cuadrados en blanco son meses sin registro, es decir datos faltantes (NA)*

**Figura 14**

*Matriz de precipitación mensual- Estación "Chiguata" (mm/mes)*




*Nota: Los cuadrados en blanco son meses sin registro, es decir datos faltantes (NA)*

SENAMHI nos también brinda información sobre la precipitación promedio en la ciudad de Arequipa, la cual podemos observar en la Tabla N°19, en esta podemos observar que la precipitación pluvial alcanza un máximo valor de 27.6 en febrero.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

**Tabla 19**

*Precipitación promedio en la ciudad de Arequipa*

| Meses | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul. | Ago. | Sep | Oct | Nov. | Dic. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Prec. mm** | 20.7 | 27.6 | 15.5 | 0.81 | 0.08 | 0.14 | 0.43 | 0.83 | 0.19 | 0.20 | 0.62 | 3.12 |

*Nota: Tabla construida con la información recolectada de la página oficial del SENAMHI*

Respecto a los porcentajes de humedad en la ciudad, la Tabla 20 nos indica los porcentajes de humedad relativa promedio según la altura.

**Tabla 20**

*Porcentaje de humedad relativa promedio de la ciudad de Arequipa*

| Altura | Porcentajes de humedad relativa promedio |
|---|---|
| Hasta los 1000 msnm | 60% |
| Entre 1000 msnm y 2000 msnm | Entre 20% y 30% |
| Sobre los 2000 msnm | Hasta 40% |

*Nota: Tabla construida con la información de la tesis "El río Chili: Cuenca árida con presencia minera" (Jiménez, Amézaga, Rotting y Guzmán, 2010).*

### 3.7. Aspectos Geológicos

Mariño, Rivera, Thouret, y Macedo (2016) en el Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica señalan que en la ciudad de Arequipa podemos encontrar rocas con edades del Precambriano hasta el reciente.

La ciudad de Arequipa abarca altitudes entre 1800 y 2600 msnm. Debido a la condición climática de la ciudad, descrita en el apartado 4.2 de la presente tesis, el área que abarca la ciudad no ha sido propicio para la formación de suelos, sin embargo, predomina una cantidad considerable



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

de material heterogéneo, principalmente fuerte por la influencia volcánica (Núñez del Prado et al., 2001).

Es así que Vilchez, Villacorta, Sosa, Rivera y Luque indican lo siguiente: “Los depósitos cuaternarios encontrados en el área de la ciudad de Arequipa corresponden a abanicos aluviales producidos por antiguos flujos de barro en un contexto de clima semiárido” (2016, p.1).

En la Tabla 21 presentada a continuación se describe los aspectos geológicos de las quebradas de la zona de estudio.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

**Tabla 21**

*Descripción de los aspectos geológicos de las quebradas del estudio*

| Quebrada | Geología | Fuente |
|---|---|---|
| **Del Pato** | -Las formación geológica o substrato rocoso más antiguo de la quebrada es la ignimbrita "La Joya" (hace 4.88 Ma) y la ignimbrita Aeropuerto (hace 2.42 a 1.61 Ma).<br>- También podemos observar en el área lahares, depósitos fluviales, sedimentos volcanoclásticos, depósito de caídas de trefas y depósitos de flujos piroplásticos. | Evaluación de peligros geológicos en la quebrada El Pato, tramo Villa Confraternidad (zonas A, B, C y D). Región Arequipa, provincia Arequipa, distrito Alto Selva Alegre (INGEMMET,2019). |
| **San Lázaro** | -La quebrada y sus alrededores se encuentra compuesta por depósitos de flujos piroplásticos de pómez y ceniza.<br>-En el cauce de la quebrada se observan depósitos de 10 de lahares o flujos de lodos. | Inspección geológica realizada en la quebrada San Lázaro – Arequipa (INGEMMET,2020). |
| **Venezuela** | La zona de la quebrada está compuesta por depósitos de flujos de lava andesítica con anfíbol y piroxenos; depósitos piroplásticos y volcanoclástico.; y depósitos de lahares o flujos de lodo. | Geología y mapa de peligros del volcán Misti. Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 60, 170 p. (Mariño, Rivera, Thouret & Macedo,2016) |
| **Los Incas** | -La zona donde se encuentra la quebrada está formada por flujos de lava, mezclado con depósitos de flujos y caídas piroplásticas, y lahares (arena y limo poco o no consolidados).<br>- Se observan depósitos de avalancha de escombros y depósitos de caídas y flujos piroplásticos. | Escenarios críticos por descenso de lahares en el distrito de Mariano Melgar – Arequipa (Cruz, Macedo Lazarte & Vargas,2021) |



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

En la Tabla 22 se describen los peligros geológicos que están presentes en las quebradas y las causas de estos.

**Tabla 22**

*Peligros geológicos de las quebradas del estudio*

| Quebradas | Peligros geológicos | Causas |
|---|---|---|
| **Del Pato** | -Flujo de lodo<br>-Erosión fluvial<br>-Inundaciones pluviales<br>-Derrumbes | -Ausencia de sistema de drenaje para evacuar lluvia.<br>-Construcción de viviendas a lo largo del cauce de torrentera.<br>-Áreas sin cobertura vegetal<br>-Laderas conformada por depósitos coluviales,<br>-Cauce con basura y material suelto |
| **San Lázaro** | -Flujo de lodo<br>-Erosión fluvial<br>-Inundaciones pluviales<br>-Caídas de rocas | -Material suelto en el cauce de la torrentera compuesto por desmontes y basura, producto de labores en la cantera.<br>-Reducción del cauce de la torrentera producto de las edificaciones construidas a lo largo del mismo. |
| **Venezuela** | -Flujo de lodo<br>-Erosión fluvial<br>-Inundaciones pluviales | -Desaparición parcial de la torrentera que transita y variación de sus dimensiones producto de la expansión y habilitación humana.<br>-Reducción del cauce natural de la torrentera producto de la mala canalización de la misma. |
| **Los Incas** | -Flujo de lodo<br>-Erosión fluvial<br>-Inundaciones pluviales | -Acarreo de basura y escombros.<br>- Reducción del cauce de la torrentera de 13 a 4 m. |

*Nota: La tabla fue construida con la información obtenida del Boletín serie C "Peligro geológico por movimientos en masa de la ciudad de Arequipa" (Vilchez & Sosa, 2021)*



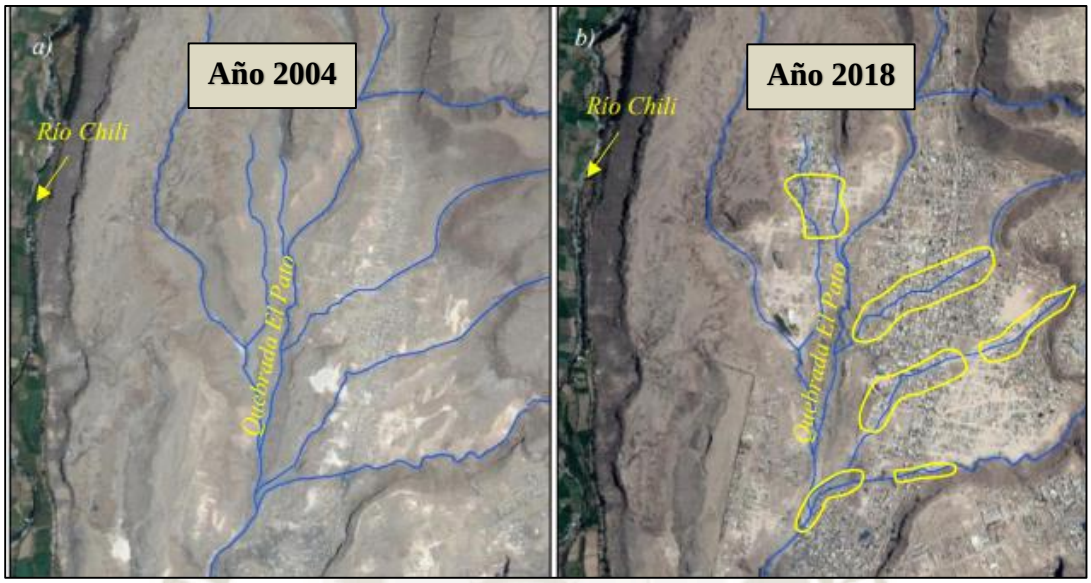
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

**Figura 15**

*Comparación de la Quebrada Del Pato 2004 vs 2018*




*Nota: Imagen extraída del Informe técnico N° A6912 "Evaluación de peligros geológicos en la quebrada El Pato, tramo Villa Confraternidad (zonas A, B, C y D). Región Arequipa, provincia Arequipa, distrito Alto Selva Alegre" (INGEMMET,2019). Las viviendas en el círculo amarillo corren alto riesgo.*

**Figura 16**

*Material suelto en el cauce de la Quebrada Del Pato*




*Nota: Imagen extraída del Informe técnico N° A6912 "Evaluación de peligros geológicos en la quebrada El Pato, tramo Villa Confraternidad (zonas A, B, C y D). Región Arequipa, provincia Arequipa, distrito Alto Selva Alegre" (INGEMMET,2019).*



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Figura 17**

*Viviendas al margen del cauce de la Quebrada San Lázaro*



*Nota: Imágenes extraídas del Boletín serie C "Peligro geológico por movimientos en masa de la ciudad de Arequipa" (Vilchez & Sosa, 2021)*

**Figura 18**

*Material suelto en la Quebrada San Lázaro*



*Nota: Imágenes extraídas del Boletín serie C "Peligro geológico por movimientos en masa de la ciudad de Arequipa" (Vilchez & Sosa, 2021)*



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Figura 19**

*Estrechamiento del cauce de la Quebrada Venezuela*



*Nota: Imagen extraída del Informe técnico N° A6912 "Evaluación de peligros geológicos en la quebrada El Pato, tramo Villa Confraternidad (zonas A, B, C y D). Región Arequipa, provincia Arequipa, distrito Alto Selva Alegre" (INGEMMET,2019).*

**Figura 20**

*Estrechamiento del cauce de la Quebrada Los Incas*




*Nota: Imagen extraída del Informe técnico N° A6912 "Evaluación de peligros geológicos en la quebrada El Pato, tramo Villa Confraternidad (zonas A, B, C y D). Región Arequipa, provincia Arequipa, distrito Alto Selva Alegre" (INGEMMET,2019).*



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

### 3.8. Data Histórica de Eventos de Precipitación Extrema

La Tabla 23 comprende los eventos extremos suscitados en el periodo de 1981 a 2016 en la ciudad de Arequipa.

**Tabla 23**

*Eventos de precipitación en extrema en la ciudad de Arequipa*

| Fecha | Evento | Fuente |
|---|---|---|
| **22/01/1987** | Inundación de áreas urbanas en la quebrada San Lázaro, calle Chullo y cercado. | -Martelli (2011) |
| **22/02/1987** | Crecida de cauce del río Chilli, se inundan calles. | -Martelli (2011)<br>-SENAMHI |
| **03/02/1989-05/02/1989** | Desborde del río Chilli, fueron afectados Arequipa, Av. Jesus, Mcal. Castilla, Lambramani, Alcides Carrion, San Lazaro, Av. Marina | -Martelli (2011)<br>-Vilchez y Sosa (2021) |
| **08/02/1989** | Lluvia intensa produjo la activación de todas las torrenteras, lo que ocasionó que el volumen del río Chilli aumente. | -Martelli (2011)<br>-Vilchez y Sosa (2021)<br>- La República<br>- Reportaje en persona |
| **17/02/1994** | Inunción en los distritos de Miraflores, Mariano Melgar, Huayco y Paucarpata. | -Martelli (2011) |
| **26/01/1995- 27/01/1995** | Inundación en Arequipa, Independencia, La Marina, Goyoneche, Jorge Chavez, Venezuela, La Paz, Mariscal Castilla, Alcides, Carrion etc | -Martelli (2011) |



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

| | | |
|---|---|---|
| **15/03/1995- 19/03/1995** | Inundación y erosión en las calles de las áreas en Pampas de Polcano, Chilina, Miraflores, Socobaya, Yarabamba, Arica, Miguel Grau, etc. | -Martelli (2011) |
| **25/02/1997** | Desborde de las torrenteras San Lázaro, Venezuela, Paucarpata y Los Incas. | -Vichez y Sosa (2021)<br>-Rivera, Vilchez y Vela (2018) |
| **01/03/1999** | Inundaciones en los distritos de Alto selva Alegre, Pocsi y Paucarpata. | -Vichez y Sosa (2021) |
| **14/03/1999** | Inundaciones en las áreas urbanas de Arequipa, Paucarpata, Mariano Melgar, Miraflores, San Lazaro | -Rivera, Vilchez y Vela (2018).<br>-Martelli (2011) |
| **18/01/2000** | Inundaciones en asentamientos humanos del distrito Mariano Melgar. | -Vichez y Sosa (2021) |
| **20/01/2000** | Inundación en el distrito de Paucarpata. | -Vilchez y Sosa (2021) |
| **24/01/2000** | Activación de la segunda torrentera. | -Vilchez y Sosa (2021) |
| **04/01/2000** | Activación de la segunda torrentera. | -Vilchez y Sosa (2021) |
| **15/02/2001** | Lluvia intensa en el distrito de José Luis Bustamante y Rivero. | -Vilchez y Sosa (2021) |
| **19/03/2001** | Inundaciones en Cayma, Socabaya, Paucarpata, Alto Selva Alegre, José Luis Bustamante y Rivero, y Mariano Melgar. | -Martelli (2011)<br>-Rivera, Vilchez y Vela (2018).<br>-Vilchez y Sosa (2021) |
| **20/03/2001** | Inundación en Alto Selva Alegre y Arequipa. | -Vilchez y Sosa (2021) |
| **26/07/2002** | Lluvias intensas en los distritos de Alto Selva Alegre y Arequipa. | -Vilchez y Sosa (2021) |
| **09/01/2008** | Lluvias intensas en los distritos de Alto Selva Alegre, Cayma, Hunter y Mariano Melgar. | -Vilchez y Sosa (2021) |



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

| | | |
|---|---|---|
| **21/02/2011** | Inundación en áreas urbanas y de cultivo en Arequipa, Uchumayo, Mariano Melgar, Huarangal, Alto Selva Alegre, Miraflores, San Lazaro | -Martelli (2011) |
| **01/01/2012-03/01/2012** | Lluvias en el distrito Alto Selva Alegre, inudaciones en diferentes distritos de la ciudad. | -Vichez y Sosa (2021)<br>-RPP |
| **12/02/2012** | Llovió 30 $l^2$/m causando inundaciones en puntos de la ciudad. | -Vilchez y Sosa (2021) |
| **11/03/2012** | Devastación de terrenos de cultivo e inundación de calles y viviendas. | -Rivera, Vilchez y Vela (2018). |
| **08/02/2013** | Registro de lluvia de 124.5 mm, se activaron las torrenteras San Lázaro, Venezuela y Los Incas, se produjo flujo de detritos. | -Rivera, Vilchez y Vela (2018).<br>-Vilchez y Sosa (2021)<br>- Cayca *et al.* (2013) |
| **01/02/2015** | Inundaciones después de 6 horas de lluvias. | -Vilchez y Sosa (2021)<br>- El Búho |
| **22/02/2016** | Flujo de detritos en el sector Buenavista-Yanahuara, vías destruidas Alto Caima | Vilchez y Sosa (2021) |
| **26/02/2016** | Inundaciones en los distritos de Paucarpata, José Luis Bustamante y Rivero, Alto Selva Alegre, Cayma y Yanahuara. | -Vilchez y Sosa (2021)<br>- Diario Correo |

*Nota: Tabla elaborada con diversas fuentes especificadas en el mismo cuadro.*



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

# CAPÍTULO V



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

# 4. Umbrales De Precipitación

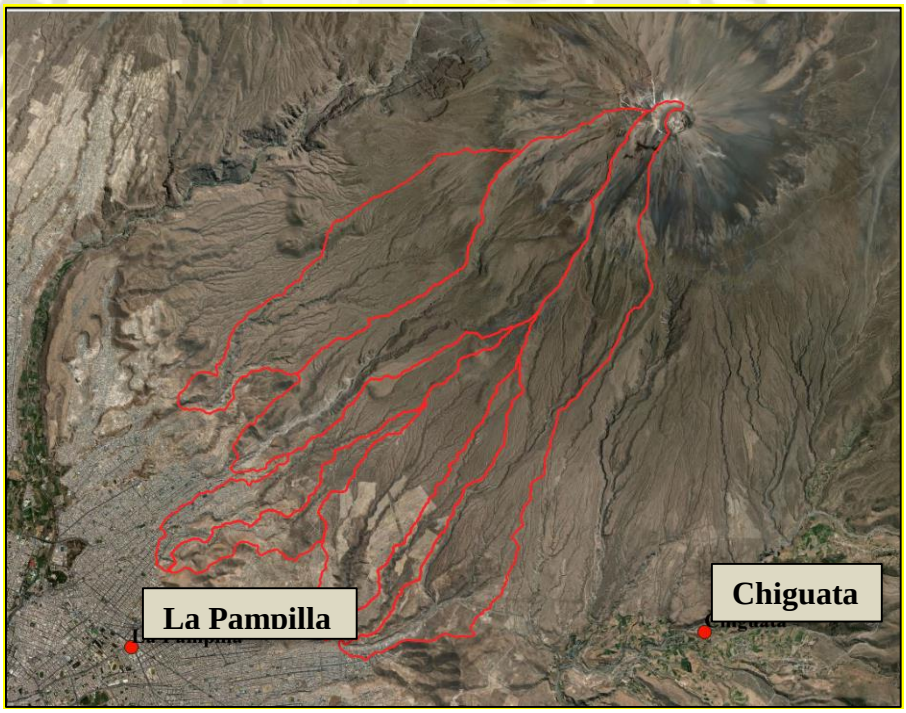
## 5.1. Estaciones Meteorológicas

### *4.1.1. Selección De Datos De Precipitación De Estaciones Meteorológicas*

Para la selección de datos de precipitación se consideraron 2 estaciones meteorológicas administradas por SENAMHI, las cuales se encuentran ubicadas en las zonas aledañas al área de estudio. La estación meteorológica Huasacache quedó descartada del estudio ya que, no cuenta con registros pluviométricos anteriores al año 1994, esto significa que solo registra 22 años de los 36 años considerados en el estudio, lo que hace inviable su utilización.

**Figura 21**

*Ubicación de estaciones meteorológicas*




*Nota: Los puntos rojos indican la ubicación de las estaciones*



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Para obtener resultados óptimos, las estaciones deberán tener más del 80% de datos de precipitación máxima diaria completos respecto al Nº total de datos dentro del rango del estudio (Endara Huanca, 2017).

El análisis arroja el siguiente resultado:

**Tabla 24**

*Resumen de análisis de datos de precipitación diaria de las estaciones meteorológicas*

| Estación | N.º total de datos | N.º de datos faltantes (NA) | N.º de datos completos | Porcentaje de datos completos | Valoración |
|---|---|---|---|---|---|
| "La Pampilla" | 13149 | 505 | 12644 | 96.16% | Óptima |
| "Chiguata" | 13149 | 457 | 12692 | 96.52% | Óptima |

Los resultados nos indican que ambas estaciones son óptimas para el estudio, lo que garantiza un correcto análisis estadístico para la determinación de los umbrales de precipitación.

### *4.1.2. Análisis Exploratorio De Datos de Precipitación Por Estación Meteorológica*

El análisis exploratorio de datos de precipitación por estación consistió en la aplicación de métodos gráficos para el correcto estudio de los datos de series de tiempo de precipitación diaria de las estaciones meteorológicas. Para el análisis no se consideraron los días que tienen datos faltantes (NA).



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

**Tabla 25**

*Resumen de datos analizados*

| Estación | Nº de datos diarios | Nº de datos mensuales |
|---|---|---|
| **"La Pampilla"** | 12644 | 427 |
| **"Chiguata"** | 12692 | 429 |

#### 4.1.2.1.Histograma de Frecuencia de la Precipitación por Estación Meteorológica

Para los histogramas se realizará la caracterización diaria y mensual de la precipitación con el objetivo de analizar de manera más exhaustiva la distribución de datos, por lo mismo los histogramas estarán en porcentajes.

En las Figuras 22 y 23 observamos la caracterización diaria y mensual de los datos de precipitación de la estación “La Pampilla” respectivamente. En ambos casos varía en la precipitación entre 0 y 125 mm, observamos una distribución asimétrica sesgada a la derecha, y datos con menor probabilidad de ocurrencia ubicados hacia la izquierda, esto demuestra la existencia de valores extremos o datos atípicos.

Además, el histograma de frecuencia de precipitación diaria (HFD) de “La Pampilla”, muestra que más del 75 % de los datos se encuentran cercanos 0.

Finalmente, el histograma de frecuencia de precipitación mensual (HFM) de “La Pampilla” muestra que más del 60 % de los datos se encuentran cercanos a 0. Esto nos indica que existen temporadas de lluvia estacionarias en la zona, es decir que solo llueve por temporadas, lo cual se ajusta a la realidad de la ciudad de Arequipa.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Figura 22**

*Histograma de frecuencia de precipitación diaria de la estación "La Pampilla"*

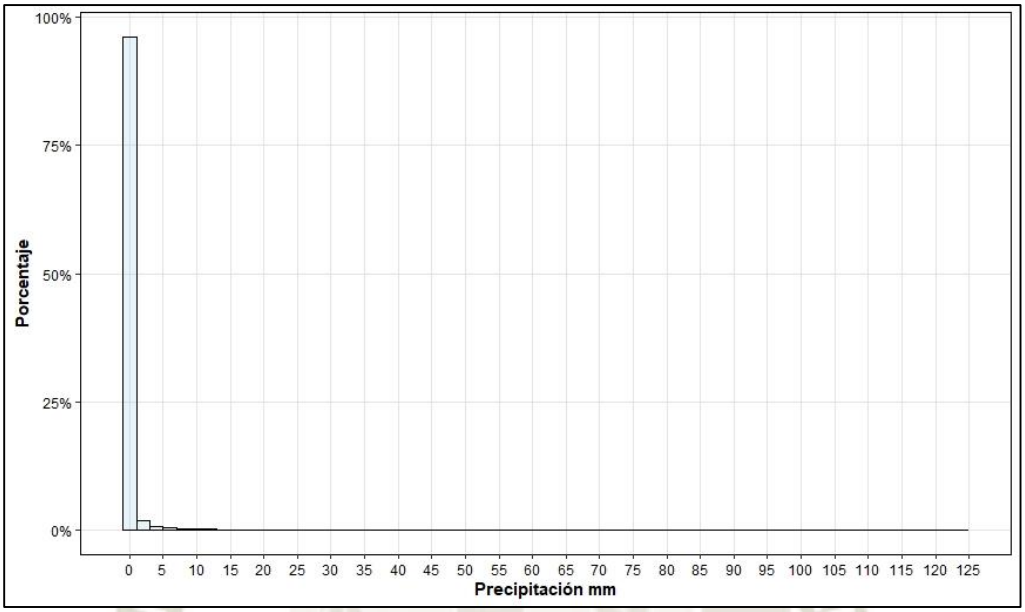
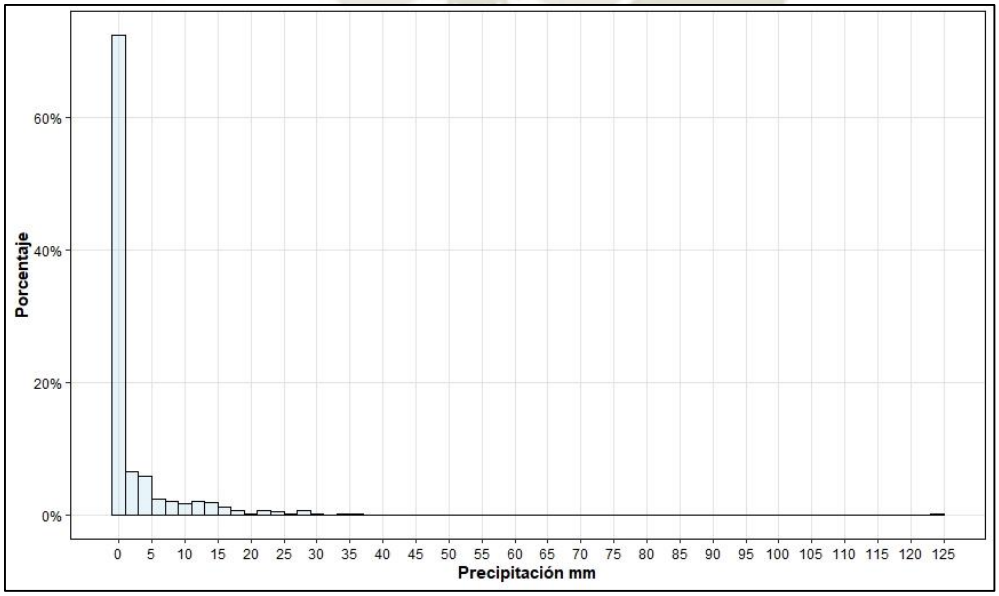



**Figura 23**

*Histograma de frecuencia de precipitación máxima mensual de la estación "La Pampilla"*






Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

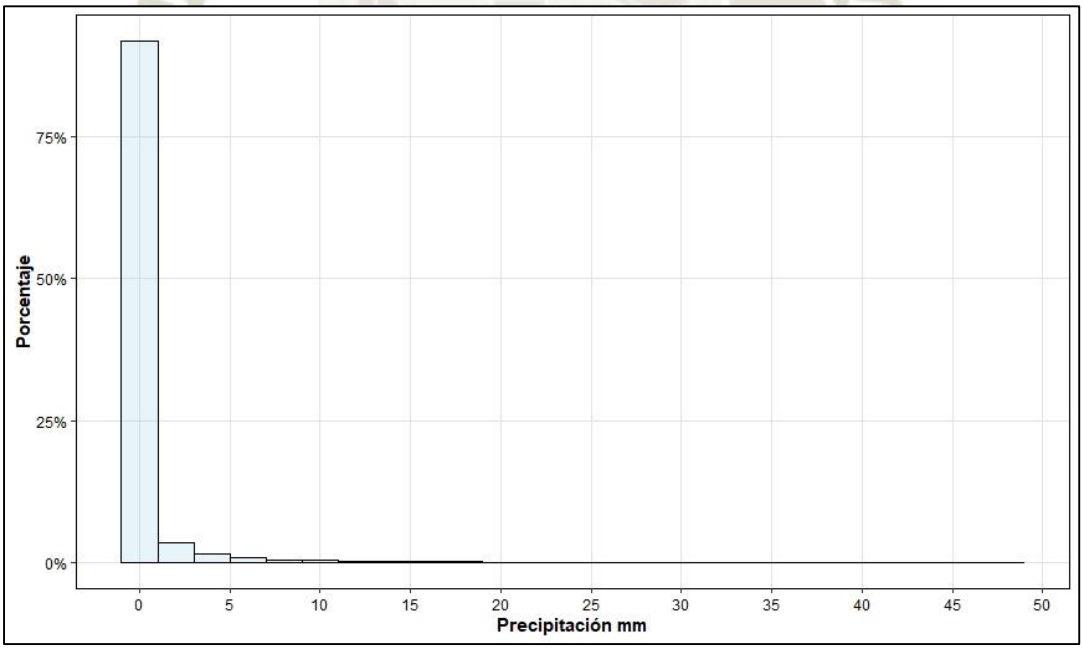
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Las Figuras 24 y 25 presenta la caracterización diaria y mensual de los datos de precipitación de la estación “Chiguata”. Al igual que la estación anterior, presenta una asimetría sesgada a la derecha y demuestra la existencia de valores extremos, mientras que la precipitación varía de 0 a 50 mm.

Tal como la estación “La Pampilla”, la estación “Chiguata” presenta un HFD con 75% de valores cercanos a 0 y un HFM con un 60% de valores aproximados a 0. Así mismo podemos visualizar valores atípicos a partir de los 35mm, estos serán analizados como ya se mencionó con ayuda del diagrama de caja.

**Figura 24**

*Histograma de frecuencia de precipitación diaria de la estación Chiguata*





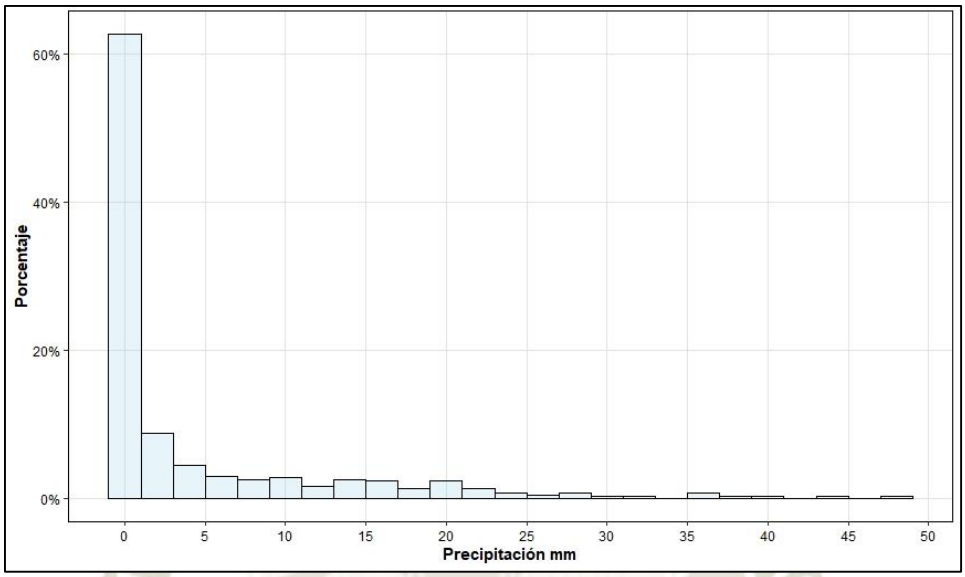

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Figura 25**

*Histograma de frecuencia de precipitación máxima mensual de la estación Chiguata*




### 4.1.2.2.Análisis de la Normalidad de la Precipitación por Estación Meteorológica

Para poder evaluar la normalidad de las series de tiempo de precipitación de las dos estaciones analizadas utilizaremos las gráficas de QQ-plot para evaluar los datos de precipitación diaria.

Como se observa en la Figura 26 y en la Figura 27 ambas gráficas presentan una distribución asimétrica a la izquierda lo significa que no siguen una distribución normal, y a su vez presentan valores extremos o atípicos, esto se puede apreciar mejor en la estación “La Pampilla” donde claramente se distingue la existencia de un punto lejano al resto.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Figura 26**

*Q-Q plot, estación La Pampilla*

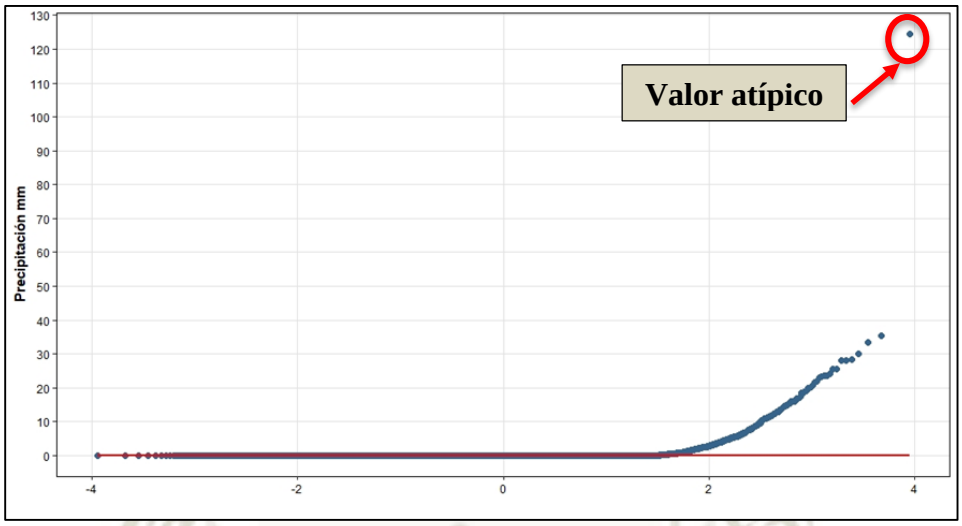
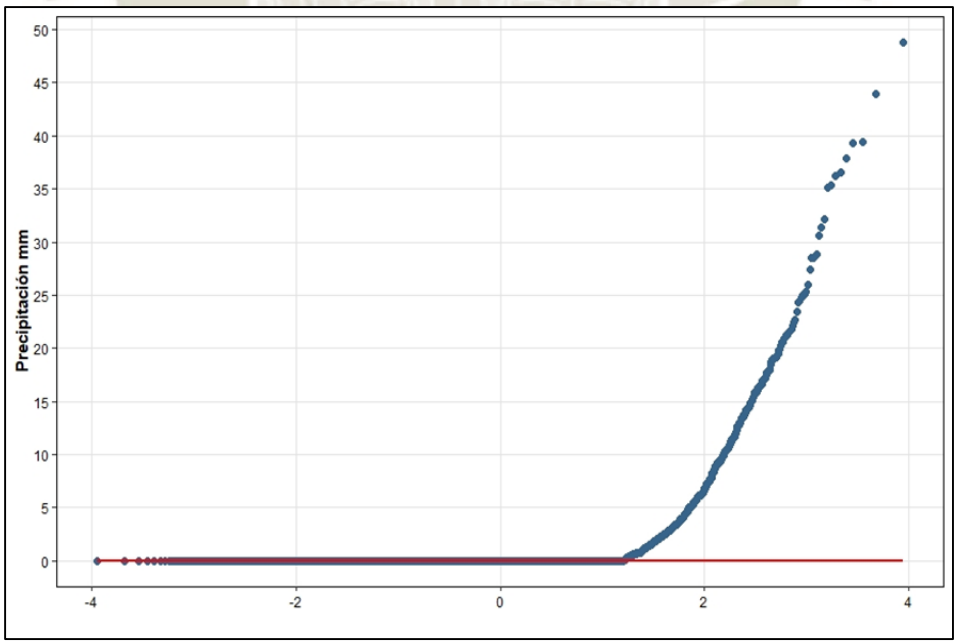



**Figura 27**

*Q-Q plot, estación Chiguata*






Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

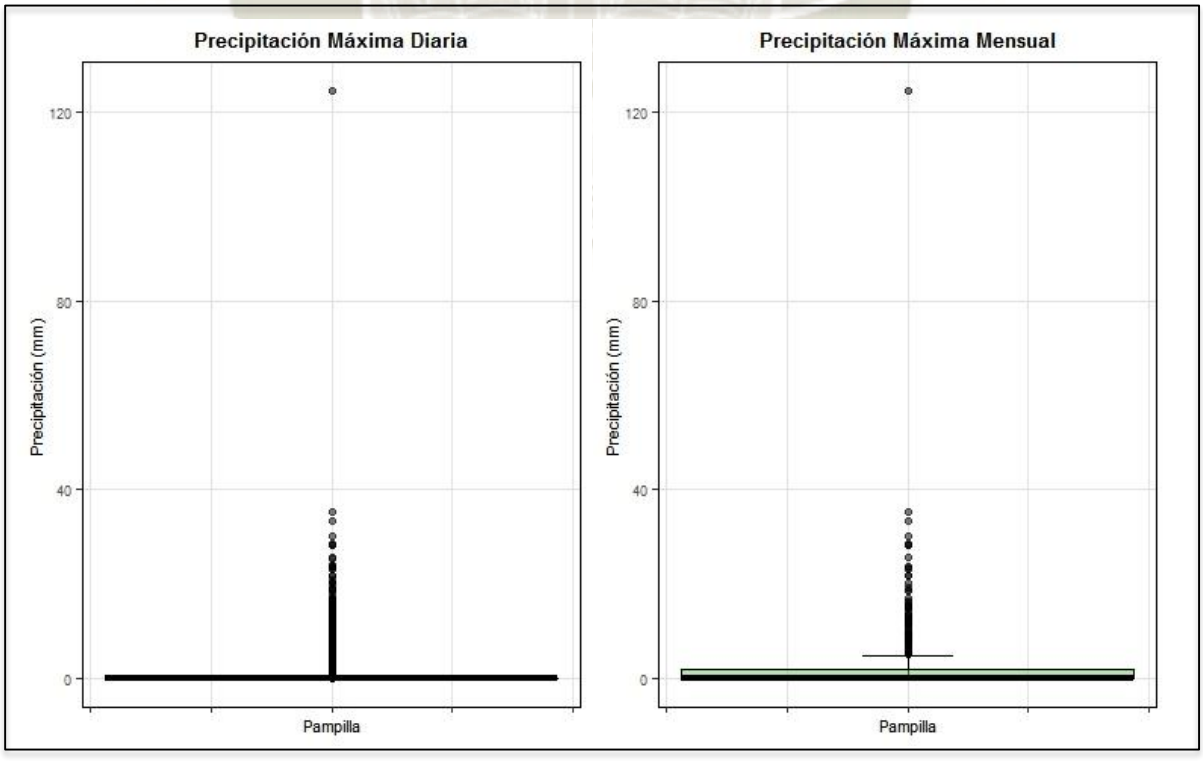
#### 4.1.2.3. Diagrama De Cajas De Precipitación Por Estaciones Meteorológicas

La Figura 28 presenta los diagramas de caja para la estación “La Pampilla. En estos se observa la presencia de valores atípicos, donde resalta un valor claramente alejado del grupo de puntos. Este dato ha sido corroborado con nuestra base histórica de datos de eventos extremos, la cual se encuentra en el apartado 4.4., que nos indica que el 8 de febrero del 2013 se suscitó una lluvia intensa en la ciudad de Arequipa, la cual fue registrada con un valor de 124 mm.

El resto de los aparentes valores atípico, moderadamente alejados del grupo de puntos llegan a casi 40 mm de precipitación. Además, podemos ver que la mediana, representada en una línea negra gruesa, es igual a 0 en ambos diagramas. Lo que podemos explicar analizando la Figura 22, donde la mayor cantidad de datos de precipitación equivale a 0.

**Figura 28**

*Diagramas de caja de la estación La Pampilla*






Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

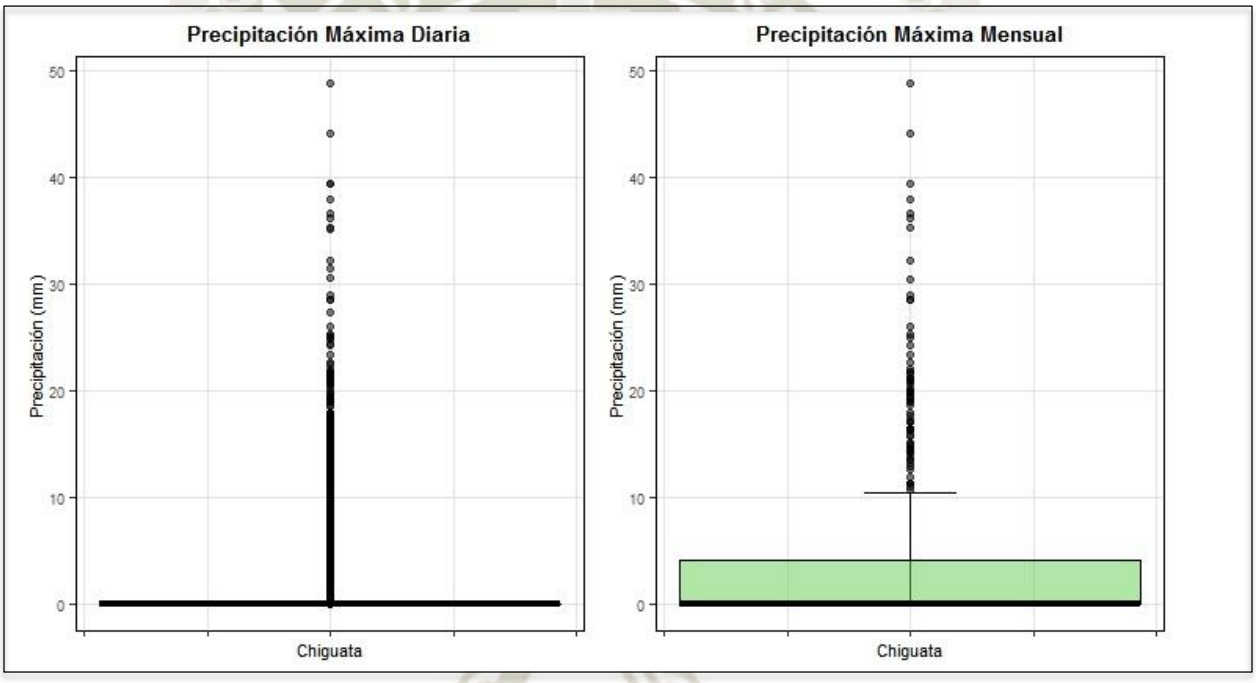
REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

En la Figura 29 se representa los diagramas de caja de la estación Chiguata. Al igual que la estación anterior, la mediana es 0, debido a que la mayor parte de datos es igual 0 o se aproximan a este valor. En la Figura también se observa la presencia de valores atípicos que sobrepasan los 40 mm de precipitación, los cuales son particularmente distantes al grupo de puntos y no pasan los 50 mm de precipitación.

**Figura 29**

*Diagramas de caja de la estación Chiguata*




Para comprender mejor los detalles de la estadística descriptiva de las estaciones se realizó la Tabla 26, donde se resumen los detalles de los datos diarios.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

**Tabla 26**

*Características estadísticas descriptivas por estación*

| Estación | Mínimo | Media | Mediana | Rango Intercuantílico | Máximo |
|---|---|---|---|---|---|
| **Pampilla** | 0 | 0.237 | 0 | 0 | 124.5 |
| **Chiguata** | 0 | 0.506 | 0 | 0 | 48.8 |

### *4.1.3. Caracterización de Umbrales de Precipitación por Estación*

#### 4.1.3.1.Selección de Datos de Precipitación Diaria por Estación

Para la generación de umbrales de precipitación para las estaciones meteorológicas “La Pampilla” y “Chiguata” se utilizarán los datos de precipitación acumulada en 24 horas (RR/día) que superen los 0.1 mm tal como se indica en Alfaro (2014) en la Nota Técnica 001 SENAMHI-DGM – 2014.

En la Tabla 27 se puede observar el resultado de descarte de RR/día que no cumplen con la condición antes mencionada, así como el número total de datos que se analizarán.

**Tabla 27**

*Resumen de selección de datos de precipitación diaria por estaciones*

| Estación | N.º total de datos | N.º de datos faltantes (NA) | Datos descartados (RR<0.1) | Datos óptimos (RR>0.1) |
|---|---|---|---|---|
| **La Pampilla** | 13149 | 505 | 11852 | 792 |
| **Chiguata** | 13149 | 457 | 11283 | 1409 |



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

#### 4.1.3.2.Detección y Tratamiento de Valore Atípicos.

Para la detección de los valores atípicos tomaremos como punto de partida los resultados del análisis de exploratorio, donde los resultados nos indican que los datos de precipitación tienen una distribución asimétrica y no normal, por lo cual no sería correcto usar el diagrama de caja regular, tal como se explica en el apartado 4.1.3 del Marco Teórico.

Por lo cual, se decidió evaluar el uso del diagrama de caja ajustada (Hubert y Vandervieren, 2008) para la detección de valores atípicos (outliers), para esto se calculó del Medcouple de ambas estaciones. Para que sea viable el uso del método de Hubert y Vandervieren la Medcouple debe encontrarse en el rango de -0.6 a 0.6.

**Tabla 28**

*Medcouple de las estaciones meteorológicas con datos RR/día > 0.1*

| Estación | Medcouple | Estado de data para uso de DCA |
|---|---|---|
| **La Pampilla** | 0.4666667 | Óptimo |
| **Chiguata** | 0.4761905 | Óptimo |

La Tabla 28 muestra los valores de medcouple para ambas estaciones, y ambos resultados caen dentro del rango antes mencionado, por lo cual para la detección de valores atípicos se utilizará el método de Hubert y Vandervieren o diagrama de caja ajustada.

Para el tratamiento de valores atípicos, se analizó el caso particular de cada caso con la finalidad de que el eliminar alguno no implique que se afecte el resultado final.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

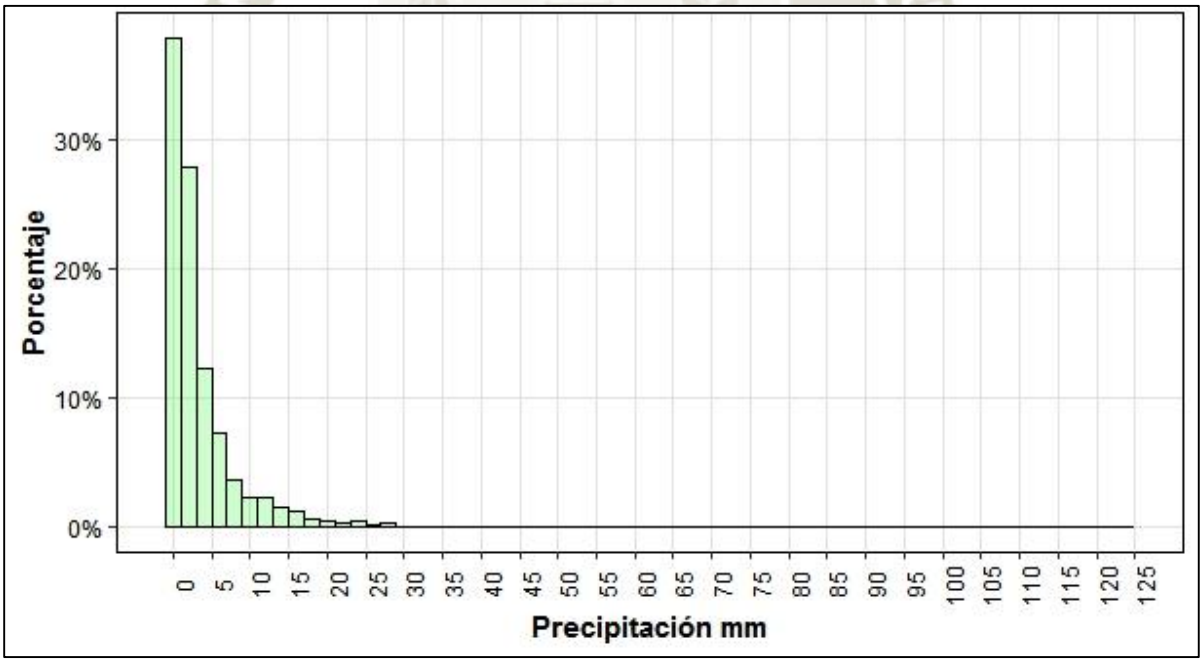
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

#### *4.1.3.2.1. Estación Meteorológica La Pampilla.*

Para entender la nueva distribución de datos, producto de la exclusión de los valores menores a 0.1 (Alfaro, 2014), se realizó el histograma que muestra la Figura 30. En este observamos que la mayor parte de datos se siguen aproximando a 0, empero, el porcentaje respecto al análisis del total de datos, ha disminuido significativamente de 75% a poco más del 30% respecto al total. Otro punto a destacar es el aumento en porcentaje del número de datos en el intervalo de 5 mm a 25 mm. Todo esto tiene un impacto directo en la mediana, tal como muestra la Tabla 30, la cual asciende a 1.8 mm.

**Figura 30**

*Histograma de RR/día> 0.1 mm. de la estación La Pampilla*






Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

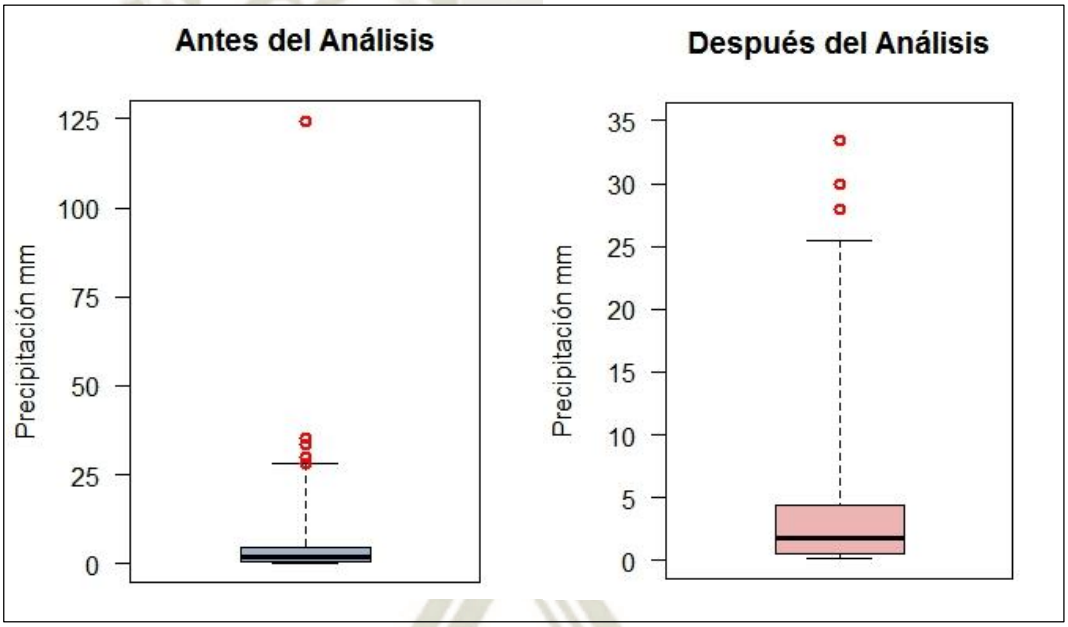
REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

En la Figura 31 se presenta dos diagramas de caja, el primero es el que se realiza con los datos de precipitación diaria que cumplen con la condición antes mencionada, cuya precipitación máxima es casi 125 mm,y el segundo es el realizados con los datos que excluyen los valores atípicos que no superaron el análisis descrito en la Tabla 29 y fueron eliminados, dejando un rango de precipitación entre 0.1 y 35 mm aproximadamente.

**Figura 31**

*Diagrama de caja ajustada de la estación La Pampilla*




Como ya se ha hecho mención la Tabla 29 resume el proceso de análisis de cada valor atípico obtenido del diagrama de caja. En este análisis se encontraron tres clases de datos atípicos, aquellos que no coincidían con la data histórica recolectada, por lo que se descartaban al no ser coherente el registro de lluvia con la realidad; aquellos que, si bien si se encontraban dentro de la base de datos, afectaban y generaban un fuerte impacto en la estadística, y por último los que se mantuvieron debido a que se comprobó que era contraproducente eliminarlos del análisis.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

**Tabla 29**

*Análisis de valores atípicos de la estación La Pampilla*

| Fecha | Prec. (mm) | Descripción | Conclusión del análisis |
|---|---|---|---|
| **25/02/1997** | 33.4 | Desborde de las torrenteras San Lázaro, Venezuela y Los Incas que afectaron Selva Alegre (Vilchez & Sosa, 2021) | Se mantiene en el análisis, ya que se comprobó la existencia del evento y no genera o afecta la estadística de la serie. |
| **20/03/2001** | 30 | Inundación en Alto Selva Alegre y Arequipa (Vilchez & Sosa, 2021) | Se mantiene en el análisis, ya que se comprobó la existencia del evento y no genera o afecta la estadística de la serie. |
| **11/02/2012** | 35.3 | No hay registro del evento | Eliminado por posible falla o mala calibración de la Estación |
| **08/02/2013** | 124.5 | Flujo de detritos en las torrenteras San Lázaro, Venezuela y Los Incas (Vilchez & Sosa, 2021) | Eliminado por el fuerte impacto que genera en el percentil 95p y 99p. |
| **15/02/2015** | 28.4 | No hay registro del evento | Eliminado por posible falla o mala calibración de la Estación |

Finalmente, en la Tabla 30 se puede observar el resumen general del proceso de detección y análisis de valores atípico, donde el cambio más significativo se da en cuartil 3. A raíz de la variación en el tercer cuartil, el bigote superior se redujo, lo que dio pie a que aparezcan 2 nuevos "outliers" empero, ambos valores al ser examinados dieron como resultado que eran evento reales, ya que se encuentran dentro de la data histórica; y que ninguno tiene un impacto considerable en la estadística de los datos, por lo que no era necesario realizar un segundo análisis para eliminarlos.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

**Tabla 30**

*Resumen del análisis de valores atípicos de la estación La Pampilla*

| | Bigote inferior | Primer cuartil | Mediana | Tercer cuartil | Bigote superior | N° de outliers | N° de outliers eliminados |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Antes del Análisis** | 0.2 | 0.6 | 1.8 | 4.5 | 28 | 5 | 3 |
| **Después del Análisis** | 0.2 | 0.6 | 1.8 | 4.4 | 25.5 | 4 | 0 |

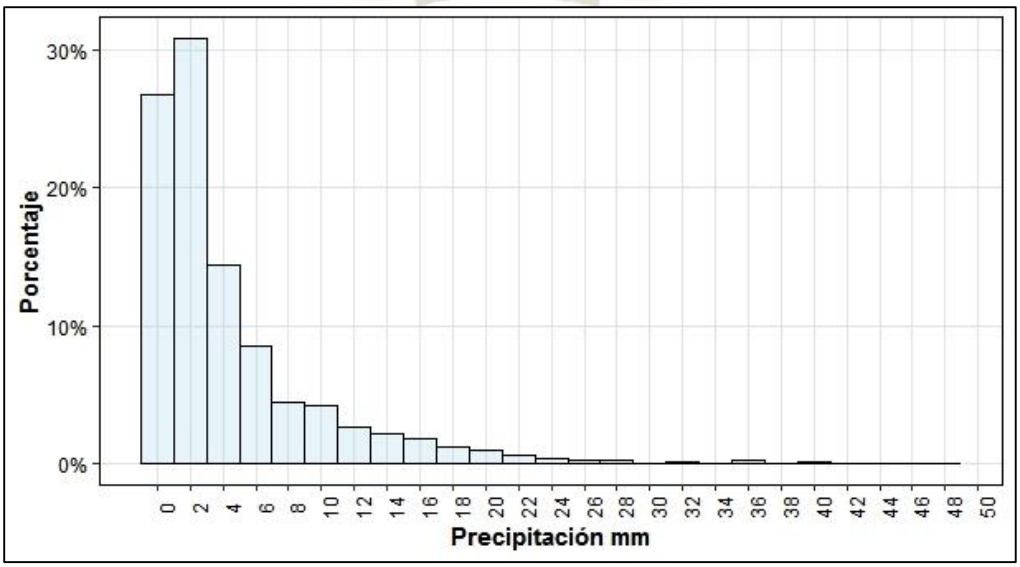
*Nota: Outliers es la traducción en inglés de datos o valores atípicos.*

#### *4.1.3.2.2. Estación Meteorológica Chiguata*

La Figura 32 presente al histograma construido con los datos que se usarán para la caracterización de umbrales. En este vemos que la concentración de datos ya no se da en 0, sino que esta se da en valores aproximados a 2 mm, por lo cual podemos deducir que la mediana se ubicará en este intervalo.

**Figura 32**

*Histograma de RR/día> 0.1 mm. de la estación Chiguata*






Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

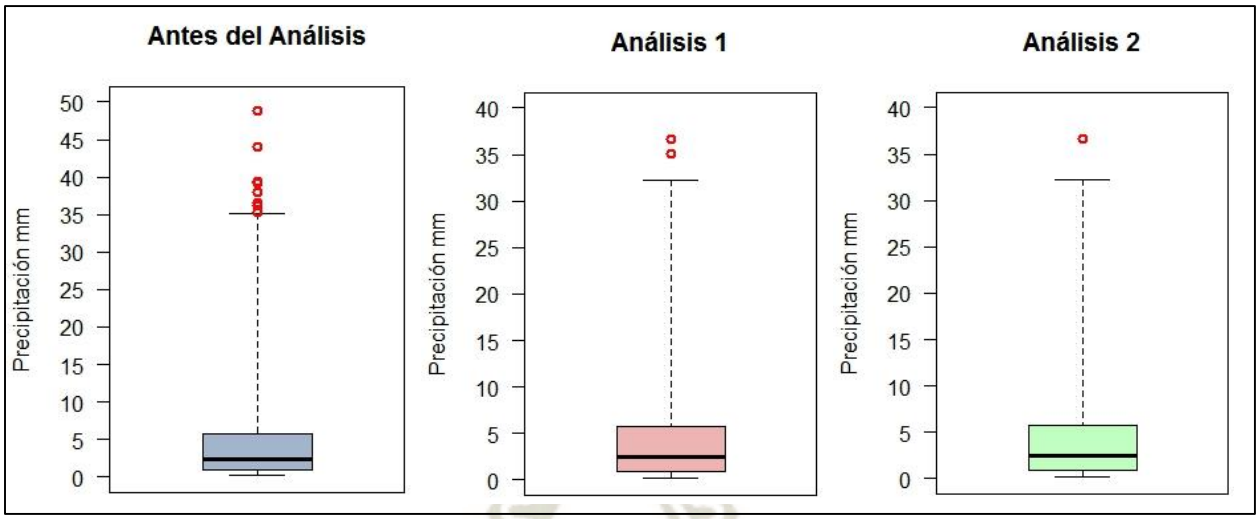
REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

En la Figura 33 se muestran 3 diagramas de caja ajustada. El primer gráfico muestra que los datos de precipitación diaria se encuentran en un rango aproximado de 0.1 mm a 50 mm. El siguiente gráfico corresponde al resultado del primer análisis de valores atípicos, donde finalmente solo quedan 2 de ellos y se observa que el máximo de precipitación es ligeramente superior a 35mm. Y finalmente el tercer gráfico, que es resultado del segundo análisis de valores atípicos, en el cual solo se terminó eliminando el valor que no paso el examen, pero cuya anulación no afecto de manera dramática la estadística.

**Figura 33**

*Diagrama de caja ajustada de la estación Chiguata*




En la Tabla 31 y 32 se encontraron la misma clase de valores atípico que se describían en inciso anterior, es así que en el primer análisis se terminó eliminando siete de los ocho "outliers" calculados. El segundo análisis se realiza debido a que se encontró en el diagrama de caja resultado del análisis 1, un valor atípico nuevo generado por la reducción del bigote superior que como se explica en la Tabla 32 su valor de precipitación no corresponde con la realidad.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

**Tabla 31**

*Análisis 1 de valores atípicos de la estación Chiguata*

| Fecha | Prec. mm | Descripción | Conclusión de Análisis 1 |
|---|---|---|---|
| **28/12/1986** | 37.9 | No hay registro de desastre en la zona | Eliminado por posible falla o mala calibración de la Estación |
| **21/01/1987** | 39.4 | No hay registro de desastre en la zona | Eliminado por posible falla o mala calibración de la Estación |
| **20/01/1994** | 35.3 | No hay registro de desastre en la zona | Eliminado por posible falla o mala calibración de la Estación |
| **15/03/1995** | 48.8 | Inundaciones, erosión en calles (MARTELLI,2011) | Eliminado por el fuerte impacto que genera en el percentil 95p y 99p. |
| **25/02/1997** | 44 | Desborde de las torrenteras San Lázaro, Venezuela y Los Incas que afectaron Selva Alegre (Vilchez & Sosa, 2021) | Eliminado por el fuerte impacto que genera en el percentil 95p y 99p. |
| **10/03/2000** | 36.2 | No hay registro de desastre en la zona | Eliminado por posible falla o mala calibración de la Estación |
| **11/02/2012** | 39.3 | No hay registro de desastre en la zona | Eliminado por posible falla o mala calibración de la Estación |
| **11/03/2012** | 36.6 | Desborde en la torrentera Los Incas (Rivera et al., 2018) | Se mantiene en el análisis, ya que se comprobó la existencia del evento y no genera o afecta la estadística de la serie. |

**Tabla 32**

*Análisis 2 de valores atípicos de la estación Chiguata*

| Fecha | Prec. mm | Descripción | Conclusión de Análisis 1 |
|---|---|---|---|
| **14/03/1995** | 37.9 | No hay registro de desastre en la zona | Eliminado por posible falla o mala calibración de la Estación |
| **11/03/2012** | 36.6 | Desborde en la torrentera Los Incas (Rivera et al., 2018) | Se mantiene en el análisis, ya que se comprobó la existencia del evento y no genera o afecta la estadística de la serie. |



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Como conclusión la Tabla 33 muestra el resumen del análisis de valores atípicos, donde vemos que las características del diagrama de caja ajustada casi no varían a excepción del bigote superior.

**Tabla 33**

*Resumen de análisis de valores atípicos de la estación Chiguata*

| | Bigote inferior | Primer cuartil | Mediana | Tercer cuartil | Bigote superior | N° de outliers | N° de outliers eliminados |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Antes del Análisis** | 0.2 | 1 | 2.4 | 5.7 | 35.1 | 8 | 7 |
| **Análisis 1** | 0.2 | 0.9 | 2.4 | 5.7 | 32.2 | 2 | 1 |
| **Análisis 2** | 0.2 | 0.9 | 2.4 | 5.7 | 32.2 | 1 | 0 |

#### 4.1.3.3. Generación de Umbrales de Precipitación Utilizando Percentiles.

##### *4.1.3.3.1. Estación Meteorológica La Pampilla.*

Para la caracterización de los umbrales de precipitación en la estación La Pampilla se utilizaron 789 datos de precipitación diaria. Los percentiles fueron hallados con el programa Rstudio, usando lenguaje de programación R.

La Tabla 34 muestra los resultados finales de la caracterización, donde los datos que se encuentre por debajo del percentil 75 se consideraran como eventos usuales y los mayores al percentil 99 se razonaran, dentro de la clasificación de eventos extremos, como datos extremadamente inusuales, los cuales deberán ser analizados a profundidad (Alfaro, 2014).

Así mismo la Figura 34 nos permite visualizar los percentiles 75p, 90p, 95p y 99p y la serie de tiempo originada por los 13149 datos de precipitación diaria, esto permite una rápida detección de eventos extremos que pasan los umbrales limitados por los percentiles antes mencionados



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

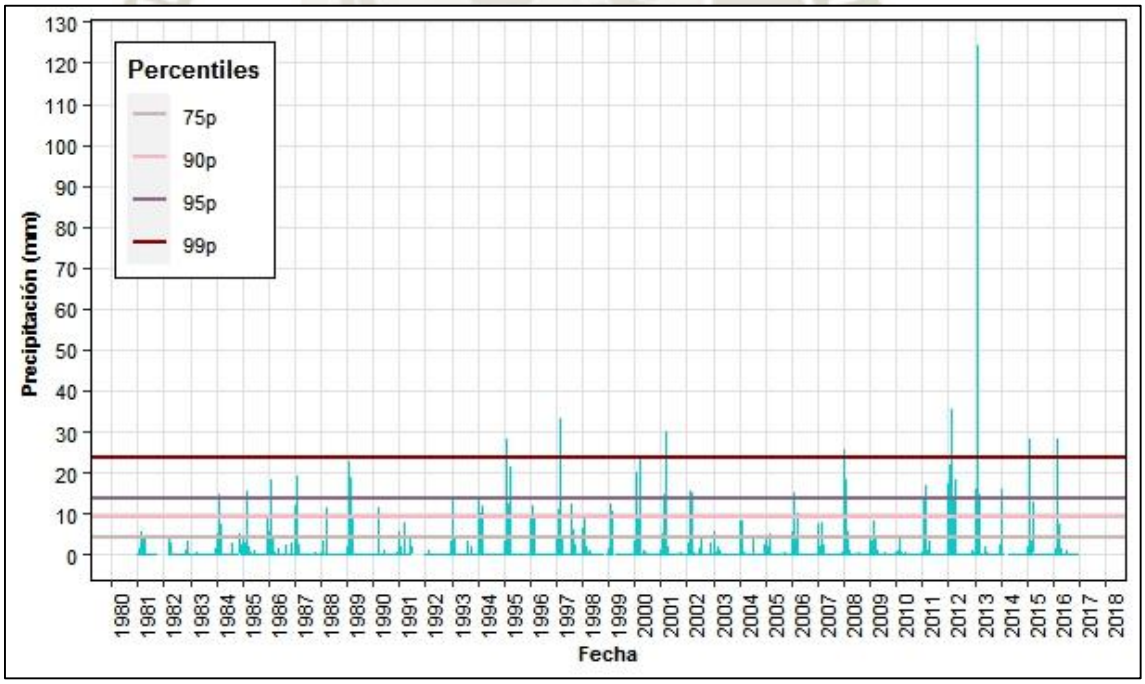
**Tabla 34**

*Caracterización de los umbrales de precipitación de la estación la Pampilla*

| Umbrales de precipitación | Caracterización de lluvias extremas | Umbrales de estación La Pampilla | | |
|---|---|---|---|---|
| RR/día > 99p | Extremadamente lluvioso | RR/ día | > | 23.7 |
| 95p < RR/día ≤ 99p | Muy lluviosos | 13.9 | < RR/día ≤ | 23.7 |
| 90p < RR/día ≤ 95p | Lluvioso | 9.32 | < RR/día ≤ | 13.9 |
| 75p < RR/día ≤ 90p | Moderadamente lluvioso | 4.4 | < RR/día ≤ | 9.32 |

**Figura 34**

*Visualización de percentiles en la serie de tiempo de la estación La Pampilla*






Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

#### *4.1.3.3.2. Estación Meteorológica Chiguata*

Para la caracterización de los umbrales de precipitación en la estación Chiguata, se utilizaron 1401 datos de precipitación diaria. La Tabla 35 nos indica que aquellos eventos de lluvia cuya precipitación sea mayor 0, y que estén por debajo de 5.7 mm serán considerados como usuales, y los que sobrepasen este umbral serán considerado como inusuales, así mismo aquello que sobrepasen los 24.3 mm deberán ser considerados como muy inusuales y tendrían que ser estudiados de manera cuidadosa.

La Figura 35 se construyó con los 13149 datos de precipitación diaria que se encuentran dentro del periodo de estudio, como en con la estación anterior se caracterizó los percentiles 75p, 90p, 95p y 99p en líneas horizontales, con la finalidad de observar en que años se suscitaron eventos inusuales.

**Tabla 35**

*Caracterización de los umbrales de precipitación de la estación Chiguata*

| **Umbrales de precipitación** | **Caracterización de lluvias extremas** | **Umbrales de estación Chiguata** | | |
|---|---|---|---|---|
| RR/día > 99p | Extremadamente lluvioso | RR/ día | > | 24.3 |
| 95p < RR/día ≤ 99p | Muy lluviosos | 15.9 | < RR/día ≤ | 24.3 |
| 90p < RR/día ≤ 95p | Lluvioso | 11.4 | < RR/día ≤ | 15.9 |
| 75p < RR/día ≤ 90p | Moderadamente lluvioso | 5.7 | < RR/día ≤ | 11.4 |



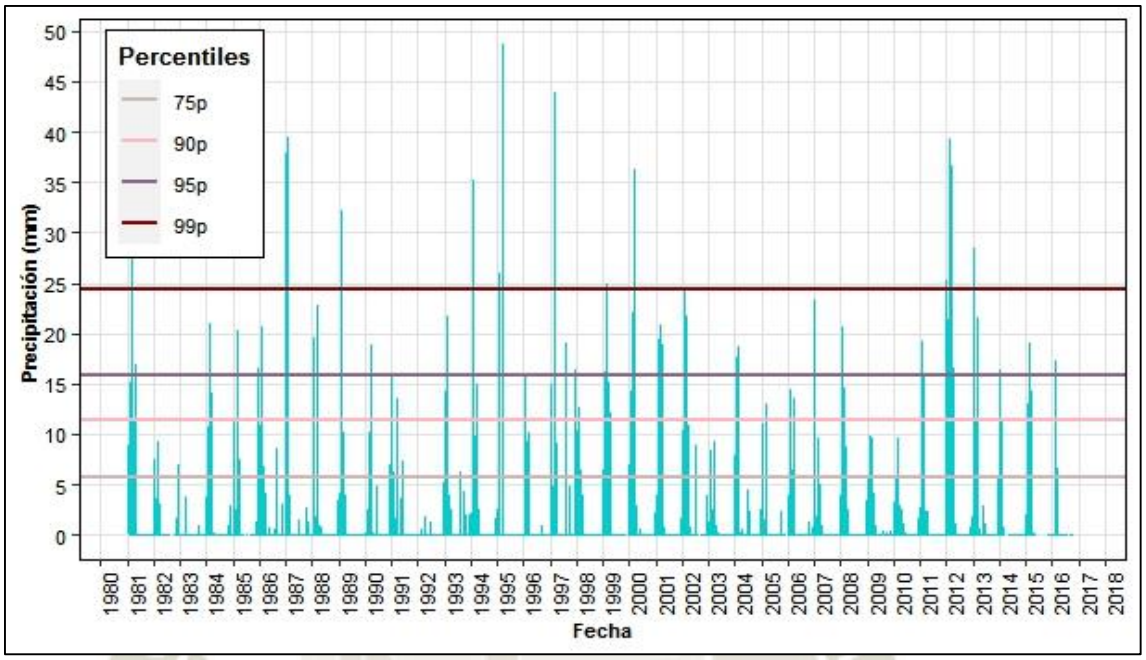
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Figura 35**

*Visualización de percentiles en la serie de tiempo de la estación Chiguata*




## 5.1. Datos Pluviométricos del Producto PISCO Pd V2.0

### *5.1.1. Validación de los datos PISCO precipitación diaria con datos observados*

Para poder realizar la validación de los datos PISCO Pd en la zona de estudio, seleccionamos los valores de las series de tiempo de precipitación diaria de las coordenadas geográficas (latitud y longitud) y el píxel de las estaciones meteorológicas La Pampilla y Chiguata.

Los resultados del análisis comparativo se reflejan en la Tabla 36, para este análisis se tomaron los 13149 datos de precipitación máxima diaria, excluyendo a los NA.

Las Figuras 36 y 37 nos permiten contrastar las series de tiempo de las estaciones meteorológicas y las que son producto de PISCO pd, de esta manera visual podemos entender algunos resultados.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Tabla 36**

*Medidas de comparación para la validación del producto PISCO pd*

| Estaciones | MAE | PBIAS | RMSE | R2 | NSE |
|---|---|---|---|---|---|
| **Estación La Pampilla** | 0.12 | 8.4 | 1.23 | 0.58 | 0.58 |
| **Estación Chiguata** | 0.2 | -5.3 | 0.79 | 0.91 | 0.89 |

*Nota: Resultados obtenidos con el programa Rstudios usando el paquete hydroGOF.*

Para el indicador de error absoluto medio (MAE) y el indicador de raíz medio cuadrático (RMSE) se obtuvieron valores cercanos a 0 en ambas estaciones para ambos indicadores. Estos resultados nos indican que hay un buen ajuste y una buena eficiencia de los datos de PISCO Pd v2.0.

Los resultados del indicador de porcentaje de sesgo (PBIAS) en el caso de ambas estaciones caen dentro del rango de muy bueno, según el criterio de evaluación tomado; ya que las dos tienen resultado menores a ±10. Empero, se debe puntualizar que en caso de la estación La Pampilla, hay una pequeña sobreestimación de los datos pluviométricos, ya que el resultado es positivo: mientras que en la estación Chiguata el resultado negativo nos da entender que existe una subestimación manejable de los datos de precipitación.

En el caso del coeficiente de determinación (R2) y el criterio de eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE), la estación Chiguata es la que presenta un mejor ajuste, ya que cae en ambos indicadores dentro del rango de muy bueno con resultados mayores a 0.75. En el caso de la estación La Pampilla su ajuste para ambos casos cae dentro del rango de satisfactorio, esta baja calificación



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

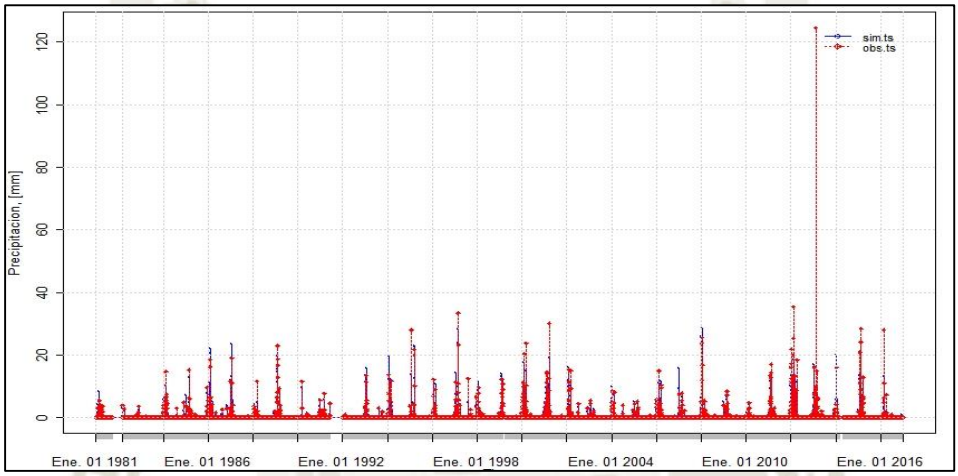
REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

se puede deber al valor suscitado el 08 de Febrero del 2013, donde se registra una precipitación de 124.5 mm, esto se puede observar con mayor detenimiento en la Figura 36.

**Figura 36**

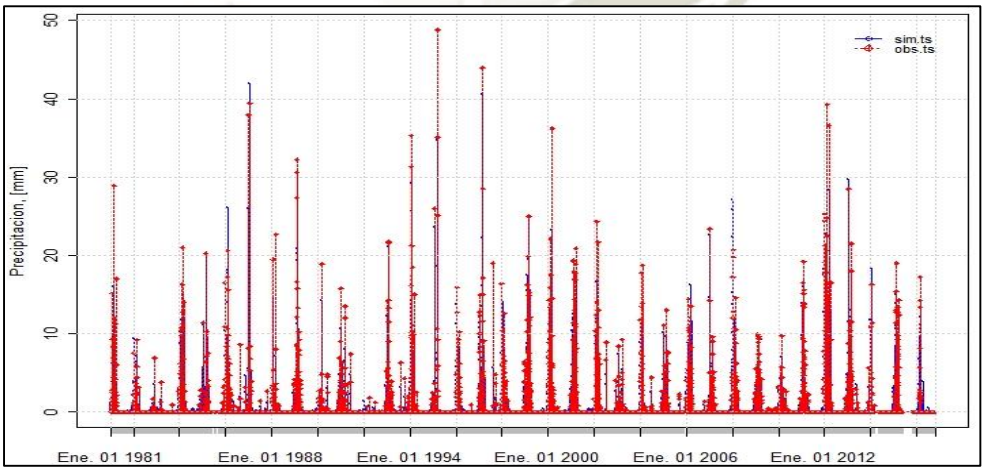
*Comparación de series de tiempo del producto PISCO Pd vs estación La Pampilla*




*Nota: sim.ts respresenta a los datos de PISCO Pd y obs.ts a los datos de la estación La Pampilla*

**Figura 37**

*Comparación de series de tiempo del producto PISCO Pd- estación Chiguata*




*Nota: sim.ts respresenta a los datos de PISCO Pd y obs.ts a los datos de la estación Chiguata*



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

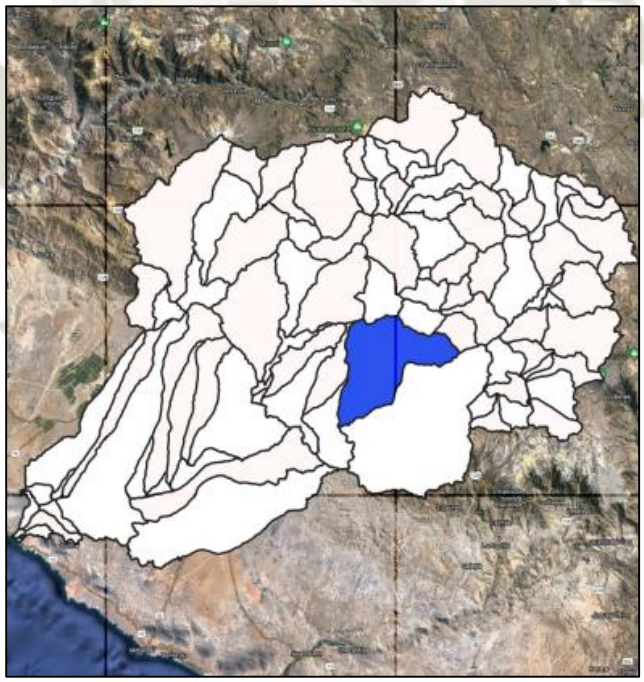
### *5.1.2. Selección de Área para Cálculo de Umbrales*

Para el cálculo de Umbrales con los datos PISCO Pd v2.0 se decidió usar la unidad hidrográfica 13257, donde se encuentra la zona de estudio, esto para poder obtener resultados más exactos y focalizados.

Para esto se halló la precipitación media de la unidad usando el lenguaje de programación R, dando un total de 13149 datos de precipitación diaria, los cuales se someterán al análisis exploratorio de datos y detección y análisis de valores atípicos para finalmente obtener la caracterización de umbrales de precipitación del área.

**Figura 38**

*Unidad Hidrográfica 13257*





Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

### *5.1.3. Análisis Exploratorio de Datos de Precipitación Diaria por Área*

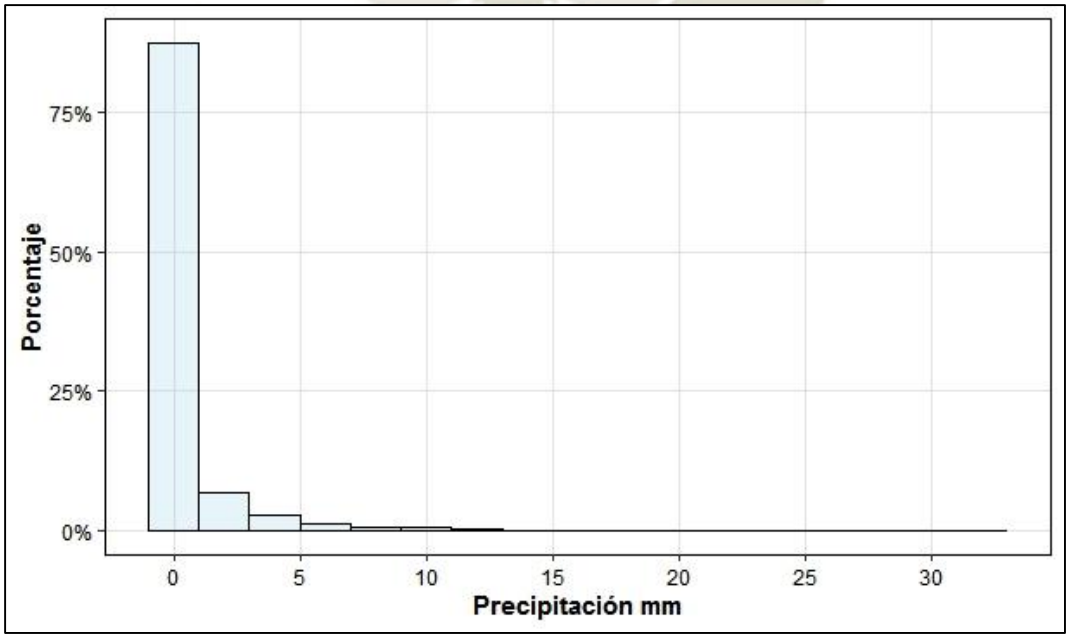
Para el análisis exploratorio de datos solo se consideró los datos de precipitación diaria, mas no la mensual, como en el caso de las estaciones meteorológicas, esto con el objetivo de seguir la metodología propuesta por Endara en su trabajo "Determinación de extremos a precipitación a partir del PISCO diario. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI)".

#### 5.1.3.1. Histograma de Frecuencia de la Precipitación de la Unidad Hidrográfica

En la Figura 39 se presenta el histograma de la unidad hidrográfica. En él podemos observar tres puntos importantes, el primero es que los datos de precipitación diaria varían entre 0 y poco más de 30 mm aproximadamente, los segundo es que más del 75% de los datos pluviométricos se aproximan a 0 y por último que el gráfico presenta una distribución asimétrica sesgada a la derecha, con la probabilidad de tener valores atípicos a la izquierda.

**Figura 39**

*Histograma de frecuencia de precipitación diaria de la Unidad Hidrográfica*






Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

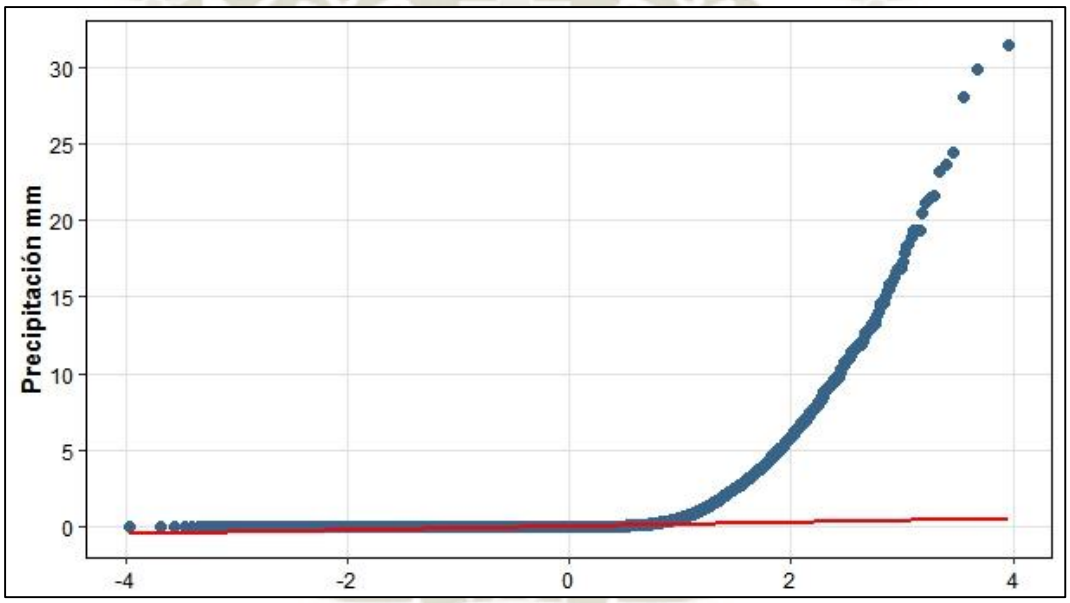
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

### 5.1.3.2.Análisis de la Normalidad de la Precipitación de la Unidad Hidrográfica

La Figura 40 muestra el diagrama Q-Q plot de la unidad hidrográfica, este gráfico nos ayudó a comprobar que los datos de precipitación, representados por los puntos azules, no siguen una distribución normal, ya que demuestran una distribución asimétrica a la izquierda con respecto a la línea roja como supuesto de distribución normal.

**Figura 40**

*Q-Q plot, Unidad Hidrográfica*




### 5.1.3.3.Diagrama De Cajas De Precipitación Por Unidad Hidrográfica

En la Figura 41 se presenta el diagrama de caja de los datos de precipitación diaria de la unidad hidrográfica. Como se vio en las anteriores figuras, la precipitación varía de 0 a 30 aproximadamente, y como se podía anticipar por el porcentaje de datos próximos a 0, la mediana también se aproxima mucho a este valor, sin llegar a serlo, ya que tal como se ve en la Tabla 37, su valor es 0.0122, esto también se visualiza en el diagrama de caja, donde la mediana está representada por una línea negra gruesa que casi se superpone a 0.



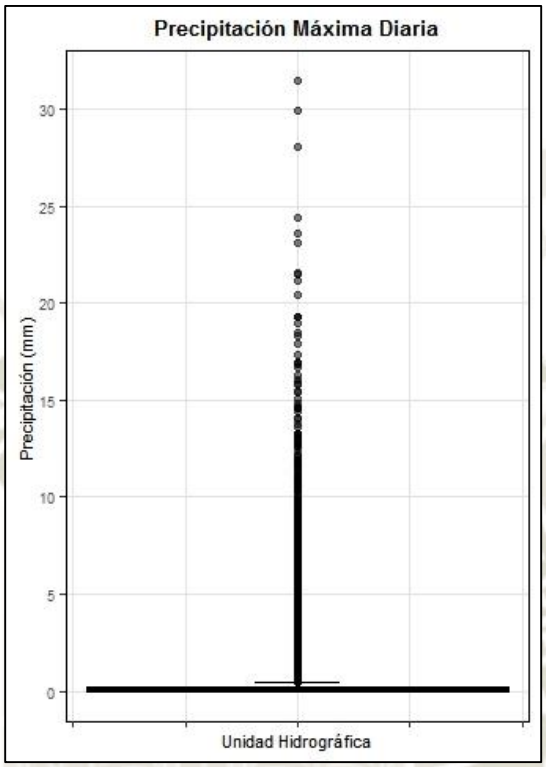
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Figura 41**

*Diagrama de caja de la precipitación diaria de la Unidad Hidrográfica*




Las características estadísticas descriptivas de la unidad se concretan en la Tabla 37 donde, como ya se explicó, la mayor parte de características se aproximan a 0 por el porcentaje de valores próximos al mismo, la única excepción es el valor de precipitación máximo que asciende a 31.4414.

**Tabla 37**

*Características estadísticas descriptivas de la Unidad Hidrográfica*

| Área | Mínimo | Media | Mediana | Rango Intercuantílico | Máximo |
|---|---|---|---|---|---|
| **Unidad Hidrográfica** | 0 | 0.5581 | 0.0122 | 0.1663 | 31.4414 |



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

### *5.1.4. Caracterización de Umbrales de Precipitación Diaria de la Unidad Hidrográfica*

#### 5.1.4.1. Selección de Datos de Precipitación Mensual de la Unidad Hidrográfica.

Para la caracterización de los umbrales de precipitación de la unidad hidrográfica se tomará en cuenta los datos de precipitación máxima mensual mayores a 0.1 mm tal como lo indica Endara S. (2017). La Tabla 38 resume el proceso de selección de datos y nos indica que el número de datos óptimos para el análisis es 297.

**Tabla 38**

*Resumen de selección de datos de precipitación mensual por Unidad Hidrográfica*

| Área | N.º total de datos | N.º de datos faltantes (NA) | Datos descartados (<0.1) | Datos óptimos (>0.1) |
|---|---|---|---|---|
| **Unidad Hidrográfica** | 432 | 0 | 135 | 297 |

En cuanto al método para detectar valores atípicos, se consideró la asimetría visualizada en el análisis de datos exploratorios, por lo cual se calculó el valor del Medcouple que resultó en 0.6, que cae dentro del rango óptimo para utilizar el método del diagrama de caja ajustada (Hubert, y Vandervieren, 2008).

#### 5.1.4.2. Detección y Tratamiento de Valore Atípicos.

Para poder comprender mejor el comportamiento de los datos seleccionados para el cálculo de los umbrales, se decidió calcular el histograma de frecuencias con los valores antes mencionados tal como se muestra en la Figura 42, donde se observa que la mayor parte de datos están en el rango 0 a 5mm.



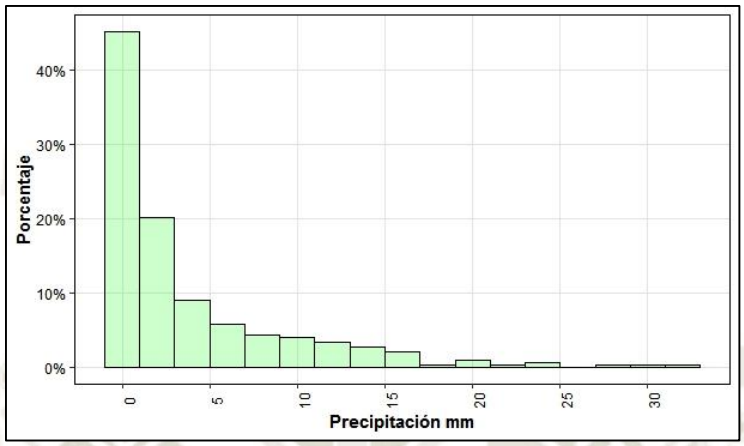
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Figura 42**

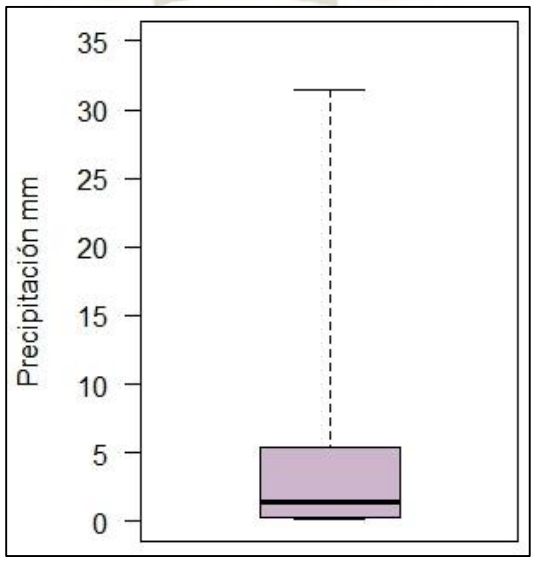
*Histograma de frecuencias de los datos de precipitación máxima de la Unidad Hidrográfica*




El diagrama de caja ajustada de la unidad hidrográfica está representado en la Figura 43, de este gráfico podemos resaltar dos puntos importantes. El primero es que no presenta valores atípicos por lo que solo se analizará las características que presenta el diagrama de caja, y la segunda es la posición de la mediana que se aleja un poco del 0.

**Figura 43**

*Diagrama de caja ajustada de la Unidad Hidrográfica*






Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

En la Tabla 39 tenemos las principales partes que conforman el diagrama de caja ajustada, de esta resaltamos que el bigote inferior y el primer cuartil sean próximos a 0 lo cual se explica por el porcentaje de datos aproximados a este valor, la mediana, como ya se mencionó, se aleja medianamente del 0, y finalmente el tercer cuartil se aproxima a 5 mm, lo cual también se refleja en el histograma.

**Tabla 39**

*Características del diagrama de caja ajustada de la Unidad Hidrográfica*

| | Bigote inferior | Primer cuartil | Mediana | Tercer cuartil | Bigote superior | N° de outliers | N° de outliers eliminados |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Unidad Hidrográfica** | 0.105 | 0.316 | 1.358 | 5.377 | 31.441 | 0 | 0 |

### 5.1.4.3.Generación de Umbrales de Precipitación Utilizando Percentiles

El cálculo de los umbrales de precipitación se realizó con 297 datos mayores a 0.1 mm, los resultados se pueden visualizar en la Tabla 40.

