

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA HIDRÁULICA



**“ZONIFICACIÓN DE ÁREAS INUNDABLES DEL CASERÍO EL MOLINO -
HUAMBOCANCHA BAJA OCASIONADO POR AVENIDAS
EXTRAORDINARIAS DEL RIO MASHCÓN - CAJAMARCA”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO HIDRÁULICO**

PRESENTADO POR EL BACHILLER:

HENRY CÉSAR NIZAMA VÁSQUEZ

ASESOR:

Dr. Ing. JOSÉ FRANCISCO HUAMAN VIDAURRE

CAJAMARCA - PERÚ

2018

AGRADECIMIENTO

Deseo utilizar este espacio para agradecer en primer lugar a Dios, entidad suprema que ha guiado correctamente mi camino, a mis padres Julia y César quienes me han cuidado y guiado siempre, a mis hermanos Harol y Milagros quienes me apoyan incondicionalmente a lo largo de mi vida y me dan su más sincero amor, a mi hija Helen Camila, quien es ese mañana en mi futuro y que con su sonrisa me brinda el empuje para continuar creciendo.

Quisiera agradecer también de manera especial al Dr. Ing. José Francisco Huamán Vidaurre, por sus valiosas aportaciones; por su profesionalismo, calidad humana, humildad al servicio de la investigación y por su amistad.

Agradezco también a los profesionales miembros del Departamento de Recursos Hídricos de la facultad de ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca, gracias al ing. Hans Sánchez, quien, con sus sabias enseñanzas, su vasto conocimiento y trato afable contribuyeron en la culminación satisfactoria de esta tesis. Un agradecimiento a todos los docentes que me encaminaron durante la carrera, de manera especial a los Ingenieros: Gaspar Méndez, Luis Vasquez, que me ayudaron a pulir este trabajo de investigación con sus sabios aportes y observaciones.

Gracias a mis compañeros y amigos, Juan Carlos Condorluycho, Iván Chugnas, Félix Paredes, Michel Cueva y otros que con sus aportes y conocimientos se pudo completar esta investigación.

Gracias a todos....

DEDICATORIA

A mi madre: Julia Celina Vásquez Medina

A mi padre: César Andrés Nizama Armas

A mis hermanos: Harol y Milagros

A mi Hija: Helen Camila

A mi abuela: Carmen Medina

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
RESUMEN.....	x
ABSTRACT.....	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. CONTEXTO.....	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.4. ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN.	2
1.5. OBJETIVOS.....	3
II. MARCO TEÓRICO	4
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
2.2. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.	6
2.3. BASES TEÓRICAS.....	8
a) Hidrología	8
b) El Ciclo Hidrológico.....	8
c) Cuenca Hidrográfica	10
d) Parámetros Geomorfológicos en Cuencas.....	11
e) Precipitación.....	15
f) Distribuciones de Probabilidad en la Hidrología.....	18
g) Pruebas de Ajuste	19
h) Caudales Máximos.....	20
i) Relación Tiempo de Retorno (T_r), Probabilidad de falla (J ó R) y Periodo de Años de Protección de estructuras hidráulicas (N).....	27
j) Lineamientos de la Hidráulica Fluvial en Inundaciones:.....	29
k) Modelación Hidráulica.....	32

l)	Tipos de Régimen.....	35
m)	Ecuación de Manning	37
n)	Modelo Iber.....	39
o)	Sistemas de Información Geográfica	43
p)	Inundación	44
q)	Gestión de Riesgos de desastres	45
r)	Aplicación de lo SIG al análisis de riesgos de Inundaciones	46
s)	Zonificación de la Amenaza.....	47
t)	Clasificación de la Amenaza por Inundación.	48
	III. METODOLOGIA	49
3.1.	Ubicación geográfica de la zona de estudio	49
3.2.	Situación actual de la zona de estudio.....	51
	MATERIALES.....	52
a)	Información cartográfica y topográfica	52
b)	Equipos y softwares.....	53
3.3.	PROCEDIMIENTO.....	54
a)	Caracterización de la Cuenca de estudio	54
b)	Hidrología de la Cuenca	60
c)	Intensidades máximas de precipitación para diversos tiempos de retorno “Tr” asociados a los parametros de vida útil de una estructura “N” y riesgo de falla “J”	62
d)	Ecuaciones de Intensidades para los parámetros de N=5,10, 25, 50; 100 años y J=22% asociadas al Tc.....	64
e)	Cálculo de Coeficiente de Escorrentía.....	65
f)	Cálculo de Caudales Máximos en función del riesgo de falla, vida útil y tiempo de retorno.	65
g)	Resumen de caudales a modelar	71
h)	Topografía de la Zona de Estudio.....	71

i) Características del tramo de río en estudio	72
j) Modelamiento Hidráulico	72
k) Zonificación por Áreas de Inundación.....	84
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	86
4.1. Caracterización de la microcuenca del río Mashcón con descarga en el puente Chinchimachay y uso del método racional.	86
4.2. Modelamiento Hidráulico en Iber V2.4.3 de la zona de Estudio.....	87
4.4. Identificación y clasificación de las Áreas inundables más peligrosas en el Caserío el Molino Huambocancha Baja – Cajamarca ocasionadas por el Río Mashcón.....	90
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	103
5.1. CONCLUSIONES	103
5.2. RECOMENDACIONES.....	104
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	105
ANEXOS.....	107
ANEXO 1. PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS DE LA MICROCUENCA DEL RÍO MASHCÓN.....	107
ANEXO 2. CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA.....	111
ANEXO 3. TOPOGRAFÍA DE LA ZONA DE ESTUDIO – CASERÍO EL MOLINO – HUAMBOCANCHA BAJA – CAJAMARCA.....	114
ANEXO 4. CURVAS IDF PARA LOS ESCENARIOS ESTUDIADOS.....	117
ANEXO 5. PLANOS	119

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Tabla de Intensidades de la Estación meteorológica Weberbauer	16
Tabla N° 2: Tabla de Intensidades vs periodo de duración.	23
Tabla N° 3: Tabla de Coeficientes de escorrentía según Máximo Villón Béjar	26
Tabla N° 4: Tabla de Coeficientes de escorrentía según Manual de Hidráulica y Drenaje del MTC 2011	26
Tabla N° 5: Relación de Riesgo admisible, vida útil y tiempo de retorno.	28
Tabla N° 6. Tabla de Valores de Rugosidad “n”	37
Tabla N° 7: Niveles de intensidad de Peligro	48
Tabla N° 8: Tabla de intensidades transpuestas a la cuenca de estudio	60
Tabla N° 9: Tabla de parámetros para Modelo estadístico Gumbel	61
Tabla N° 10: Tabla de Prueba de Bondad de ajuste de Smirnov- Kolmogorov	62
Tabla N° 11: Tabla de Intensidades máximas asociada a Tr, N y J	62
Tabla N° 12: Ecuaciones de Intensidades en función de Tr, N y J.....	65
Tabla N° 13: Caudales máximos en función del Tr,N y J	66
Tabla N° 14: Resumen de Caudales	71
Tabla N° 15: Cuantificación de Áreas Inundables asociadas a la Peligrosidad y Tiempo de Retorno (Tr) por eventos de máximas avenidas en el Caserío El Molino – Huambocancha Baja- Cajamarca	102
Tabla N° 16. Parámetros de forma de la Microcuenca del río Mashcón	107
Tabla N° 17. Parámetros de relieve de la Microcuenca del río Mashcón	107
Tabla N° 18. Parámetros de relieve de la Microcuenca del río Mashcón	108
Tabla N° 19. Parámetros de relieve de la Microcuenca del río Mashcón	110
Tabla N° 20. Cálculo del coeficiente de escorrentía	111

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1 Ciclo Hidrológico (a)	9
Figura N° 2 Ciclo Hidrológico (b)	9
Figura N° 3 Cuenca Hidrográfica.....	10
Figura N° 4. Delimitación de Cuencas.....	12
Figura N° 5.Análisis de la Curva Hipsométrica.....	12
Figura N° 6- Diferentes números de Orden de las Cuencas	14
Figura N° 7. Distribuciones de Probabilidad para eventos Máximos según Chow	19
Figura N° 8. Relación entre el tiempo de Retorno, duración e intensidades máximas.....	24
Figura N° 9. Curvas de Intensidad – Duración – Periodos de retorno.....	25
Figura N° 10. Cauce Trenzado.....	30
Figura N° 11. Cauce Sinuoso	30
Figura N° 12. Meandros	30
Figura N° 13. Trenzado y Sinuoso a la vez	31
Figura N° 14. Relación caudal, profundidad y ancho de río.	31
Figura N° 15. Caudal Dominante.....	31
Figura N° 16. Llanuras de inundación	32
Figura N° 17. Modelo Hidráulico.....	33
Figura N° 18. Modelo Hidráulico Hec-Ras.....	34
Figura N° 19. Malla no estructurada con elementos triangulares.....	41
Figura N° 20. Ecuaciones de Saint Venant	42
Figura N° 21. Modelo Iber	42
Figura N° 22. Mapa de Riesgos usando SIG	47
Figura N° 23. Mapa de Zonificación por Inundación.....	47
Figura N° 24. Ubicación de Zona de Estudio	49
Figura N° 25. Ubicación de Cajamarca con respecto al Perú.	50
Figura N° 26. Ubicación de Cajamarca con respecto al departamento	50
Figura N° 27. Vista del puente Chinchimachay	51
Figura N° 28. Tramo del Río Mashcón	51
Figura N° 29. Zona en expansión urbana.....	52
Figura N° 30. DEM de la Zona de estudio	54