**Tabla 40**

*Caracterización de los umbrales de precipitación de la Unidad Hidrográfica*

| Umbrales de precipitación | Caracterización de lluvias extremas | Umbrales de estación La Pampilla | | |
|---|---|---|---|---|
| RR/día > 99p | Extremadamente lluvioso | RR/ día | > | 24.6 |
| 95p < RR/día ≤ 99p | Muy lluviosos | 15.8 | < RR/día ≤ | 23.7 |
| 90p < RR/día ≤ 95p | Lluvioso | 12 | < RR/día ≤ | 15.8 |
| 75p < RR/día ≤ 90p | Moderadamente lluvioso | 5.38 | < RR/día ≤ | 12 |



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

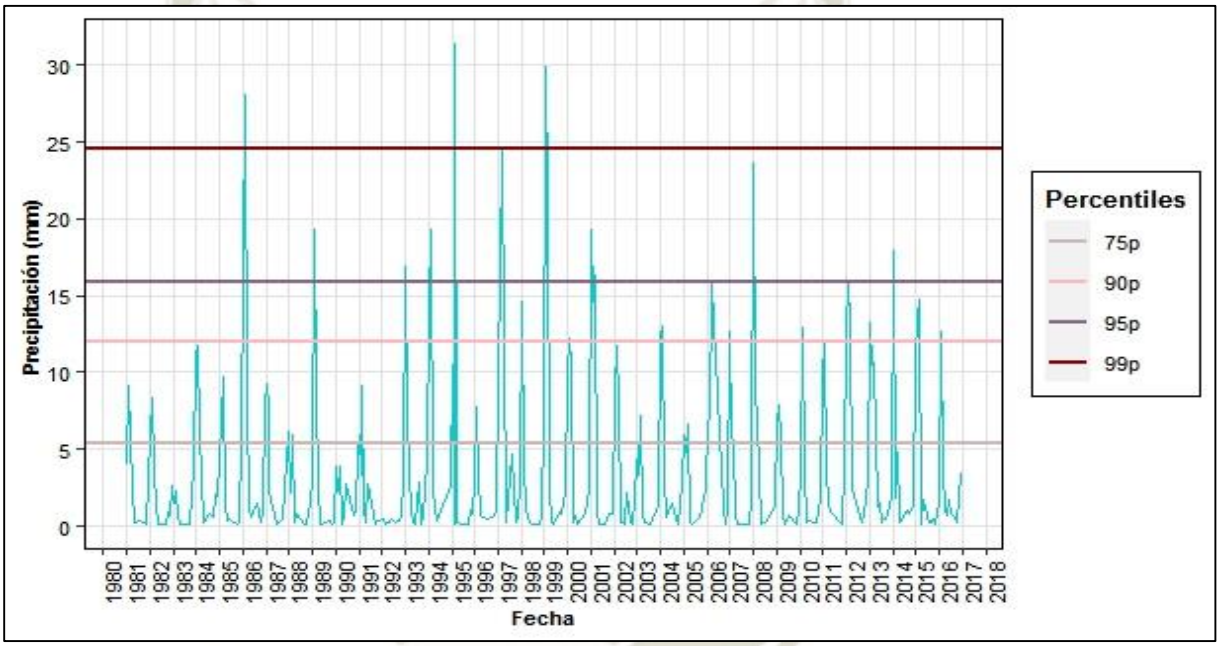
REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

En la Figura 44 se visualiza los rangos que forman los percentiles respecto a la serie de tiempo, esto nos da una idea de la cantidad de eventos extremos que contiene cada clasificación y con qué frecuencia se dan este tipo de eventos extremos.

**Figura 44**

*Visualización de percentiles en la serie de tiempo de la Unidad Hidrográfica*




## 5.2. Comparación de Resultados

El primer resultado que tomaremos para comparar los umbrales son los percentiles, las herramientas de análisis que se usó son la Tabla 41 y la Figura 45 donde se recopilan los resultados de todos los elementos.

Como se puede ver en la tabla mencionada, la unidad hidrográfica y la estación Chiguata presentan mayores similitudes entre ellas que con la estación La Pampilla. Esto se hace evidente cuando miramos la Figura 45, ya que podemos ver que las líneas de ambas estaciones se encuentran



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

prácticamente superpuestas entre ellas, teniendo su mayor diferencia en el percentil 90. Respecto a este punto en la tabla se muestra que solo difieren la una de la otra por decimales.

En el caso de la Pampilla, en contraste con las otras dos estaciones, observamos que la mayor coincidencia se da en el percentil 99, esto se debe a que ninguno de los elementos estudiados presenta algún valor de precipitación que sobrepase lo 37mm. Lo segundo es que las mayores diferencias se dan en los percentiles 90p y 95p, donde la diferencia entre La Pampilla y los otros dos elementos es de aproximadamente 2 mm.

Finalmente, respecto a la comparación de percentiles se puede concluir que el conjunto de datos de precipitación La Pampilla presenta menores valores que el de los otros dos elementos analizados, y que la Unidad Hidrográfica contiene el conjunto de valores más elevados, sin embargo, esto hay que tomarlo con cuidado dado a diferencia de las estaciones, en el caso de unidad hidrográfica solo se consideraron los máximos mensuales, lo que pudo haber incrementado su valor.

**Tabla 41**

*Comparación de percentiles 75p, 90p, 95p y 99p*

| | **75p** | **90p** | **95p** | **99p** |
|---|---|---|---|---|
| **Est. La Pampilla** | 4.4 | 9.32 | 13.9 | 23.7 |
| **Est. Chiguata** | 5.7 | 11.4 | 15.9 | 24.3 |
| **Unidad Hidrográfica** | 5.38 | 12 | 15.8 | 24.6 |



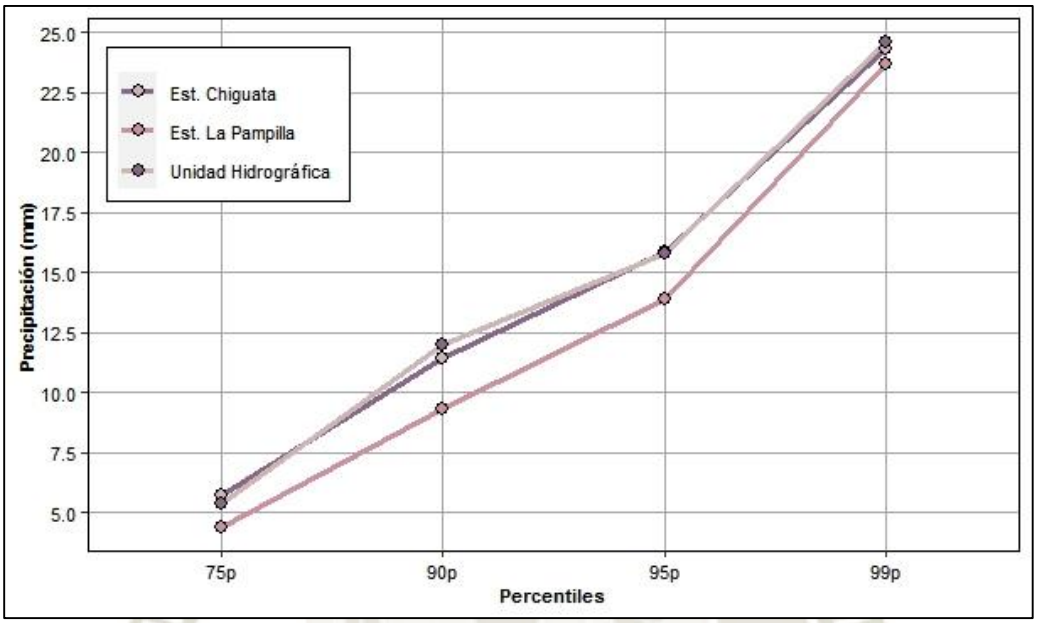
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Figura 45**

*Comparación de percentiles 75p, 90p, 95p y 99p*




El segundo resultado que se analizará es el de número de eventos extremos registrados según los umbrales y el total de los mismos por cada estación y unidad evaluada. Para esto se usó los 13149 datos de precipitación diaria. El análisis se realizó usando la Tabla 42 de resultados y las Figuras 46 y 47.

**Tabla 42**

*N° de eventos extremos según umbrales de precipitación*

| Umbrales | Pampilla | Chiguata | Unidad Hidrográfica |
|---|---|---|---|
| **Extremadamente lluvioso** | 10 | 22 | 3 |
| **Muy lluvioso** | 31 | 53 | 22 |
| **Lluvioso** | 39 | 66 | 30 |
| **Moderadamente lluvioso** | 117 | 199 | 291 |
| **Total** | 197 | 340 | 346 |



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

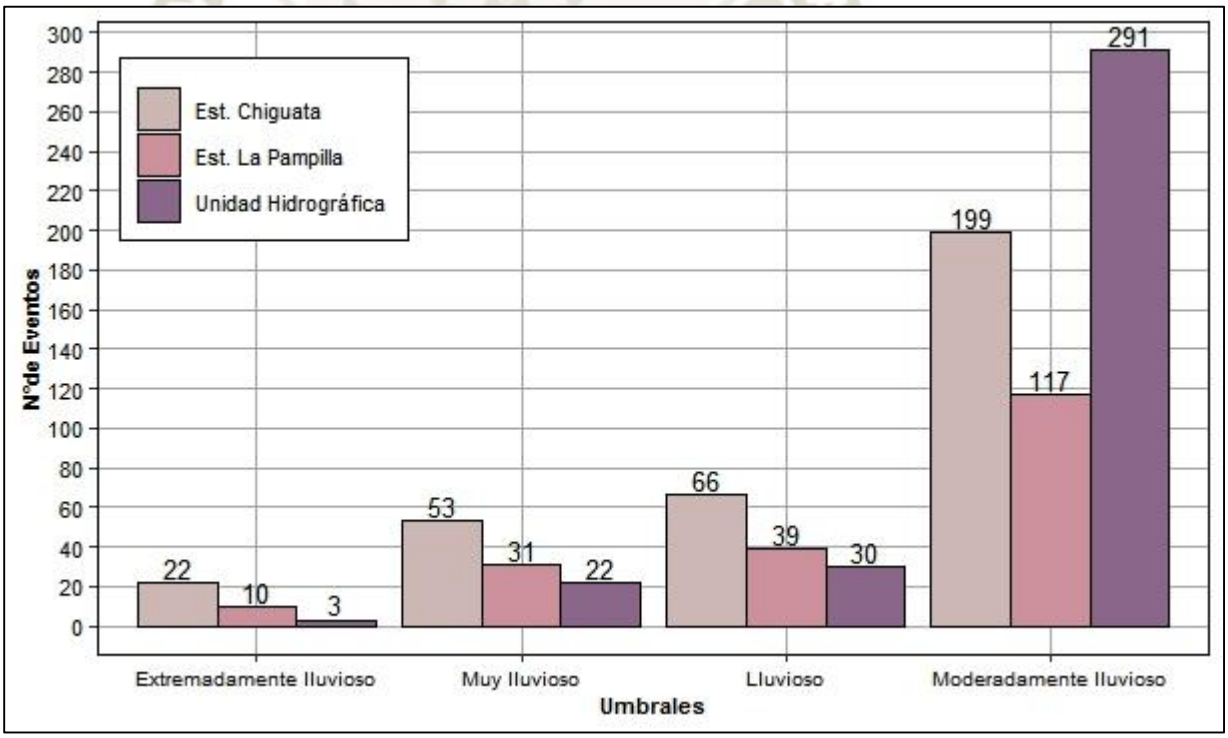
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

En la Figura 46 se plasma la cantidad de eventos que se registran por umbral de precipitación. Como muestra la figura, por cada umbral, la unidad hidrográfica registra menor cantidad de eventos, a excepción del umbral "moderadamente lluvioso" donde el número de eventos que contiene supera significativamente a las estaciones.

En relación a la estación La Pampilla, está se mantiene como segunda en cantidad de eventos registrados en todos los umbrales, mientras que la estación Chiguata supera con mayor margen al resto, con excepción del umbral "moderadamente lluvioso".

**Figura 46**

*N° de eventos de precipitación según umbrales de precipitación*




Finalmente, la Figura 47 observamos que la unidad hidrográfica registra la mayor cantidad de eventos extremos, superando tan solo por 6 a la estación Chiguata, en contraste la estación La Pampilla es la que menor eventos registra, quedando muy por debajo del resto.



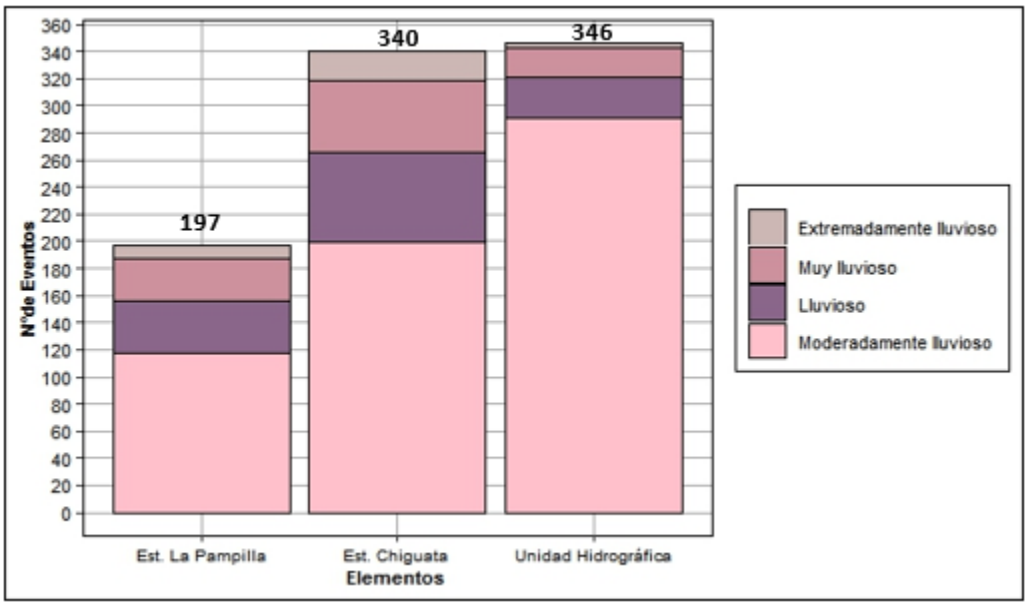
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Figura 47**

*Total de eventos extremos*




En conclusión, los resultados por cantidad de eventos se pueden explicar analizando las características estadísticas descriptivas de las estaciones y la unidad hidrográfica, no es de extrañar que Chiguata lidere la mayor cantidad de umbrales, ya que, como se calculó fue la estación con mayor mediana, mientras que La Pampilla tenía la menor mediana de los tres. Sin embargo, esto no significa que la estación Chiguata sea mejor o en la realidad haya registrado con mayor precisión la información pluviométrica, para poder afirmar esto se debería hacer un análisis exhaustivo a cada evento registrado.

Empero, los umbrales hallados sirven como referente para poder realizar el análisis de valores atípicos de las estaciones y las estaciones virtuales, considerando solo aquellos valores que estén por encima del umbral menor. Esto con la finalidad de obtener una precipitación media que se ajuste a la realidad.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

# CAPÍTULO VI



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

# 6. Estudio Hidrológico

## 6.1.Parámetros Morfométricos

### *6.1.1. Área*

Es la proyección horizontal de toda la superficie de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido de manera directa o indirecta hacia un mismo cauce natural (Lux Cardona, 2016).

El área de las cuencas fue calculada por el software HEC- HMS 4.8, a partir de la delimitación digitalizada de las quebradas, utilizando imágenes satelitales ALOS PALSAR que tienen una resolución con tamaño de celda de 12.5 m x 12.5 m. Tomando como punto de aforo el inicio de la zona urbana, ya que se encontró estudios donde la urbanización de una cuenca modifica su respuesta hidrológica frente a una determinada lluvia.

La urbanización conlleva la alteración de las redes de drenaje natural (construcción de colectores y encauzamientos que aumentan la velocidad del agua hacia aguas abajo de la cuenca) y un incremento de las zonas impermeables en superficie, todo ello con el criterio de drenar lo más eficiente y rápido posible el área urbanizada. Como hemos dicho, esta dinámica afecta a la hidrología de la cuenca y muy especialmente a las zonas situadas aguas abajo .(Valentín, 2007)

Por el tamaño de las cuencas, utilizaremos la clasificación de Campos Aranda (1992).



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

**Tabla 43**

*Clasificación según el área*

| Clasificación De Tamaños De Cuencas | |
|---|---|
| **Rangos de áreas ($km^2$)** | **Clasificación** |
| <25 | Microcuenca |
| 25 a250 | Pequeña |
| 250 a 500 | Intermedia - pequeña |
| 500 a 2500 | Intermedia - grande |
| 2500 a 5000 | Grande |
| >5000 | Muy grande |

*Nota. Tabla adaptada de Campos Aranda, D. (1992). Procesos del Ciclo Hidrológico. San Luis de Potosí: Editorial Universitaria Potosina.*

Este parámetro es obtenido para todas las quebradas se muestra en la Tabla 46, donde se denota con la letra A y su unidad de medida en kilómetros cuadrados ($km^2$).

### *6.1.2. Perímetro*

El perímetro es el borde de la forma de las cuencas proyectadas en un plano horizontal, se obtuvo después de la delimitación digitalizada por el software HEC- HMS 4.8 y corroboradas con el software QGIS 10.3.1, este parámetro obtenido para todas las quebradas se muestra en la Tabla 46, donde se denota con la letra P y su unidad de medida en kilómetros (km).

### *6.1.3. Coeficiente de compacidad*

Es la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo, el cual es equivalente al área de la cuenca. Si el coeficiente tiene un valor mínimo de 1.0, significa que la cuenca es perfectamente circular, cuanto más se acerca a la unidad, tiene mayor tendencia a que



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

se desarrollen inundaciones. El coeficiente de compacidad (Kc), está en función del área (A) y el perímetro (P), se obtiene mediante la ecuación:

$$K_C = 0.282 \times \frac{P}{\sqrt{A}}$$

**Tabla 44**

*Formas de la Cuenca de Acuerdo con el Índice de Compacidad*

| Clase de forma | Índice de compacidad | Forma de cuenca |
|---|---|---|
| Clase I | 1 a 1.25 | Casi redonda a oval - Redonda |
| Clase II | 1.25 a 1.50 | Oval - Redonda a oval oblonga |
| Clase III | 1.51 a más de 2 | Oval - Oblonga a rectangular - Rectangular |

*Nota. Tabla adaptada de Campos, D. F. (1992). Proceso del Ciclo Hidrológico (Vol. II). San Luis de Potosí, S.L.P., México.*

Este parámetro obtenido para todas las microcuencas se muestra en la Tabla 46, donde se denota con la letra $K_C$.

### *6.1.4. Factor de forma*

Es la relación entre el ancho medio y la longitud axial de la cuenca (Monsalve Sáenz, 2000), está en función del área (A) y la longitud máxima de la cuenca (Lm) se obtiene por la ecuación:

$$K_f = \frac{A}{Lm^2}$$

En la Tabla 45, identificamos la forma de la cuenca según el valor del factor de forma.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

**Tabla 45**

*Forma de la cuenca hidrográfica según su factor de forma*

| Kf | Forma de la Cuenca |
|---|---|
| 0.01 – 0.18 | Muy poco achatada |
| 0.18 – 0.36 | Ligeramente achatada |
| 0.36 – 0.54 | Moderadamente achatada |

*Nota. Tabla adaptada de Sánchez, V. A. (1987). Conceptos elementales de hidrología forestal. Agua, cuenca y vegetación. México*

Este parámetro obtenido para todas las microcuencas se muestra en la Tabla 46, donde se denota con la letra $K_f$.

**Tabla 46**

*Parámetros Morfométricos de las Quebradas*

| | Parámetros Morfométricos | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Microcuenca** | **Área (A)** | **Perímetro (P)** | **Coeficiente de compacidad (Kc)** | **Factor de forma (Kf)** |
| Del Pato | 13.71 | 22.27 | 1.70 | 0.16 |
| San Lázaro | 17.12 | 28.02 | 1.91 | 0.12 |
| Venezuela A | 6.51 | 22.85 | 2.53 | 0.07 |
| Venezuela B | 3.59 | 17.4 | 2.59 | 0.08 |
| Los Incas A | 9.86 | 20.56 | 1.85 | 0.13 |
| Los Incas B | 4.03 | 17.07 | 2.4 | 0.07 |
| Los Incas C | 17.78 | 34.00 | 2.27 | 0.09 |



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

## 6.2. Parámetros Geomorfológicos

### *6.2.1. Pendiente de la cuenca*

Se calculó con la delimitación digitalizada por el software HEC- HMS 4.8 y fue corroborada con la herramienta SLOPE del software QGIS 10.3.1. Este parámetro es importante, ya que tiene relación con la infiltración, la escorrentía superficial, la humedad del suelo y la contribución del agua a la escorrentía.

Este parámetro obtenido para todas las microcuencas se muestra en la Tabla 47, donde se denota con la letra $S_c$.

### *6.2.2. Curva Hipsométrica*

Es la relación entre la altitud y la superficie de la cuenca que queda sobre esa altitud.

Con la obtención de los anteriores parámetros y la ayuda del software QGIS 10.3.1 usando las herramientas *r.reclass* y *statics layer* se genera una tabla que contiene las cotas que corresponden a cada área, la cual se exporta como archivo csv (Comma Separated Values) para luego procesar esta información con lenguaje de programación R. El código fuente para construir la curva hipsométrica de cada microcuenca se encuentran en el Anexo 11.7. La Figura 48 nos muestra la curva hipsométrica de la microcuenca Del Pato, mientras que para las demás microcuencas se encuentran en el Anexo 1.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

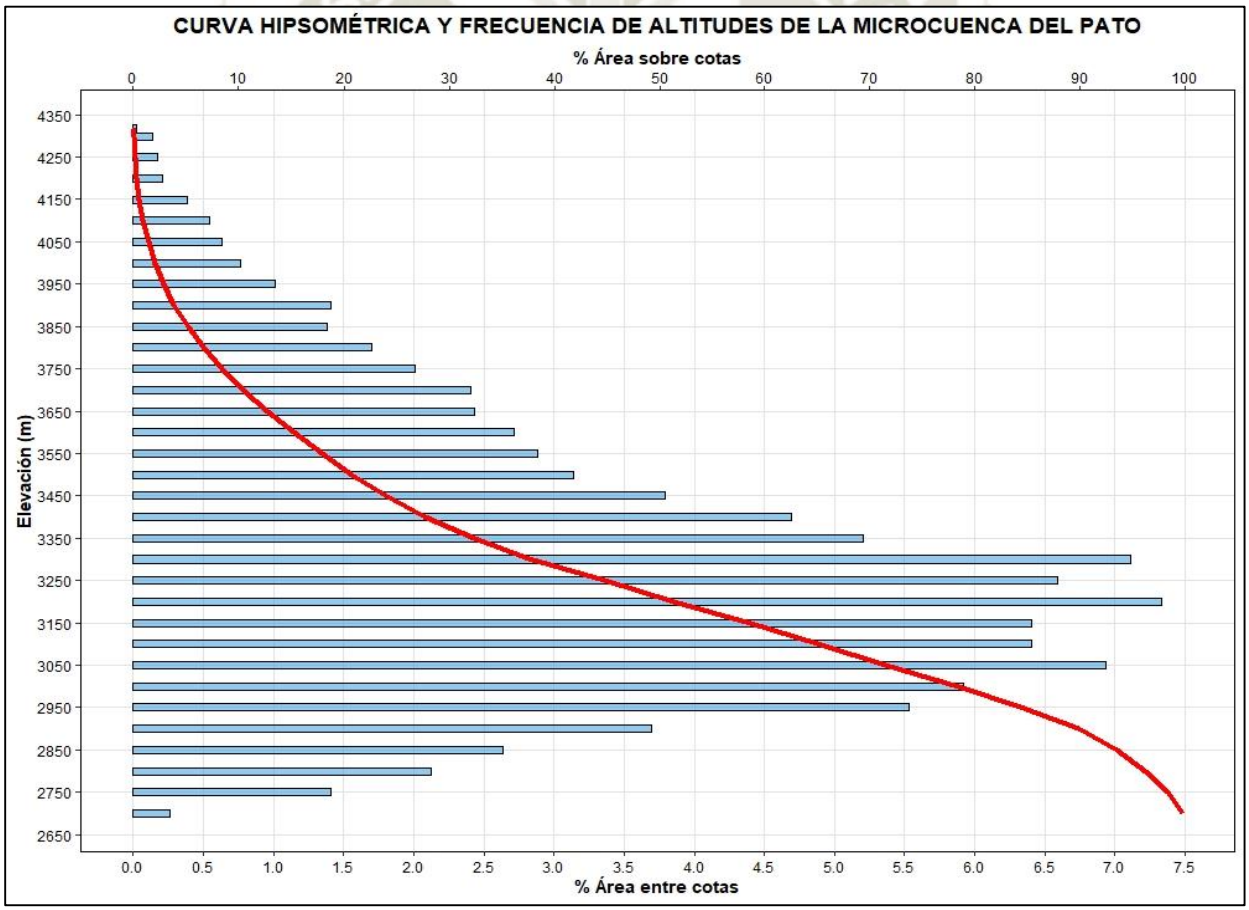
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

### *6.2.3. Polígono De Frecuencia De Altitudes*

El polígono representa la distribución en porcentaje de las superficies ocupadas, para diferentes altitudes. Para su construcción se usó la información obtenida para la curva hipsométrica, y al igual que esta, el código fuente se encuentran en el Anexo 11.7. La Figura 48 nos muestra el polígono de frecuencia de altitudes de la quebrada Del Pato, mientras que para las demás microcuencas se encuentran en el Anexo 1.

**Figura 48**

*Curva hipsométrica y polígono de frecuencias de la microcuenca Del Pato*






Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

### *6.2.4. Altitudes Representativas*

De la curva hipsométrica y el polígono de frecuencia de altitudes, podemos obtener los siguientes parámetros:

A. Altitud media $(H_m)$. – Es la ordenada que tiene 50% por encima y debajo del área total de la cuenca.
B. Altitud más frecuente $(H_f)$. – Es el máximo valor en porcentaje del polígono de frecuencia de altitudes.
C. Altitud de frecuencia media $(H_{fm})$. – Es la media en los porcentajes de áreas.

Los valores de las alturas representativas para cada quebrada se muestran en la siguiente Tabla 47.

### *6.2.5. Pendiente Del Cauce Principal*

Parámetro obtenido por el software HEC – HMS 4.8, el cual utiliza el método de la ecuación de Taylor y Schwarz. Este parámetro fue corroborado con el software QGIS 10.3.1 que de igual manera se analizó mediante el mismo método.

La Tabla 47 presenta los valores obtenidos de los parámetros geomorfológicos para cada quebrada.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

**Tabla 47**

*Parámetros geomorfológicos de las Quebradas*

| Parámetros Geomorfológicos | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **MICROCUENCA** | **Pendiente media de la cuenca (Sc)** | **Altitud media (Hm)** | **Altitud de frecuencia media (Hfm)** | **Altitud más frecuente (Hf)** | **Pendiente del cauce principal (Sp)** |
| Del Pato | 24.58% | 3213 | 3257.24 | 7.4% 3150-3200 | 9.64% |
| San Lázaro | 41.74% | 3575 | 3651.17 | 3.75% 2850-2900 | 12.38% |
| Venezuela A | 18.81% | 2865 | 2889.43 | 8.1 % 3000-3050 | 5.82% |
| Venezuela B | 17.64% | 2780 | 2771.99 | 13.2% 2700-2750 | |
| Los Incas A | 18.58% | 2940 | 2981.11 | 12.2 % 2850-2900 | 8.10% |
| Los Incas B | 16.63% | 2950 | 2961.7 | 11.4% 2900-2950 | |
| Los Incas C | 29.79% | 3280 | 3498.55 | 7.4% 2900-2950 | |



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

## 6.3. Parámetros De La Red De Drenaje

### *6.3.1. Orden De Corrientes*

Es una clasificación que proporciona el grado de bifurcación dentro de la cuenca. Se consideran corrientes de orden uno aquellas que no tienen ningún tributario; de orden dos aquellas que tienen tributarios de orden uno; de orden tres las que tienen tributarios de orden tres y así sucesivamente va aumentando el orden según el orden de los tributarios que forman la corriente(Martínez-Ramírez, 2018).

El orden de las corrientes para las microcuencas Del Pato, San Lázaro, Venezuela A y B, Los Incas A y B es de 2. y para la microcuenca Los Incas C es de orden 3. Esta clasificación se muestra en las Láminas 13, 14, 15, 16, 17 y18.

### *6.3.2. Régimen De Las Corrientes*

Estas se clasifican en:

- Perennes: Son corrientes con agua todo el tiempo, manteniendo una alimentación continua del nivel de agua subterráneo y no descendiendo nunca debajo del lecho del cauce (Monsalve, 2004).
- Intermitentes: Corrientes que escurren en estación de lluvia y se secan durante el verano(Monsalve, 2004).
- Efímeros: Existen apenas durante o inmediatamente después de los periodos de precipitación, y solo transportan escurrimiento superficial (Monsalve, 2004).

En nuestra investigación, el régimen de las corrientes para cada quebrada es efímera, ya que solo llevan agua cuando llueve e inmediatamente después.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

### *6.3.3. Longitud De Tributarios*

La medición de las corrientes se realiza dividiendo la corriente en una serie de segmentos lineales, trazados lo más próximo posible a las trayectorias de los cauces de las corrientes (Villón, 2002).

Por el proceso de delimitación digitalizada con el HEC-HMS 4.8. se definieron y segmentan las corrientes, para luego procesar las líneas de drenaje y así calcular su longitud con el QGIS 10.3.1. usando la herramienta *calculadora de campos*.

La Tabla 48 presenta los valores obtenidos de los parámetros de la red de drenaje para cada quebrada.

### *6.3.4. Longitud De Cauce Principal*

Este parámetro se obtuvo después de la delimitación digitalizada por el software HEC-HMS 4.8 y corroboradas con el software QGIS 10.3.1, se puede visualizar para todas las quebradas en la Tabla 48, y su unidad de medida en kilómetros (km).



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

**Tabla 48**

*Parámetros de la red de drenaje de las quebradas*

| Parámetros de la Red de Drenaje | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Microcuenca** | **Orden de corrientes** | **Régimen de corrientes** | **Longitud de tributarios (km)** | **Longitud de cauce principal (km)** |
| Del Pato | 2 | Efímera | 15.55 | 8.75 |
| San Lázaro | 2 | Efímera | 17.45 | 10.40 |
| Venezuela A | 2 | Efímera | 7.95 | 6.67 |
| Venezuela B | 1 | Efímera | 4.27 | 4.27 |
| Los Incas A | 2 | Efímera | 10.67 | 6.98 |
| Los Incas B | 1 | Efímera | 5.09 | 5.08 |
| Los Incas C | 3 | Efímera | 20.40 | 14.03 |

## 6.4. Análisis De Registro Pluviométrico De La Red De Estaciones

### *6.4.1. Estaciones Pluviométricos*

La información pluviométrica utilizada en la presente investigación fue obtenida de estaciones cercanas a la zona de estudio, pertenecientes al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), tal como se especifican en el aparatado 3.3.1.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

**Tabla 49**

*Estaciones meteorológicas cercanas*

| Estación | Latitud | Longitud | Altitud (msnm) | Periodo de registro |
|---|---|---|---|---|
| **Pampilla** | 16° 24’ 12.2’’ | 71° 31’ 0.6’’ | 2326 | 1961-2021 |
| **Chiguata** | 16° 24’ 1’’ | 71° 24’ 1’’ | 2902 | 1977-2021 |

### *6.4.2. Registro De Precipitación De Las Estaciones*

La data pluviométrica utilizada corresponde a la precipitación máxima de 24 horas diaria. Para la determinación de valores atípicos se utilizó la información que excedía el umbral de precipitación mínimo para cada estación, con la finalidad de analizar solo aquellos registros que se consideraran como eventos extremos.

Finalmente, una vez detectados los outlier que afectaban el análisis, estos se eliminaron de la data central de precipitación, para proceder a hallar el máximo valor anual, esto significa que se tomó el valor máximo de los meses y para un mes en particular, se tomó el máximo valor de precipitación de entre todos los días de este mes. Los registros de precipitación de las estaciones se pueden observar en el Anexo 2.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

### *6.4.3. Análisis Y Tratamiento De La Información*

#### 6.4.3.1. Análisis Exploratorio De Datos.

En este estudio se realizó el análisis exploratorio para los datos atípicos (outliers) mediante la técnica visual de diagrama de caja ajustado, el cual fue usado ya que, ambas estaciones presentan una data asimétrica sesgada a la derecha, y el Medcouple hallado entra dentro del rango de uso.

**Tabla 50**

*Medcouple de las estaciones meteorológicas para eventos extremos*

| Estaciones Meteorológicas | N° de Eventos Extremos | Medcouple |
|---|---|---|
| **La Pampilla** | 197 | 0.4385965 |
| **Chiguata** | 346 | 0.325 |

##### *6.4.3.1.1. Diagrama de caja.*

Se realizó el análisis exploratorio de datos atípicos para las dos estaciones, se visualiza como diagrama de cajas en la Figura 49 que fue elaborado en el lenguaje de programación R, donde se observa un outlier en la estación “La Pampilla”, el cual tiene un valor de 124.5 mm que corresponde al mes de febrero del año 2013 y otro en la estación Chiguata, cuyo valor asciende a 48.8 mm y que corresponde al 15 de Marzo de 1995.



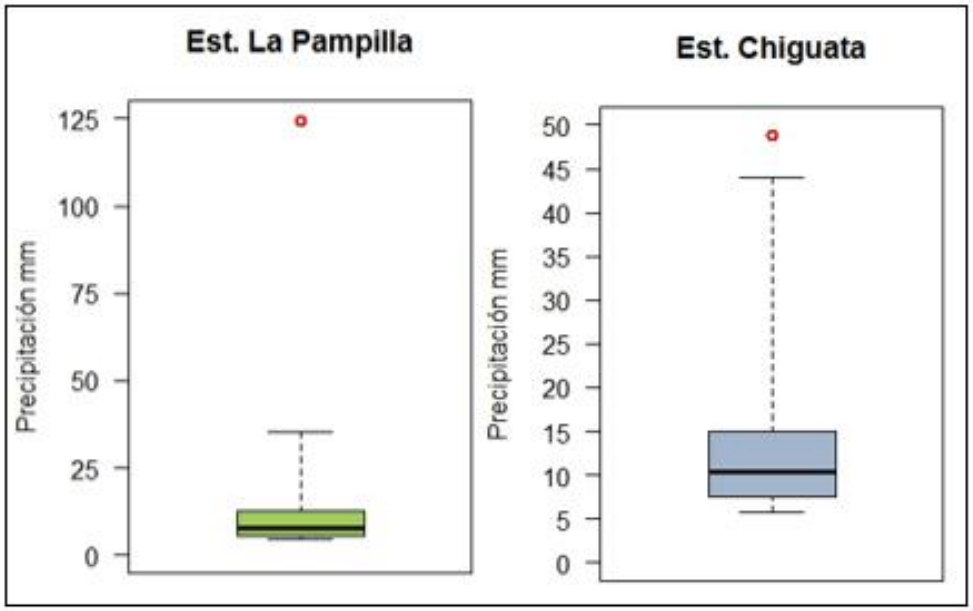
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Figura 49**

*Diagrama de caja ajusta de las estaciones meteorológicas para eventos extremos*




En ambos casos, al momento de contrastar los valores atípicos con la realidad, observamos que los eventos efectivamente sucedieron, tal como nos lo indica nuestra data histórica, sin embargo, en el caso de La Pampilla, tal como ya se analizó en el apartado de "Umbrales de Precipitación", es razonable excluir este valor del análisis debido a su impacto en los cálculos, a diferencia del caso de Chiguata, donde, el impacto es mínimo por lo que sería un error descartar el valor, que efectivamente existe.

Se realizó nuevamente el análisis exploratorio actualizando la data, como se muestra en la Figura 50.



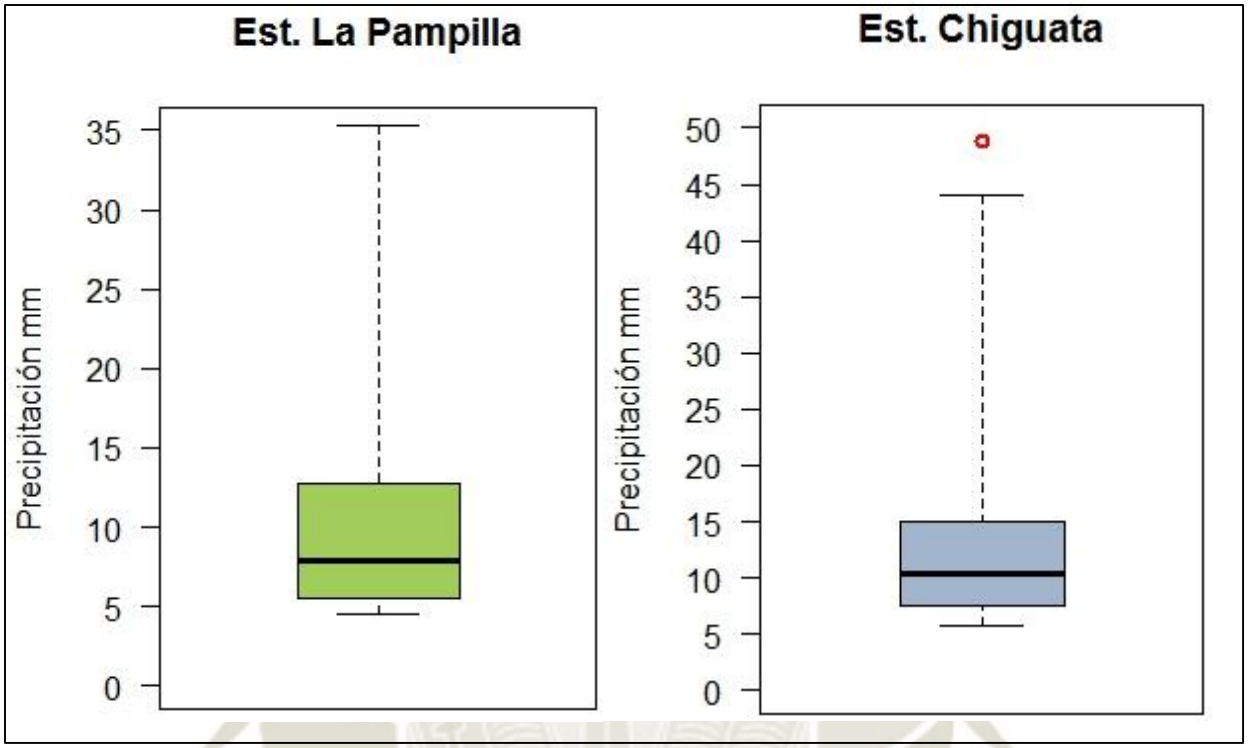
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Figura 50**

*Diagrama de caja de ajustada de estaciones meteorológicas para eventos extremos corregida*




### 6.4.3.2. Ajuste De Distribución Y Prueba De Bondad De Ajuste.

Se ajustaron las precipitaciones máximas de 24 horas anual corregida de cada estación a las principales distribuciones de probabilidad de valores extremos (GEV, Gumbel, Frechet y Weibull) descritas en el apartado 2.4. A fin de determinar la distribución de probabilidad que mejor se ajusta, se optó por escoger el menor valor de delta de la prueba de Kolmogorov - Smirnov descrito en el apartado 2.6.

Para este proceso estadístico se usó el programa HYDROGNOMON 4. Los resultados para cada estación se encuentran en el Anexo 3. Mientras que en la Tabla 51 se presenta la distribución probabilística que mejor se ajusta.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

**Tabla 51**

*Mejor ajuste de distribución para la precipitación máxima de 24 hr.*

| Estación | Distribución | Tipo de Ajuste | Valor de Delta |
|---|---|---|---|
| La Pampilla | GEV - Max | Momentos lineales | 0.06114 |
| Chiguata | Gumbel | Momentos lineales | 0.0612 |

### 6.4.3.3. Precipitación Máxima de Diseño.

Según el "Estudio de la Demanda de Control de Inundaciones y Diagnóstico de Daños y Necesidad de Reconstrucción por Huaicos e Inundaciones – Cooperación de JICA 1 para la GRD2 en el Perú, 2017" establece una escala de probabilidad de precipitación de diseño y caudal máximo estimado de flujo para el análisis de la gestión de medidas para el control inundaciones, estableciendo tiempos de recurrencia de 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 200 años.

La precipitación máxima de 24 horas, para los periodos de retorno antes mencionados se calcularon con el software HYDROGNOMON 4, usando la distribución con mejor ajuste para cada estación.

Por recomendación de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) se usa un coeficiente de corrección de 1.04 para datos de precipitación que se observan dos veces al día, uno las 7:00 am y el otro a las 7:00 pm siendo este último el resultado final para ese día, así nos indica el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).

En la Tabla 52, se muestran los valores de precipitación corregida para los diferentes periodos de retorno.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

**Tabla 52**

*Precipitación máxima (mm) de diseño corregida por estación*

| Periodo de retorno | Estación La Pampilla | Estación Chiguata |
|---|---|---|
| 2 | 14.61 | 21.19 |
| 5 | 23.85 | 32.40 |
| 10 | 30.09 | 39.82 |
| 25 | 38.11 | 49.20 |
| 50 | 44.16 | 56.16 |
| 100 | 50.26 | 63.06 |
| 200 | 56.42 | 69.94 |

### *6.4.4. Precipitación Media Areal*

Para obtener la precipitación media de cada quebrada, se usó el método del Polígono de Thiessen descrito en el apartado 2.8. Se delimitó la zona de influencia de cada estación, para luego calcular el área de influencia, y así calcular la precipitación media como el promedio pesado de las precipitaciones de cada estación, usando como peso el área de influencia correspondiente a cada estación. Los resultados se muestran a continuación en la Tabla 53.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

**Tabla 53**

*Precipitación media (mm) por microcuenca.*

| MICROCUENCA | Periodo de retorno (años) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2 | 5 | 10 | 25 | 50 | 100 | 200 |
| DEL PATO | 18.99 | 29.54 | 36.57 | 45.49 | 52.14 | 58.78 | 65.42 |
| SAN LÁZARO | 20.03 | 30.89 | 38.10 | 47.24 | 54.04 | 60.80 | 67.55 |
| VENEZUELA A | 17.37 | 27.44 | 34.17 | 42.76 | 49.2 | 55.63 | 62.1 |
| VENEZUELA B | 16.00 | 25.65 | 32.14 | 40.45 | 46.69 | 52.96 | 59.27 |
| LOS INCAS A | 20.21 | 31.12 | 38.37 | 47.54 | 54.36 | 61.15 | 67.92 |
| LOS INCAS B | 21.06 | 32.23 | 39.63 | 48.98 | 55.92 | 62.81 | 69.68 |
| LOS INCAS C | 21.17 | 32.38 | 39.80 | 49.17 | 56.12 | 63.03 | 69.91 |

### *6.4.5. Curvas Intensidad - Duración - Periodo De Retorno (I-D-T)*

Las curvas IDT se elaboraron distribuyendo el valor de precipitación media de cada periodo de retorno, para esto se utilizó la fórmula de Dick Peschke descrito en el apartado 2.9.

Usualmente la lluvia se distribuye asumiendo que duró 24 horas, pero según (Cruz Cuentas, 2009) puede llover mucho pero no necesariamente ser un desastre por inundación si la lluvia es moderada y constante, por eso es importante conocer la manera en que se presenta la precipitación; para esto Cruz realiza la evaluación de la relación intensidad-duración-frecuencia (I-D-F), del evento presentado el 25 de febrero de 1997. Se tiene el resumen pluviográfico de la Estación La Pampilla donde se aprecia que la precipitación se presentó en forma de tormenta corta, solo tres horas, entre las 16:27 y las 19:46 horas; además, la mayor intensidad ocurrió a las 18:18 cuando llegó a los 29,00 mm/h. Esto fue lo que generó la inundación.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

En base a lo descrito y a más eventos de inundación recopilados, para nuestra investigación se decidió distribuir la lluvia en 3 horas equivalente a 180 minutos.

Las precipitaciones obtenidas fueron convertidas en intensidades, luego se ajustó la relación entre la intensidad, la duración y el periodo de retorno, mediante la fórmula:

$$I_{max} = KT^m D^n$$

Donde:

$I_{max} = \ intensidad\ máxima\ en\ mm/hr$

$K, m, n \ = parámetros\ característicos\ de\ la\ zona\ de\ estudio$

$T = periodo\ de\ retorno\ en\ años$

$D \ = \ duración\ de\ la\ precipitación\ en\ minutos$

Para obtener los parámetros K, m y n se realizó un análisis de correlación múltiple, este procedimiento se efectuó con lenguaje de programación R, el código fuente se encuentra en el apéndice del Anexo 11.9, a continuación, se observa las curvas IDT para la microcuenca Del Pato, y para las microcuencas se encuentran en el anexo 4.



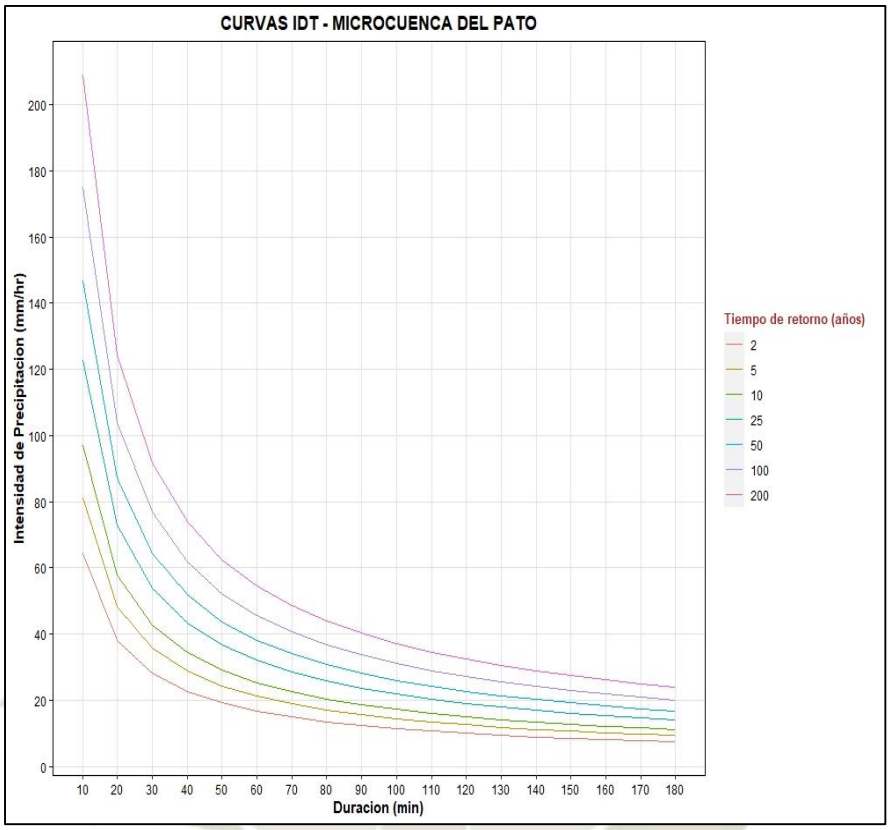
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Figura 51**

*Curvas IDT para la microcuenca Del Pato*




### *6.4.6. Hietograma de Diseño*

#### 6.4.6.1. Método del Bloque Alterno

El hietograma de diseño producido por este método especifica la profundidad de precipitación en n intervalos de tiempo sucesivos de duración Δt, sobre una duración total de $Td = n * \Delta t$. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2008)

Para nuestra investigación se tomó intervalos de tiempo de 10 minutos de una duración total de lluvia de 180 minutos (3 horas). Este procedimiento fue elaborado con lenguaje de programación R, el código fuente se encuentra en el Anexo 11,10. ; y a continuación se visualiza



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

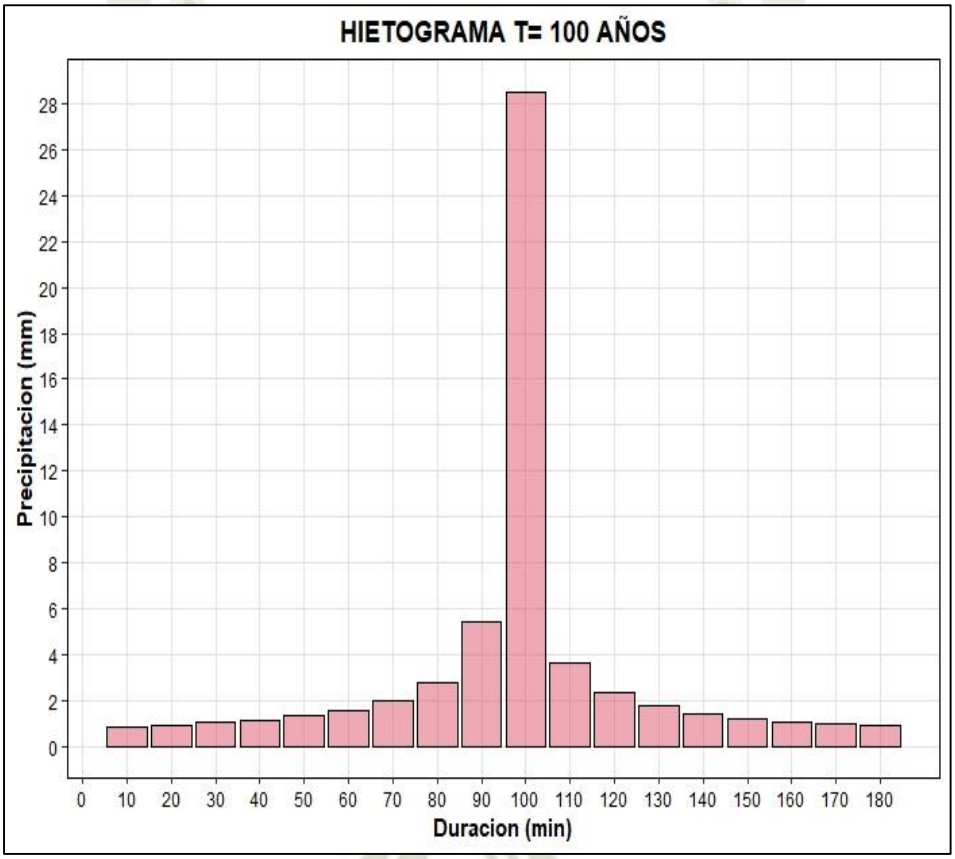
REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

los hietogramas de diseño para la quebrada Del Pato, mientras que para las demás quebradas se encuentran en el Anexo 5.

**Figura 52**

*Hietograma para un periodo de retorno de 100 años de la quebrada Del Pato.*






Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

**Tabla 54**

*Cálculo del hietograma por bloques alternos Dick Peschke 3 horas para 100 años, Quebrada Del Pato.*

| Duración | Intensidad | Precip. Acum. | Precip. Increm. | Bloque ordenado |
|---|---|---|---|---|
| 10 | 171.22 | 28.54 | 28.54 | 0.83 |
| 20 | 101.81 | 33.94 | 5.40 | 0.92 |
| 30 | 75.11 | 37.56 | 3.62 | 1.01 |
| 40 | 60.54 | 40.36 | 2.80 | 1.14 |
| 50 | 51.21 | 42.67 | 2.32 | 1.32 |
| 60 | 44.66 | 44.66 | 1.99 | 1.58 |
| 70 | 39.79 | 46.42 | 1.76 | 1.99 |
| 80 | 36.00 | 47.99 | 1.58 | 2.80 |
| 90 | 32.95 | 49.43 | 1.44 | 5.40 |
| 100 | 30.45 | 50.75 | 1.32 | 28.54 |
| 110 | 28.35 | 51.97 | 1.22 | 3.62 |
| 120 | 26.56 | 53.11 | 1.14 | 2.32 |
| 130 | 25.01 | 54.19 | 1.07 | 1.76 |
| 140 | 23.66 | 55.20 | 1.01 | 1.44 |
| 150 | 22.46 | 56.16 | 0.96 | 1.22 |
| 160 | 21.40 | 57.08 | 0.92 | 1.07 |
| 170 | 20.45 | 57.95 | 0.87 | 0.96 |
| 180 | 19.59 | 58.78 | 0.83 | 0.87 |



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

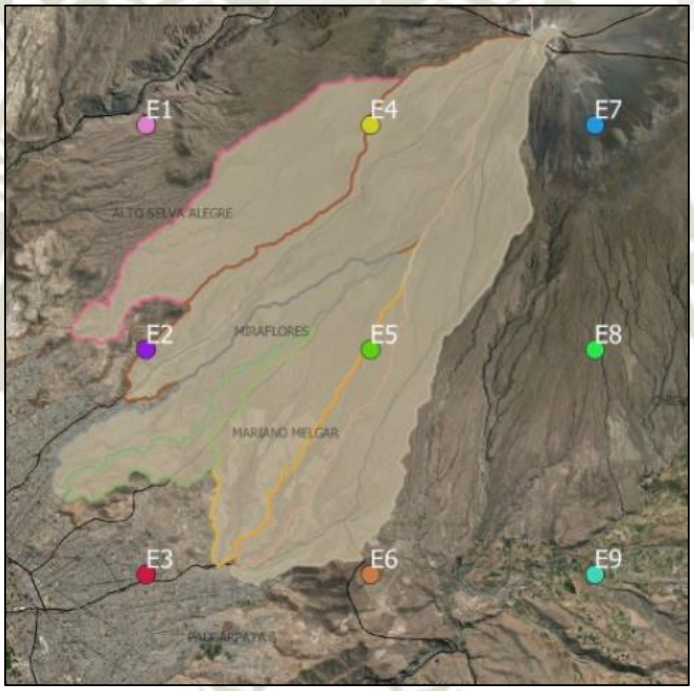
## 6.5. Análisis De Registro Pluviométrico Del Producto Pisco Pd

### *6.5.1. Estaciones Virtuales*

Para poder trabajar con los datos proporcionados por el producto PISCO Pd v2.0 se decidió crear una red de estaciones virtuales sobre el área de estudio. La distancia entre cada estación es de 5 km, esto podemos apreciar en la Figura 53 y en la lámina 20.

**Figura 53**

*Ubicación de las estaciones virtuales PISCO Pd con respecto al área de estudio*




### *6.5.2. Registro De Precipitación Del Producto Pisco Pd*

Para la extracción de registro de precipitación de la base de datos grillada Pisco Pd, se utilizó lenguaje de programación R, tomando como base el código en Rstudio realizado por los investigadores “Huerta, A y Lavado W.” ya que solo se usó para la extracción de datos por coordenadas geométricas de puntos, este código se encuentra en el Anexo 11.2 y el registro de



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

precipitación máxima de 24 hrs anual para cada estación virtual, resultado del análisis de datos atípicos, se encuentra en el Anexo 6.

### *6.5.3. Análisis Y Tratamiento De La Información*

#### 6.5.3.1. Análisis Exploratorio De Datos

Para el análisis exploratorio de datos se empleó los datos de precipitación diaria que sobrepasaran el umbral 5.38, el cual, fue resultado del análisis de la Unidad Hidrográfica. Esta condición fue aplicada para cada estación virtual, con la finalidad de determinar los valores atípicos en base a los eventos extremos registrados por las mimas.

El método empleado fue el método de la caja ajustada, ya que la distribución de los datos para cada estación era asimétrica sesgada a la derecha y la medcouple estaba dentro del rango, tal como se muestra en la Tabla 55.

**Tabla 55**

**Medcouple de las estaciones virtuales de PISCO Pd v2.0**

| | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 | E7 | E8 | E9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Medcouple** | 0.359 | 0.444 | 0.281 | 0.391 | 0.324 | 0.378 | 0.400 | 0.382 | 0.335 |
| **N° de eventos extremos** | 194 | 203 | 193 | 536 | 343 | 316 | 487 | 439 | 353 |

##### *6.5.3.1.1. Diagrama De Caja.*

Se realizó los diagramas de caja ajusta para cada estación, tal como visualizamos en la Figura 54. Los diagramas por estación se encuentran de manera más detallada en el Anexo 7.



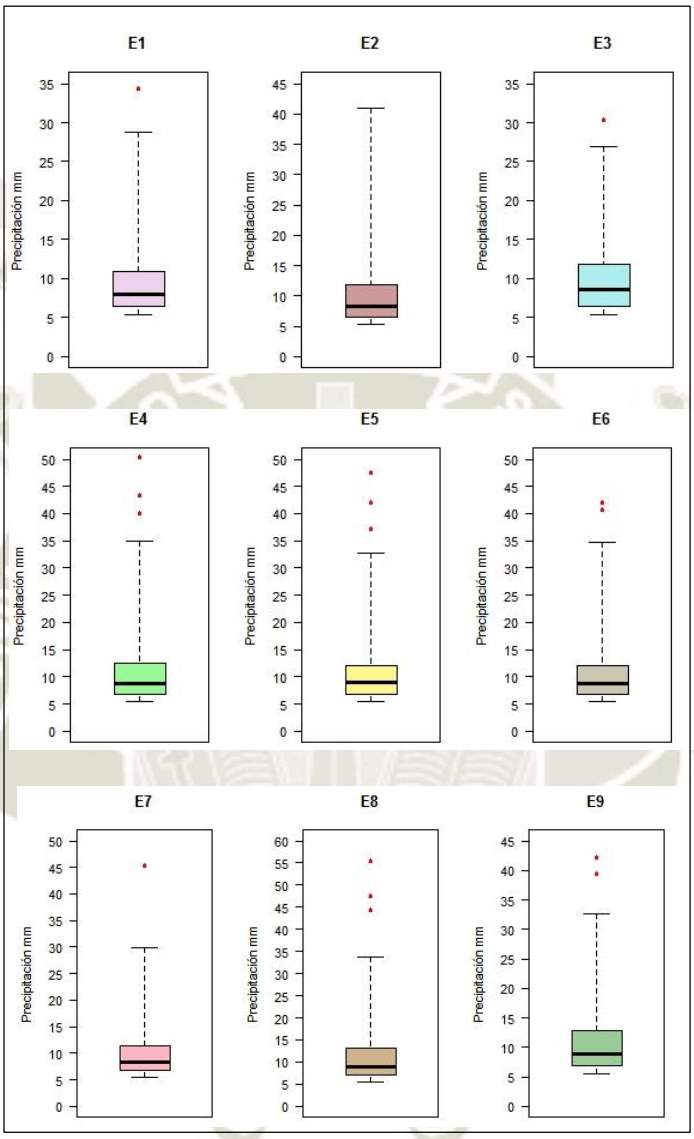
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Figura 54**

*Diagrama de caja ajustada de las estaciones virtuales PISCO Pd v2.0*






Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

**Tabla 56**

*Detalles del diagrama de caja ajustado de las estaciones PISCO Pd*

| | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 | E7 | E8 | E9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Bigote inferior** | 5.396 | 5.390 | 5.380 | 5.383 | 5.389 | 5.382 | 5.384 | 5.385 | 5.406 |
| **Primer Cuantil** | 6.368 | 6.559 | 6.436 | 6.749 | 6.800 | 6.775 | 6.774 | 6.955 | 6.851 |
| **Mediana** | 7.975 | 8.195 | 8.590 | 8.674 | 8.867 | 8.680 | 8.321 | 9.030 | 8.924 |
| **Segundo Cuantil** | 10.976 | 11.865 | 11.765 | 12.392 | 12.161 | 12.099 | 11.389 | 13.220 | 12.794 |
| **Bigote superior** | 28.760 | 41.037 | 26.900 | 34.990 | 32.655 | 34.776 | 29.943 | 33.810 | 32.707 |
| **Valor mínimo** | 5.396 | 5.390 | 5.380 | 5.383 | 5.389 | 5.382 | 5.384 | 5.385 | 5.406 |
| **Valor máximo** | 34.33 | 41.037 | 30.343 | 50.421 | 47.373 | 41.890 | 45.210 | 55.438 | 44.65 |
| **N° de outlier** | 1 | 0 | 1 | 3 | 3 | 2 | 1 | 3 | 3 |
| **N° de outliers eliminados** | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 |

La Tabla 56 nos muestra los datos atípicos encontrados por estación, para la eliminación de estos, se tomó en cuenta tres observaciones. La primera es si se encontraban registrados en nuestra base histórica, caso contrario se descartaría; la segunda si el valor implicaba un impacto fuerte a la estadística y la tercera fue considerar los valores de las estaciones vecinas, que deberían tener algún valor similar, tal como lo indican Yupanqui, Lavado y Felipe (2017).



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

**Tabla 57**

*Resumen de análisis de datos atípicos de las estaciones virtuales PISCO pd v2.0*

| Fecha | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 | E7 | E8 | E9 | Descripción |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **2/2/1986** | - | - | - | **43.23** | - | - | - | - | - | No hay registro de desastres en esta fecha. |
| **21/01/1987** | - | - | - | - | **41.89** | **41.89** | - | **47.5** | **44.65** | No hay registro de desastres en esta fecha. |
| **15/03/1995** | 34.33 | - | - | **50.42** | 37.07 | - | **45.21** | 44.3 | 39.42 | Inundaciones, erosión en calles. (Kim Marterlli,2011) |
| **25/02/1997** | - | - | 30.3 | 40.04 | **47.37** | 40.59 | - | **55.44** | 42.12 | Se produce desborde de las torrenteras San Lázaro, Venezuela, Los Incas y Huarangal (INGEMMET, 2017) |

*Nota: Los valores eliminados se encuentran en negrita*

La Figura 55 nos muestra los diagramas de caja ajusta sin los valores o datos atípicos, como se puede visualizar en la figura, hay una significativa de valores atípicos que se decidió mantener en el análisis, esto se debe a que no sería beneficioso eliminarlos, al contrario, se estaría dejando de lado un dato relevante para el estudio. Como ya se explicó los valores que quedan cumplen con las condiciones u observaciones planteadas anteriormente.

La única estación virtual, que tras la eliminación de outliers y al disminuir el límite del bigote inferior, genero un nuevo dato atípico es la estación E5, sin embargo, se decidió mantener dicho valor de precipitación tal como se observa en la Tabla 58.



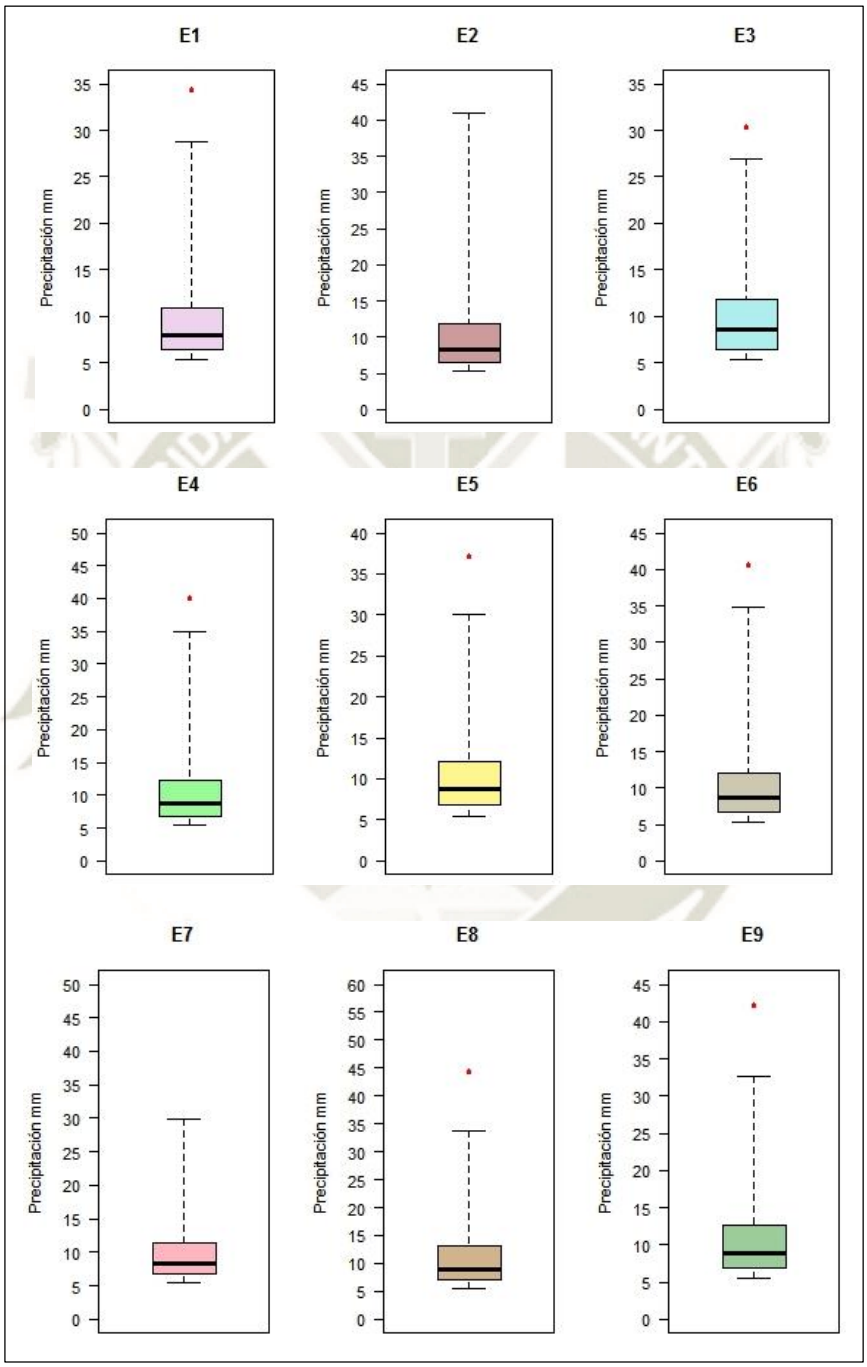
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Figura 55**

*Diagrama de caja ajustada de las estaciones virtuales PISCO Pd v2.0 corregido*






Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

**Tabla 58**

*Detalles del diagrama de caja ajustada de las estaciones PISCO Pd corregido*

| | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 | E7 | E8 | E9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Bigote inferior** | 5.396 | 5.390 | 5.380 | 5.383 | 5.389 | 5.382 | 5.384 | 5.385 | 5.406 |
| **Primer Cuantil** | 6.368 | 6.559 | 6.436 | 6.749 | 6.794 | 6.775 | 6.773 | 6.954 | 6.847 |
| **Mediana** | 7.975 | 8.195 | 8.590 | 8.666 | 8.854 | 8.675 | 8.313 | 9.002 | 8.897 |
| **Segundo Cuantil** | 10.976 | 11.865 | 11.765 | 12.254 | 12.130 | 12.075 | 11.383 | 13.120 | 12.784 |
| **Bigote superior** | 28.760 | 41.037 | 26.900 | 34.990 | 29.985 | 34.776 | 29.943 | 33.810 | 32.707 |
| **Valor mínimo** | 5.396 | 5.390 | 5.380 | 5.383 | 5.389 | 5.382 | 5.384 | 5.385 | 5.406 |
| **Valor máximo** | 34.33 | 41.037 | 30.343 | 40.044 | 37.07 | 40.591 | 29.943 | 44.300 | 42.116 |
| **N° de outlier** | 1 | 0 | 1 | 1 | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 |

### 6.5.3.2. Ajuste De Distribución Y Prueba De Bondad Y Ajuste

Del mismo modo, se ajustaron las precipitaciones a las principales distribuciones de probabilidad de valores extremos y se realizó la prueba de Kolmogorov - Smirnov.

Para este proceso estadístico se usó el programa HYDROGNOMON 4. En la Tabla 59 se presenta la distribución probabilística que mejor se ajusta.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

**Tabla 59**

*Mejor ajuste de distribución para la data de precipitación grillada Pisco Pd.*

| ESTACIÓN | DISTRIBUCIÓN | TIPO DE AJUSTE | DELTA |
|---|---|---|---|
| E - 1 | WEIBULL | Momentos Lineales | 0.0685 |
| E - 2 | GEV-MAX | Parámetros Ordinarios | 0.0844 |
| E - 3 | WEIBULL | Momentos Lineales | 0.0677 |
| E - 4 | GEV-MAX | Parámetros Ordinarios | 0.0897 |
| E - 5 | WEIBULL | Parámetros Ordinarios | 0.0561 |
| E - 6 | GEV-MAX | Momentos Lineales | 0.0553 |
| E - 7 | WEIBULL | Momentos Lineales | 0.0645 |
| E - 8 | GEV-MAX | Momentos Lineales | 0.0680 |
| E - 9 | GEV-MAX | Momentos Lineales | 0.0501 |

### 6.5.3.3. Precipitación Máxima De Diseño

Establecido los tiempos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 200 años, la precipitación máxima de diseño se calcularon con el software HYDROGNOMON 4, usando la distribución con mejor ajuste para cada estación virtual.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

**Tabla 60**

*Precipitación máxima (mm) de diseño con la data grillada Pisco Pd.*

| ESTACIÓN VIRTUAL | Periodo de Retorno (años) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2 | 5 | 10 | 25 | 50 | 100 | 200 |
| E - 1 | 10.12 | 17.70 | 22.46 | 28.06 | 31.94 | 35.59 | 39.06 |
| E - 2 | 12.05 | 18.54 | 22.47 | 27.06 | 30.21 | 33.13 | 35.86 |
| E - 3 | 11.89 | 19.26 | 23.64 | 28.63 | 32.01 | 35.14 | 38.07 |
| E - 4 | 18.11 | 26.11 | 30.62 | 35.56 | 38.75 | 41.56 | 44.05 |
| E - 5 | 16.81 | 24.53 | 28.80 | 33.47 | 36.54 | 39.31 | 41.86 |
| E - 6 | 16.31 | 24.42 | 29.35 | 35.10 | 39.06 | 42.74 | 46.18 |
| E - 7 | 15.25 | 20.89 | 23.89 | 27.08 | 29.13 | 30.96 | 32.63 |
| E - 8 | 20.71 | 28.54 | 32.49 | 36.41 | 38.69 | 40.55 | 42.06 |
| E - 9 | 17.49 | 25.88 | 31.06 | 37.20 | 41.47 | 45.50 | 49.31 |

### *6.5.4. Precipitación Media Areal*

Para obtener la precipitación media de cada quebrada, se realizó el método del Polígono de Thiessen haciendo uso de la herramienta *polígonos de Voronoi* en el software QGIS 10.3.1. delimitando las zonas de influencia de las estaciones virtuales cercanas a cada quebrada, para luego calcular el área correspondiente a cada estación. Los resultados se muestran a continuación en la Tabla 61.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

**Tabla 61**

*Precipitación media (mm) areal con la data grillada Pisco Pd.*

| MICROCUENCA | Periodo de Retorno (años) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2 | 5 | 10 | 25 | 50 | 100 | 200 |
| Del Pato | 14.56 | 22.01 | 26.4 | 31.37 | 34.69 | 37.71 | 40.48 |
| San Lázaro | 16.37 | 23.94 | 28.27 | 33.07 | 36.22 | 39.05 | 41.61 |
| Venezuela A | 13.56 | 20.49 | 24.55 | 29.19 | 32.32 | 35.2 | 37.89 |
| Venezuela B | 12.39 | 19.33 | 23.47 | 28.22 | 31.46 | 34.45 | 37.24 |
| Los Incas A | 15.61 | 23.27 | 27.61 | 32.42 | 35.6 | 38.52 | 41.21 |
| Los Incas B | 16.27 | 24.1 | 28.6 | 33.67 | 37.05 | 40.16 | 43.05 |
| Los Incas C | 16.35 | 23.7 | 27.86 | 32.49 | 35.56 | 38.36 | 40.93 |

### *6.5.5. Curvas Intensidad - Duración - Periodo de Retorno (IDT)*

Se realiza el mismo procedimiento anteriormente descrito en el apartado 6.4.5. A continuación se observa las curvas IDT para la microcuenca Del Pato.



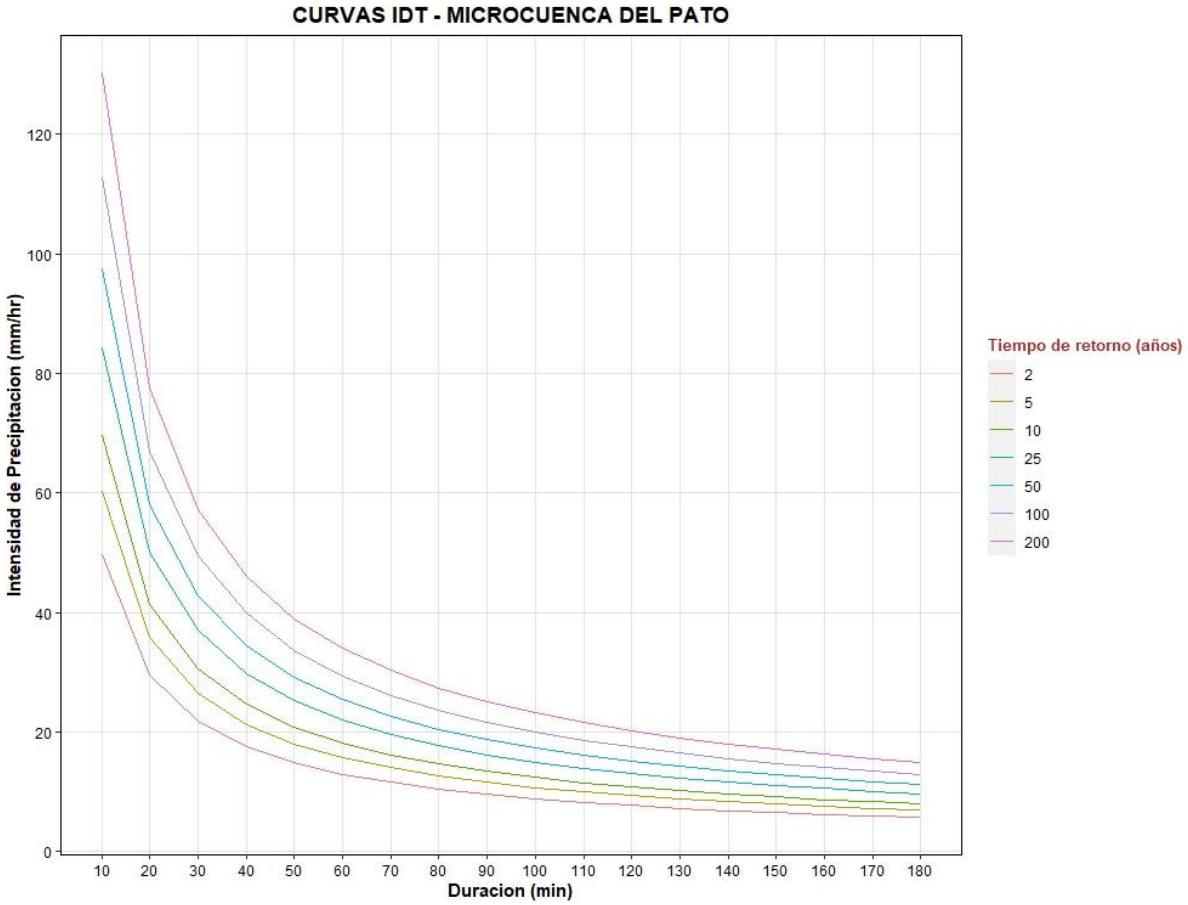
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Figura 56**

*Curvas IDT para la Microcuenca Del Pato con la data grillada Pisco Pd.*




### *6.5.6. Hietograma De Diseño*

Se realizó el mismo método y procedimiento descrito en el apartado 6.4.6. A continuación, se visualiza en la figura 57, el hietograma para la microcuenca Del Pato, mientras que para las demás microcuencas se encuentran en el anexo 7.



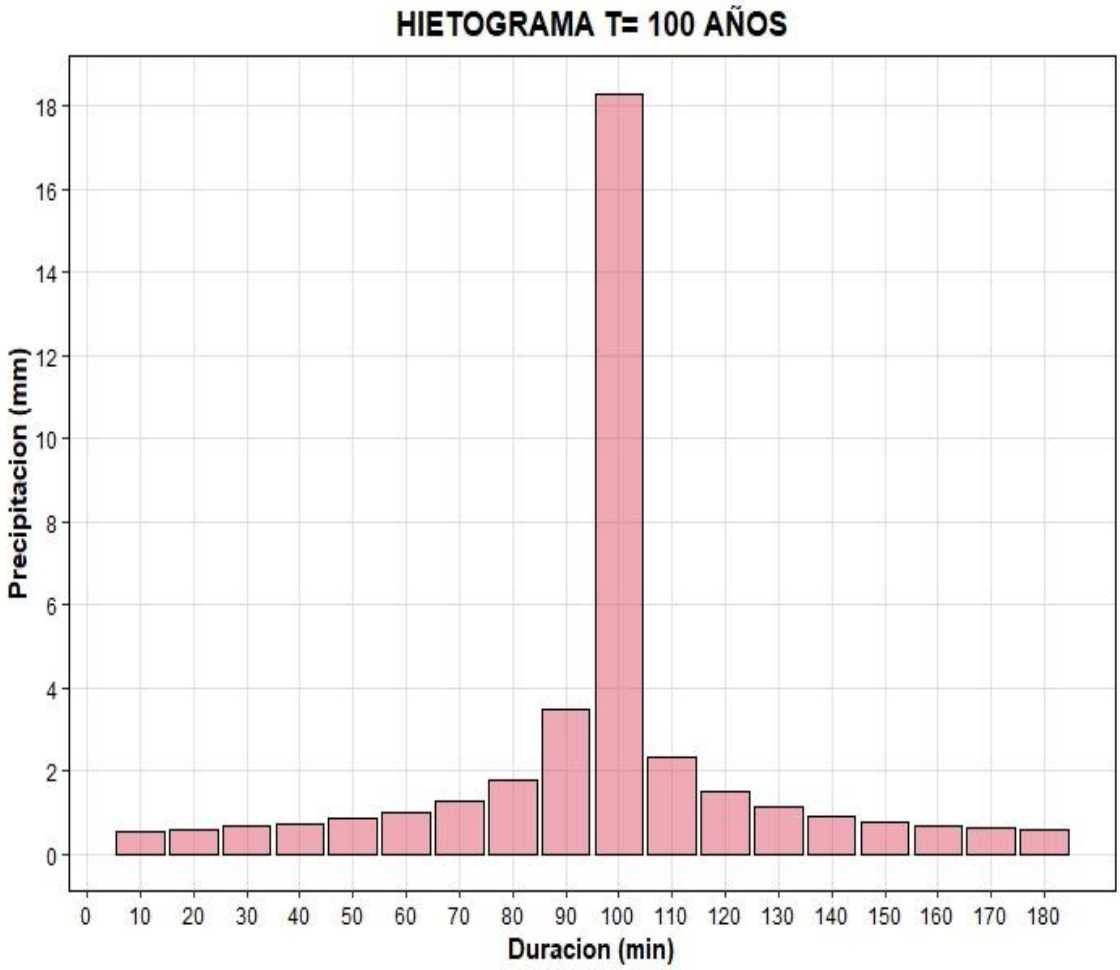
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Figura 57**

*Hietograma para un periodo de retorno de 100 años de la microcuenca Del Pato con la data grillada de Pisco Pd.*






Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Tabla 62**

*Calculo del hietograma por bloques alternos, Dick Peschke 3 hrs Tr = 100 años, microcuenca Del Pato con la data grillada Pisco Pd.*

| DURACIÓN | INTENSIDAD | PRECIP. ACUM. | PRECIP. INCREM. | BLOQUE ORDENADO |
|---|---|---|---|---|
| 10 | 109.85 | 18.31 | 18.31 | 0.53 |
| 20 | 65.32 | 21.77 | 3.46 | 0.59 |
| 30 | 48.19 | 24.09 | 2.32 | 0.65 |
| 40 | 38.84 | 25.89 | 1.80 | 0.73 |
| 50 | 32.85 | 27.38 | 1.49 | 0.85 |
| 60 | 28.65 | 28.65 | 1.28 | 1.01 |
| 70 | 25.53 | 29.78 | 1.13 | 1.28 |
| 80 | 23.09 | 30.79 | 1.01 | 1.80 |
| 90 | 21.14 | 31.71 | 0.92 | 3.46 |
| 100 | 19.53 | 32.56 | 0.85 | 18.31 |
| 110 | 18.19 | 33.34 | 0.78 | 2.32 |
| 120 | 17.04 | 34.07 | 0.73 | 1.49 |
| 130 | 16.05 | 34.76 | 0.69 | 1.13 |
| 140 | 15.18 | 35.41 | 0.65 | 0.92 |
| 150 | 14.41 | 36.03 | 0.62 | 0.78 |
| 160 | 13.73 | 36.62 | 0.59 | 0.69 |
| 170 | 13.12 | 37.18 | 0.56 | 0.62 |
| 180 | 12.57 | 37.71 | 0.53 | 0.56 |



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

# CAPÍTULO VII



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

# 7. Modelamiento Hidrológico

## 7.1.Datos De Entrada Para El Modelo Hidrológico

### *7.1.1. Numero Curva*

El número de curva para cada microcuenca fue obtenido usando el mapa ráster CN del ANA descrito en el apartado 2.10, se extrajo el ráster CN de cada microcuenca usando la herramienta *cortar ráster por capa de máscara* para luego usar la herramienta *estadística de zona* el cual analiza los valores de los pixeles de un ráster y calcula para cada polígono el promedio de estos; este procedimiento se realiza usando el software QGIS 10.3.1.

En el plano 21, se observa el mapa ráster CN de cada microcuenca, y a continuación en la Tabla 63 los valores del número de curva.

**Tabla 63**

*Número de curva para cada microcuenca*

| MICROCUENCA | NÚMERO DE CURVA |
|---|---|
| Del Pato | 81.77 |
| San Lázaro | 84.35 |
| Venezuela A | 82.28 |
| Venezuela B | 81.70 |
| Los Incas A | 81.70 |
| Los Incas B | 81.70 |
| Los Incas C | 83.49 |



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

### *7.1.2. Tiempo De Concentración*

Existen diversas fórmulas matemáticas que calculan este parámetro, ya que son fórmulas empíricas los resultados difieren significativamente unos de otros y se deben considerar sólo los métodos que muestran tiempos de concentración razonables, además que estas fórmulas están bajo condiciones físicas específicas debido a las limitaciones de aplicación en las cuencas originales. Se realizó una recopilación de las fórmulas y las condiciones para su aplicación, esta información está descrita en el apartado 2.11., de acuerdo con eso se toma la decisión de usar la ecuación de California Culvert Practice (CHPW), en la Tabla 64 se muestran los tiempos de concentración para cada microcuenca.

**Tabla 64**

*Tiempo de concentración en horas y minutos para cada microcuenca*

| MICROCUENCA | Tc (hrs) | tc (min) |
|---|---|---|
| Del Pato | 0.818 | 49.10 |
| San Lázaro | 0.824 | 49.45 |
| Venezuela A | 1.003 | 60.20 |
| Venezuela B | 0.772 | 46.33 |
| Los Incas A | 0.793 | 47.58 |
| Los Incas B | 0.798 | 47.85 |
| Los Incas C | 0.982 | 58.95 |



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

### *7.1.3. Abstracción Inicial*

Este parámetro fue descrito en el apartado 2.12. Se obtiene, mediante la fórmula:

$$P_o = 0,2\left(\frac{25400}{CN} - 254\right)$$

Donde:

$P_O = Abstracción\ inicial$

$CN = Número\ de\ curva$

**Tabla 65**

*Valores de abstracción inicial para cada microcuenca*

| MICROCUENCA | Po |
|---|---|
| Del Pato | 11.33 |
| San Lázaro | 9.42 |
| Venezuela A | 10.94 |
| Venezuela B | 11.38 |
| Los Incas A | 11.38 |
| Los Incas B | 11.38 |
| Los Incas C | 10.05 |



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

### *7.1.4. Tiempo de retardo (Lag time)*

Se refiere al tiempo que demora una partícula de agua precipitada, desde el centroide de la cuenca al punto más bajo de llegada. El lag time está definido por el 60% del tiempo de concentración en minutos. A continuación, en la Tabla 66 los valores para cada quebrada.

**Tabla 66**

*Tiempo de retardo para cada microcuenca*

| MICROCUENCA | Lag Time (min) |
|---|---|
| Del Pato | 29.46 |
| San Lázaro | 29.67 |
| Venezuela A | 36.12 |
| Venezuela B | 27.80 |
| Los Incas A | 28.55 |
| Los Incas B | 28.71 |
| Los Incas C | 35.37 |

### *7.1.5. Impermeabilidad*

Para el cálculo del porcentaje de impermeabilidad, se tuvo en cuenta como zonas impermeables a las áreas urbanas, haciendo uso de capas base de alta calidad en este caso el de Bing Map se seleccionó las áreas urbanas mediante polígonos, para luego calcular el área de estos polígonos, y hacer una relación con el área total de cada quebrada. En la Tabla 67 se presentan los resultados obtenidos para cada quebrada.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Tabla 67**

*Porcentaje de impermeabilidad para cada microcuenca*

| MICROCUENCA | % IMPERMEABILIDAD |
|---|---|
| Del Pato | 0.06% |
| San Lázaro | 0.36% |
| Venezuela A | 22.99% |
| Venezuela B | 13.08% |
| Los Incas A | 3.35% |
| Los Incas B | 5.03% |
| Los Incas C | 1.48% |

## 7.2. Ingreso de Datos Para El Modelo Hidrológico

Realizada la delimitación digitalizada de las quebradas, se ingresan manualmente los datos de entrada anteriormente obtenidos, usando como método de separación de la lluvia neta (LOSS METHOD) el modelo Número de Curva del SCS (SCS Curve Number) y como método de transformación de precipitación neta a escorrentía directa (TRANSFORM METHOD) el modelo de hidrograma unitario sintético del SCS (SCS Unit Hydrograph). Se crea el modelo meteorológico donde especificamos que la precipitación a ingresar es mediante un hietograma. Como datos de series de tiempo se definió la hora de inicio y final, el cual inicia el 01 de enero del 2000 a las 00:00 horas y finaliza el mismo día a las 07:00 horas con un intervalo de tiempo de 10 minutos e introducimos los valores del hietograma. En especificación de control se indicó el periodo de tiempo en que HMS debe realizar los cálculos para nuestro caso se configuró como



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

fecha de inicio el 01 de enero de 2000 a las 00:00 horas y se terminó a las 07:00 horas del mismo día, con un intervalo de cómputo de 1 minuto; el tiempo de término es mayor ya que se necesita cubrir toda la simulación. Este proceso se realiza para cada microcuenca.

### 7.3. Ejecución De Simulación

Se realiza la simulación de cada microcuenca para los diferentes periodos de retorno, obteniendo caudales máximos, esto se realizó para los datos de precipitación máxima de las estaciones, de igual modo se realizó para la precipitación máxima de la data grillada Pisco Pd; los resultados se muestran en las tablas 68 y 69.

**Tabla 68**

*Caudales máximos para diferentes periodos de retorno, con los datos de las estaciones*

| QUEBRADA | CAUDAL MÁXIMO (m3/s) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Periodo de retorno (años) | | | | | | |
| | 2 | 5 | 10 | 25 | 50 | 100 | 200 |
| DEL PATO | 2.7 | 15.7 | 29.1 | 50 | 67.7 | 86.7 | 106.9 |
| SAN LÁZARO | 8.2 | 31.5 | 52.5 | 83.4 | 108.6 | 135.2 | 162.7 |
| VENEZUELA | 8.6 | 18.8 | 28.2 | 42.2 | 54 | 66.4 | 79.6 |
| LOS INCAS | 14.2 | 50.8 | 84.1 | 133.4 | 173.6 | 216.3 | 260.9 |



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

**Tabla 69**

*Caudales máximos por Dick Peschke 3 hrs para diferentes periodos de retorno, con la data grillada PISCO Pd.*

| QUEBRADA | CAUDAL MÁXIMO ($m^3/s$) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Periodo de retorno (años) | | | | | | |
| | 2 | 5 | 10 | 25 | 50 | 100 | 200 |
| DEL PATO | 1.10 | 5.40 | 10.90 | 18.90 | 28.40 | 31.60 | 37.50 |
| SAN LÁZARO | 3.50 | 15.10 | 24.90 | 37.50 | 46.70 | 55.60 | 63.90 |
| VENEZUELA | 6.30 | 11.30 | 15.60 | 21.50 | 26.10 | 30.50 | 34.90 |
| LOS INCAS | 5.30 | 21.40 | 26.60 | 53.40 | 67.00 | 80.60 | 93.80 |

**7.4. Caudales Máximos De Diseño**

Se realiza la comparación entre los caudales máximos obtenidos con los datos de las estaciones meteorológicas y la malla de estaciones virtuales de la data grillada PISCO Pd; para esto se usó diversos indicadores, los resultados se muestran en la tabla 70.

**Tabla 70**

*Resultado de medidas de comparación entre caudales.*

| QUEBRADA | MAE | PBIAS | RMSE | R2 | NSE |
|---|---|---|---|---|---|
| DEL PATO | 32.14 | -62.70 | 39.29 | 0.36 | -0.24 |
| SAN LÁZARO | 13.89 | -28.10 | 18.27 | 0.69 | 0.68 |
| VENEZUELA | 21.66 | -50.90 | 25.95 | 0.47 | -0.18 |
| LOS INCAS | 30.64 | -38.10 | 37.82 | 0.60 | 0.48 |



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Para el indicador de error absoluto medio (MAE) y el indicador de raíz medio cuadrático (RMSE) se obtienen valores lejanos a 0, siendo los más lejanos los encontrados en las quebradas Del Pato y Los Incas con valores sobre los 30 $\boldsymbol{m^3/s}$; y los más cercanos para quebrada San Lázaro con valores por sobre bajo de los 20 $\boldsymbol{m^3/s}$. Estos resultados nos indican un ajuste pobre y poco eficiente de los caudales de PISCO Pd.

El indicador de porcentaje de sesgo (PBIAS) de todas las quebradas analizadas nos muestra una subestimación de los caudales obtenidos con PISCO Pd con respecto a los obtenidos por las estaciones pluviométricas, así mismo todos los resultados son menores a -25 por lo cual, según el criterio de evaluación, cae dentro del rango de Insatisfactorio.

El coeficiente de determinación (R2) en las quebradas Del Pato y Venezuela presenta valores por debajo 0.5 lo cual demuestra un pobre ajuste respecto a los caudales de las estaciones pluviométricas, mientras que las quebradas San Lázaro y Los Incas presentan un mejor ajuste, sin embargo, este resultado es insuficiente considerando que no pasan de 0.7 y teniendo en cuenta que la unidad representa un ajuste perfecto.

El criterio de eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE) nos indica que al igual que en el indicador anterior las quebradas Del Pato y Venezuela presentan el peor desempeño ya que se obtiene resultados negativos; para la quebrada Los Incas su valor no sobrepasa 0.5 esto cae en el rango de Insatisfactorio; la quebrada San Lázaro es la única con un desempeño satisfactorio, pero no lo suficiente.

### 7.5. Calibración del modelo hidrológico

Con la visita a los puntos críticos donde se ha suscitado inundaciones, el levantamiento topográfico con el cual obtuvimos las áreas seccionales de los tramos de las torrenteras y las



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

huellas de agua dejadas por el nivel de inundación ante los eventos de máximas avenidas; se ha estimado el caudal registrado, procesando esta información y calculando la velocidad con el software HEC RAS 1D.

Según Martelli, K. (2011) los escenarios de inundación se suscitan en un rango aproximado de 5 a 10 años, es por esta razón que la calibración se hace con respecto al periodo de retorno de 5 años.

**Tabla 71**

*Cálculo de caudales registrados*

| **QUEBRADA** | **ÁREA ($m^2$)** | **V (m/s)** | **$Q_{registrado}$ A x V = ($m^3$/s)** |
|---|---|---|---|
| DEL PATO | 8.62 | 1.50 | 12.94 |
| SAN LÁZARO | 6.02 | 2.50 | 15.05 |
| VENEZUELA | 15.20 | 1.20 | 18.24 |
| LOS INCAS | 17.50 | 1.20 | 21.00 |

Se observa que los valores de caudal registrado son menores a los valores de caudales máximos de diseño HEC-HMS, lo cual nos indica que los caudales máximos de diseño corresponden a eventos de máximas avenidas.

También se observa una gran diferencia entre los caudales de diseño y los registrados de las torrenteras San Lázaro y Los Incas; por lo tanto, se optó por una nueva metodología que proporcione resultados aproximados a los caudales registrados.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Algunas instituciones como INGEMMET (Quebrada San Lázaro) y la Municipalidad Distrital Mariano Melgar (zona por donde discurre la Quebrada Los Incas) adoptaron la metodología para crear una tormenta de diseño por medio de hietogramas sintéticos diseñados por el SCS (Soil Conservation Service del U.S Departament org Agriculture) utilizando la tormenta hipotética del tipo II ya que se asemeja al medio geográfico de las zonas estudiadas; es así que optamos por esta misma metodología en las quebradas de San Lázaro y Los Incas.

En el software HEC HMS el dato requerido es la precipitación máxima calculada en el ítem 6.4.4. Esta es ingresada en la ventana Meteorologic Model con los parámetros ya descritos como SCS hypothetical storm y Type II. Obteniendo finalmente los siguientes resultados:

**Tabla 72**

*Caudales máximos corregidos*

| QUEBRADA | CAUDAL MÁXIMO | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Periodo de retorno (años) | | | | | | |
| | 2 | 5 | 10 | 25 | 50 | 100 | 200 |
| DEL PATO | 2.7 | 15.7 | 29.1 | 50 | 67.7 | 86.7 | 106.9 |
| SAN LÁZARO | 3.2 | 16.9 | 30.1 | 49.3 | 64.8 | 81.2 | 98.3 |
| VENEZUELA | 8.6 | 18.8 | 28.2 | 42.2 | 54 | 66.4 | 79.6 |
| LOS INCAS | 5.9 | 27.7 | 48.9 | 80.4 | 106 | 132.9 | 160.8 |

Ahora, se observa que los valores de caudales máximos de diseño HEC-HMS, se asemejan a los caudales registrados, lo cual nos indica que los caudales máximos de diseño corresponden a eventos de máximas avenidas.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

# CAPÍTULO VIII



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

# 8. Engrosamiento De Flujo

## 8.1. Criterios de engrosamiento

El engrosamiento se refiere al incremento de caudal de agua clara en función de la cantidad de sedimentos transportados en el flujo. La metodología usada en nuestra investigación es la propuesta por O'Brien (2000), para la obtención del hidrograma de flujo con sedimentos se multiplica por un factor BF (Bulking factor), el cual está en función de la concentración volumétrica de sedimentos.

El factor BF se calcula mediante la ecuación:

$$BF = \frac{1}{1 - C_V}$$

Donde, $C_V$ es la concentración volumétrica de sedimentos.

Para el análisis y modelamiento de flujos con sedimentos, Suarez J. (2009) nos indica que es preciso determinar el tipo de flujo por eso presenta en base a las características la mezcla y la pendiente del canal Tabla 73.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

**Tabla 73**

*Tipos de flujo de acuerdo con las características de la mezcla y del canal.*

| Características de los Sedimentos | Concentración de Sedimentos de la Mezcla (Kg/m³) | Pendiente del Canal | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | > 100% (45°) | 100 a 50% | 50 a 20% | 20 a 10% | 10 a 5% | < 5% |
| | | Tipo de flujo | | | | | |
| Más del 20% del peso total de sedimentos son partículas finas (d<ASTM#200) | <90 | Flujo hiperconcentrado | | Flujo de lodo | | | |
| | >90 | Flujo de lodo | | | | | |
| | <300 | Flujo hiperconcentrado | | | | | |
| Menos del 20% del peso total de sedimentos son partículas finas (d<ASTM#200) | 300 a 600 | Flujo turbulento de residuos (Debris flow) | | Flujo hiperconcentrado | | | |
| | 600 a 900 | Flujo turbulento de residuos (Debris flow) | | | | | |
| | >900 | Flujo laminar de residuos | | | | | |

*Nota. Obtenido de Deslizamientos: Análisis geotécnico Suarez J. 2009.*

Así mismo, los flujos según O'Brien se pueden clasificar en función a la velocidad y concentración de sedimentos, como vemos en la siguiente figura.



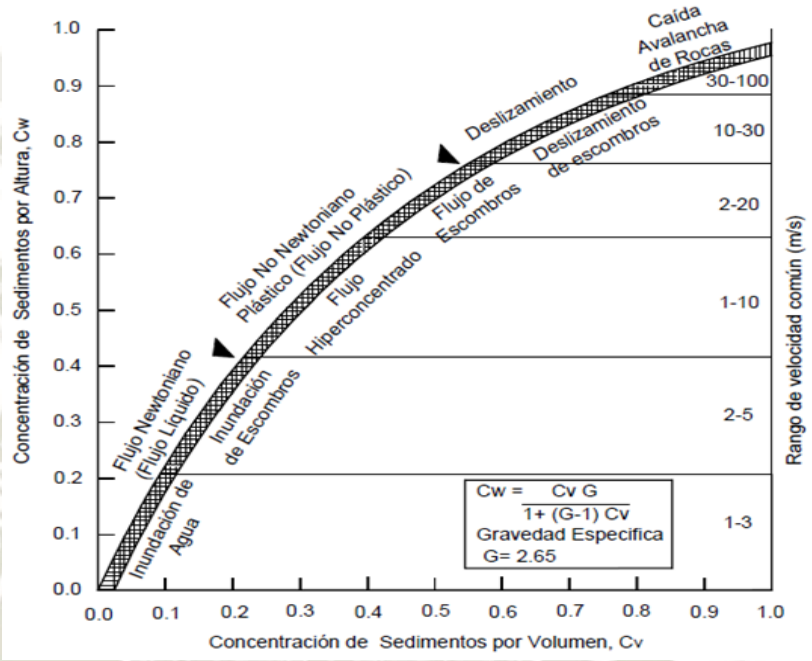
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

**Figura 58**

*Clasificación de los deslizamientos y flujos de acuerdo con la velocidad y concentración de sedimentos.*




*Nota. Obtenido de Deslizamientos: Análisis geotécnico Suarez J. 2009. (Modificada de O' Brien, 2000).*

## 8.2.Obtención del factor de engrosamiento

Se realizó una recopilación de reportes de caracterización de tipos de flujo de los eventos de inundación ocurridos en las quebradas de estudio. Del boletín "Peligro geológico por movimientos de masa en la ciudad de Arequipa" (2021) y el mapa de "Zonas críticas por peligros geológicos - Región Arequipa "(2020), del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET), concluimos que:



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

**Tabla 74**

*Caracterización de flujos de las quebradas*

| QUEBRADA | TIPO DE FLUJO |
|---|---|
| Del Pato | Flujo de lodo, huaicos. |
| San Lázaro | Flujo de lodo, flujo de detritos. |
| Venezuela | Flujo de lodo, flujo de detritos y erosión fluvial. |
| Los Incas | Flujo de lodo, flujo de detritos y erosión fluvial. |

De acuerdo con las pendientes de las quebradas (ítem 6.2.5) y las referencias de la Tabla 74, el tipo de flujo a simular en las quebradas es de lodo.

Según Suarez J. (2009) un flujo de lodo se comporta como un flujo no-Newtoniano; al observar la figura 58 estimamos la concentración volumétrica con un valor de 0.20; obteniendo un factor de engrosamiento BF de 25%.

**Tabla 75**

*Caudal de flujo de lodo para diferentes periodos de retorno*

| QUEBRADA | CAUDAL DE FLUJO DE LODO ($m^3/s$) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Periodo de retorno (años) | | | | | | |
| | 2 | 5 | 10 | 25 | 50 | 100 | 200 |
| DEL PATO | 3.38 | 19.63 | 36.38 | 62.50 | 84.63 | 108.38 | 133.63 |
| SAN LÁZARO | 4.00 | 21.13 | 37.63 | 61.63 | 81.00 | 101.50 | 122.88 |
| VENEZUELA | 10.75 | 23.50 | 35.25 | 52.75 | 67.50 | 83.00 | 99.50 |
| LOS INCAS | 7.38 | 34.63 | 61.13 | 100.50 | 132.50 | 166.13 | 201.00 |



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

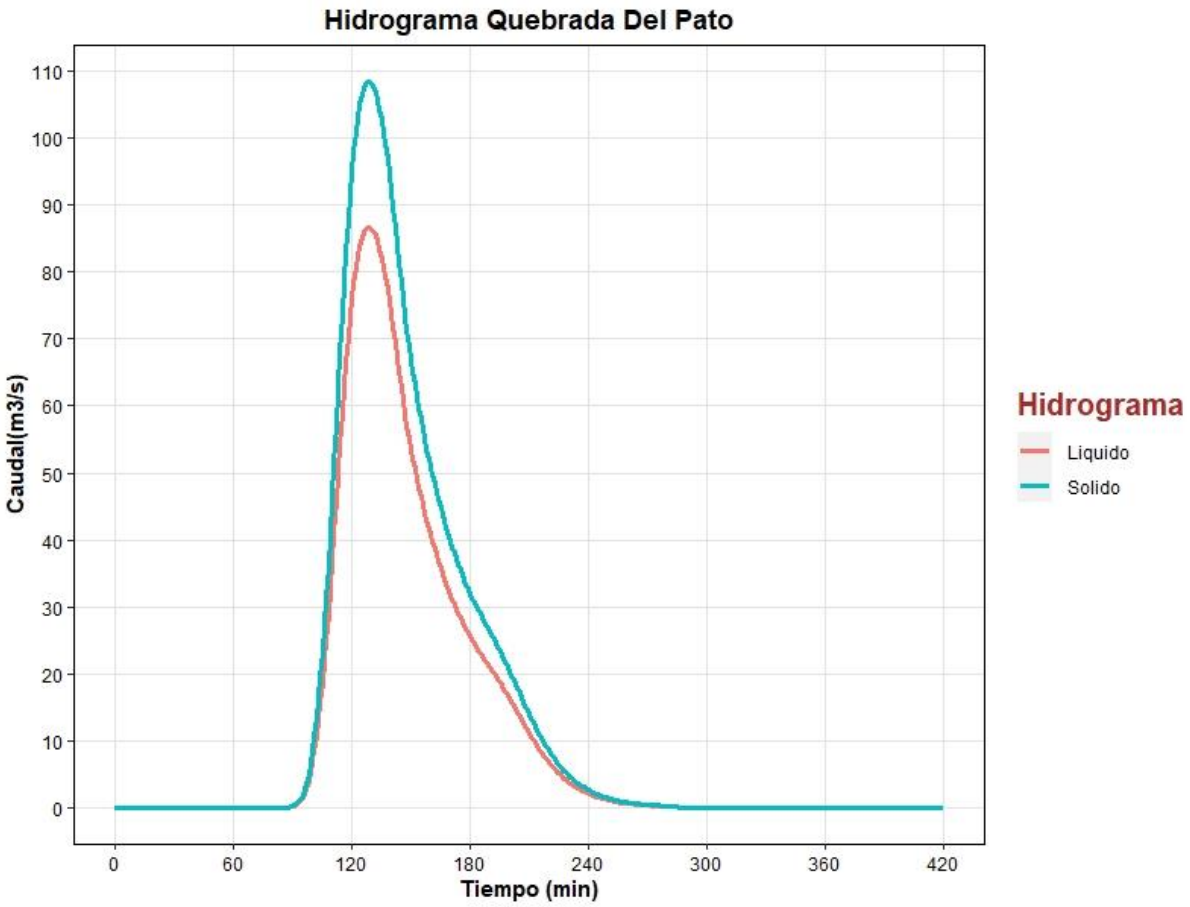
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

### 8.3.Hidrogramas líquidos y solidos

Se generan los hidrogramas sólidos (Hidrogramas de Flujo de lodo) en base a los hidrogramas líquidos y el factor de engrosamiento 25%. A continuación, se muestra el hidrograma líquido y sólido de la quebrada Del Pato para un tiempo de retorno de 100 años; mientras que para las demás quebradas se encuentran en el Anexo 8.

**Figura 59**

*Hidrograma líquido y sólido de la quebrada Del Pato.*






Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

# CAPÍTULO IX



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

# 9. Modelamiento Hidráulico

## 9.1.Datos de entrada para el modelo hidráulico

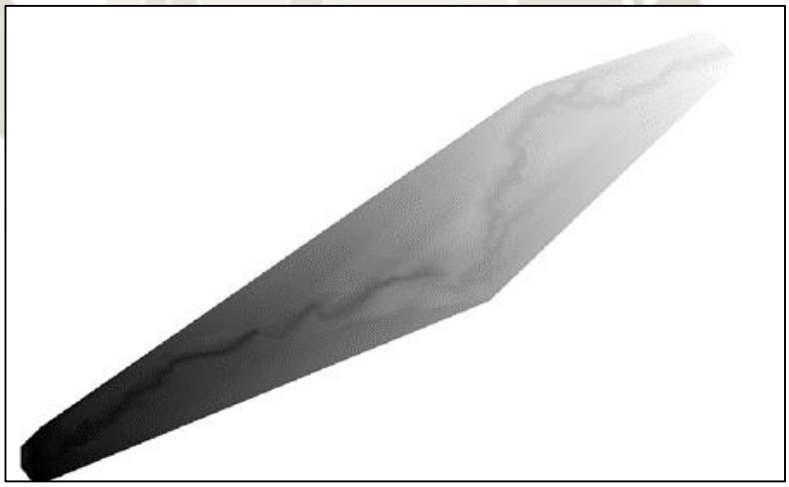
### *9.1.1. Modelo Digital Del Terreno*

Para la obtención del MDT de cada quebrada, se partió de importar la topografía en el software QGIS 10.3.1., para luego usar la herramienta *interpolación* y crear una superficie ráster, la cual contiene información de la elevación cada 0.5 metros.

A continuación, se muestra el MDT de la quebrada (torrentera) Del Pato. Las otras quebradas se muestran en el anexo 9.

**Figura 60**

*MDT de la quebrada Del Pato*



### *9.1.2. Usos De Suelo Y Número De Manning*

Se genera un shapefile de usos de suelos asignando número de Manning a cada uso, para esto usamos las ortofotos de cada torrentera, observando las ortofotos creamos polígonos asignando el número de Manning a cada uno de estos, en base a las características de la zona observada.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

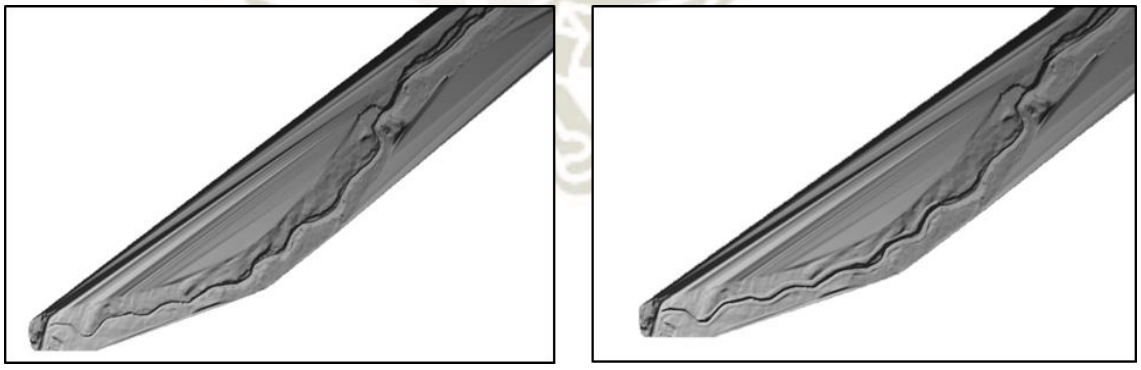
Se usó la tabla de valores de coeficiente de rugosidad del libro Hidráulica de Canales Abiertos, pp 108 - 111.(Chow, 1994)

### 9.2.Ingreso de Datos Para El Modelo Hidráulico

Se inicia ingresando el MDT para crear una superficie ráster y así visualizar el terreno, generando un modelo Digital de Elevación (MDE) que contiene la elevación del terreno cada 0.5 metros. Ya que se realizó visitas a las torrenteras y podemos visualizar en las ortofotos, se detectaron una serie de errores, estos se errores se refieren a que no se toma en consideración los muros de contención de las torrenteras. Para solucionar estos errores y que tengamos óptimos resultados, se tuvo que modificar la elevación de la superficie TIN, añadiendo muros de contención con las alturas tomadas en campo, editando la superficie y transformando estos cambios en una superficie ráster, esto se puede visualizar en la Figura 62, la imagen de la izquierda corresponde al MDT inicial, y la imagen de la derecha corresponde al MDT corregido.

**Figura 61**

*Ráster inicial (izquierdo) y corregido (derecho) de la quebrada San Lázaro.*



Luego se procede a cargar el archivo shapefile de uso de suelos de cada torrentera como una capa Land Cover. A continuación, se muestra la capa de mapa Mannings de la torrentera Del Pato.



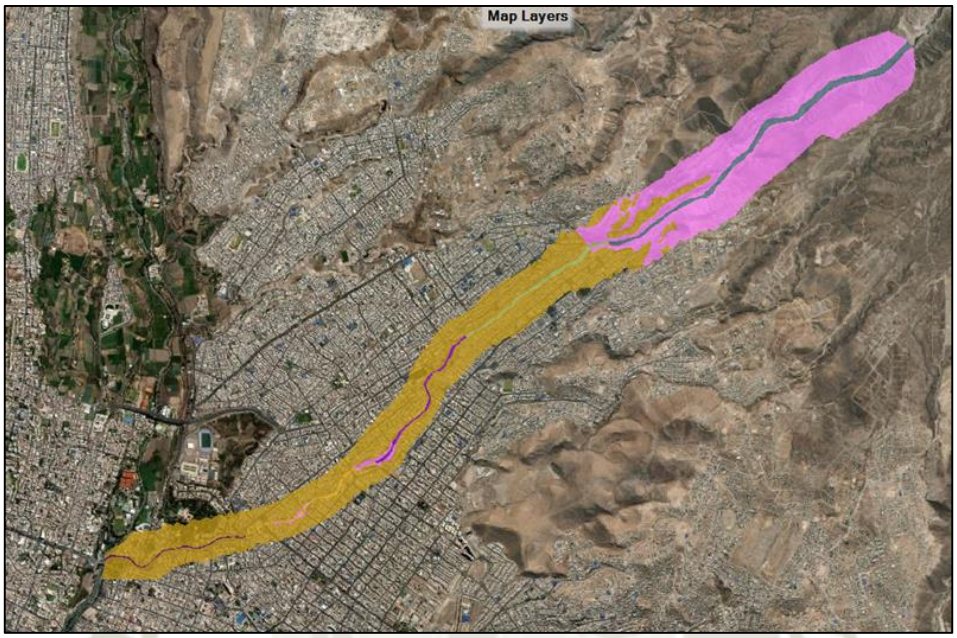
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Figura 62**

*Map layers Manning de la quebrada San Lázaro.*




Como siguiente paso, se genera la malla computacional en el área donde se realizan los cálculos, para esto en la pestaña de geometría se dibuja el área de estudio con la herramienta *2D Flow Area*, luego especificamos el tamaño de celda de 4x4 con la opción de *Generate Computation Point son Regular Interval with All Breaklines*, además verificamos la importación de los coeficientes de manning en la opción *Edit Land Cover to Manning's*. Luego creamos las condiciones de contorno con ayuda de la herramienta *SA/2D AREA BC Lines*, designando la entrada y salida del flujo como aguas arriba y aguas abajo respectivamente.

Ingresamos los datos para un flujo no permanente, en la pestaña *Unsteady Flow Data;* el hidrograma líquido para un Tr de 100 años, el factor de engrosamiento (BF) en *Multiplier* en la condición de contorno de aguas arriba y en la condición de aguas abajo se ingresa el tirante normal cuyo valor es la pendiente de salida.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

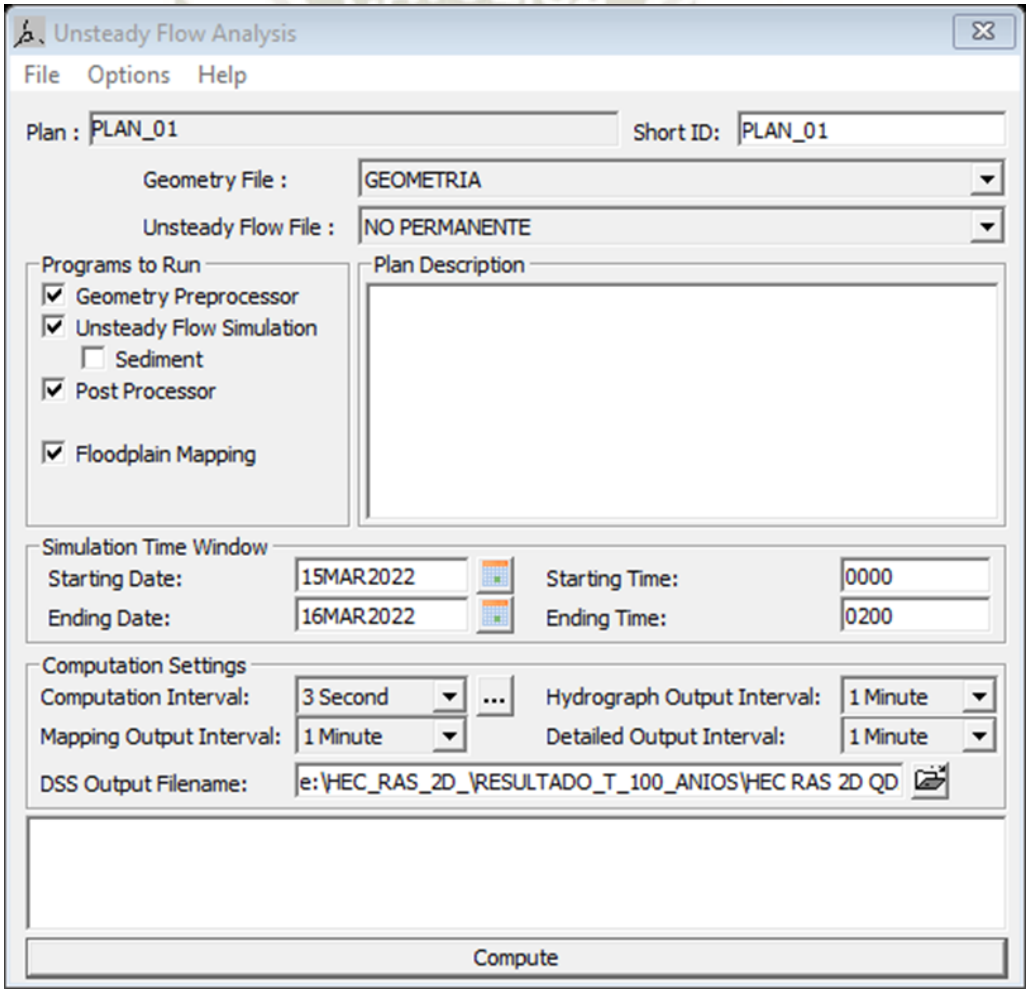
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

### 9.3.Ejecución y obtención de resultados

Finalmente, para la simulación de flujo no permanente, en la ventana *Unsteady Flow Analysis*, se determina parámetros de tiempo los cuales son necesarios para realizar la simulación.

**Figura 63**

*Ventana Unsteady Flow Analysis*




El intervalo de tiempo de simulación (Computation Interval), para un flujo no permanente el tiempo seleccionado es de 3 segundos ya que según el Manual del Usuario de HEC - RAS (USACE, 2022) este debe ser lo suficientemente pequeño para describir con



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

precisión la subida y bajada del hidrograma que se enruta, se recomienda que este tiempo debe satisfacer el criterio de precisión numérica también llamado condición de Courant.

El intervalo de salida del hidrograma (Hydrograph Output Interval), define en qué intervalo se escribirá en el HEC - DSS los hidrogramas de caudal. ya que este intervalo da un número adecuado de puntos para definir los hidrogramas calculados y no perder información del pico o el volumen de los hidrogramas, se determinó un intervalo de salida de 1 minuto.

El intervalo de salida de mapeo (Mapping output interval), este campo se usa para ingresar el intervalo en el que el usuario podrá visualizar la salida del mapeo dentro de HEC-RAS Mapper, se determinó un intervalo de 1 minuto.

El intervalo de salida detallado (Detailed output interval), es un parámetro que indica los perfiles de elevación y flujo de la superficie del agua en un intervalo específico durante la simulación. Este intervalo seleccionado debe ser igual o mayor que el intervalo de cálculo se sugiere que este intervalo sea bastante grande para reducir la cantidad de procesamiento posterior y almacenamiento necesarios para una salida hidráulica detallada; se seleccionó un intervalo de tiempo de 1 minuto.

Definidos estos parámetros de intervalos de tiempo, ingresamos a la ventana *Calculation option and tolerance,* donde elegimos el esquema para resolver la ecuación de Saint Venant descrita en el apartado 2.16. HEC-RAS utiliza dos esquemas, el primero de ellos, “Full Momentum” resuelve las ecuaciones de cantidad de momentum sin omitir ningún término. El segundo, corresponde al Método de Onda Difusa o “Diffusion Wave”, éste omite los términos de aceleración local y convectiva (Chow, 1994). En problemas relativamente simples, el modelo de onda difusa presenta tiempos de cómputo menores y resultados similares al método de Full



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

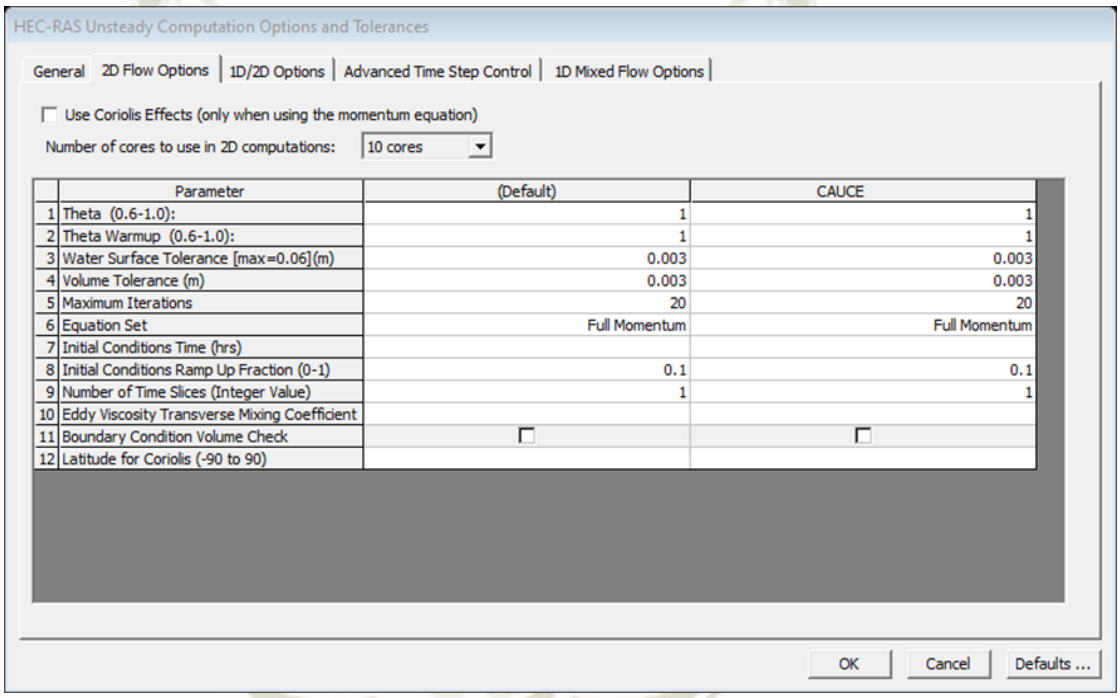
REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Momentum. Sin embargo, en problemas que presenten cambios bruscos en la geometría, se recomienda Full Momentum (Usace, 2016), es por lo que seleccionamos este esquema (Toapaxi Alvarez, 2021).

**Figura 64**

*Ventana Calculation Option And Tolerance*




| | Parameter | (Default) | CAUCE |
|---|---|---|---|
| 1 | Theta (0.6-1.0): | 1 | 1 |
| 2 | Theta Warmup (0.6-1.0): | 1 | 1 |
| 3 | Water Surface Tolerance [max=0.06](m) | 0.003 | 0.003 |
| 4 | Volume Tolerance (m) | 0.003 | 0.003 |
| 5 | Maximum Iterations | 20 | 20 |
| 6 | Equation Set | Full Momentum | Full Momentum |
| 7 | Initial Conditions Time (hrs) | | |
| 8 | Initial Conditions Ramp Up Fraction (0-1) | 0.1 | 0.1 |
| 9 | Number of Time Slices (Integer Value) | 1 | 1 |
| 10 | Eddy Viscosity Transverse Mixing Coefficient | | |
| 11 | Boundary Condition Volume Check | ☐ | ☐ |
| 12 | Latitude for Coriolis (-90 to 90) | | |

Se procede a realizar la simulación, después de realizado el análisis se puede visualizar los resultados en la ventana Ras Mapper, donde observaremos los mapas de velocidad (Velocity) y de tirantes (Depth) para Tr = 100 años.

El proceso de ejecución descrito anteriormente se realizó para todas las quebradas.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

# CAPÍTULO X



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

# 10. Análisis De Zonas De Riesgo

## 10.1. Quebrada Del Pato

En la Figura 65 podemos observar, que tal como se explicó en el capítulo IV, uno de los principales peligros que se suscitan en la quebrada Polanco, es la desorganizada expansión urbana. En esta imagen podemos ver como un tramo del asentamiento humano "Villa Confraternidad" se ve directamente amenazado por flujo de lodos que se suscitaría producto de un evento de precipitación extremo.

El inminente peligro que corren los asentamientos que se colocan alrededor del cauce de la torrentera lo podemos constatar revisando la data histórica de eventos extremos, donde, el distrito de Alto Selva Alegre suele ser, en su mayoría, uno de los más afectados.

**Figura 65**

*Villa Confraternidad, Alto Selva Alegre*





Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La Figura 66 nos muestra otra posible zona de inundación en un área verde que se encuentra aguas abajo de la torrentera, donde la extensión del desastre es considerable, esto se puede deber a que no existe algún tipo de defensa natural o artificial en la zona, lo que permite que flujo de lodos ingrese con facilidad al producirse un desbordamiento.

**Figura 66**

*Áreas verdes, aguas abajo*



## 10.2. Quebrada San Lázaro

La Quebrada San Lázaro como se indica en el inciso 4.3. aumenta su grado de peligrosidad debido a la expansión urbana no controlada y al exceso de material suelto dentro del cauce, lo que sumado al estrechamiento de este puede generar desbordamiento que afecten la zona urbana de la ciudad como ya se vio el 2021 en la calle Ugarteche donde se dañó el muro de contención tal como se ve en el Anexo 12.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Por lo que en la Figura 67 es representativa del daño que puede generar en la ciudad debido a dos puntos en específico, el primero es que el Parque Selva Alegre es una zona recreacional, con grandes áreas verdes y árboles que de producirse el desbordamiento podrían embalsar el agua y causar daño a las viviendas aledañas, sin mencionar el tránsito de personas que circulas por la zona. Lo segundo son justamente las viviendas muy próximas al cauce que como se ve no solo se vería afectadas por las situaciones que se suscitaría por el parque, sino también se verían afectados directamente por el desbordamiento, causando pérdidas materiales y en el peor poniendo en riesgo su integridad física.

**Figura 67**

*Parque Selva Alegre*



La Figura 68 está situada aguas abajo, como se puede observar también presenta áreas verdes con grandes árboles que como en situación anterior podrían generar más daño a las viviendas



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

de los alrededores, sin mencionar que las vías de comunicación del área se verían seriamente dañadas impidiendo el tránsito regular de vehículos.

**Figura 68**

*Edificación de la empresa Michell & Cia S.A*



## 10.3. Quebrada Venezuela

La Quebrada Venezuela afecta principalmente a la Av. Venezuela, tal como se puede ver en la Figura 69, esto se debe a que, al igual que con las otras quebradas, la mala gestión de al momento de urbanizar el área provocó que el cauce de la torrentera que pasa por la quebrada varíe en sus dimensiones, reduciendo el ancho del canal hasta casi desaparecer en algunas zonas.

Esto es importante de resaltar, ya que la Quebrada. Venezuela posee puentes a lo largo de su longitud, como vemos en el Anexo 12, que podrían verse afectados o generar mayores destrozos en las zonas aledañas. Sin mencionar la acumulación de basura en los canales.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Figura 69**

*Tramo de la Avenida Venezuela*



## 10.4. Quebrada Los Incas

La Figura 70 nos muestra el terminal terrestre de Arequipa, donde en el mismo terminal se produce un desbordamiento que termina en inundación. Esta situación, ya se dio el 2020 en Febrero, cuando el flujo de lodo ingreso al terminal cubriendo la parte interna del mismo, lo que impidió la salida y entrada de buses formales a la ciudad, lo que implico no solo un daño directo a la economía por lo gastos de limpieza, sino también por las diversas actividades canceladas, desde reuniones de trabajo hasta el sector turismo.

A pesar de que es parte importante de la dinámica de la ciudad, el canal que pasa por el terminal sigue colmado de basura, y sin ninguna protección adicional como se puede ver en el Anexo 12.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Figura 70**

*Terminal terrestre de Arequipa*



Finalmente, la quebrada presenta problemas similares al resto de quebradas tal como se ve en la Figura 71.

**Figura 71**

*Puente Avenida Jesús*






Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

# CAPÍTULO XI



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

# 11. Conclusiones Y Recomendaciones

## 11.1. Conclusiones

**Con Respecto:**

**A la hipótesis.** Los resultados obtenidos nos demuestran que efectivamente el correcto cálculo de los parámetros morfológicos, geomorfológicos y de la red de drenaje, la precipitación media, y la revisión bibliográfica acerca del comportamiento de la lluvia y el flujo en la zona de estudio, nos permitió elegir la metodología adecuada para poder realizar el modelamiento numérico bidimensional para 100 años de periodo de retorno, con lo que obtuvimos zonas de riesgo por inundación que han sido afectadas anteriormente por este fenómeno, lo que demuestra que los resultados se aproximan a la realidad.

**Al objetivo general.** Las cuatro quebradas analizadas en la tesis presentan problemas similares que ponen en riesgo la infraestructura y la integridad física de las personas. La desorganización y el poco control de la habilitación urbana; la insuficiente atención a la limpieza de los cauces; y el estrechamiento de los mismos en la zona urbana, han aumentado el riesgo de desbordamientos o inundaciones.

Las principales zonas afectadas por desbordamientos, debido a su importancia para el desarrollo de las actividades dentro de la ciudad, son el Terminal Terrestre de Arequipa, ubicado en la Quebrada Los Incas; y la avenida Venezuela situada en la Quebrada Venezuela.

Sin embargo, en caso de eventos de precipitación extrema se verían afectadas también las casas y edificaciones construidas en las laderas de las torrenteras, como es el caso de la Villa Confraternidad, ubicada en la Quebrada Del Pato; el edificio de la empresa Michell & Cia S.A, ubicada en la Quebrada San Lázaro; y avenidas y calles que se encuentran dentro de las zonas inundables, como el caso de la Av. Jesús en la Quebrada Los Incas.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Al objetivo específico 1.** Los resultados de las medidas de comparación (MAE, RMSE, PBIAS, R2 Y NSE), señalan que los datos PISCO Pd, respecto a los datos de precipitación de la estación "Chiguata", presentan un mejor ajuste, eficiencia y precisión, en comparación a los datos de la estación "La Pampilla"; sin embargo, los resultados de la última estación mencionada no son negativos, ya que ingresan en el rango de "Satisfactorio" a "Muy bueno".

Por tanto, concluimos que, el procedimiento de validación del producto grillado PISCO Pd con respecto a ambas estaciones, usando las medidas de comparación antes señaladas, afirma que el comportamiento espacial de precipitación refleja la realidad de la zona donde se ubican las estaciones.

**Al objetivo específico 2.** El análisis exploratorio de datos determinó que, la distribución de los datos de lluvia es asimétrica sesgada a la derecha y no normal, por lo que se concluyó que la mejor forma de detección de datos atípicos es el diagrama de caja ajustado.

El umbral "moderadamente lluvioso" calculado para las dos estaciones meteorológicas y la Unidad Hidrográfica, será el límite mínimo para considerar a un evento dentro de la categoría de "extremo", lo que nos ayudó en la detección de datos atípicos en el análisis de registro pluviométrico.

**Al objetivo específico 3.** De los resultados de los parámetros morfométricos, concluimos que, las áreas delimitadas de la zona de estudio son microcuencas porque todas tienen áreas menores a 25 $km^2$; estas también son de clase III, debido a que su coeficiente de compacidad está dentro del rango de 1.51 a más de 2, esto quiere decir, que tienen una forma oblonga a rectangular. Finalmente, el parámetro de factor de forma da como resultado valores menores a 0.18 por tanto podemos concluir que todas las microcuencas son muy poco achatadas.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La corroboración hecha con el software HEC-HMS 4.8 usando el producto QGIS 3.10, terminó con resultados positivos para la pendiente de la cuenca y la pendiente del cauce principal, ya que los valores obtenidos por ambos softwares son muy similares. Se concluye que los resultados de las pendientes medias de las microcuencas se encuentran dentro del rango de 15% a 42% y las pendientes de los cauces principales van desde un 5% a 13%.

Los resultados de los parámetros de la red de drenaje determinan que el orden de las corrientes para las microcuencas Del Pato, San Lázaro, Venezuela A y B, Los Incas A y B es de orden 2 y que, para la microcuenca Los Incas C, es de orden 3; el régimen de las corrientes para cada microcuenca es efímera, ya que sólo llevan agua cuando llueve; y las longitudes del cauce principal van desde 8 a 14 km.

**Al objetivo específico 4.** La diferencia entre la precipitación media areal de la data grillada Pisco Pd y de la data de las estaciones pluviométricas es significativa, ya que la precipitación de la última data mencionada es mayor en un 22% a 71% con respecto a los valores de precipitación de la data de Pisco Pd.

De igual manera se obtiene una diferencia significativa entre la precipitación obtenida mediante el método de bloques alternos para la data de estaciones pluviométricas y la de Pisco Pd, esta variación va desde un 53% a 65%, teniendo como valores altos los de la data de estaciones pluviométricas.

**Al objetivo específico 5.** Tras realizar los modelos hidrológicos se concluye que lo caudales obtenidos por la data de estaciones meteorológicas son 20% a 252% más altos que los caudales obtenidos con la data de Pisco Pd.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Así mismo, la comparación estadística de los caudales obtenidos por ambas datas, usando los indicadores de comparación (MAE, PBIAS, RMSE, R2, NSE), concluye en que los caudales de la data PISCO, en comparación con los de las estaciones pluviométricas, tiene una diferencia significativa de sus valores. Ante este resultado, se decidió usar la data de las estaciones pluviométricas para el modelamiento hidráulico, ya que posee los caudales más críticos.

Al calibrar el modelo hidrológico mediante huellas de inundación y revisar otros estudios de entidades oficiales del estado, se concluye que para las quebradas de San Lázaro y Los Incas se tiene una notable diferencia con respecto a los caudales, es por eso que se decide cambiar el método de Dick Peschke por la tormenta hipotética del SCS Tipo II ya que esta se asemeja al medio geográfico de las quebradas, y realizando una vez más la calibración, los caudales obtenidos ya tendrían concordancia con las huellas de inundación.

**Al objetivo específico 6.** El caudal usado para el modelo hidráulico se obtiene mediante el engrosamiento de flujo, el cual varia con respecto a la concentración volumétrica de sedimentos. Este, fue obtenido mediante la revisión bibliográfica del repositorio del INGEMMET, que en sus boletines lo contemplan caracterizando el flujo de las quebradas, como flujo de lodo. Mediante gráficas se estimó esta concentración volumétrica a 0.20, para así obtener el factor de engrosamiento de 25%.

Los caudales resultantes del engrosamiento de flujo, denominados caudal de flujo de lodo, en cuanto a un periodo de retorno (Tr) de 100 años son 108.38 $m^3/s$, 101.50 $m^3/s$, 83 $m^3/s$ y 166.13 $m^3/s$ para la Quebrada Del Pato, San Lázaro, Venezuela y Los Incas respectivamente.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

## 11.2. Recomendaciones

**Primera.** Se recomienda seguir incentivando la investigación en la zona de estudio, ya que como se ve en la data histórica, es una de las zonas más afectadas en caso de eventos de precipitación extrema, y considerando el informe del 2022 del IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) podemos afirmar que estos sucesos anómalos se repetirán con mayor frecuencia e intensidad, debido al cambio climático.

**Segunda.** La presente tesis se realizó usando el software RStudio y el lenguaje de programación R para el cálculo de procesos estadísticos y la elaboración de todos los gráficos presentados; por lo que recomendamos e incentivamos su uso. El lenguaje de programación R tiene múltiples paquetes de funciones orientadas a la hidrología, y cada vez es más amplia la red de usuarios que deja su aporte a este campo, sin mencionar que la licencia es de libre uso, lo que permite una gran cantidad de oportunidades.

**Tercera.** Recomendamos el uso de los códigos de programación propuestos en el Anexo 11, estos podrán ser mejorados dependiendo de las exigencias o expectativas de cada usuario.

**Cuarta.** En el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del MTC no define explícitamente las metodologías para la distribución de precipitación, como en la fórmula de Dick Peschke, no se especifica los exponentes a usar para las diferentes duraciones de lluvia, es por esto que se recomienda hacer un estudio del adecuado uso de estos exponentes.

**Quinta.** Teniendo como base los resultados de la presente tesis, se pueda realizar una nueva investigación sobre flujo de lodos haciendo uso del software FLO-2D.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

# REFERENCIAS

Alfaro Lozano, L. (2014). Estimación de umbrales de precipitaciones extremas para la emisión de avisos meteorológico. Nota Técnica N° 001 SENAMHI-DGM-2014.

Amarís Castro, G. E., Guerrero Barbosa, T. E., & Sánchez Ortiz, E. A. (2015). Comportamiento de las ecuaciones de Saint-Venant en 1D y aproximaciones para diferentes condiciones en régimen permanente y variable. Tecnura, 19(45), 75. https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.3.a06

Arias, F. G. (2012). El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica. 6ta. Fidias G. Arias Odón.

Asurza, F. A. (2017). Comparacion de los productos TRMM y GPM para el modelamiento hidrologico en la cuenca del Rio Huancane. Lima-Peru: Tesis para optar el título de Ingerniero Agricola-Universidad Agraria la Molina.

Autoridad Nacional de Agua. (s. f.). Observatorio del Agua - ANA. https://snirh.ana.gob.pe/observatorioSNIRH/

Autoridad Nacional del Agua. (s. f.). Consejo de Recursos Hídricos de Cuenca Quilca - Chili. Drupal. https://www.ana.gob.pe/consejo-de-cuenca/quilca-chili/portada

Aybar Camacho, C., Lavado Casimiro, W., Huerta Julca, A., Fernández Palomino, C., Vega Jácome, F., Sabino Rojas, E., & Felipe Obando, O. (2017). Uso del Producto Grillado Pisco de Precipitación en Estudios, Investigaciones y Sistemas Operacionales de Monitoreo y Pronóstico Hidrometeorológico. Nota Técnica 001 SENAMHI-DHI-2017. Lima- Perú.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Bednar-Friedl, B., R. Biesbroek, D.N. Schmidt, P. Alexander, K.Y. Børsheim, J. Carnicer, E. Georgopoulou, M. Haasnoot, G. Le Cozannet, P. Lionello, O. Lipka, C. Möllmann, V. Muccione, T. Mustonen, D. Piepenburg, and L. Whitmarsh, 2022: Europe. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.

Bentancor, L., Silveira, L., & García Petillo, M. (2014). Incidencia de la intensidad de lluvia en el tiempo de concentración de microcuencas del Uruguay. *Agrociencia*, *18*(2), 106–116. http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?pid=S2301-54820140002000012&script=sci_arttext&tlng=pt

Bivand, R., Keitt, T., Rowlingson, B., Pebesma, E., Sumner, M., Hijmans, R., Baston, D., Rouault, E., Warmerdam, F., Ooms, J., & Rundel, C. (2022). rgdal [Data set]. En Bindings for the “Geospatial” Data Abstraction Library. http://rgdal.r-forge.r-project.org, https://gdal.org,

Bolivar Bello, G. E. (2020). Modelamiento hidrológico e hidráulico bidimensional del Río Marañon sector Puente Tingo Chico. Carretera Huánuco - Conococha [Universidad Nacional Agraria La Molina]. http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/4521



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Búho, E. (2015, 16 febrero). Colapso de buzones y viviendas inundadas por lluvia de 6 horas. El Búho. https://elbuho.pe/2015/02/colapso-de-buzones-y-viviendas-inundadas-por-lluvia-de-6-horas/

Cacya, L.; Meza, P.; Carlotto, V. & Mamani, L. (2013) – Aluvión del 8 de febrero del 2013 en la ciudad de Arequipa. En: Foro Internacional Peligros Geológicos, Arequipa, 14-16 octubre 2013, Libro de resúmenes. Arequipa: INGEMMET, pp. 195-200.

Carmona Arteaga, A. (2019). Tendencias, validación y generación de caudales usando la data grillada pisco para las cuencas del río Biabo

Castro, E. S. (2014). Evaluacion de imágenes satelitales de precipitaciónes (TRMM 3B43mensual) en Región Costa, Sierra y Oriente del Ecuador. Cuenca - Ecuador: Tesis previa a la obtencion del Título de Ingeniero Civil.

Choque, A. (2019, 29 mayo). Arequipa: Hace 30 años el río Chili se desbordó llevándose todo a su paso [VIDEOS]. La República Perú. https://larepublica.pe/sociedad/1410330-arequipa-30-anos-rio-chili-desbordo-llevandose-paso-fotos-videos/

Chow, V. T. (1994). *Hidráulica de canales abiertos* (627.13 C552h ). Bogotá, CO : McGraw-Hill. http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=earth.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=033504



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Coloma Laimito, A. P. (2015). Simulación hidrológica e hidráulica del río Tambo, sector Santa Rosa, distrito de Cocachacra, provincia de Islay, departamento de Arequipa [Universidad Nacional Agraria La Molina]. http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/1843

Cruz Cuentas, R. (2009). *Gestión del riesgo por inundación en asentamientos populares, distrito de Mariano Melgar, Arequipa*. http://repo.floodalliance.net/jspui/handle/44111/1892

Cruz, J; Macedo, L; Lazarte, I. & Vargas, K. (2021, septiembre). Escenarios críticos por descenso de lahares en el distrito de Mariano Melgar - Arequipa (N.o 178). Instituto Geofísico del Perú. http://hdl.handle.net/20.500.12816/5010

Dataset: SENAMHI HSR PISCO. (n.d.). Iridl.ldeo.columbia.edu. https://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.SENAMHI/.HSR/.PISCO/index.html?Set-Language=es

Dataset: ASF DAAC 2015, ALOS PALSAR_Radiometric_Terrain_Corrected_low_res; Includes Material © JAXA/METI 2007. Accessed through ASF DAAC 11 Noviembre 2015. DOI: https://doi.org/10.5067/JBYK3J6HFSVF

Delgado Quispe, Y. A. (2019). Validación y corrección de la precipitación estimada por satélite del producto chirps, usando el modelo de redes neuronales artificiales en la cuenca del Río Vilcanota-Región Cusco.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Diaz Carvajal, Á., & Mercado Fernández, T. (2017). Determinación del número de curva en la subcuenca de Betancí (Córdoba, Colombia) mediante teledetección y SIG. *Ingeniería Y Desarrollo*, *35*(2), 452–470. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-34612017000200452

Díez Herrero, A., & Martín Duque, J. F. (2006). *Ensayos metodológicos para la cuantificación de procesos geomorfológicos activos asociados a la hidrología de superficie en las sierras de Guadarrama y Gredos* [Universidad Complutense de Madrid]. https://eprints.ucm.es/id/eprint/7706/

Drenaje, M. D. (2011). *Manual de hidrología hidráulica y drenaje*. Lima: empresa editora macro eirl.

Endara Huanca, SM (2017). Determinación de extremos a precipitación a partir del PISCO diario. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

En persona. (2011, 14 agosto). Inundación Arequipa 8 Feb 1989. Reportaje [Vídeo]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=11JVMzkTxm8

Ettinger, S.; Manrique, N. & Thouret, J.C. (2014) - Using field data and HSR imagery to downscale vulnerability assessment of buildings and local infrastructure facing hazards from floods and hyperconcentrated flows. En: EGU General Assembly Conference Abstracts, vol.16, p.13978. ttps://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2014/EGU2014-13978.pdf

European Space Agency. (s. f.). ALOS. Earth Online. https://earth.esa.int/eogateway/missions/alos



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Ferrer, F. J. (1993). Recomendaciones para el cálculo hidrometeorológico de avenidas. *Madrid, CEDEX, Ministerio de Fomento, 76pp*.

Gaume, E., Bain, V., Bernardara, P., Newinger, O., Barbuc, M., Bateman, A., Blaškovičová, L., Blöschl, G., Borga, M., Dumitrescu, A., Daliakopoulos, I., Garcia, J., Irimescu, A., Kohnova, S., Koutroulis, A., Marchi, L., Matreata, S., Medina, V., Preciso, E., … Viglione, A. (2009). A compilation of data on European flash floods. *Journal of Hydrology*, *367*(1), 70–78. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.12.028

Hadley, W., & Garrett, G. (2017). R for Data Science. O'Reilly Media.

Herrero, A. D., Huerta, L. L., & Isidro, M. L. (2008). *Mapas de peligrosidad por avenidas e inundaciones: guía metodológica para su elaboración*. IGME. https://play.google.com/store/books/details?id=wFgC-1FcIKAC

Hijmans, R. J., van Etten, J., Sumner, M., Cheng, J., Baston, D., Bevan, A., Bivand, R., Busetto, L., Canty, M., Fasoli, B., Forrest, D., Ghosh, A., & Golicher, D. (2022). raster [Data set]. En Geographic Data Analysis and Modeling. https://rspatial.org/raster

Hubert, M., & Vandervieren, E. (2008). An adjusted boxplot for skewed distributions. Computational statistics & data analysis, 52(12), 5186-5201.

Hydrologic Engineering Center. (s. f.). HEC-HMS. https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/

Ingenieros, R. (2018, 22 noviembre). Conoce más acerca de software Hydrognomon. RHydro Ingenieros. https://rhydroingenieros.com/blog/conoce-mas-acerca-de-hydrognomon



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. (2019). Evaluación de peligros geológicos en la quebrada El Pato, tramo Villa Confraternidad (zonas A, B, C y D). Región Arequipa, provincia Arequipa, distrito Alto Selva Alegre (N.o A6912). INGEMMET. https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/2233

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico. (2020, julio). Inspección geológica realizada en la quebrada San Lázaro – Arequipa (N.o A7071). INGEMMET. https://hdl.handle.net/20.500.12544/2793

Jiménez, P.; Amézaga, J.; Rotting, T. & Guzmán, E. (2010) - El río Chili: Cuenca árida con presencia minera. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín, 161 p.

Luque Poma, G., & Rosado Seminario, M. (2014). Zonas Críticas por Peligros Geológicos Región Arequipa. *Instituto Geológico Minero Y Metalúrgico (INGEMMET), República Del Peru, Informe Técnico, 112p*.

Lux Cardona, B. (2016). *Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas*. http://www.repositorio.usac.edu.gt/4482/

Maechler, M., Rousseeuw, P., Croux, C., Todorov, V., Ruckstuhl, A., Salibian-Barrera, M., Verbeke, T., Koller, M., Conceicao, E. L. T., & di Palma, M. A. (2022). robustbase [Data set]. En Basic Robust Statistics. https://robustbase.R-forge.R-project.org/

Mariño, J.; Rivera, M.; Thouret, J.C. & Macedo, L. (2016) - Geología y mapa de peligros del volcán Misti. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 60, 170 p.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Marrone, L. A. (2017). Caracterización de tráfico-distribución de Johnson SB. In XXIII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (La Plata, 2017).

Martelli, K. (2011). *The physical vulnerability of urban areas facing the threat of inundation from lahars and flash floods : application to the case study of Arequipa, Peru* [Université Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II]. https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00881754/

Martínez-Ramírez, C. H. (2018). *Caracterización hidrológica de la subcuenca del río Quirimán, en el cantón de Nicoya*.

Méndez, R. A. (2016). Productos de precipitación satelital de alta resolución espacial y temporal en zonas de topografía compleja. Santiago de Chile: Tesis para optar grado de Magíster en Ciencias de la Ingeniería - Pontificia Universidad Catolica de Chile.

Monsalve, G. (2004). *Hidrología en la Ingeniería, Escuela Colombiana de Ingeniería*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.

Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., & Harmel, R. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. doi:10.13031/2013.23153

Niño Piña, V. J. (n.d.). Comparación de criterios de engrosamiento del flujo para la simulación de avalanchas en casos colombianos de estudio. *Departamento de Ingeniería Civil Y Agrícola*. https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/56726

Núñez del Prado, H.; Farfán, E.; Díaz, H. 2001. Kosaka, R. (ed). Geología y estratigrafía del cuaternario y zonificación geotécnica-sísmica del área urbana de Arequipa. Universidad Nacional de San Agustín (UNSA).



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

O'Brien, J. S., & Julien, P. Y. (2000). Flo-2D user's manual, version 2000.01. *Nutrioso, AZ, USA: Flo Engineering*.

Ocampo, O. L., & Vélez, J. J. (2014). Análisis comparativo de modelos hidrológicos de simulación continua en cuencas de alta montaña: caso del Río Chinchiná. Revista Ingenierías Universidad de Medellín, 13(24), 43-58.

Orellana Cabello, R. E. (n.d.). Modelamiento hidrológico e hidráulico para el análisis de inundaciones en la ciudad de Piura utilizando HEC-HMS y HEC-RAS. http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/18304

Pebesma, E., Bivand, R., Rowlingson, B., Gomez-Rubio, V., Hijmans, R., Sumner, M., MacQueen, D., Lemon, J., Lindgren, F., O'Brien, J., & O'Rourke, J. (2021). sp [Data set]. En Classes and Methods for Spatial Data. https://github.com/edzer/sp/ https://edzer.github.io/sp/

Pedrosa, I., Juarros-Basterretxea, J., Robles-Fernández, A., Basteiro, J., & García-Cueto, E. (2014). Pruebas de bondad de ajuste en distribuciones simétricas, ¿qué estadístico utilizar? Universitas Psychologica, 14(1), 245–254. https://doi.org/10.11144/Javeriana.upsy14-1.pbad

Pierce, D. (2021). ncdf4 [Data set]. En Interface to Unidata netCDF (Version 4 or Earlier) Format Data Files. http://cirrus.ucsd.edu/~pierce/ncdf/ QGIS.ORG. (2018). QGIS.ORG. https://www.qgis.org/es/site/about/index.html

R. (2012, 7 enero). Arequipa vulnerable a la naturaleza. RPP. https://rpp.pe/peru/actualidad/arequipa-vulnerable-a-la-naturaleza-noticia-438601



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Ramos R., J., Del Águila, V., & Bazalar B., A. (2017). Estadística Básica para los Negocios. Universidad de Lima.

Rivera, M.; Vílchez, M. & Vela, J. (2018). Peligros por huaicos en la ciudad de Arequipa. En: Taller Internacional Fortalecimiento de capacidades para mitigar los impactos de huaicos en Perú, Lima y Arequipa, Perú, 15-19 octubre 2018: Libro de Resúmenes. Arequipa: INGEMMET, pp. 45-49.

Rojas Suárez, C. A. (2011). Modelamiento geoestadístico de los depósitos fluviales de la zona c-formación mugrosa en el área la Cira-Este del Campo La Cira. Universidad Nacional de Colombia.

Rojo Hernández, J. D. (n.d.). Spatial and temporal characterization of Colombia's hydroclimatology. *Escuela de Geociencias Y Medio Ambiente*. https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/69017

Saldaña, MR (2016). Pruebas de bondad de ajuste a una distribución normal. Enfermería Del Trabajo, 105-114.

Salvador Figueras, M., & Gargallo, P. (2003). "Análisis Exploratorio de Datos." http://www.5campus.com/leccion/aed

Sanjuán, F. J. M. (2021, 7 septiembre). Outlier. Economipedia. https://economipedia.com/definiciones/outlier.html

Santana, O. (n.d.). Luís.(2007). *Apunte de Hidrología, Dirección de Pregrado. Universidad Del Bío-Bío*.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Santana Sepúlveda, S., & Mateos Farfán, E. (2014). El arte de programar en R: un lenguaje para la estadística.

Schoener Gerhard. (2017). Quantifying Transmission Losses in a New Mexico Ephemeral Stream: A Losing Proposition. *Journal of Hydrologic Engineering*, *22*(3), 05016038. https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001473

Segaert, P., Hubert, M., Rousseeuw, P., Raymaekers, J., & Vakili, K. (2020). mrfDepth [Data set]. En Depth Measures in Multivariate, Regression and Functional Settings. https://github.com/PSegaert/mrfDepth

SENAMHI - Arequipa. (s. f.). Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=arequipa&p=pronostico-detalle

SENAMHI - Perú. (n.d.). Www.senamhi.gob.pe. Retrieved April 22, 2022, from https://www.senamhi.gob.pe/?&p=estaciones

SENAMHI - RED DE ESTACIONES PARA HELADAS Y FRIAJES. (n.d.). Www.senamhi.gob.pe. Retrieved April 22, 2022, from https://www.senamhi.gob.pe/site/lvera/red_rpm2.php

Servicio Nacional de Meteorología e hidrología del perú - SENAMHI, > El clima en Perú hoy - Temperatura | Clima. (s. f.). Senamhi. https://web2.senamhi.gob.pe/?p=estaciones-convencionales

Sierra Lopinta, H. W. (2018). Modelamiento hidráulico bidimensional de un tramo del rio Pativilca, en flujo no permanente [Universidad Nacional Agraria La Molina]. http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/3545



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Spinu, V., Grolemund, G., Wickham, H., Vaughan, D., Costigan, I., Law, J., Mitarotonda, D., Larmarange, J., Boiser, J., Lee, C. H., & Google Inc. (2021). lubridate [Data set]. En Make Dealing with Dates a Little Easier. https://lubridate.tidyverse.org

Suarez, J. (2009). Deslizamientos: análisis geotécnico. *España. U. Industrial de Santander*.

Talledo Walde, R. A., & Cardoso Cusihuallpa, S. I. (2021). Generación de mapa de amenaza para disminuir el impacto de daños ocasionados por flujos hiperconcentrados en la quebrada del Diablo, distrito Alto de la Alianza …. https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/655742

Tapia, J. (2016, 27 febrero). Arequipa fue castigada ayer por repentina lluvia. Correo. https://diariocorreo.pe/edicion/arequipa/arequipa-fue-castigada-ayer-por-repentina-lluvia-656605/

Toapaxi Alvarez, J. (2021). Análisis de Inundación por Rotura de Presa Utilizando el Modelo HEC-RAS 2D: Caso de Estudio de la Presa Mulacorral, Provincia de Tungurahua, Ecuador. *Revista* . http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-01292021000300051

Usace. (2016). HEC-RAS river analysis system hydraulic reference manual. Version 5.0. *Hydrol. Eng. Cent. (HEC), US Army Corps Eng.*

Urrea, V., Ochoa, A., & Mesa, O. (2016). Validacion de la base de datos de precipitación CHIRPS para Colombia a escala diaria, mensual y anual en el periodo 1981-2014. Medellin-Colombia: Universidad Nacional de Colombia.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Valentín, M. G. (2007). Hidrología urbana. *Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona*. https://www.academia.edu/download/56290811/Seminario-de-hidrologia-urbana.pdf

Vena, P. (2014). Detección de datos atípicos para datos funcionales asimétricos. Universidad de Buenos Aires.

Vílchez Mata, M. S., Villacorta Chambi, S. P., Sosa Senticala, N. L., Rivera Porras, M. A., & Luque Poma, G. (2016). Resultados preliminares sobre la evaluación de peligros geohidrológicos en la ciudad de Arequipa.

Vílchez Mata, M. S., & Sosa Senticala, N. L. (2021). *Peligro geológico por movimientos en masa en la ciudad de Arequipa - [Boletín C 85]*. https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/3186

Villón, M. (2002). Hidrología. *Editorial Tecnológica de Costa Rica, Cartago*.

Villón, M. (2020). HIDROLOGIA. Lima: Ediciones Centro de desarrollo de Material Bibliográfico (CDMB) Cartago - costa Rica, Ediciones Villón.

Watson, N. (2020, 12 mayo). Using Mean Absolute Error for Forecast Accuracy. Contemporary Analysis. https://canworksmart.com/using-mean-absolute-error-forecast-accuracy/

Wickham, H., & RStudio. (2022). dplyr [Data set]. En A Grammar of Data Manipulation. https://dplyr.tidyverse.org

Wickham, Hadley, & RStudio. (2021). tidyverse [Data set]. En https://tidyverse.tidyverse.org. https://tidyverse.tidyverse.org,

Wickham, Hadley, Chang, W., Henry, L., Pedersen, T. L., Takahashi, K., Wilke, C., Woo, K.,



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Yutani, H., Dunnington, D., & RStudio. (2021). ggplot2 [Data set]. En Create Elegant Data Visualisations Using the Grammar of Graphics. https://ggplot2.tidyverse.org

Yupanqui R., Lavado W., Felipe O. Atlas de sequías hidrológicas de la región hidrográfica del Titicaca. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). Dirección de Hidrología. Diciembre, 2017.

Zambrano-Bigiarin, M. (2022). hydroGOF [Data set]. En Goodness-of-Fit Functions for Comparison of Simulated and Observed Hydrological Time Series. https://github.com/hzambran/hydroGOF

Zambrano-Bigiarini, M. (2020). hydroTSM [Data set]. En Time Series Management, Analysis and Interpolation for Hydrological Modelling. https://github.com/hzambran/hydroTSM

Zeileis, A., Grothendieck, G., Ryan, J. A., Ulrich, J. M., & Andrews, F. (2022). zoo [Data set]. En S3 Infrastructure for Regular and Irregular Time Series (Z's Ordered Observations). https://CRAN.R-project.org/package=zoo



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

# ANEXOS

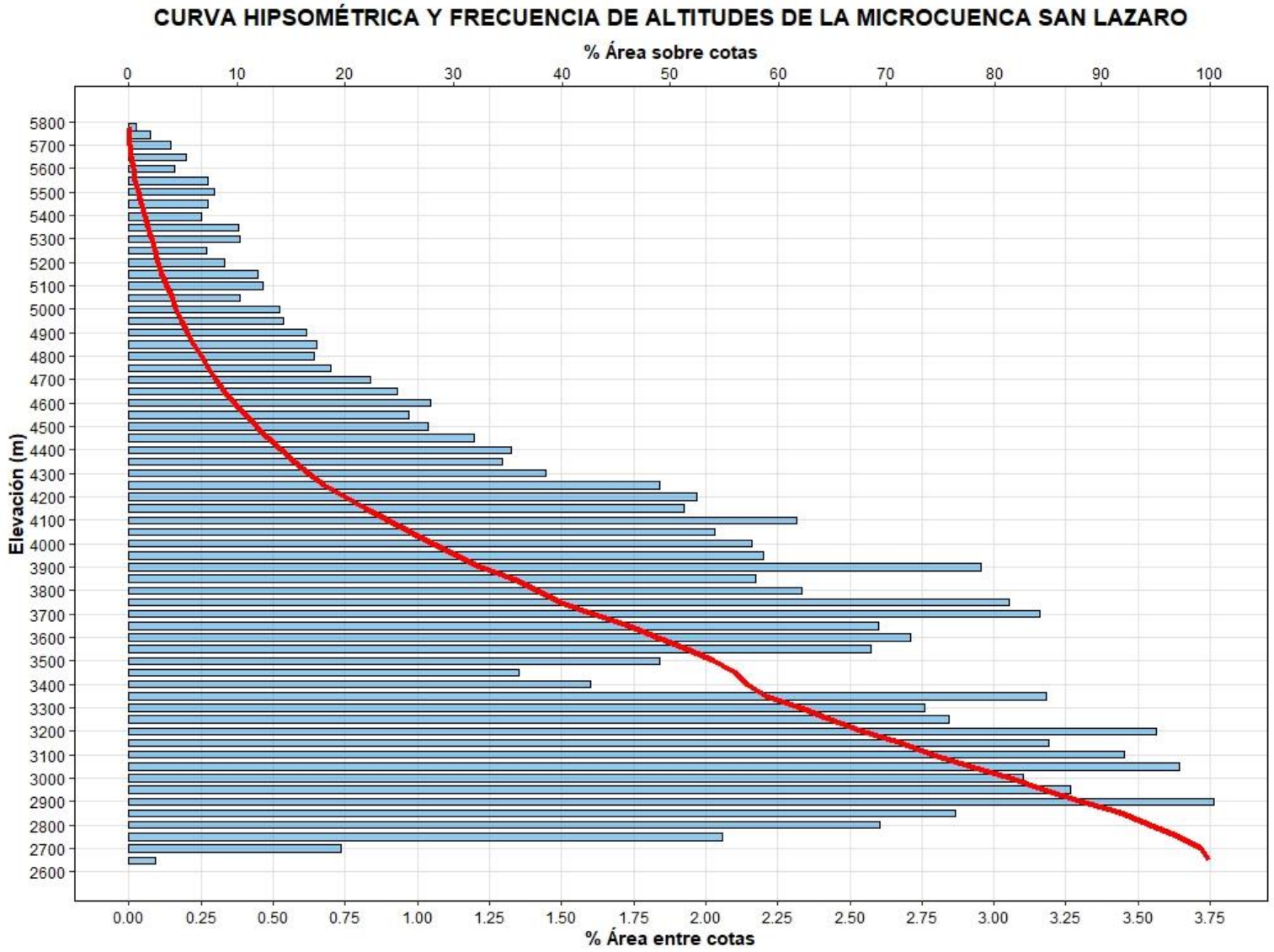


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Anexo 1. Curva hipsométrica y polígono de frecuencia de altitudes de las microcuencas.**

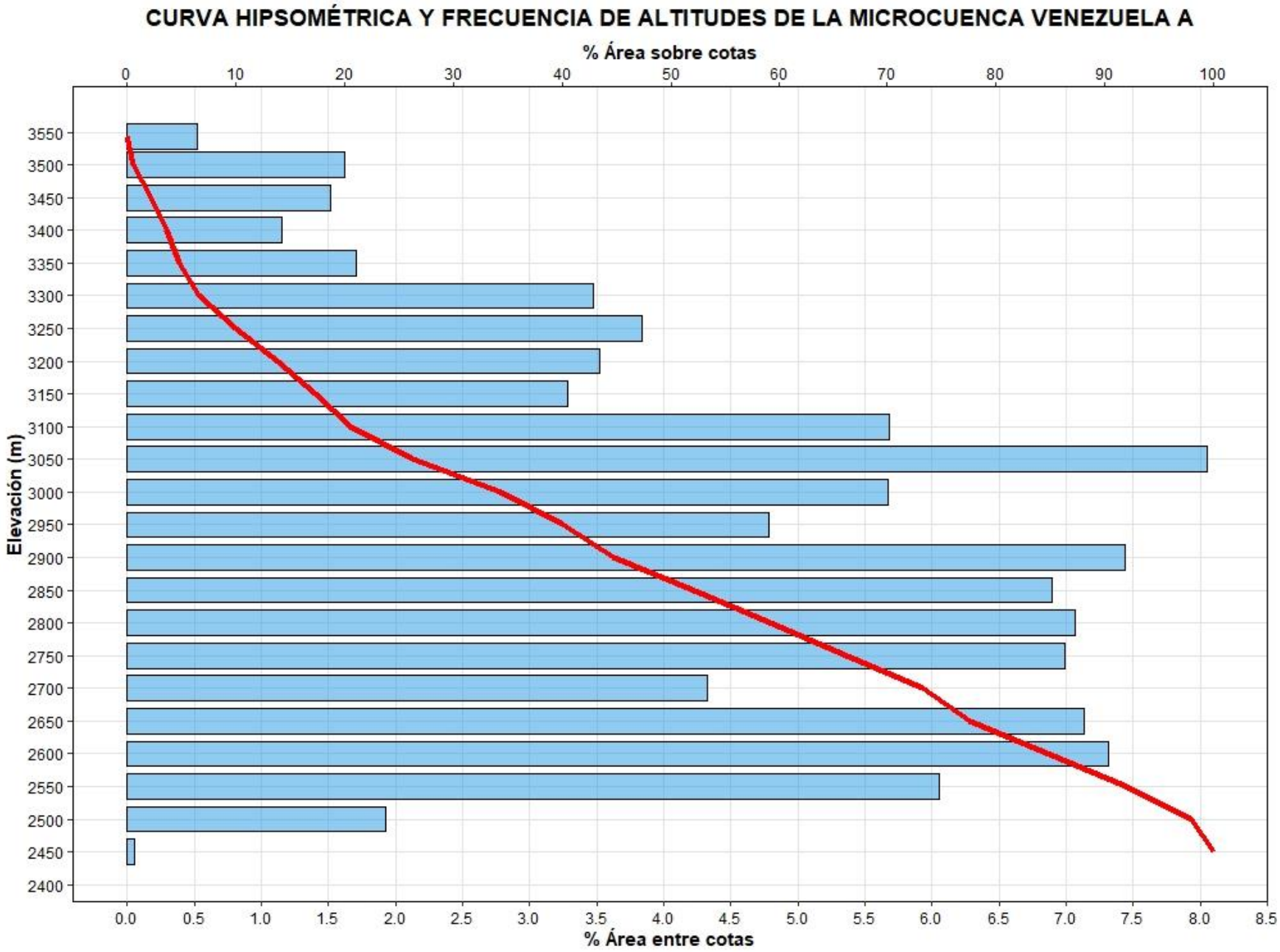





Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

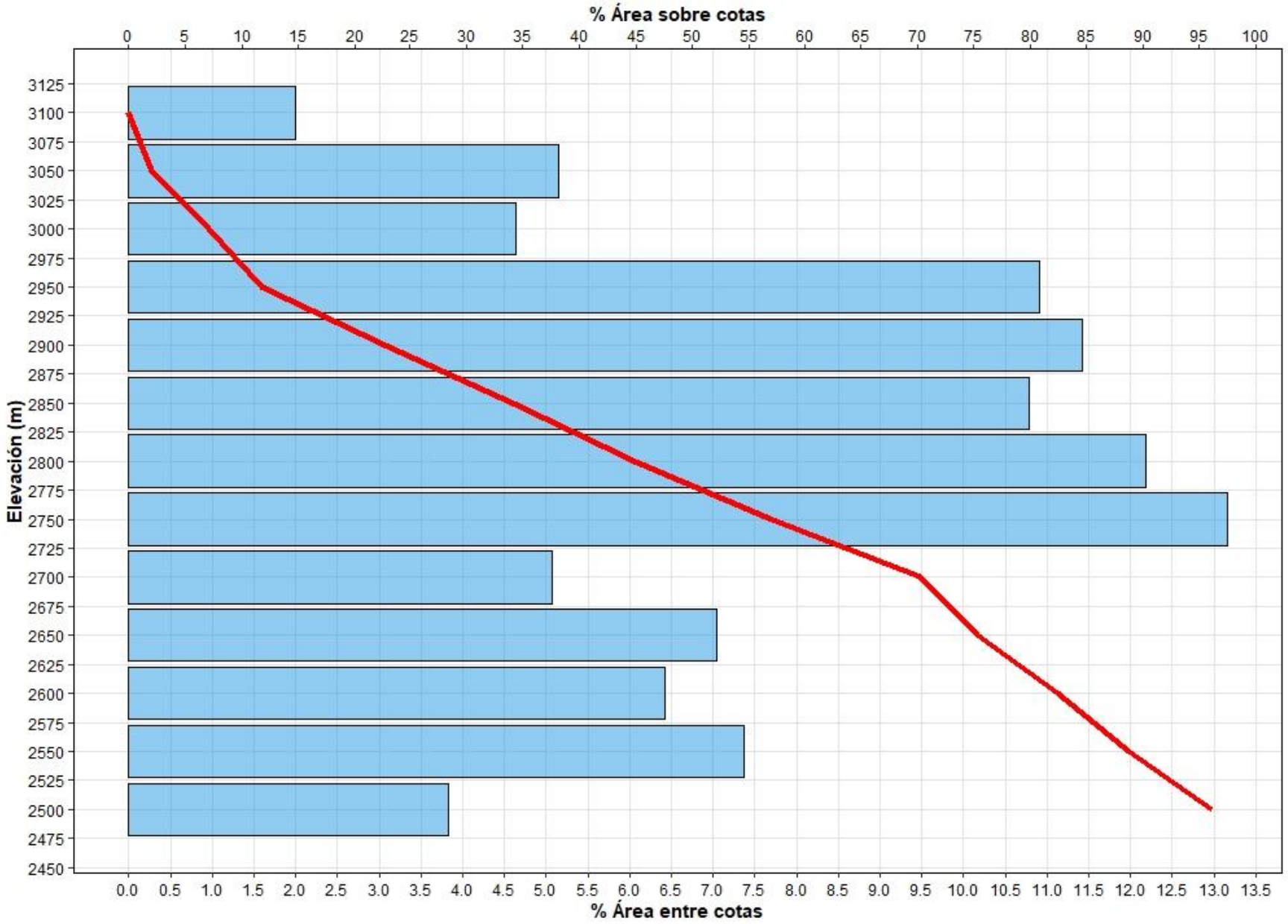



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

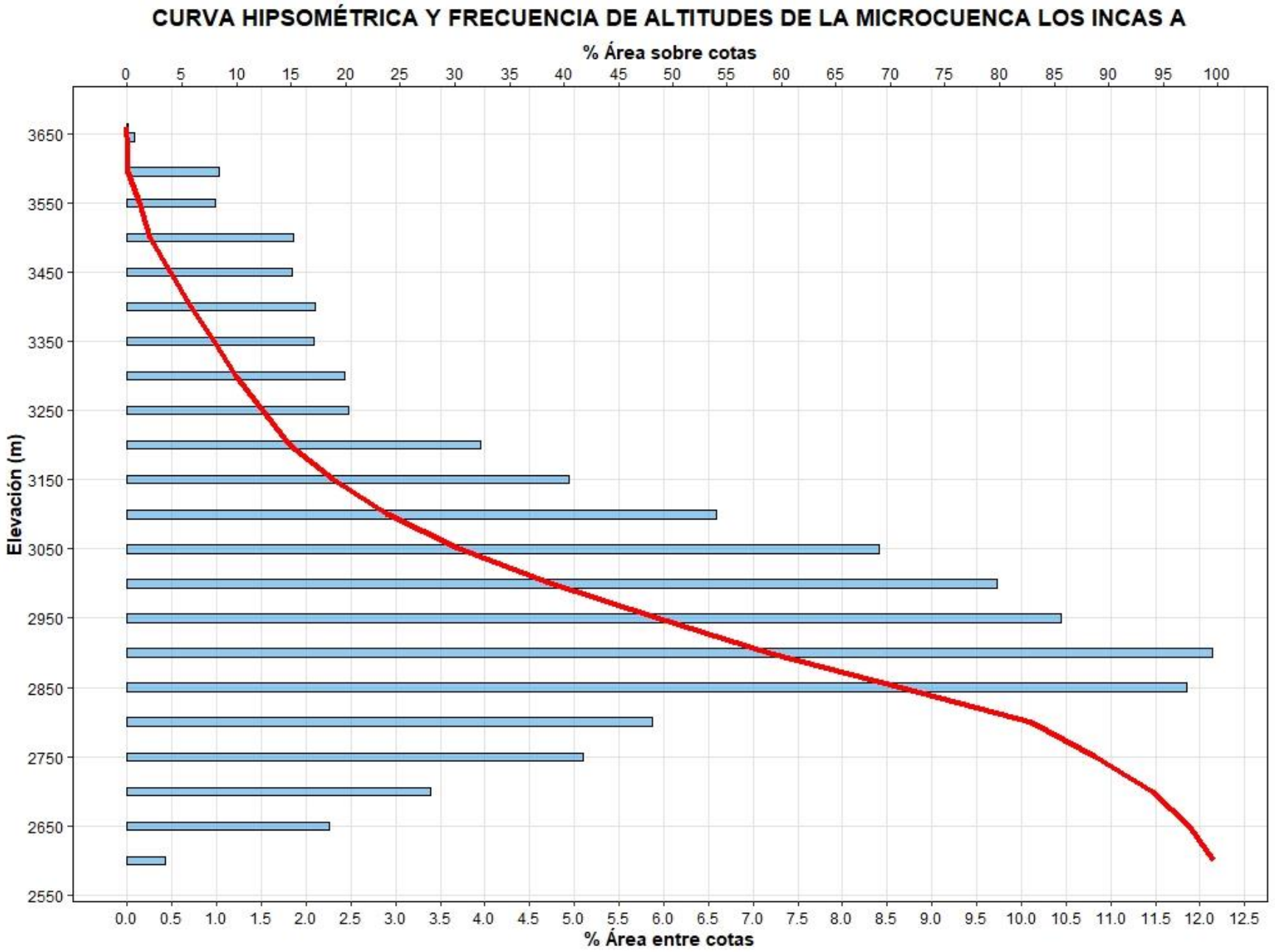
## CURVA HIPSOMÉTRICA Y FRECUENCIA DE ALTITUDES DE LA MICROCUENCA VENEZUELA B




Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

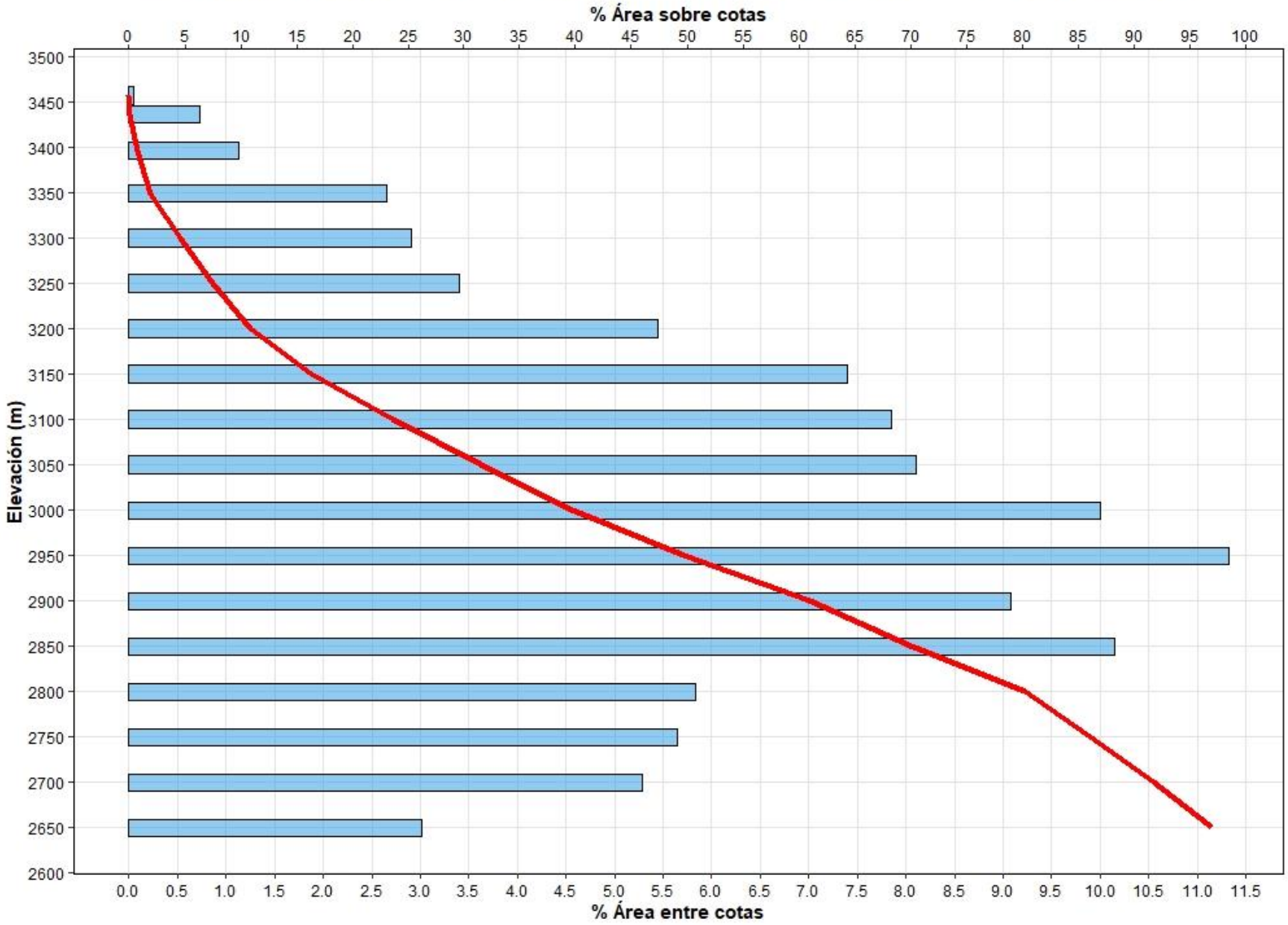



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

## CURVA HIPSOMÉTRICA Y FRECUENCIA DE ALTITUDES DE LA MICROCUENCA LOS INCAS B

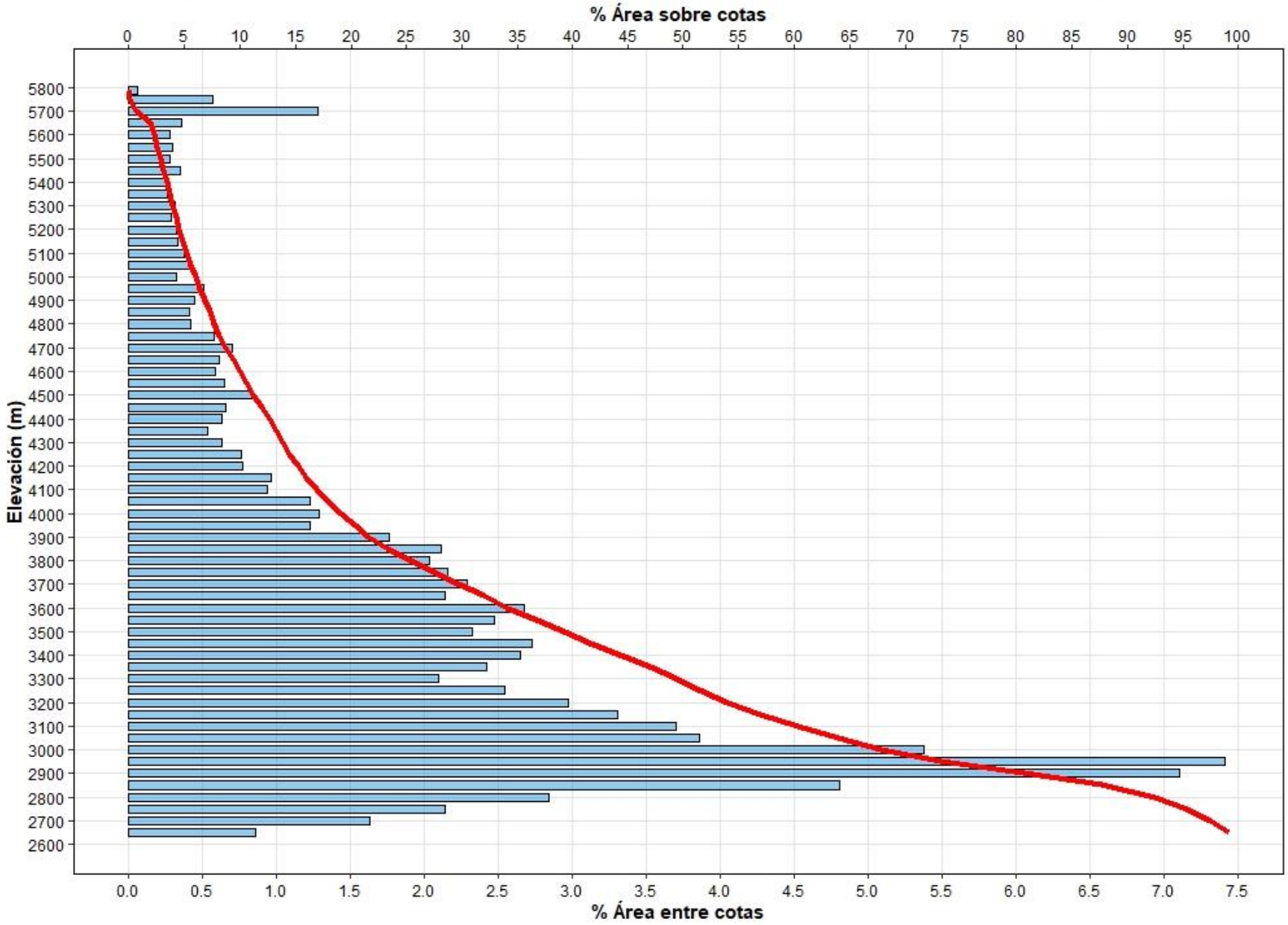



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

## CURVA HIPSOMÉTRICA Y FRECUENCIA DE ALTITUDES DE LA MICROCUENCA LOS INCAS C




Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Anexo 2. Registro de precipitación máxima de 24 horas de las estaciones.**

| ESTACION "LA PAMPILLA" | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **AÑO** | **ENE** | **FEB** | **MAR** | **ABR** | **MAY** | **JUN** | **JUL** | **AGO** | **SET** | **OCT** | **NOV** | **DIC** |
| **1961** | 0.00 | 32.50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| **1962** | 0.00 | 8.70 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| **1963** | 0.00 | 14.90 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| **1964** | 0.00 | 7.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| **1965** | 7.60 | 4.78 | 6.40 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.30 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| **1966** | 0.00 | 0.62 | 0.00 | 0.00 | 4.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.30 | 0.20 | 0.00 |
| **1967** | 20.40 | 25.20 | 0.00 | 0.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.20 |
| **1968** | 9.90 | 7.40 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.81 | 0.00 |
| **1969** | 5.34 | 0.63 | 2.88 | 2.70 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 6.60 |
| **1970** | 5.00 | 6.62 | 1.80 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.00 | 0.00 | 2.40 |
| **1971** | 3.10 | 4.60 | 0.20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 10.40 |
| **1972** | 11.90 | 21.30 | 16.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| **1973** | 22.10 | 19.40 | 6.90 | 0.20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.80 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| **1974** | 16.00 | 10.50 | 6.20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 8.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.50 |
| **1975** | 3.10 | 18.40 | 46.70 | 0.80 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.30 |
| **1976** | 24.00 | 8.70 | 5.30 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 3.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| **1977** | 6.60 | 6.80 | 9.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.10 | 0.00 | - |
| **1978** | 0.00 | 0.00 | 3.50 | 0.10 | 0.00 | 0.00 | 0.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 8.00 | 0.10 |
| **1979** | 0.30 | 0.30 | 10.90 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.10 | 0.10 | 4.60 | 0.10 |
| **1980** | 0.80 | 6.20 | 4.20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | - | 0.00 | 0.00 | 0.10 | 3.50 | 5.90 |
| **1981** | 3.00 | 5.40 | 4.00 | 3.50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| **1982** | 0.00 | 0.00 | 3.90 | 2.80 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.10 | 1.00 | 3.50 | 0.00 |
| **1983** | 0.00 | 0.00 | 0.40 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.50 |
| **1984** | 4.90 | 14.70 | 4.60 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.90 | 0.00 | 0.10 | 4.90 | 0.00 |
| **1985** | 3.60 | 15.30 | 5.90 | 2.10 | 0.00 | 0.90 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 9.50 |
| **1986** | 6.10 | 18.40 | 4.20 | 0.00 | 1.50 | 0.00 | 0.00 | 2.50 | 0.00 | 0.00 | 3.00 | 11.70 |
| **1987** | 19.00 | 4.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.20 | 0.00 | 0.00 | 0.50 | 0.00 | 0.00 |
| **1988** | 3.50 | 0.00 | 11.50 | 0.20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.90 |
| **1989** | 1.40 | 22.90 | 9.30 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| **1990** | 0.00 | 0.00 | 11.50 | 0.00 | 0.00 | 0.80 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.50 | 2.60 |
| **1991** | 5.50 | 0.20 | 7.70 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| **1992** | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 3.40 |
| **1993** | 13.50 | 2.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 3.10 | 0.00 | 1.80 | 0.00 | 0.00 |