Figura N° 31. Uso de la herramienta Fill	55
Figura N° 32. Uso de la herramienta Flow Direction	56
Figura N° 33. Uso de la herramienta Flow	56
Figura N° 34. Red de drenaje.....	57
Figura N° 35. Delimitación de la Cuenca.....	58
Figura N° 36. Inicio del Levantamiento en el punto de descarga	71
Figura N° 37. Modelo digital del área levantada en Global Mapper.	72
Figura N° 38. Creación de la Geometría del Modelo.....	73
Figura N° 39. Creación de la Geometría del Modelo.....	73
Figura N° 40. Importando la Geometría del Modelo	74
Figura N° 41. Creación de superficies del Modelo	74
Figura N° 42. Generar la malla en el Modelo	75
Figura N° 43. Número de malla en el Modelo	75
Figura N° 44. Creación de la Malla en el modelo	76
Figura N° 45. Asignación de elevación al modelo	76
Figura N° 46. Asignación de elevación del modelo a través de DEM.....	77
Figura N° 47. Visualización del modelo con elevación asignada.....	77
Figura N° 48. Creación de Rugosidades	79
Figura N° 49. Asignación de rugosidades al modelo.....	79
Figura N° 50. Visualización de rugosidades asignadas.....	80
Figura N° 51. Condiciones de entrada en el cauce	80
Figura N° 52. Condiciones de salida en el cauce	81
Figura N° 53. Condiciones de salida en las calles.....	81
Figura N° 54. Dibujar condiciones de contorno del modelo.....	82
Figura N° 55. Tiempo de simulación del modelo	82
Figura N° 56. Calculando del modelo.....	83
Figura N° 57. Ventana de cálculo del modelo	83
Figura N° 58. Visualización de Resultados del calado en el modelo.....	84
Figura N° 59. Clasificación de áreas inundables en Arcgis 10.4	85
Figura N° 60. Clasificación de áreas inundables acorde con INDECI.....	85
Figura N° 61. Perfil para un Q _{máx} de 259.51 m ³ /s.....	88
Figura N° 62. Perfil para un Q _{máx} de 289.51 m ³ /s.....	88
Figura N° 63. Perfil para un Q _{máx} de 327.02 m ³ /s.....	89
Figura N° 64. Perfil para un Q _{máx} de 356.22 m ³ /s.....	89

Figura N° 65. Perfil para un Q _{máx} de 383.40 m ³ /s.....	89
Figura N° 66. Identificación de zonas inundables asociadas a la intensidad de peligro según el INDECI en Arcgis 10.4	90
Figura N° 67. Clasificación de resultados para Tr= 20.63, N= 5años, J= 22% y Q = 259.51 m ³ /s	91
Figura N° 68. Clasificación de resultados para Tr= 40.75 años, N= 10 años, J = 22% y Q= 289.51 m ³ /s.....	92
Figura N° 69. Clasificación de resultados para Tr= 101.12 años, N= 25 años, J = 22% y Q= 327.02 m ³ /s.....	93
Figura N° 70. Clasificación de resultados para Tr= 201.74 años, N= 50 años, J = 22% y Q= 356.22 m ³ /s.....	94
Figura N° 71. Clasificación de resultados para Tr= 402.98 años, N= 100 años, J = 22% y Q= 383.40 m ³ /s:.....	95
Figura N° 72 . Calados en el ingreso al Jr. 24 de Setiembre.....	96
Figura N° 73. Calados en el ingreso al Jr. Las Llamelas.....	97
Figura N° 74. Calados en el ingreso al Jr. Los Rosales	98
Figura N° 75. Calados en el ingreso al Jr. Violeta Tejada.....	99
Figura N° 76. Calados en el ingreso al Jr. Violeta Tejada.....	100
Figura N° 77. Calados en el ingreso al Jr. Miraflores	101
Figura N° 78. Curva Hipsométrica de la Microuenca del río Mashcón	109
Figura N° 79. Polígono de Frecuencia de altitudes de la Microuenca del río Mashcón.....	109
Figura N° 80 . Puente Chinchimachay en el cauce del río.	114
Figura N° 81. Estado del cauce del río Mashcón	114
Figura N° 82. Programación del vuelo.....	115
Figura N° 83. Inicio del levantamiento topográfico con el Drone.....	115
Figura N° 84. Cauce del río Mashcón aguas abajo.	116
Figura N° 85. Levantamiento topográfico formato jpg.	116
Figura N° 86. Levantamiento topográfico tiff (DEM).	116
Figura N° 87. Curva IDF para TR=20.63 años, J=22% y N=5 años	117
Figura N° 88. Curva IDF para TR=40.75 años, J=22% y N=10 años	117
Figura N° 89. Curva IDF para TR=101.12 años, J=22% y N=25 años	118
Figura N° 90. Curva IDF para TR=201.74 años, J=22% y N=50 años	118
Figura N° 91. Curva IDF para TR=402.98 años, J=22% y N=100 años	119

RESUMEN

Esta investigación tiene como objetivo principal identificar y zonificar las áreas inundables del caserío el Molino -CP Huambocancha Baja- Cajamarca para ello, se estudió la incidencia de las intensidades máximas anuales en la generación de caudales máximos, para la microcuenca del río Mashcón tomando como punto de descarga el Puente Chinchimachay - C.P. Huambocancha Baja- Cajamarca, con la finalidad de identificar las zonas vulnerables frente a inundaciones en el Caserío el Molino- Huambocancha Baja- Cajamarca. Se analizó y pronosticó la información de lluvia mediante herramientas estadísticas para distintos periodos de retorno "T" (20.63; 40.75;101.12;201.74 y 402.98 años) asociados a la vida útil "N" de 5;10;25;50;100 años y riesgo de falla "J" del 22% de alguna estructura de protección frente a inundaciones. Esta información pluviométrica obtenida de la estación meteorológica Weberbauer – Cajamarca; fue procesada de modo que se obtuvieron curvas IDF al transponer las intensidades a la microcuenca en estudio y así con dicha información mediante el Método Racional se obtuvieron los caudales máximos. Con la información de caudales se realizó la simulación de la escorrentía superficial para Caserío El Molino- C.P. Huambocancha Baja- Cajamarca, mediante la aplicación del Modelo Hidráulico Iber V2.4.3. Es así que finalmente con la ayuda de los sistemas de información geográfica (SIG), procesado en software ArcGis 10.4, se logró zonificar las áreas inundables en Caserío el Molino- Huambocancha Baja- Cajamarca, obteniendo así que la zona en estudio presenta de alto a muy alto índice de peligrosidad frente a una avenida máxima del río Mashcón.

Palabras clave: Modelo Hidráulico, Periodo de Retorno, Vida útil, Riesgo de Falla, Método Racional, Precipitación- escorrentía, Caudal Máximo, SIG, Área inundable

ABSTRACT

The main objective of this research is to identify and zone the floodplains of the El Molino -CP Huambocancha Baja- Cajamarca hamlet, for this purpose, the incidence of the maximum annual intensities in the generation of maximum flows was studied, for the microbasin of the Mashcón river taking as point of download Chinchimachay Bridge - CP Huambocancha Baja- Cajamarca, with the purpose of identifying the vulnerable zones against flooding in the El Molino-Huambocancha Baja-Cajamarca Caserío. Rain information was analyzed and predicted using statistical tools for different periods of return "T" (20.63, 40.75, 101.12, 201.74 and 402.98 years) associated with the useful life "N" of 5, 10, 25, 50, 100 years and risk of failure "J" of 22% of some protection structure against floods. This pluviometric information obtained from the meteorological station Weberbauer - Cajamarca; It was processed in such a way that IDF curves were obtained when transposing the intensities to the microbasin under study and thus with this information by means of the Rational Method the maximum flow rates were obtained. With the flow information, the simulation of surface runoff for Caserío El Molino- C.P. Huambocancha Baja- Cajamarca, through the application of the Hydraulic Model Iber V2.4.3. Thus, with the help of geographic information systems (GIS), processed in ArcGis 10.4 software, the flood areas in Caserío el Molino- Huambocancha Baja- Cajamarca were zoned, thus obtaining that the study area presents a high Very high hazard index in front of a maximum avenue of the Mashcón river.

Keywords: Hydraulic model, return period, useful life, risk of failure, Rational Method, Precipitation- Runoff, Maximum Flow, GIS, Flooding Area.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. CONTEXTO

El impacto fuertemente negativo de las lluvias extraordinarias sobre la vida, la salud, el bienestar y la economía de la población es innegable. El conocimiento científico de las circunstancias vinculadas a estas enormes anomalías climáticas es muy importante. El pronóstico hidrológico de las descargas es sólo un aspecto del problema, a la ingeniería le interesa conocer la probabilidad de ocurrencia de eventos de determinada magnitud para su consideración en la planificación, diseño, construcción, operación y mantenimiento de las obras de ingeniería y para la ocupación territorial (Rocha, 2007).

En la región Cajamarca los ríos el Mashcón y el Chonta discurren atravesando zonas urbanas y asentamientos humanos en zonas rurales tal como el caserío el Molino, perteneciente al Centro Poblado de Huambocancha Baja ubicado cerca de la ribera del Río Mashcón, entre las altitudes de 2730 a 2820 m.s.n.m. aproximadamente y una longitud de tramo de cauce de 1 a 1.5 km, habiéndose observado entre los años 2012-2013 incremento del nivel de agua en el cauce del río y desborde en margen izquierda ocasionando daños materiales y personales a los pobladores del Caserío El Molino. No se dispone de registros históricos del nivel de agua en el río en dicha zona, por lo cual se presume que pueda ocurrir eventos mayores y podrían generar mayores pérdidas por eventos de inundación; además no se han realizado estudios que permitan zonificar áreas inundables en el tramo observado. Se conoce actualmente la bondad del modelamiento hidráulico- hidrológico utilizando como variables de entrada la precipitación e información climática, así como la información geográfica que como resultados se pueden obtener caudales de máximas avenidas y estimar e identificar las áreas inundables aledañas al río en estudio. Mediante este trabajo de investigación se pretende identificar y zonificar las áreas inundables para diferentes periodos de retorno de máximas avenidas del tramo Río Mashcón – Caserío el Molino - Huambocancha Baja - Cajamarca, cuyos resultados pueden ser utilizados en la gestión de riesgos y desastres en el caserío El Molino.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

¿Cuál es el área inundable ocasionada por el río Mashcón tramo Caserío el Molino- Huambocancha Baja – Cajamarca para diferentes tiempos de retorno de máximas avenidas?

1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación se justifica en que esta información complementa la gestión de riesgos frente a inundaciones en zonas de expansión urbana, como el Caserío “El Molino” por el Río Mashcón- Huambocancha Baja - Cajamarca evitando así que las pérdidas socio-económicas y personales que pueden darse sean controladas. Como resultado indirecto de esta investigación se espera que las autoridades controlen los daños a través de proyectos de ingeniería como defensas ribereñas u otros.

1.4. ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN.

La presente investigación tiene por finalidad la delimitación del área inundable ocasionada por el Río Mashcón en el tramo Caserío “El Molino” – Huambocancha Baja – Cajamarca para diferentes periodos de retorno.

Para el estudio hidrológico se utilizó información de lluvias de la estación hidrometeorológica Weberbauer-Cajamarca, los parámetros geomorfológicos de la microcuenca Mashcón tomando como punto de descarga del puente Chinchimachay y el método racional.

El estudio Hidráulico se realizó a través de la herramienta software Iber V2.4. que se alimenta de parámetros topográficos e hidrológicos cuyo resultado se realizó en la herramienta Arcgis 10.4 para generar los mapas de zonificación de áreas inundables.

Todos los estudios fueron realizados bajo antecedentes de inundación en la zona de estudio en año 2013.

1.5.OBJETIVOS

GENERAL

- Zonificar el área inundable ocasionada por el río Mashcón Tramo Caserío el Molino- Huambocancha Baja – Cajamarca para diferentes tiempos de retorno de máximas avenidas.

ESPECÍFICOS

- Caracterizar la cuenca del río Mashcón tomando como punto de descarga el puente Chinchimachay, ubicado a la altitud 2750 m.s.n.m.
- Modelar hidrológicamente la cuenca Mashcón tomando como punto de descarga el puente Chinchimachay, para diferentes periodos de retorno y hallar el $Q_{máx}$ mediante el Método Racional.
- Delimitar el área inundable ocasionada por el Rio Mashcón en el tramo Caserío “El Molino” – Huambocancha Baja – Cajamarca utilizando como herramienta el modelo hidráulico IBER, para diferentes periodos de retorno.
- Zonificar por riesgo de inundación el área inundable en el Tramo Caserío “El Molino” – Huambocancha Baja – Cajamarca.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN.

Morris Grainger, Hubert en el 2006 en costa rica. “Modelación Hidráulica e Hidrológica del río Guápiles para determinar la vulnerabilidad a inundaciones en un tramo comprendido entre los poblados Guápiles y la Rita”. Esta investigación tuvo como objetivo realizar simulaciones hidráulicas e hidrológicas mediante la herramienta Hec-Ras y Hec-Hms que permitan determinar la vulnerabilidad a inundaciones del Río Guápiles en un tramo comprendido entre los poblados Guápiles y La Rita. Según las características hidrológicas estimadas para la condición proyectada, fue posible obtener los caudales pico para periodos de retorno de 25,34 y 50 años respectivamente. La condición más desfavorable corresponde a 50 años cuyo caudal resulto 48.11 m³/s, generando así el desbordamiento del río y ocasionando daños a casas habitación

Frisancho Camero, Félix I. en 2015 Tacna, Perú. “Análisis de vulnerabilidad mediante modelamiento hidrodinámico del cauce del río Seco del cono sur de la ciudad de Tacna”. En esta investigación se consideró la magnitud de la avenida para un periodo de retorno de 100 años es de 117 m³/s, caudal que determina los límites de la faja Marginal del río. El comportamiento hidrológico medio del río Seco y sus afluentes es característico del régimen de los ríos de la Costa Sur, que tienen su origen en áreas montañosas o de cordillera, en este caso se refiere a la cordillera del Barroso. Se calculó la ocurrencia de un evento extremo para $T_r = 100$ años de magnitud 117,00 m³/s, lo que nos permite presagiar procesos de inundación y desborde en la zona urbana de la ciudad de Tacna.

Tarazona Roldán, Hugo Guido en 2016 Lima, Perú. “modelamiento hidrológico de la cuenca del río Ica con fines de prevención de inundaciones en la ciudad de Ica”. En la presente investigación se ha estudiado la incidencia de las precipitaciones máximas anuales en 24 horas en la generación de caudales máximos, para la cuenca del río Ica, con la finalidad de identificar las zonas vulnerables a inundaciones en el valle del río Ica. Se analizó y pronosticó la información pluviométrica, mediante herramientas estadísticas para distintos periodos de retorno (10, 25, 50, 100 años). Esta información pluviométrica

obtenida fue procesada de modo que se obtuvieron precipitaciones instantáneas para una tormenta de seis horas. Luego con dicha información se aplicó un modelo hidrológico, y mediante un proceso sistematizado de precipitación-escorrentía se obtuvieron los caudales máximos. Con estos caudales se realizó la simulación de la escorrentía superficial para el valle del río Ica mediante la aplicación de un modelo hidráulico para los periodos de retorno mencionados. De esta manera, con la ayuda de sistemas de información geográfica (SIG), información hidrográfica y topográfica, se determinaron las zonas vulnerables a inundaciones en el valle del río Ica.

Yépez Silva Jesús Cristian en 2016 Cajamarca, Perú: “Comportamiento de las máximas avenidas y las posibles áreas de inundación producidas en la quebrada Cruz Blanca para la zona urbana del distrito de Cajamarca, 2016” En esta investigación se llegó a las siguientes conclusiones:

- Se determinó, que al incrementar las máximas avenidas en la quebrada Cruz Blanca, las áreas de inundación se incrementan. Adicionalmente, con la obtención de resultados, se determinó que la función que mejor se adapta a dichos resultados, es una función polinómica con un r^2 de 0.9775, de lo que concluimos que la hipótesis no se cumple.
- Se inspeccionó, delimitó y se calculó los parámetros hidrológicos de la quebrada Cruz Blanca, para encontrar las máximas avenidas y posibles áreas de inundación, en donde se encontró, que el caudal máximo más alto es 82.90 m³/seg, para un tiempo de retorno de 200 años, mientras que el caudal máximo más pequeño es de 42.97 m³/seg, siendo este, para un periodo de retorno de 5 años.
- Se determinó y cuantificaron las posibles áreas de inundación de la quebrada Cruz Blanca, para diferentes tiempos de retorno, donde se concluye, que los mapas, son los verdaderos mapas de riesgo, ya que muestran las inundaciones y los posibles impactos que pueden causar en zonas aledañas a la quebrada, tanto para personas, bienes y actividades que se desarrollen en dichas zonas. Adicionalmente se determinaron los tirantes máximos, como también las velocidades máximas, para las

diferentes secciones transversales en diferentes tiempos de retorno de la quebrada Cruz Blanca, siendo la velocidad máxima más alta 10.43 m/seg, para un tiempo de retorno de 200 años y la velocidad máxima más pequeña de 8.40 m/seg, para un periodo de 5 años.

- Se elaboraron los mapas de inundación para los diferentes sectores en estudio, de los cuales se encontró que los sectores más afectados son el sector 23 (Urbanización Los Eucaliptos) y el Lote 2010, para los diferentes tiempos de retorno de 5, 10, 15, 20, 25, 50, 100, 150 y 200 años, producidos en la quebrada Cruz Blanca, para la zona urbana del distrito de Cajamarca, siendo la máxima área de inundación de 104, 128.44 m², para un tiempo de retorno de 200 años, mientras que la menor es de 53, 256.69 m², para un tiempo de retorno de 5 años. Por otro lado, se identificó las medidas de precaución que podrían realizarse en los tramos posiblemente que se verían afectados, en este caso como se explicó en el acápite anterior, se debe realizar el encausamiento de la quebrada; al igual que el ensanchamiento de la quebrada en las secciones más críticas o pequeñas.

2.2. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.

- **Máxima Avenida o Caudal máximo:** Cantidad máxima de agua, que pasa por un punto específico, en un sistema hidráulico en un momento o período dado (MTC, 2011).
- **Precipitación:** Es cualquier tipo de fenómeno meteorológico, donde cae de la atmósfera hacia la superficie terrestre. Este fenómeno, incluye la lluvia, llovizna, nieve, aguanieve, granizo, etc. Pero no la virga, neblina, ni el rocío, que son formas de condensación y no de precipitación (Villón Béjar, 2002)
- **Escorrentía:** Se llama así, a la corriente de agua, que se vierte al rebasar su depósito o cauce natural o artificial. En hidrología, hace referencia a la lámina de agua que circula sobre la superficie en una cuenca de drenaje, es decir,

la altura en milímetros de agua de lluvia escurrida y extendida (Villón Béjar, 2002).

- **Tiempo de concentración:** Es el tiempo requerido por una gota para recorrer desde el punto hidráulicamente más lejano hasta la salida de la cuenca. Transcurrido el tiempo de concentración se considera que toda la cuenca contribuye a la salida (MTC, 2011).
- **Periodo de retorno:** Es el tiempo promedio, en años, en que el valor del caudal pico o precipitación, es igualado o superado una vez cada “t” años (MTC, 2011).
- **Parámetro:** Es un elemento descriptivo de una variable o una característica numérica de la misma (media, mediana, varianza, rango, etc.) (MTC, 2011).
- **Intensidad:** Es la tasa temporal de precipitación, es la profundidad por unidad de tiempo (mm/h) (MTC, 2011).
- **Curva intensidad–duración–frecuencia:** Es un elemento de diseño que relaciona la intensidad de la lluvia, la duración de la misma y la frecuencia con la que se puede presentar, es decir su probabilidad de ocurrencia o el periodo de retorno (MTC, 2011).
- **Calado:** El calado puede considerarse, como la altura que alcanza la superficie del agua sobre el fondo (Real Academia Española, Asociación de Academias de Lengua española, 2014).
- **Mapa de inundación:** Mapa que determina la ocurrencia o no de un suceso en un punto del territorio a partir de la aplicación de diferentes metodologías ampliamente utilizadas y complementarias como son la histórica, la geomorfológica y la hidrológico-hidráulica con la ayuda de un SIG. (Rivera, 2003)

- **Peligrosidad de Inundacion:** Se refiere al cálculo de la zona inundable para los escenarios que contemplen inundaciones con periodos de retorno de 10, 100 y 500 años, asociados a una índice probabilidad. (Guía Metodológica para el desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables, Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, España 2011)
- **Zonificación de Área Inundable:** Zona que delimita la superficie vulnerable al presentarse un evento de máxima avenida en un tiempo de retorno determinado. (Guía Metodológica para el desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables, Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, España 2011)

2.3. BASES TEÓRICAS

a) Hidrología

Es la ciencia natural que estudia al agua, su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades químicas y físicas y su relación con el medio ambiente (Chow et al, 1994). Hidrología es la ciencia que trata de las aguas de la Tierra, su ocurrencia, circulación y distribución, sus propiedades físicas y químicas y su influencia sobre el medio ambiente, incluyendo su relación con los seres vivos. El dominio de la hidrología abarca la historia completa de la existencia del agua sobre la tierra. (U.S. Federal Council for Science and Technology ,1962). Oscar Edward Meinzer (1876-1948), a quien se conoce como el padre de la Geohidrología moderna, definió a la hidrología como la ciencia interesada en la existencia del agua en la tierra, sus reacciones físicas y químicas con el resto de ésta y su relación con la vida sobre la misma.

b) El Ciclo Hidrológico

En una forma más estricta, puede definirse como el estudio del ciclo hidrológico. El cuál es el foco central de la hidrología. No tiene principio ni fin y sus procesos ocurren en forma continua: el agua se evapora desde los océanos y de la

superficie terrestre para volver a la atmósfera; el vapor de agua se transporta y se eleva hasta que condensa y precipita sobre la superficie terrestre o los océanos. El agua que precipitada puede ser interceptada por la vegetación, convertirse en flujo superficial sobre el suelo, infiltrarse en él, escurrir por el suelo como flujo subsuperficial y descargar en ríos como escorrentía superficial. El agua infiltrada puede percolar profundamente para recargar el agua subterránea de donde emerge en manantiales o se desliza hacia ríos para formar la escorrentía superficial y finalmente fluye hacia el mar o se evapora y por tal dándose una retroalimentación del ciclo (Chow et al, 1994).