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

| ESTACION "LA PAMPILLA" | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **AÑO** | **ENE** | **FEB** | **MAR** | **ABR** | **MAY** | **JUN** | **JUL** | **AGO** | **SET** | **OCT** | **NOV** | **DIC** |
| **1994** | 13.60 | 10.30 | 11.70 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.10 |
| **1995** | 28.00 | 0.00 | 21.60 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.30 | 0.00 |
| **1996** | 12.10 | 8.90 | 0.20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| **1997** | 11.20 | 33.40 | 23.20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 12.40 | 2.50 | 0.00 | 0.00 | 6.60 |
| **1998** | 9.50 | 1.90 | 0.00 | 1.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.40 |
| **1999** | 3.00 | 12.30 | 7.50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.30 | 0.00 | 1.50 |
| **2000** | 20.20 | 9.20 | 23.70 | 0.30 | 0.90 | 0.70 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.90 |
| **2001** | 4.90 | 14.50 | 30.00 | 1.80 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.60 | 0.00 | 0.00 |
| **2002** | 3.20 | 15.40 | 15.00 | 0.50 | 0.00 | 0.40 | 4.40 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 3.00 |
| **2003** | 5.50 | 0.80 | 2.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| **2004** | 8.40 | 8.10 | 0.40 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 3.90 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.30 |
| **2005** | 4.40 | 5.20 | 3.20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.70 | 0.00 | 0.00 | 4.40 |
| **2006** | 5.70 | 14.90 | 10.30 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.30 | 0.00 | 0.00 |
| **2007** | 7.50 | 7.90 | 0.00 | 2.20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.60 |
| **2008** | 25.50 | 5.40 | 0.90 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.70 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.30 |
| **2009** | 3.90 | 8.40 | 4.60 | 0.80 | 0.00 | 0.00 | 0.50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| **2010** | 0.80 | 4.70 | 0.50 | 0.40 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.50 |
| **2011** | 13.40 | 17.00 | 1.00 | 3.10 | 0.20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 5.00 |
| **2012** | 21.80 | 35.30 | 13.30 | 18.40 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.30 | 0.00 | 0.90 |
| **2013** | 16.10 | 124.50 | 6.40 | 0.00 | 2.00 | 0.70 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.40 |
| **2014** | 16.00 | 0.00 | 1.90 | 0.20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| **2015** | 11.00 | 28.40 | 12.80 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| **2016** | 0.00 | 28.00 | 0.90 | 7.30 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.10 |
| **2017** | 17.10 | 22.90 | 9.30 | 0.00 | 0.50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.30 | 0.00 | 0.20 | 4.70 |
| **2018** | 6.40 | 2.60 | 5.80 | 0.20 | 0.00 | 0.90 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.80 | 0.00 | 0.00 |
| **2019** | 12.10 | 14.50 | 6.30 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| **2020** | 29.10 | 43.40 | 24.30 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.20 | 0.00 | 9.50 |
| **2021** | 13.50 | 1.10 | 8.40 | 0.30 | 0.70 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.20 | 0.00 |

*Nota. Obtenido del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).*



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

| ESTACION "CHIGUATA" | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **AÑO** | **ENE** | **FEB** | **MAR** | **ABR** | **MAY** | **JUN** | **JUL** | **AGO** | **SET** | **OCT** | **NOV** | **DIC** |
| **1977** | 14.10 | 29.70 | 34.60 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 9.70 | 4.50 |
| **1978** | 12.80 | 3.20 | 0.90 | 0.50 | 0.00 | 0.00 | 1.40 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 7.40 | 0.00 |
| **1979** | 3.50 | 6.80 | 24.80 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 4.80 | 5.80 |
| **1980** | 1.30 | 10.20 | 12.40 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 10.40 |
| **1981** | 15.10 | 28.90 | 11.90 | 17.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.70 | 6.90 | 1.20 |
| **1982** | 7.50 | 5.80 | 9.20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | - | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| **1983** | 0.00 | 0.00 | 3.80 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.90 | 0.00 | 2.80 | 3.10 |
| **1984** | 10.70 | 21.00 | 14.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.40 | 0.00 |
| **1985** | 11.40 | 20.30 | 10.30 | 1.40 | 0.00 | - | 0.00 | - | 0.00 | 0.00 | 3.10 | 16.50 |
| **1986** | 20.00 | 17.00 | 8.20 | 0.00 | 0.80 | 0.00 | 0.50 | 8.60 | 0.00 | 2.70 | 0.00 | 37.90 |
| **1987** | 30.40 | 3.90 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.40 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| **1988** | 19.50 | 1.90 | 22.70 | 0.90 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 4.10 |
| **1989** | 8.50 | 32.20 | 10.20 | 1.30 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.40 | 0.00 |
| **1990** | 3.40 | 2.80 | 18.90 | 0.30 | 0.00 | 4.80 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 15.80 |
| **1991** | 5.30 | 3.50 | 13.50 | 3.60 | 0.00 | 7.40 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.10 | 0.00 | 0.00 |
| **1992** | 0.00 | 6.00 | 1.80 | 0.00 | 0.10 | 1.20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 4.30 | 0.00 | 5.20 |
| **1993** | 21.80 | 14.30 | 3.90 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 6.30 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.80 |
| **1994** | 35.30 | 21.20 | 15.00 | 2.50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.50 |
| **1995** | 26.00 | 0.00 | 48.80 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| **1996** | 15.90 | 10.20 | 2.60 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.90 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| **1997** | 14.90 | 44.00 | 28.50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 19.00 | 4.80 | 0.00 | 0.00 | 16.40 |
| **1998** | 10.40 | 12.60 | 3.90 | 1.40 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 6.40 |
| **1999** | 10.20 | 19.90 | 25.00 | 3.60 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 13.20 |
| **2000** | 14.30 | 22.10 | 36.20 | 1.40 | 0.40 | 0.60 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.20 |
| **2001** | 11.40 | 19.40 | 20.90 | 2.50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.60 |
| **2002** | 10.40 | 24.30 | 21.70 | 6.10 | 0.00 | 0.00 | 8.90 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 4.00 |
| **2003** | 8.40 | 2.50 | 9.20 | 0.00 | 0.30 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.30 |
| **2004** | 17.70 | 18.70 | 0.60 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 4.40 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.60 |
| **2005** | 11.10 | 13.00 | 7.70 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.30 | 0.00 | 0.00 | 8.40 |
| **2006** | 5.50 | 14.40 | 13.50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.30 | 0.00 | 0.80 |
| **2007** | 23.40 | 9.60 | 5.10 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.50 |
| **2008** | 20.70 | 14.60 | 4.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 5.50 |
| **2009** | 2.40 | 9.90 | 6.40 | 4.20 | 0.00 | 0.00 | 0.40 | 0.00 | 0.20 | 0.00 | 0.40 | 0.00 |
| **2010** | 3.30 | 9.70 | 2.90 | 2.60 | 0.30 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.70 |
| **2011** | 16.50 | 19.20 | 2.30 | 2.30 | 0.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 7.80 |

*Nota. Obtenido del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).*



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

| ESTACION "CHIGUATA" | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **AÑO** | **ENE** | **FEB** | **MAR** | **ABR** | **MAY** | **JUN** | **JUL** | **AGO** | **SET** | **OCT** | **NOV** | **DIC** |
| **2011** | 16.50 | 19.20 | 2.30 | 2.30 | 0.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 7.80 |
| **2012** | 25.30 | 39.30 | 36.60 | 16.50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.80 |
| **2013** | 28.50 | 18.00 | 21.50 | 0.00 | 2.90 | 1.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 5.60 |
| **2014** | 16.30 | 0.80 | 2.00 | 0.90 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| **2015** | 11.40 | 20.00 | 14.30 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| **2016** | 0.00 | 17.20 | 2.50 | 7.50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| **2017** | - | - | - | 0.00 | 1.60 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.40 | 0.00 |
| **2018** | 13.90 | 19.80 | 16.40 | 1.40 | 0.00 | 0.20 | 1.90 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| **2019** | 42.60 | 34.20 | 7.70 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.70 | 0.00 | 11.80 |
| **2020** | 16.60 | 45.50 | 26.70 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 16.70 |
| **2021** | 18.20 | 4.70 | 7.80 | 3.20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.80 | 2.40 |

*Nota. Obtenido del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).*



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Anexo 3. Ajuste de precipitación y prueba de bondad de ajuste de las estaciones.**

| ESTACION "LA PAMPILLA" | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Kolmogorov-Smirnov test** | **a=1%** | **a=5%** | **a=10%** | **Attained** | **DMax** |
| **Normal** | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 45.07% | 0.13145 |
| **Normal (L-Moments)** | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 45.18% | 0.13134 |
| **LogNormal** | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 67.39% | 0.10999 |
| **Galton** | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 95.47% | 0.07738 |
| **Exponential** | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 22.88% | 0.15974 |
| **Exponential (L-Moments)** | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 57.63% | 0.11907 |
| **Gamma** | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 99.56% | 0.06171 |
| **Pearson III** | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 96.50% | 0.07503 |
| **Log Pearson III** | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 24.47% | 0.15718 |
| **EV1-Max (Gumbel)** | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 99.34% | 0.06374 |
| **EV2-Max** | ACCEPT | REJECT | REJECT | 1.68% | 0.23859 |
| **EV1-Min (Gumbel)** | ACCEPT | ACCEPT | REJECT | 6.55% | 0.2014 |
| **EV3-Min (Weibull)** | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 98.40% | 0.06905 |
| **GEV-Max** | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 96.54% | 0.07491 |
| **GEV-Min** | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 97.59% | 0.07197 |
| **Pareto** | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 46.14% | 0.13034 |
| **GEV-Max (L-Moments)** | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 99.61% | 0.06114 |
| **GEV-Min (L-Moments)** | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 99.55% | 0.06186 |
| **EV1-Max (Gumbel, L-Moments)** | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 99.60% | 0.06121 |
| **EV2-Max (L-Momments)** | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 18.54% | 0.16747 |
| **EV1-Min (Gumbel, L-Moments)** | ACCEPT | ACCEPT | REJECT | 6.46% | 0.20178 |
| **EV3-Min (Weibull, L-Moments)** | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 98.70% | 0.06768 |
| **Pareto (L-Moments)** | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 74.07% | 0.10372 |
| **GEV-Max (kappa specified)** | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 64.50% | 0.11266 |
| **GEV-Min (kappa specified)** | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 20.31% | 0.16417 |
| **GEV-Max (kappa specified, L-Moments)** | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 94.21% | 0.07984 |
| **GEV-Min (kappa specified, L-Moments)** | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 20.34% | 0.1641 |

*Nota. Obtenido mediante el software Hydrognomon.*



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

| ESTACION "CHIGUATA" | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Kolmogorov-Smirnov test** | **a=1%** | **a=5%** | **a=10%** | **Attained** | **DMax** |
| **Gamma** | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 99.62% | 0.06103 |
| **Normal** | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 58.15% | 0.11858 |
| **Normal (L-Moments)** | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 58.28% | 0.11846 |
| **LogNormal** | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 88.06% | 0.08892 |
| **Galton** | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 92.02% | 0.08349 |
| **Exponential** | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 60.66% | 0.11623 |
| **Exponential (L-Moments)** | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 39.31% | 0.1377 |
| **Pearson III** | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 92.82% | 0.08223 |
| **Log Pearson III** | ACCEPT | ACCEPT | REJECT | 8.38% | 0.19389 |
| **EV1-Max (Gumbel)** | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 99.34% | 0.06373 |
| **EV2-Max** | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 19.29% | 0.16604 |
| **EV1-Min (Gumbel)** | ACCEPT | ACCEPT | REJECT | 9.86% | 0.18876 |
| **EV3-Min (Weibull)** | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 97.39% | 0.07258 |
| **GEV-Max** | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 94.56% | 0.0792 |
| **GEV-Min** | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 95.06% | 0.07822 |
| **Pareto** | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 19.31% | 0.166 |
| **GEV-Max (L-Moments)** | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 99.40% | 0.06327 |
| **GEV-Min (L-Moments)** | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 99.39% | 0.06331 |
| **EV1-Max (Gumbel, L-Moments)** | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 99.60% | 0.0612 |
| **EV2-Max (L-Momments)** | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 24.94% | 0.15645 |
| **EV1-Min (Gumbel, L-Moments)** | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 10.50% | 0.18676 |
| **EV3-Min (Weibull, L-Moments)** | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 97.79% | 0.07132 |
| **Pareto (L-Moments)** | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 23.76% | 0.15831 |
| **GEV-Max (kappa specified)** | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 61.40% | 0.11554 |
| **GEV-Min (kappa specified)** | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 29.52% | 0.14981 |
| **GEV-Max (kappa specified, L-Moments)** | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 82.93% | 0.09482 |
| **GEV-Min (kappa specified, L-Moments)** | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 29.75% | 0.1495 |

*Nota. Obtenido mediante el software Hydrognomon.*

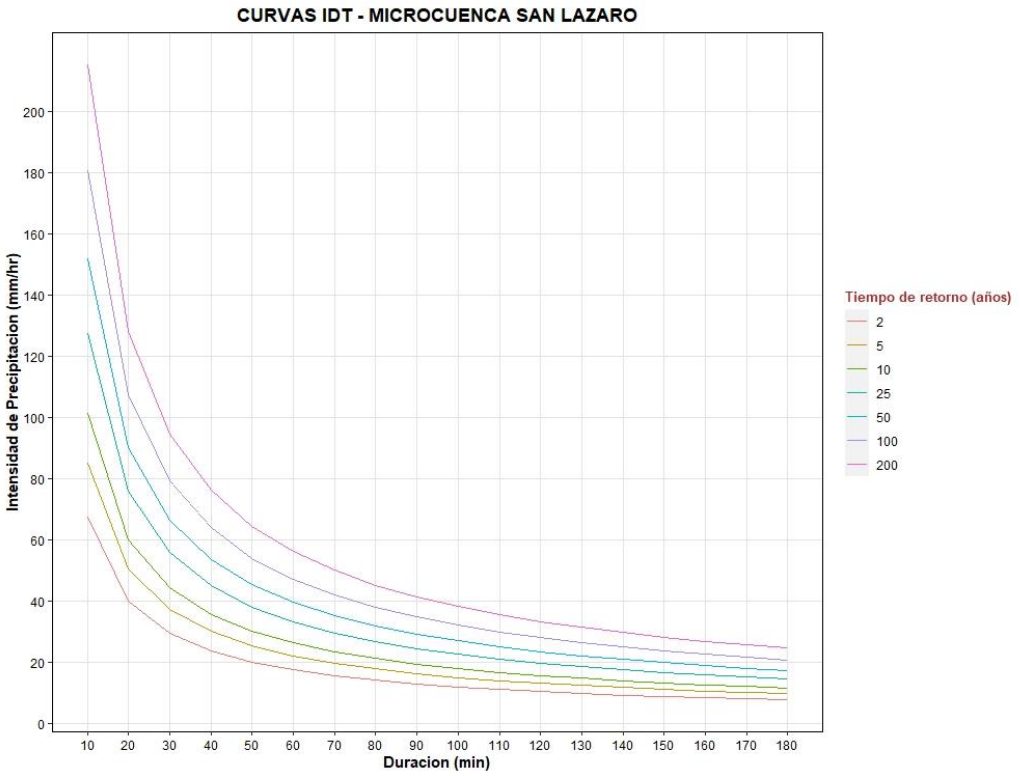


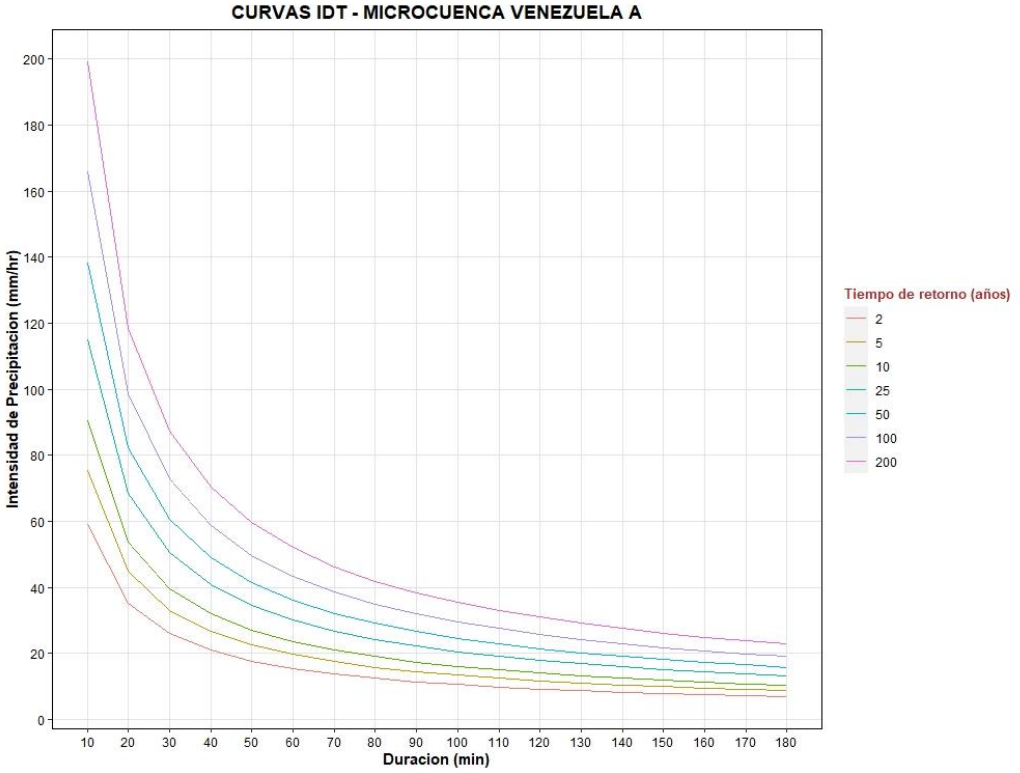
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Anexo 4. Curvas IDT de las microcuencas con el registro de las estaciones pluviométricas.**



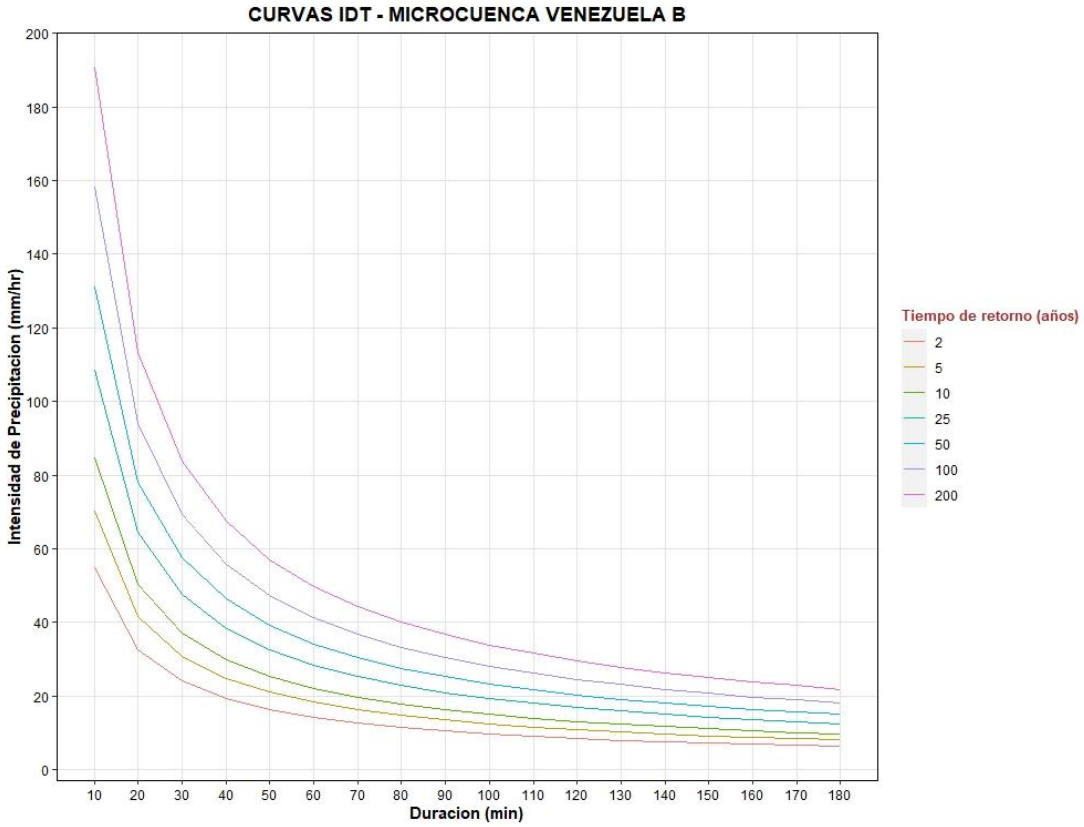



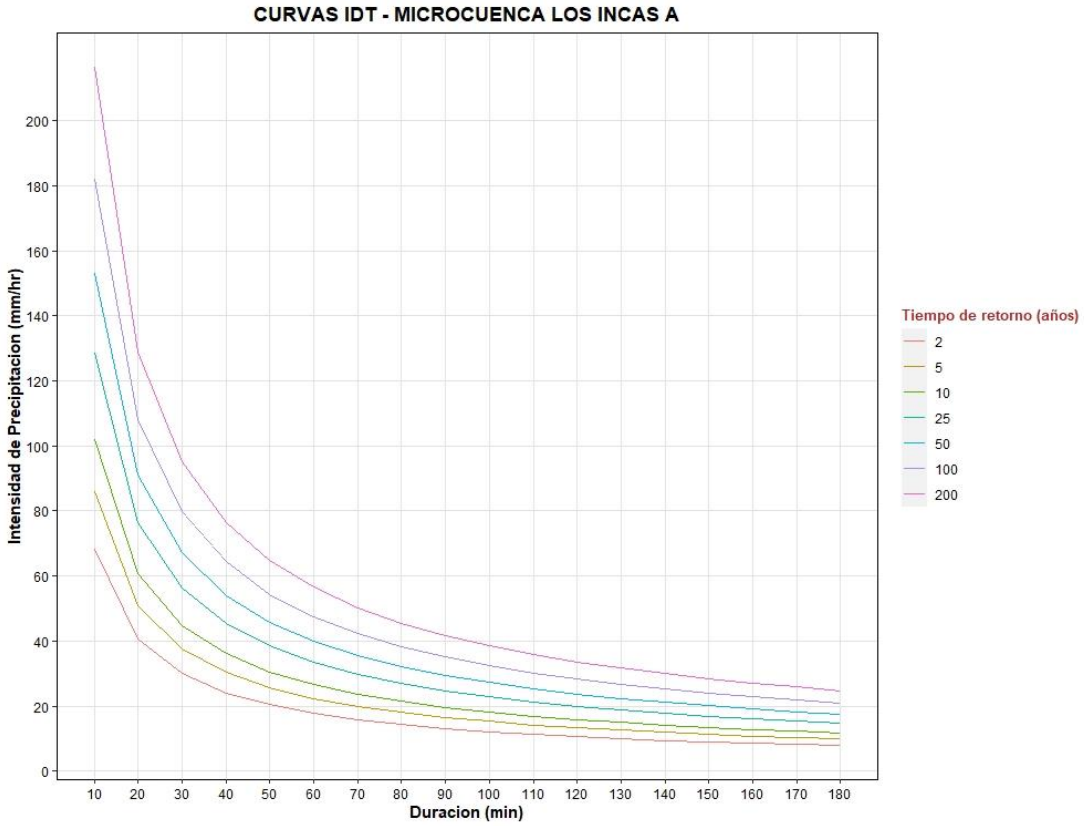



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



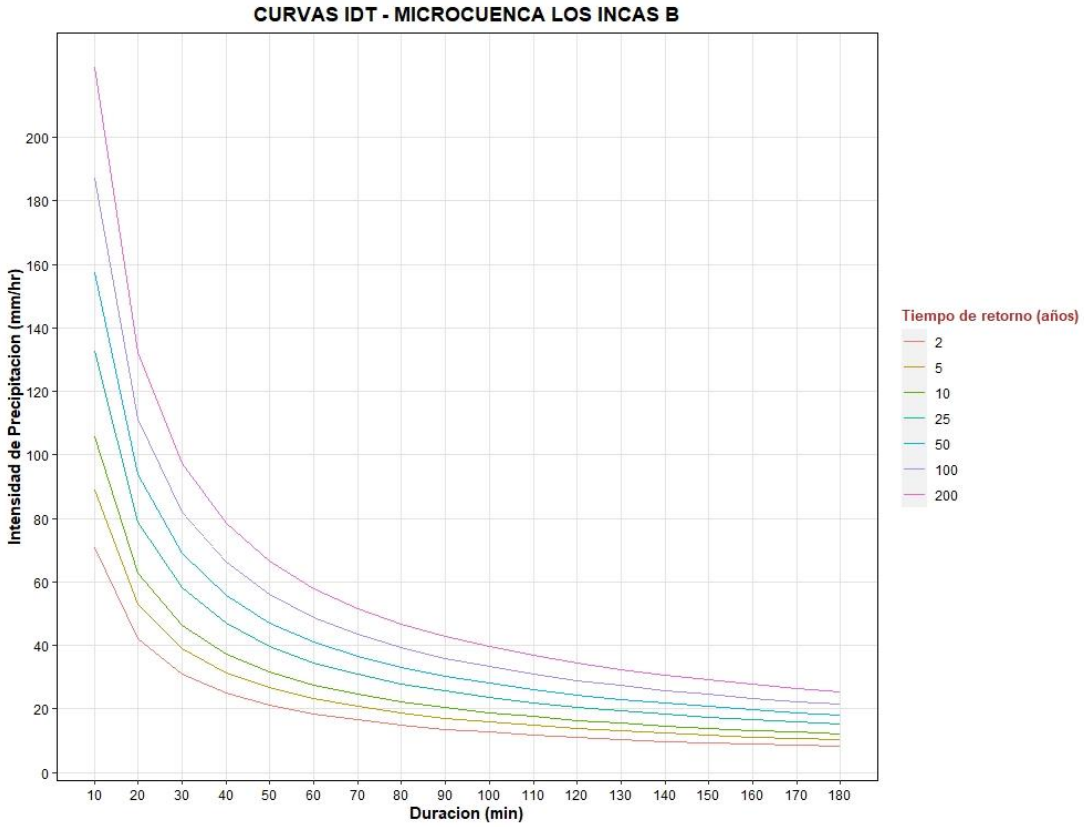



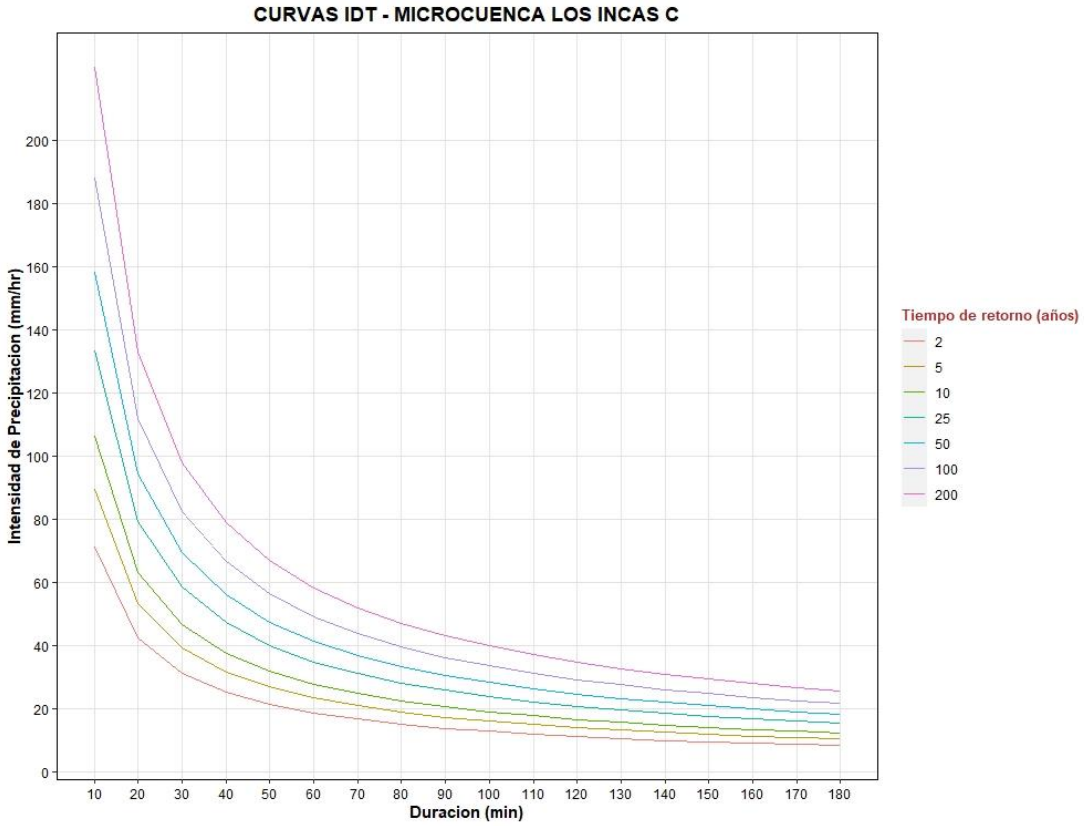



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA





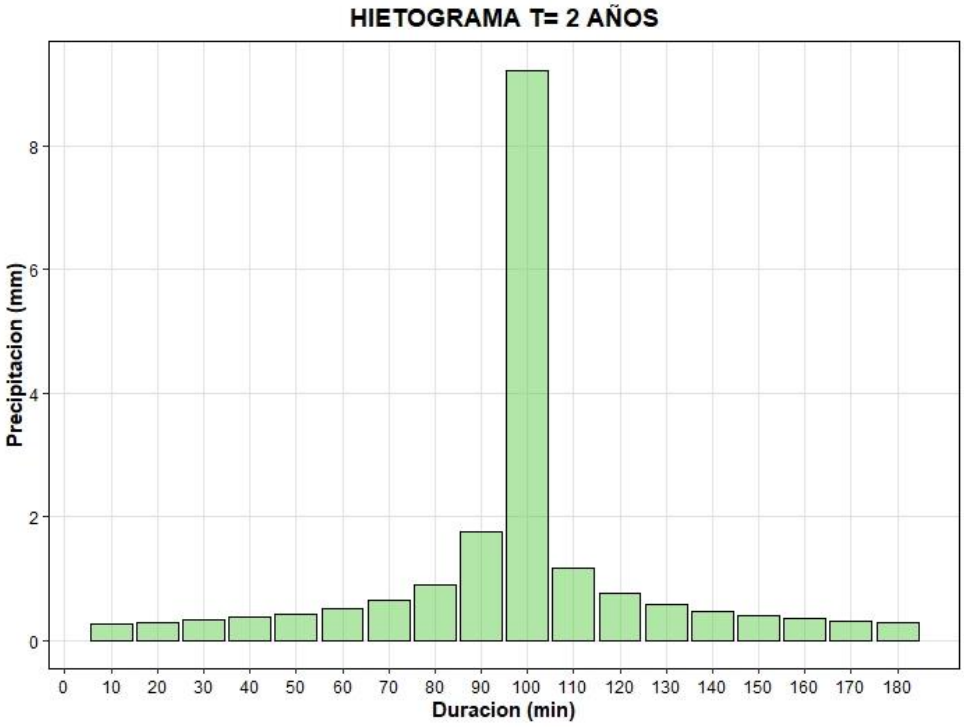

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

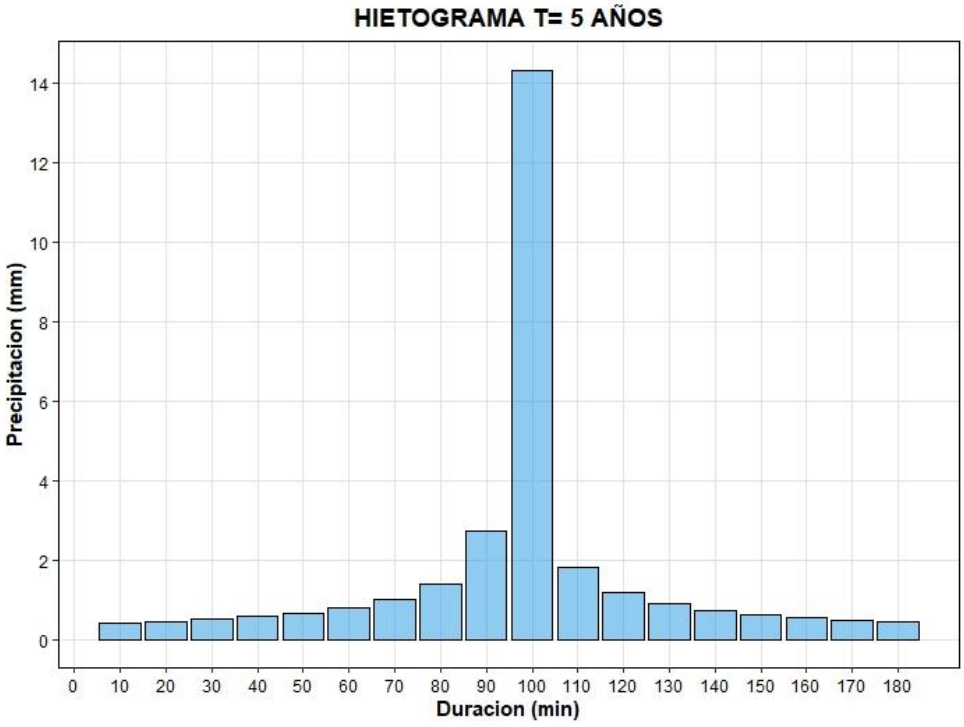
REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Anexo 5. Hietogramas para diferentes periodos de retorno por cada microcuenca.**

**Anexo 5.1. Microcuenca "Del Pato"**



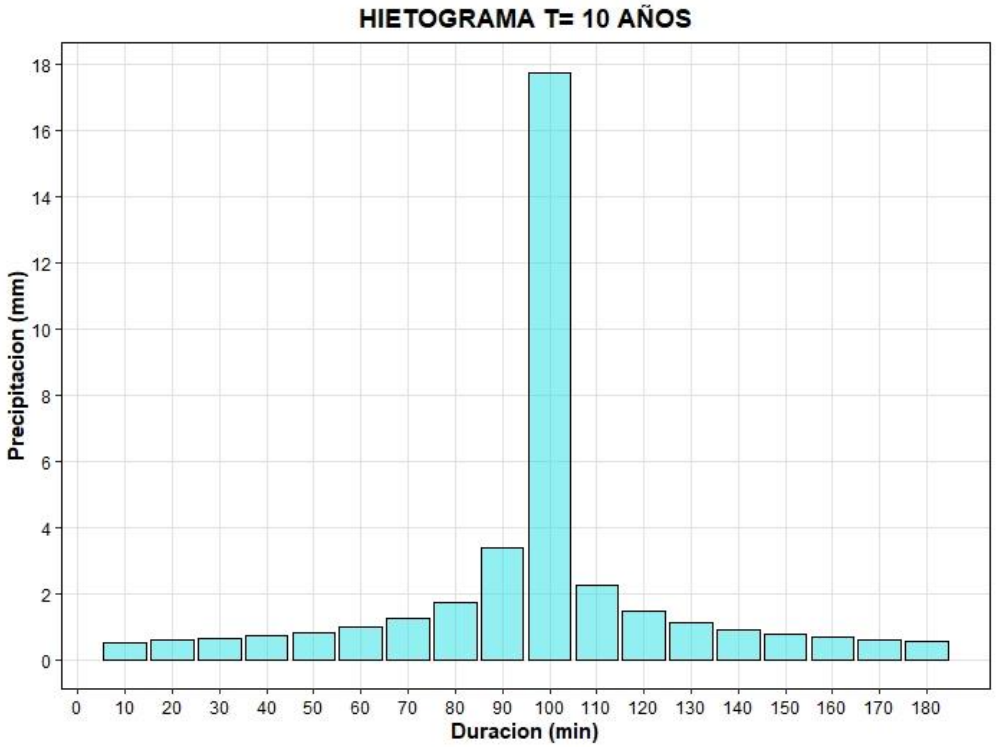



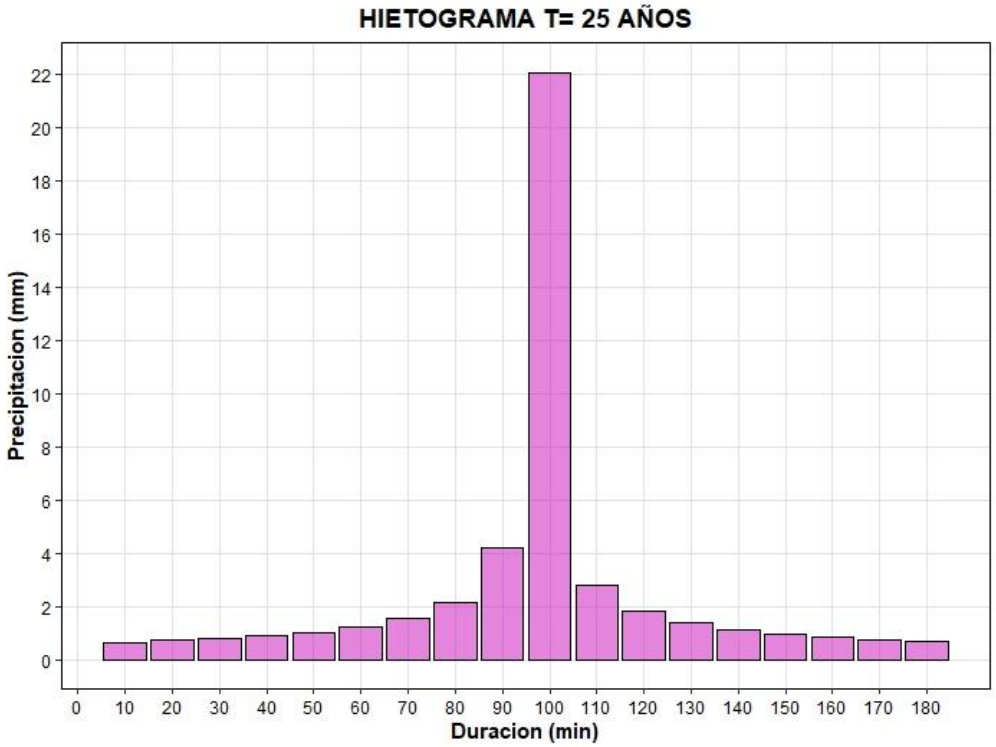



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



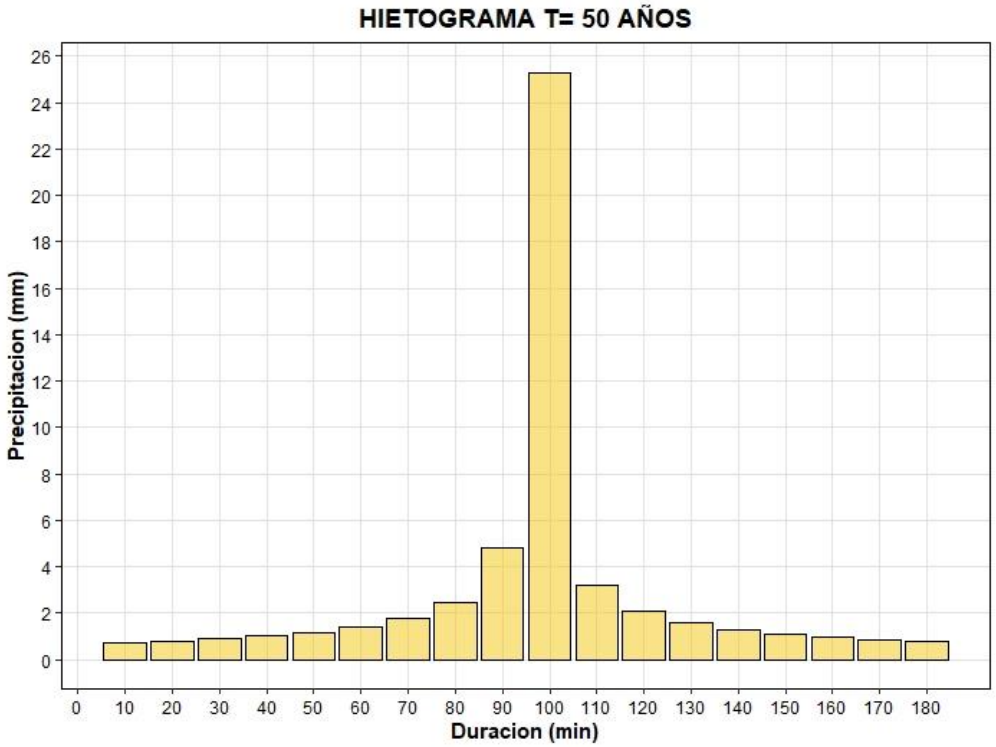



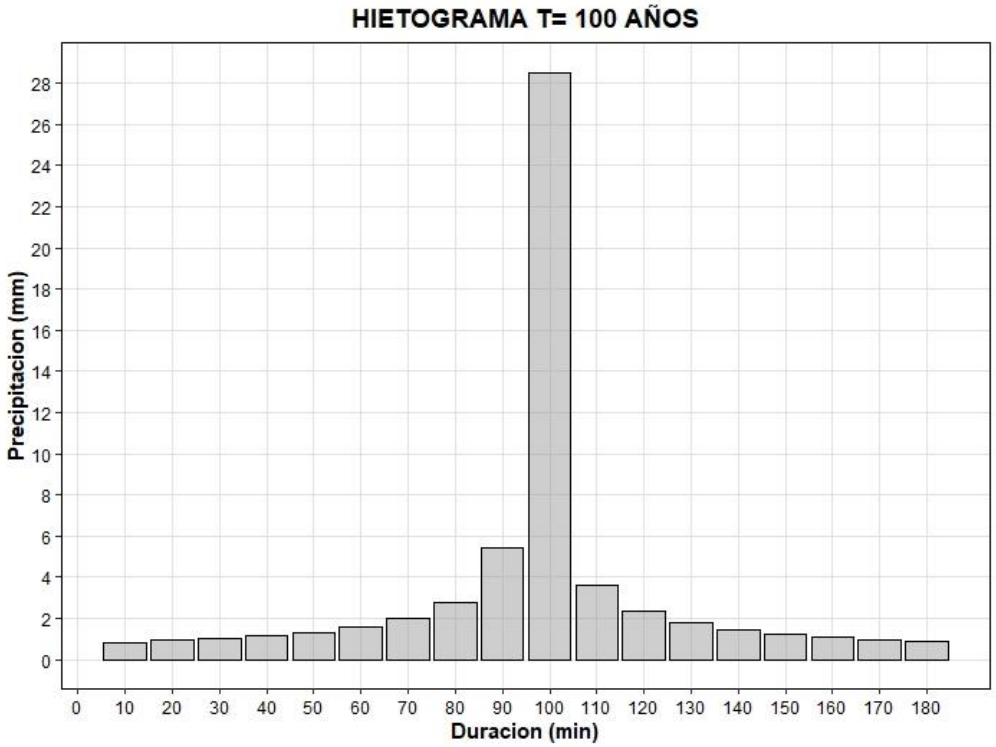



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



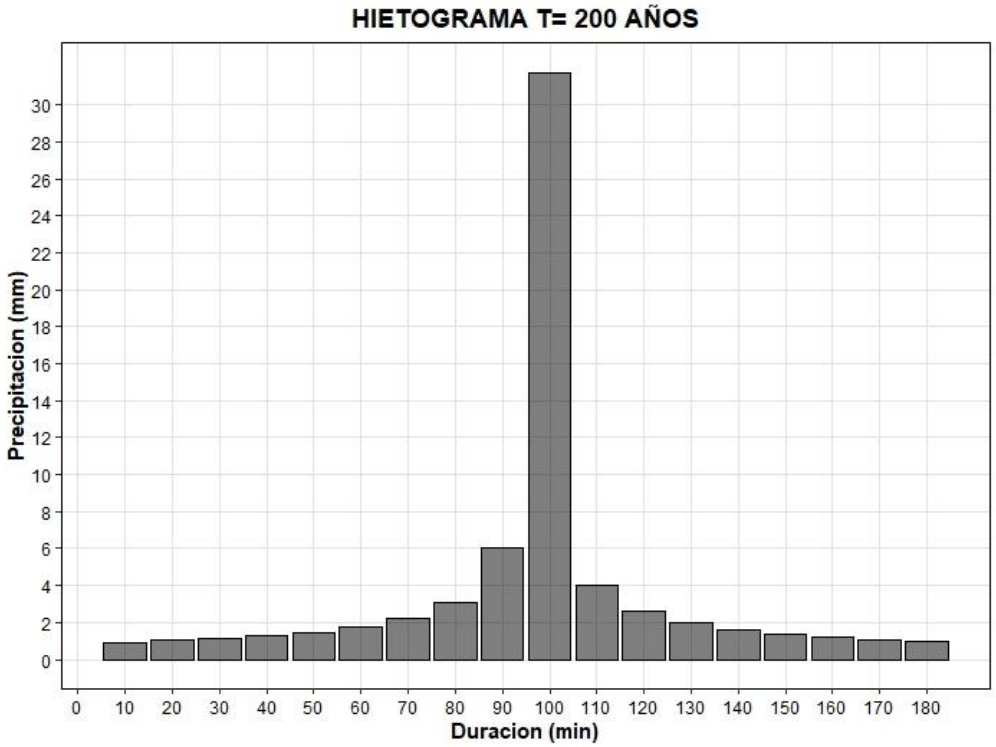





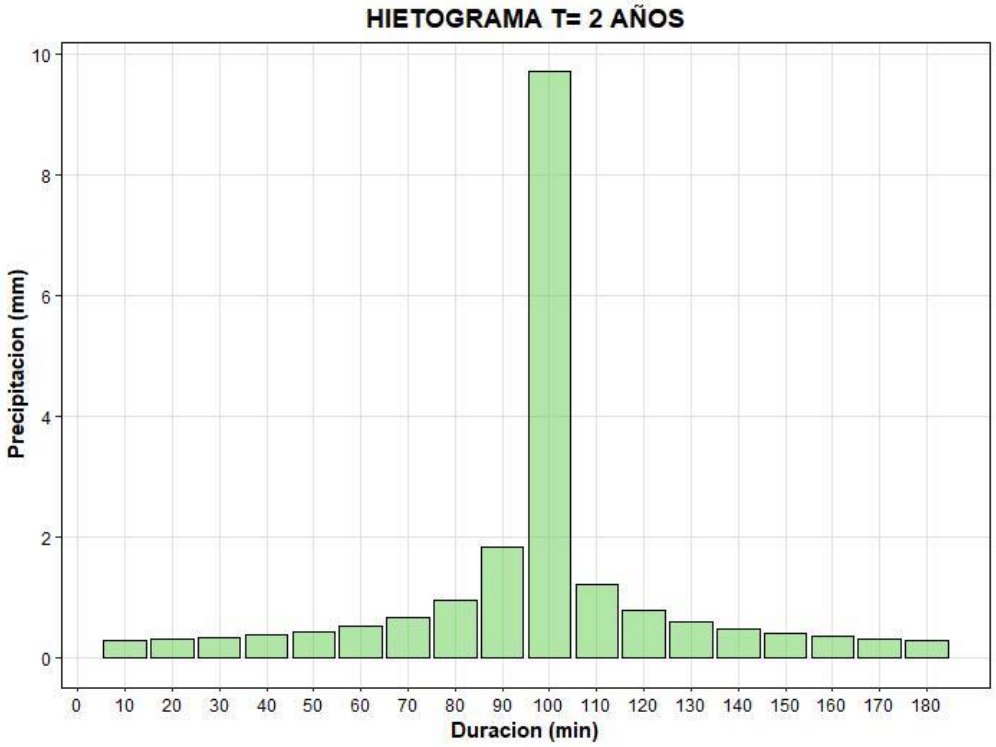

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA




**Anexo 5.2. Microcuenca "San Lázaro"**

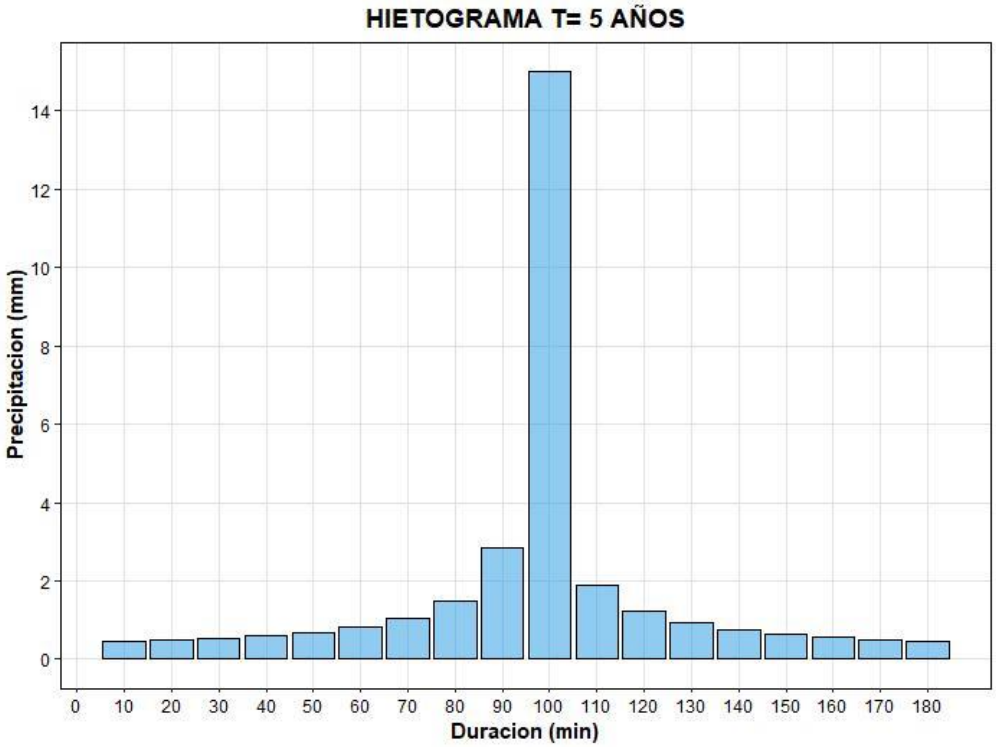


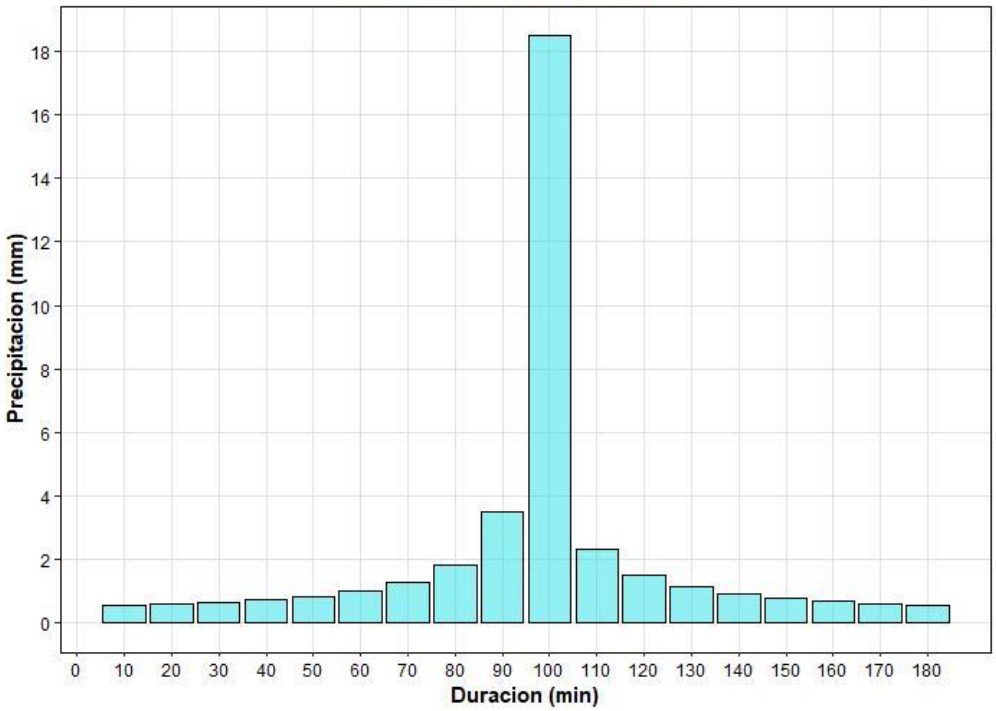



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



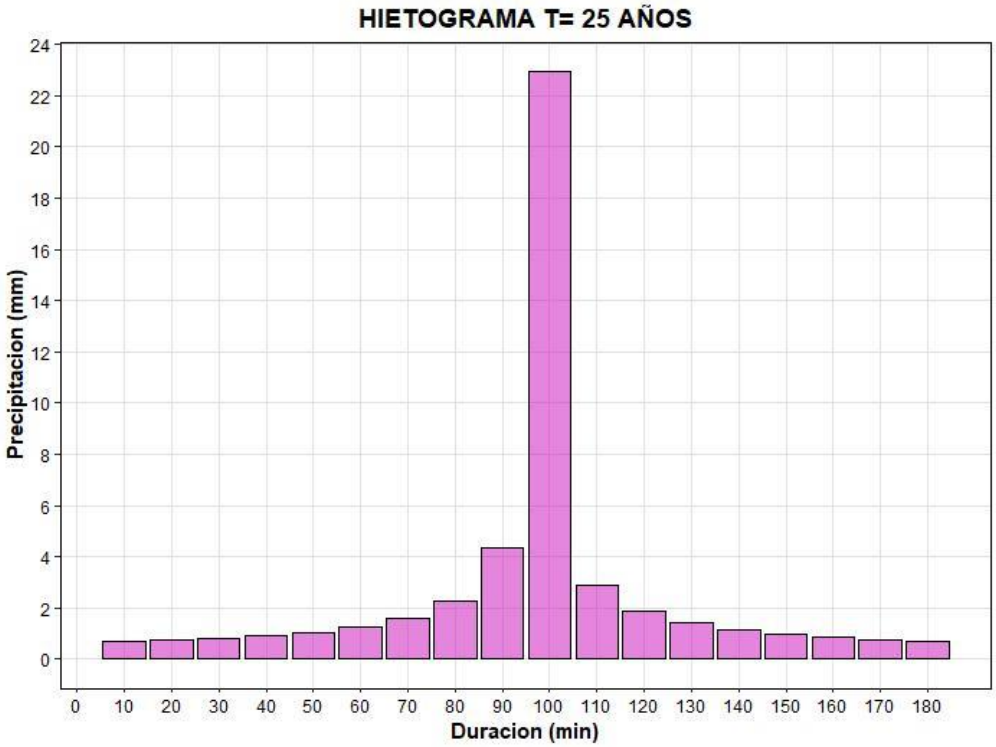



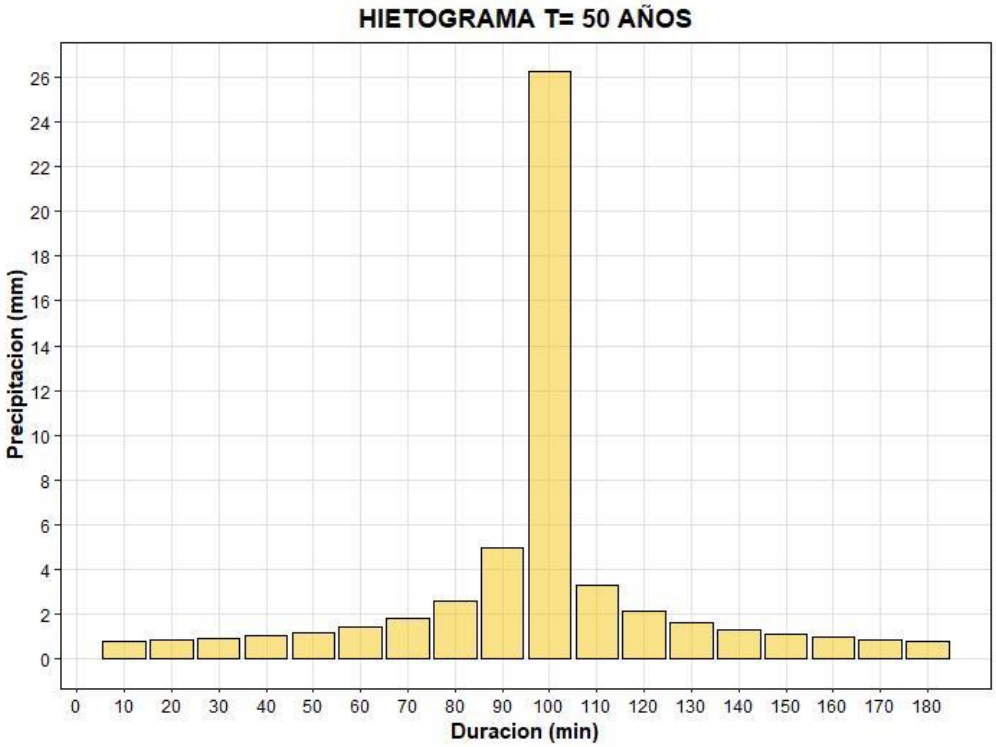



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



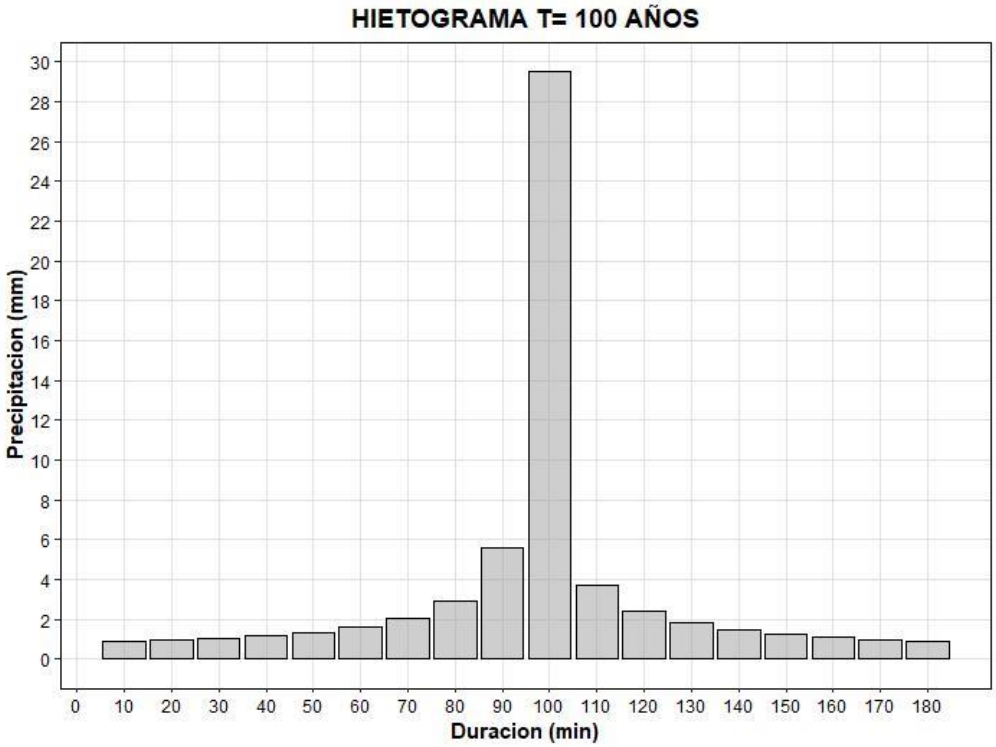



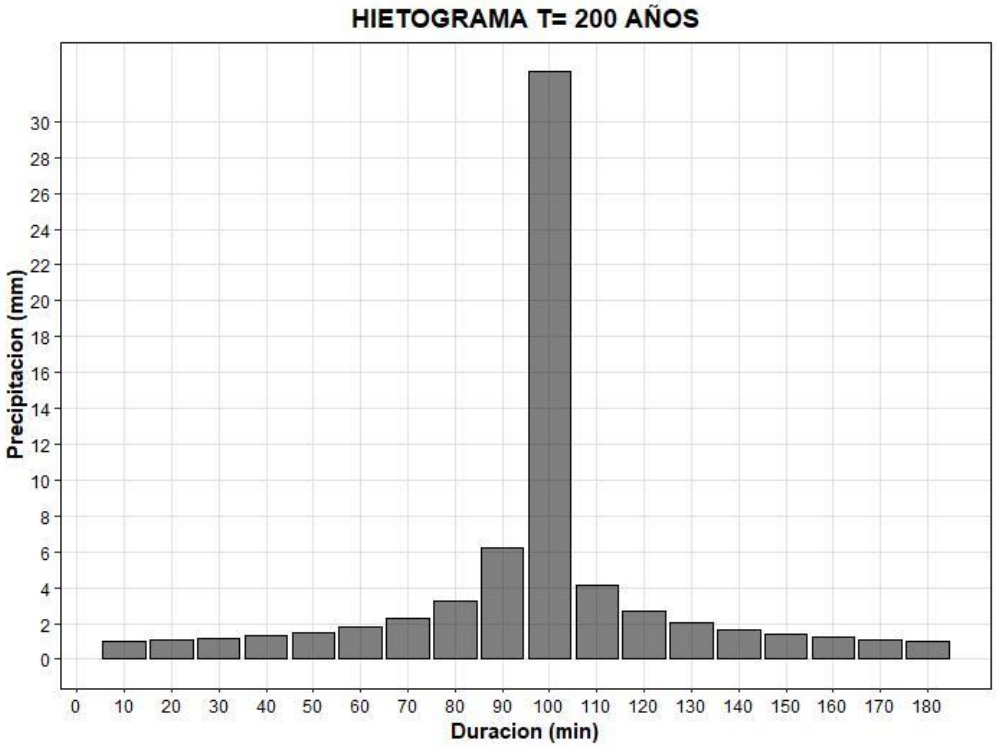



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



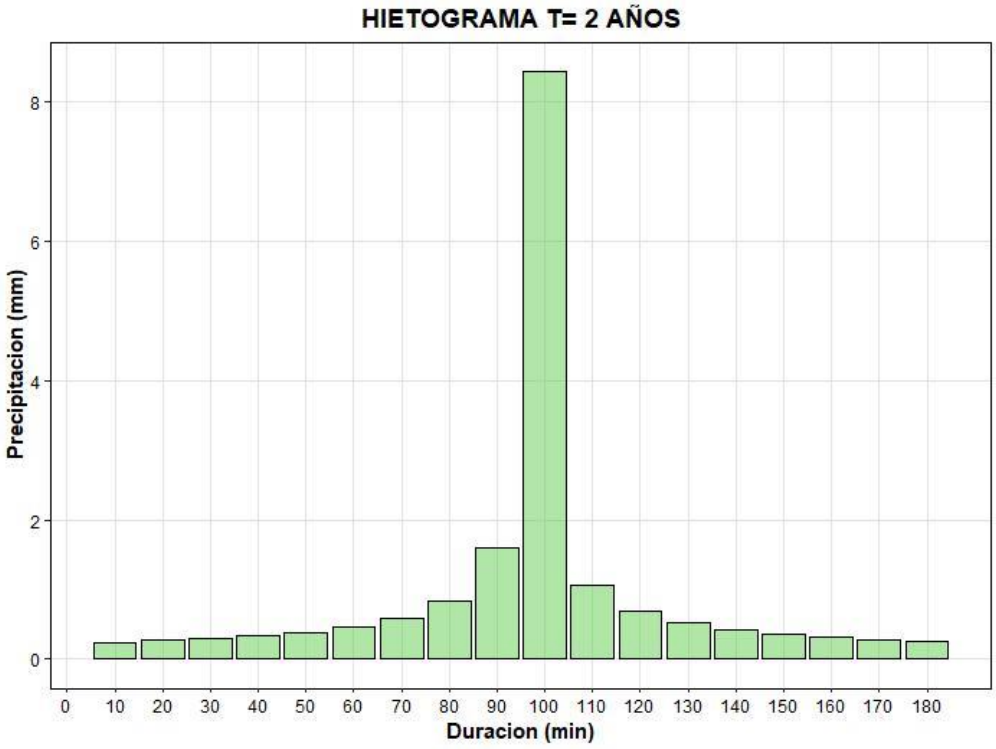


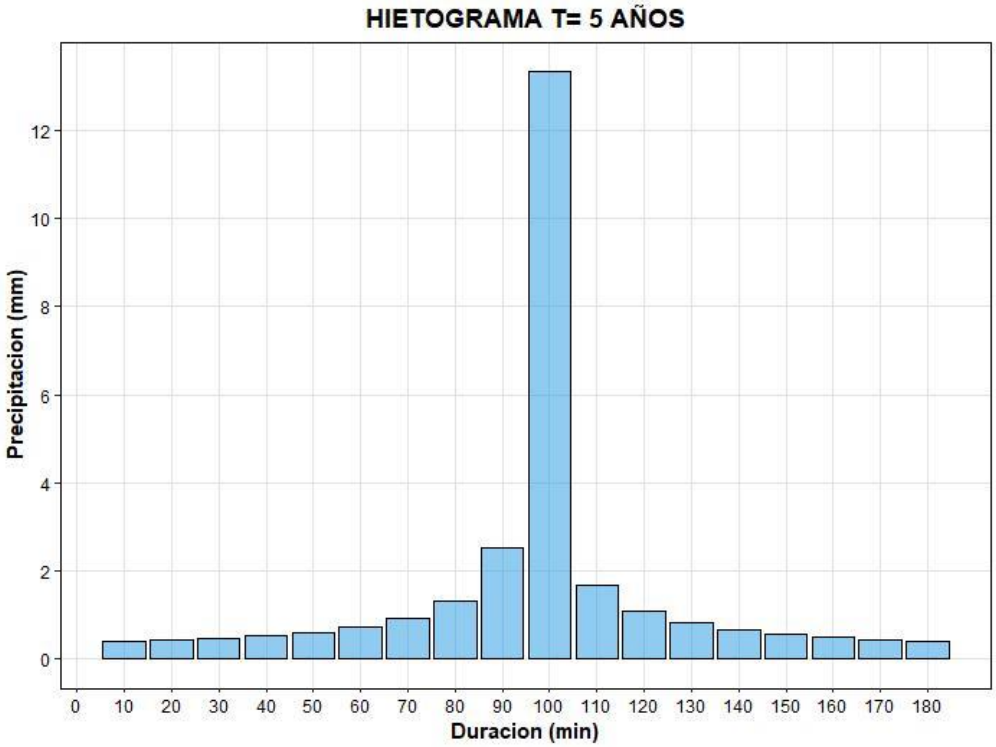

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Anexo 5.3. Microcuenca "Venezuela - A"**



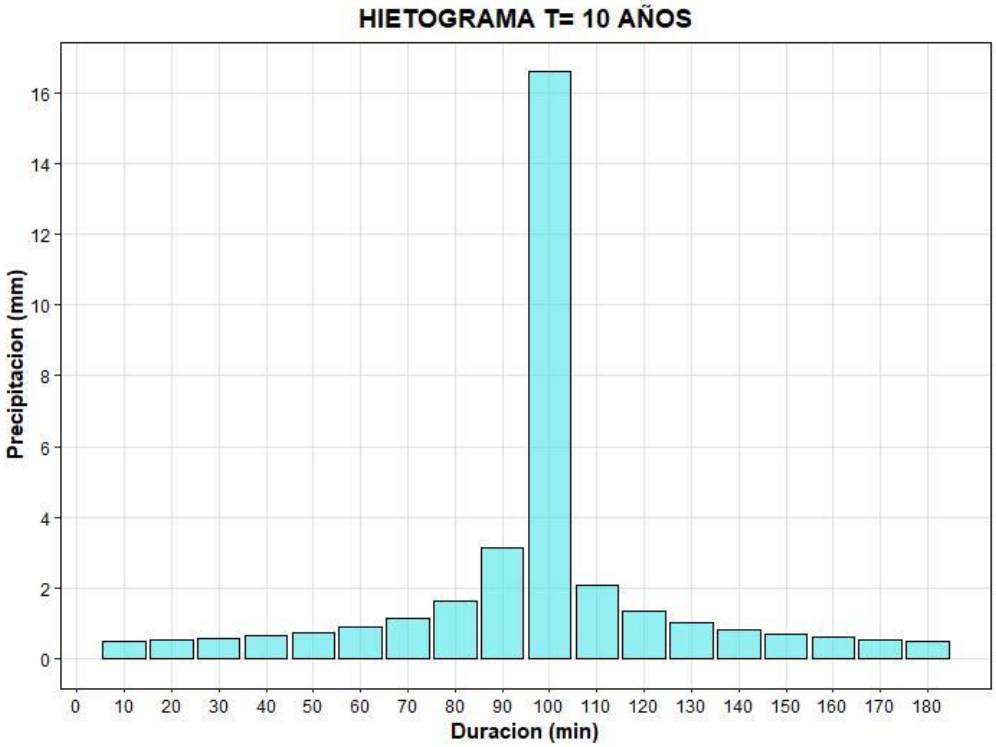



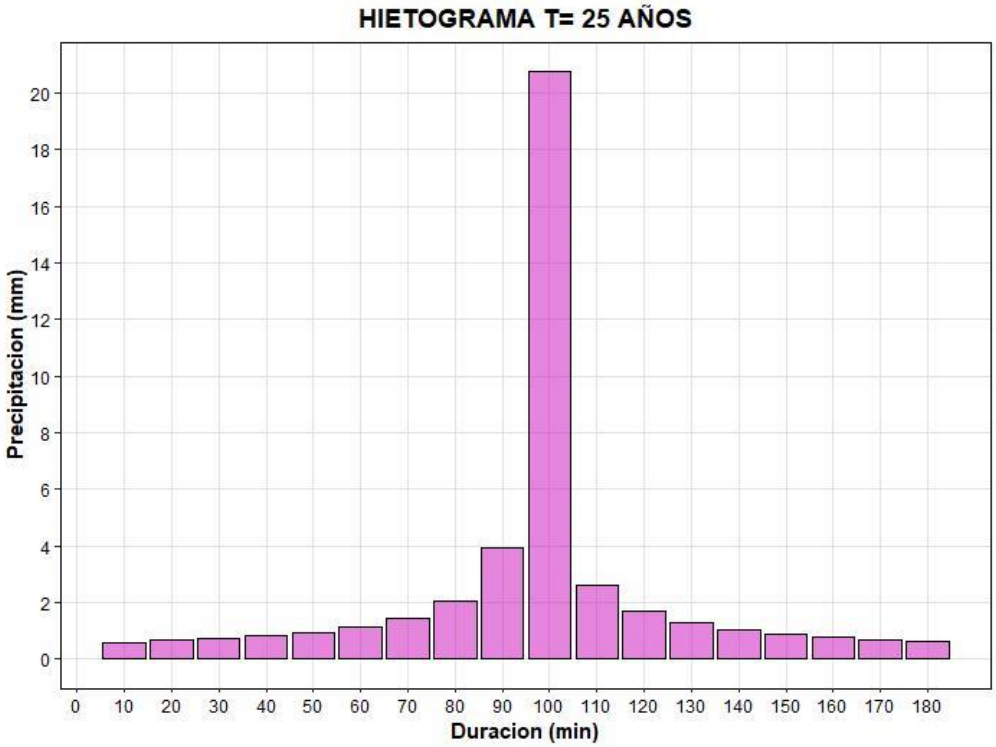



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



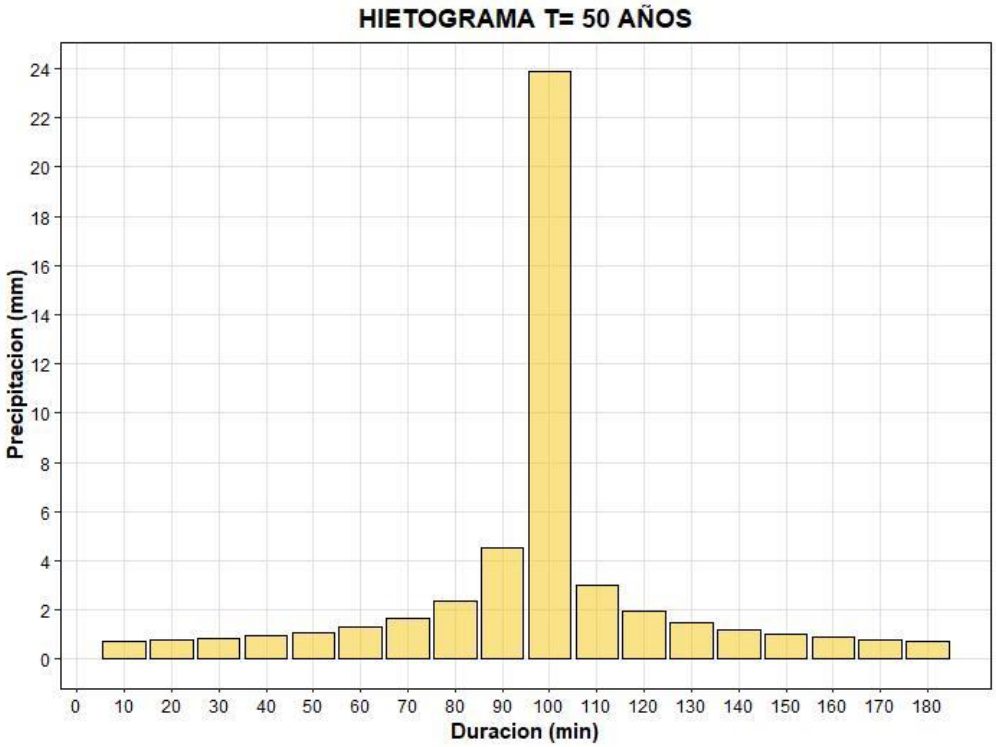



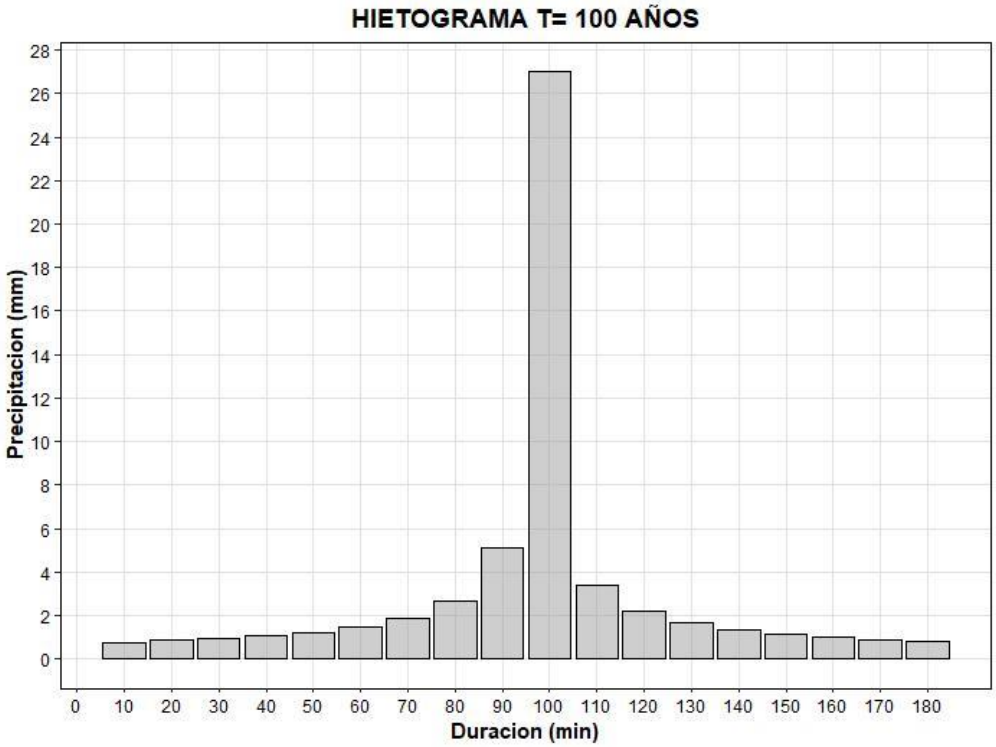



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



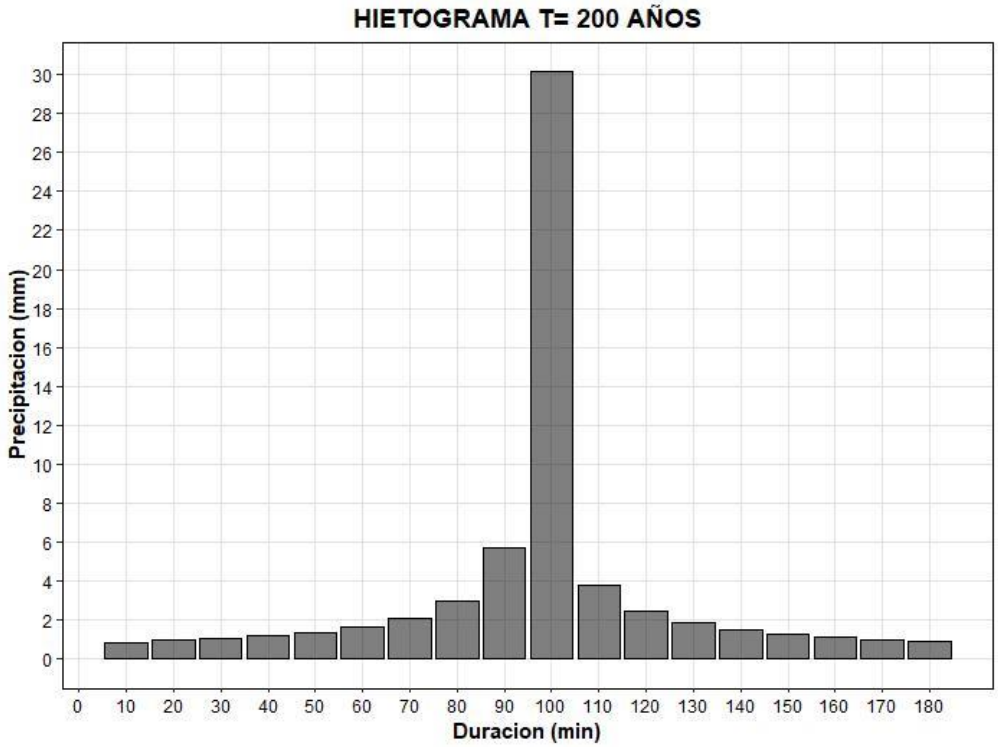





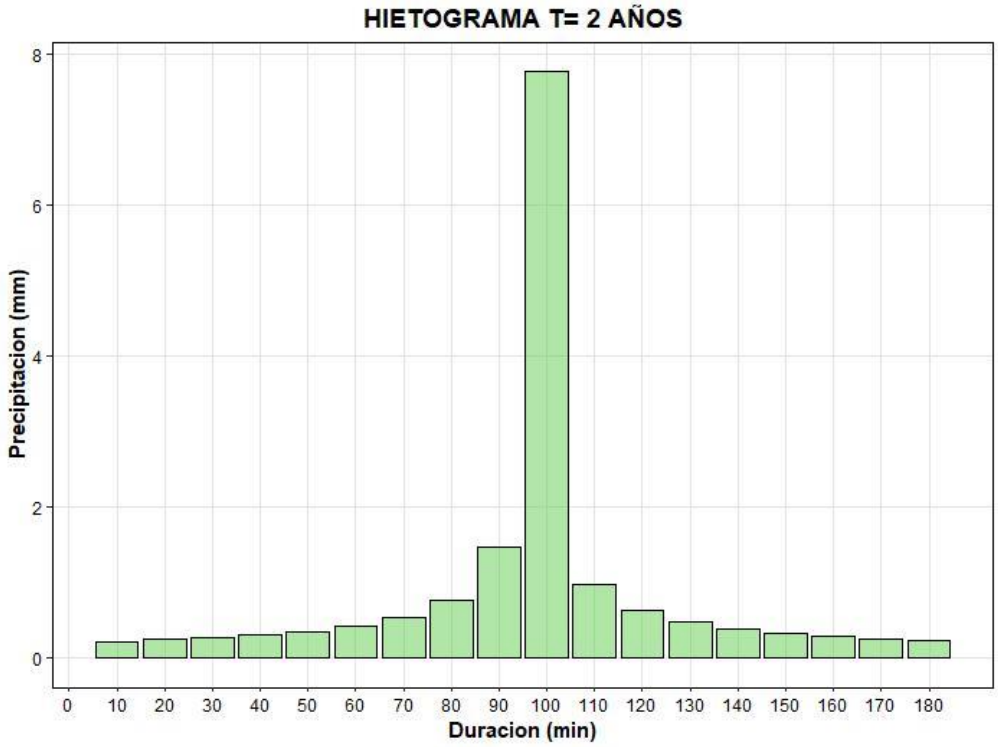

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA




**Anexo 5.4. Microcuenca "Venezuela - B"**

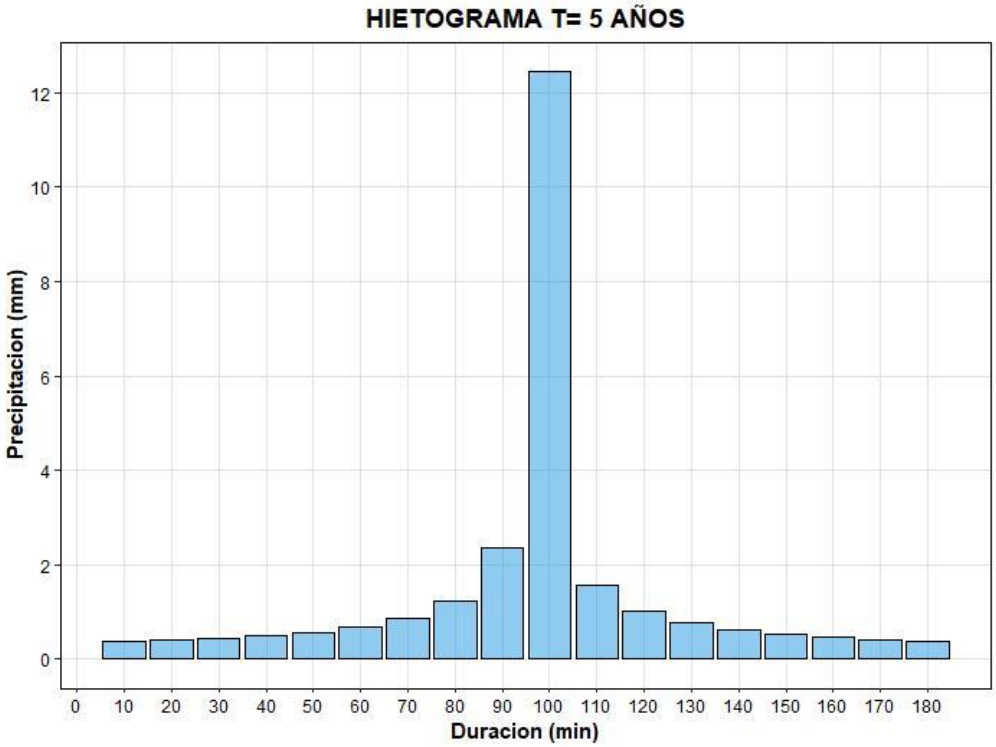


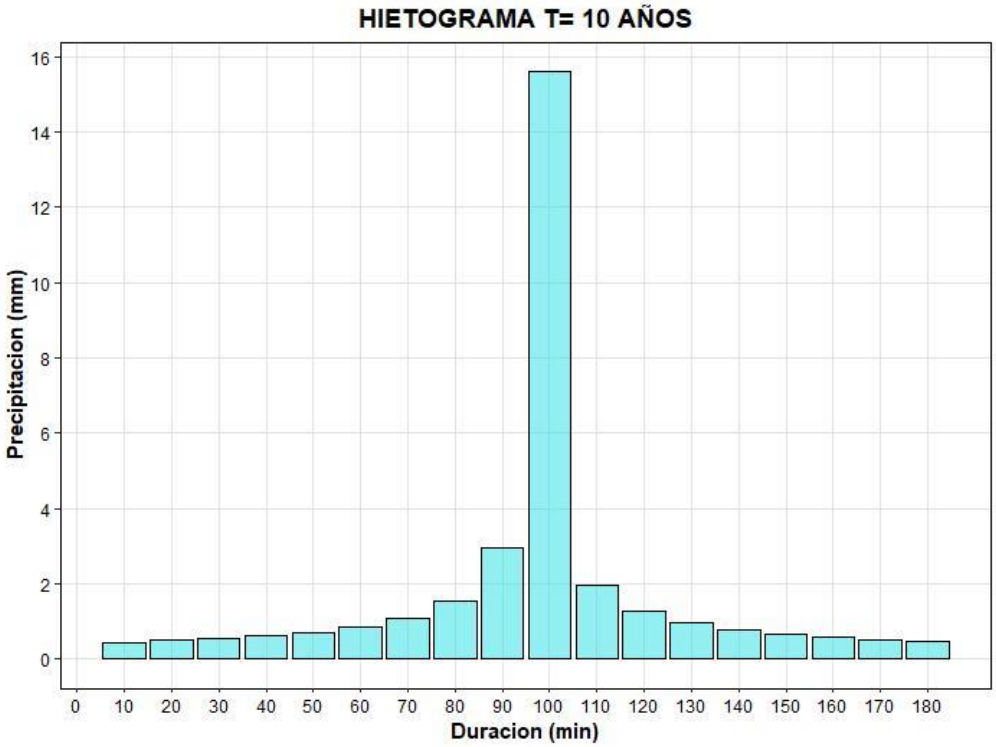



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



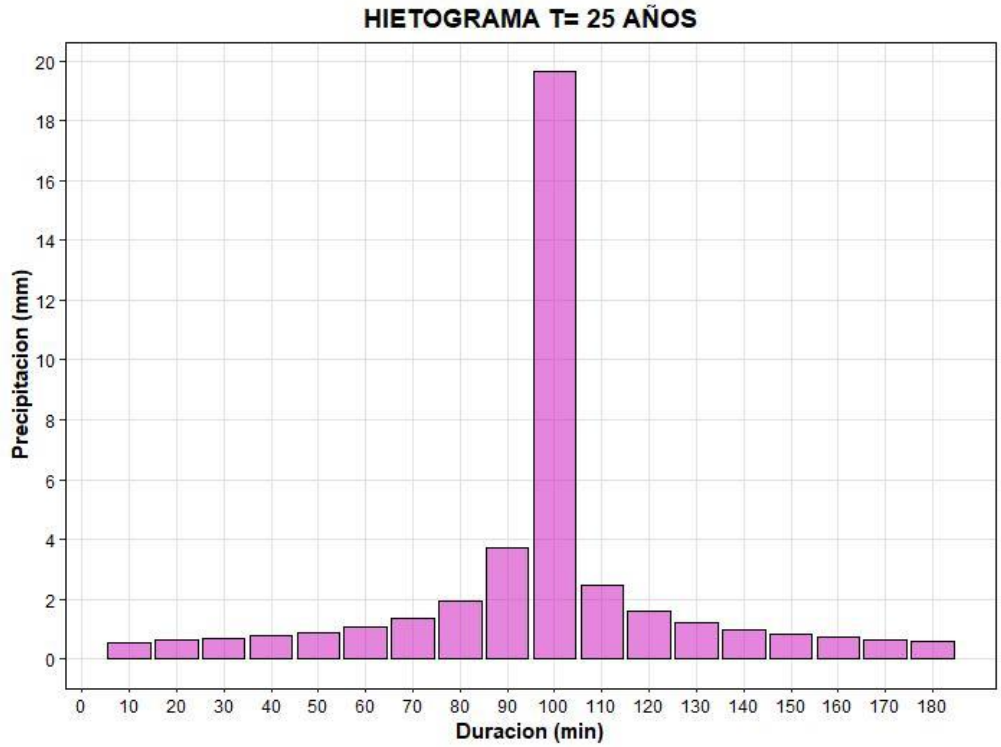



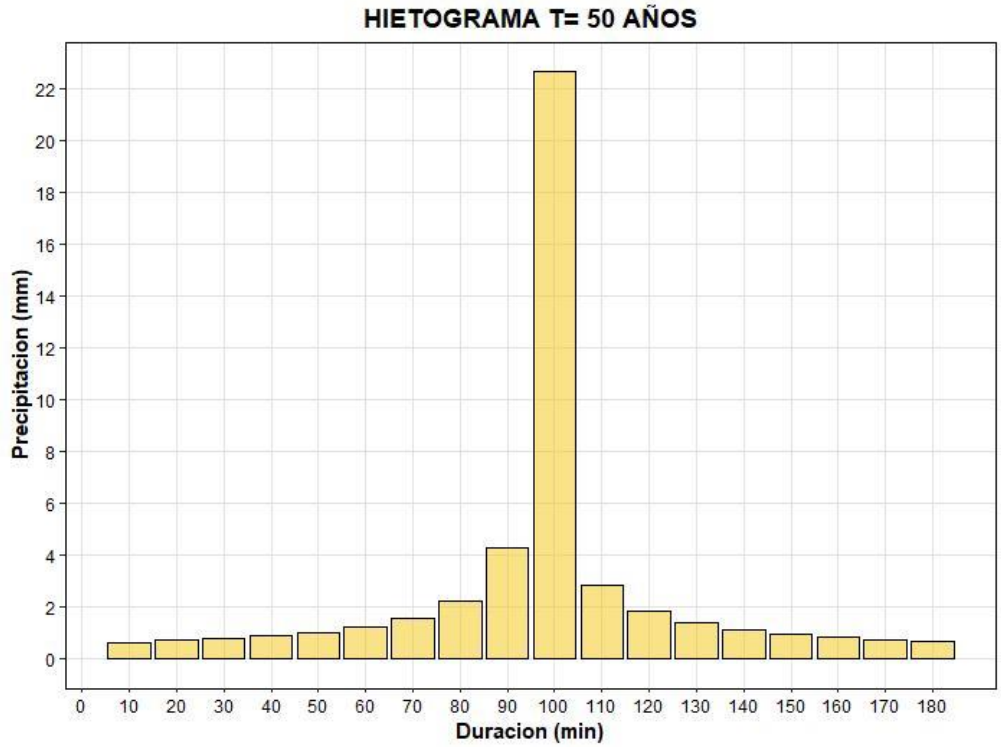



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



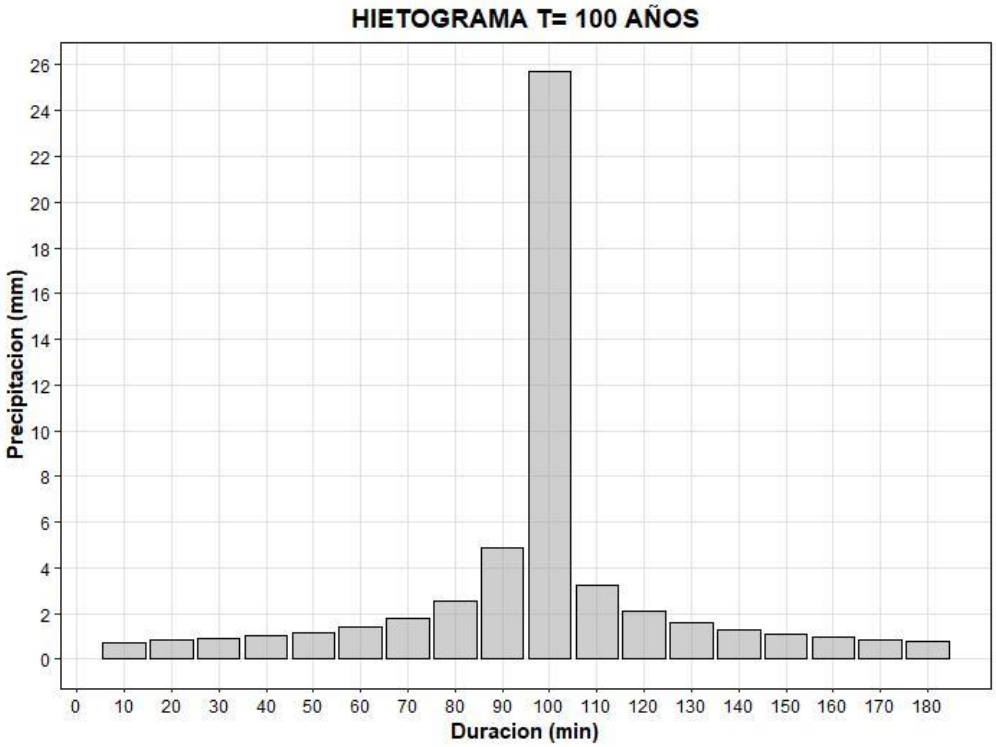



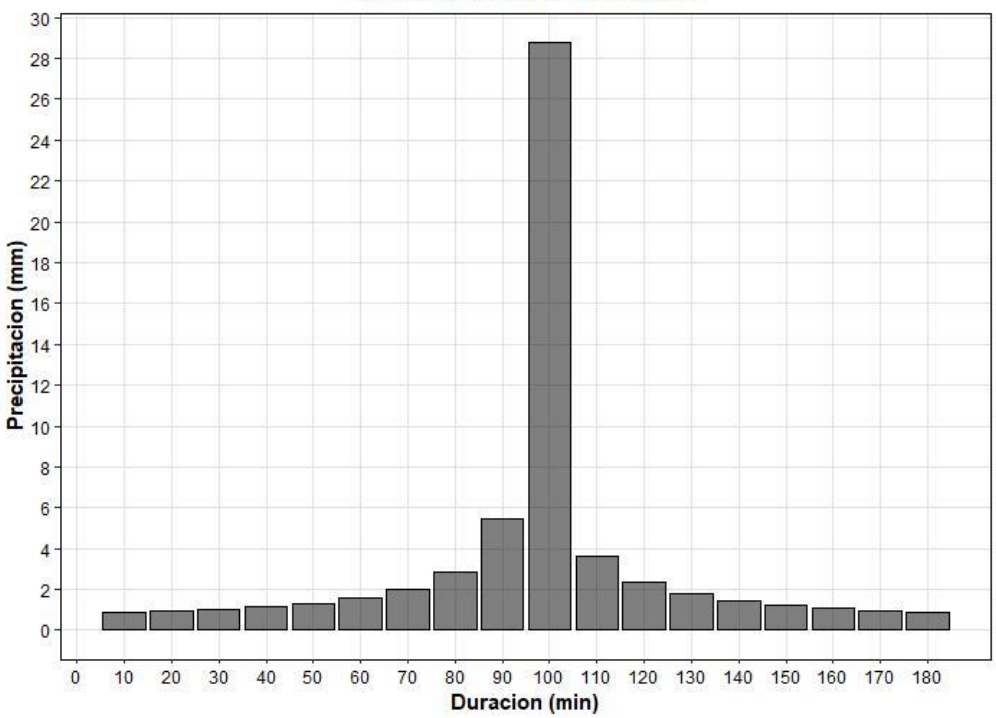



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



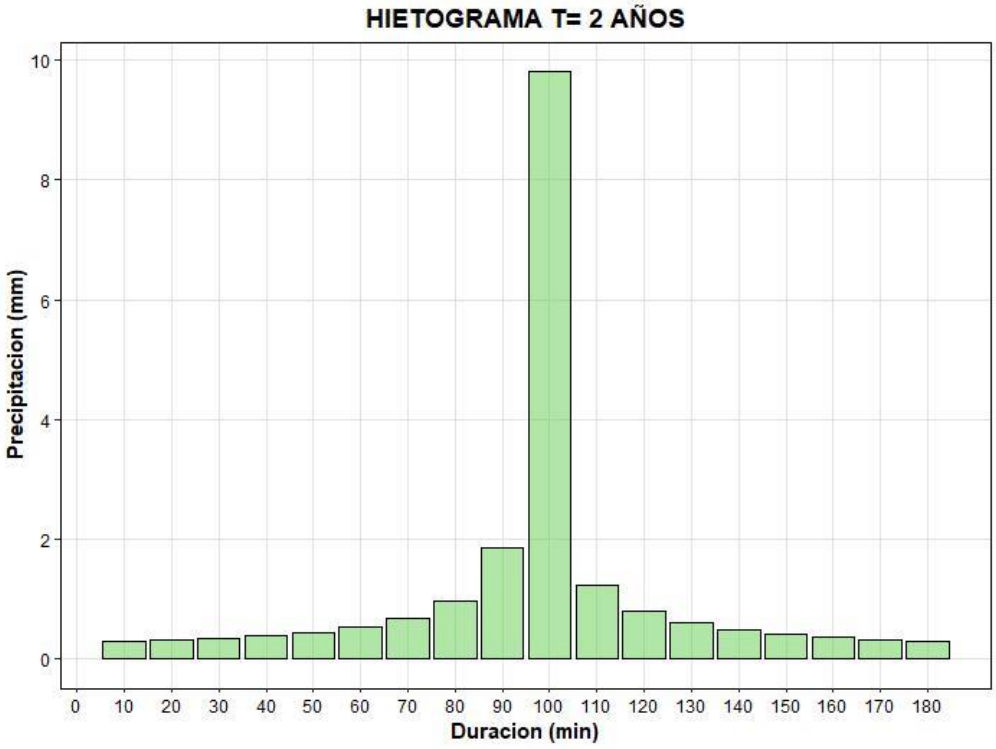


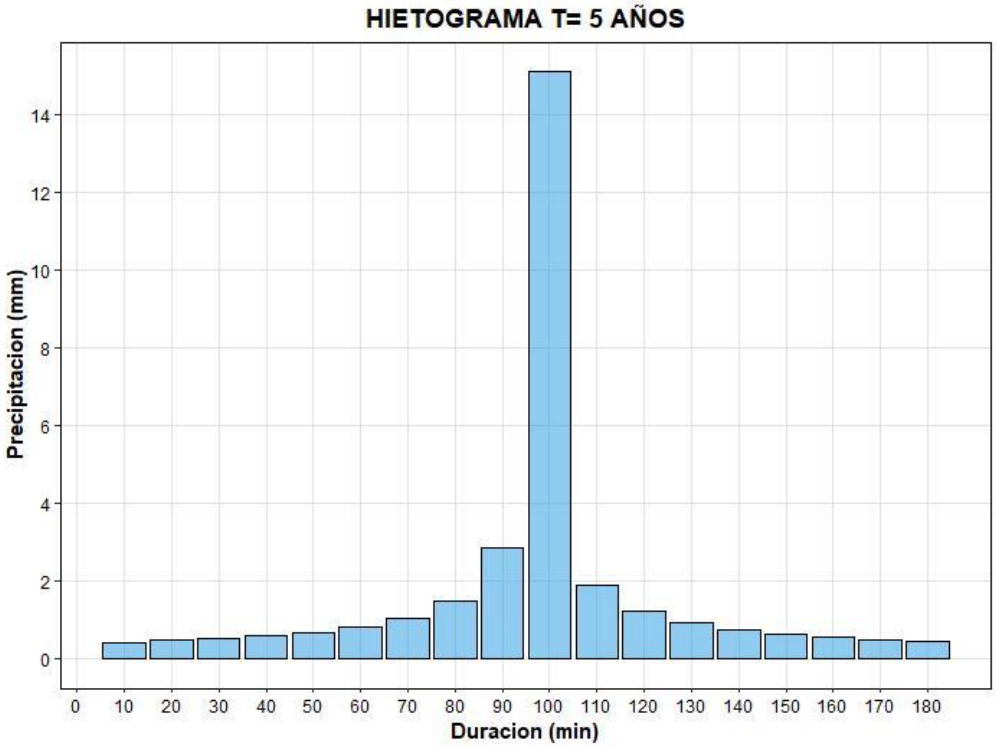

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Anexo 5.5. Microcuenca "Los Incas - A"**