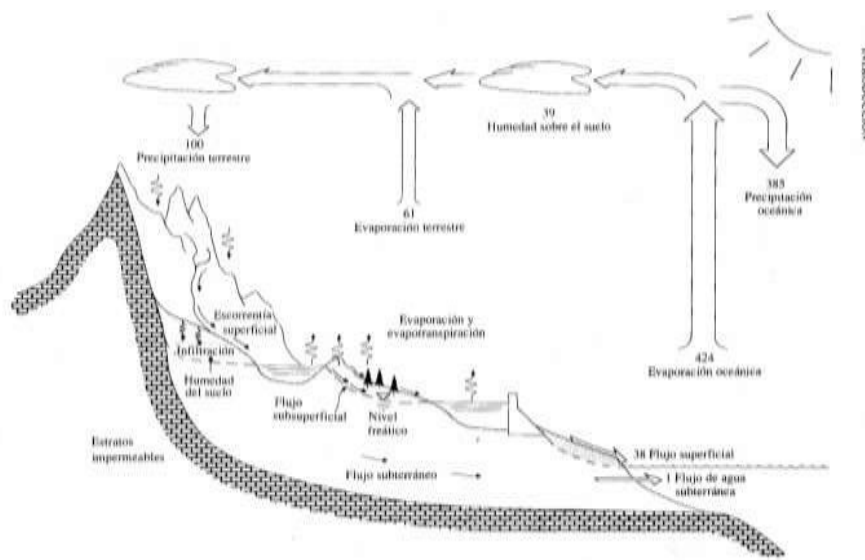


Figura N° 1 Ciclo Hidrológico (a)

Fuente: Chow et al, 1994

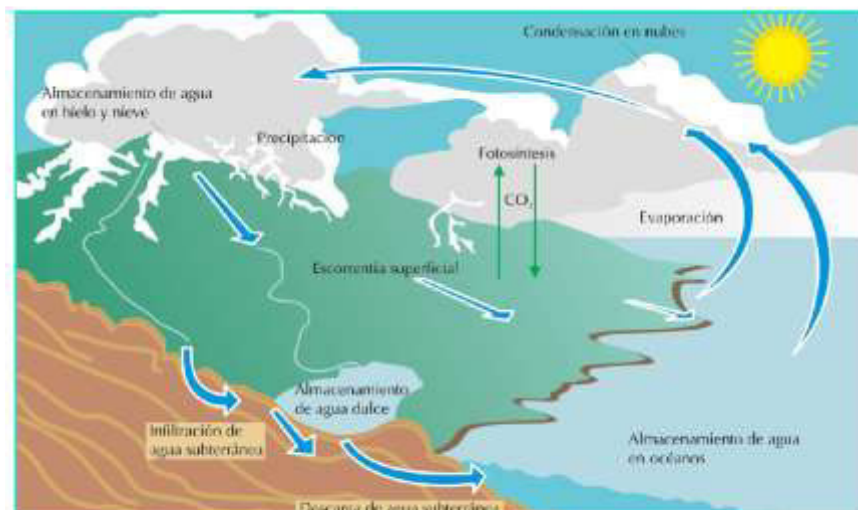


Figura N° 2 Ciclo Hidrológico (b)

Fuente: United States Geological Survey (rediseñado)

c) Cuenca Hidrográfica

Es un espacio geográfico cuyos aportes de agua son alimentados exclusivamente por precipitaciones que caen en el interior y el excedente de agua o en materia sólida transportadas por el agua forman, en un punto espacial único, una desembocadura, una estación de aforo, o un punto arbitrario (Llamas, 1993). Constituye una unidad hidrológica descrita como una unidad físico-biológica y también como unidad socio-política para la planificación y ordenamiento de los recursos naturales. En el interior de la cuenca se pueden delimitar subcuencas o microcuencas. Las divisorias que delimitan las subcuencas se conocen como parteaguas secundarios. Las cuencas pueden subdividirse en tres zonas de funcionamiento hídrico principales:

- Zona de cabecera
- Zona de captación-transporte
- Zona de emisión

Así se considera una cuenca hidrográfica como una unidad morfológica donde sólo se consideran a las aguas superficiales y cuenca hidrológica como un concepto más integral, donde se incluyen las aguas superficiales y subterráneas.

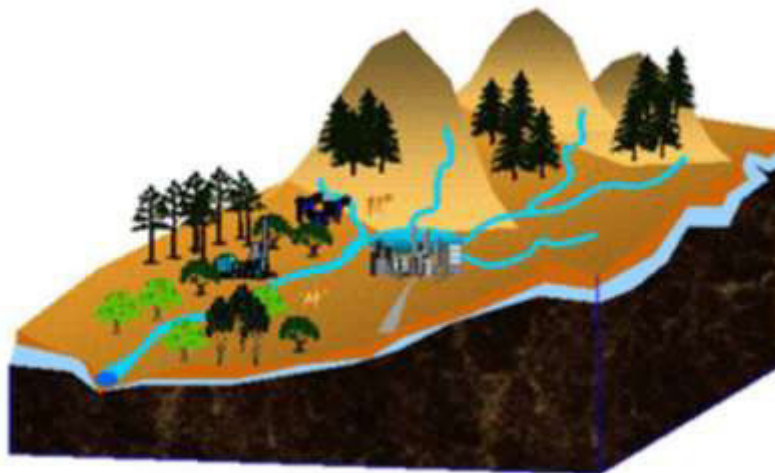


Figura N° 3 Cuenca Hidrográfica

Fuente: Ordoñez (2011)

d) **Parámetros Geomorfológicos en Cuencas**

- **Cuenca Hidrológica:** Como bien lo menciona su libro, la cuenca es el área de terreno donde todas las aguas caídas por precipitación, se unen para formar un solo curso de agua. Cada curso de agua, tiene una cuenca bien definida, para puntos de su recorrido. (Villón Béjar M, 2002)
- **Delimitación de la Cuenca:** La delimitación de una cuenca, se hace sobre un plano o mapa a curvas de nivel, siguiendo las líneas del divortium acuarium (Parteaguas), la cual es una línea imaginaria, que divide a las cuencas adyacentes y distribuye el escurrimiento originado por la precipitación que, en cada sistema de corriente, fluye hacia el punto de salida de la cuenca. El tipo de cuenca, es un factor importante, por ello que Villón menciona una clasificación:
 - **Cuenca Grande:** Una cuenca, para fines prácticos, se considera grande cuando el área es mayor de 250 km².
 - **Cuenca Pequeña:** Una cuenca pequeña, es aquella que responde a las lluvias de fuerte intensidad y pequeña duración. Se considera en esta clasificación, aquellas cuya área varíe desde unas pocas hectáreas hasta un límite, que para propósitos prácticos se considera menor de 250 km².
- **Curvas Hipsométricas:** Es la curva en coordenadas rectangulares, representa la relación entre la altitud y la superficie de la cuenca, que queda sobre esa altitud. Para construir este tipo de curvas, se utiliza un mapa con curvas de nivel, mostrando diferentes altitudes versus las correspondientes áreas acumuladas que quedan sobre esas altitudes.
- **Curva de Frecuencia de Altitudes:** Se puede definir como la representación gráfica, de la distribución en porcentaje de las superficies ocupadas por diferentes altitudes. En estas, se puede definir la altitud media, altitud más frecuente, y la altitud de frecuencia media.



Figura N° 4. Delimitación de Cuencas

Fuente: Morfología de las cuencas Hidrográficas , Ibañez S. (2011).

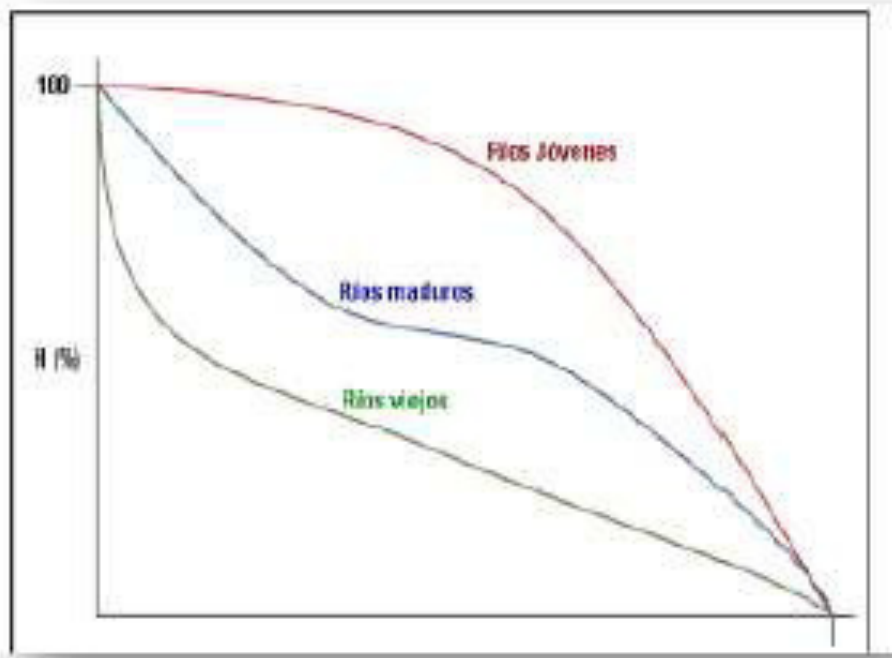


Figura N° 5. Análisis de la Curva Hipsométrica

Fuente: Morfología de las cuencas hidrográficas, Ibañez S. (2011).

- **Índice o Factor de Forma de una Cuenca (F).** Expresa una relación entre el Ancho promedio de la cuenca y su longitud.

$$F = \frac{\text{Ancho}}{\text{Longitud}} \quad (1)$$

Esta ecuación tiene un análisis, puesto que, si una cuenca tiene un F mayor que otra, se puede decir que, existe mayor posibilidad de tener una tormenta intensa simultánea, sobre toda la extensión de la cuenca. Por el contrario, si presenta un F menor, tiene menos tendencia a concentrar las intensidades de lluvias.

- **Índice de compacidad (Índice de Gravelius):** Expresa, la relación entre el perímetro de una cuenca y el perímetro equivalente de una circunferencia, con la misma área de la cuenca. En general, cabe decir que si $K=1$, la cuenca será de forma circular; por lo general, las cuencas alargadas tienen un $K>1$. Las cuencas de forma alargada, reducen las probabilidades de que sean cubiertas en su totalidad por una tormenta, lo que afecta el tipo de respuesta que presenta en el río.
- **Rectángulo Equivalente:** Es una transformación geométrica, que permite representar la cuenca en una forma rectangular, que tenga la misma área y perímetro, igual distribución de alturas e igual distribución de terreno. En este rectángulo, las curvas de nivel se convierten en líneas paralelas al lado menor, siendo estos lados la primera y la última curva de nivel.
- **Pendiente de la cuenca:** Es un parámetro muy importante, en el estudio de cuencas, tiene una relación importante y compleja con la infiltración, la escorrentía superficial, la humedad del suelo y la contribución del agua subterránea a la escorrentía. Es uno de los factores, que controla el tiempo de escurrimiento y concentración de la lluvia e influye en la magnitud de crecidas.

- **Pendiente del Cauce:** La pendiente media del río es un parámetro empleado para determinar la declividad de una corriente de agua entre dos puntos extremos; según Taylor y Schwarz es la relación entre la diferencia de alturas y la longitud del cauce principal

$$Sm = \frac{(H_{m\acute{a}x} - H_{m\grave{i}n})}{1000 \times L} \quad (2)$$

Donde:

Hmáx: Cota máxima del cauce principal (m.s.n.m)

Hmin: Cota mínima del cauce principal (m.s.n.m)

L: Longitud del Cauce principal (km)

- **Orden de Corrientes:** Villón hace mención, que, para hablar del orden de corrientes, es necesario entender su clasificación. Así pues, una corriente puede ser efímera (Cuando solo lleva agua cuando llueve); intermitente (Cuando la mayor parte del tiempo, en época de lluvia; su aporte cesa cuando el nivel freático desciende por debajo del fondo del cauce); perenne (Cuando contiene agua todo el tiempo, ya que aún en época de sequía es abastecida continuamente).

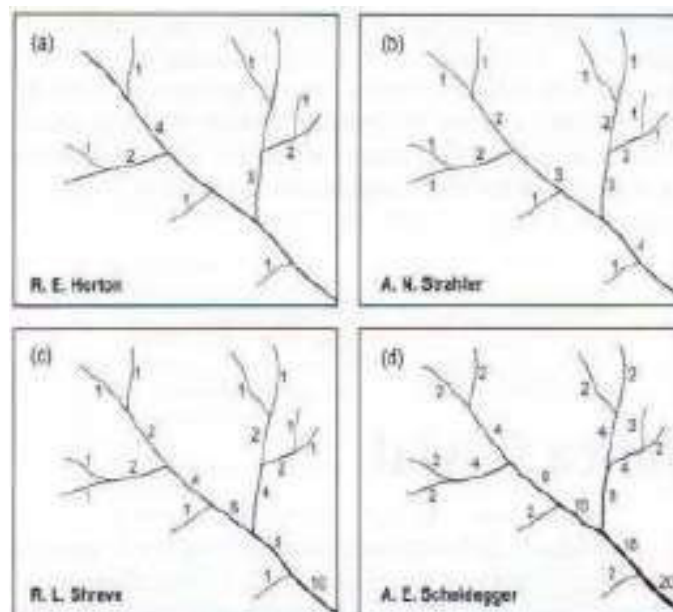


Figura N° 6- Diferentes números de Orden de las Cuencas

Fuente: Morfología de las cuencas hidrográficas, Ibañez S(2011).

Ahora, el orden de las corrientes, es una clasificación que proporciona el grado de bifurcación dentro la cuenca. Es por ello, que, para hacer esta clasificación, es necesario un plano de todos los tipos de corrientes, que llegan hacia la cuenca principal, con los diferentes números de orden, entre ellos, el mínimo será de orden uno hasta el máximo orden según los ríos tributarios.

e) **Precipitación**

Se conoce como precipitación a la cantidad de agua que cae a la superficie terrestre y proviene de la humedad atmosférica, ya sea en estado líquido (llovizna y lluvia) o en estado sólido (escarcha, nieve, granizo). La precipitación es uno de los procesos meteorológicos más importantes para la Hidrología, y junto a la evaporación constituyen la forma mediante la cual la atmósfera interactúa con el agua superficial en el ciclo hidrológico. (Chereque, 1991). Es toda forma de humedad que, originándose en las nubes, llega hasta la superficie del suelo; de acuerdo a esta definición, la precipitación puede ser en forma de lluvias, granizadas, garúas y nevadas. (Villón M. 2002)

- **Tormentas:** Se entiende por tormenta, al conjunto de lluvias, que obedecen a una misma perturbación meteorológica y de características bien definidas. De acuerdo a ello, una tormenta puede durar, desde unos pocos minutos hasta varias horas y aún días y puede abarcar extensiones de terrenos muy variables, desde pequeñas zonas hasta varias regiones. Es importante analizar las tormentas, puesto que, está relacionados con el diseño de obras de ingeniería hidráulica, tales como:
 - Estudio de drenaje
 - Determinación de caudales máximos, que deben pasar por el aliviadero de una represa o que deben encausarse para impedir inundaciones.
 - Determinación de la luz de un puente.
 - Conservación de suelos.
 - Cálculo de diámetros de alcantarillas.

Cabe entender que, lo mejor sería diseñar una obra, para la tormenta de máxima intensidad y de duración indefinida, pero esto significa grandes dimensiones de la misma, por lo que, los gastos ya no compensan el riesgo que pretende cubrir, es ahí que la práctica, no busca una protección absoluta, sino la defensa contra una tormenta de características bien definidas o de una determinada probabilidad de ocurrencia. Existen algunos elementos fundamentales, para el análisis de las tormentas como son:

- **La intensidad:** Que está definida como la cantidad caída por unidad de tiempo. Lo que nos interesa es la intensidad máxima que se haya presentado, ella es la altura máxima de agua caída por unidad de tiempo.

$$I_{m\acute{a}x} = \frac{\text{Precipitación en altura de agua mm}}{\text{Tiempo en Horas}} \quad (3)$$

- **Intensidades Máximas de la Estación Weberbauer:**

ESTACIÓN: AUGUSTO WEBERWABER **LATITUD:** 07° 10' 00" Sur
DEPARTAMENTO: Cajamarca **LONGITUD:** 78° 30' 00" Oeste
PROVINCIA: Cajamarca **ALTITUD:** 2536 m.s.n.m.

Tabla N° 1: Tabla de Intensidades de la Estación meteorológica Weberbauer

AÑO	DURACIÓN EN MINUTOS				
	5	10	30	60	120
1973	101.00	71.00	24.00	14.00	11.00
1974	73.00	58.00	34.00	18.00	19.00
1975	90.00	50.00	24.00	16.00	10.00
1976	68.00	63.00	37.00	19.00	9.00
1977	65.00	53.00	37.00	21.00	11.00
1978	26.00	24.00	21.00	12.00	6.00
1979	60.00	60.00	38.00	23.00	14.00
1980	73.02	60.10	33.80	21.08	9.28
1981	67.20	54.80	29.13	15.54	13.02
1982	88.29	75.15	37.20	23.10	13.27
1983	75.30	50.40	31.40	23.71	13.99
1984	112.80	71.80	27.60	15.63	9.80
1985	59.31	54.40	25.56	14.76	8.05
1986	84.60	65.40	30.11	15.60	8.23

Continuación Tabla N° 1

1987	76.00	49.20	21.60	13.20	7.95
1988	70.40	52.80	23.00	13.79	7.85
1989	73.60	47.80	28.00	16.00	9.60
1990	111.60	75.00	37.94	23.00	12.00
1991	83.00	73.00	41.00	26.00	14.00
1992	56.00	39.00	19.00	10.00	5.00
1993	58.00	51.00	28.00	18.00	10.00
1994	91.49	64.18	36.22	19.04	12.91
1995	71.11	56.25	28.66	16.72	9.32
1996	81.30	60.21	32.44	17.88	11.12
1997	82.20	68.10	35.04	17.86	8.94
1998	92.00	66.34	40.60	27.10	13.50
1999	70.80	38.30	13.80	9.90	6.40
2000	46.80	31.95	17.26	10.14	5.08
2001	67.20	49.90	25.40	17.28	9.70
2002	28.20	20.60	13.80	8.70	4.40
2003	70.80	42.60	15.90	9.80	6.10
2004	84.60	84.60	33.00	18.70	9.40
2005	45.60	43.80	20.50	11.10	6.50
2006	30.00	30.00	15.00	10.30	6.90
2007	72.00	64.00	32.70	19.40	12.30
2008	47.00	33.24	22.80	13.66	9.83
2009	68.00	49.20	32.04	22.00	4.05
2010	86.40	38.50	30.67	20.28	10.89
2011	62.40	36.60	26.80	16.60	10.00
2012	64.00	42.20	23.60	15.20	6.80
2014	119.10	69.30	27.24	15.87	9.23
2015	100.00	63.89	27.28	15.90	9.89

Fuente: Ortiz ,O.(2016). SIMILITUD HIDRAULICA DE SISTEMAS HIDROLÓGICOS ALTOANDINOS Y TRANSFERENCIA DE INFORMACIÓN HIDROMETEREOLÓGICA(tesis doctoral). Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, Perú.

-Transposición de Intensidades:

$$I_2 = I_1 x \frac{(H_{media})}{H_1} \quad (4)$$

Donde:

I2: Intensidad de la microcuenca de estudio

I1: Intensidad de Estación conocida

Hmedia: Altitud media de la microcuenca en estudio

H1: Altura de la estación conocida

- **Duración:** Que corresponde al tiempo que transcurre entre el comienzo y el fin de la tormenta. Aquí, es necesario definir el periodo de duración, que es un periodo de tiempo dentro del total que dura la tormenta.
- **Frecuencia:** Es el número de veces que se repite una tormenta, de características de intensidad y duración definidas en un periodo de tiempo más o menos largo, tomado generalmente en años.
- **Curvas IDF:** Las curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) son curvas que resultan de unir los puntos representativos de la intensidad media en intervalos de diferente duración, y correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o período de retorno (Témez, 1978).

f) Distribuciones de Probabilidad en la Hidrología

Una distribución de probabilidades es una función que representa la probabilidad de ocurrencia de una serie hidrometeorológica. Las funciones de distribución de probabilidades principales que se usan en hidrología generalmente en el análisis de eventos máximos son:

- Distribución Normal.
- Distribución Log Normal.
- Distribución Gumbel.
- Distribución Log Pearson Tipo III.