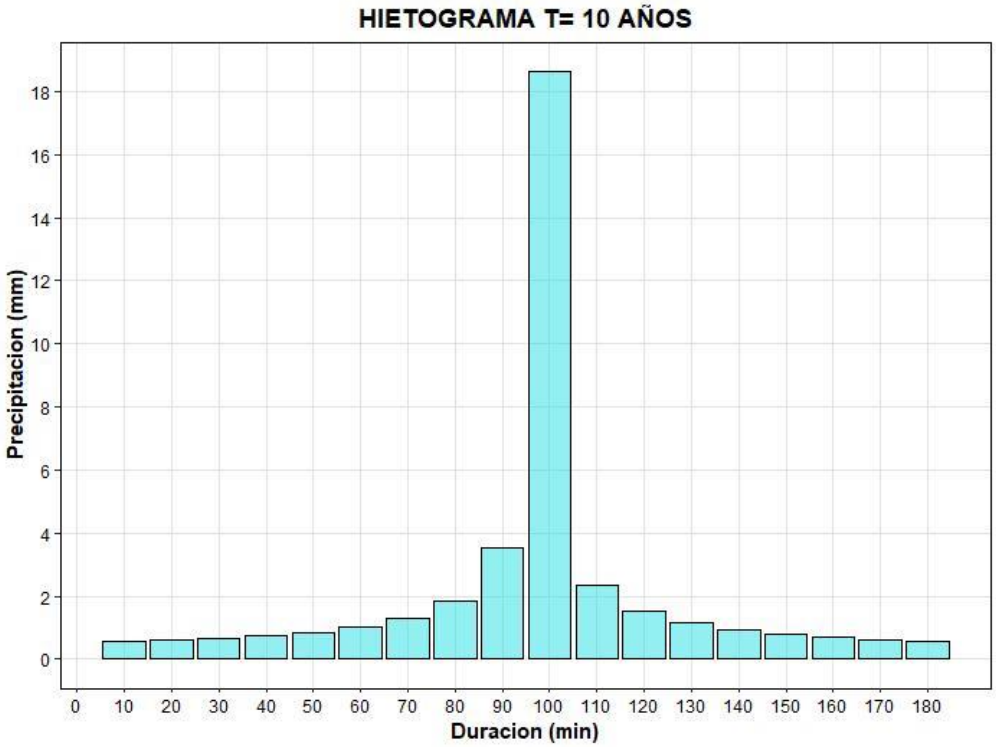



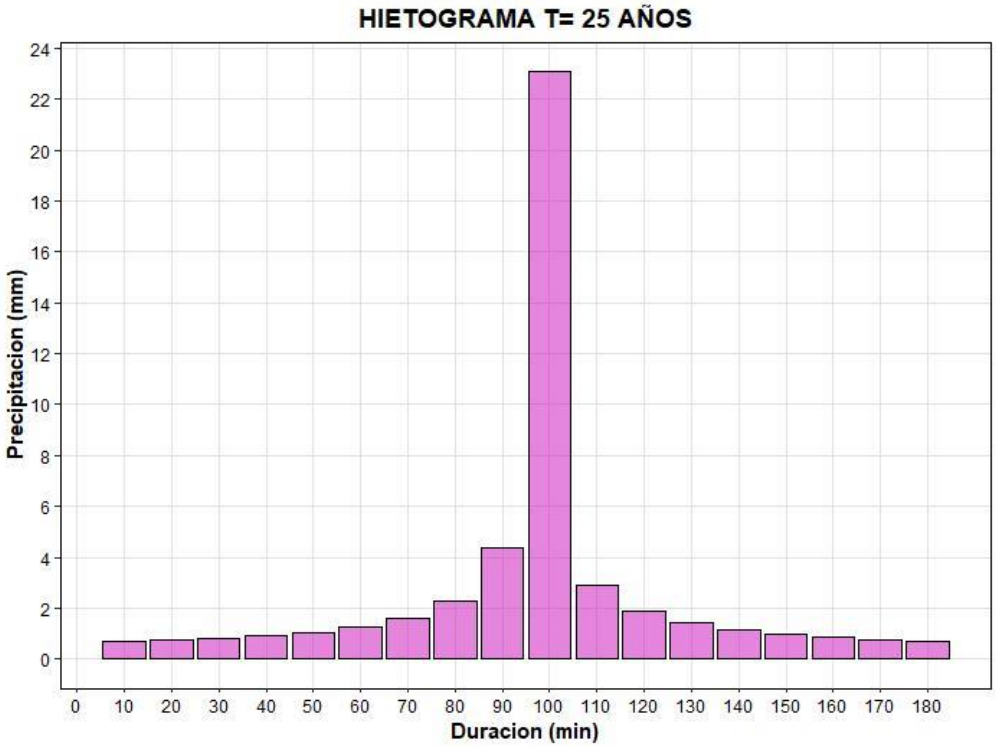



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



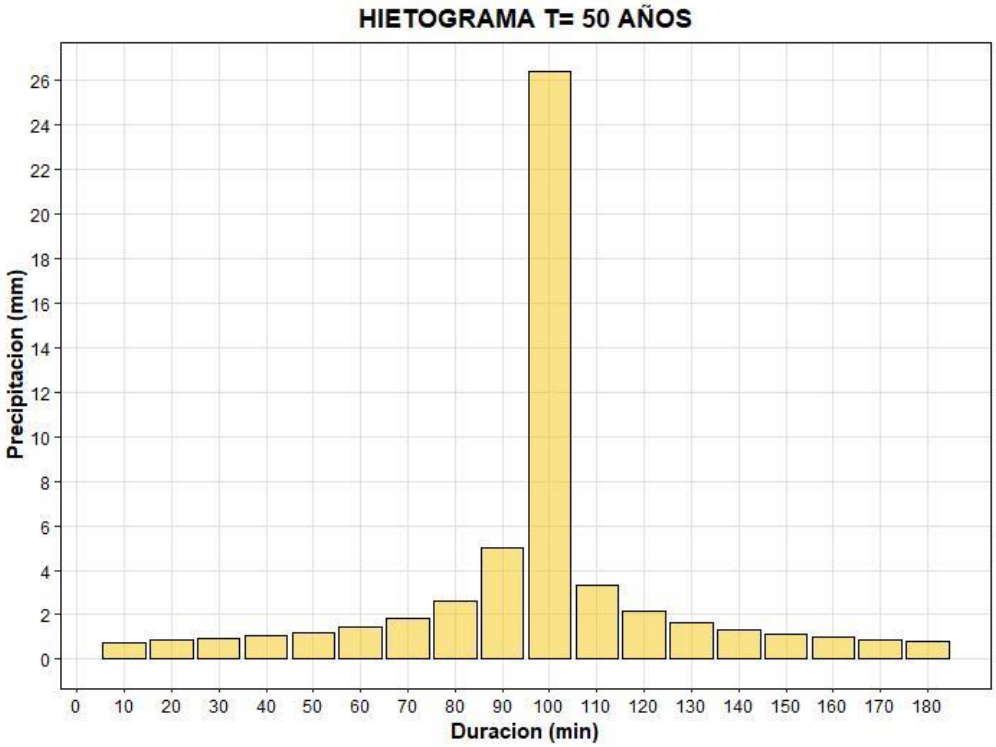



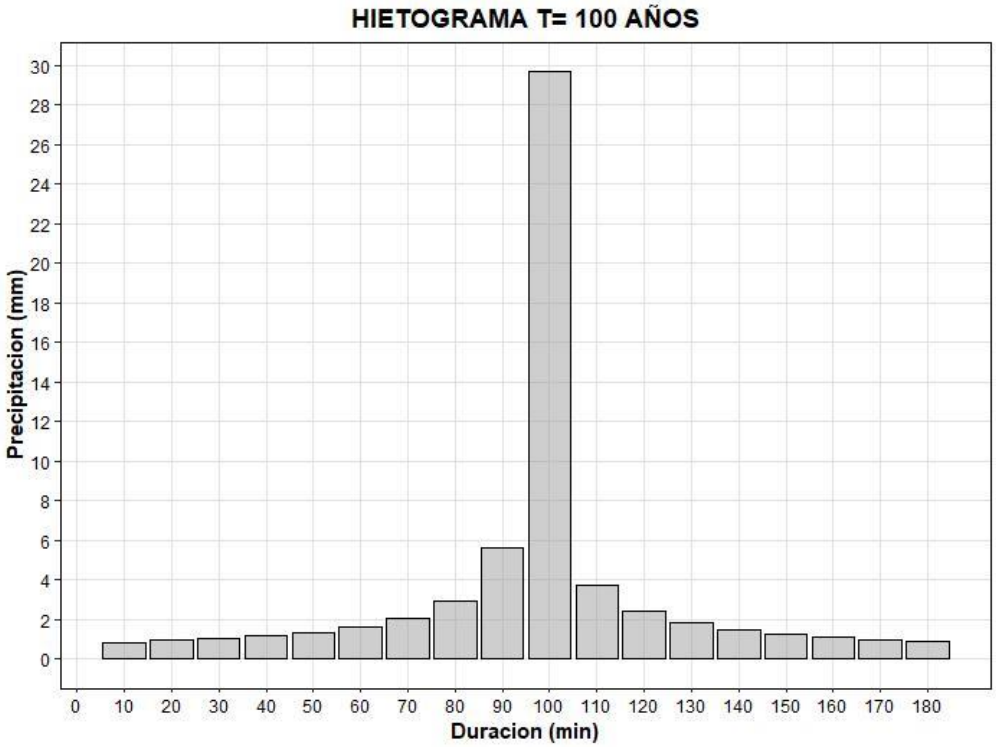



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



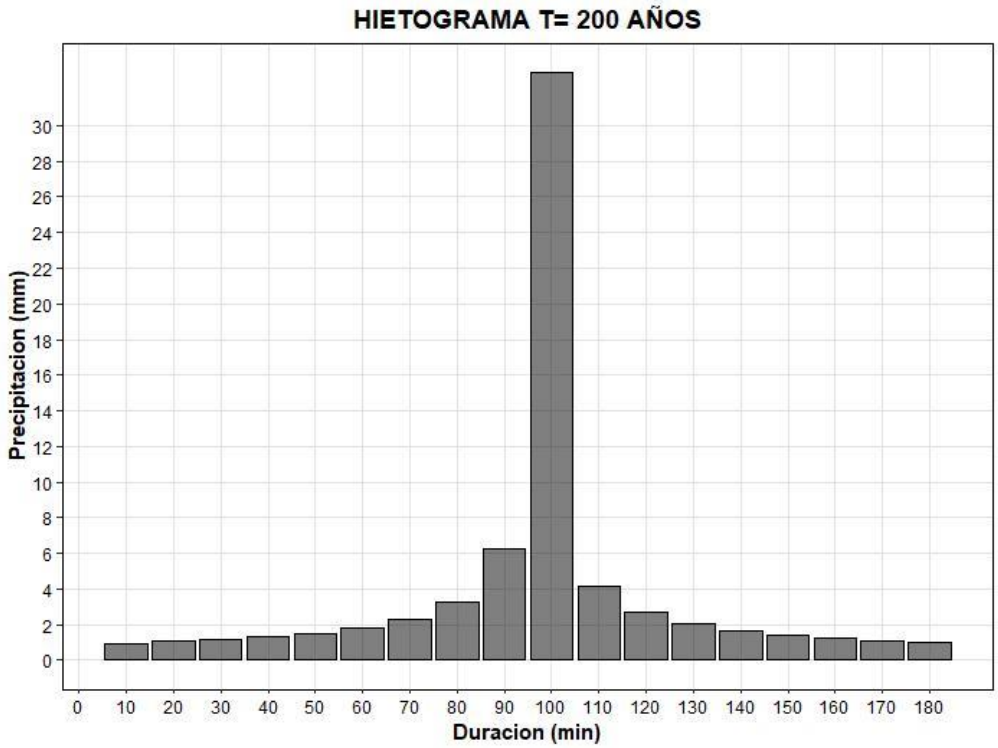





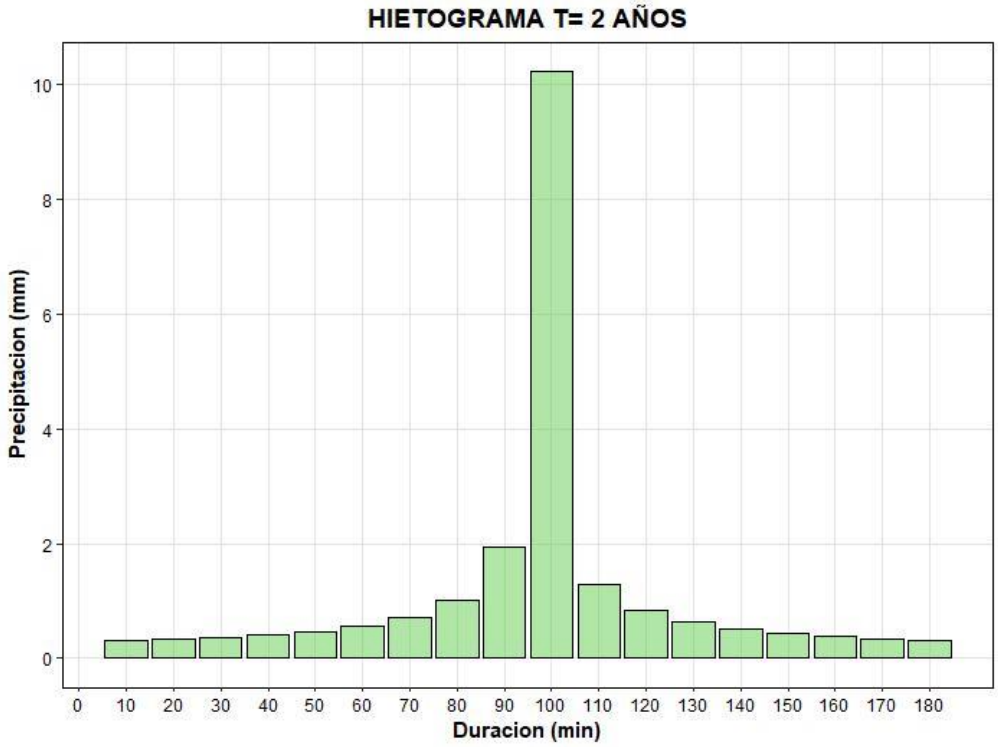

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA




**Anexo 5.6. Microcuenca "Los Incas - B"**

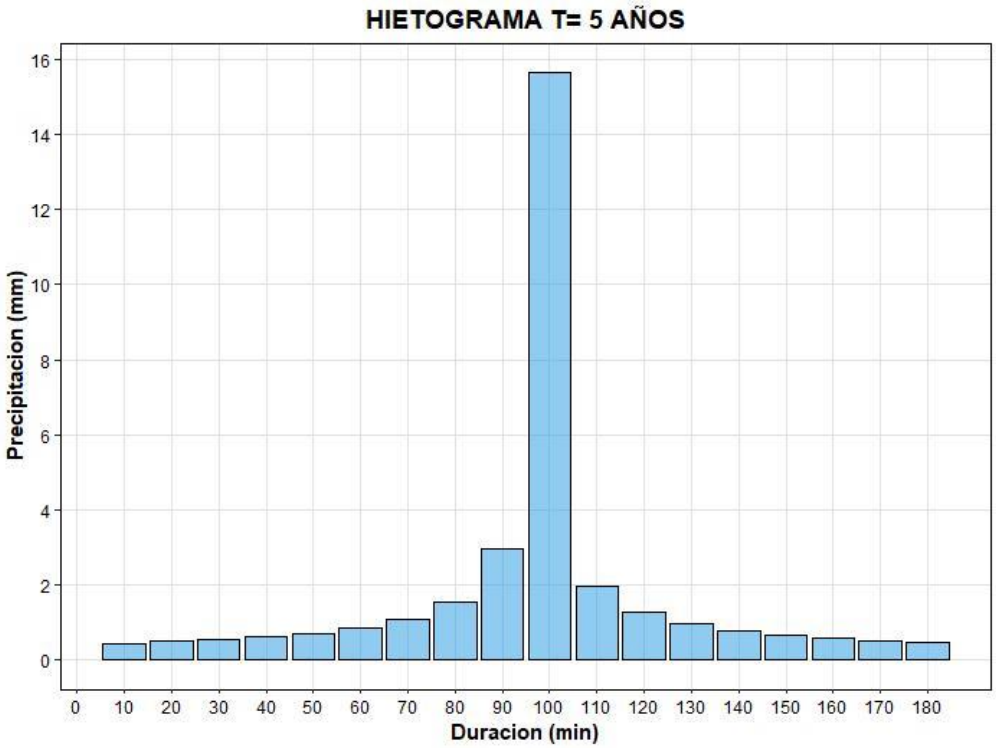


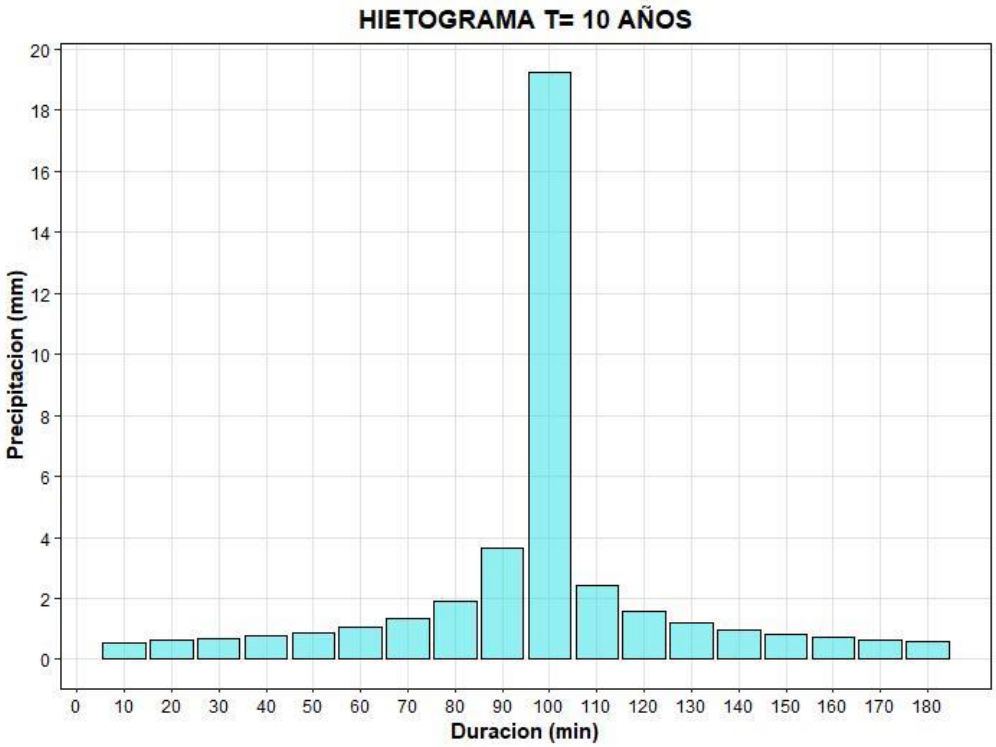



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



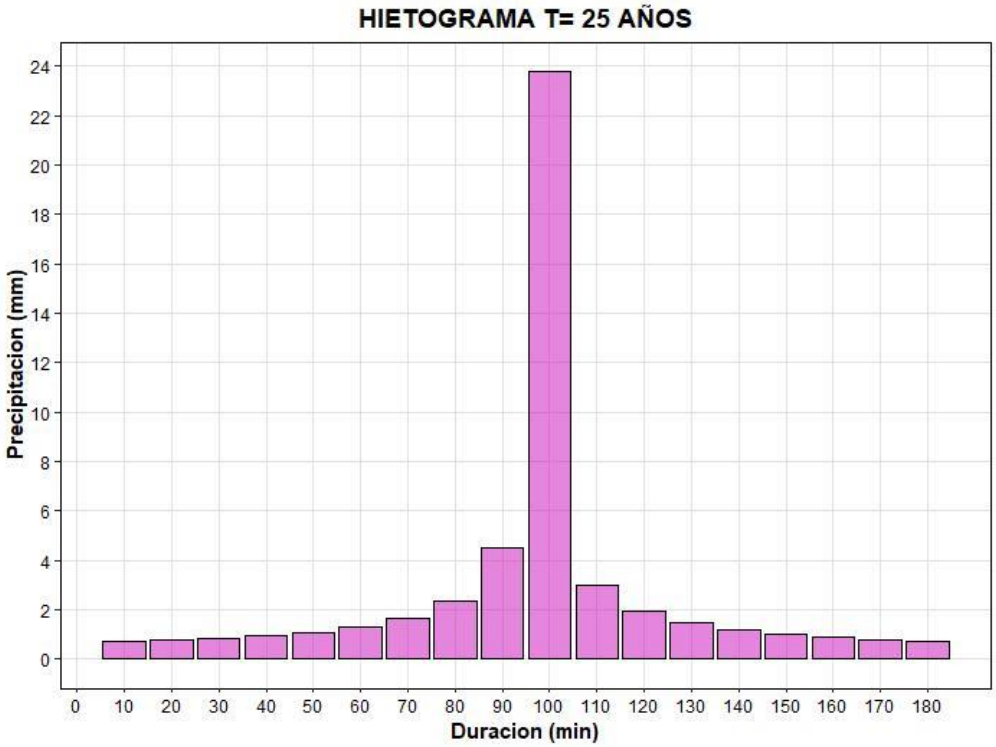



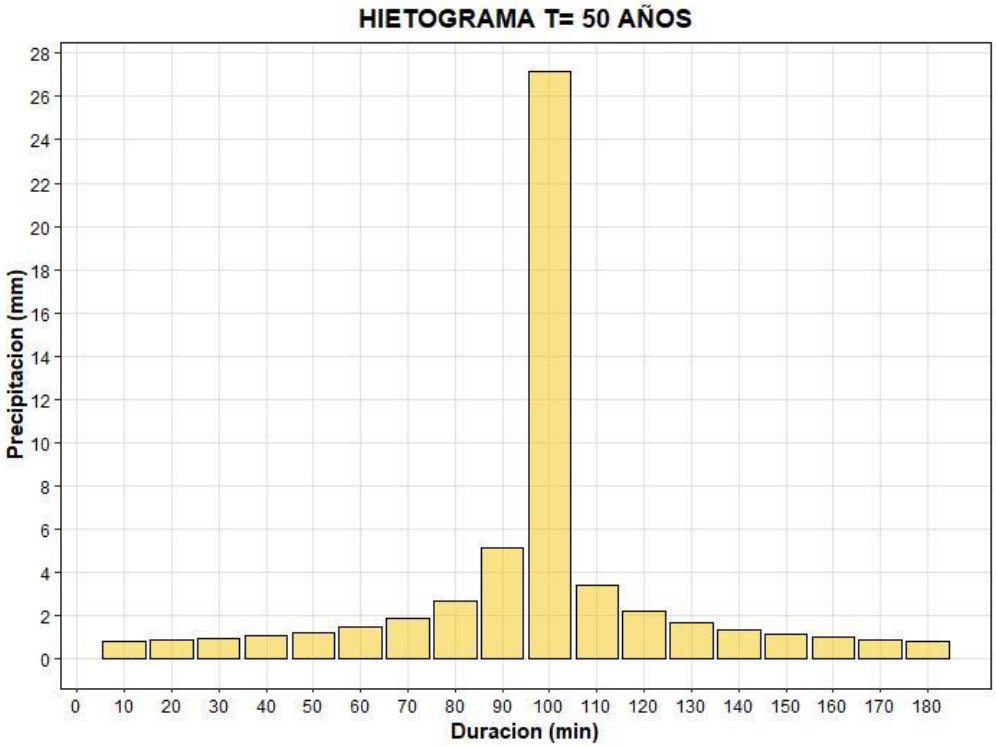



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



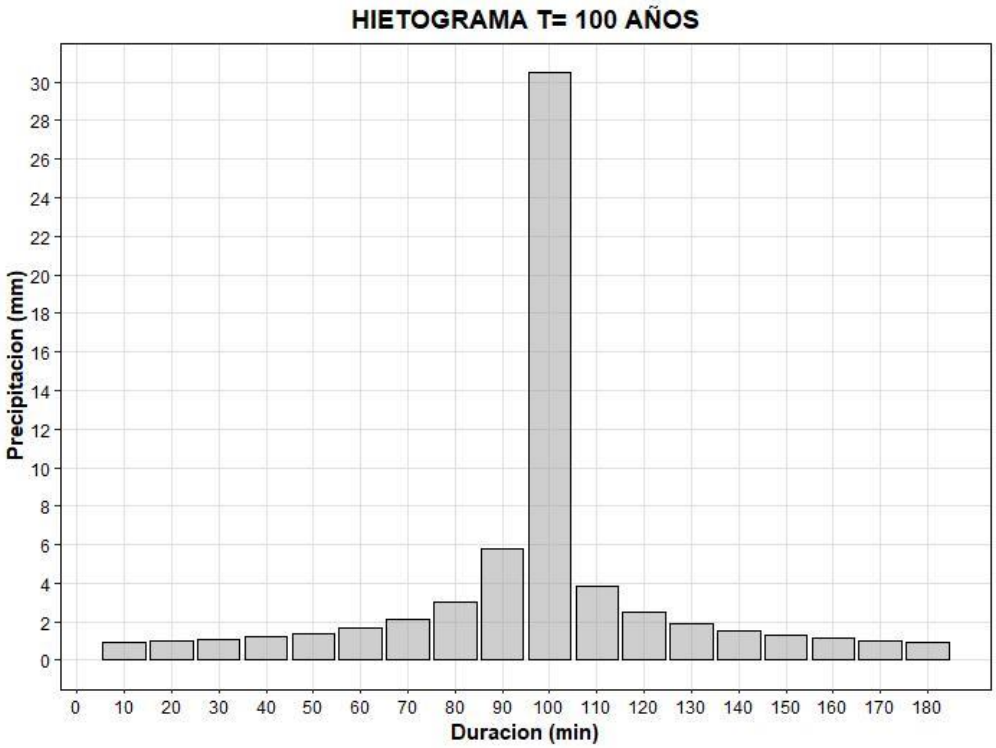



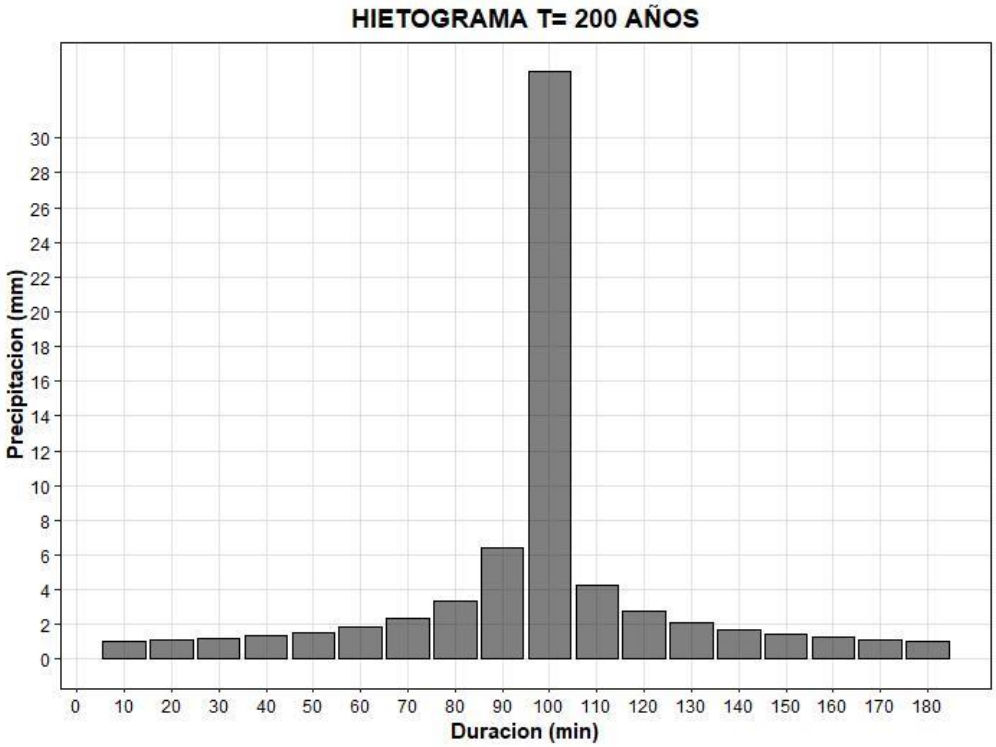



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



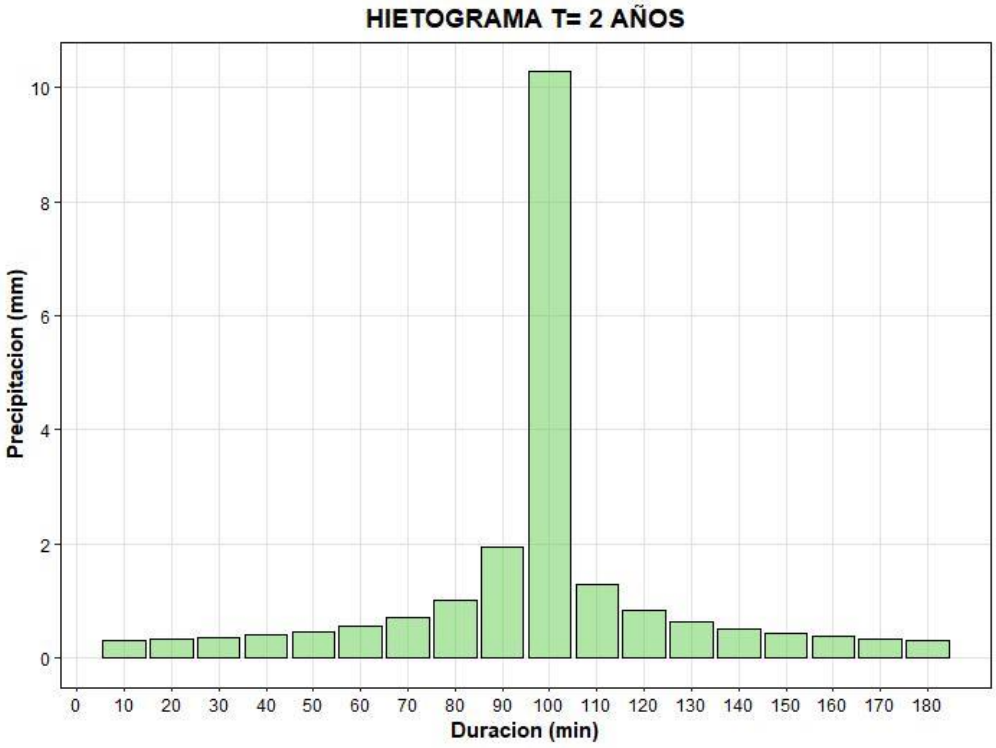


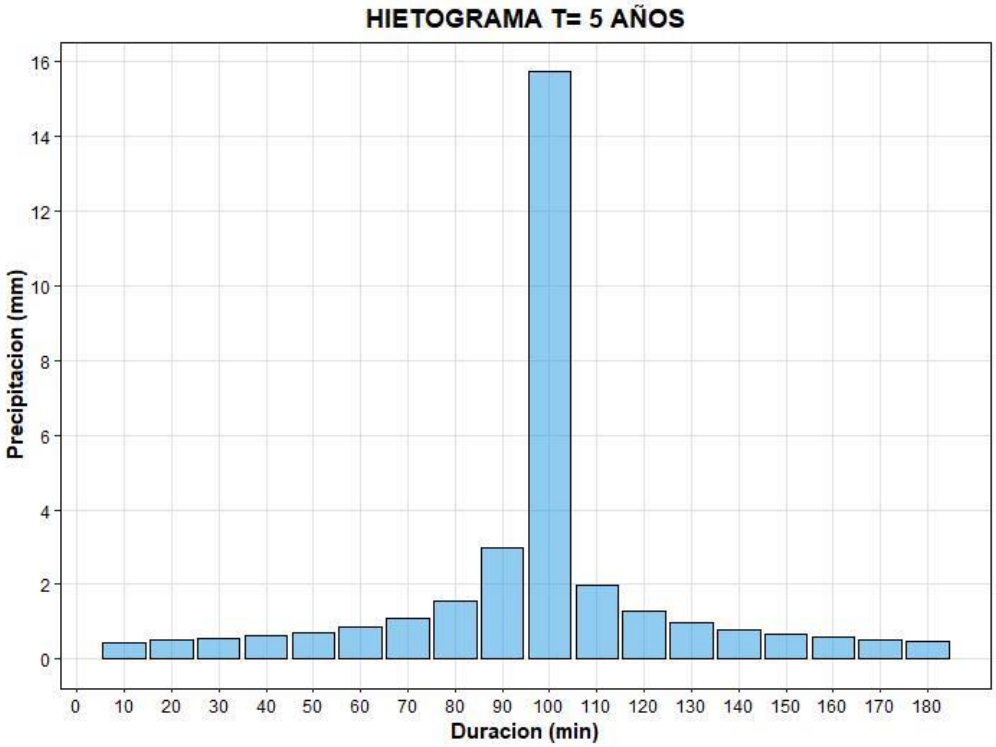

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Anexo 5.7. Microcuenca "Los Incas - C"**



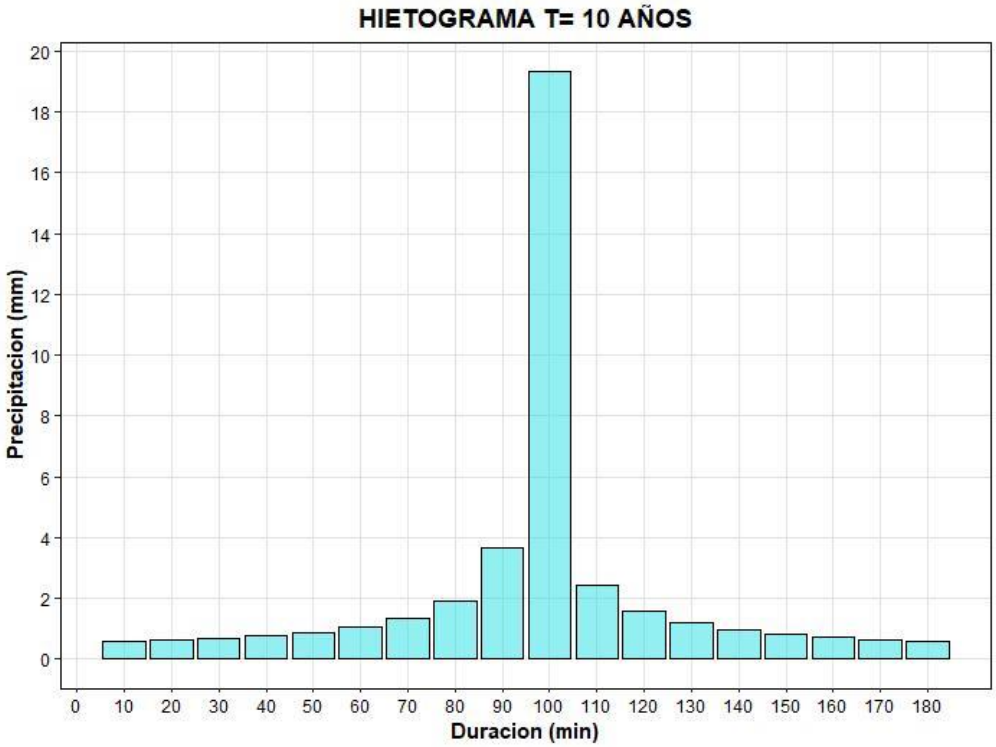



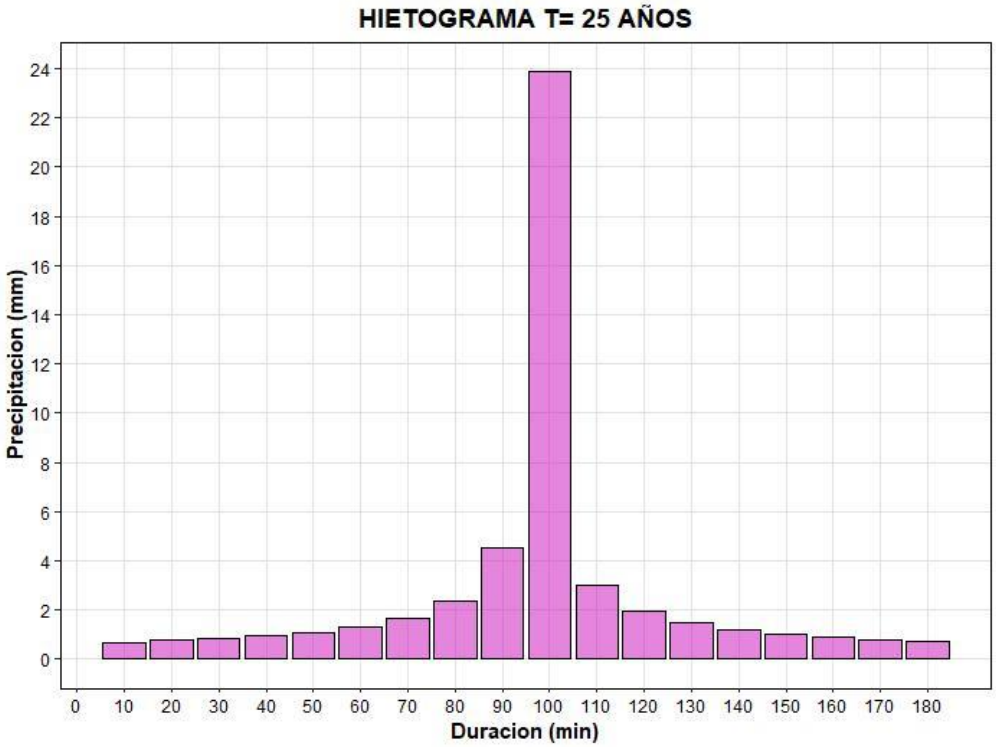



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



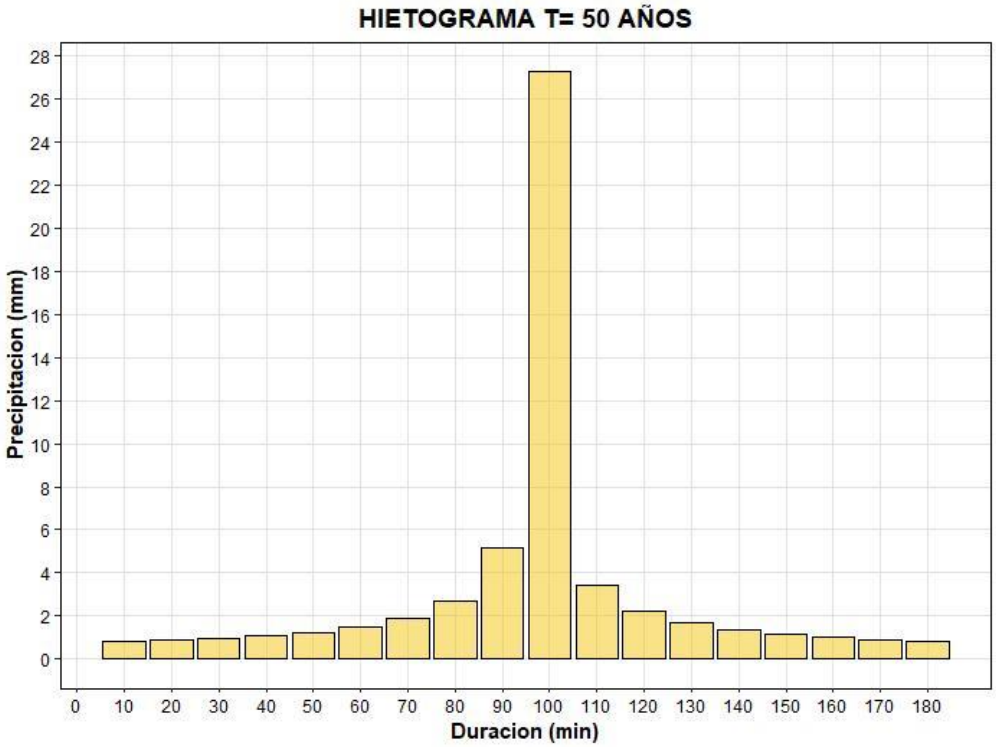



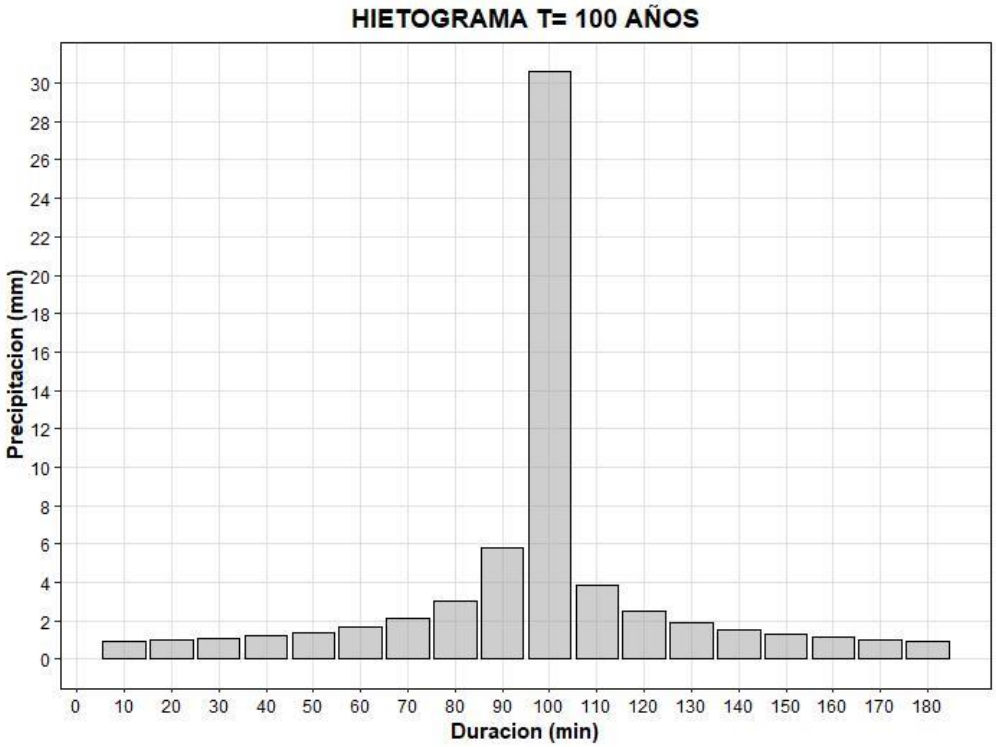



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



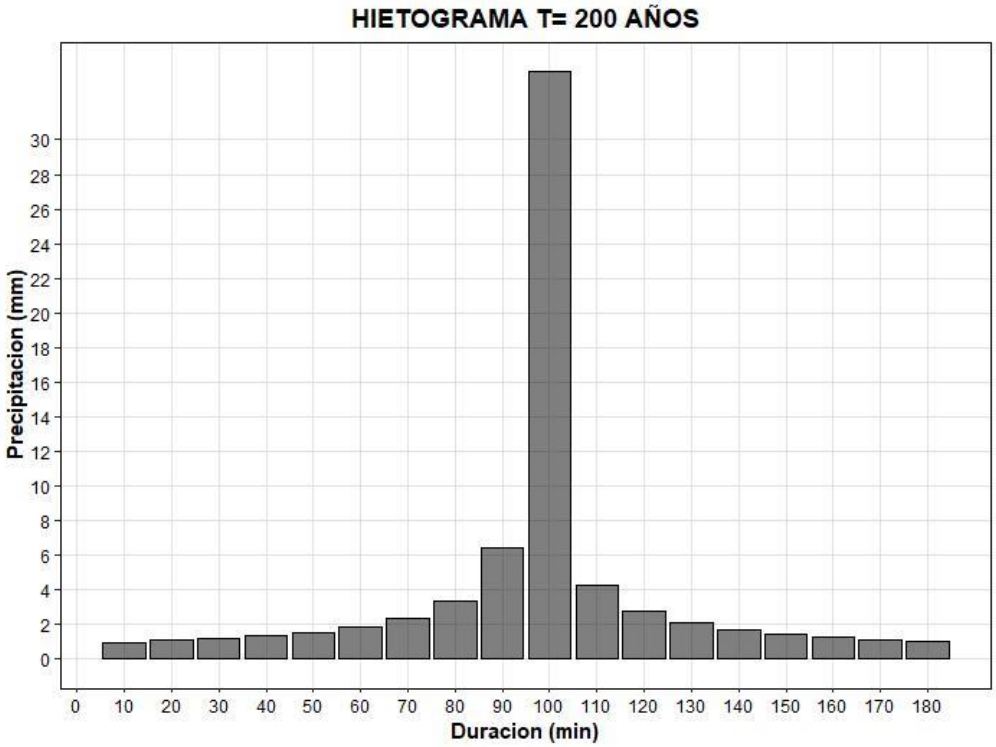






Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA






Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Anexo 6. Registro de precipitación máxima de 24 hrs anual de las estaciones virtuales.**

| AÑO | E-1 | E-2 | E-3 | E-4 | E-5 | E-6 | E-7 | E-8 | E-9 | E-10 | E-11 | E-12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1981** | 2.58 | 6.53 | 8.40 | 5.29 | 11.94 | 9.14 | 13.95 | 19.38 | 15.96 | 12.90 | 24.28 | 17.53 |
| **1982** | 5.19 | 6.21 | 6.26 | 5.07 | 11.49 | 6.38 | 9.44 | 9.53 | 9.43 | 11.25 | 10.35 | 9.44 |
| **1983** | 1.27 | 0.98 | 1.32 | 1.46 | 0.80 | 0.95 | 2.98 | 1.70 | 1.71 | 3.08 | 2.75 | 2.43 |
| **1984** | 5.57 | 9.65 | 10.14 | 7.55 | 10.49 | 8.74 | 20.56 | 18.03 | 15.00 | 19.60 | 23.13 | 16.89 |
| **1985** | 6.43 | 10.11 | 12.71 | 6.30 | 11.98 | 9.37 | 13.98 | 22.35 | 20.25 | 11.71 | 28.70 | 22.79 |
| **1986** | 26.36 | 30.95 | 22.08 | 28.74 | 41.04 | 26.90 | 43.23 | 32.66 | 26.08 | 29.16 | 33.81 | 29.02 |
| **1987** | 14.94 | 17.11 | 23.58 | 12.86 | 18.76 | 23.35 | 22.28 | 41.89 | 41.89 | 15.92 | 47.50 | 44.65 |
| **1988** | 2.83 | 4.18 | 4.78 | 4.98 | 4.83 | 5.57 | 10.90 | 14.83 | 14.51 | 9.04 | 17.52 | 15.84 |
| **1989** | 11.46 | 18.32 | 19.57 | 15.23 | 21.45 | 20.19 | 24.64 | 22.56 | 20.88 | 18.93 | 24.60 | 20.23 |
| **1990** | 5.53 | 5.98 | 9.40 | 5.70 | 6.01 | 8.80 | 11.54 | 12.13 | 14.28 | 10.13 | 17.20 | 18.11 |
| **1991** | 3.32 | 4.83 | 5.56 | 5.02 | 3.48 | 3.80 | 10.56 | 8.61 | 7.96 | 12.21 | 11.97 | 10.30 |
| **1992** | 1.22 | 2.47 | 3.12 | 1.57 | 1.96 | 2.29 | 3.47 | 3.54 | 3.36 | 3.24 | 5.44 | 4.63 |
| **1993** | 10.61 | 11.25 | 15.93 | 13.96 | 12.52 | 16.04 | 25.92 | 20.97 | 21.09 | 22.05 | 25.75 | 23.83 |
| **1994** | 10.33 | 12.68 | 19.65 | 12.78 | 15.43 | 18.05 | 24.38 | 28.06 | 29.19 | 22.31 | 30.45 | 29.15 |
| **1995** | 28.50 | 24.23 | 22.92 | 34.33 | 25.00 | 25.96 | 50.42 | 37.07 | 34.78 | 45.21 | 44.30 | 39.42 |
| **1996** | 5.69 | 9.79 | 11.94 | 6.03 | 11.44 | 10.70 | 10.73 | 10.58 | 13.75 | 10.64 | 12.96 | 13.24 |
| **1997** | 31.74 | 26.62 | 28.35 | 24.70 | 35.96 | 30.34 | 40.04 | 47.37 | 40.59 | 29.66 | 55.44 | 42.12 |
| **1998** | 26.64 | 15.07 | 11.65 | 19.56 | 12.69 | 10.54 | 20.54 | 15.99 | 14.14 | 12.26 | 15.39 | 13.12 |
| **1999** | 37.73 | 23.09 | 17.82 | 27.28 | 26.44 | 17.34 | 34.74 | 26.46 | 24.97 | 27.33 | 29.04 | 25.92 |
| **2000** | 13.91 | 13.06 | 17.55 | 11.85 | 13.29 | 16.10 | 20.50 | 22.40 | 23.22 | 17.75 | 27.68 | 27.17 |
| **2001** | 20.04 | 14.93 | 18.95 | 15.21 | 14.09 | 16.91 | 21.16 | 16.66 | 17.67 | 17.20 | 20.23 | 19.81 |
| **2002** | 16.42 | 13.99 | 16.22 | 9.55 | 15.71 | 13.48 | 16.00 | 19.78 | 16.68 | 12.90 | 21.98 | 16.51 |
| **2003** | 3.64 | 3.40 | 4.82 | 3.85 | 3.48 | 4.31 | 7.27 | 7.43 | 7.45 | 8.12 | 8.03 | 7.29 |
| **2004** | 15.88 | 8.42 | 9.82 | 9.88 | 14.08 | 9.84 | 20.90 | 15.26 | 12.55 | 18.88 | 20.08 | 13.99 |
| **2005** | 2.23 | 3.90 | 5.20 | 3.96 | 6.51 | 5.27 | 9.56 | 10.44 | 10.18 | 8.64 | 13.63 | 12.29 |
| **2006** | 12.26 | 11.43 | 11.56 | 12.66 | 10.74 | 11.79 | 21.52 | 16.64 | 16.20 | 20.71 | 20.83 | 18.81 |
| **2007** | 10.07 | 11.77 | 15.93 | 11.53 | 10.76 | 13.00 | 20.30 | 22.76 | 22.64 | 15.67 | 24.14 | 20.56 |
| **2008** | 27.83 | 19.17 | 28.44 | 21.18 | 20.02 | 25.96 | 28.47 | 27.75 | 27.08 | 20.02 | 28.32 | 25.46 |
| **2009** | 4.32 | 5.57 | 6.44 | 4.17 | 7.19 | 6.04 | 8.25 | 6.61 | 6.23 | 8.57 | 8.60 | 7.58 |
| **2010** | 3.92 | 3.84 | 4.30 | 4.90 | 6.29 | 4.42 | 11.55 | 8.32 | 6.96 | 13.08 | 10.72 | 7.68 |
| **2011** | 6.39 | 11.46 | 11.69 | 8.38 | 12.36 | 11.58 | 14.51 | 15.94 | 16.01 | 13.43 | 18.60 | 17.23 |
| **2012** | 13.37 | 18.19 | 18.43 | 16.42 | 23.92 | 20.68 | 29.94 | 26.61 | 28.32 | 23.41 | 32.74 | 32.71 |
| **2013** | 11.43 | 11.88 | 17.01 | 12.36 | 14.77 | 17.72 | 22.46 | 29.99 | 29.73 | 14.99 | 30.88 | 29.61 |
| **2014** | 23.27 | 11.68 | 19.82 | 15.01 | 13.74 | 16.62 | 19.22 | 20.37 | 18.42 | 13.52 | 22.21 | 17.04 |
| **2015** | 13.44 | 11.73 | 13.51 | 10.78 | 9.34 | 11.77 | 19.59 | 14.82 | 15.01 | 16.67 | 20.30 | 16.89 |
| **2016** | 7.70 | 12.09 | 13.11 | 9.15 | 7.18 | 10.38 | 17.58 | 13.03 | 12.17 | 18.08 | 20.96 | 15.33 |



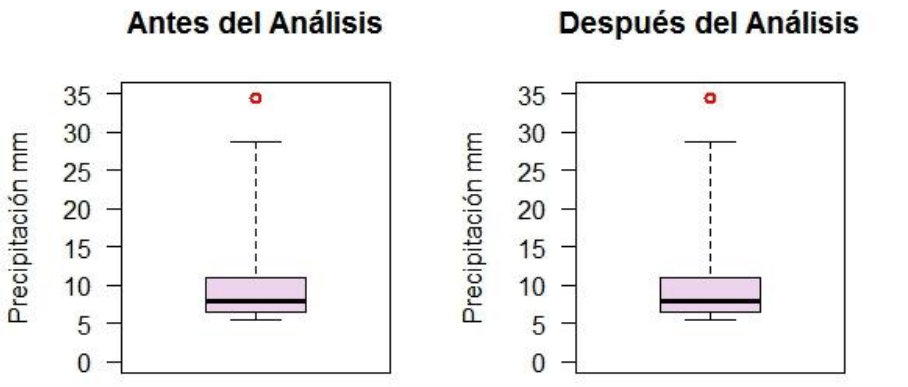
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

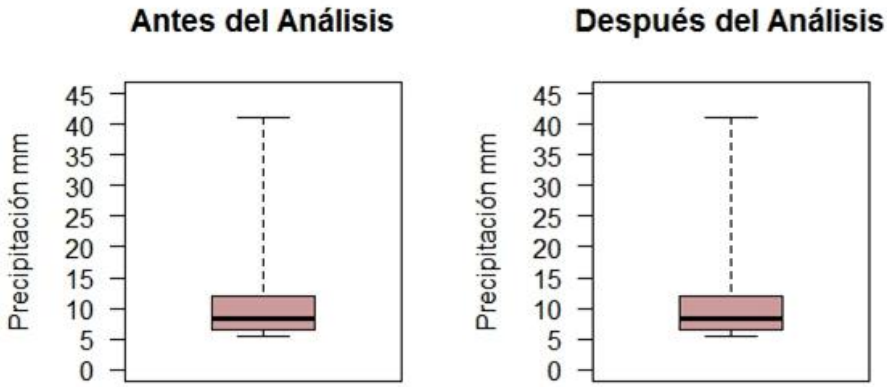
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Anexo 7. Diagramas de caja de estaciones virtuales.**

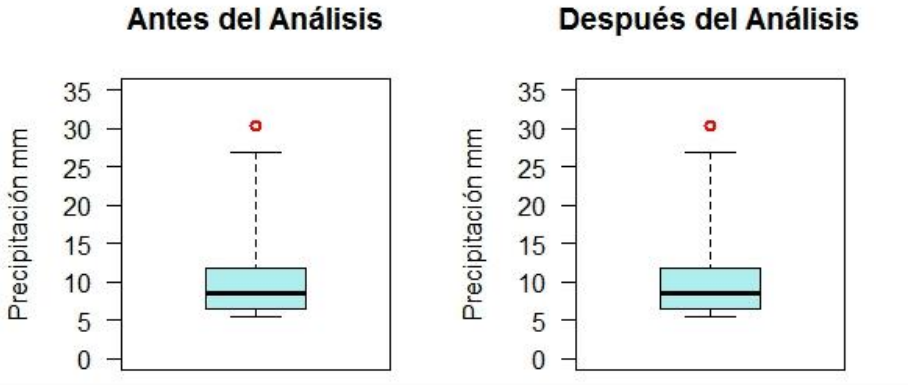
**Anexo 7.1. Diagrama de caja ajustada Estación Virtual – 1**




**Anexo 7.2. Diagrama de caja ajustada Estación Virtual – 2**




**Anexo 7.3. Diagrama de caja ajustada Estación Virtual – 3**



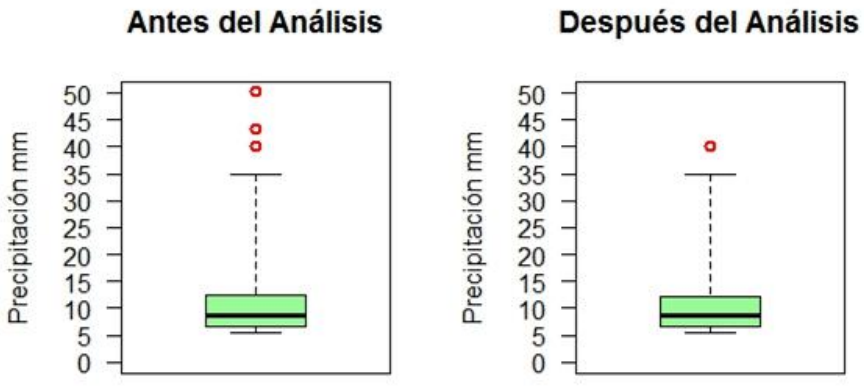



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

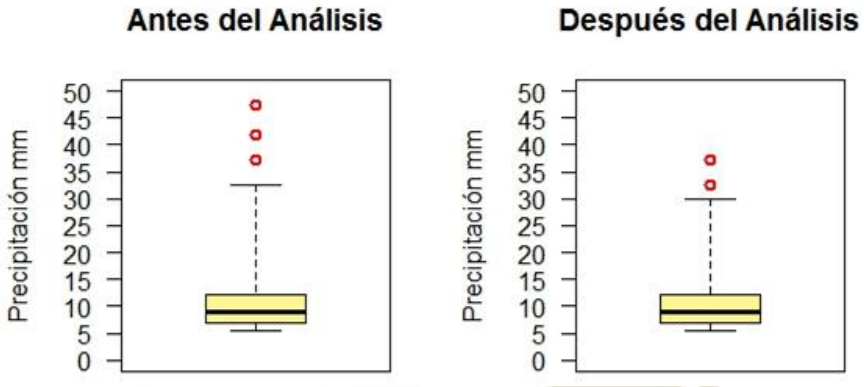
REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

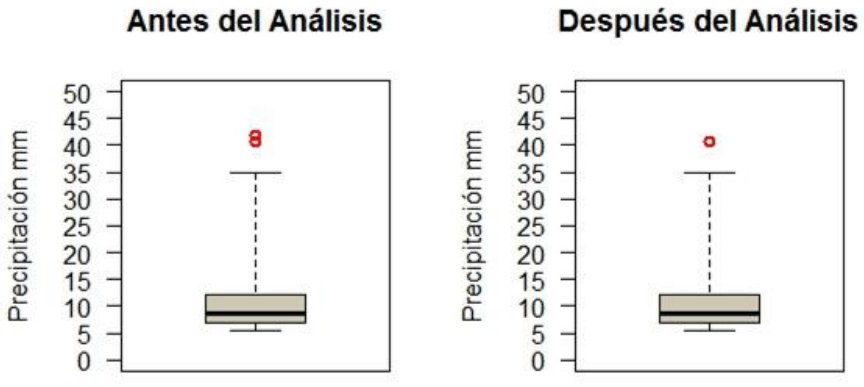
**Anexo 7.4. Diagrama de caja ajustada Estación Virtual – 4**




**Anexo 7.5. Diagrama de caja ajustada Estación Virtual – 5**




**Anexo 7.6. Diagrama de caja ajustada Estación Virtual – 6**



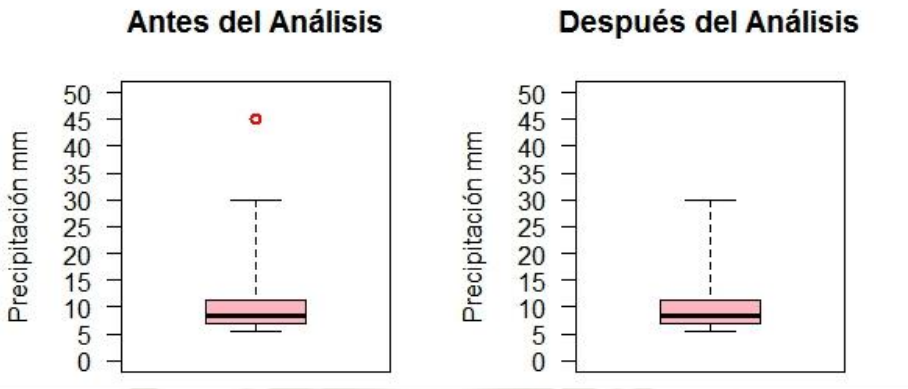



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

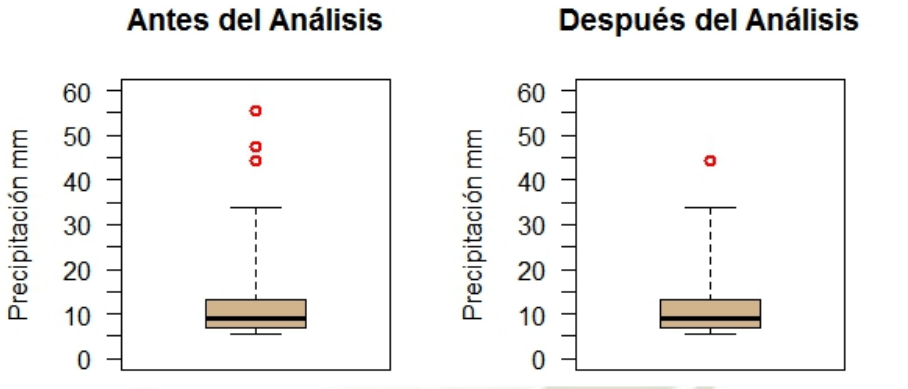
REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

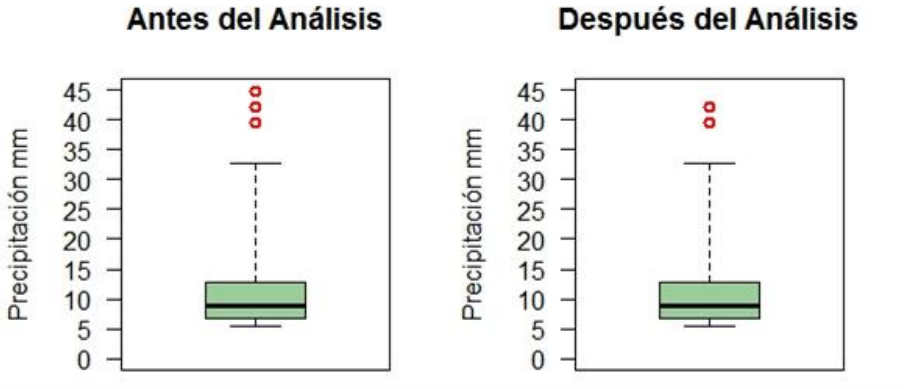
**Anexo 7.7. Diagrama de caja ajustada Estación Virtual – 7**




**Anexo 7.8. Diagrama de caja ajustada Estación Virtual – 8**




**Anexo 7.9. Diagrama de caja ajustada Estación Virtual - 9**





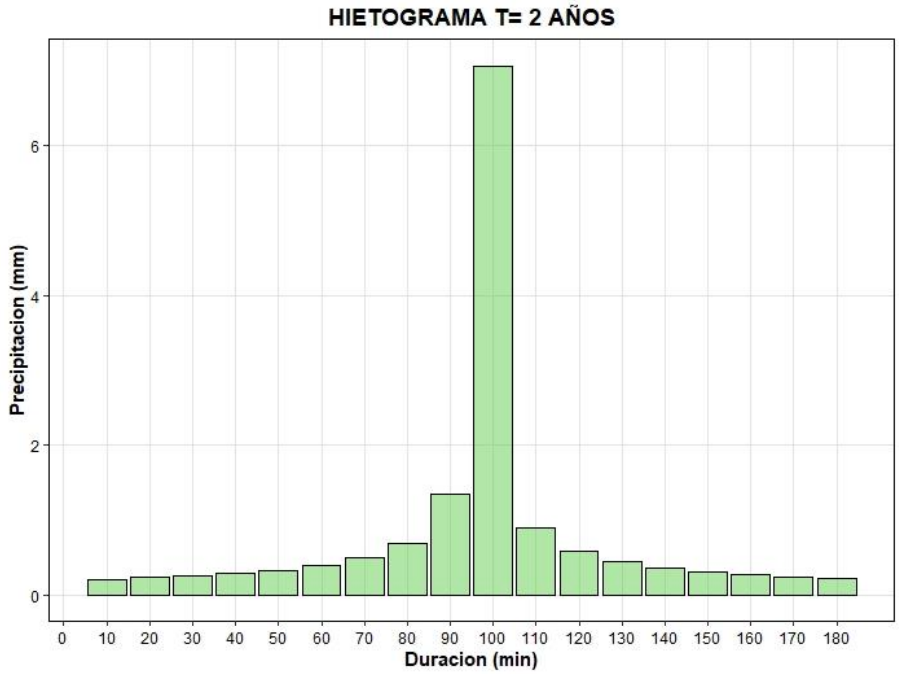

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

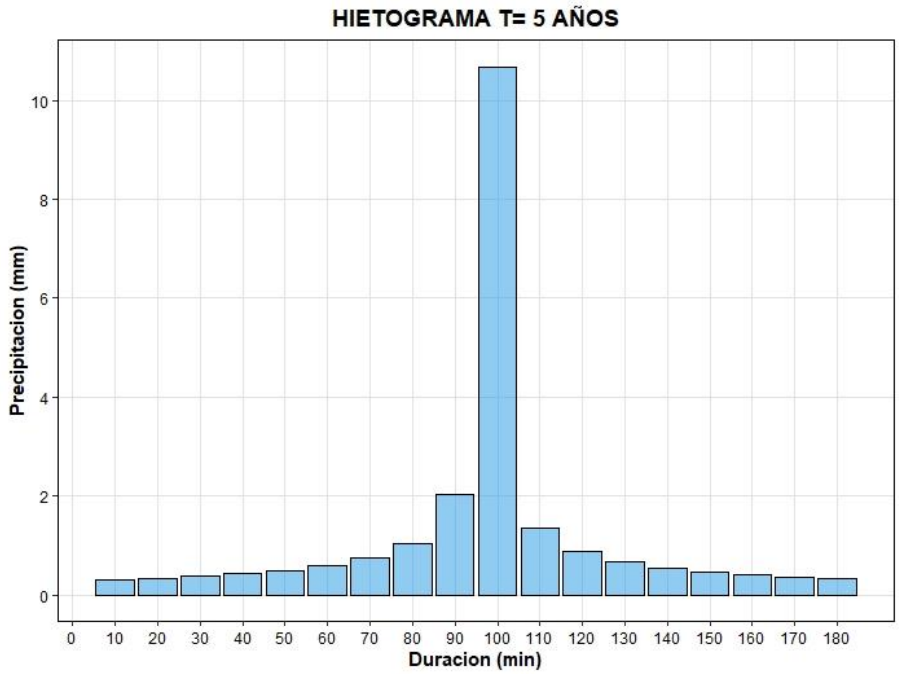
REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Anexo 8. Hietogramas para diferentes periodos de retorno por cada microcuenca de la data grillada Pisco Pd.**

**Anexo 8.1. Microcuenca "Del Pato"**



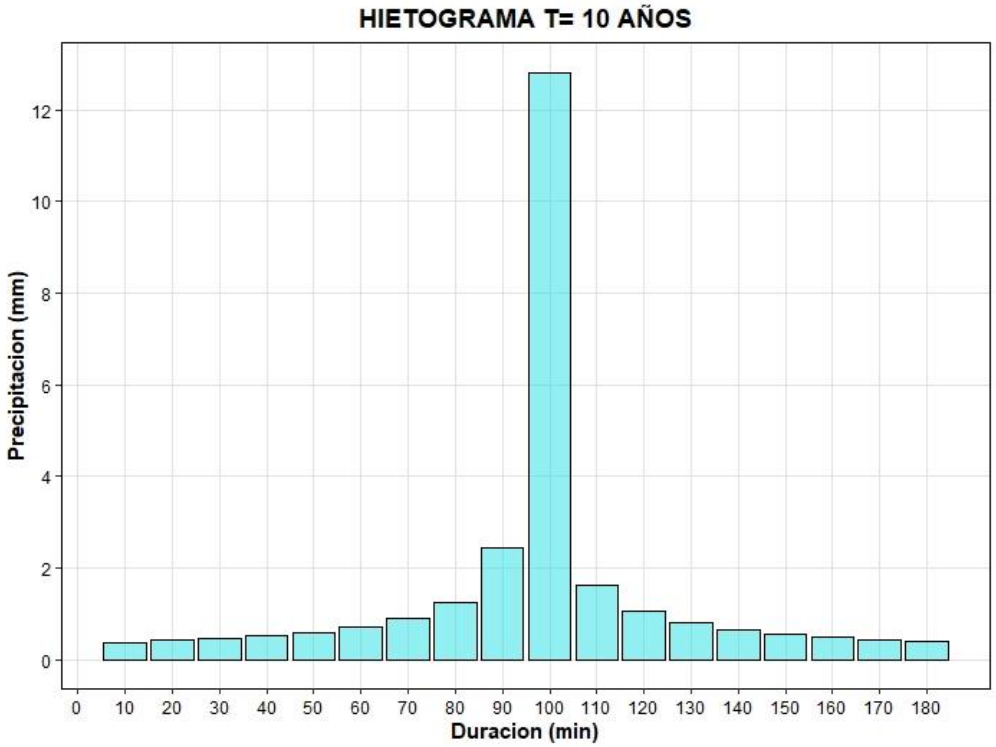



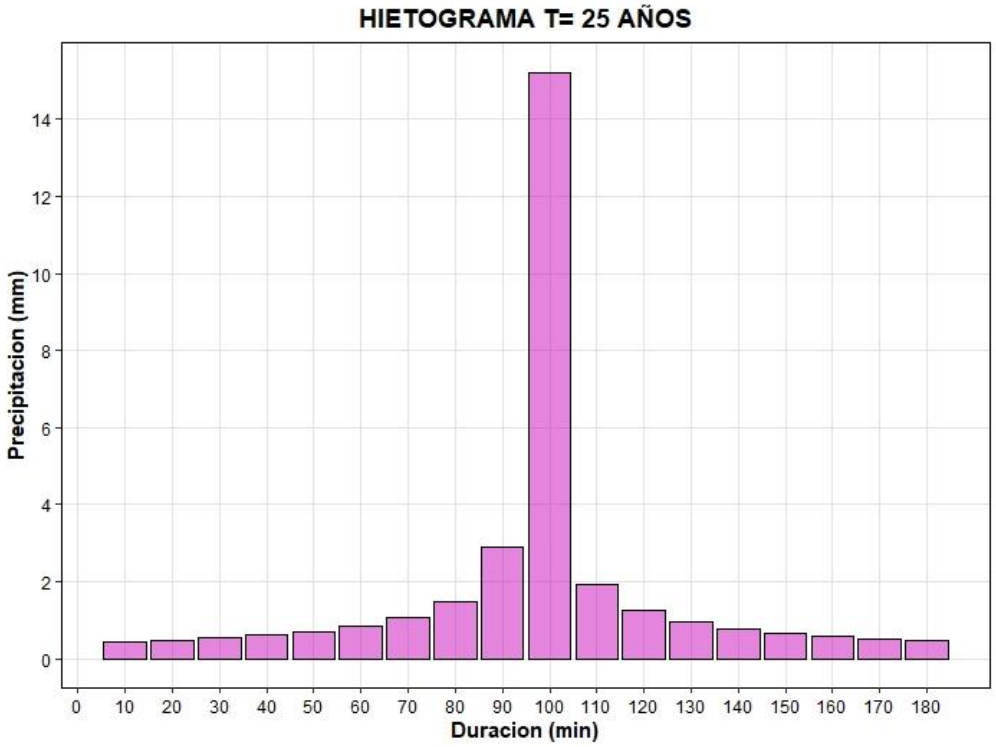



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



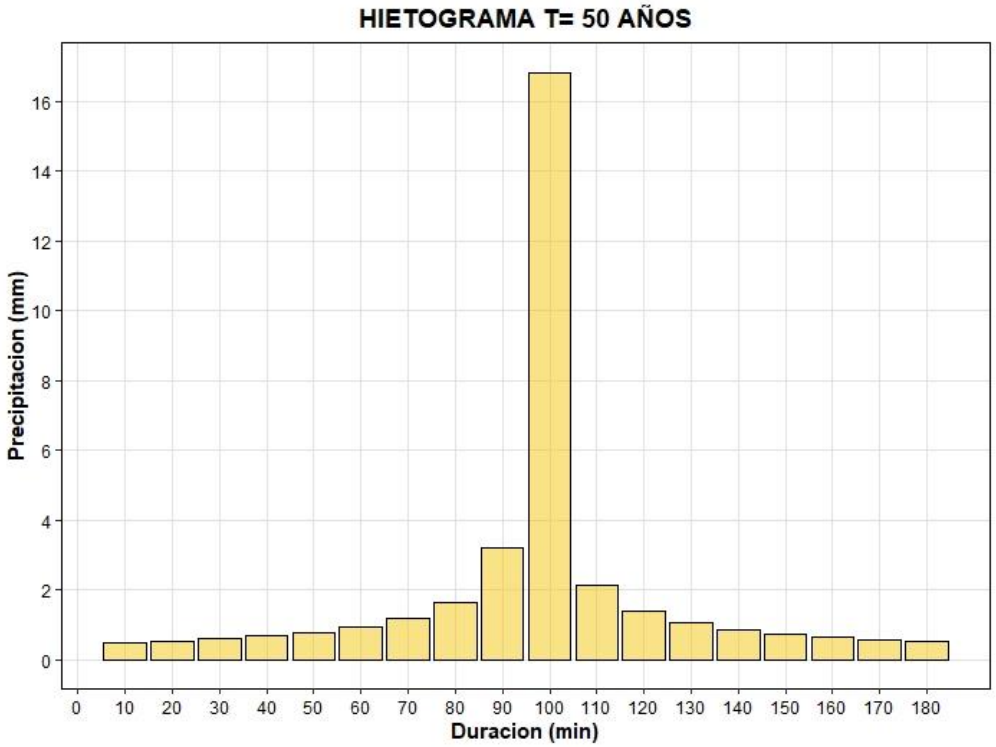



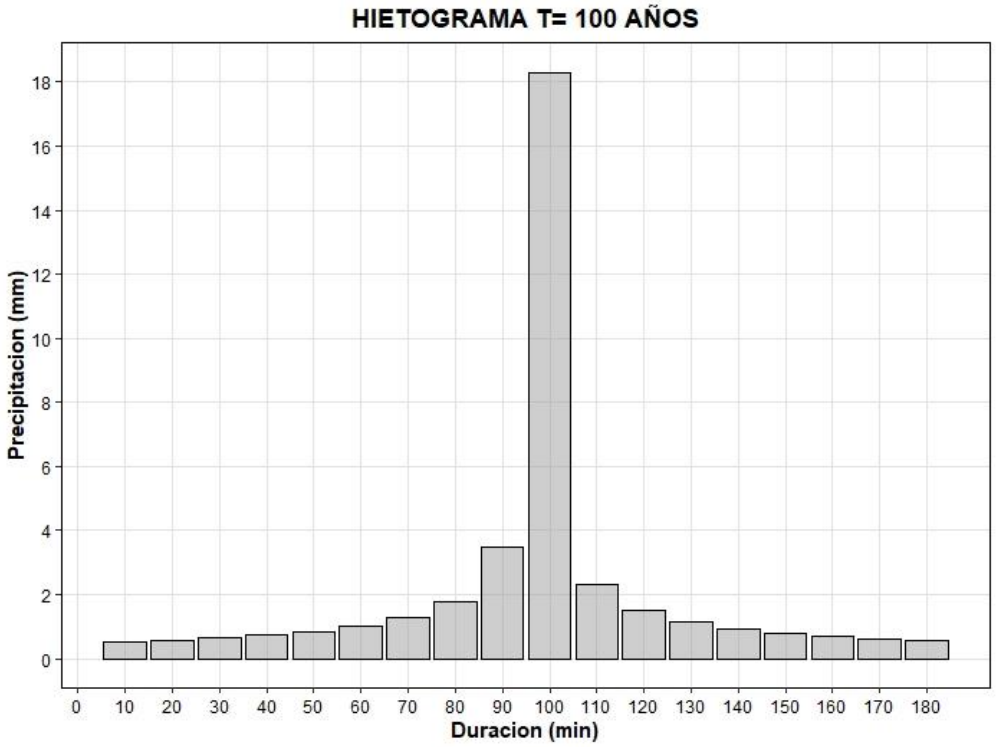



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



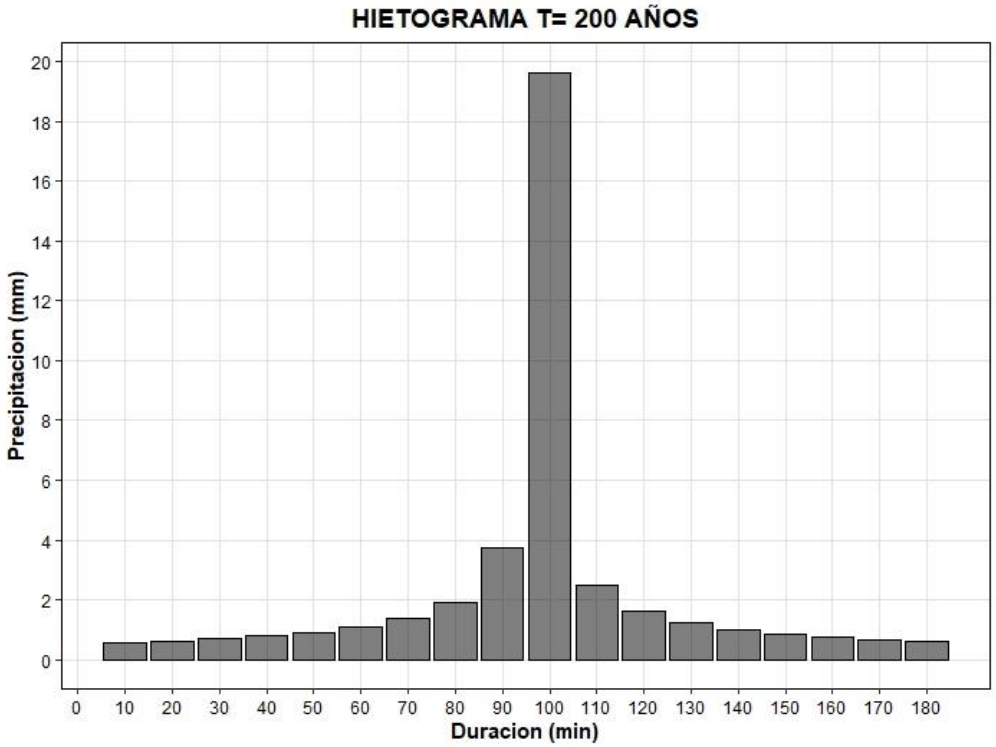





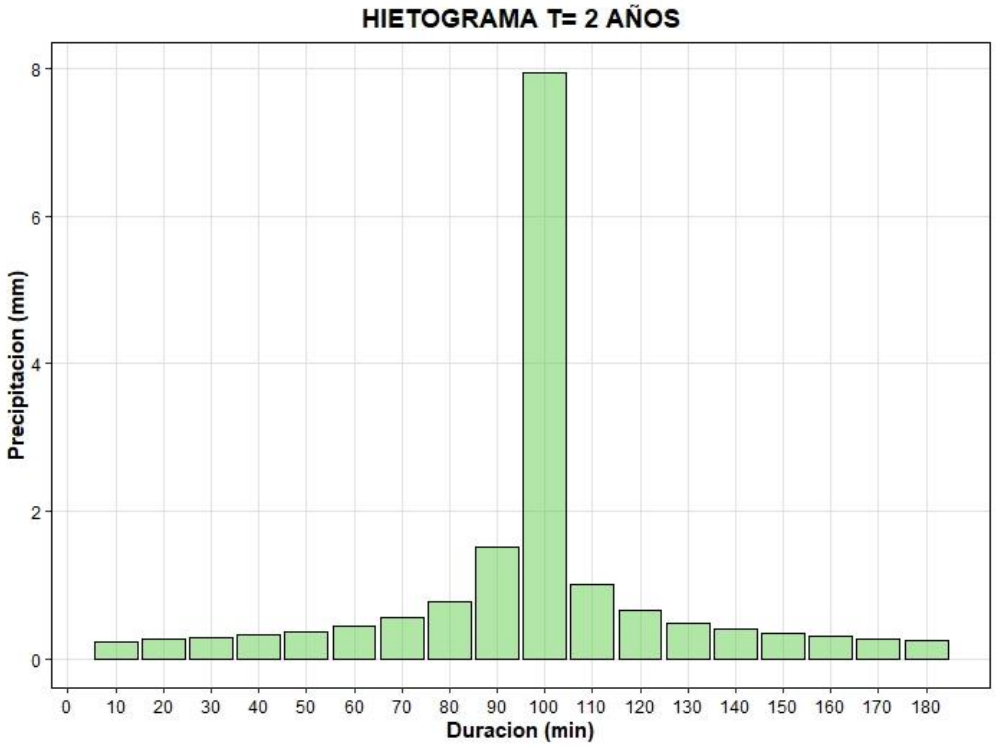

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA




**Anexo 8.2. Microcuenca "San Lázaro"**

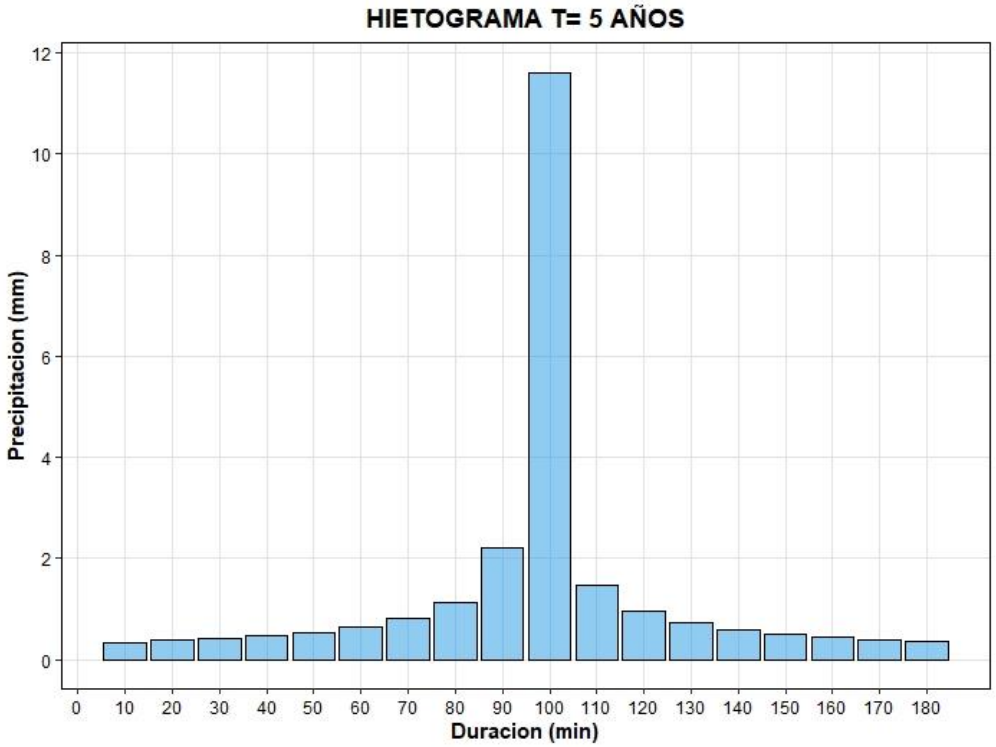


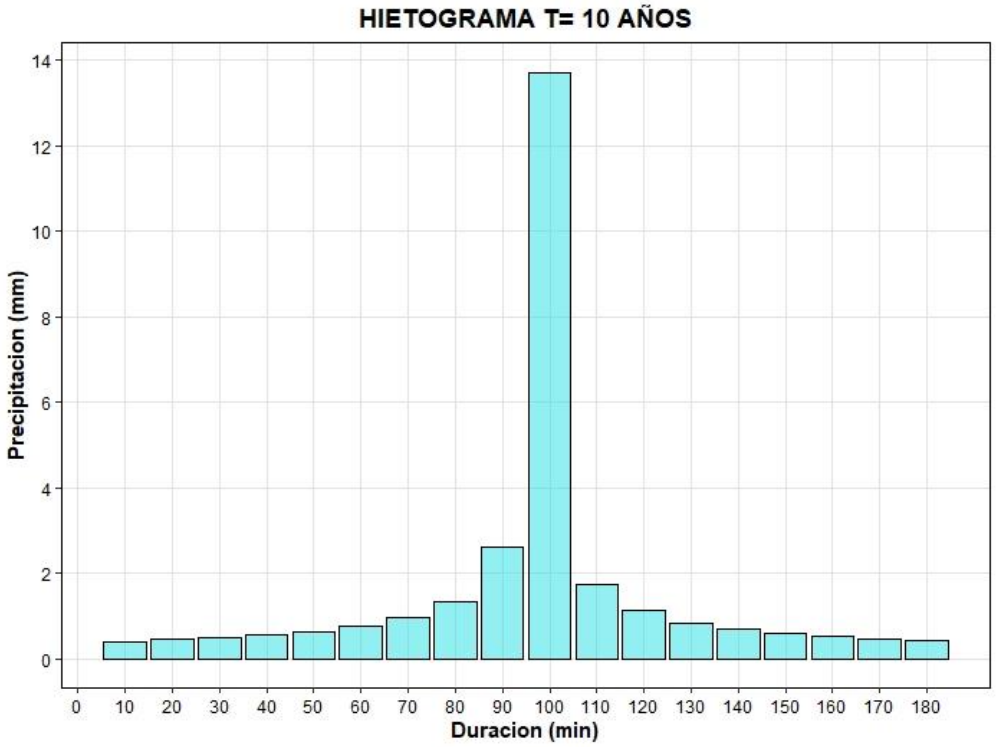



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



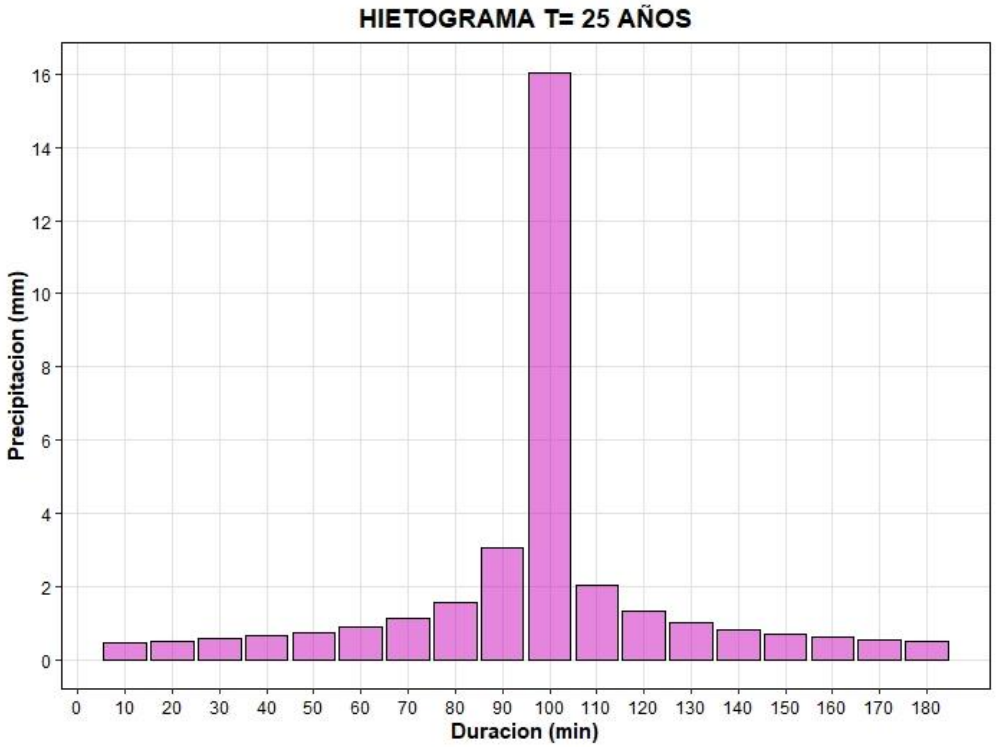



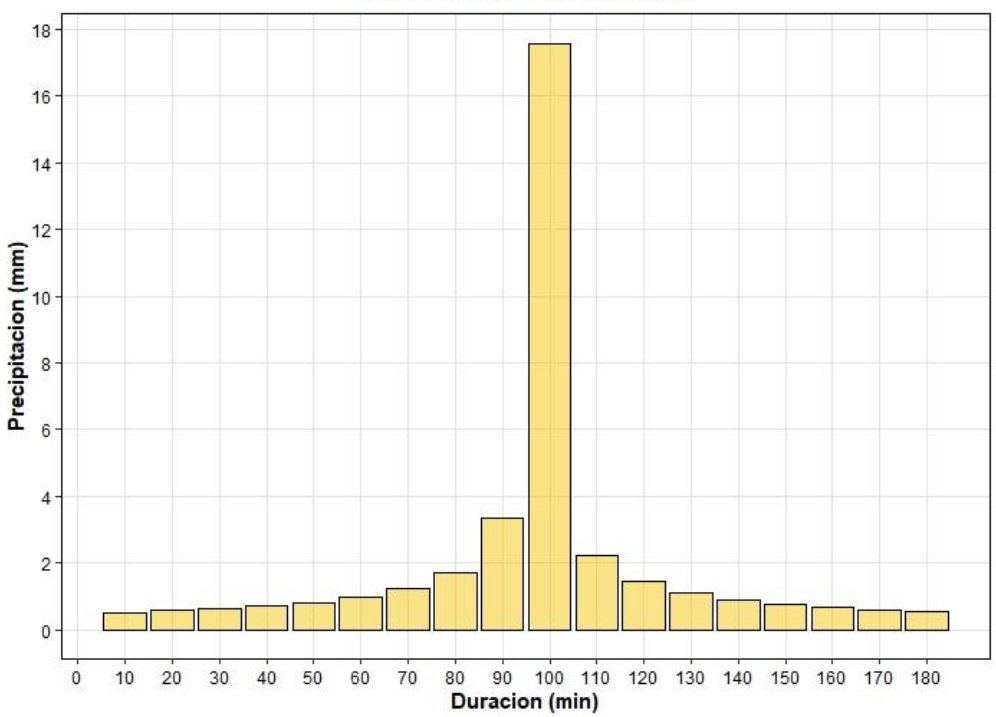



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



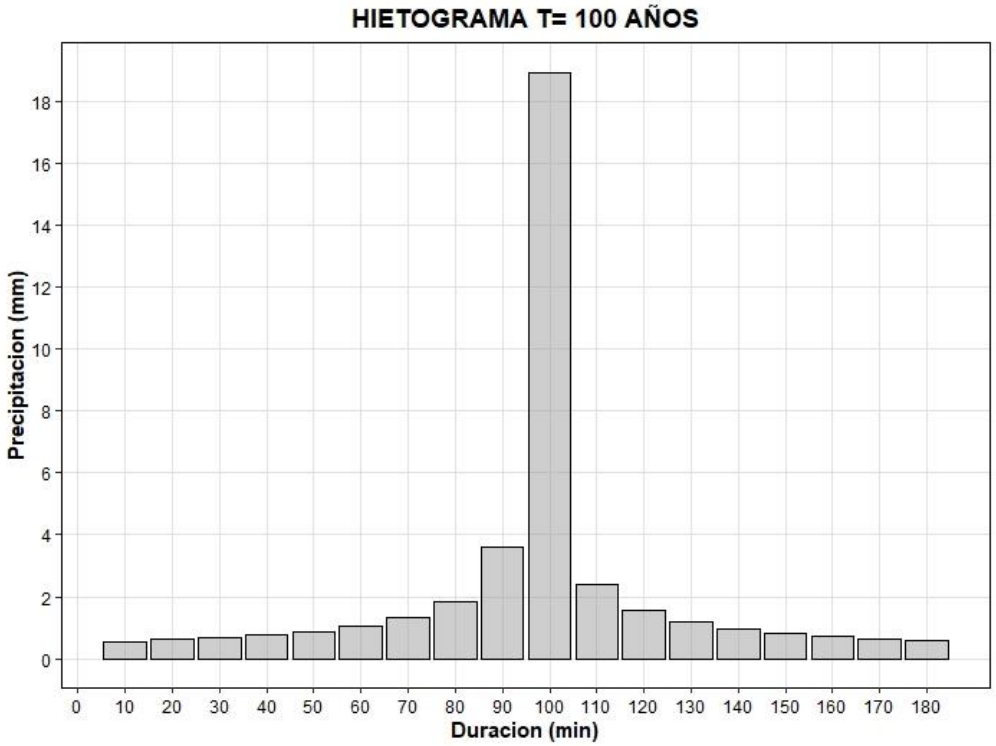



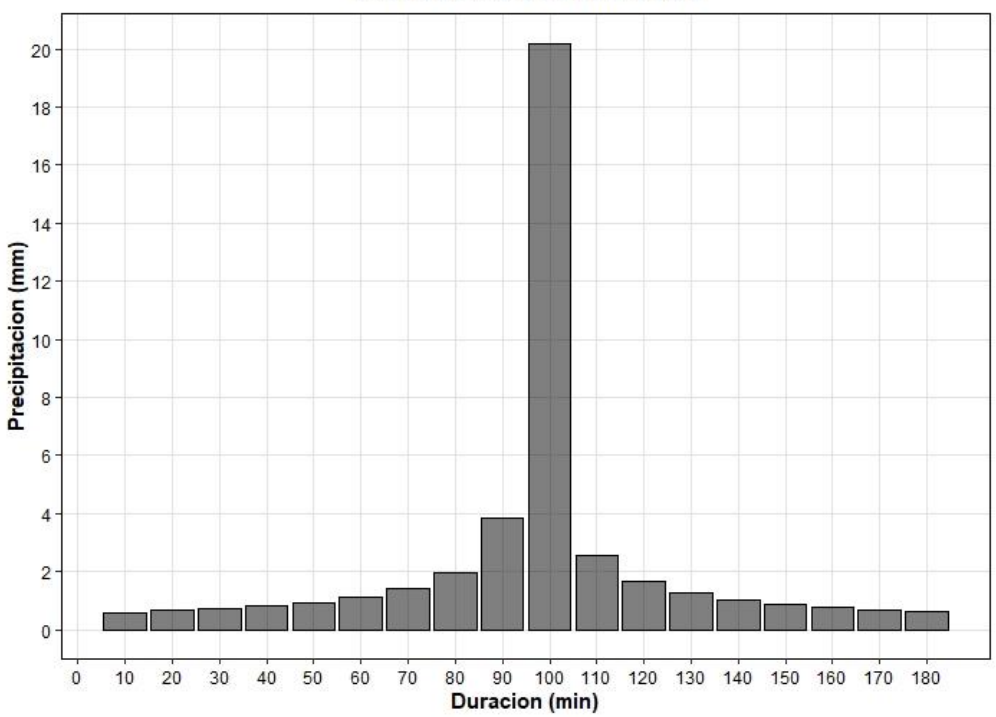



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



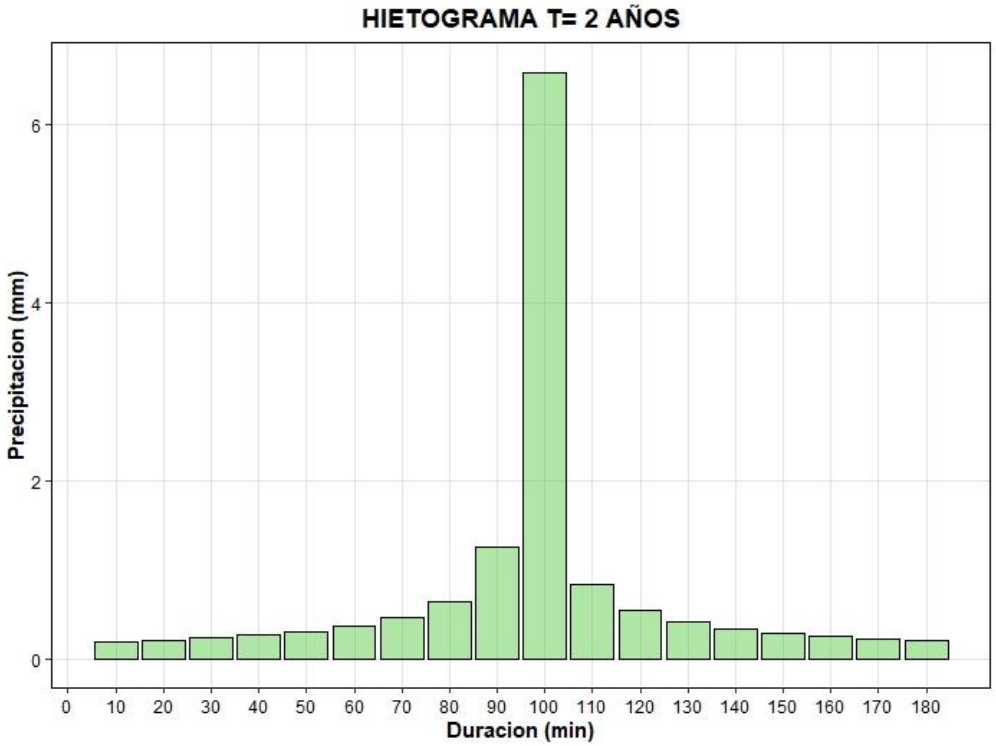


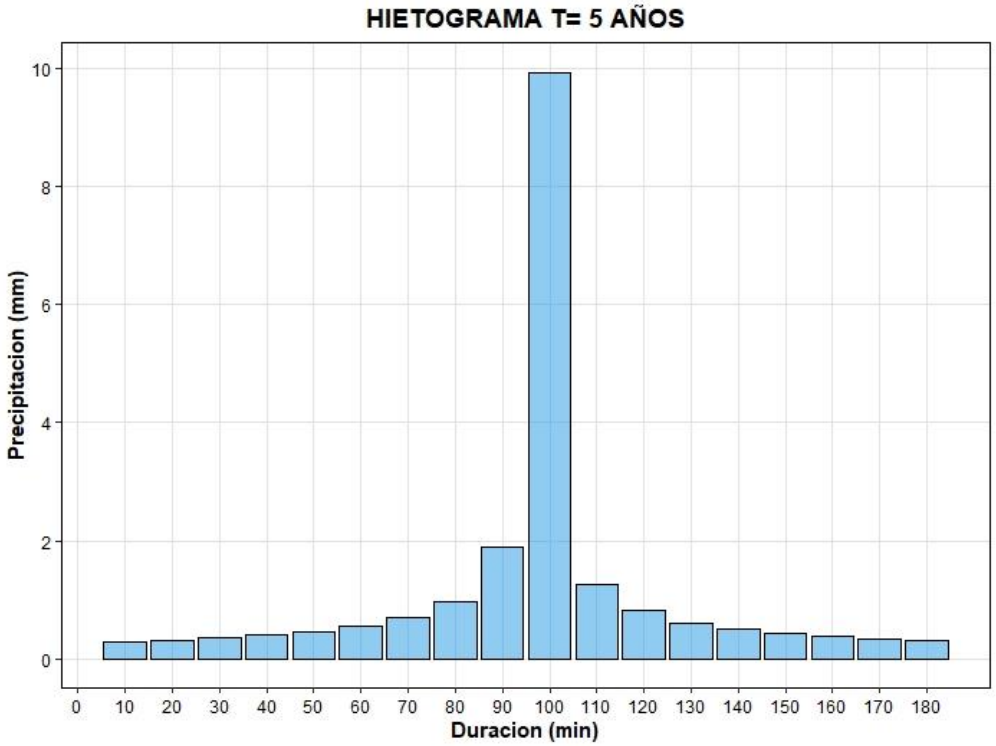

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Anexo 8.3. Microcuenca "Venezuela - A"**



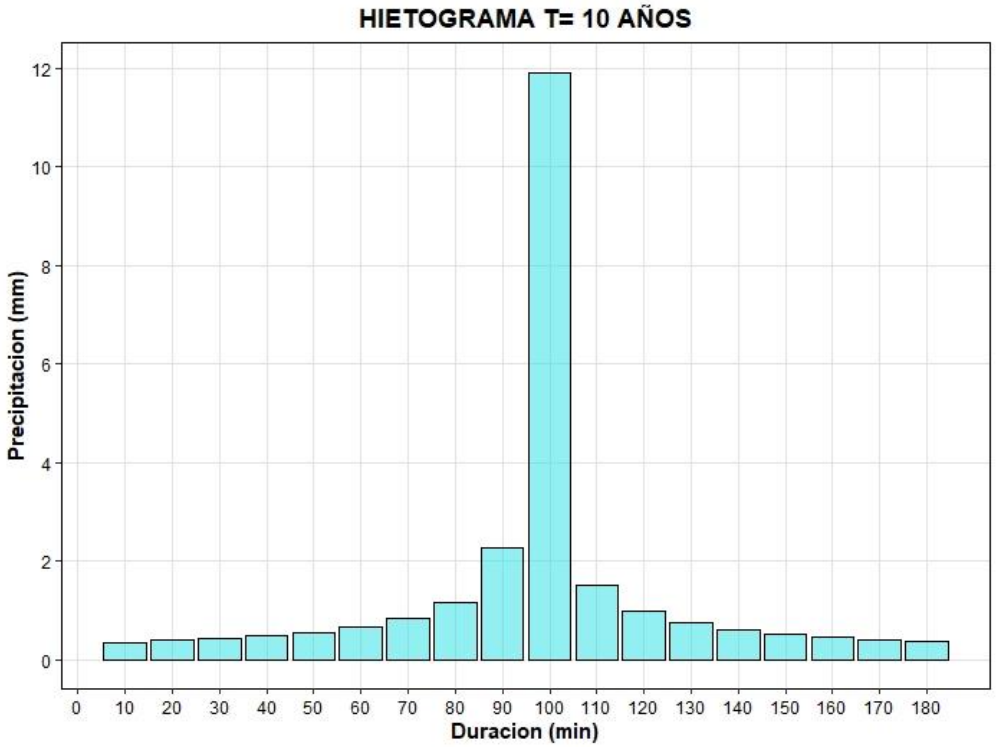



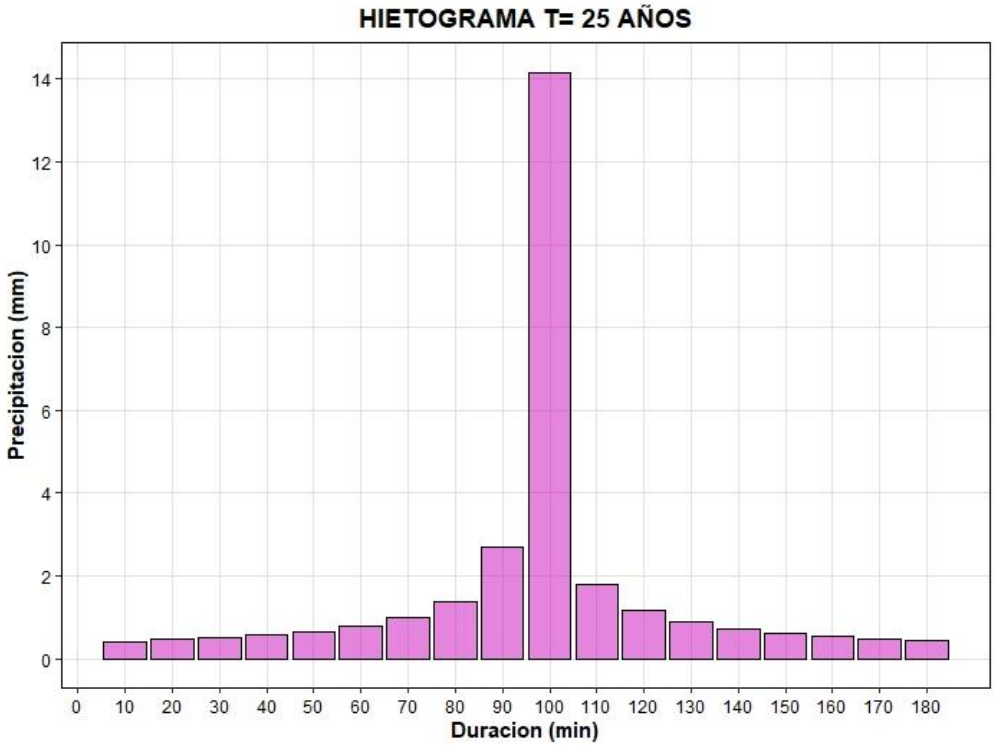



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



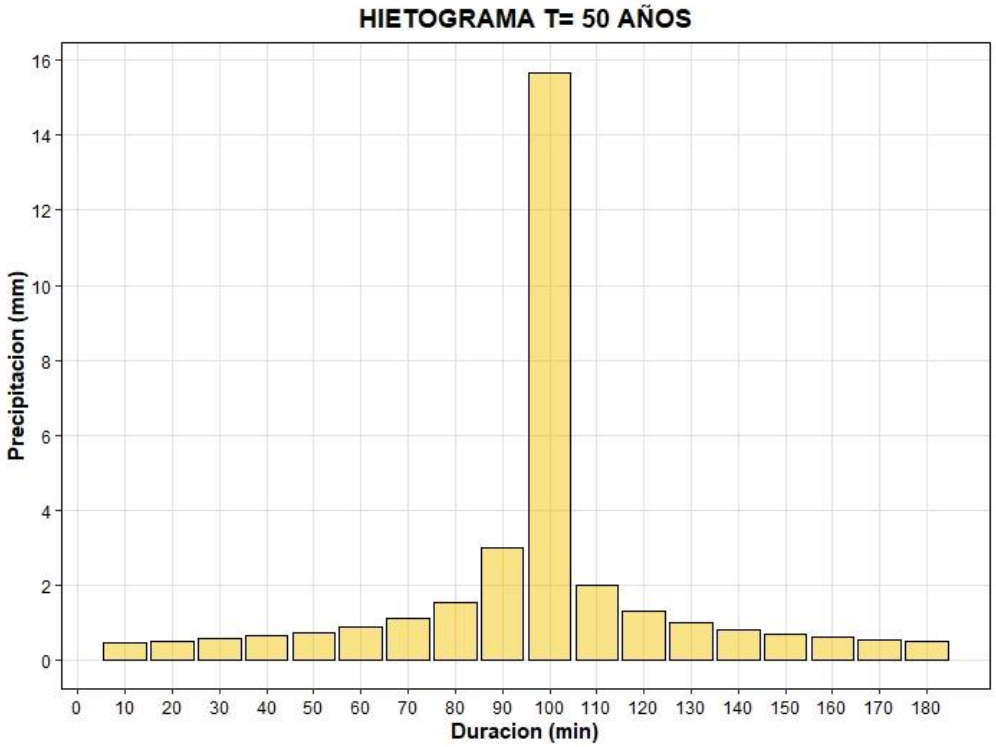



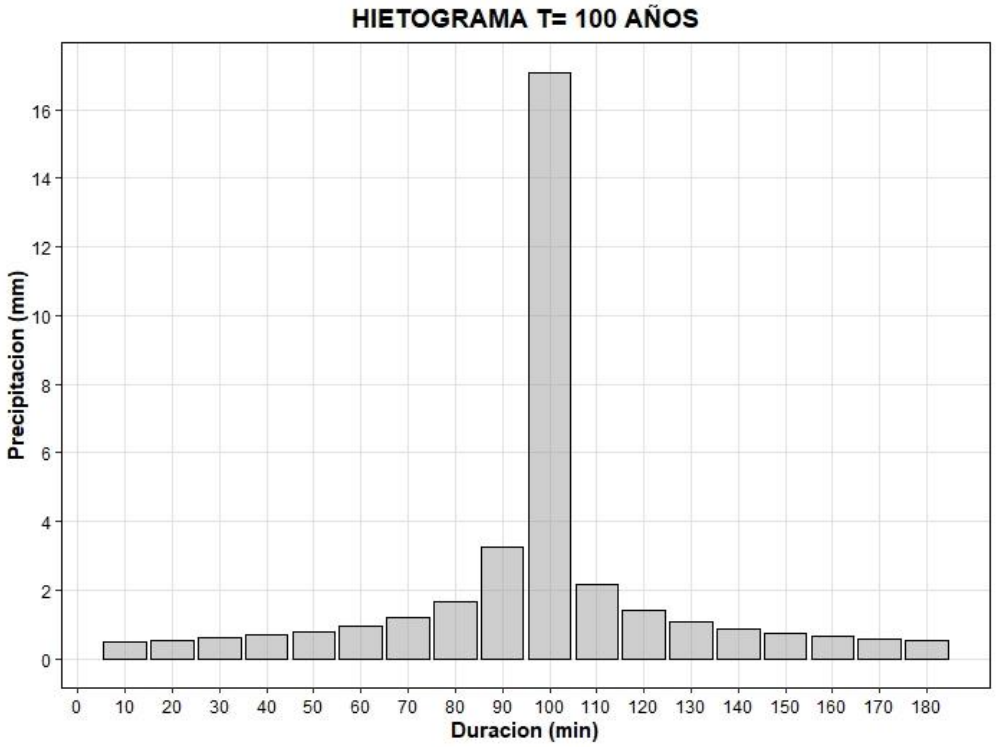



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



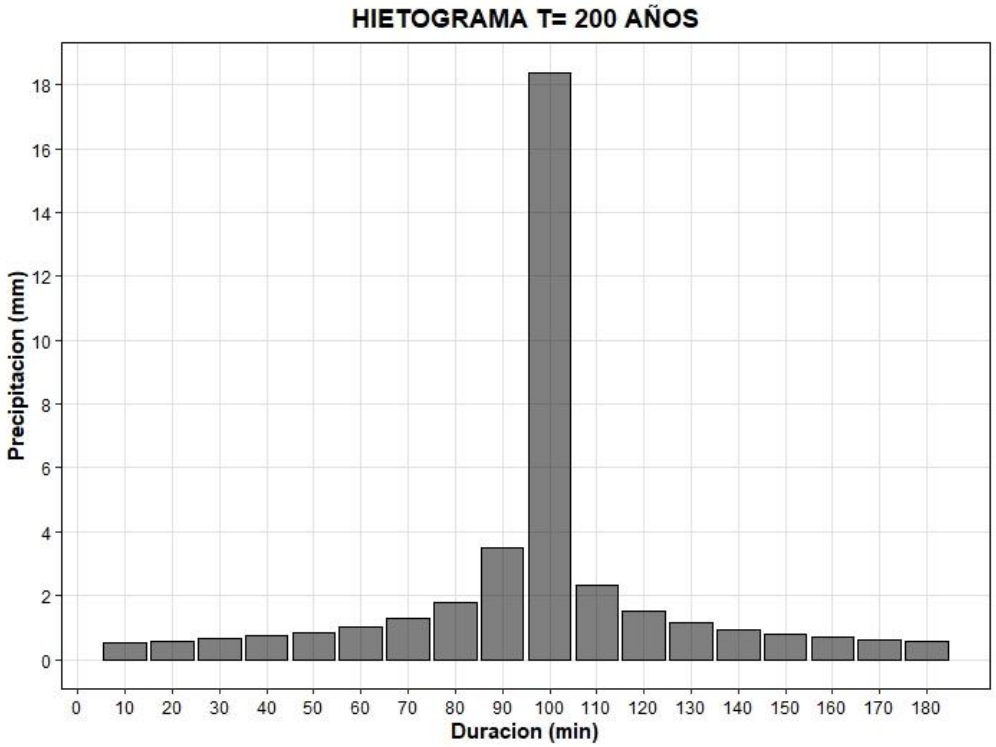





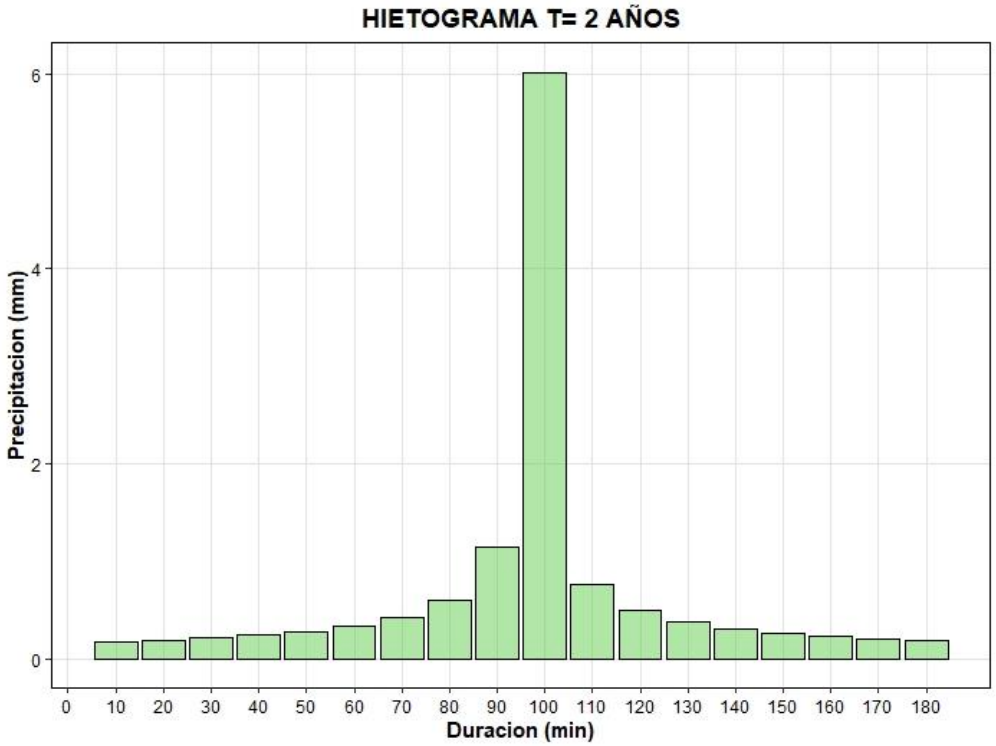

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA




**Anexo 8.4. Microcuenca "Venezuela - B"**

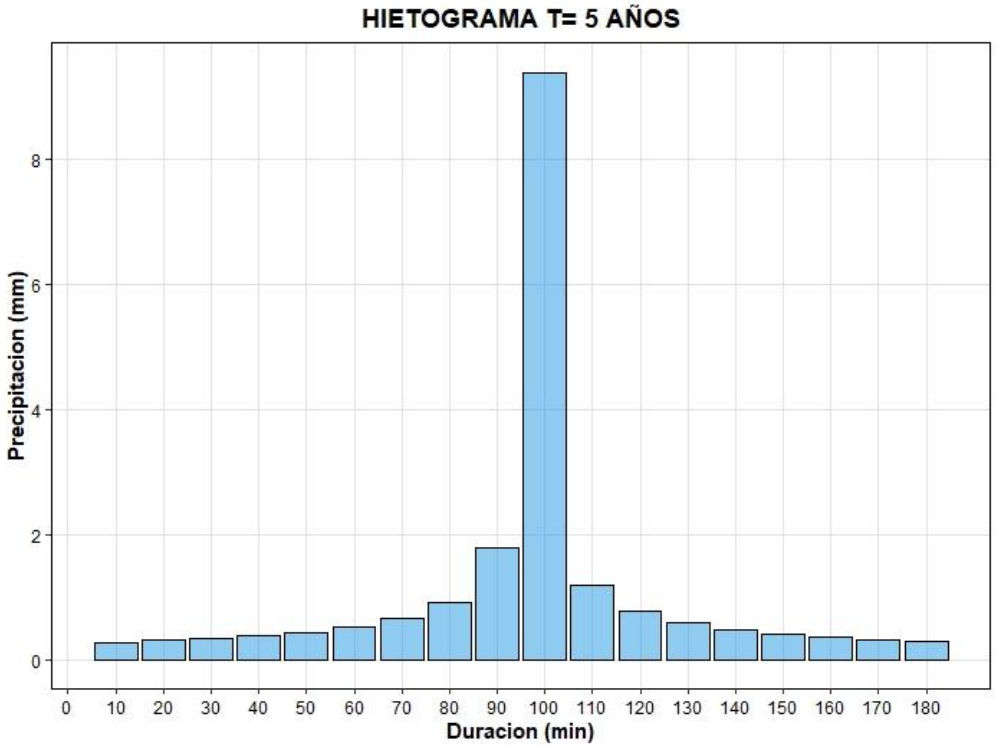


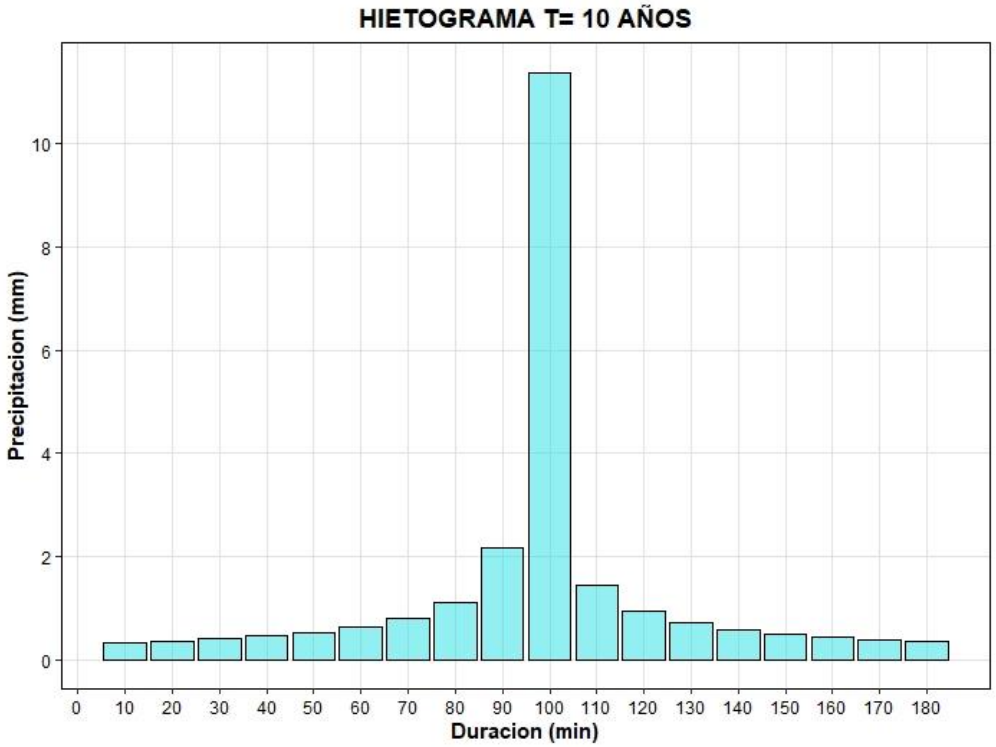



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



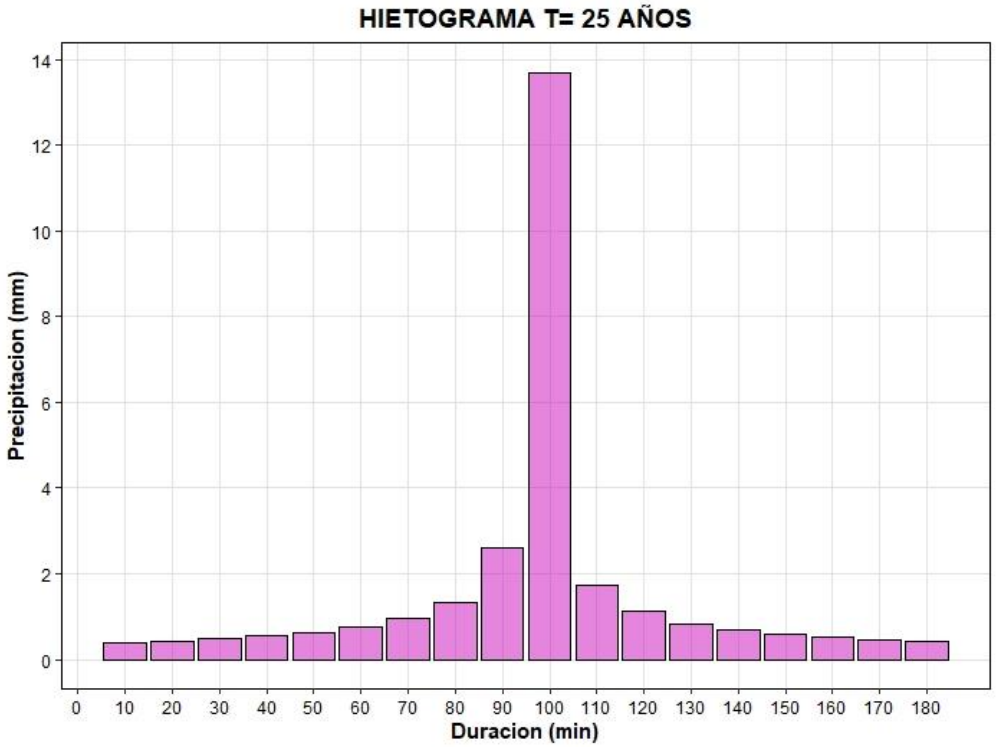



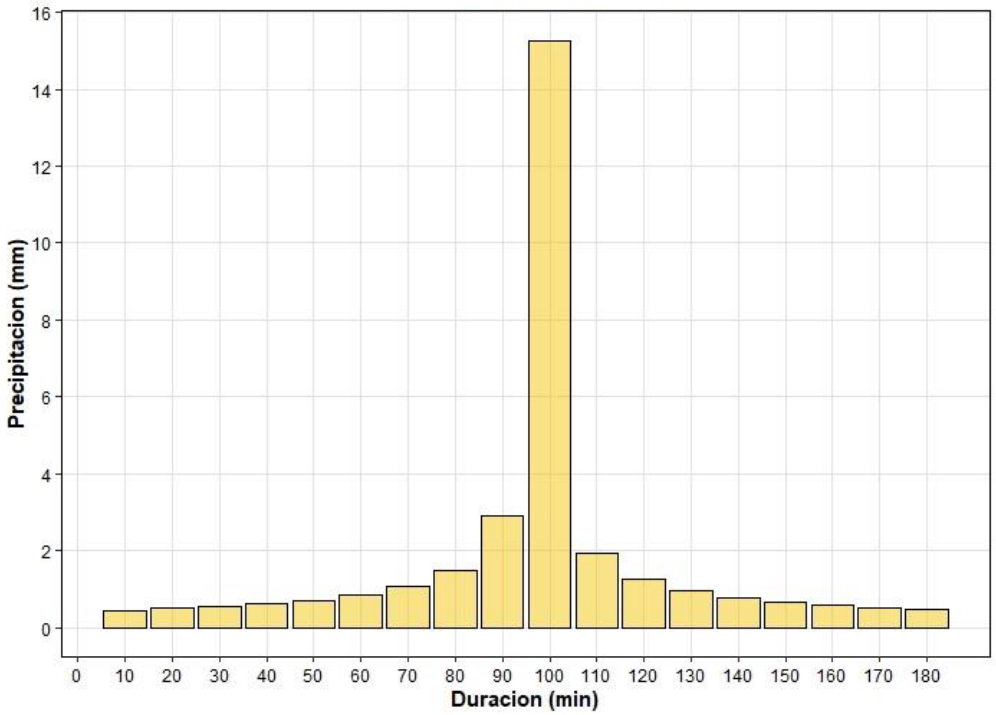



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



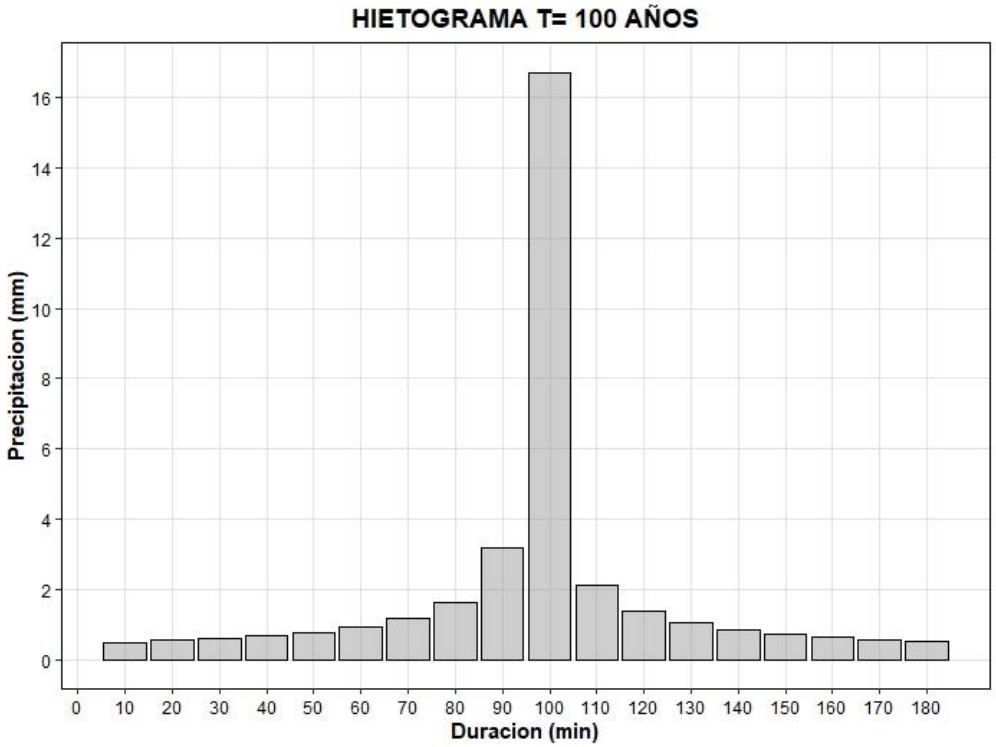



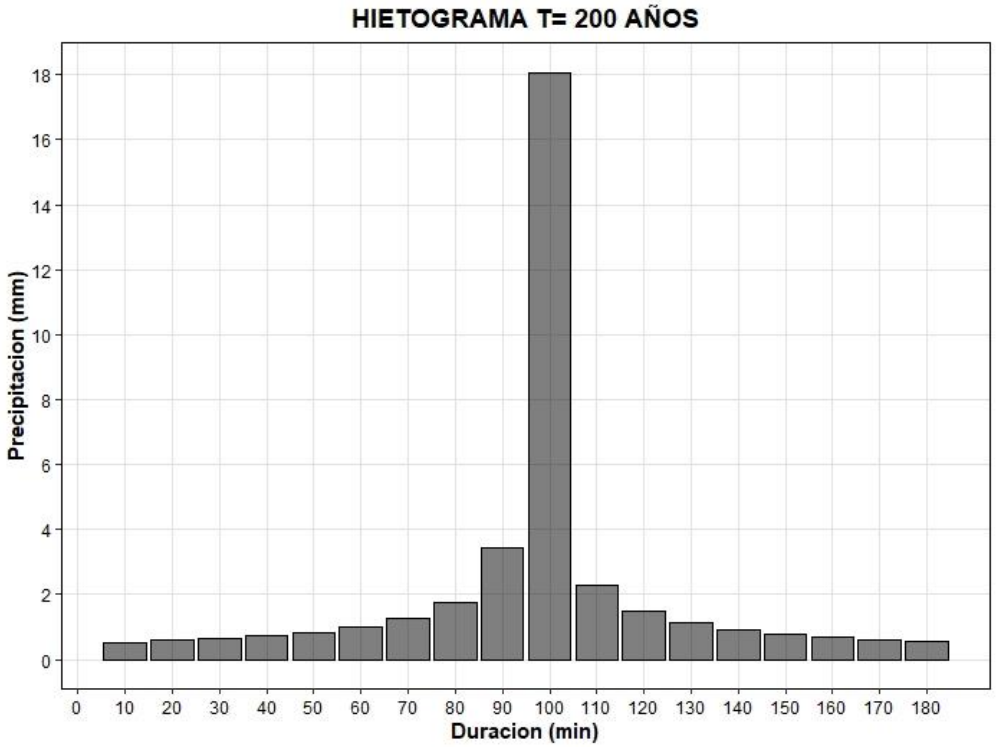



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



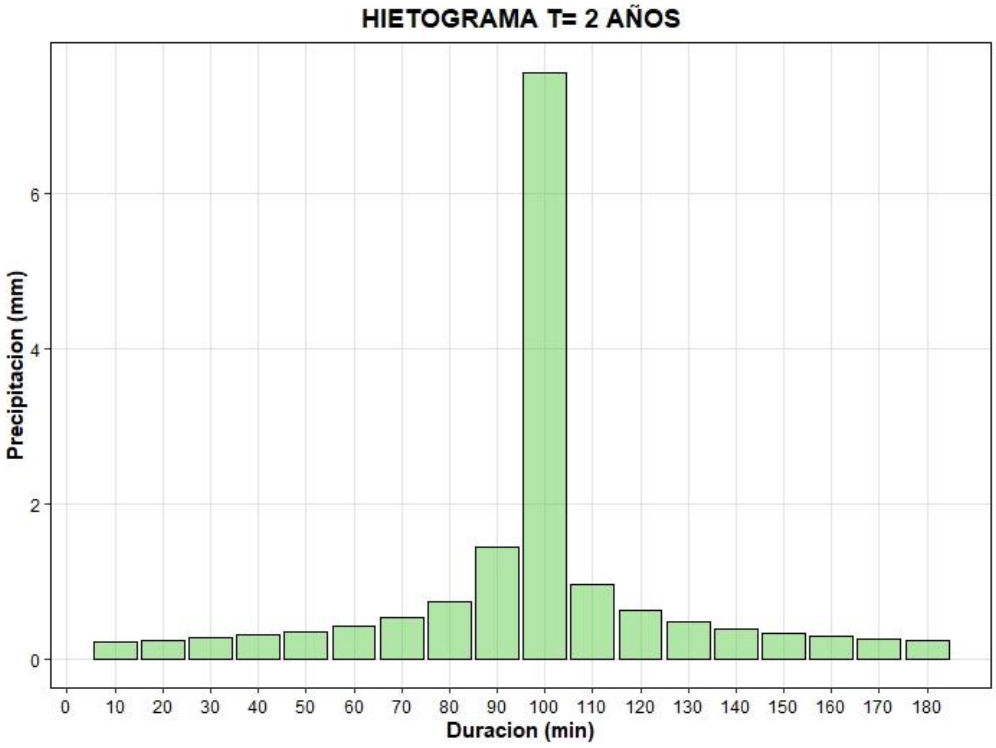


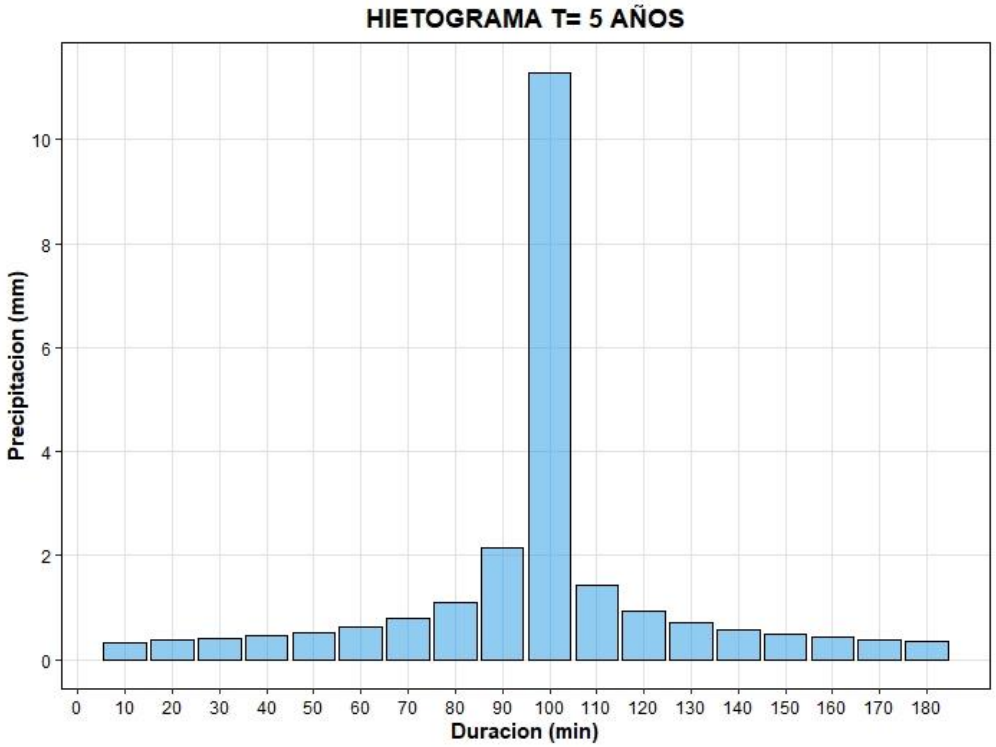

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Anexo 8.5. Microcuenca "Los Incas - A**



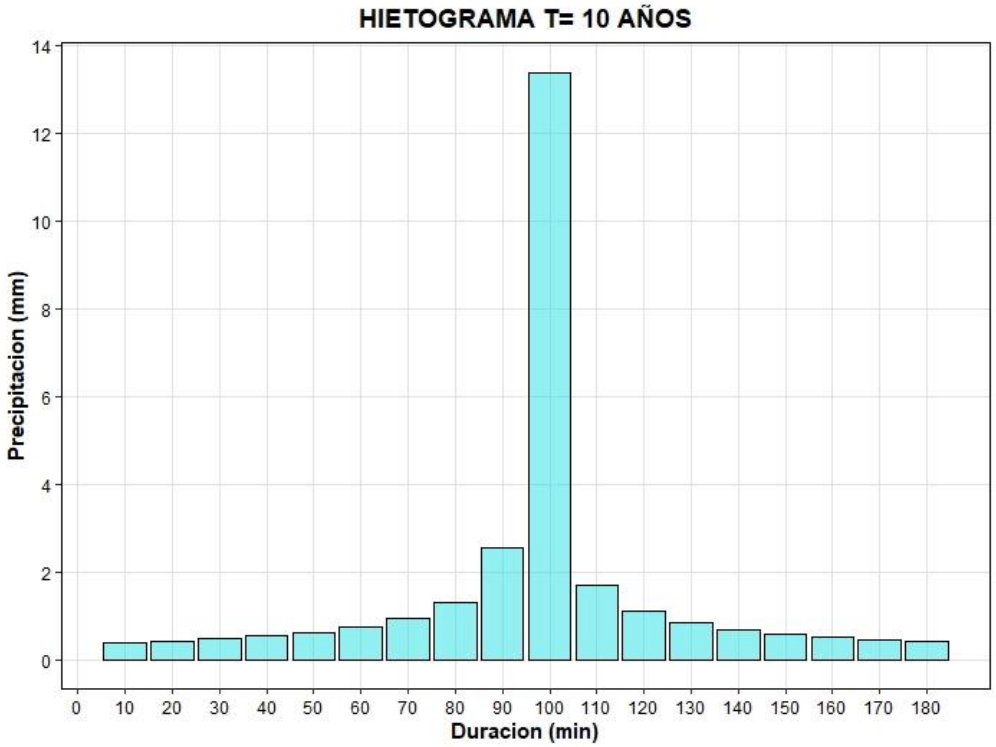



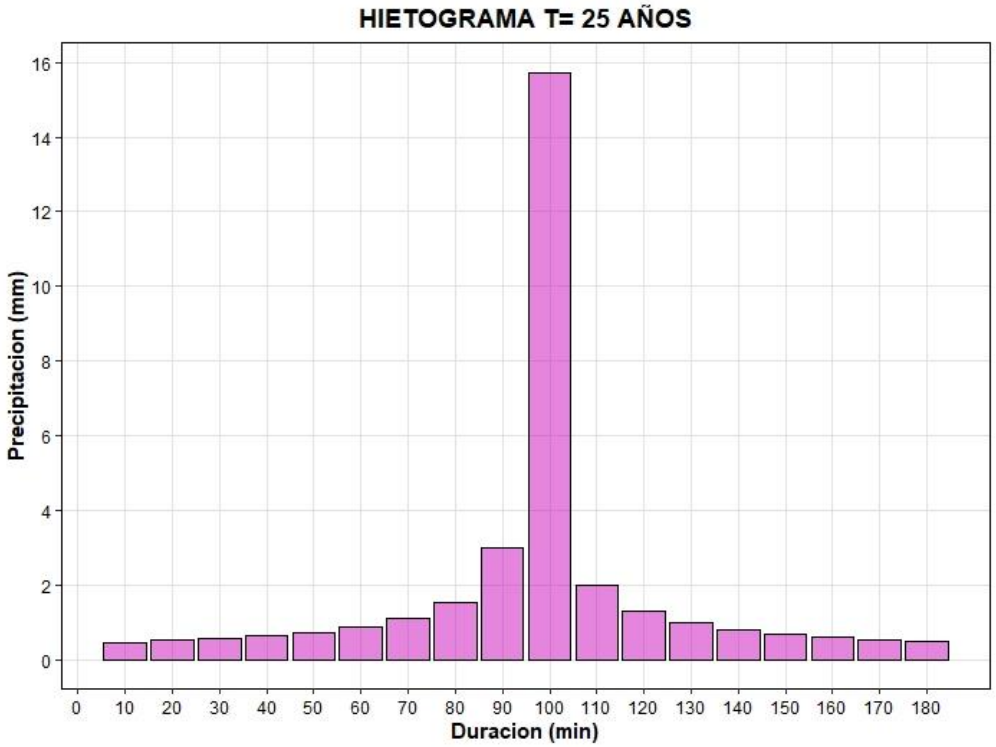



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



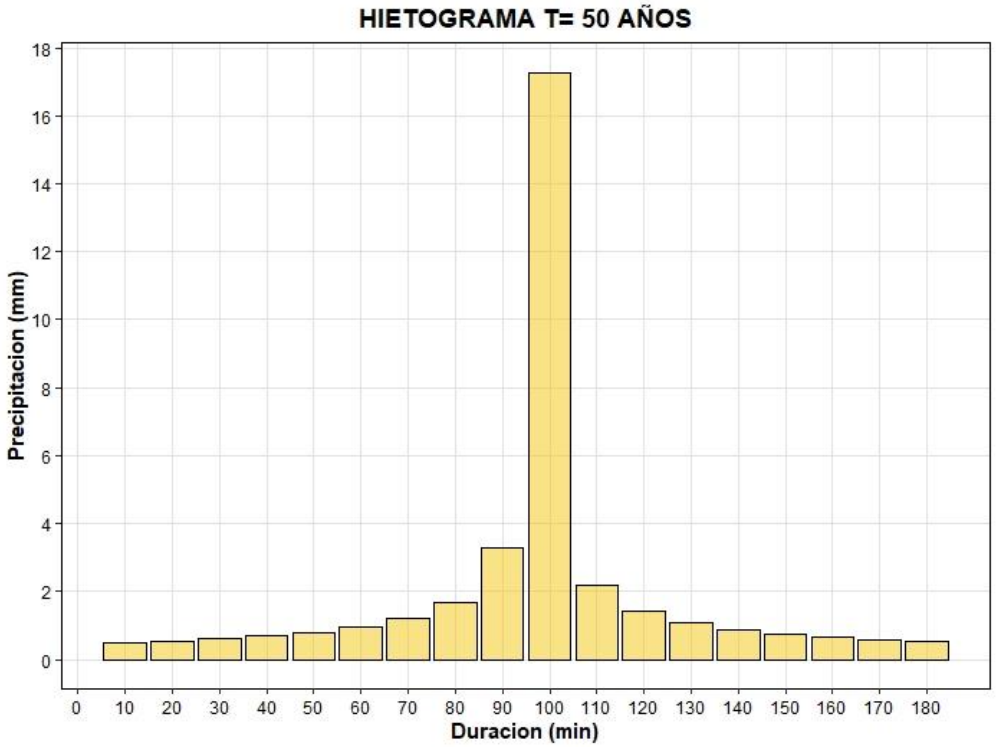



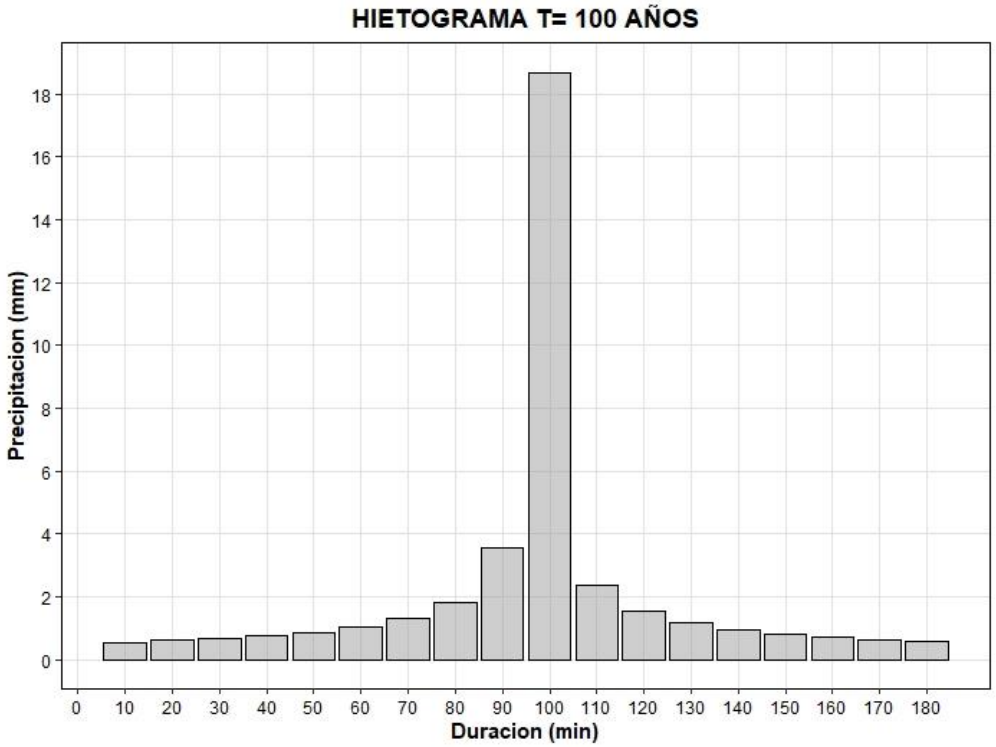



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



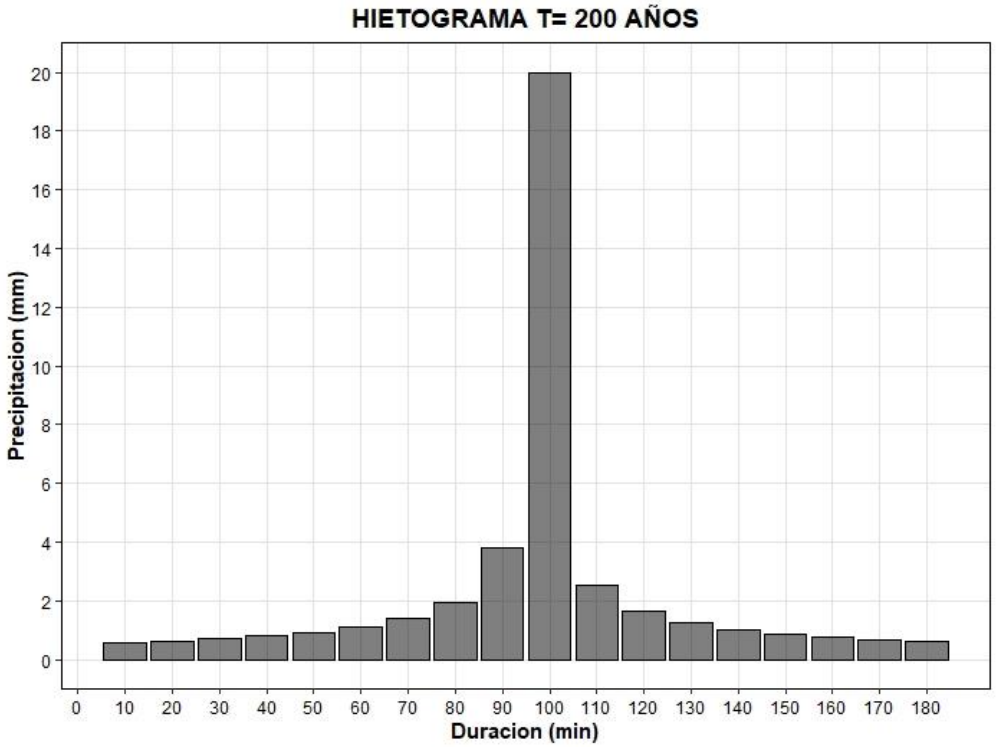





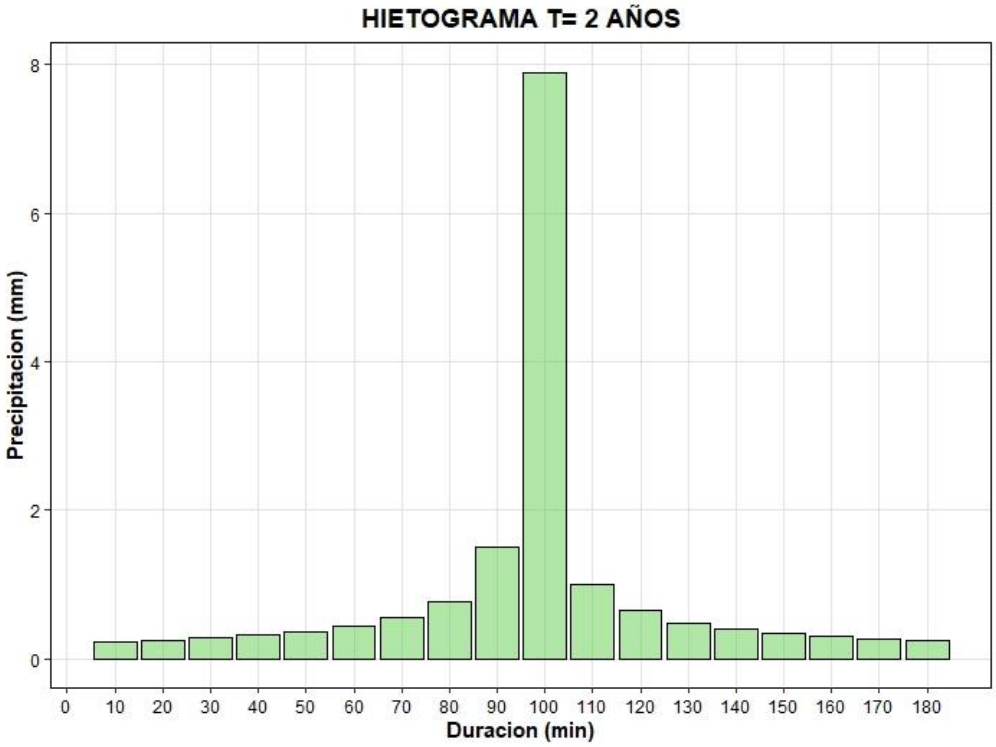

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA




**Anexo 8.6. Microcuenca "Los Incas - B"**

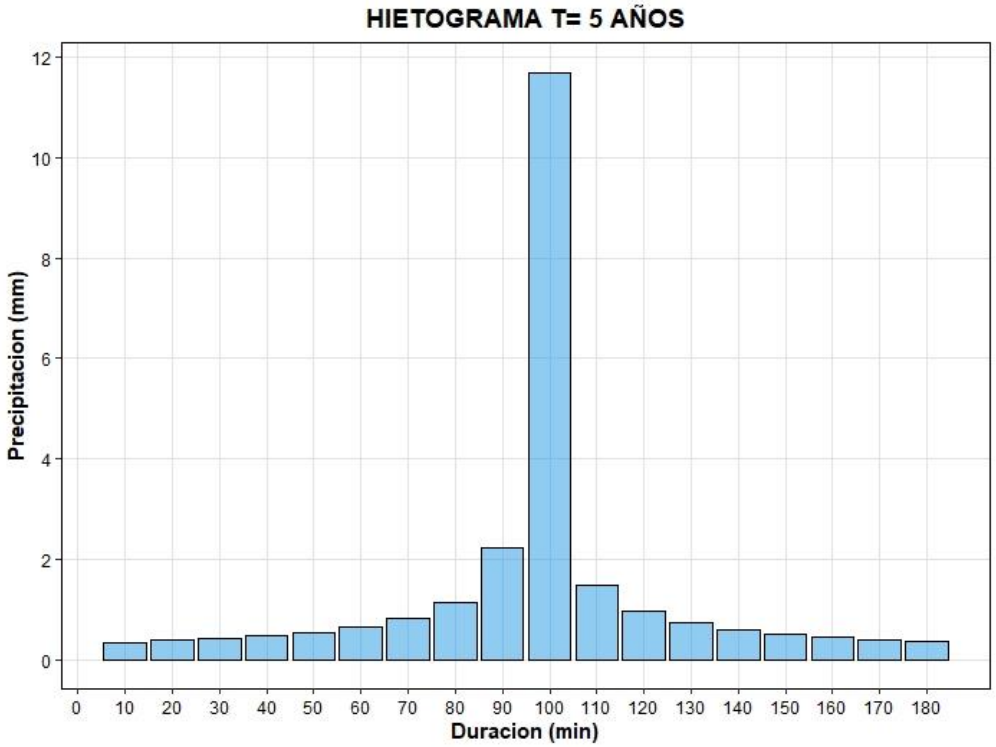


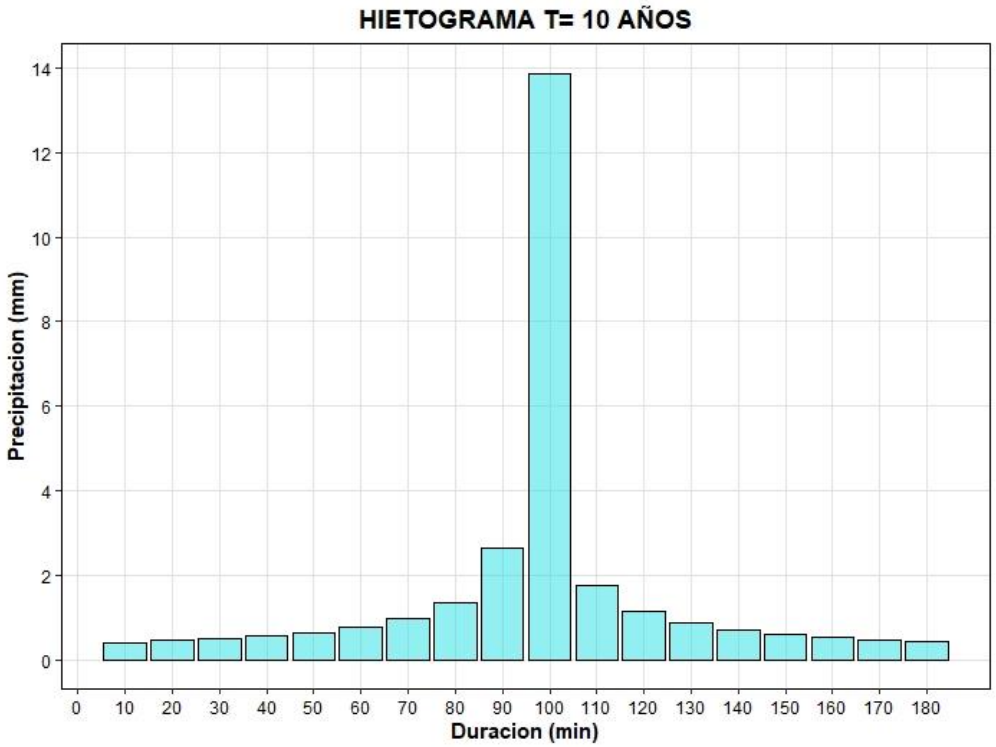



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



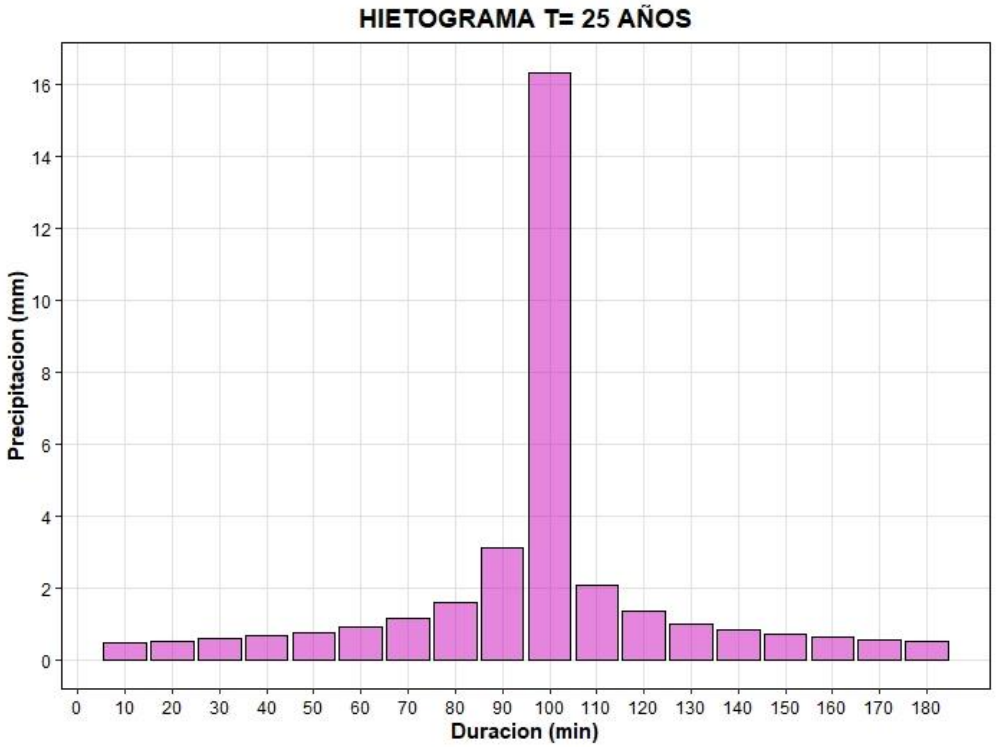



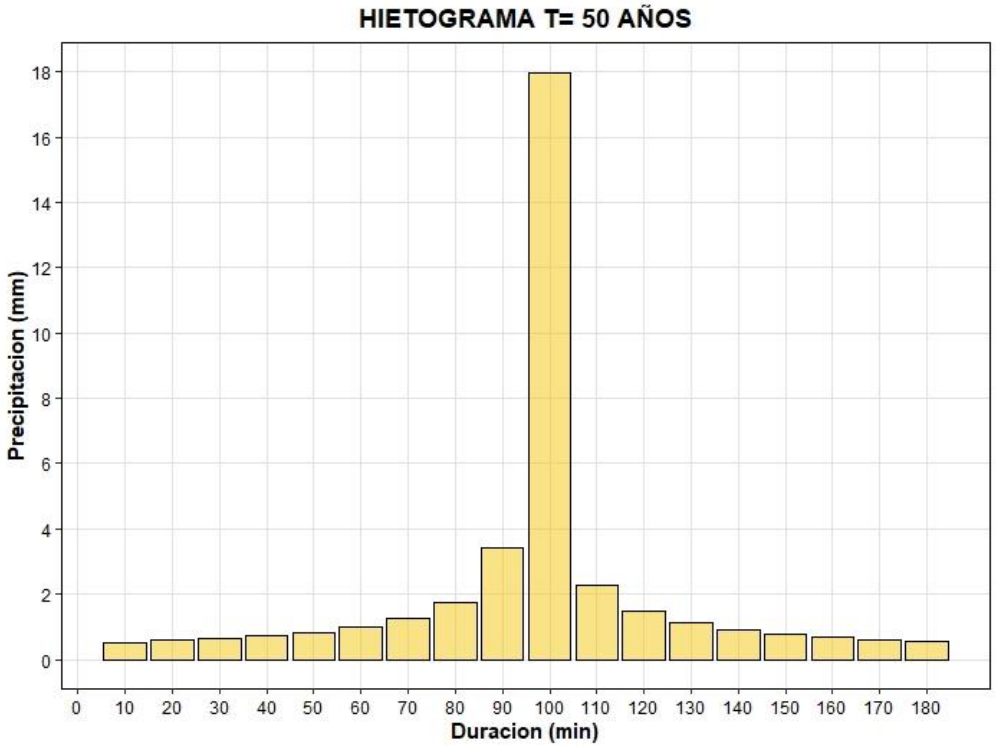



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



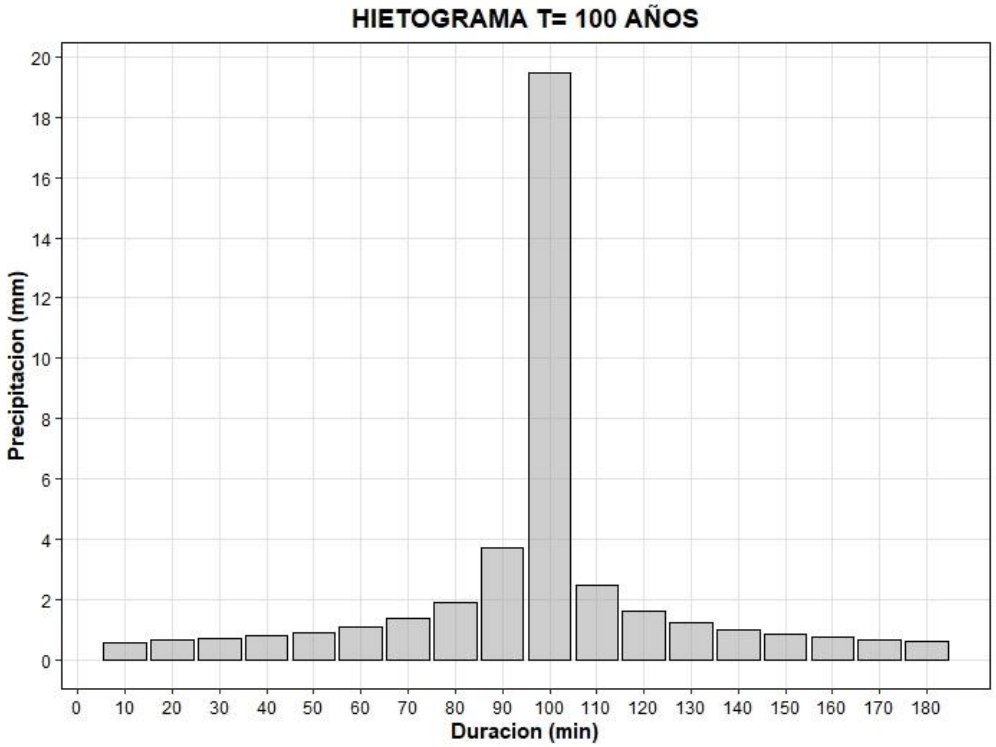



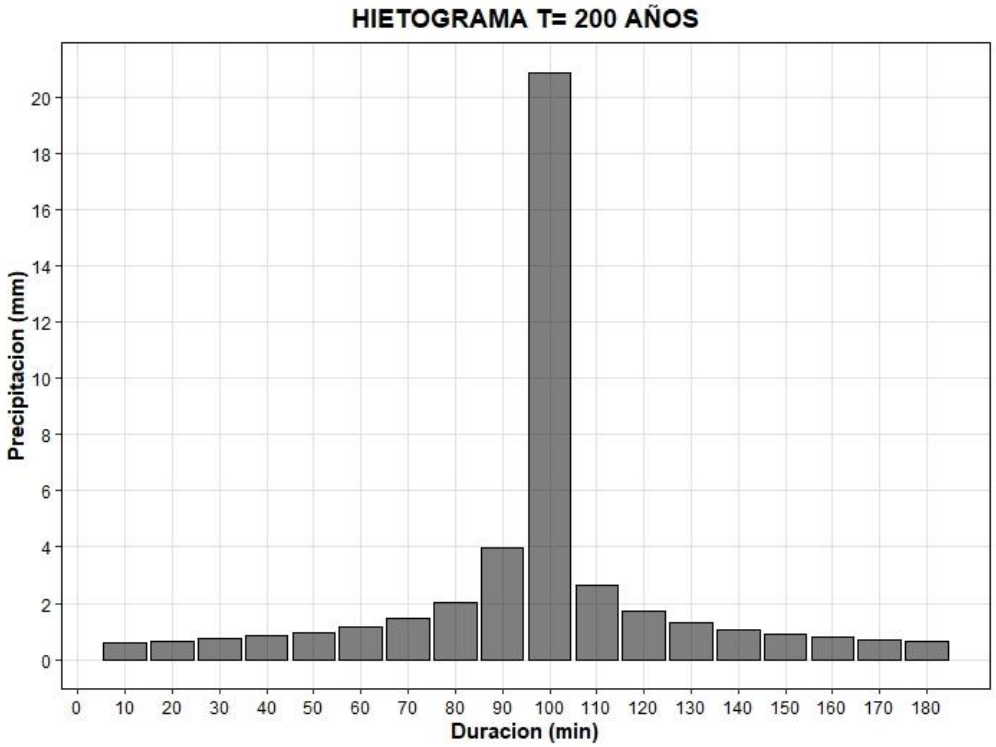



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



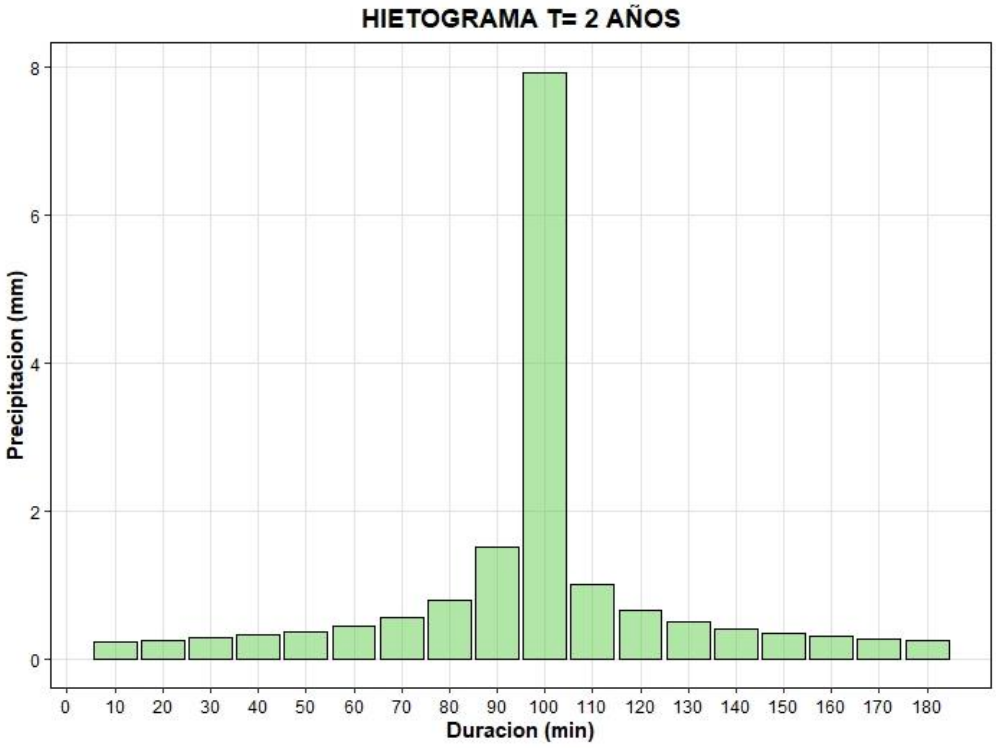


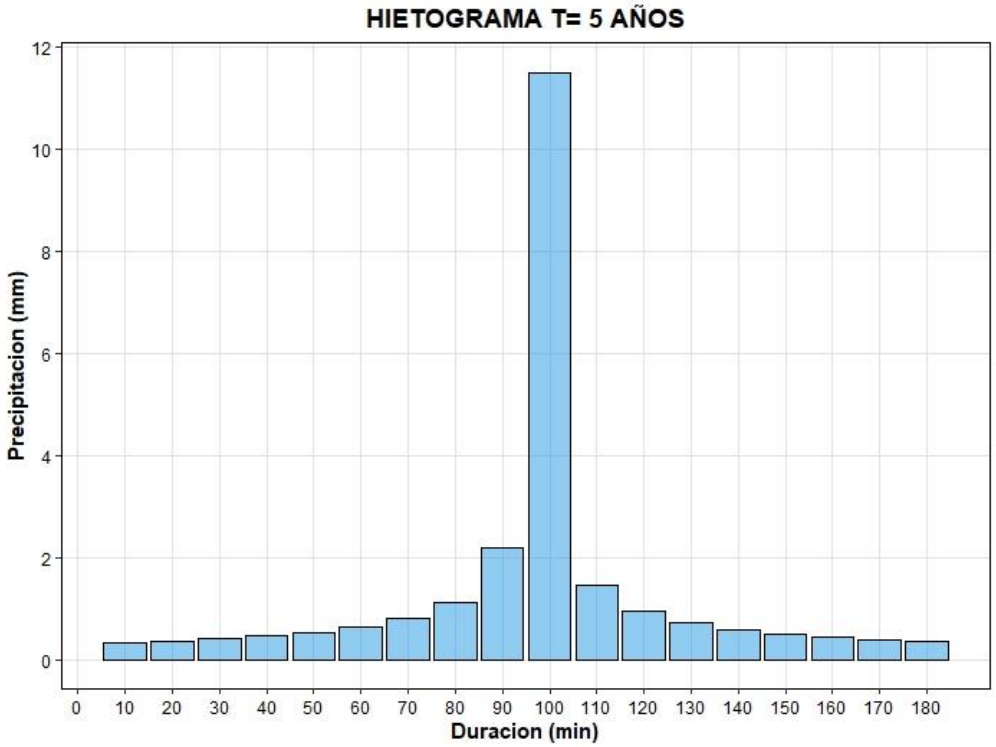

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Anexo 8.7. Microcuenca "Los Incas - C"**