(Chow, et al., 1994)

DISTRIBUCIÓN	FUNCIÓN
NORMAL	$F(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} dx$ Donde: x = Variable aleatoria μ = Media de la población σ = Desviación estándar de la población
LOG NORMAL	$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{x\beta} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \mu}{\beta}\right)^2}$ Donde: x = Variable aleatoria σ = Media estándar de la variable aleatoria β = desviación estándar de los logaritmos de la variable aleatoria
GUMBEL	$F(x) = e^{-e^{-d(x-\mu)}}$ Donde: x = Representa el valor a asumir por la variable aleatoria e = Constante de Neper
PERARSON TIPO III	$F(x) = \frac{1}{\alpha\Gamma(\beta)} \left\{ \frac{x-\delta}{\alpha} \right\}^{\beta-1} e^{-\frac{x-\delta}{\alpha}}$ Donde: α, β, δ = Parámetros de la función, se estimas en función de \bar{x} $\Gamma(\beta)$ = Función Gamma

Figura N° 7. Distribuciones de Probabilidad para eventos Máximos según Chow

Fuente: Chow, et al., 1994

g) Pruebas de Ajuste

Para determinar que tan adecuado es el ajuste de los datos a una distribución se realizan análisis estadísticos y como tal se deben entender, es decir, no se puede ignorar el significado físico de los ajustes.

➤ Test de Smirnov – Kolmogorov

Este procedimiento es un test no paramétrico que permite probar si dos muestras provienen del mismo modelo probabilístico (Bois, et al. 1998). Así mismo es necesario determinar la frecuencia observada acumulada y la frecuencia teórica acumulada; una vez determinadas ambas frecuencias, se obtiene el valor absoluto de las diferencias entra ambas.

Este test es válido para distribuciones continuas y sirve tanto para muestras grandes como para muestras pequeñas (Pizarro, et al. 1986). Para la aplicación de este test, se necesita en primer lugar determinar la frecuencia observada acumulada.

$$F_n(x) = \frac{n}{N+1} \quad (5)$$

Donde:

$F_n(x)$: Frecuencia Observada.

n: Número de orden del dato.

N: Número total de datos.

Luego se calcula la frecuencia teórica acumulada $F(x)$, determinada para cada una de las funciones. Una vez obtenidas ambas frecuencias, se procede a calcular el valor absoluto de las diferencias entre ambas, en la i -enésima posición de orden, que se denomina D_c .

$$D_c = \text{Sup}|F_n(x)_i - F(x)_i| \quad (6)$$

Si la diferencia absoluta es menor que la diferencia tabulada por tabla, definida en base al tamaño de la muestra, se está en presencia de un buen ajuste con el nivel de significancia asumido (0.05 y 0.01 son los más usuales). Si esta comparación resulta una diferencia grande entre las funciones de distribución muestral y la distribución propuesta, entonces se rechaza; caso contrario se acepta. (Villón M, 2002).

h) Caudales Máximos

Para el diseño de diversas infraestructuras, como muros de encauzamiento, sistemas de drenaje, alcantarillas, vertederos, puentes, y en este caso para encontrar las posibles áreas de inundación, es necesario, calcular o estimar el caudal de diseño, que, para estos casos, son los caudales máximos. (Villón M, 2002)

- **Periodo de Retorno:**

Para el caso de un caudal de diseño, el periodo de retorno, se define, como el intervalo de tiempo dentro del cual un evento de magnitud, puede ser igualado o excedido por lo menos una vez en promedio. Si un evento igual o mayor a Q, ocurre una vez en T años, su probabilidad de ocurrencia "P", es igual a 1 en T casos, es decir:

$$P = \frac{1}{T} \text{ ó } T = \frac{1}{P} \quad (7)$$

Donde:

P: Probabilidad de Ocurrencia de un caudal Q.

T: Periodo de Retorno

- **Método Racional:** Este método, tiene una antigüedad de 100 años, donde alrededor del tiempo se ha ido generalizando en todo el mundo. Supone que la máxima escorrentía ocasionada por una lluvia, se produce cuando la duración de esta es igual al tiempo de concentración (Tc). Cuando esto ocurre, toda la cuenca contribuye con el caudal en el punto de salida. Si la duración es mayor que el Tc, contribuye a toda la cuenca, pero en ese caso la intensidad de la lluvia es menor, por ser mayor su duración y por tanto también es menor el caudal.

Si la duración de la lluvia es menor que el Tc, la intensidad de la lluvia es mayor, pero en el momento en el que acaba la lluvia, el agua caída en los puntos más alejados, aún no ha llegado a la salida, solo contribuye una parte de la cuenca a la escorrentía, por lo que el caudal será menor.

Aceptando este planteamiento, el caudal máximo se calcula por medio de la siguiente expresión, que representa la fórmula racional:

$$Q = \frac{CIA}{360} \quad (8)$$

Donde:

Q = Caudal máximo en m³/s.

C = Coeficiente de escorrentía, que depende de la cobertura vegetal, la pendiente y el tipo de suelo, sin dimensiones.

I = Intensidad máxima de lluvia, para una duración igual al tiempo de concentración y para un período de retorno dado, en mm/hr.

A = área de la cuenca, en has.

- **Tiempo de concentración:** Se denomina así, al tiempo transcurrido, desde que una gota de agua cae en el punto más alejado de la cuenca, hasta que llega a la salida de ésta. Este tiempo, es función de ciertas características geográficas y topográficas de la cuenca y debe incluir los escurrimientos sobre terrenos, canales, cunetas, etc. Existen diferentes características de la cuenca, como dimensiones, pendientes, vegetación y otras que pueden hacer variar el tiempo de concentración. Existen también, varias formas de hallar el tiempo de concentración T_c , de una cuenca.

Cabe mencionar que el T_c depende de algunos factores como:

- Tamaño de la cuenca: A mayor tamaño , mayor T_c .
 - Topografía de la cuenca: A mayor accidentabilidad o pendiente, menor T_c .
 - Forma de la cuenca: A igualdad de otros factores, las cuencas alargadas presentan menores T_c que las cuencas redondeadas.
- **Según Témez:** Fórmula para hallar el tiempo de concentración:

$$T_c = 0.3 \left(\frac{L}{s^{0.25}} \right)^{0.76} \quad (9)$$

Donde:

T_c = Tiempo de concentración en min.

L = máxima longitud del recorrido, en km.

S = Pendiente media del cauce principal, adimensional.

- **Determinación de la Intensidad de Lluvia:**

Este valor, se determina a partir de la curva intensidad – duración – periodo de retorno, entrando con una duración igual al tiempo de

concentración (Tc) y con un periodo de retorno el cual elijamos o queramos elegir (Villón Béjar, 2002).

Para el análisis de la intensidad debemos hacer lo siguiente:

1. Analizar todas las tormentas caídas en el lugar, siguiendo el proceso ya indicado, es decir, para cada tormenta hallar la intensidad máxima, para diferentes duraciones.

2. Tabular los resultados en orden cronológico, tomando la intensidad mayor de cada año, para cada periodo de duración (10 min, 30 min, 60 min, 120 min, y 240 min), en una tabla como la siguiente:

Tabla N° 2: Tabla de Intensidades vs periodo de duración.

Año	Periodo de Duración (min)				
	10	30	60	120	240
1973	102	81	64	42	18
1974	83	70	50	33	16
1975	76	61	42	29	20
1976	80	72	45	32	11

Fuente: Villón M. (2002). Hidrología General

3. Ordenar de forma decreciente e independiente del tiempo, los valores de las intensidades máximas correspondientes a cada uno de los periodos de duración. Para cada valor, calcular su periodo de retorno utilizando la fórmula de Weibull:

$$T = \frac{n+1}{m} \quad (10)$$

Donde:

T = Tiempo de retorno.

m = Número de orden

n = número total de observaciones, en este caso número de años.

(Villón M, 2002).

N° de Orden m	Período de retorno $T = \frac{n+1}{m}$	Período de duración (min)				
		10	30	60	120	240
1	30	105	83	65	50	23
2	15	102	81	64	42	20
3	10	83	72	50	28	18
.
.
.
.
n = 29

Figura N° 8. Relación entre el tiempo de Retorno, duración e intensidades máximas.

Fuente: Villón, M (2002). Hidrología General

4. Construir las curvas intensidad – duración – periodo de retorno (IDF).

Para dicha elaboración hacer lo siguiente:

- a) Trazar los ejes coordenados; en el eje X, colocar las duraciones (en min), mientras que en el eje Y, colocar los valores de las intensidades (en mm/hr).
- b) Para un periodo de retorno T (en años), ubicar los pares (Duración, intensidad), para este periodo de retorno T.
- c) Trazar una curva, que una los puntos (Duración, intensidad).
- d) Repetir los dos últimos pasos, para otros valores de T.

Por ejemplo, las curvas intensidad – duración – periodo de retorno, son complicadas de obtener por la gran cantidad de información que hay que procesar, pero son sumamente útiles, para la obtención de la intensidad máxima, para una duración y un periodo de retorno dado (Villón Béjar, 2002).

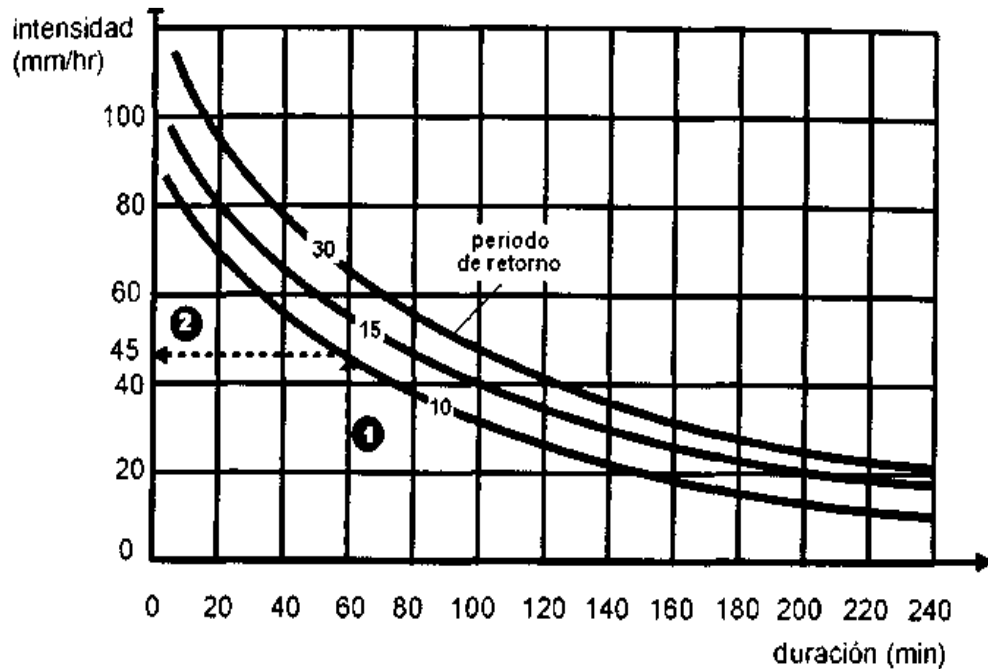


Figura N° 9. Curvas de Intensidad – Duración – Periodos de retorno

Fuente: Villón, M (2002). Hidrología General

Así pues, según lo antes mencionado, el tiempo de concentración, diremos que será igual a la duración, por lo que, teniendo estas curvas podremos encontrar la "Imáx" para dicha cuenca.