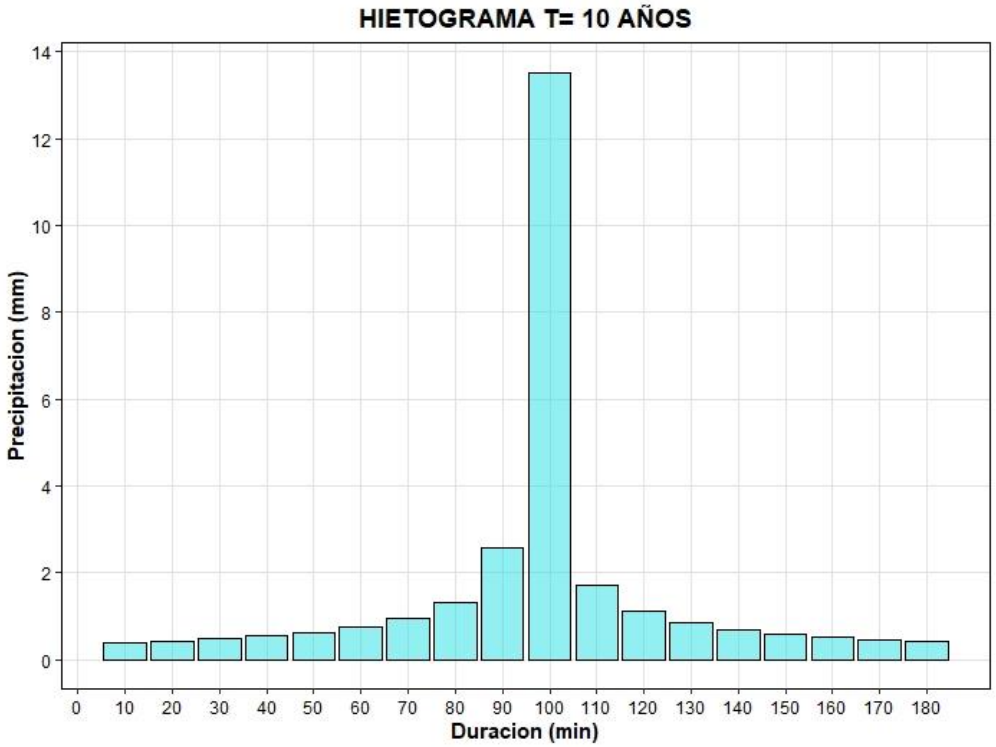



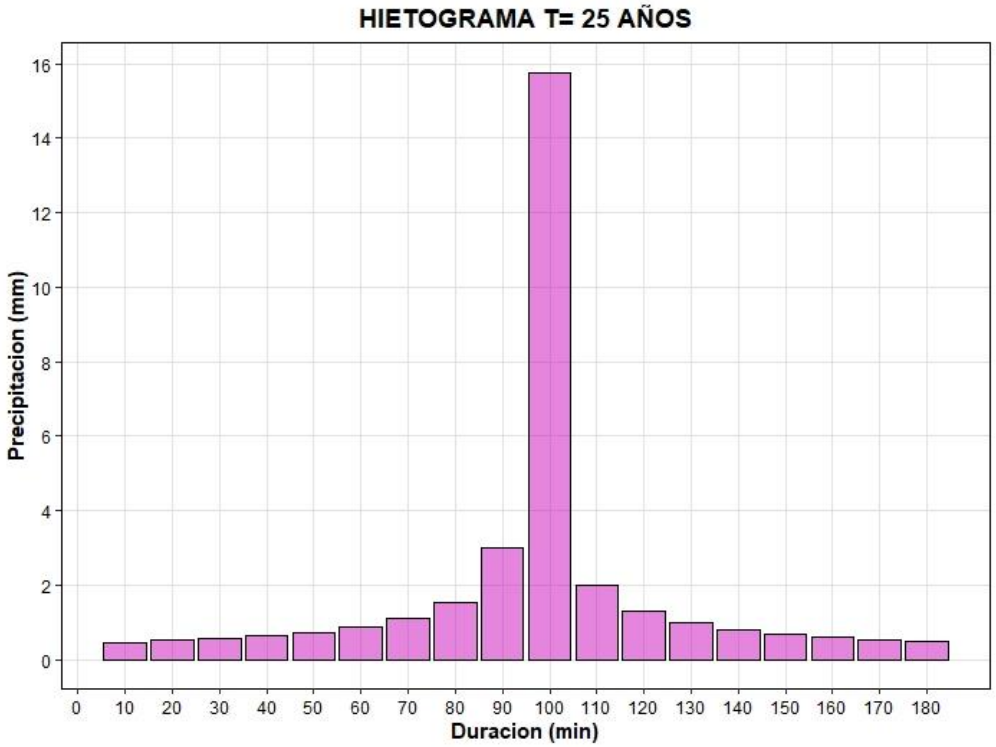



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



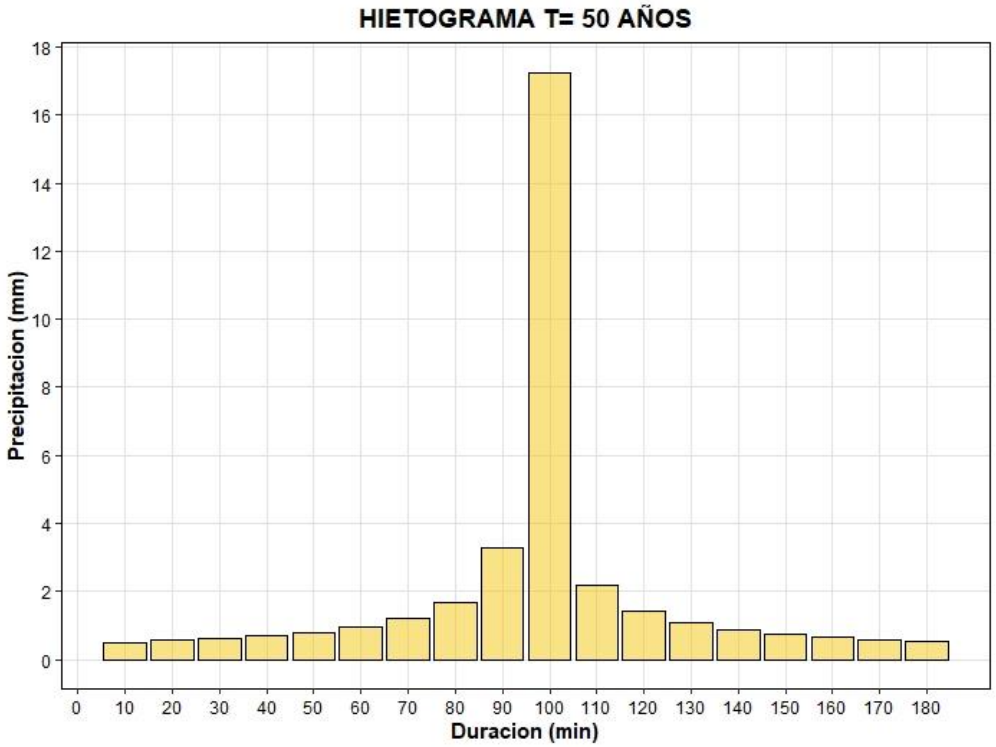



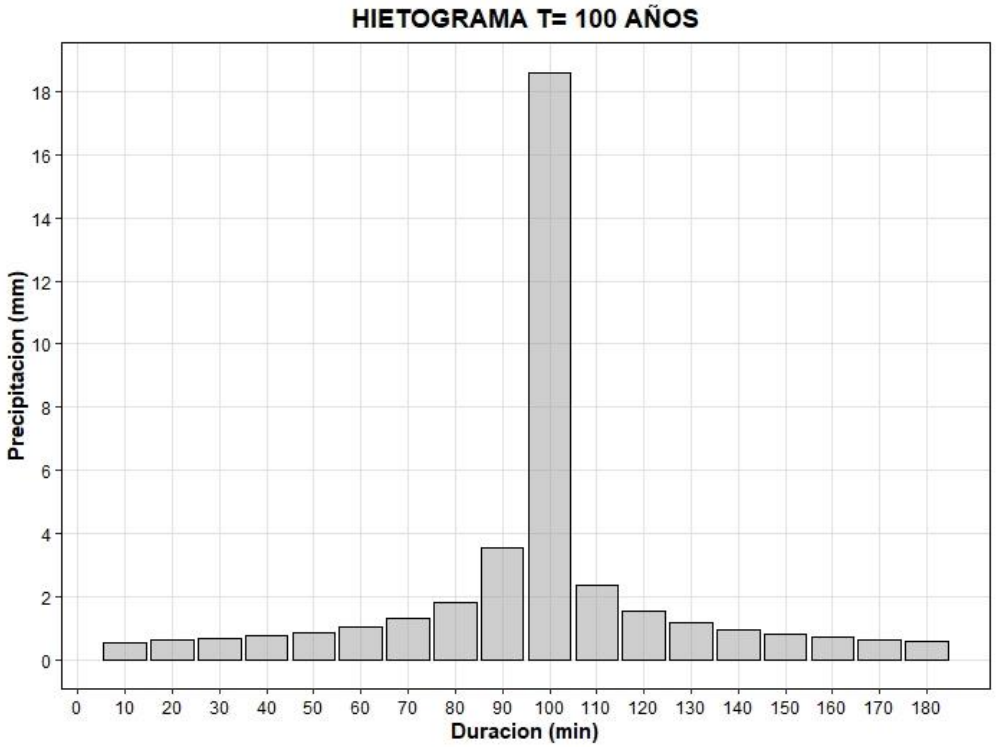



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



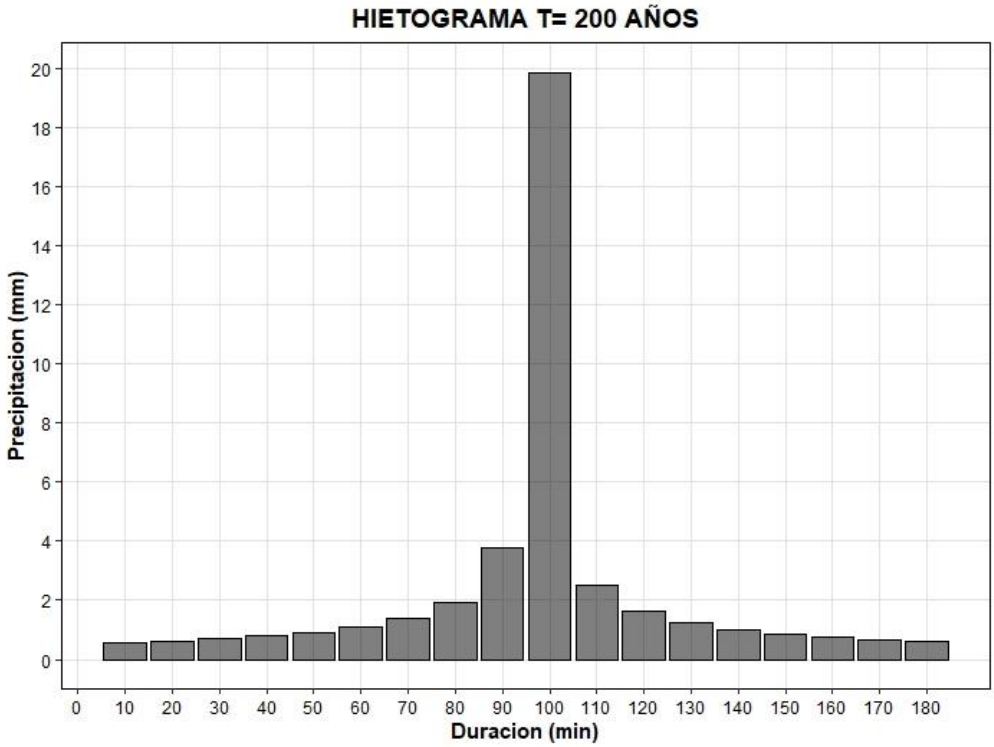






Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



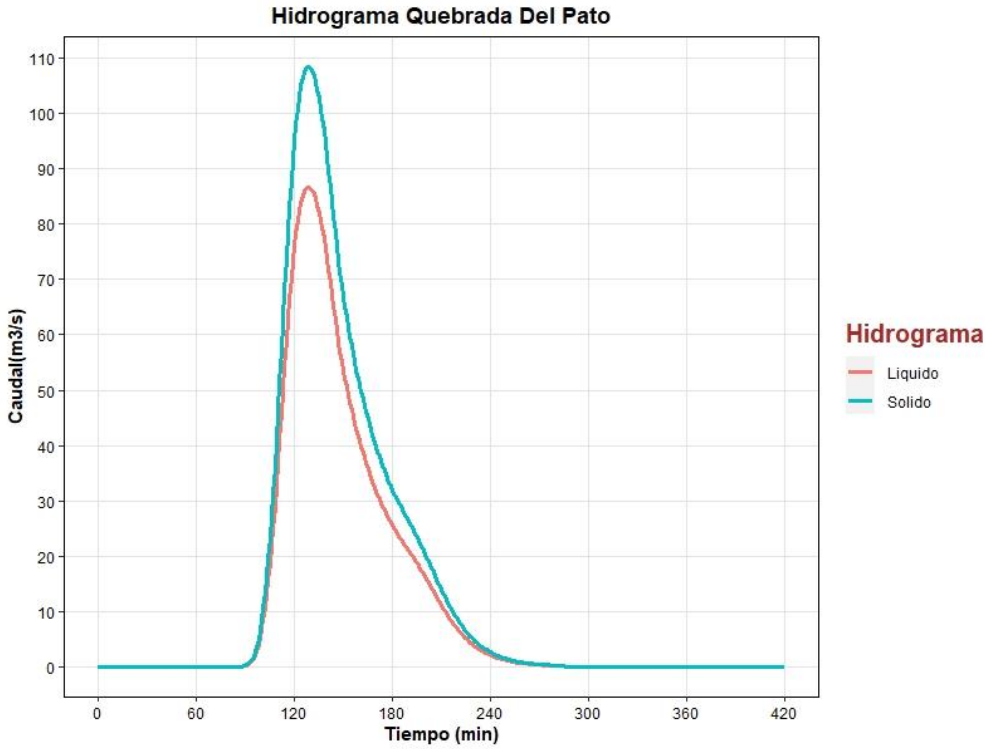


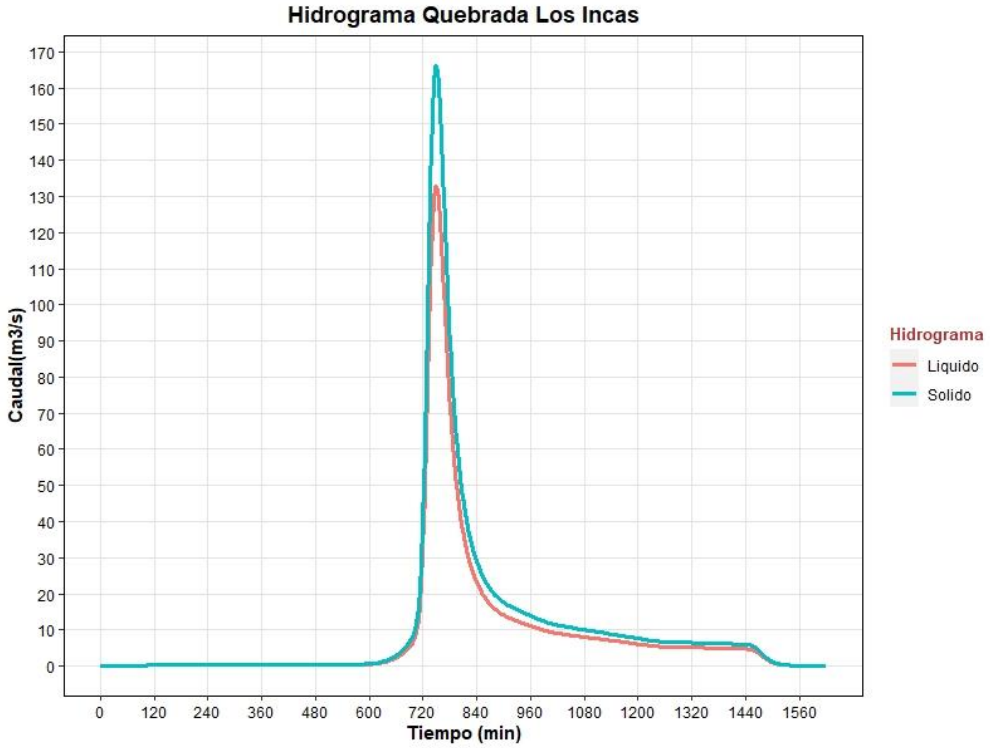

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Anexo 9. Hidrograma Liquido y solido de las quebradas para un periodo de retorno de 100 años.**



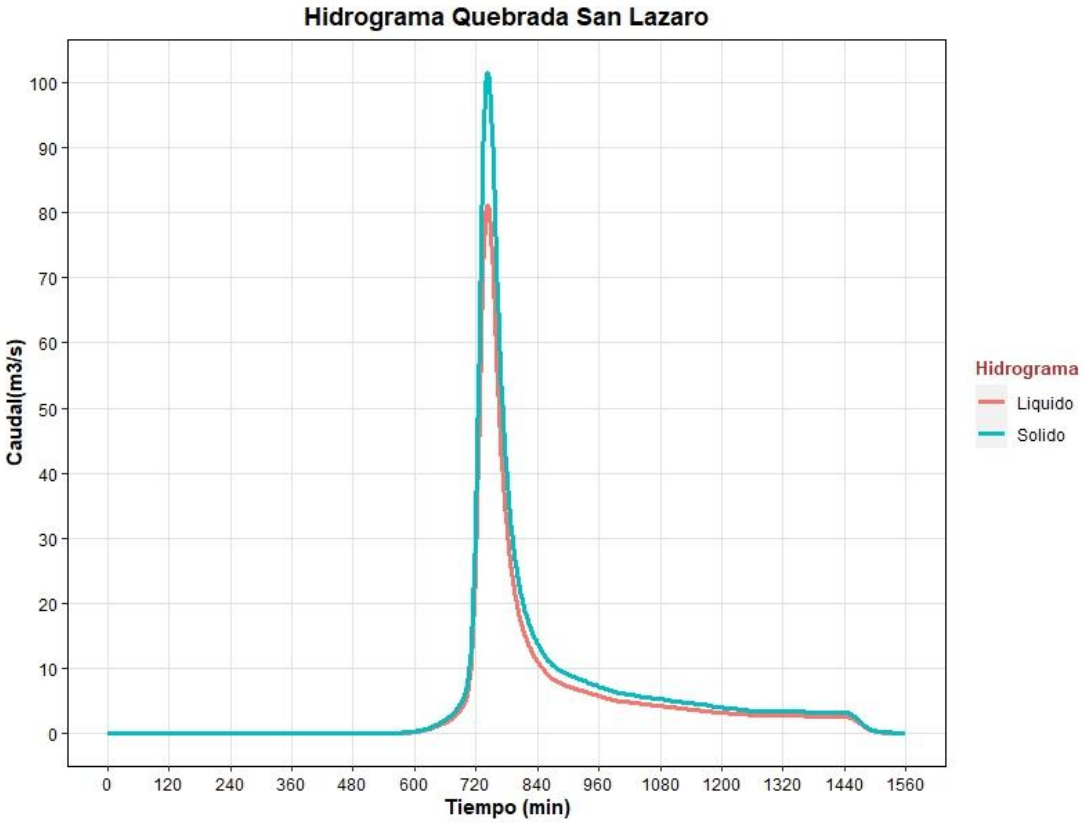



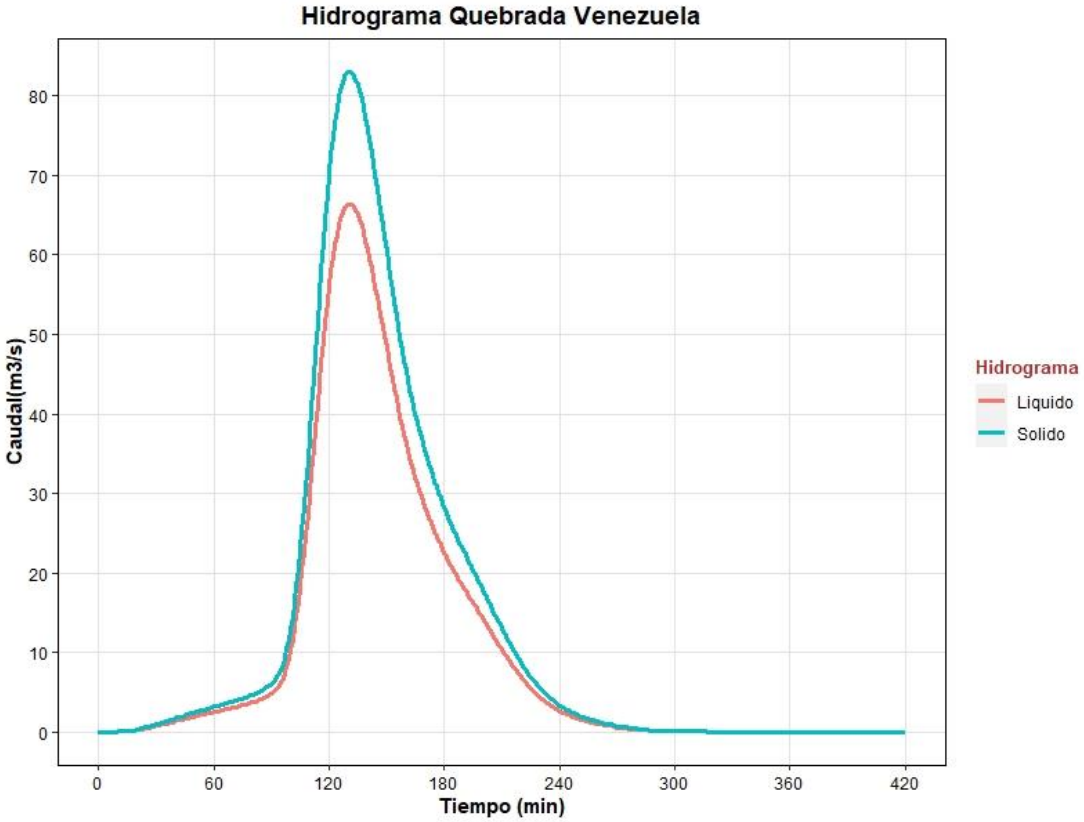



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA





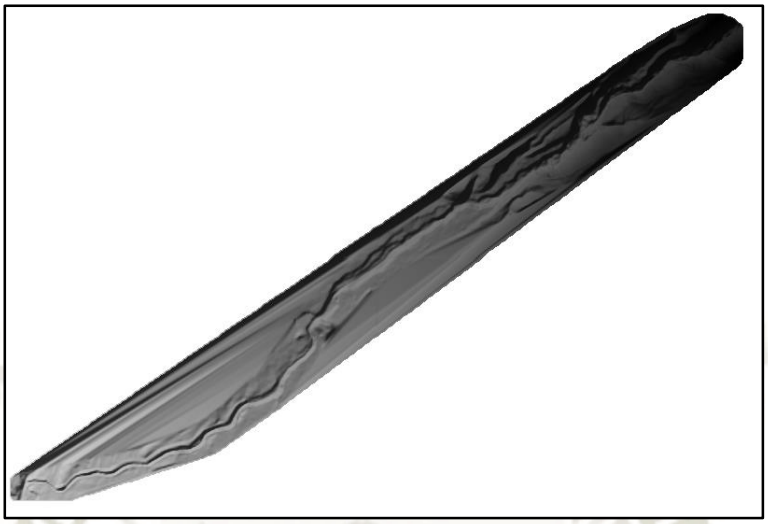

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Anexo 10. Modelo Digital del Terreno de las quebradas.**

**Anexo 10.1. MDT de la quebrada “San Lázaro”**



**Anexo 10.2. MDT de la quebrada “Venezuela”**



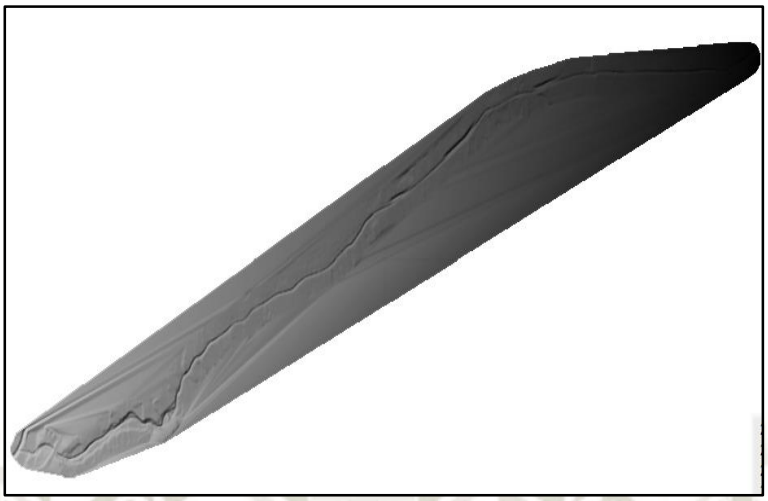


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Anexo 10.3. MDT de la quebrada “Los Incas”**





Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Anexo 11. Códigos en Rstudio para la realización de procesos estadísticos**

**Anexo 11.1 Librería de paquetes de datos usados**

```
#Paquetes necesarios para poder hallar las medidas de comparación para
la validación de datos#
      library(zoo)
      library(hydroGOF)
#Paquetes necesarios para poder realizar los gráficos y el análisis
exploratorio de datos#
      library(devtools)
      library(hydroTSM)
#Paquetes necesarios para extraer datos PISCOpd e importar datos de las
estaciones#
      library(readxl)
      library(ncdf4)
      library(raster)
      library(sp)
      library(rgdal)
      library(lattice)
      library(latticeExtra)
#Paquetes necesarios para tratamiento de datos#
      library(tidyverse)
      library(lubridate)
      library(dplyr)
      library(univOutl)
      library(robustbase)
      library(mrfDepth)
```



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Anexo 11.2 Código en RStudio para importar los datos pluviométricos de las estaciones desde Excel**

```
# Copiamos la ruta del documento que deseamos importar

      setwd("F:/TESIS_FINAL/UMBRALES_TESIS/ESTACIONES/PAMPILLA/DATOS")

# Creamos la data frame con el nombre que referencie el origen de la información

      Pampilla  <-  read_excel("PAMPILLA_DIARIO.xlsx")  #asegurarse  de colocar el nombre exacto del archivo

#Creación de data frame con estructura Fecha- Precipitación

      Fecha<-  seq(from=as.Date("01-01-1981","%d-%m-%Y"),to=as.Date("31-12-2016","%d-%m-%Y"),by=1) ###asegurarse de convertir en formato fecha para las series de tiempo

      Fecha <- data.frame(Fecha)

      Pampilla <- cbind(Pampilla, Fecha)

      Pampilla = Pampilla[ ,c(2,1)]

# Eliminar NA

      Pampilla.NA<- which(is.na(Pampilla[ , 2]))

      Pampilla<- Pampilla[-Pampilla.NA,]

# Para trabajar con otras estaciones cambiar la ruta, el nombre del archivo y la palabra “Pampilla” de acuerdo con la estación.
```



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Anexo 11.2 Código en RStudio para importar los datos pluviométricos por coordenadas desde la base de datos PISCO Pd (Huerta, A y Lavado W.)**

```
#Copiamos la ruta del documento en csv
setwd("F:/TESIS_FINAL/ESTACIONES_VIRTUALES/AED/CSV")
      long_lat<- read_excel("coordenadas.xlsx") #nombre de documento
# Copiamos la ruta de la base de datos PISCO Pd
      setwd("F:/TESIS_FINAL/ESTACIONES_VIRTUALES/PISCOPD")
      raster_pp <- raster::brick("PISCOpd.nc") #nombre de base de datos
# Copiamos la ruta donde guardaremos la información en formato csv
      setwd("F:/TESIS_FINAL/ESTACIONES_VIRTUALES/AED/DATOS_PISCO")
# Copiar el código para extraer la información pluviométrica (Huerta y Lavado)
      sp::coordinates(long_lat) <- ~XX+YY
      raster::projection(long_lat) <- raster::projection(raster_pp)
      points_long_lat <- raster::extract(raster_pp[[1]], long_lat, cellnumbers= T)[,1]
      data_long_lat <- t(raster_pp[points_long_lat])
      colnames(data_long_lat) <- as.character(long_lat$NN)
# Creamos la data frame con el nombre que referencie el origen de la información
      Estaciones <-data.frame(data_long_lat)
# Exportamos los datos en formato csv
      write.csv(Estaciones,"ESTACIONES_VIRTUALES.csv",quote = F)
#Crear data frame con estructura Fecha- Precipitación
      row.names(Estaciones)=paste(1:13149)
      Fecha<- seq(from=as.Date("01-01-1981","%d-%m-%Y"),to=as.Date("31-12-2016","%d-%m-%Y"),by=1)
      Fecha <- data.frame(Fecha)
      Estaciones <- cbind(Estaciones, Fecha)
      Estaciones = Estaciones[ ,c(10,1:9)]
```



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Anexo 11.3 Código en RStudio para importar los datos pluviométricos por shape de área desde la base de datos PISCO Pd**

```
# Copiamos la ruta de la base de datos PISCO Pd.
      setwd("F:/TESIS_FINAL/ESTACIONES_VIRTUALES/PISCOPD")
      PISCO <- raster::brick("PISCOpd.nc")
      nlayers(PISCO)
      spplot(PISCO[[1]])
# Copiamos la ruta del archivo shape
      setwd("F:/TESIS_FINAL/UMBRALES_TESIS/PISCO/UNIDAD/DATOS/SHAPE/UNIDAD")
      cuenca =readOGR(dsn=".", layer="UNIDAD")#nombre del archivo shape
      plot(cuenca)
# Creamos la data frame con el nombre que referencie el origen de la información
      AREA <- raster::extract(PISCO, cuenca, fun=mean)
      AREA <- data.frame(AREA)
      AREA<- data.frame(t(AREA))
#Crear data frame con estructura Fecha- Precipitación
      row.names(AREA)=paste(1:13149)
      colnames(AREA)<- c("Precipitacion")
      Fecha<-  seq(from=as.Date("01-01-1981","%d-%m-%Y"),to=as.Date("31-12-2016","%d-%m-%Y"),by=1)
      Fecha <- data.frame(Fecha)
      AREA <- cbind(AREA, Fecha)
      AREA = AREA[ ,c(2,1)]
# Para trabajar con otras áreas cambiar la ruta, archivo shape y el nombre de la data frame
```



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

**Anexo 11.4 Código en RStudio para validar producto PISCO Pd v2.0 con estaciones meteorológicas**

```
# Donde obs, se refieres a los datos importados de precipitación diaria de la estación meteorológica (Anexo 11.1) y sim a los datos de precipitación diaria de PISCO pd (Anexo 11.2) # Se eliminan los datos NA para ambos, ya que la serie debe coincidir en longitud
      obs.NA<- which(is.na(obs[ , 2]))
      sim.na <-sim[-obs.NA,]
      sim <- sim.na
      obs<- obs[-obs.NA,]
      names(sim)<- c("Fecha","Precipitacion")
#OBS: Convertir a zoo class
      obs.ts= zoo(obs$Precipitacion,order.by = obs$Fecha)
      head(obs.ts)
      obs.ts
#OBS: Graficamos SERIE DE TIEMPO usando HYDROPLOT
      hydroplot(obs.monthly.ts, var.type = "Precipitation", var.unit = "mm", xlab = "Tiempo", ylab = "Precipitación", pfreq = "ma")
#SIM: Convertir a zoo class
      sim.ts= zoo(sim$Precipitacion,order.by = sim$Fecha)
      head(sim.ts)
      sim.ts
#SIM: Graficamos SERIE DE TIEMPO usando HYDROPLOT-DIARIO-MENSUAL-ANUAL
      hydroplot(sim.daily.ts, var.type = "Precipitation", var.unit = "mm", xlab = "Tiempo", ylab = "Precipitación",FUN=max) #con el comando FUN hallamos max o acumulados
# Hallamos grafico y medidas de comparación
      ggof(sim.ts, obs.ts, na.rm = TRUE, date.fmt = "%Y-%m-%d", gofs=c("NSE","PBIAS","RMSE","R2","MAE"),xlab = "Time", ylab=c("Precipitacion, [mm]"),col = c("blue", "red"))
# Para comparar otras estaciones cambiar los datos importados en obs y sim
```



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Anexo 11.5 Código en RStudio para métodos gráficos**

```
# Histograma de frecuencia en porcentaje
      ggplot(Pampilla, aes(x = Precipitacion)) +
      geom_histogram(aes(y = (..count..)/sum(..count..)), binwidth = 2,
                     col="black",
                     fill="skyblue",
                     alpha = .2) +
        scale_y_continuous(labels = scales::percent_format())+
        scale_x_continuous(breaks=seq(0, 125, 5))+
        labs( title ="HFD- Estación La Pampilla", x = "Precipitación mm",
y = "Porcentaje")+
        theme(panel.border = element_rect(colour = "black", size = 0.25,
fill = NA),
              panel.background = element_rect( fill = NA),
              panel.grid.major = element_line(colour = "gray89"),
              plot.title = element_text (hjust = 0.5 , face = "bold")) +
        theme(axis.title.x = element_text(face="bold"  )) +
        theme(axis.title.y = element_text(face="bold")) +
        theme (axis.text.x = element_text( colour="black"),
               axis.text.y = element_text( colour="black"))
# Q-q plot
      ggplot(Pampilla, aes(sample = Precipitacion)) +
      stat_qq( col="steelblue4",  fill="steelblue4", lwd = 2) +
      stat_qq_line(col="red",  fill="red", lwd = 1)+
      theme(panel.border = element_rect(colour = "black", size = 0.25,
fill = NA),
              panel.background = element_rect( fill = NA),
              panel.grid.major = element_line(colour = "gray89"),
              plot.title = element_text (hjust = 0.5 , face = "bold")) +
        theme(axis.title.x = element_text(face="bold"  )) +
```



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

```
        theme(axis.title.y = element_text(face="bold")) +
        theme (axis.text.x = element_text( colour="black"),
               axis.text.y = element_text( colour="black"))+
        labs(  x = " ", y = "Precipitación mm")+
        scale_y_continuous(breaks=seq(0, 130, 10))
# Elaboración de matriz de precipitación
## Convertimos en formato zoo la data mensual
      Pampilla.mensual.ts=   zoo(Pampilla.mensual$Precipitacion,order.by
= Pampilla.mensual$Fecha)
      head(Pampilla.mensual.ts)
      Pampilla.mensual.ts
## Construimos la matriz
      Pampilla.matriz <- matrix(Pampilla.ts, ncol=12, byrow=TRUE)
## Nombramos los meses en el eje x
      colnames(Pampilla.matriz)<-
c("Enero","Febrero","Marzo","Abril","Mayo","Junio","Julio","Agosto","S
eptiembre","Octubre","Noviembre","Diciembre")
## Nombramos los años en el eje y
      rownames(Pampilla.matriz)   <-   unique(format(time(Pampilla.ts),
"%Y"))
      require(lattice)
## Creamos la rampa de colores y nombramos la matriz
      matrixplot(Pampilla.matriz, ColorRamp="Precipitation",
                 main="Precipitación  mensual-  Estación  la  Pampilla,
[mm/mes]")


# Para trabajar con otras series de tiempo, reemplazar “Pampilla”, por
el nombre de data que se quiera analizar
```



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Anexo 11.6 Código en RStudio para análisis y detección de outliers**

```
#Para el ejemplo se trabajará con la data frame E6
#Establecer rango de datos si es necesario
      E6.U <- E6[E6$E6 >5.38,]
# Cálculo de Medcouple (M)
      medcouple(E6.U$E6)
# Diagrama de caja (Hubert, M., y Vandervieren)
      E6.BOX<- adjbox(E6$E6, main = "E6",
                      ylab = "Precipitación mm",
                      col = "cornsilk3",
                      outcol = "red",
                      outlwd=2,
                      ylim= c(0,50),
                      yaxt = "n")
      axis(2, at = seq(0, 50, 5), las = 2)
# Calculamos características de la caja
      adjboxStats(E6.U$E6)   #En la consola aparecerá todas las características de la caja
# Crearemos data frame con outliers calculados
      E6.OUT<- E6.U[(E6.U$E6 %in% E6.BOX$out),]
# Tras analizar los outliers procederemos a eliminar los que se seleccionó
      ELIMINAR <- E6.OUT[c(1),]
      E6.U<-E6.U[!(E6.U$E6 %in% ELIMINAR$E6),]
# Verificamos si se generó un nuevo outlier con el diagrama, si fuera el caso volveremos a repetir el proceso hasta estar conformes
#Para analizar otra serie de tiempo cambiar "E6" por el nombre de la data frame deseada y "$E6" por el nombre de la columna que contenga los valores de precipitación y el rango de datos analizados
```



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Anexo 11.7 Código en RStudio para generación de umbrales de precipitación**

```
# Crearemos data frame con los valores que superen 0.1 (Alfaro,2017)
      Pampilla.umbrales <- Pampilla[Pampilla$Precipitacion > 0.1,]
# Histograma de frecuencia con el código en Rstudio del Anexo 11.4
# Análisis de outliers de con el código en Rstudio del Anexo 11.5
#Hallamos los percentiles 75p,90p,95p y 99p
      setenta.y.cincop<- quantile(Pampilla.umbrales$Precipitacion,0.75)
      noventap <- quantile(Pampilla.umbrales$Precipitacion,0.9)
      noventa.y.cincop<- quantile(Pampilla.umbrales$Precipitacion,0.95)
      noventa.y.nuevep<- quantile(Pampilla.umbrales$Precipitacion,0.99)
#Clasificamos los eventos extremos según Alfaro (2014)
      moderadamente_lluvioso <- Pampilla[Pampilla$Precipitacion >
setenta.y.cincop & Pampilla$Precipitacion < noventap,]
      lluvioso <- Pampilla[Pampilla$Precipitacion > noventap &
Pampilla$Precipitacion < noventa.y.cincop,]
      muy_lluvioso <- Pampilla[Pampilla$Precipitacion > noventa.y.cincop
& Pampilla$Precipitacion < noventa.y.nuevep,]
      extremadaente_lluvioso <- Pampilla[Pampilla$Precipitacion >
noventa.y.nuevep ,]
#Exportamos los eventos extremos según umbral
      write.csv(moderadamente_lluvioso, "moderadamente lluvioso.csv")
      write.csv(lluvioso, "lluvioso.csv")
      write.csv(muy_lluvioso, "muy lluvioso.csv")
      write.csv(extremadaente_lluvioso, "extremadamente lluvioso.csv")
#Elaboramos serie de tiempo con todos los datos de precipitación diaria
donde se visualicen los percentiles
      ggplot(data = Pampilla., aes(x = Fecha,y = Precipitacion)) +
        geom_line(color = "cyan3", lwd = 0.1)+
        geom_hline(aes(yintercept = setenta.y.cincop,
                       color = "75p"),
```



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

```
                lwd = 0.85, show.legend =TRUE)+
        geom_hline(aes(yintercept = noventap,
                color= "90p"),
                lwd = 0.85, show.legend =TRUE)+
        geom_hline(aes(yintercept = noventa.y.cincop,
                color = "95p"),
                lwd = 0.85, show.legend =TRUE)+
        geom_hline(aes(yintercept = noventa.y.nuevep,
                color = "99p"),
                lwd = 0.85, show.legend =TRUE)+
        scale_colour_manual(values = c("mistyrose3","lightpink",
                                       "plum4","red4")) +
        scale_y_continuous(breaks=seq(0, 130, 10))+
        theme(panel.border = element_rect(colour = "black",
                                          size = 0.15,
                                          fill = NA),
              panel.background = element_rect( fill = NA),
              panel.grid.major = element_line(colour = "gray89"),
              plot.title = element_text (hjust = 0.5 , face = "bold")) +
        theme(legend.background = element_rect(size=0.5,
linetype="solid",
        colour                          ="black"))+theme(axis.title.x=
element_text(face="bold",size=8      ))   +      theme(axis.title.y   =
element_text(face="bold",size=8)) + theme (axis.text.x = element_text(
colour="black",size=8,                                          angle = 90
),         axis.text.y = element_text( colour="black",size=8 ))+
        theme(legend.text = element_text(size = 8),
              legend.title = element_text(size = 10, face="bold"))+
        labs(   x   =   "Fecha",   y   =   "Precipitación   (mm)   ",
color=Percentiles")+  scale_x_date(date_breaks = "1 year",date_labels =
"%Y")+  theme(legend.position = c(0.1, 0.75))
#Para analizar otra serie de tiempo cambiar “Pampilla” por otra data
```



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Anexo 11.8 Código en RStudio para gráficos de comparación de resultados**

```
#Gráfico de líneas y puntos
      ggplot(data = percentiles, aes(x = x, y = y, group = variable)) +
        geom_line(aes(color= variable), lwd=1.2)+
        geom_point(size = 2, shape = 21, aes(fill = variable), stroke =
1)+
      scale_colour_manual(values = c("plum4","pink3",
                                     "mistyrose3")) +
        scale_fill_manual(values = c("mistyrose3","pink3",
                                     "plum4"))+
        scale_y_continuous(breaks=seq(0, 25, 2.5))+
        theme(panel.border = element_rect(colour = "black",
                                          size = 0.15,
                                          fill = NA),
              panel.background = element_rect( fill = NA),
              panel.grid.major = element_line(colour = "gray65"),
              plot.title = element_text (hjust = 0.5 , face = "bold")) +
        theme(legend.background        =        element_rect(size=0.5,
linetype="solid",
                                                 colour ="black"))+
        theme(axis.title.x = element_text(face="bold",size=8  )) +
        theme(axis.title.y = element_text(face="bold",size=8)) +
        theme (axis.text.x = element_text( colour="black",size=8),
               axis.text.y = element_text( colour="black",size=8 ))+
        theme(legend.text = element_text(size = 8),
              legend.title = element_blank())+
        labs( x = "Percentiles", y = "Precipitación (mm) ")+
        theme(legend.position = c(0.15, 0.8))
#Gráfico de barras regular
```



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

```
      ggplot(data = eventos, aes(x = x, y = y, fill = variable)) +
        geom_bar(stat="identity",
position=position_dodge(),color="black") +
        scale_fill_manual(values = c("mistyrose3","pink3",
                                     "plum4"))+
        scale_y_continuous(breaks=seq(0, 300, 20))+
        theme(panel.border = element_rect(colour = "black",
                                          size = 0.15,
                                          fill = NA),
              panel.background = element_rect( fill = NA),
              panel.grid.major = element_line(colour = "gray65"),
              plot.title = element_text (hjust = 0.5 , face = "bold")) +
        theme(legend.background        =        element_rect(size=0.5,
linetype="solid",
                                        colour ="black"))+
        theme(axis.title.x = element_text(face="bold",size=8  )) +
        theme(axis.title.y = element_text(face="bold",size=8)) +
        theme (axis.text.x = element_text( colour="black",size=7.5),
               axis.text.y = element_text( colour="black",size=8 ))+
        theme(legend.text = element_text(size = 8),
              legend.title = element_blank())+
        labs( x = "Umbrales", y = "N°de Eventos")+
        theme(legend.position = c(0.15, 0.8))+
        scale_x_discrete(limits=c("Extremadamente        lluvioso","Muy
lluvioso",
                                  "Lluvioso","Moderadamente
lluvioso"))+
        geom_text(aes(label=y), vjust=-0.2, color="black",
                  position = position_dodge(0.9), size=3.5, parse=TRUE,
                  fontface = "bold")
#Gráfico de barras “Stacked”
```



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

```
      eventos$x <- factor(eventos$x, levels = c("Extremadamente
lluvioso","Muy                                          lluvioso",
"Lluvioso","Moderadamente lluvioso"))
      ggplot(data = eventos, aes(x = variable, y = y, fill = x)) +
        geom_bar(stat="identity",color="black") +
        scale_fill_manual(values = c("mistyrose3","pink3",
                                     "plum4","pink"))+
        scale_y_continuous(breaks=seq(0, 380, 20))+
        theme(panel.border = element_rect(colour = "black",
                                          size = 0.15,
                                          fill = NA),
              panel.background = element_rect( fill = NA),
              panel.grid.major = element_line(colour = "gray65"),
              plot.title = element_text (hjust = 0.5 , face = "bold")) +
        theme(legend.background        =        element_rect(size=0.5,
linetype="solid",
                                                 colour ="black"))+
        theme(axis.title.x = element_text(face="bold",size=8  )) +
        theme(axis.title.y = element_text(face="bold",size=8)) +
        theme (axis.text.x = element_text( colour="black",size=7.5),
               axis.text.y = element_text( colour="black",size=8 ))+
        theme(legend.text = element_text(size = 8),
              legend.title = element_blank())+
        labs( x = "Elementos", y = "N°de Eventos")+
        scale_x_discrete(limits=c("Est. La Pampilla","Est. Chiguata",
                                  "Unidad Hidrográfica"))
```



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Anexo 11.9 Código en RStudio para Curva hipsométrica y polígono de frecuencia**

```
#Importamos el csv que se obtuvo y se modifica el nombre de las columnas
de acuerdo a los datos
      CUENCA <- read.csv("SL.csv", header= T)
      CUENCA_TABLA <- select(CUENCA,zone,min,max,m²)
      CUENCA <- arrange(CUENCA_TABLA, zone)
      colnames(CUENCA)<- c("Zona","min","max","area")
      CUENCA$area = CUENCA$area/1000000
#Construir tabla
      CUENCA.TABLA <- cbind(CUENCA, (CUENCA$min+CUENCA$max)/2000)
      colnames(CUENCA.TABLA)<- c("Zona","min","max","area","elev_prom")
      CUENCA.TABLA                    <-                    cbind(CUENCA.TABLA,
CUENCA.TABLA$elev_prom*CUENCA.TABLA$area)
      colnames(CUENCA.TABLA)<-  c("Zona","min","max","area","elev_prom",
"xi*fi")
#Realizamos los cálculos
      AREA_ACUMULADA <- cumsum(CUENCA$area)
      AREA_PORCENTAJE <- CUENCA$area/sum(CUENCA$area)*100
      AREA_PORCENTAJE_ACUMULADA <- cumsum(AREA_PORCENTAJE)
      AREA_SOBRE_COTA <- sum(CUENCA$area)-AREA_ACUMULADA
      ASC_PORCENTAJE <- 100- AREA_PORCENTAJE_ACUMULADA
#Actualizamos la tabla
      CUENCA.TABLA                    <-                    cbind(CUENCA.TABLA,
AREA_ACUMULADA,AREA_PORCENTAJE,AREA_PORCENTAJE_ACUMULADA,AREA_SOBRE_CO
TA,ASC_PORCENTAJE)
#Construcción de gráfico de curva hipsométrica y polígono de frecuencia
      ggplot(CUENCA.TABLA,  aes(x=  max,   show.legend      =T,  colour  =
variable))+
        geom_bar(aes(y   =   AREA_PORCENTAJE,   fill   =   variable)   ,
stat="identity",fill  =  4,alpha  =  0.5,  colour  =  "black",  show.legend
=T)+  geom_line(aes(y= ASC_PORCENTAJE*3.75/100, group= 1, color = "Curva
Hipsométrica" ) ,   colour = "red", lwd=1.5)+
```



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

```
        coord_flip()+     theme(panel.border   =   element_rect(colour   =
"black", size = 0.25, fill = NA),
              panel.background = element_rect( fill = NA),
              panel.grid.major = element_line(colour = "gray89"),
              plot.title = element_text (hjust = 0.5 , face = "bold")) +
        theme(axis.title.x = element_text(face="bold"  )) +
        theme(axis.title.y = element_text(face="bold")) +
        theme (axis.text.x = element_text( colour="black"),
               axis.text.y = element_text( colour="black"))+
        scale_x_continuous(breaks=seq(2600,   5800,   100),   name   =
"Elevación (m)")+
        scale_y_continuous(breaks=seq(0, 4, 0.25),
                           sec.axis                                    =
sec_axis(~.*(100/3.75),breaks=seq(0,  100,  10),name  =  "%  Área  sobre
cotas" ),
                           name = "% Área entre cotas")+
        labs( title ="CURVA HIPSOMÉTRICA Y FRECUENCIA DE ALTITUDES DE LA
MICROCUENCA SAN LAZARO")
#Cálculo de resultados
      Hfm_media                                                    <-
round(sum(CUENCA.TABLA$`xi*fi`)/sum(CUENCA.TABLA$area)*1000, 2)
      Hfmax  <-as.numeric(select  (CUENCA.TABLA[(CUENCA.TABLA$area  %in%
max(CUENCA.TABLA$area)),],max))
      Hfmin  <-as.numeric(select  (CUENCA.TABLA[(CUENCA.TABLA$area  %in%
max(CUENCA.TABLA$area)),],min))
      Hm <- 3575
#Construcción de tablas de resultados
      TABLA_DE_RESULTADOS <- CUENCA.TABLA
      colnames(TABLA_DE_RESULTADOS)<-   c("Zona","Minimo","Maximo","Área
entre cotas","Elevación promedio",
                                          "Elevación     x     Área","Área
acumulada","% de Área entre cotas","% de Área acumulada"
```



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

```
                                                    ,"Área sobre cotas","%Área sobre
cotas")

      RESULTADOS    <-    data.frame("Hfm    media"=    Hfm_media,"Hfmax"=
Hfmax,"Hfmin"= Hfmin,"Hm"=Hm)

#Exportamos los resultados

      write.csv(RESULTADOS, "TR_SL.csv")
```






Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Anexo 11.10 Código en RStudio para Curva IDT y Hietogramas**

```
# Empezamos a construir los hietogramas
      Td <- 3   # introducir el tiempo de duracion de lluvia en horas
      Intervalo <- 10 # introducir el intervalor en este caso es cada 10
minutos
      DURACION<- seq(Intervalo,Td*60, by=Intervalo)#eliminamos#
#Distribucion de la precipitacion por el metodo de dick peschke
      b <- c()
      for (i in seq(Intervalo,Td*60, by=Intervalo))
      {
        a <- PRECIPITACION*((i/(Td*60))^0.25)
        print(b)# ecuacion de Dick Peschke
        b <- c(b,a)
        Sys.sleep(0.1) # Pausa por 0.1 s para que sea visible el
procesamiento
      }
      PRECIPITACION<-as.data.frame(matrix(b,ncol                    =
length(Tretorno),nrow = length(DURACION),byrow = TRUE))
      names(PRECIPITACION)<- Tretorno
      INTENSIDAD <- round(PRECIPITACION/(DURACION/60),3) #Calculamos la
intensidad por cada periodo de retorno
#PARA EL ANALISIS DE REGRESION MULTIPLE #
      ANALISIS_1<- stack(INTENSIDAD)
      names(ANALISIS_1)<- c("Intensidad","Tretorno")
      ANALISIS_1$Tretorno<-rep(Tretorno, each=length(DURACION))
      ANALISIS_1$Duracion<-rep(DURACION, times=length(Tretorno))
ANALISIS_LOG<-round(log10(ANALISIS_1),3) #TABLA DE LOG
      REGRESION <- lm(ANALISIS_LOG$Intensidad ~ ANALISIS_LOG$Duracion +
ANALISIS_LOG$Tretorno, data = ANALISIS_LOG)
      summary(REGRESION)
      COEFICIENTES<-data.frame(round(abs(coef(REGRESION)),3))
      COEFICIENTES <- data.frame(t(COEFICIENTES))
      colnames(COEFICIENTES)<-c("k","n","m")
```



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

```
#Usamos la ecuacion IDF para la intensidad #

      ANALISIS_1$INTENSIDAD_IDF                                          <-
round((10^COEFICIENTES$k)*(ANALISIS_1$Tretorno^COEFICIENTES$m)/(ANALIS
IS_1$Duracion^COEFICIENTES$n),3)

# CURVAS INTENSIDAD - DURACION- TIEMPO DE RETORNO ### TAMAÑO 700*400

      IDT<-
data.frame(ANALISIS_1$INTENSIDAD_IDF,ANALISIS_1$Duracion,ANALISIS_1$Tr
etorno)

      names(IDT)<- c("Intensidad","Duracion","Tretorno")

      ggplot(data = IDT) +

        geom_line(aes(x   =   Duracion,   y   =   Intensidad,   colour   =
factor(Tretorno), group = Tretorno))+

        theme(panel.border = element_rect(colour = "black", size = 0.25,
fill = NA),

              panel.background = element_rect( fill = NA),

              panel.grid.major = element_line(colour = "gray89"),

              plot.title = element_text (hjust = 0.5 , face = "bold")) +

        theme(axis.title.x = element_text(face="bold"  )) +

        theme(axis.title.y = element_text(face="bold")) +

        theme (axis.text.x = element_text( colour="black"),

               axis.text.y = element_text( colour="black"))+

        theme( legend.title = element_text(family = "Calibri",colour =
"brown", face = "bold",  size = 10))+

        scale_x_continuous(breaks=seq(0, Td*60, 10))+

        scale_y_continuous(breaks=seq(0, 200, 20))+

        scale_color_discrete("Tiempo de retorno (años)")+

        labs( title ="CURVAS IDT - MICROCUENCA LOS INCAS C", x = "Duracion
(min)", y = "Intensidad de Precipitacion (mm/hr)")

#REALIZAMOS EL ANALISIS DE BLOQUE ALTERNO

##Calculamos la precipitación acumulada

      ANALISIS_1$PREC_ACUM<-
round((ANALISIS_1$Duracion*ANALISIS_1$Intensidad)/60,3)

      BLOQUE_ALTERNO<-
data.frame(ANALISIS_1$Tretorno,ANALISIS_1$Duracion,ANALISIS_1$Intensid
ad,ANALISIS_1$PREC_ACUM)
```



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

```
      names(BLOQUE_ALTERNO)<-
c("Tretorno","Duracion","Intensidad","PRECIP. ACUM.")
#Dividimos la data en grupos por periodo de retorno
      BLOQUE_ALTERNO<-split(BLOQUE_ALTERNO,f=BLOQUE_ALTERNO$Tretorno)
# Llamamos por diferente Tretorno
##Cambiamos el año de retorno
      BLOQUE_ALTERNO_T <-   BLOQUE_ALTERNO$`2`###aqui solo cambiamos en
periodo de retorno con el simbolo "$" ####
      BLOQUE_ALTERNO_T$PRECIP.INCREM                                    <-
round(c(BLOQUE_ALTERNO_T$`PRECIP.                                ACUM.`[1],
diff(BLOQUE_ALTERNO_T$`PRECIP. ACUM.`)),3)
      colnames(BLOQUE_ALTERNO_T)<-
c("Tretorno","Duracion","Intensidad","PRECIP. ACUM.","PRECIP. INCREM.")
# REALIZAMOS EL BLOQUE ORDENADO
      BLOQUE_ALTERNO_T$BLOQUE_ORDENADO    <-    BLOQUE_ALTERNO_T$`PRECIP.
INCREM.`[c(seq(length(DURACION),2,by=       -2),seq(1,length(DURACION),
by=2))]
      T2<-ggplot(BLOQUE_ALTERNO_T,      aes(x=      Duracion,      y      =
BLOQUE_ORDENADO))+
        geom_bar(stat="identity",fill  =  3  ,alpha  =  0.5,  colour  =
"black")+
        theme(panel.border = element_rect(colour = "black", size = 0.25,
fill = NA),
              panel.background = element_rect( fill = NA),
              panel.grid.major = element_line(colour = "gray89"),
              plot.title = element_text (hjust = 0.5 , face = "bold")) +
        theme(axis.title.x = element_text(face="bold"  )) +
        theme(axis.title.y = element_text(face="bold")) +
        theme (axis.text.x = element_text( colour="black"),
               axis.text.y = element_text( colour="black"))+
        scale_x_continuous(breaks=seq(0, Td*60, 10))+
        scale_y_continuous(breaks=seq(0, 30, 2))+
        labs( title ="HIETOGRAMA T= 2 AÑOS", x = "Duracion (min)", y =
"Precipitacion (mm)") ###ponemos en tiempo de retorno###
      ggsave(filename = "2.jpeg", plot = T2, width = 700, height = 526,
dpi = 96, units = "px")
```



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Anexo 11.11 Código en RStudio para Hiedrogramas**

```
#Hidrograma Quebrada Del Pato
      Qliquido<- scan()
      caudales<- data.frame(Qliquido)
      BF <- 1.25
      caudales$Caudal_solido <- BF*caudales$Qliquido
      caudales$tiempo<-c(0:420) ### 420 = 7*60###
      names(caudales)<- c("Liquido","Solido","Tiempo")
      info_Hidrograma <- melt(caudales, id = "Tiempo")
      Hidrograma_DEL_PATO<- ggplot(info_Hidrograma,
                        aes(x = Tiempo,
                            y = value,
                            color = variable)) +  geom_line(size=1.2)+
        theme(panel.border = element_rect(colour = "black", size = 0.25,
fill = NA),
              panel.background = element_rect( fill = NA),
              panel.grid.major = element_line(colour = "gray89"),
              plot.title = element_text (hjust = 0.5 , face = "bold")) +
        theme(axis.title.x = element_text(face="bold"  )) +
        theme(axis.title.y = element_text(face="bold")) +
        theme (axis.text.x = element_text( colour="black"),
               axis.text.y = element_text( colour="black"))+
        theme( legend.title = element_text(family = "Calibri",colour =
"brown", face = "bold",  size = 15))+
        scale_x_continuous(breaks=seq(0, 420, 60))+
        scale_y_continuous(breaks=seq(0, 120, 10))+
        scale_color_discrete("Hidrograma")+
        labs( title ="Hidrograma Quebrada Del Pato", x = "Tiempo (min)",
y = "Caudal(m3/s)")
#Para hallar otros Hidrogramas, importar la data correspondiente a cada
quebrada##
```



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Anexo 12. Panel fotográfico de Reconocimiento de zona de estudio**

**Anexo 12.1. Quebrada del Pato**

**Fotografía 1**




**Fotografía 2**




}



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Anexo 12.2. Quebrada San Lázaro**

**Fotografía 3: Rehabilitación de muro de contención**



**Fotografía 4: Av Juan de la Torre**





Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Fotografía 5: Av Juan de la Torre 2**



**Fotografía 6: Calle Golfo**





Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Fotografía 7: Avenida Progreso**



**Anexo 12.3. Quebrada Venezuela**

**Fotografía 8: Av. Venezuela**



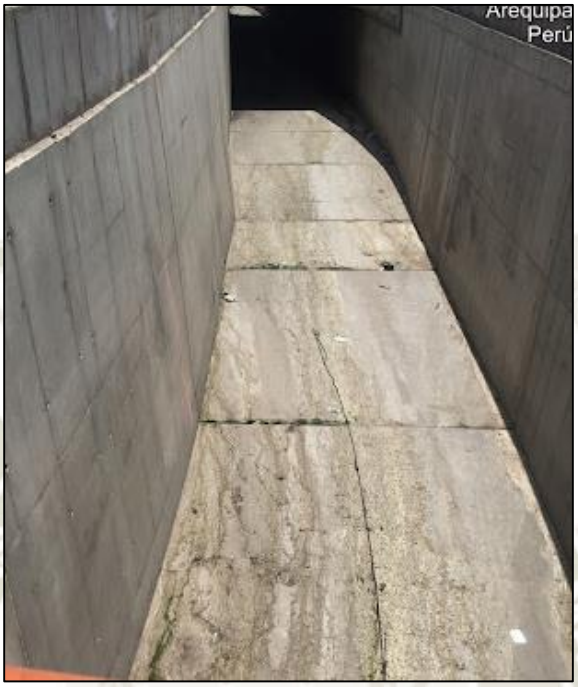


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Fotografía 9: Av. Venezuela con Av. Virgen del Pilar**




**Fotografía 10: Mariscal Castilla**






Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Fotografía 11: Avenida Venezuela**



**Fotografía 12: Av. Venezuela**





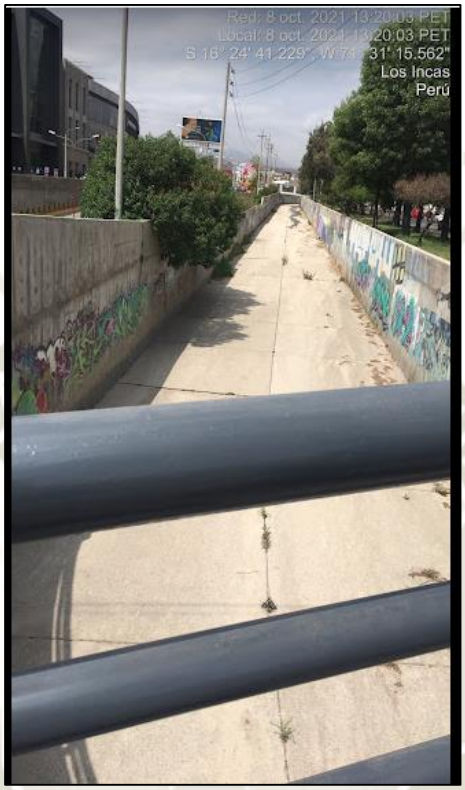
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Anexo 12.2. Quebrada Los Incas**

**Fotografía 13: Av. Los Incas**




**Fotografía 14: Terminal terrestre**





Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

**Anexo 13. Lista de planos.**

Lámina N°1. Ubicación geográfica y política.

Lámina N°2. Ubicación Hidrográfica.

Lámina N°3. Parámetros Morfométricos.

Lámina N°4. Pendiente de la microcuenca Del Pato.

Lámina N°5. Pendiente de la microcuenca San Lázaro.

Lámina N°6. Pendiente de la microcuenca Venezuela A.

Lámina N°7. Pendiente de la microcuenca Venezuela B.

Lámina N°8. Pendiente de la microcuenca Los Incas A.

Lámina N°9. Pendiente de la microcuenca Los Incas B.

Lámina N°10. Pendiente de la microcuenca Los Incas C.

Lámina N°11. Topografía de la zona de estudio.

Lámina N°12. Red de Drenaje Del Pato.

Lámina N°13. Red de Drenaje San Lázaro.

Lámina N°14. Red de Drenaje Venezuela A.

Lámina N°15. Red de Drenaje Venezuela B.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Lámina N°16. Red de Drenaje Los Incas A.

Lámina N°17. Red de Drenaje Los Incas B.

Lámina N°18. Red de Drenaje Los Incas C.

Lámina N°19. Ubicación estaciones meteorológicas.

Lámina N°20. Ubicación estaciones virtuales.

Lámina N°21. Numero de Curva.

Lámina N°22. Zonas inundables quebrada Del Pato.

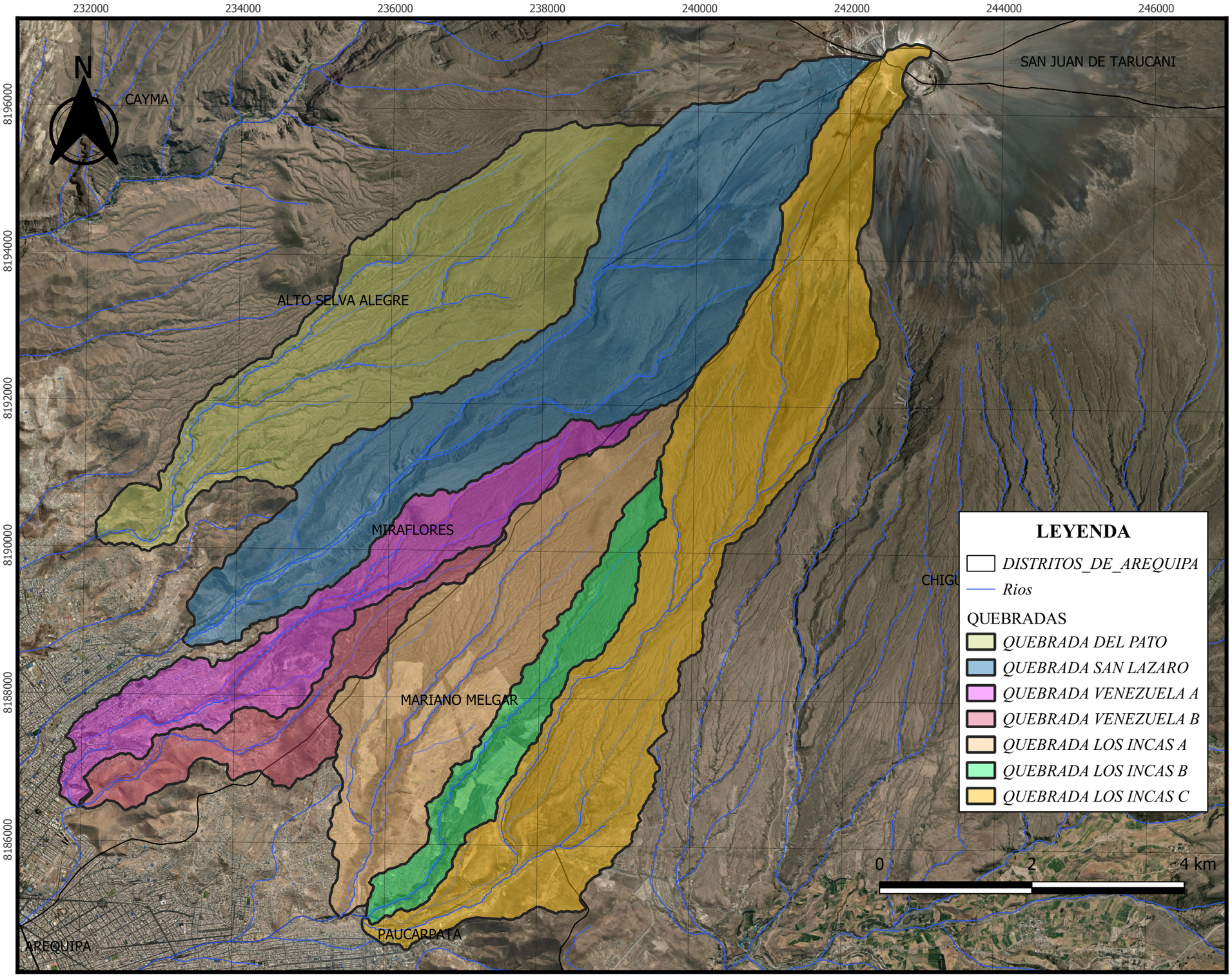
Lámina N°23. Zonas inundables quebrada San Lázaro.

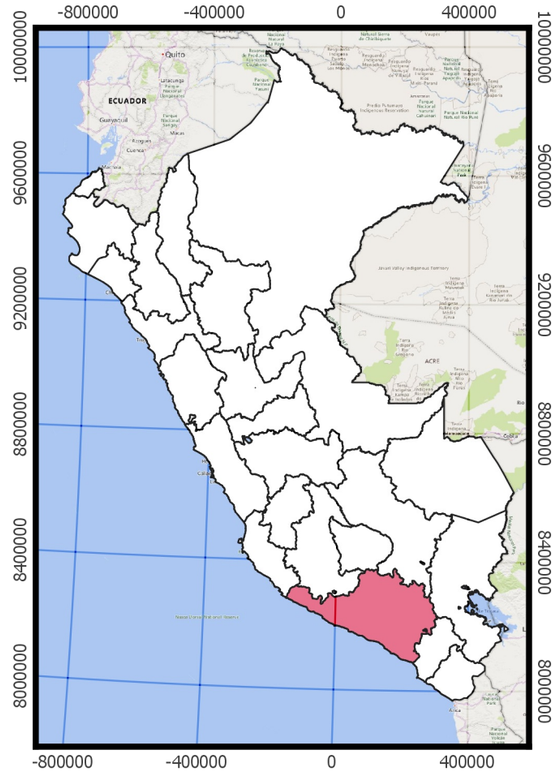
Lámina N°24. Zonas inundables quebrada Venezuela.

Lámina N°25. Zonas inundables quebrada Los Incas.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis




**UBICACION REGIONAL**




**UBICACION PROVINCIAL**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA**
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**
**FACULTAD DE ARQUITECTURA, INGENIERIA CIVIL Y DEL AMBIENTE**

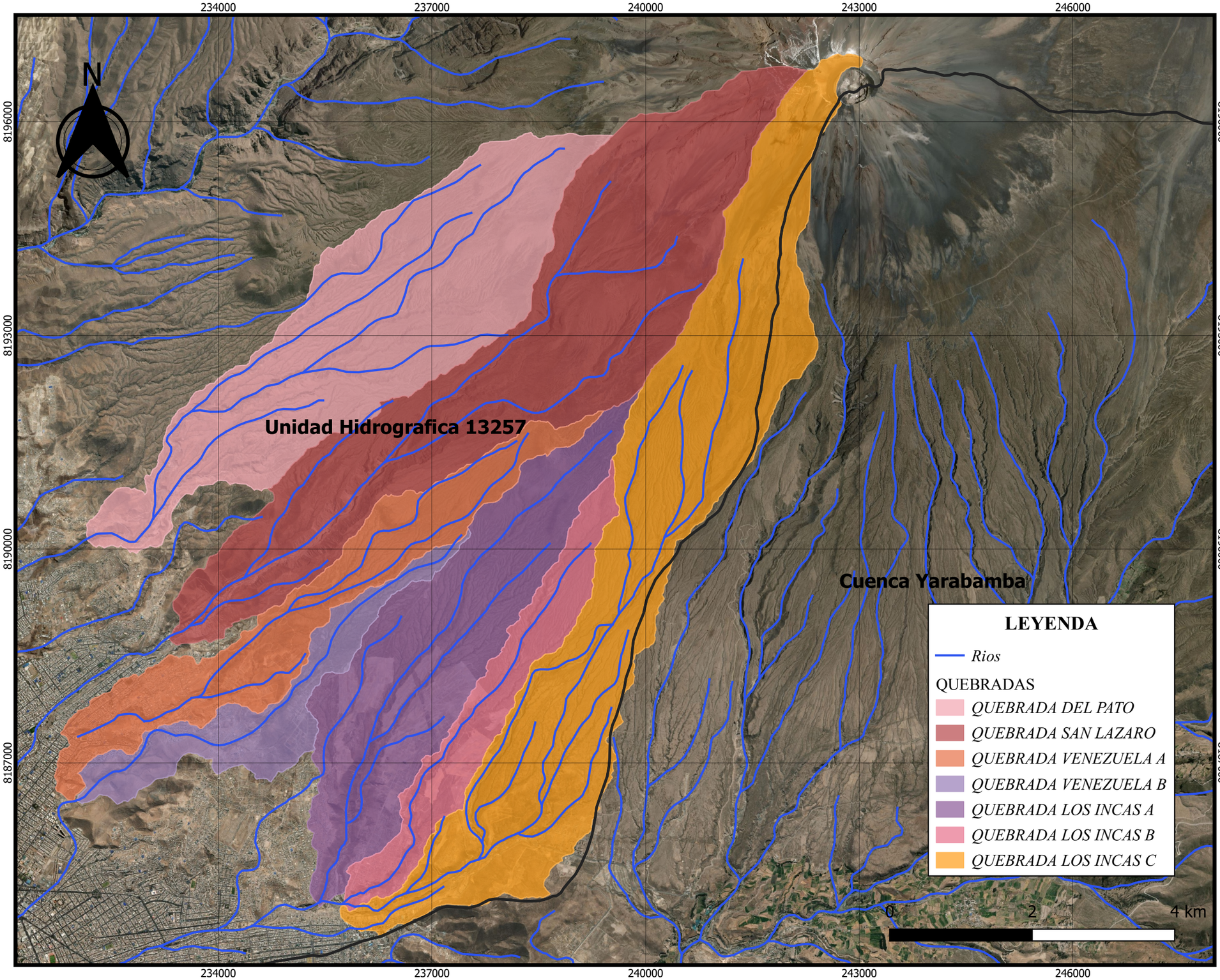
TESIS: "ANÁLISIS DE RIESGO FRENTE A MÁXIMAS AVENIDAS CON EL USO DEL PRODUCTO GRILLADO PISCO PD EN LAS QUEBRADAS POLANCO, SAN LÁZARO, MIRAFLORES Y MARIANO MELGAR EN LA PROVINCIA DE AREQUIPA"

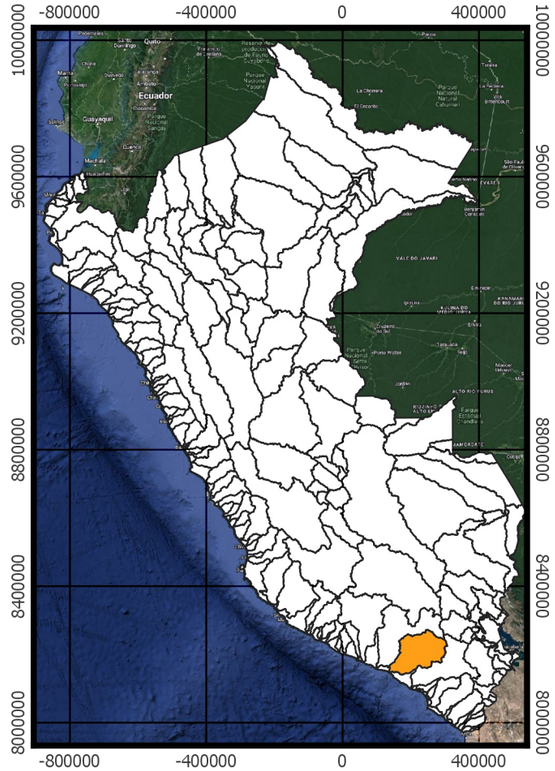
BACHILLERES:
- RAMOS FERNÁNDEZ, CHRISTEL MELISSA
- SALDIVAR CONDORI, GRECIA ALEJANDRA

PLANO:
UBICACION Y LOCALIZACION

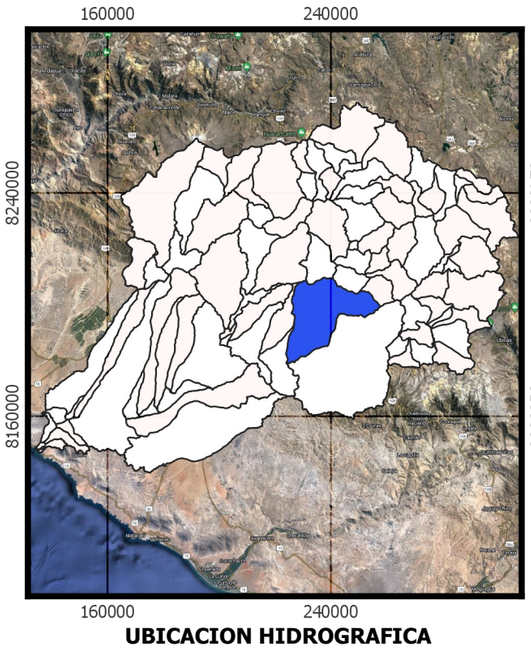
REGION: AREQUIPA
PROVINCIA: AREQUIPA
DISTRITO: VARIOS

ESCALA: 1:44000
DATUM: WGS-84
FECHA: MARZO 2022
ZONA: 19 SUR
LAMINA: 01




**UBICACION HIDROGRAFICA NACIONAL**




**UBICACION HIDROGRAFICA QUILCA VITOR CHILLI**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA**
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**
**FACULTAD DE ARQUITECTURA, INGENIERIA CIVIL Y DEL AMBIENTE**

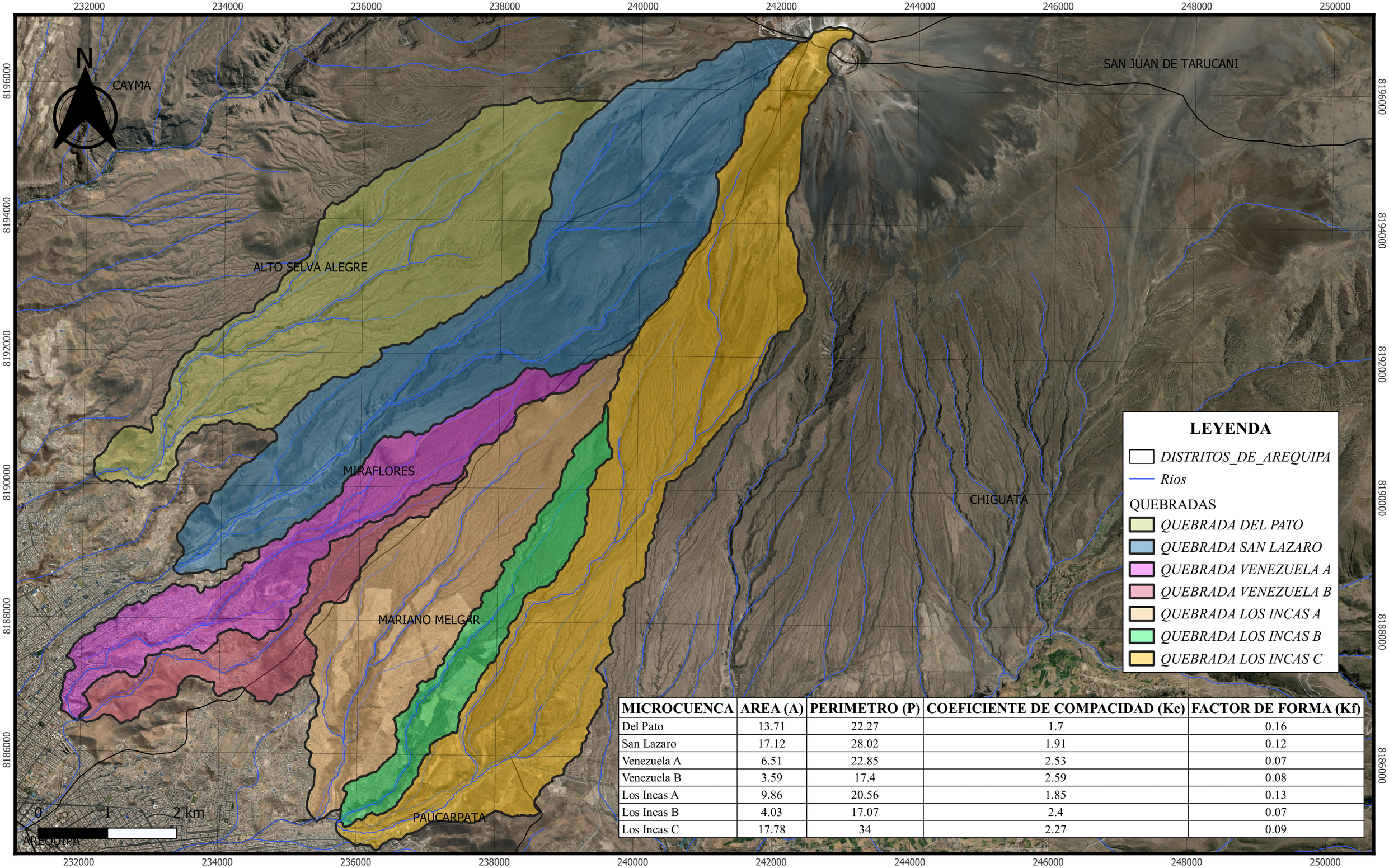
TESIS: "ANÁLISIS DE RIESGO FRENTE A MÁXIMAS AVENIDAS CON EL USO DEL PRODUCTO GRILLADO PISCO PD EN LAS QUEBRADAS POLANCO, SAN LÁZARO, MIRAFLORES Y MARIANO MELGAR EN LA PROVINCIA DE AREQUIPA"

BACHILLERES:
- RAMOS FERNÁNDEZ, CHRISTEL MELISSA
- SALDIVAR CONDORI, GRECIA ALEJANDRA

PLANO: UBICACION HIDROGRAFICA

REGION: AREQUIPA
PROVINCIA: AREQUIPA
DISTRITO: VARIOS

ESCALA: 1:55000
DATUM: WGS-84
FECHA: MARZO 2022
ZONA: 19 SUR
LAMINA: 02




| MICROCUENCA | AREA (A) | PERIMETRO (P) | COEFICIENTE DE COMPACIDAD (Kc) | FACTOR DE FORMA (Kf) |
|---|---|---|---|---|
| Del Pato | 13.71 | 22.27 | 1.7 | 0.16 |
| San Lazaro | 17.12 | 28.02 | 1.91 | 0.12 |
| Venezuela A | 6.51 | 22.85 | 2.53 | 0.07 |
| Venezuela B | 3.59 | 17.4 | 2.59 | 0.08 |
| Los Incas A | 9.86 | 20.56 | 1.85 | 0.13 |
| Los Incas B | 4.03 | 17.07 | 2.4 | 0.07 |
| Los Incas C | 17.78 | 34 | 2.27 | 0.09 |

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA**
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**
**FACULTAD DE ARQUITECTURA, INGENIERIA CIVIL Y DEL AMBIENTE**

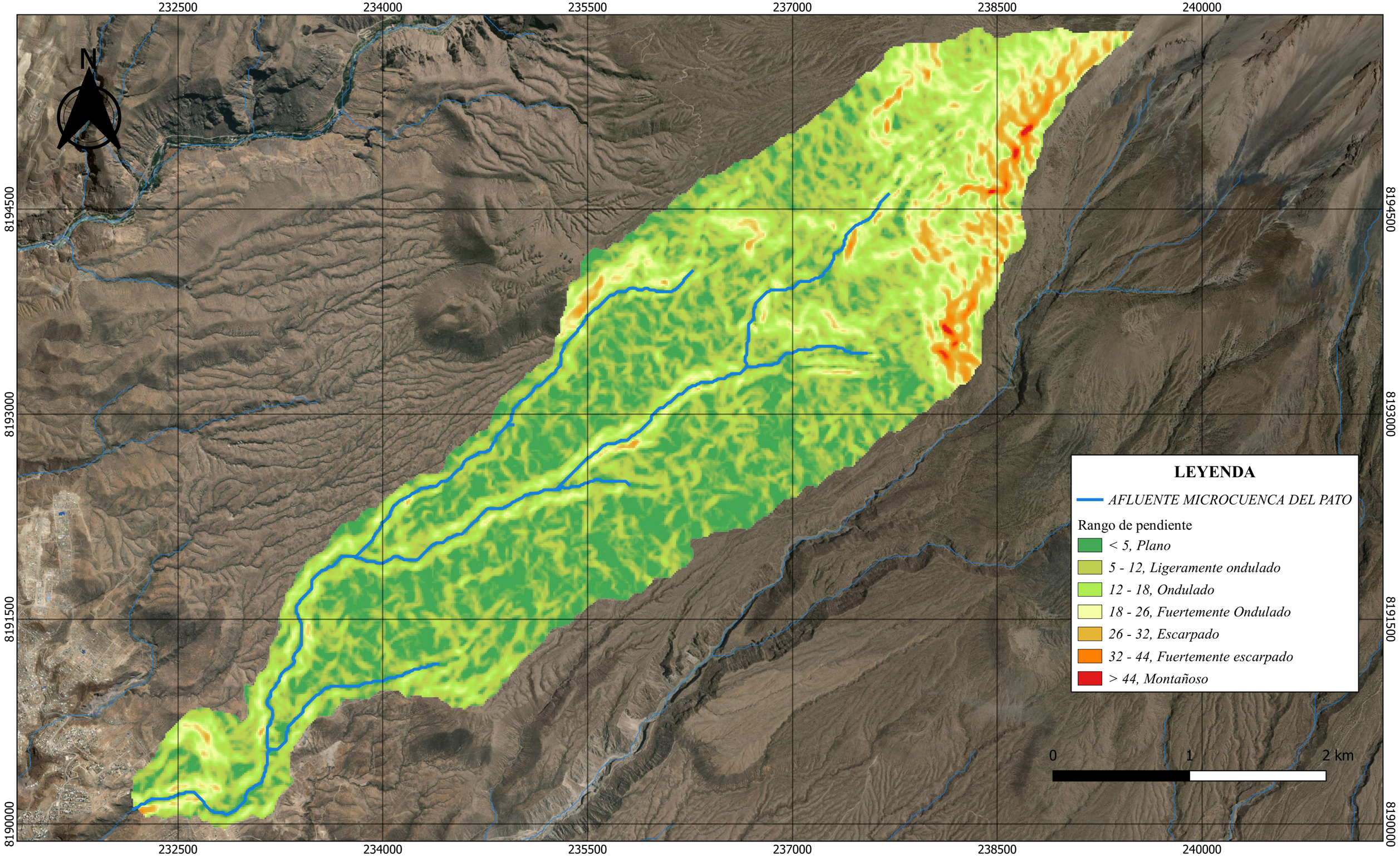
TESIS: "ANÁLISIS DE RIESGO FRENTE A MÁXIMAS AVENIDAS CON EL USO DEL PRODUCTO GRILLADO PISCO PD EN LAS QUEBRADAS POLANCO, SAN LÁZARO, MIRAFLORES Y MARIANO MELGAR EN LA PROVINCIA DE AREQUIPA"

BACHILLERES:
- RAMOS FERNÁNDEZ, CHRISTEL MELISSA
- SALDIVAR CONDORI, GRECIA ALEJANDRA

PLANO:
PARAMETROS MORFOMETRICOS

REGION: AREQUIPA
PROVINCIA: AREQUIPA
DISTRITO: VARIOS

ESCALA: 1:42000
DATUM: WGS-84
FECHA: MARZO 2022
ZONA: 19 SUR
LAMINA: 03




**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA**
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**
**FACULTAD DE ARQUITECTURA, INGENIERIA CIVIL Y DEL AMBIENTE**

TESIS: "ANÁLISIS DE RIESGO FRENTE A MÁXIMAS AVENIDAS CON EL USO DEL PRODUCTO GRILLADO PISCO PD EN LAS QUEBRADAS POLANCO, SAN LÁZARO, MIRAFLORES Y MARIANO MELGAR EN LA PROVINCIA DE AREQUIPA"

BACHILLERES:
- RAMOS FERNÁNDEZ, CHRISTEL MELISSA
- SALDIVAR CONDORI, GRECIA ALEJANDRA

PLANO:
PENDIENTE MEDIA MICROCUENCA DEL PATO

REGION: AREQUIPA
PROVINCIA: AREQUIPA
DISTRITO: VARIOS

ESCALA: 1:25000
DATUM: WGS-84
FECHA: MARZO 2022
ZONA: 19 SUR
LAMINA: 04

232500 234000 235500 237000 238500 240000 241500 243000 244500

8196000 8194500 8193000 8191500 8190000

N

**LEYENDA**

*AFLUENTE MICROCUENCA SAN LAZARO*

Rango de pendiente

- *< 5, Plano*
- *5 - 12, Ligeramente ondulado*
- *12 - 18, Ondulado*
- *18 - 26, Fuertemente Ondulado*
- *26 - 32, Escarpado*
- *32 - 44, Fuertemente escarpado*
- *> 44, Montañoso*

0 1 2 km

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA**
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**
**FACULTAD DE ARQUITECTURA, INGENIERIA CIVIL Y DEL AMBIENTE**

TESIS: "ANÁLISIS DE RIESGO FRENTE A MÁXIMAS AVENIDAS CON EL USO DEL PRODUCTO GRILLADO PISCO PD EN LAS QUEBRADAS POLANCO, SAN LÁZARO, MIRAFLORES Y MARIANO MELGAR EN LA PROVINCIA DE AREQUIPA"

BACHILLERES:
- RAMOS FERNÁNDEZ, CHRISTEL MELISSA
- SALDIVAR CONDORI, GRECIA ALEJANDRA

PLANO:
PENDIENTE MEDIA MICROCUENCA SAN LAZARO

REGION: AREQUIPA
PROVINCIA: AREQUIPA
DISTRITO: VARIOS

ESCALA: 1:35000
DATUM: WGS-84
FECHA: MARZO 2022
ZONA: 19 SUR
LAMINA: 05

232500 234000 235500 237000 238500 240000

8191500 8190000 8188500 8187000

N

**LEYENDA**

*AFLUENTE MICROCUENCA VENEZUELA A*

Rango de pendiente

- *< 5, Plano*
- *5 - 12, Ligeramente ondulado*
- *12 - 18, Ondulado*
- *18 - 26, Fuertemente Ondulado*
- *26 - 32, Escarpado*
- *32 - 44, Fuertemente escarpado*
- *> 44, Montañoso*

0 1 2 km

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA**
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**
**FACULTAD DE ARQUITECTURA, INGENIERIA CIVIL Y DEL AMBIENTE**

TESIS: "ANÁLISIS DE RIESGO FRENTE A MÁXIMAS AVENIDAS CON EL USO DEL PRODUCTO GRILLADO PISCO PD EN LAS QUEBRADAS POLANCO, SAN LÁZARO, MIRAFLORES Y MARIANO MELGAR EN LA PROVINCIA DE AREQUIPA"

BACHILLERES:
- RAMOS FERNÁNDEZ, CHRISTEL MELISSA
- SALDIVAR CONDORI, GRECIA ALEJANDRA

PLANO:
PENDIENTE MEDIA MICROCUENCA VENEZUELA - A

REGION: AREQUIPA
PROVINCIA: AREQUIPA
DISTRITO: VARIOS

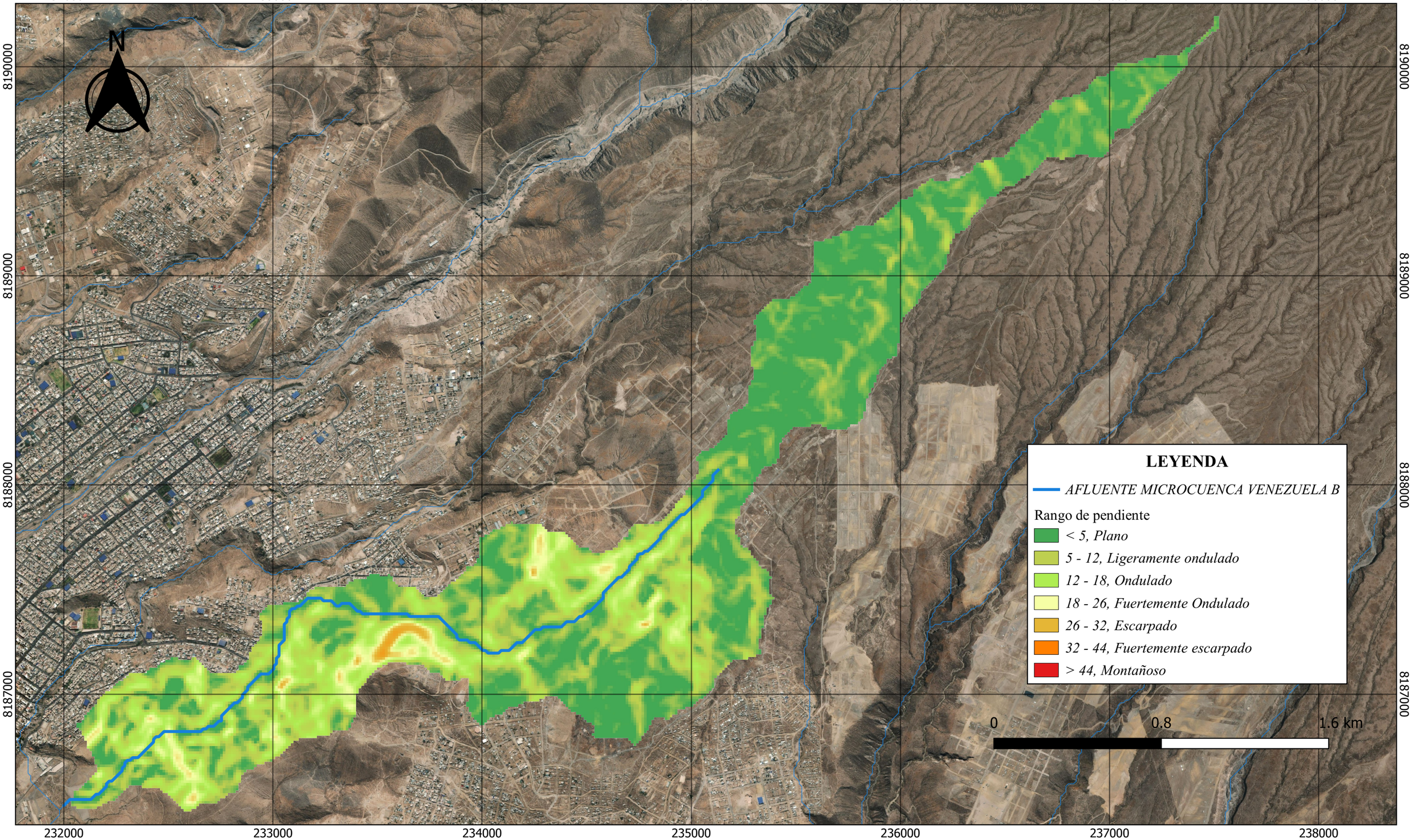
ESCALA: 1:23000

DATUM: WGS-84

FECHA: MARZO 2022

ZONA: 19 SUR

LAMINA: 06




**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA**
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**
**FACULTAD DE ARQUITECTURA, INGENIERIA CIVIL Y DEL AMBIENTE**

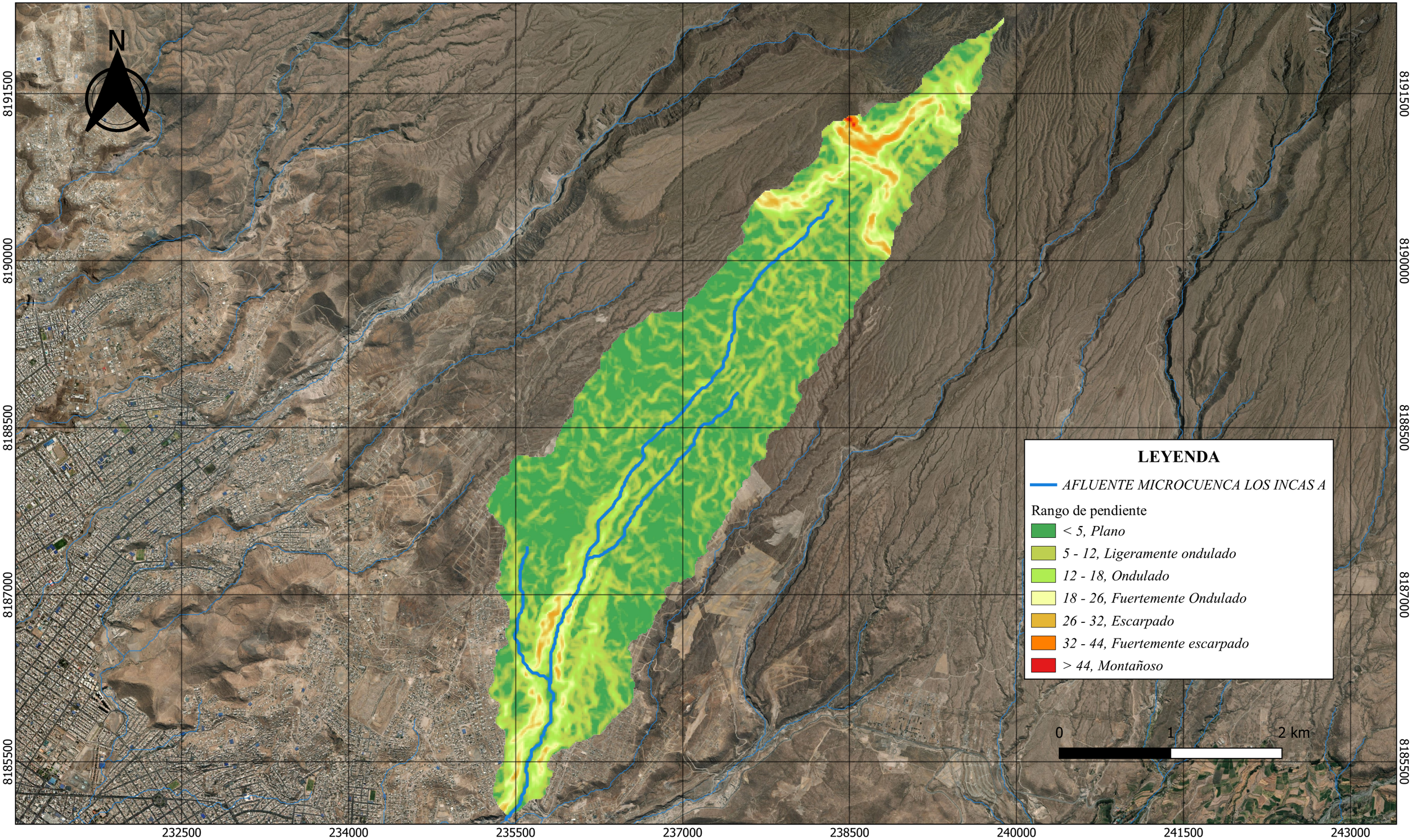
TESIS: "ANÁLISIS DE RIESGO FRENTE A MÁXIMAS AVENIDAS CON EL USO DEL PRODUCTO GRILLADO PISCO PD EN LAS QUEBRADAS POLANCO, SAN LÁZARO, MIRAFLORES Y MARIANO MELGAR EN LA PROVINCIA DE AREQUIPA"

BACHILLERES:
- RAMOS FERNÁNDEZ, CHRISTEL MELISSA
- SALDIVAR CONDORI, GRECIA ALEJANDRA

PLANO:
PENDIENTE MEDIA MICROCUENCA VENEZUELA - B

| | |
|---|---|
| REGION: | AREQUIPA |
| PROVINCIA: | AREQUIPA |
| DISTRITO: | VARIOS |

| | | |
|---|---|---|
| ESCALA: 1:16500 | DATUM: WGS-84 | LAMINA: 07 |
| FECHA: MARZO 2022 | ZONA: 19 SUR | |




**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA**
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**
**FACULTAD DE ARQUITECTURA, INGENIERIA CIVIL Y DEL AMBIENTE**

TESIS: "ANÁLISIS DE RIESGO FRENTE A MÁXIMAS AVENIDAS CON EL USO DEL PRODUCTO GRILLADO PISCO PD EN LAS QUEBRADAS POLANCO, SAN LÁZARO, MIRAFLORES Y MARIANO MELGAR EN LA PROVINCIA DE AREQUIPA"

BACHILLERES:
- RAMOS FERNÁNDEZ, CHRISTEL MELISSA
- SALDIVAR CONDORI, GRECIA ALEJANDRA

PLANO:
PENDIENTE MEDIA MICROCUENCA LOS INCAS - A

REGION: AREQUIPA
PROVINCIA: AREQUIPA
DISTRITO: VARIOS

ESCALA: 1:31000
DATUM: WGS-84
FECHA: MARZO 2022
ZONA: 19 SUR
LAMINA: 08

232500 234000 235500 237000 238500 240000 241500 243000

8190000 8188500 8187000 8185500

N

0 1 2 km

**LEYENDA**

*AFLUENTE MICROCUENCA LOS INCAS B*

Rango de pendiente

- *< 5, Plano*
- *5 - 12, Ligeramente ondulado*
- *12 - 18, Ondulado*
- *18 - 26, Fuertemente Ondulado*
- *26 - 32, Escarpado*
- *32 - 44, Fuertemente escarpado*
- *> 44, Montañoso*


**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA**
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**
**FACULTAD DE ARQUITECTURA, INGENIERIA CIVIL Y DEL AMBIENTE**


TESIS: "ANÁLISIS DE RIESGO FRENTE A MÁXIMAS AVENIDAS CON EL USO DEL PRODUCTO GRILLADO PISCO PD EN LAS QUEBRADAS POLANCO, SAN LÁZARO, MIRAFLORES Y MARIANO MELGAR EN LA PROVINCIA DE AREQUIPA"


BACHILLERES:
- RAMOS FERNÁNDEZ, CHRISTEL MELISSA
- SALDIVAR CONDORI, GRECIA ALEJANDRA


PLANO:
PENDIENTE MEDIA MICROCUENCA LOS INCAS - B

REGION: AREQUIPA
PROVINCIA: AREQUIPA
DISTRITO: VARIOS

ESCALA: 1:31000

DATUM: WGS-84

FECHA: MARZO 2022

ZONA: 19 SUR

LAMINA: 09

231000 234000 237000 240000 243000 246000 249000

8196000 8193000 8190000 8187000

N

**LEYENDA**

*AFLUENTE MICROCUENCA LOS INCAS C*

Rango de pendiente

- *< 5, Plano*
- *5 - 12, Ligeramente ondulado*
- *12 - 18, Ondulado*
- *18 - 26, Fuertemente Ondulado*
- *26 - 32, Escarpado*
- *32 - 44, Fuertemente escarpado*
- *> 44, Montañoso*

0 2 4 km

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA**
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**
**FACULTAD DE ARQUITECTURA, INGENIERIA CIVIL Y DEL AMBIENTE**

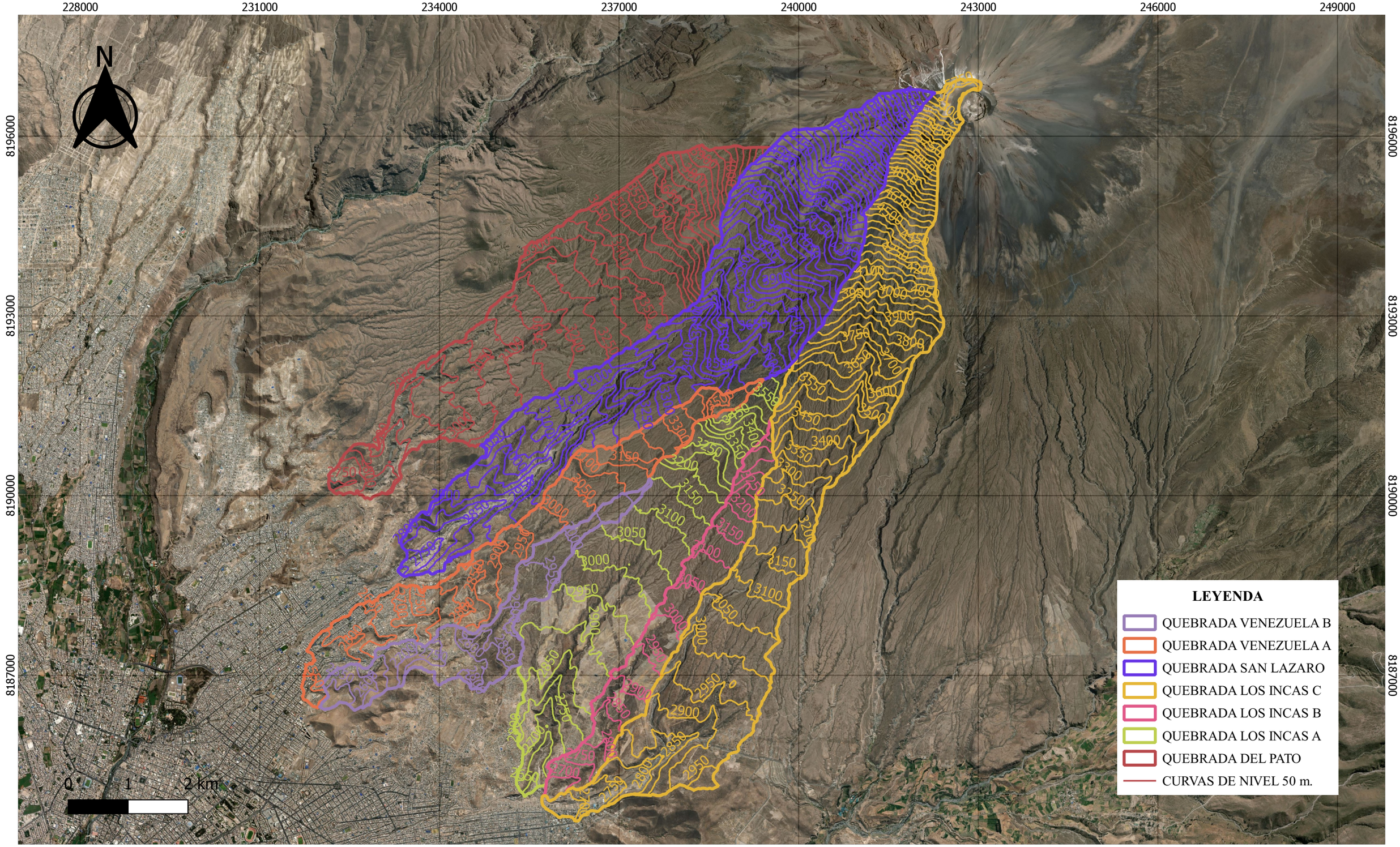
TESIS: "ANÁLISIS DE RIESGO FRENTE A MÁXIMAS AVENIDAS CON EL USO DEL PRODUCTO GRILLADO PISCO PD EN LAS QUEBRADAS POLANCO, SAN LÁZARO, MIRAFLORES Y MARIANO MELGAR EN LA PROVINCIA DE AREQUIPA

BACHILLERES:
- RAMOS FERNÁNDEZ, CHRISTEL MELISSA
- SALDIVAR CONDORI, GRECIA ALEJANDRA

PLANO:
PENDIENTE MEDIA MICROCUENCA LOS INCAS - C

REGION: AREQUIPA
PROVINCIA: AREQUIPA
DISTRITO: VARIOS

ESCALA: 1:31000
DATUM: WGS-84
FECHA: MARZO 2022
ZONA: 19 SUR
LAMINA: 10




**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA**
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**
**FACULTAD DE ARQUITECTURA, INGENIERIA CIVIL Y DEL AMBIENTE**

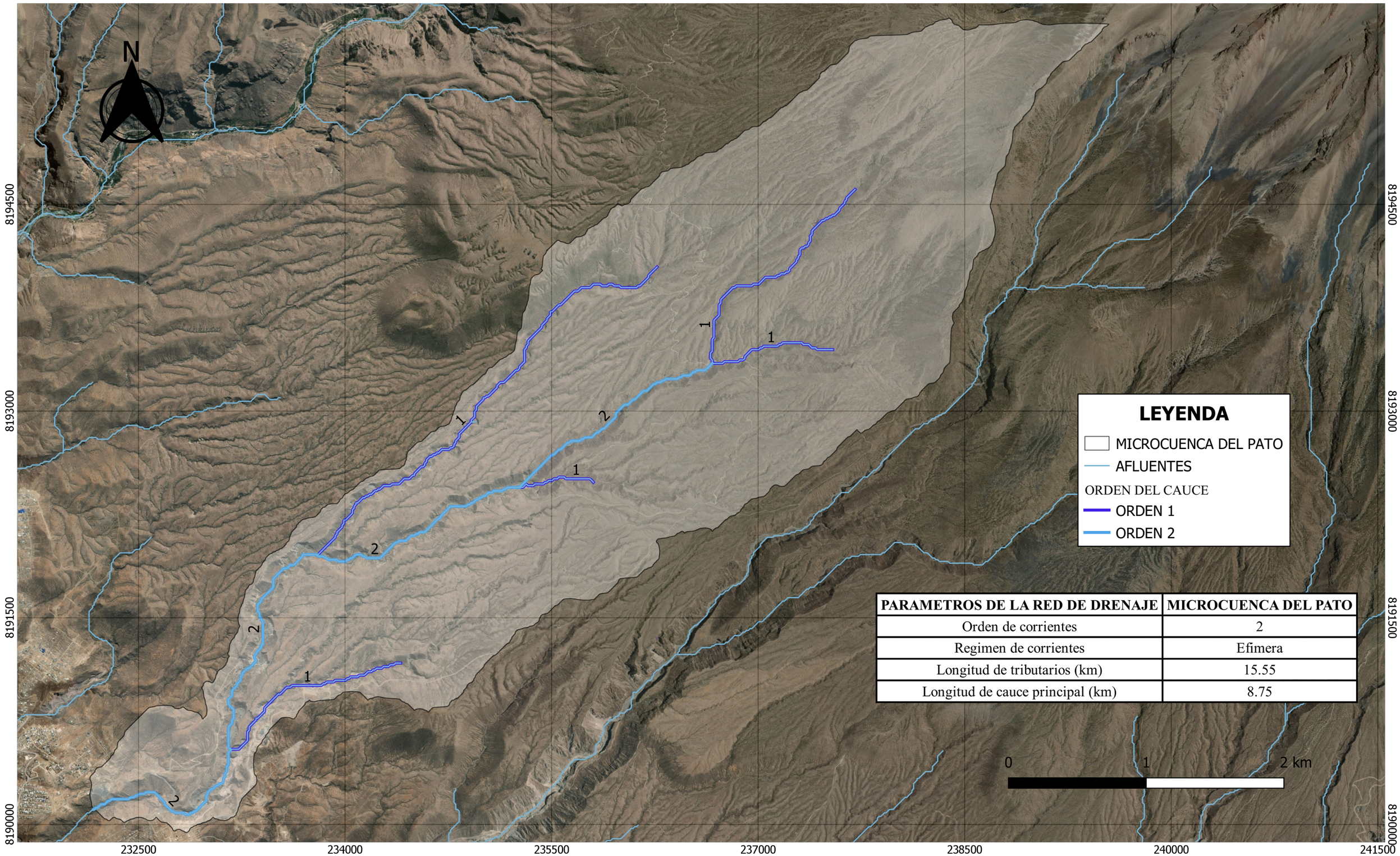
TESIS: "ANÁLISIS DE RIESGO FRENTE A MÁXIMAS AVENIDAS CON EL USO DEL PRODUCTO GRILLADO PISCO PD EN LAS QUEBRADAS POLANCO, SAN LÁZARO, MIRAFLORES Y MARIANO MELGAR EN LA PROVINCIA DE AREQUIPA"

BACHILLERES:
- RAMOS FERNÁNDEZ, CHRISTEL MELISSA
- SALDIVAR CONDORI, GRECIA ALEJANDRA

PLANO:
TOPOGRAFIA DE ZONA DE ESTUDIO

REGION: AREQUIPA
PROVINCIA: AREQUIPA
DISTRITO: VARIOS

ESCALA: 58000
DATUM: WGS-84
FECHA: MARZO 2022
ZONA: 19 SUR
LAMINA: 11




| PARAMETROS DE LA RED DE DRENAJE | MICROCUENCA DEL PATO |
|---|---|
| Orden de corrientes | 2 |
| Regimen de corrientes | Efimera |
| Longitud de tributarios (km) | 15.55 |
| Longitud de cauce principal (km) | 8.75 |

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA**
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**
**FACULTAD DE ARQUITECTURA, INGENIERIA CIVIL Y DEL AMBIENTE**

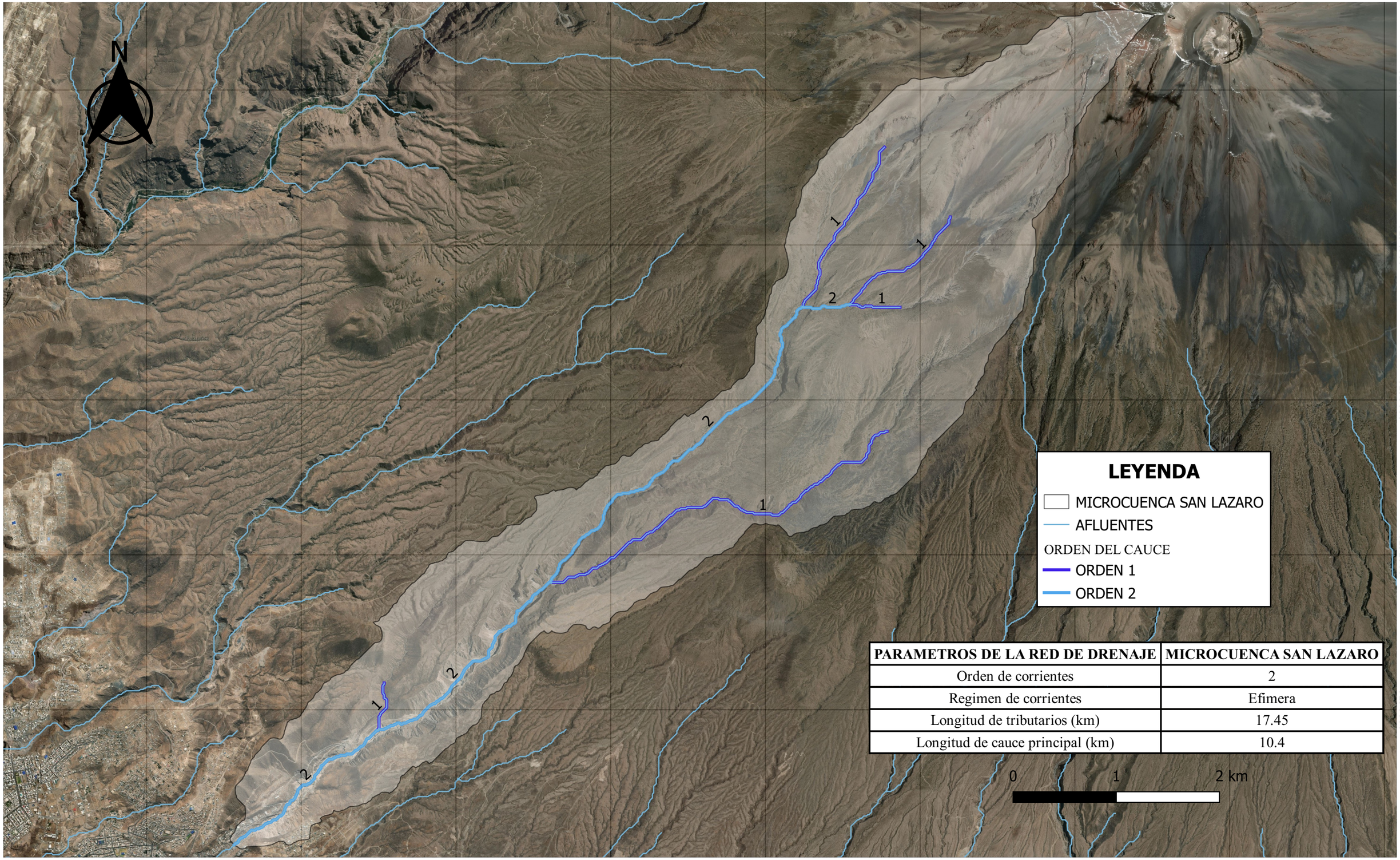
TESIS: "ANÁLISIS DE RIESGO FRENTE A MÁXIMAS AVENIDAS CON EL USO DEL PRODUCTO GRILLADO PISCO PD EN LAS QUEBRADAS POLANCO, SAN LÁZARO, MIRAFLORES Y MARIANO MELGAR EN LA PROVINCIA DE AREQUIPA"

BACHILLERES:
- RAMOS FERNÁNDEZ, CHRISTEL MELISSA
- SALDIVAR CONDORI, GRECIA ALEJANDRA

PLANO:
RED DE DRENAJE MICROCUENCA DEL PATO

REGION: AREQUIPA
PROVINCIA: AREQUIPA
DISTRITO: VARIOS

ESCALA: 1:25000
DATUM: WGS-84
FECHA: MARZO 2022
ZONA: 19 SUR
LAMINA: 12




| PARAMETROS DE LA RED DE DRENAJE | MICROCUENCA SAN LAZARO |
|---|---|
| Orden de corrientes | 2 |
| Regimen de corrientes | Efimera |
| Longitud de tributarios (km) | 17.45 |
| Longitud de cauce principal (km) | 10.4 |

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA**
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**
**FACULTAD DE ARQUITECTURA, INGENIERIA CIVIL Y DEL AMBIENTE**

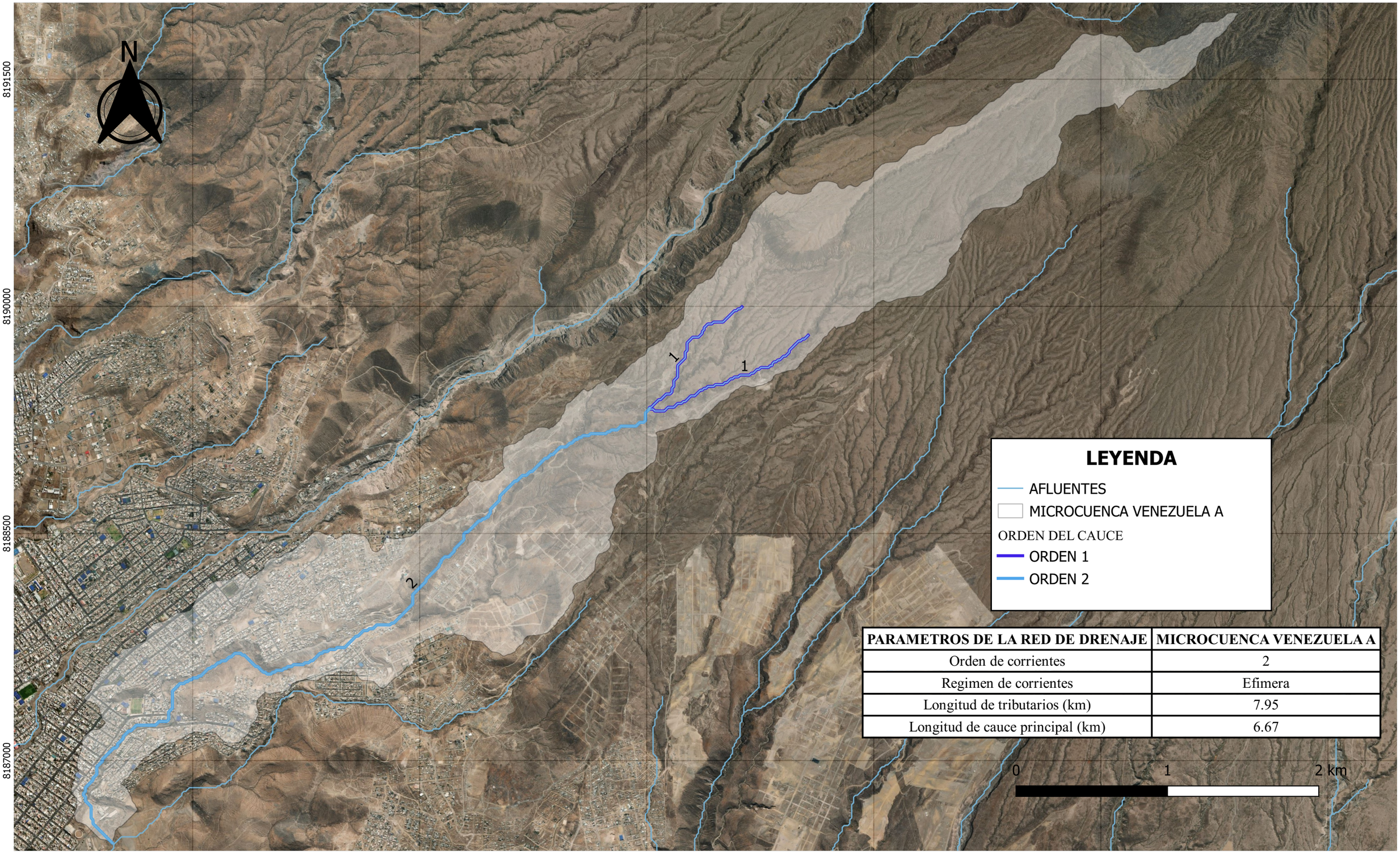
TESIS: "ANÁLISIS DE RIESGO FRENTE A MÁXIMAS AVENIDAS CON EL USO DEL PRODUCTO GRILLADO PISCO PD EN LAS QUEBRADAS POLANCO, SAN LÁZARO, MIRAFLORES Y MARIANO MELGAR EN LA PROVINCIA DE AREQUIPA"

BACHILLERES:
- RAMOS FERNÁNDEZ, CHRISTEL MELISSA
- SALDIVAR CONDORI, GRECIA ALEJANDRA

PLANO:
RED DE DRENAJE MICROCUENCA SAN LAZARO

REGION: AREQUIPA
PROVINCIA: AREQUIPA
DISTRITO: VARIOS

ESCALA: 1:34000
FECHA: MARZO 2022
DATUM: WGS-84
ZONA: 19 SUR
LAMINA: 13




| PARAMETROS DE LA RED DE DRENAJE | MICROCUENCA VENEZUELA A |
|---|---|
| Orden de corrientes | 2 |
| Regimen de corrientes | Efimera |
| Longitud de tributarios (km) | 7.95 |
| Longitud de cauce principal (km) | 6.67 |

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA**
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**
**FACULTAD DE ARQUITECTURA, INGENIERIA CIVIL Y DEL AMBIENTE**

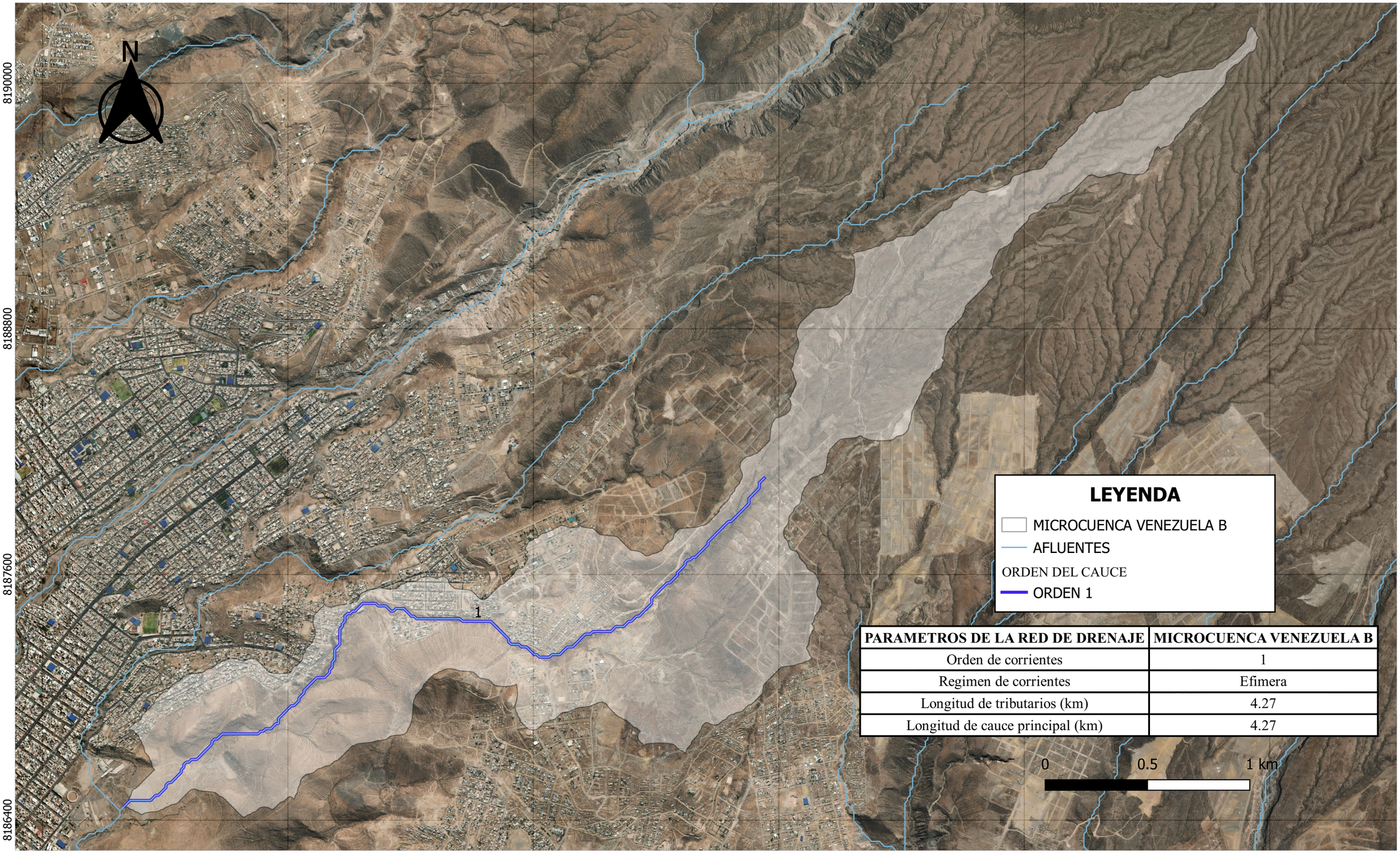
TESIS: "ANÁLISIS DE RIESGO FRENTE A MÁXIMAS AVENIDAS CON EL USO DEL PRODUCTO GRILLADO PISCO PD EN LAS QUEBRADAS POLANCO, SAN LÁZARO, MIRAFLORES Y MARIANO MELGAR EN LA PROVINCIA DE AREQUIPA"

BACHILLERES:
- RAMOS FERNÁNDEZ, CHRISTEL MELISSA
- SALDIVAR CONDORI, GRECIA ALEJANDRA

PLANO:
RED DE DRENAJE MICROCUENCA VENEZUELA - A

REGION: AREQUIPA
PROVINCIA: AREQUIPA
DISTRITO: VARIOS

ESCALA: 1:23000
DATUM: WGS-84
FECHA: MARZO 2022
ZONA: 19 SUR
LAMINA: 14




| PARAMETROS DE LA RED DE DRENAJE | MICROCUENCA VENEZUELA B |
|---|---|
| Orden de corrientes | 1 |
| Regimen de corrientes | Efimera |
| Longitud de tributarios (km) | 4.27 |
| Longitud de cauce principal (km) | 4.27 |

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA**
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**
**FACULTAD DE ARQUITECTURA, INGENIERIA CIVIL Y DEL AMBIENTE**

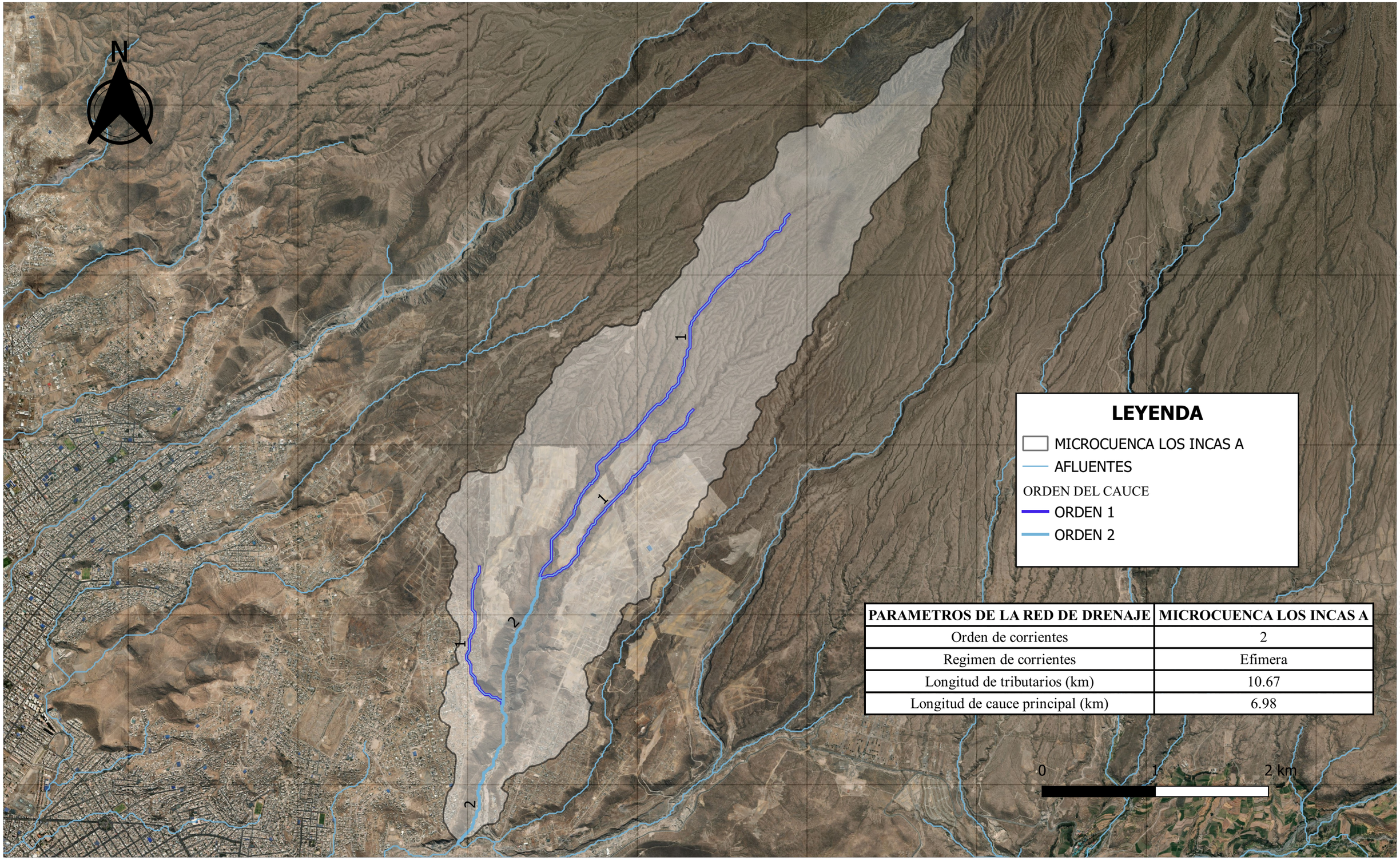
TESIS: "ANÁLISIS DE RIESGO FRENTE A MÁXIMAS AVENIDAS CON EL USO DEL PRODUCTO GRILLADO PISCO PD EN LAS QUEBRADAS POLANCO, SAN LÁZARO, MIRAFLORES Y MARIANO MELGAR EN LA PROVINCIA DE AREQUIPA"

BACHILLERES:
- RAMOS FERNÁNDEZ, CHRISTEL MELISSA
- SALDIVAR CONDORI, GRECIA ALEJANDRA

PLANO:
RED DE DRENAJE MICROCUENCA VENEZUELA - B

REGION: AREQUIPA
PROVINCIA: AREQUIPA
DISTRITO: VARIOS

ESCALA: 1:17000
DATUM: WGS-84
FECHA: MARZO 2022
ZONA: 19 SUR
LAMINA: 15




| PARAMETROS DE LA RED DE DRENAJE | MICROCUENCA LOS INCAS A |
|---|---|
| Orden de corrientes | 2 |
| Regimen de corrientes | Efimera |
| Longitud de tributarios (km) | 10.67 |
| Longitud de cauce principal (km) | 6.98 |

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA**
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**
**FACULTAD DE ARQUITECTURA, INGENIERIA CIVIL Y DEL AMBIENTE**

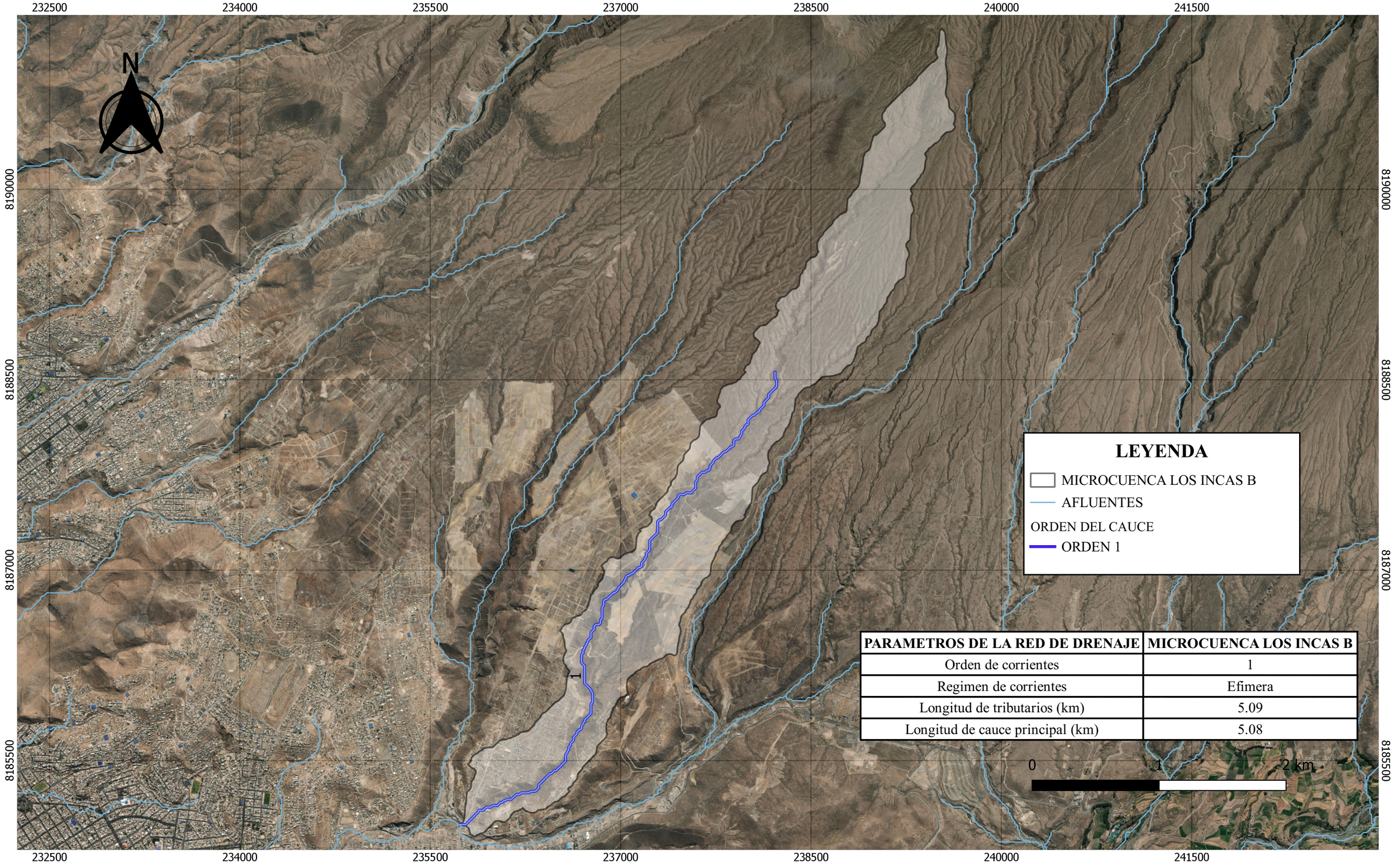
TESIS: "ANÁLISIS DE RIESGO FRENTE A MÁXIMAS AVENIDAS CON EL USO DEL PRODUCTO GRILLADO PISCO PD EN LAS QUEBRADAS POLANCO, SAN LÁZARO, MIRAFLORES Y MARIANO MELGAR EN LA PROVINCIA DE AREQUIPA"

BACHILLERES:
- RAMOS FERNÁNDEZ, CHRISTEL MELISSA
- SALDIVAR CONDORI, GRECIA ALEJANDRA

PLANO:
RED DE DRENAJE MICROCUENCA LOS INCAS - A

REGION: AREQUIPA
PROVINCIA: AREQUIPA
DISTRITO: VARIOS

ESCALA: 1:31000
DATUM: WGS-84
FECHA: MARZO 2022
ZONA: 19 SUR
LAMINA: 16




**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA**
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**
**FACULTAD DE ARQUITECTURA, INGENIERIA CIVIL Y DEL AMBIENTE**

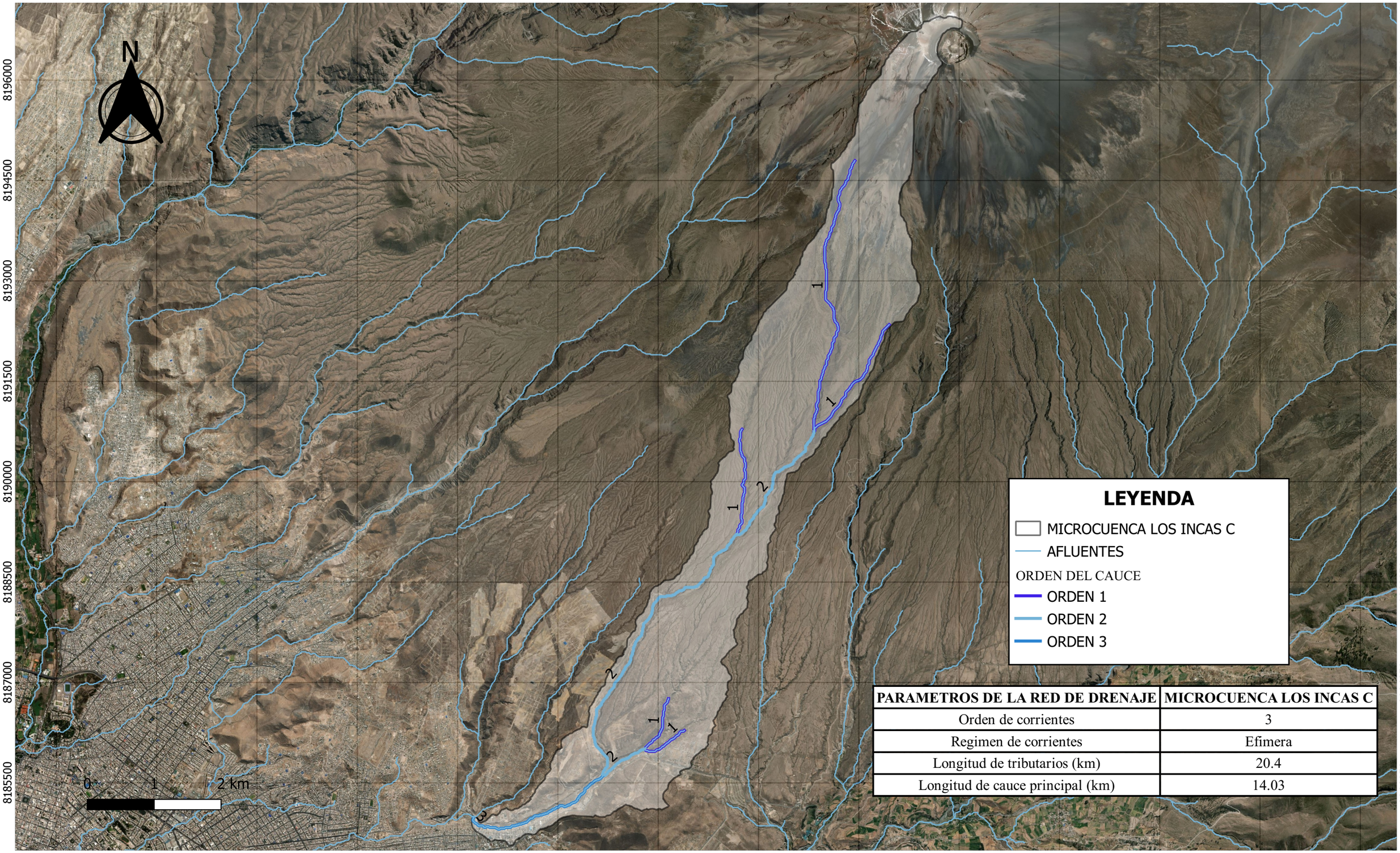
TESIS: "ANÁLISIS DE RIESGO FRENTE A MÁXIMAS AVENIDAS CON EL USO DEL PRODUCTO GRILLADO PISCO PD EN LAS QUEBRADAS POLANCO, SAN LÁZARO, MIRAFLORES Y MARIANO MELGAR EN LA PROVINCIA DE AREQUIPA"

BACHILLERES:
- RAMOS FERNÁNDEZ, CHRISTEL MELISSA
- SALDIVAR CONDORI, GRECIA ALEJANDRA

PLANO:
RED DE DRENAJE MICROCUENCA LOS INCAS - B

REGION: AREQUIPA
PROVINCIA: AREQUIPA
DISTRITO: VARIOS

ESCALA: 1:27000
DATUM: WGS-84
FECHA: MARZO 2022
ZONA: 19 SUR
LAMINA: 17




## LEYENDA

- MICROCUENCA LOS INCAS C
- AFLUENTES

ORDEN DEL CAUCE

- ORDEN 1
- ORDEN 2
- ORDEN 3

| PARAMETROS DE LA RED DE DRENAJE | MICROCUENCA LOS INCAS C |
|---|---|
| Orden de corrientes | 3 |
| Regimen de corrientes | Efimera |
| Longitud de tributarios (km) | 20.4 |
| Longitud de cauce principal (km) | 14.03 |

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA**
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**
**FACULTAD DE ARQUITECTURA, INGENIERIA CIVIL Y DEL AMBIENTE**

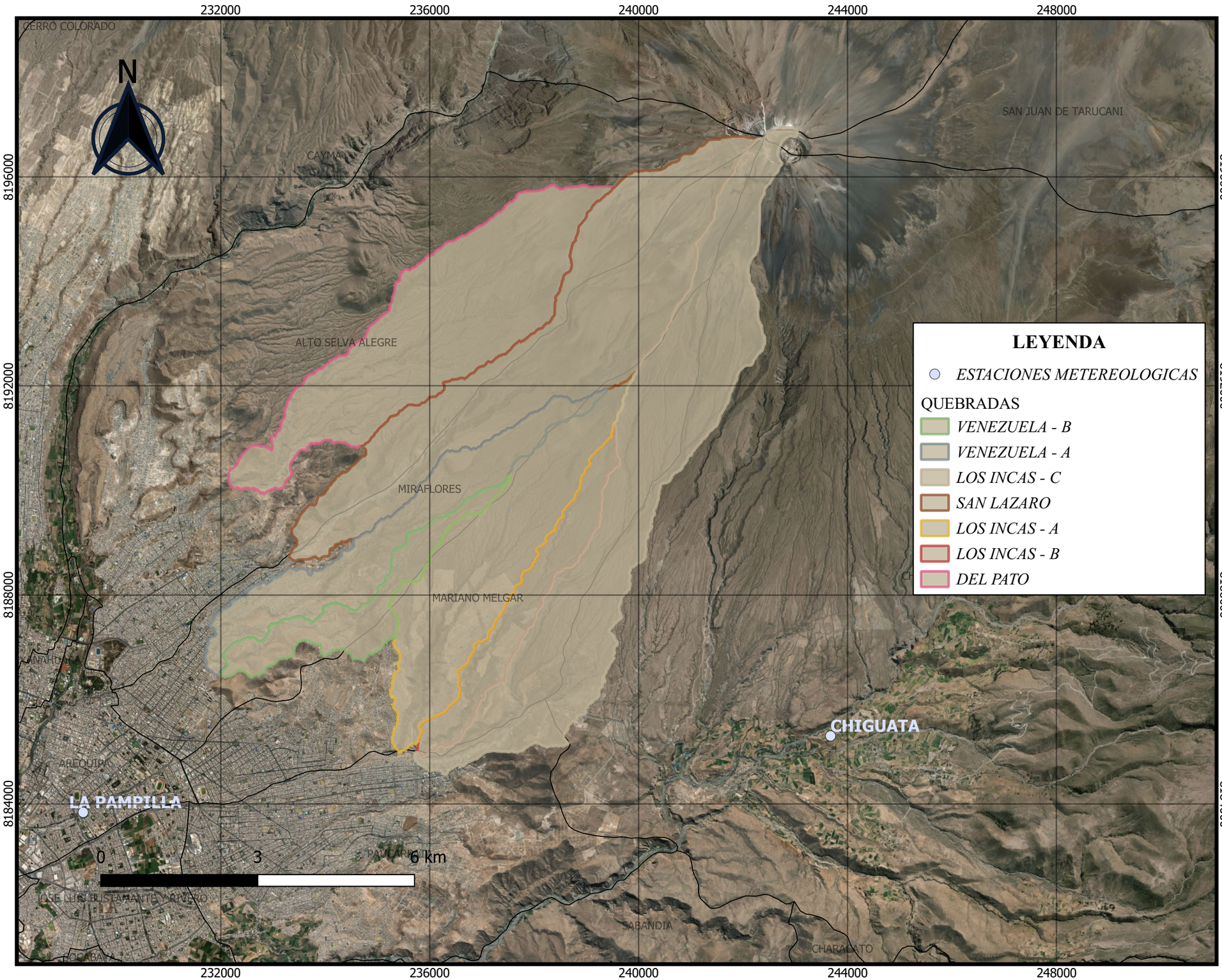
TESIS: "ANÁLISIS DE RIESGO FRENTE A MÁXIMAS AVENIDAS CON EL USO DEL PRODUCTO GRILLADO PISCO PD EN LAS QUEBRADAS POLANCO, SAN LÁZARO, MIRAFLORES Y MARIANO MELGAR EN LA PROVINCIA DE AREQUIPA"

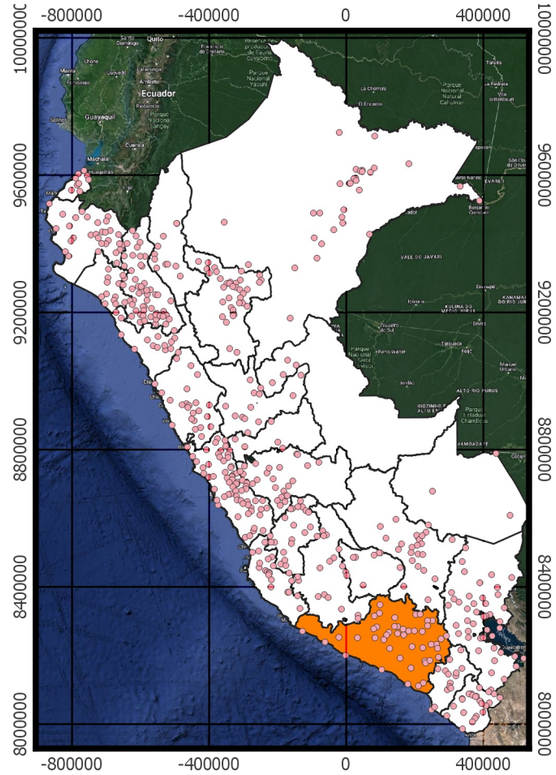
BACHILLERES:
- RAMOS FERNÁNDEZ, CHRISTEL MELISSA
- SALDIVAR CONDORI, GRECIA ALEJANDRA

PLANO:
RED DE DRENAJE MICROCUENCA LOS INCAS - C

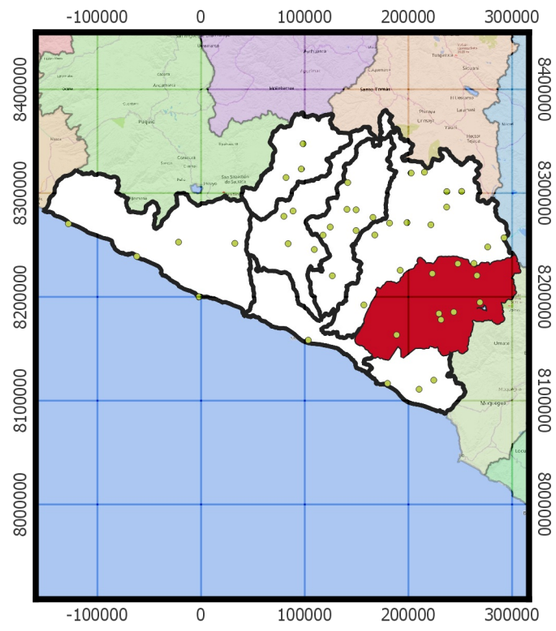
REGION: AREQUIPA
PROVINCIA: AREQUIPA
DISTRITO: VARIOS

ESCALA: 1:52000
DATUM: WGS-84
FECHA: MARZO 2022
ZONA: 19 SUR
LAMINA: 18




**UBICACION REGIONAL**




**UBICACION PROVINCIAL**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA**
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**
**FACULTAD DE ARQUITECTURA, INGENIERIA CIVIL Y DEL AMBIENTE**

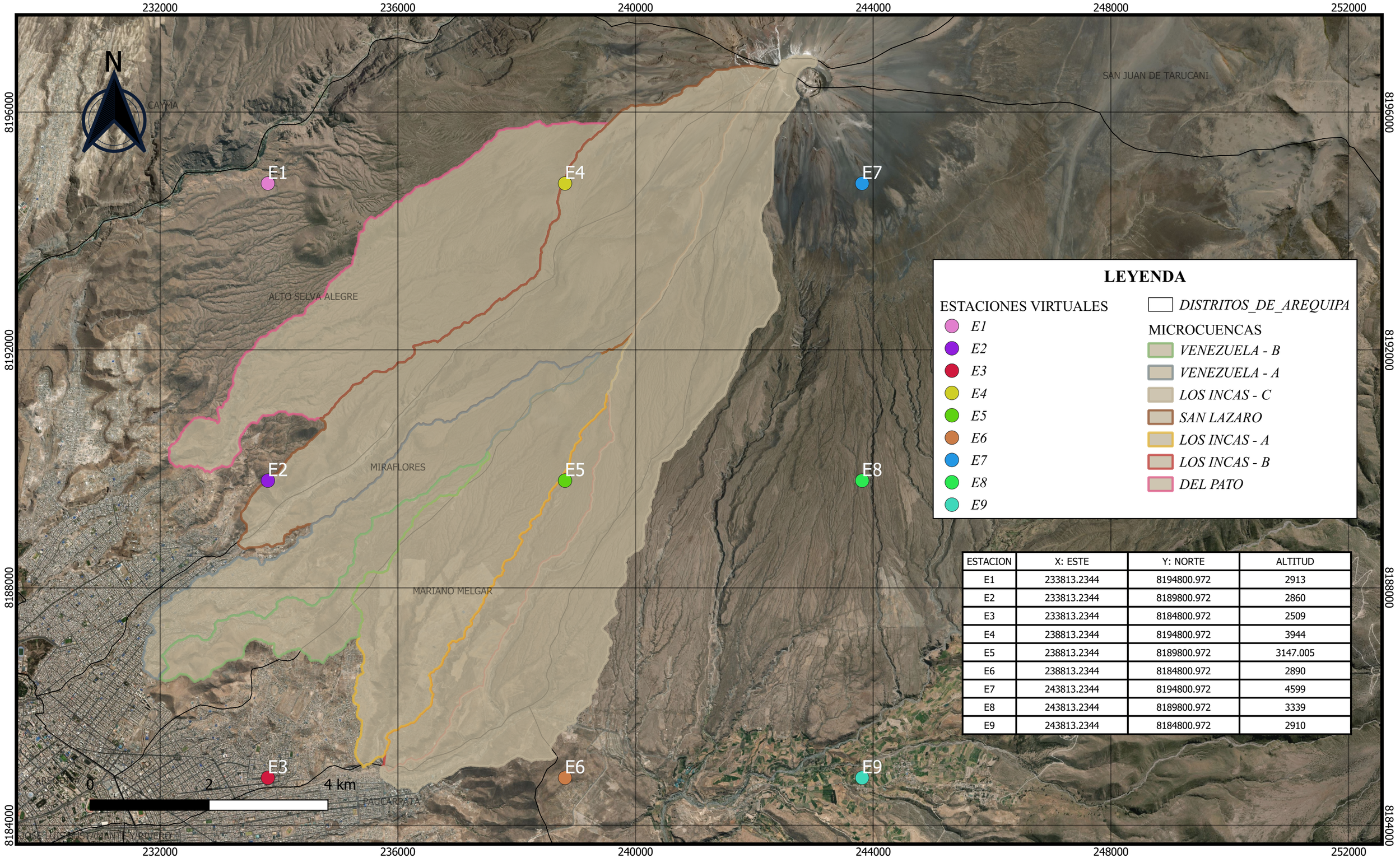
TESIS: "ANÁLISIS DE RIESGO FRENTE A MÁXIMAS AVENIDAS CON EL USO DEL PRODUCTO GRILLADO PISCO PD EN LAS QUEBRADAS POLANCO, SAN LÁZARO, MIRAFLORES Y MARIANO MELGAR EN LA PROVINCIA DE AREQUIPA"

BACHILLERES:
- RAMOS FERNÁNDEZ, CHRISTEL MELISSA
- SALDIVAR CONDORI, GRECIA ALEJANDRA

PLANO:
UBICACION ESTACIONES METEOROLOGICAS

REGION: AREQUIPA
PROVINCIA: AREQUIPA
DISTRITO: VARIOS

ESCALA: 1:75000
DATUM: WGS-84
FECHA: MARZO 2022
ZONA: 19 SUR
LAMINA: 19




## LEYENDA

ESTACIONES VIRTUALES

- E1
- E2
- E3
- E4
- E5
- E6
- E7
- E8
- E9

DISTRITOS_DE_AREQUIPA

MICROCUENCAS

- VENEZUELA - B
- VENEZUELA - A
- LOS INCAS - C
- SAN LAZARO
- LOS INCAS - A
- LOS INCAS - B
- DEL PATO

| ESTACION | X: ESTE | Y: NORTE | ALTITUD |
|---|---|---|---|
| E1 | 233813.2344 | 8194800.972 | 2913 |
| E2 | 233813.2344 | 8189800.972 | 2860 |
| E3 | 233813.2344 | 8184800.972 | 2509 |
| E4 | 238813.2344 | 8194800.972 | 3944 |
| E5 | 238813.2344 | 8189800.972 | 3147.005 |
| E6 | 238813.2344 | 8184800.972 | 2890 |
| E7 | 243813.2344 | 8194800.972 | 4599 |
| E8 | 243813.2344 | 8189800.972 | 3339 |
| E9 | 243813.2344 | 8184800.972 | 2910 |

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA**
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**
**FACULTAD DE ARQUITECTURA, INGENIERIA CIVIL Y DEL AMBIENTE**

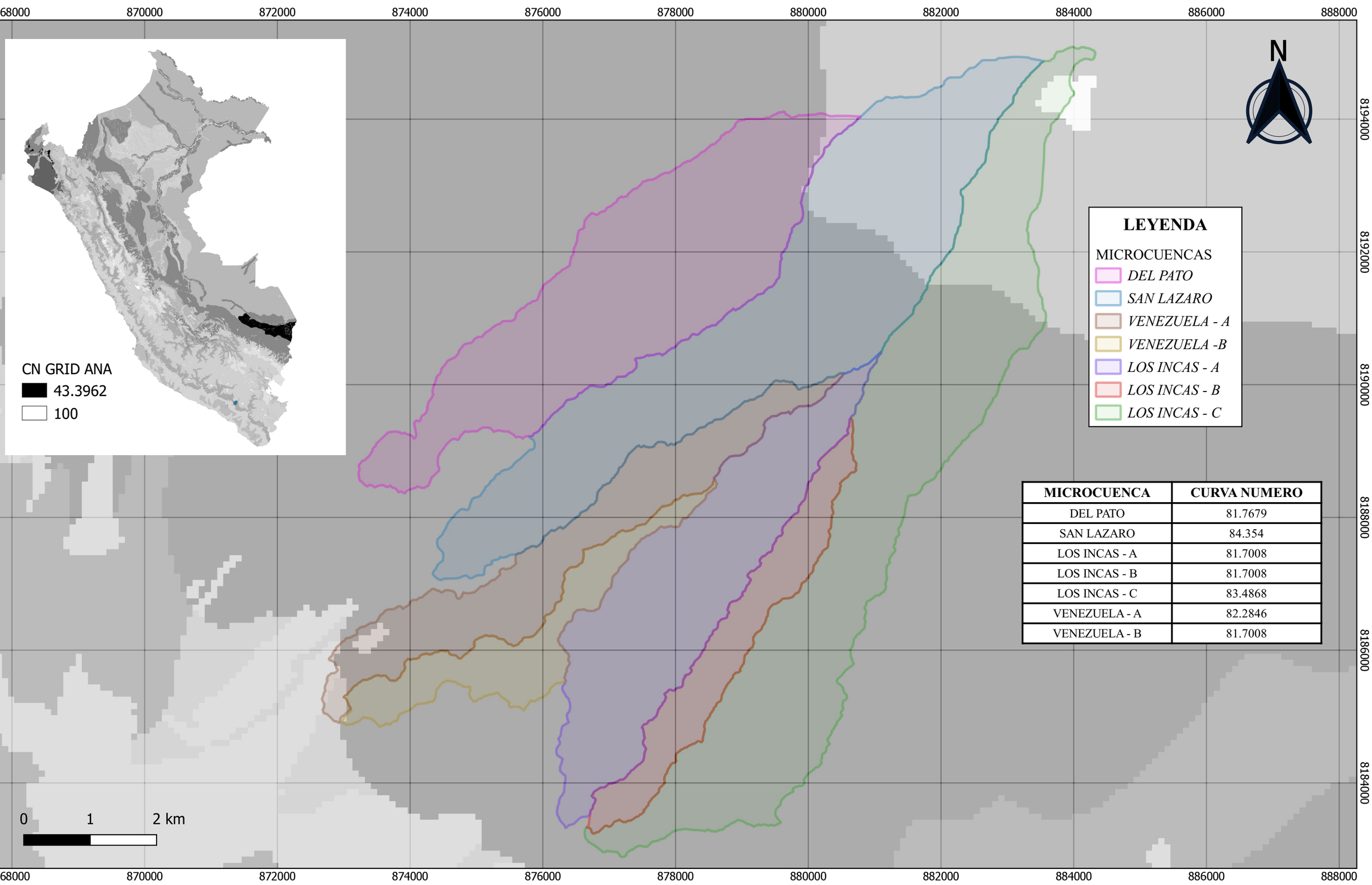
TESIS: "ANÁLISIS DE RIESGO FRENTE A MÁXIMAS AVENIDAS CON EL USO DEL PRODUCTO GRILLADO PISCO PD EN LAS QUEBRADAS POLANCO, SAN LÁZARO, MIRAFLORES Y MARIANO MELGAR EN LA PROVINCIA DE AREQUIPA"

BACHILLERES:
- RAMOS FERNÁNDEZ, CHRISTEL MELISSA
- SALDIVAR CONDORI, GRECIA ALEJANDRA

PLANO:
UBICACION ESTACIONES VIRTUALES

REGION: AREQUIPA
PROVINCIA: AREQUIPA
DISTRITO: VARIOS

ESCALA: 1:57800
FECHA: MARZO 2022
DATUM: WGS-84
ZONA: 19 SUR
LAMINA: 20




| MICROCUENCA | CURVA NUMERO |
|---|---|
| DEL PATO | 81.7679 |
| SAN LAZARO | 84.354 |
| LOS INCAS - A | 81.7008 |
| LOS INCAS - B | 81.7008 |
| LOS INCAS - C | 83.4868 |
| VENEZUELA - A | 82.2846 |
| VENEZUELA - B | 81.7008 |

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA**
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**
**FACULTAD DE ARQUITECTURA, INGENIERIA CIVIL Y DEL AMBIENTE**

TESIS: "MODELAMIENTO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DE MÁXIMAS AVENIDAS CON EL USO DEL PRODUCTO GRILLADO PISCO PD EN LAS QUEBRADAS DEL PATO, SAN LÁZARO, VENEZUELA Y LOS INCAS EN LA PROVINCIA DE AREQUIPA"

BACHILLERES:
- RAMOS FERNÁNDEZ, CHRISTEL MELISSA
- SALDIVAR CONDORI, GRECIA ALEJANDRA

PLANO: CURVA NUMERO

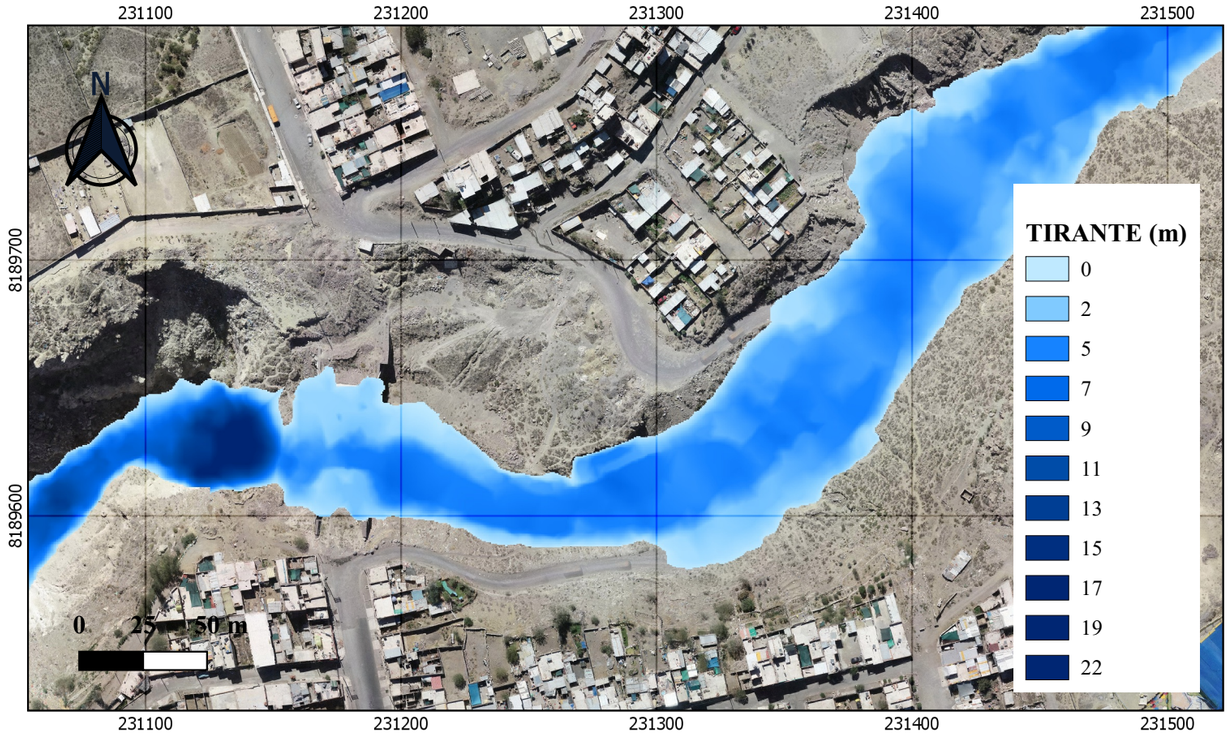
REGION: AREQUIPA
PROVINCIA: AREQUIPA
DISTRITO: VARIOS

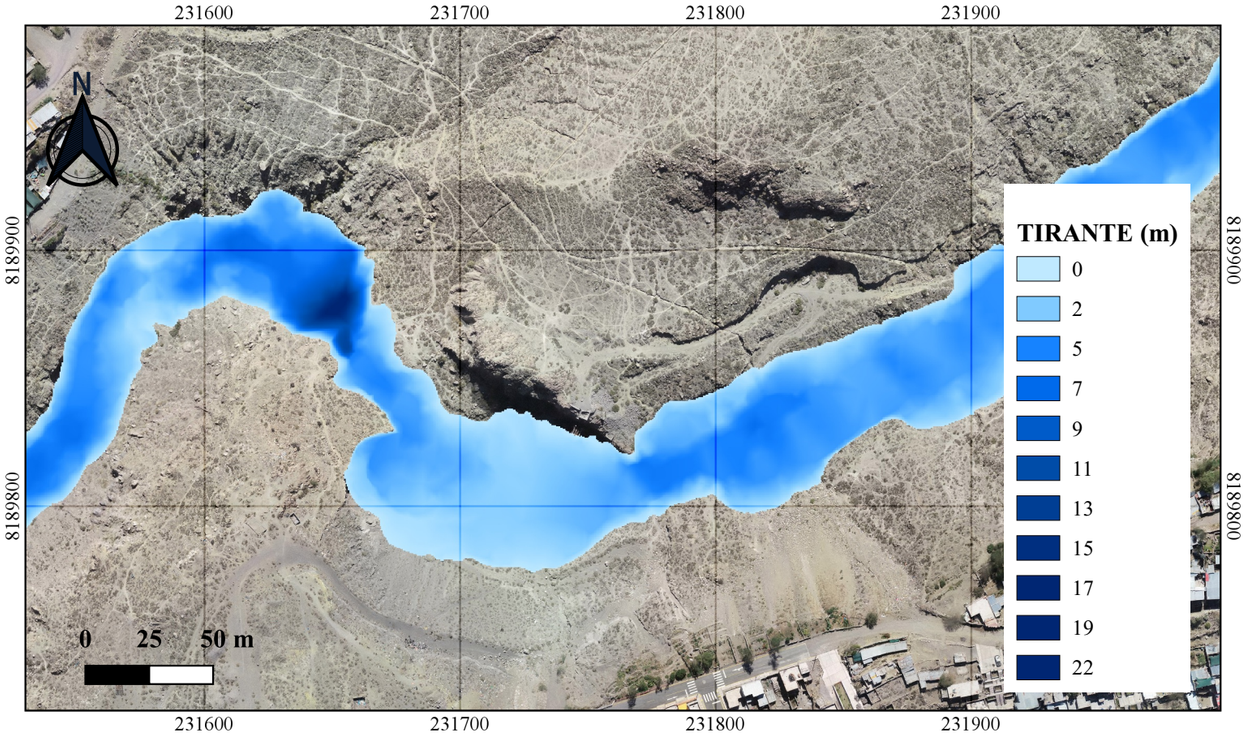
ESCALA: 1:53000
DATUM: WGS-84
FECHA: MARZO 2022
ZONA: 19 SUR
LAMINA: 21










**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA**
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**
**FACULTAD DE ARQUITECTURA, INGENIERIA CIVIL Y DEL AMBIENTE**

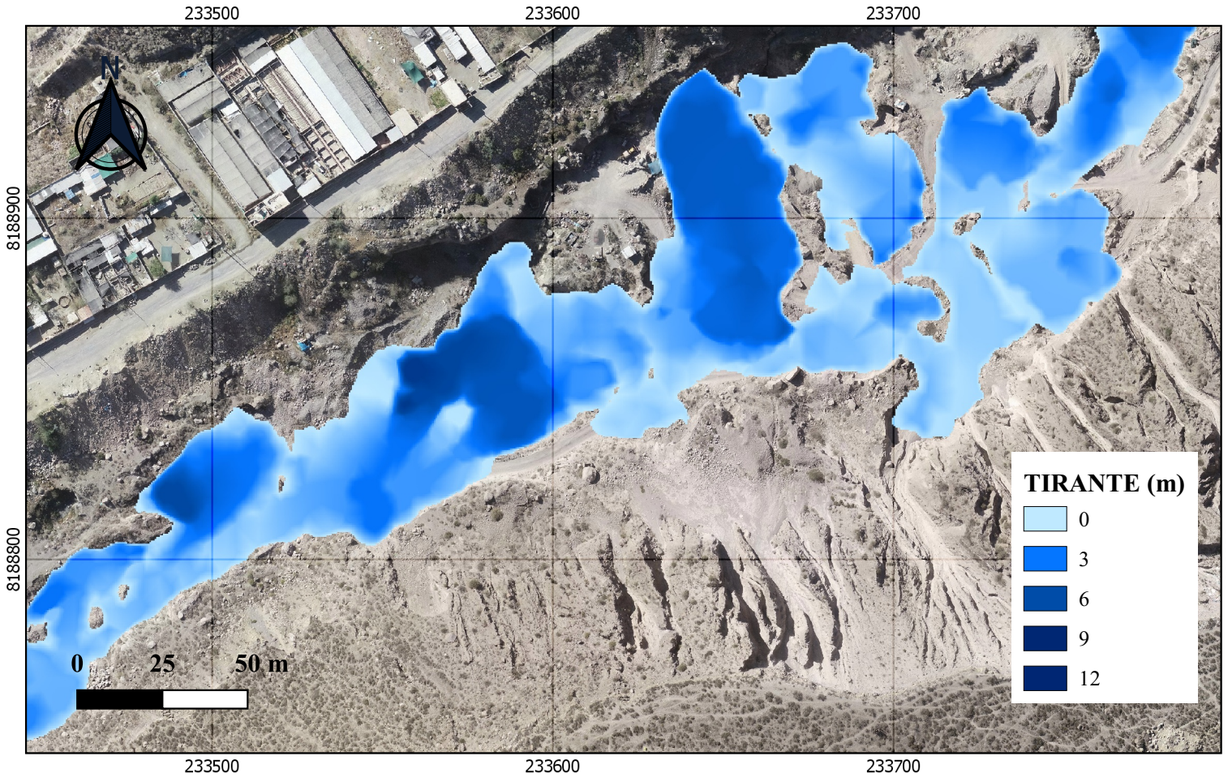
TESIS: "ANÁLISIS DE RIESGO FRENTE A MÁXIMAS AVENIDAS CON EL USO DEL PRODUCTO GRILLADO PISCO PD EN LAS QUEBRADAS POLANCO, SAN LÁZARO, MIRAFLORES Y MARIANO MELGAR EN LA PROVINCIA DE AREQUIPA"

BACHILLERES:
- RAMOS FERNÁNDEZ, CHRISTEL MELISSA
- SALDIVAR CONDORI, GRECIA ALEJANDRA

PLANO:
ZONAS INUNDABLES QUEBRADA DEL PATO

REGION: AREQUIPA
PROVINCIA: AREQUIPA
DISTRITO: VARIOS

ESCALA: 1:2400
DATUM: WGS-84
FECHA: MARZO 2022
ZONA: 19 SUR
LAMINA: 22













**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA**
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**
**FACULTAD DE ARQUITECTURA, INGENIERIA CIVIL Y DEL AMBIENTE**

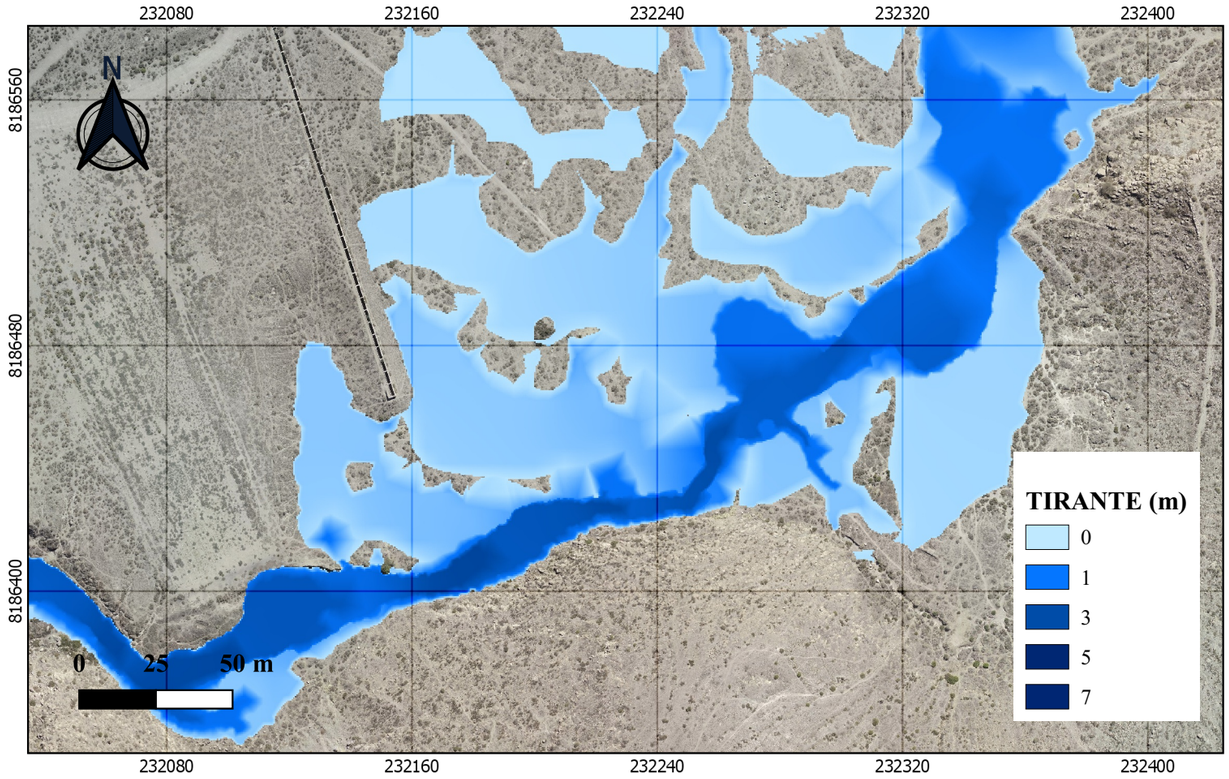
TESIS: "ANÁLISIS DE RIESGO FRENTE A MÁXIMAS AVENIDAS CON EL USO DEL PRODUCTO GRILLADO PISCO PD EN LAS QUEBRADAS POLANCO, SAN LÁZARO, MIRAFLORES Y MARIANO MELGAR EN LA PROVINCIA DE AREQUIPA"

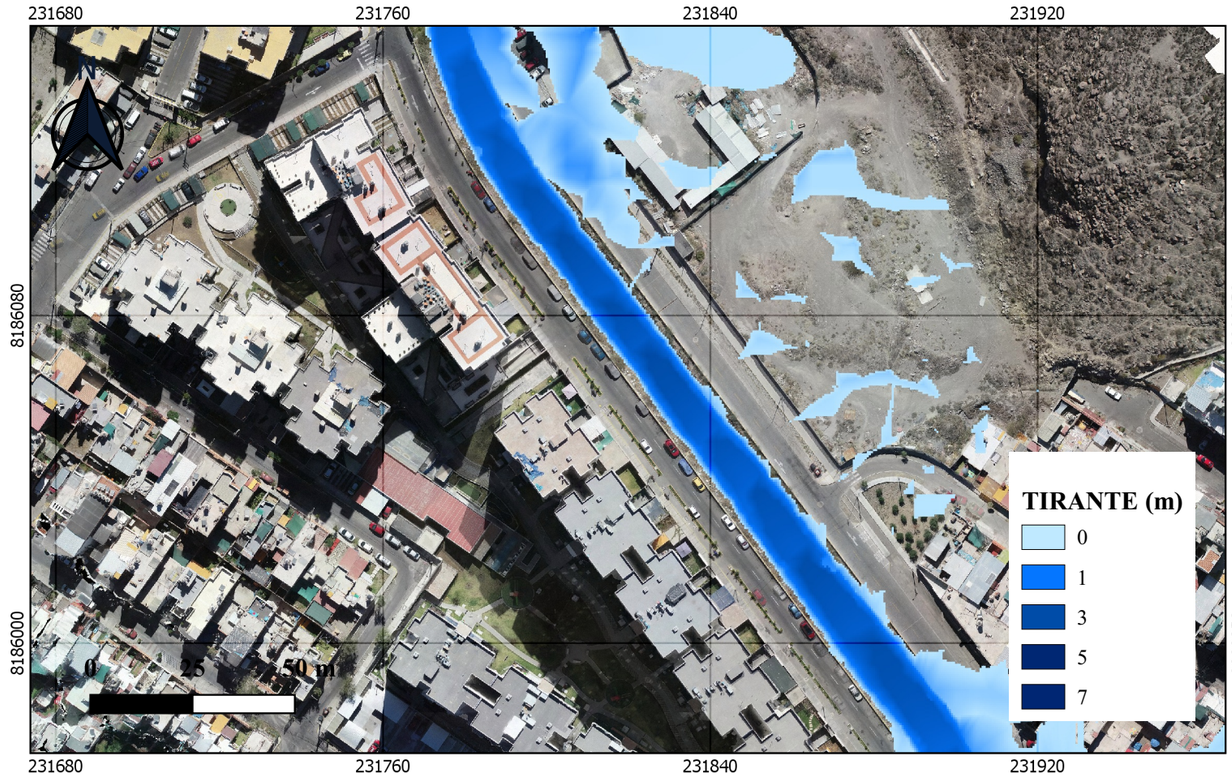
BACHILLERES:
- RAMOS FERNÁNDEZ, CHRISTEL MELISSA
- SALDIVAR CONDORI, GRECIA ALEJANDRA

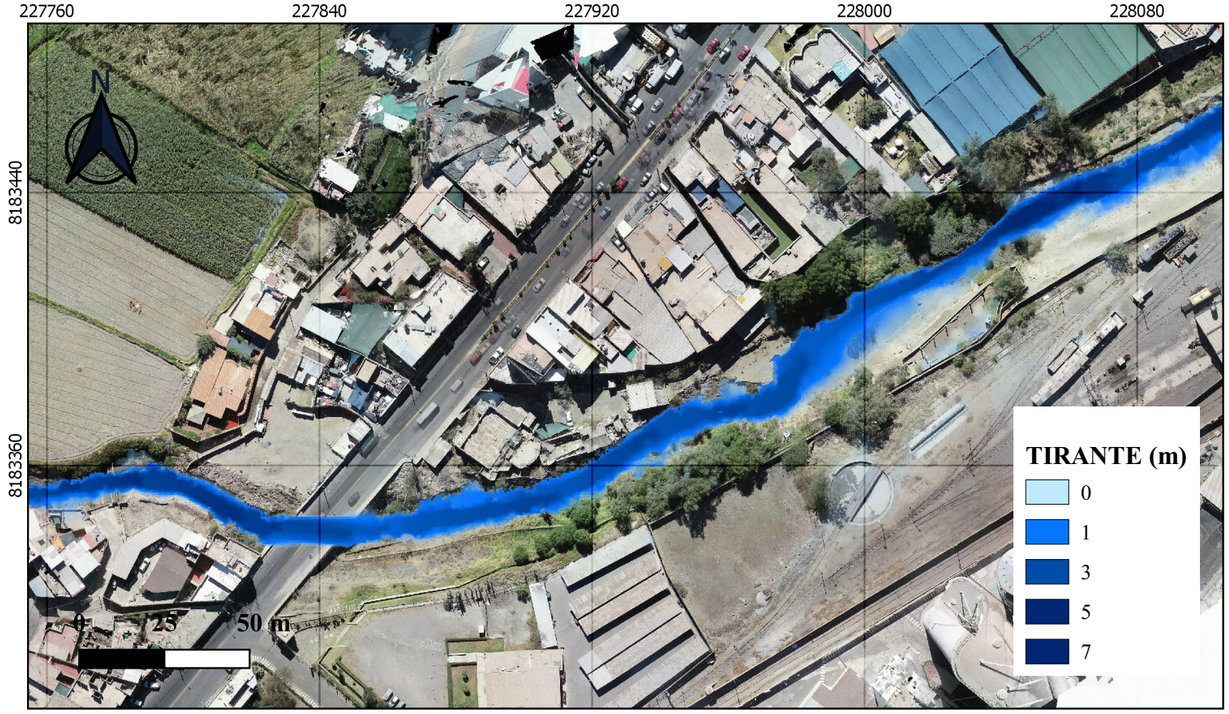
PLANO:
ZONAS INUNDABLES QUEBRADA SAN LAZARO

REGION: AREQUIPA
PROVINCIA: AREQUIPA
DISTRITO: VARIOS

ESCALA: 1:1800
FECHA: MARZO 2022
DATUM: WGS-84
ZONA: 19 SUR
LAMINA: 23







**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA**
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**
**FACULTAD DE ARQUITECTURA, INGENIERIA CIVIL Y DEL AMBIENTE**

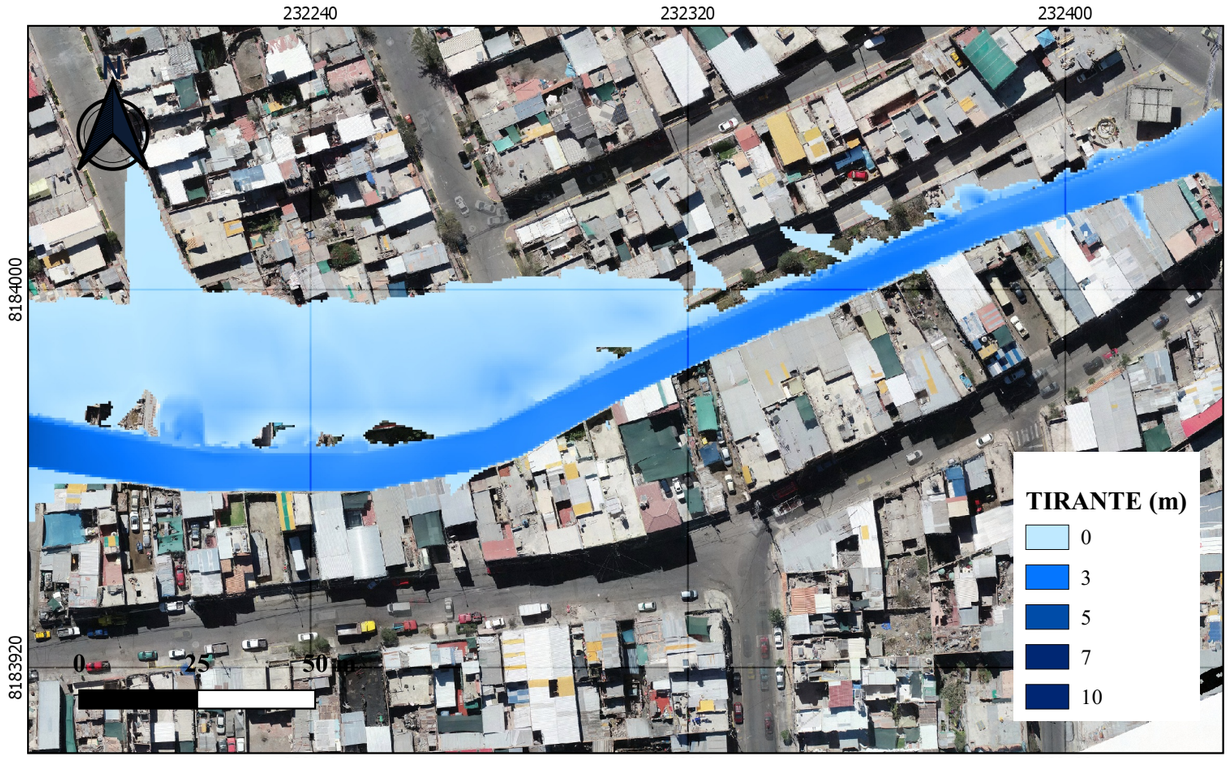
TESIS: "ANÁLISIS DE RIESGO FRENTE A MÁXIMAS AVENIDAS CON EL USO DEL PRODUCTO GRILLADO PISCO PD EN LAS QUEBRADAS POLANCO, SAN LÁZARO, MIRAFLORES Y MARIANO MELGAR EN LA PROVINCIA DE AREQUIPA"

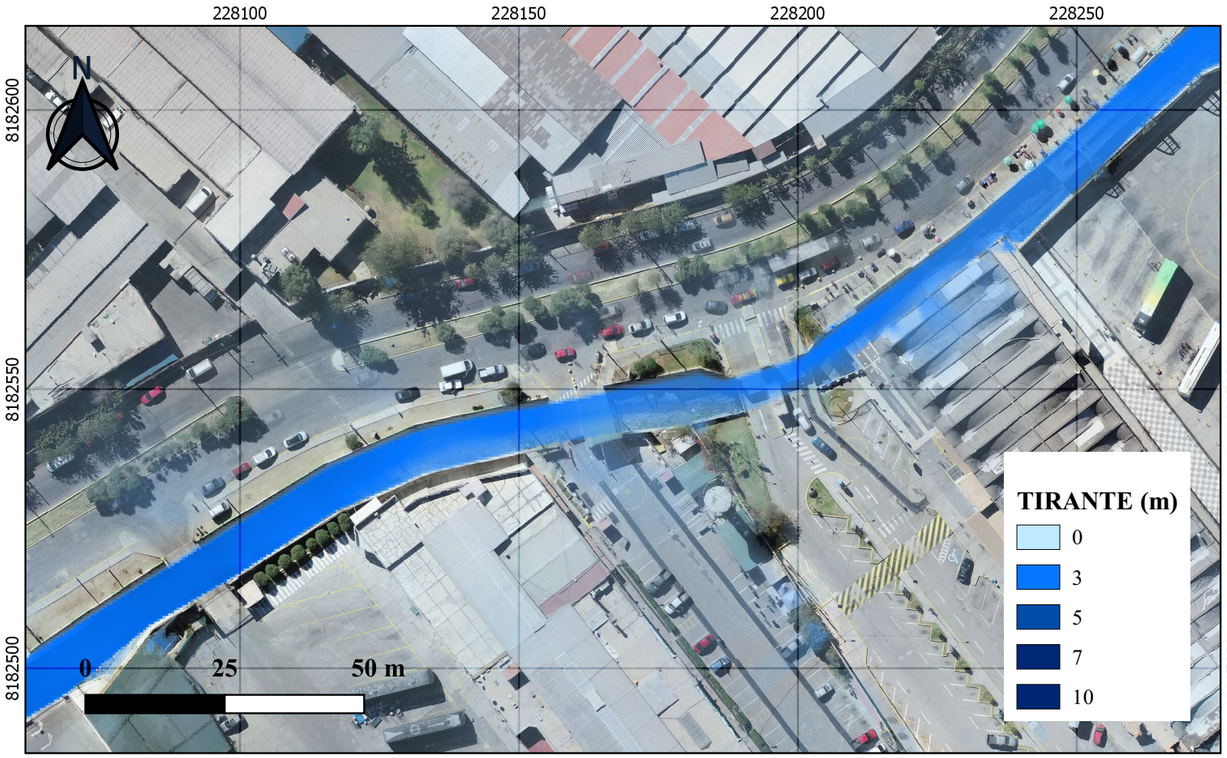
BACHILLERES:
- RAMOS FERNÁNDEZ, CHRISTEL MELISSA
- SALDIVAR CONDORI, GRECIA ALEJANDRA

PLANO:
ZONAS INUNDABLES QUEBRADA VENEZUELA

REGION: AREQUIPA
PROVINCIA: AREQUIPA
DISTRITO: VARIOS

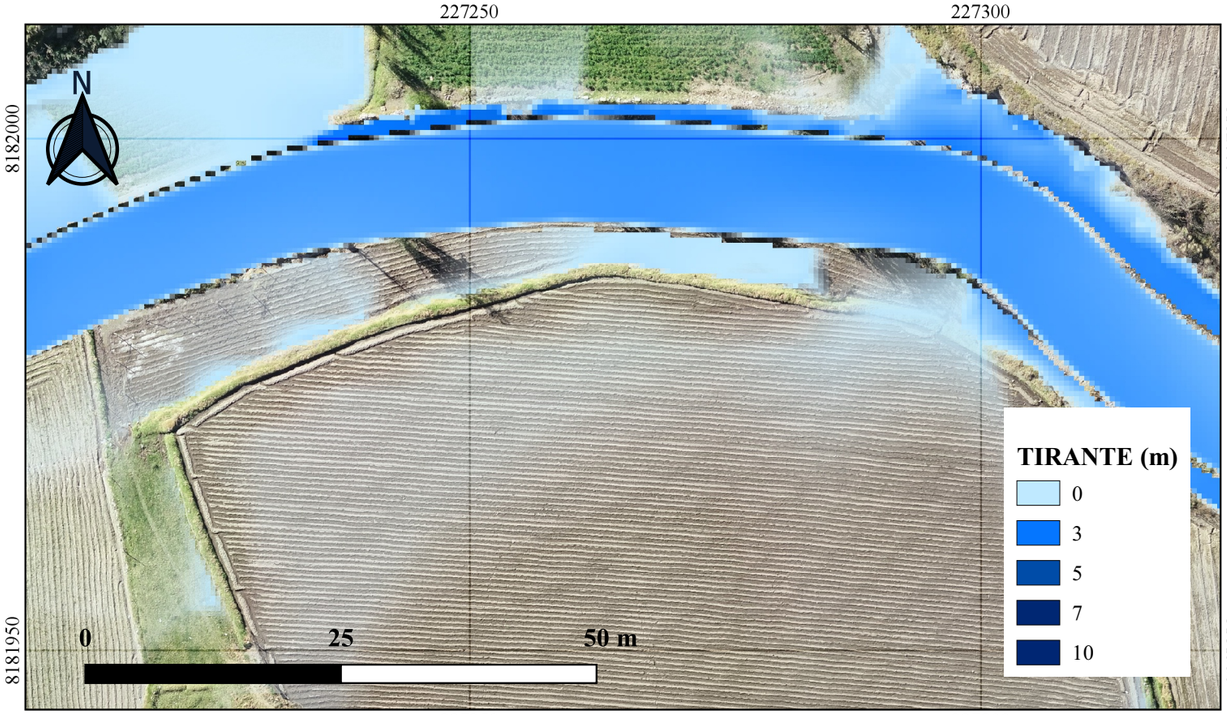
ESCALA: 1:1800
FECHA: MARZO 2022
DATUM: WGS-84
ZONA: 19 SUR
LAMINA: 24










**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA**
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**
**FACULTAD DE ARQUITECTURA, INGENIERIA CIVIL Y DEL AMBIENTE**

TESIS: “ANÁLISIS DE RIESGO FRENTE A MÁXIMAS AVENIDAS CON EL USO DEL PRODUCTO GRILLADO PISCO PD EN LAS QUEBRADAS POLANCO, SAN LÁZARO, MIRAFLORES Y MARIANO MELGAR EN LA PROVINCIA DE AREQUIPA”

BACHILLERES:
- RAMOS FERNÁNDEZ, CHRISTEL MELISSA
- SALDIVAR CONDORI, GRECIA ALEJANDRA

PLANO:
ZONAS INUNDABLES QUEBRADA LOS INCAS

REGION: AREQUIPA
PROVINCIA: AREQUIPA
DISTRITO: VARIOS

ESCALA: 1:1300
FECHA: MARZO 2022
DATUM: WGS-84
ZONA: 19 SUR
LAMINA: 25