- **Determinación del coeficiente de Escorrentía:**

La escorrentía, es el agua que llega al cauce de evacuación, representa una fracción de la precipitación total. A esa fracción, se le denomina coeficiente de escorrentía, que no tiene dimensiones y se representa por la letra C. Este valor, depende de factores topográficos, edafológicos, cobertura vegetal, etc. (Villón M., 2002).

Es así, que el libro de Máximo Villón, nos muestra una tabla con los coeficientes de escorrentía, según la cobertura vegetal, pendiente y textura de la zona (Villón M., 2002).

Tabla N° 3: Tabla de Coeficientes de escorrentía según Máximo Villón Béjar

Tipo de Vegetación	Pendiente (%)	Textura		
		Franco Arenosa	Franco arcillo limosa franco limosa	Arcillosa
Forestal	0-5	0.1	0.3	0.4
	5- 10	0.25	0.35	0.5
	10- 30	0.3	0.5	0.6
Praderas	0-5	0.1	0.3	0.4
	5- 10	0.15	0.35	0.55
	10- 30	0.2	0.4	0.6
Terrenos Cultivados	0-5	0.3	0.5	0.6
	5- 10	0.4	0.6	0.7
	10- 30	0.5	0.7	0.8

Fuente: Villón M. (2002). Hidrología General

Tabla N° 4: Tabla de Coeficientes de escorrentía según Manual de Hidráulica y Drenaje del MTC 2011

Tipo de Vegetación	Pendiente (%)	Pendiente				
		<50%	>20%	>5%	>1%	<1%
Sin Vegetación	Impermeable	0.8	0.75	0.7	0.65	0.6
	Semipermeable	0.7	0.65	0.6	0.55	0.5
	Permeable	0.5	0.45	0.4	0.35	0.3
Cultivos	Impermeable	0.7	0.65	0.6	0.55	0.5
	Semipermeable	0.6	0.55	0.5	0.45	0.4
	Permeable	0.4	0.35	0.3	0.25	0.2
Pastos, Vegetación ligera	Impermeable	0.65	0.6	0.55	0.5	0.45
	Semipermeable	0.55	0.5	0.45	0.4	0.35
	Permeable	0.35	0.3	0.25	0.2	0.15
Hierba, grama	Impermeable	0.6	0.55	0.5	0.45	0.4
	Semipermeable	0.5	0.45	0.4	0.35	0.3
	Permeable	0.3	0.25	0.2	0.15	0.1
Bosques Vegetación	Impermeable	0.55	0.5	0.45	0.4	0.35
	Semipermeable	0.45	0.4	0.35	0.3	0.25
	Permeable	0.25	0.2	0.15	0.1	0.05

Fuente: MTC (2011). Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje.

También nos menciona, que, si se compone de varias superficies de distintas características, el valor de C, se obtiene como una media ponderada, es decir:

$$C_e = \frac{C_1 A_1 + C_2 A_2 + \dots + C_n A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (11)$$

Donde:

Ce = Coeficiente de escorrentía ponderado.

Ci = Coeficientes de escorrentías para el área Ai.

Ai = área parcial i.

n = número de áreas parciales.

i) Relación Tiempo de Retorno (Tr), Probabilidad de falla (J ó R) y Periodo de Años de Protección de estructuras hidráulicas (N).

El tiempo promedio, en años, en que el valor del caudal pico de una creciente determinada es igualado o superado una vez cada “T” años, se le denomina Período de Retorno “T”. Si se supone que los eventos anuales son independientes, es posible calcular la probabilidad de falla para una vida útil de n años. Para adoptar el período de retorno a utilizar en el diseño de una obra, es necesario considerar la relación existente entre la probabilidad de excedencia de un evento, la vida útil de la estructura y el riesgo de falla admisible, dependiendo este último, de factores económicos sociales, técnicos y otros. El criterio de riesgo es la fijación, a priori, del riesgo que se desea asumir por el caso de que la obra llegase a fallar dentro de su tiempo de vida útil, lo cual implica que no ocurra un evento de magnitud superior a la utilizada en el diseño durante el primer año, durante el segundo, y así sucesivamente para cada uno de los años de vida de la obra. (Manual de Hidráulica y Drenaje MTC, 2011).

El riesgo de falla admisible en función del período de retorno y vida útil de la obra está dado por:

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^N \quad \text{o} \quad J = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^N \quad (12)$$

También puede expresarse en función del T:

$$T = \frac{1}{1 - \sqrt[N]{1-R}} \quad (13)$$

Donde:

R ó J: Riesgo de Falla

T: Tiempo de Retorno

N: Periodo de años que se pretende proteger una estructura o vida útil de la obra.

El Manual de Hidráulica y Drenaje del MTC 2011, nos presenta la siguiente Tabla, respecto a periodos de retorno y varios riesgos permisibles para diversos tiempos de vida útil de las obras:

Tabla N° 5: Relación de Riesgo admisible, vida útil y tiempo de retorno.

RIESGO ADMISIBLE	VIDA ÚTIL DE LAS OBRAS (N años)				
	1	2	3	5	10
R/J					
0.01	100	199	299	498	995
0.02	50	99	149	248	495
0.05	20	39	59	98	195
0.1	10	19	29	48	95
0.2	5	9	14	23	45
0.25	4	7	11	18	35
0.5	2	3	5	8	15
0.75	1	2	3	4	8
0.99	1	1	1	2	3
R/J	20	25	50	100	200
0.01	1990	2488	4975	9950	19900
0.02	990	1238	2475	4950	9900
0.05	390	488	975	1950	3900
0.1	190	238	475	950	1899
0.2	90	113	225	449	897
0.25	70	87	174	348	696
0.5	29	37	73	145	289
0.75	15	19	37	73	145
0.99	5	6	11	22	44

Fuente: MTC (2011). Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje.

j) Lineamientos de la Hidráulica Fluvial en Inundaciones:

Las corrientes aluviales (ríos) son geoformas dinámicas sujetas a rápidos cambios en el modelado del cauce y la configuración del flujo. Los caudales y la carga de sedimentos determinan las dimensiones del cauce de una corriente (ancho, profundidad, longitud de onda y gradiente del meandro). Las características físicas de los cauces fluviales, tales como la relación: ancho/profundidad y sinuosidad, y los tipos de patrones (anastomosados, meandrosos, rectos) son afectados significativamente por las variaciones en los caudales, la carga sedimentaria, y por el tipo de carga de sedimento en función de la relación de las cargas de fondo y suspendida. (Waite Osterkamp, Janet Hooke y John Ridgway. 2006). Los cambios en la morfología del cauce en unos pocos años indican variaciones en el agua y/o en la descarga de sedimentos. Por ejemplo, el incremento del ancho indica un aumento en la descarga y/o un aumento en la carga de sedimento grueso y una disminución indica lo opuesto. La relación ancha/profundidad tiende a incrementarse con la erosión de los márgenes y con cargas más gruesas. (Waite Osterkamp, Janet Hooke y John Ridgway. 2006). Para esta investigación consideraremos los siguientes conceptos y figuras del libro de Ingeniería de Ríos (Juan Marín. 2002):

- **Clasificación de los Ríos:**

- Ríos efímeros: Climas áridos y semiáridos
- Ríos aluviales: Discurren por materiales sedimentarios (llanuras de inundación).
- Ríos Torrenciales: Se tienen los ríos con pendiente mayor del 1.5% (hidráulica torrencial).
- Torrentes: Pendiente mayor del 6%
- Ríos de Montaña
-

- **Morfología Fluvial:** Se considera la morfología de los ríos:

- Erosión de cabecera
- Transporte del cauce medio
- Sedimentación en el tramo bajo : Aspecto cóncavo

- Hidrología Fluvial: Estudio de la secuencia en que se presentan los caudales de acuerdo al regimen hidrológico (Q_{max} , Hidrogramas, etc).

- **Cauce Trenzado:** Son divagante con gran capacidad de transporte sólido.

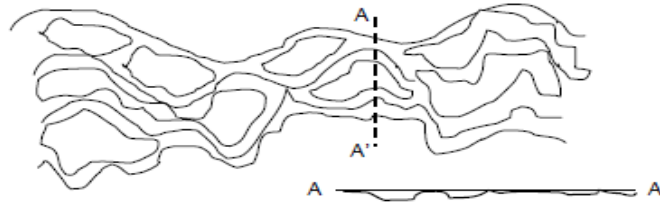


Figura N° 10. Cauce Trenzado

Fuente: (Juan Marín. 2002)

- **Cauce Sinuoso:** Calado mayor en la orilla cóncava, posee el lugar geométrico de los puntos con mayor profundidad: Thalweg. La evolución del meandro depende de la resistencia de la orilla a la erosión.

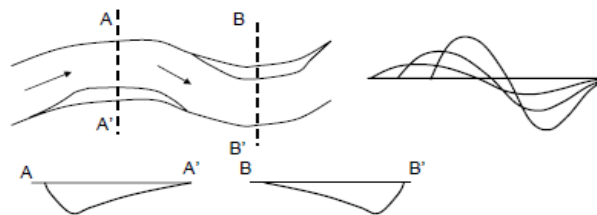


Figura N° 11. Cauce Sinuoso

Fuente: (Juan Marín. 2002)

- **Meandros:** Existen regulares e irregulares así también simples o compuestos.

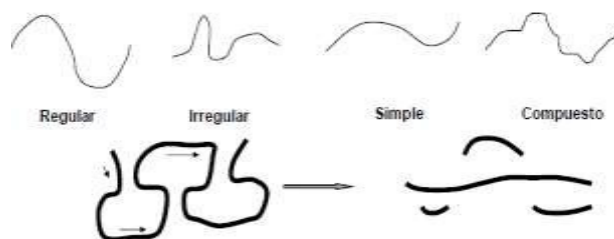


Figura N° 12. Meandros

Fuente: (Juan Marín. 2002)

- También pueden existir Trenzado y Sinuoso a la vez:



Figura N° 13. Trenzado y Sinuoso a la vez

Fuente: (Juan Marín. 2002)

- **Relación Caudal, profundidad(y) y ancho de río(B):** Con más caudal se tiende a hacerlo más ancho y más profundo (B/y mayor cuanto más caudal, la relación varía de acuerdo al material grueso cuando es mayor. El aumento del transporte disminuye la sinuosidad.



Figura N° 14. Relación caudal, profundidad y ancho de río.

Fuente: (Juan Marín. 2002)

- **Caudal Dominante:** Se llama así al caudal que da lugar a la geometría hidráulica que se estudia.

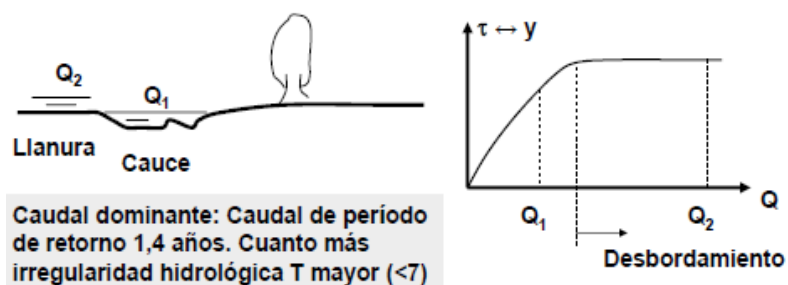


Figura N° 15. Caudal Dominante

Fuente: (Juan Marín. 2002)

- **Función de la Vegetación:** Las plantas fijan el material suelto (sedimentación) en las orillas, llanuras de inundación. La vegetación presenta resistencia al Flujo y al Transporte de sedimentos, es importante considerar que tener este parámetro es de vital importancia en ríos pequeños.
- **Llanuras de inundación:** Se denominan así a las áreas próximas al cauce principal del río que se inunda ocasionalmente. (Ej. Ríos de poca pendiente con morfología meandriforme).

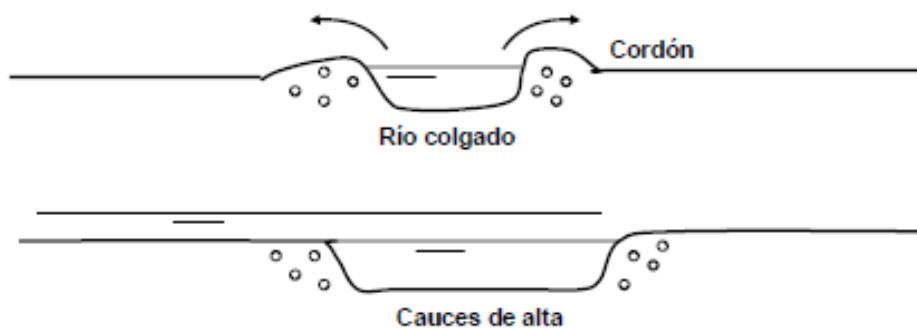


Figura N° 16. Llanuras de inundación

Fuente: (Juan Marín. 2002)

k) Modelación Hidráulica

Cada vez que el ingeniero se enfrenta al problema de diseñar una estructura tiene que resolver armoniosamente un compromiso entre los aspectos de eficiencia, seguridad y costo, lo que implica establecer con un razonable grado de confianza la relación entre la estructura proyectada y el medio circundante. Los modelos matemáticos plantean soluciones con modelos idealizados, lo que permite simplificaciones importantes, que a su vez causan efectos que deben ser valorados mediante ensayos experimentales ya que muchos de los fenómenos que ocurren en la naturaleza y sobre todo dentro del campo de la hidráulica, son tan complejos que no es suficiente tratarlos únicamente con métodos matemáticos, por lo que es conveniente recurrir al empleo de técnicas experimentales” (Rocha, 2007).

El empleo simultáneo de ambas técnicas de investigación permite obtener mejores resultados ya que el modelo matemático toma los resultados del modelo físico y viceversa, de modo que esta interacción nos lleva a acercarnos al comportamiento real del fenómeno analizado. El uso de modelos físicos a escala reducida, llamados simplemente modelos hidráulicos, implica que éstos deben ser semejantes al prototipo (Estructura hidráulica que se va a estudiar), para lo cual debe satisfacerse las siguientes leyes de similitud. La similitud geométrica implica una relación constante entre cualquier longitud del prototipo (LP) y su correspondiente longitud en el modelo (Lm), esta relación se denomina escala de longitudes y se comparan homólogos sobre los cuales se precisan magnitudes tales como tiempo, velocidad, caudal, etc. Tomar en cuenta la acción de fuerzas actuantes, tales como fricción, tensión superficial, peso, de inercia, etc. implica que la relación de fuerzas homólogas también debe ser constante, estableciéndose así la similitud dinámica de fuerzas. La similitud cinemática se refiere respecto a un movimiento, hay similitud en el movimiento tanto en el prototipo como en el modelo.

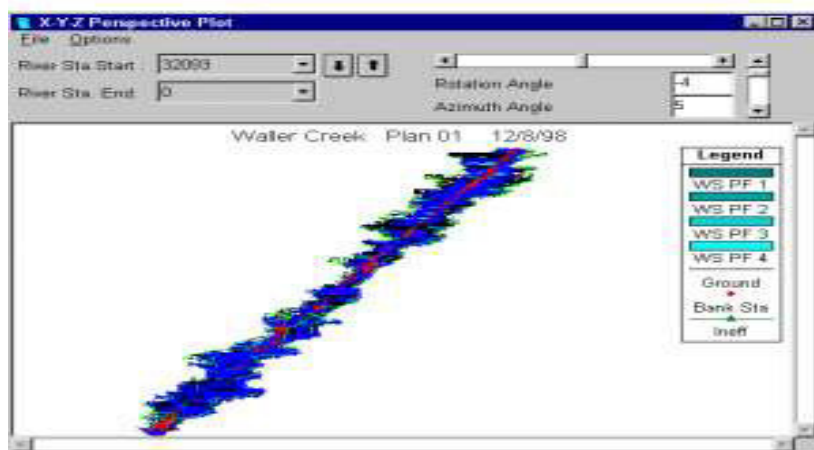


Figura N° 17. Modelo Hidráulico

Fuente: Modelo Hidráulico Computacional – Hec Ras

Por ejemplo, para describir matemáticamente como puede ser la inundación de una gran llanura, la bifurcación de ríos entrelazados, el comportamiento de estructuras transversales en un cauce, la confluencia de dos cauces, el flujo en un cauce ancho e irregular; una aproximación unidimensional ya no es representativa y por ello se emplean el análisis numérico bidimensional.

Todo modelador debe conocer:

- La realidad que está modelando (visita de campo).
- El problema que se quiere resolver.
- Las características y limitaciones de las herramientas numéricas.
- Cómo formular y especificar el problema en términos físicos y matemáticos.
- Cómo obtener información de campo o de la literatura.
- Definir los parámetros de los modelos (rugosidad, malla de cálculo, etc.).
- Validar, analizar e interpretar los resultados obtenidos.
- Difundir la información apropiada en función de su destinatario.

“La investigación en modelo debe ser un diálogo entre el diseñador y la naturaleza. En este diálogo el ingeniero investigador sirve como médium, cuya tarea es la de facilitar la comunicación entre aquel que tuvo que hacer un conjunto de suposiciones, y la probable reacción de la obra y de la naturaleza vistas a través del modelo”. (Rocha, 2007).

“En el caso de modelos físicos, para justificar la investigación una grande razón es la tridimensionalidad. En un modelo el flujo es tridimensional. Esta es una gran diferencia con respecto a la mayor parte de las fórmulas que se emplea en la Hidráulica, las que corresponden a modelos bidimensionales. Adicionalmente, el modelo permite apreciar el funcionamiento de la estructura en tres dimensiones” (Rocha, 2007).

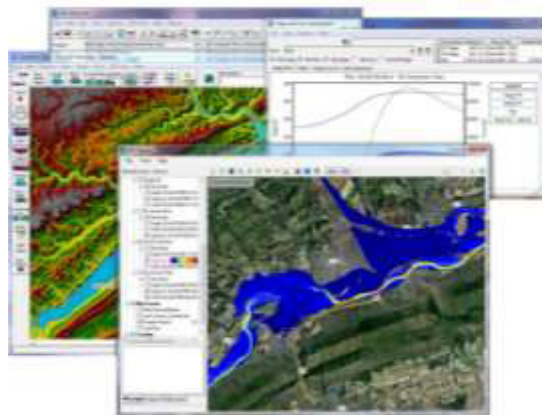


Figura N° 18. Modelo Hidráulico Hec-Ras

Fuente: <http://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/>

“Los modelos no resuelven todos los problemas que se presentan en el diseño de una estructura, sólo responde lo que se le preguntó y para lo que fue diseñado mediante la adopción de un apropiado Parámetro Característico de la Información. Del análisis teórico de este parámetro surgen las limitaciones que todo modelo tiene. El criterio ingenieril es el factor que soluciona los problemas en la hidráulica y se apoya mediante la experimentación utilizando modelos hidráulicos o técnicas computacionales” (Rocha, 2007).

I) Tipos de Régimen

Cuando hablamos de régimen es una manera de identificar el flujo de agua que lleva el agua, sin embargo, este régimen es dependiente de variables como es el número de Froude, sin embargo; primero veremos los tiempos de régimen que existen. Se llama sección crítica en un escurrimiento a una superficie libre a aquella en que la energía específica es la mínima posible para el gasto de dicho escurrimiento. Si el régimen está establecido, se dice que es crítico cuando dicha energía es la mínima posible a lo largo de todo el canal, y con ese nombre se designan todas sus características hidráulicas “Tirante crítico” (h_c), “Pendiente hidráulica crítica” (S_c), “Velocidad crítica” (V_c), etc. (Gardea, 1999).

Si el tirante es mayor que el crítico (h_2), el régimen se denomina subcrítico y lento, y cuando es menor (h_1), supercrítico y rápido. La forma más sencilla de identificar un determinado régimen, es compararlo con las características que dicho régimen tendría si fuese crítico. Es decir, una vez determinado el tirante crítico (h_c), se compara con el disponible (h) y se concluye:

$h > h_c$ Régimen subcrítico o lento

$h = h_c$ Régimen crítico

$h < h_c$ Régimen supercrítico o rápido

(Gardea, 1999)

Es importante tener secciones de control para identificar el respectivo flujo, es ahí donde se encuentra la importancia de esta sección de control radica en el

hecho de que, sabiendo de antemano que se va a tener siempre un tirante crítico, puede utilizarse como sección de aforo. (Gardea, 1999).

Criterio de Froude:

El efecto de la gravedad sobre el estado de flujo se representa por la relación entre las fuerzas inerciales y las fuerzas gravitacionales. Esta relación está dada por el número de Froude (Chow 1994). Es de número se encuentra definido como:

$$F = \frac{V}{\sqrt{gL}} \quad (14)$$

Donde:

V: Velocidad de flujo en m/s

g: Aceleración de la gravedad en m/s²

L: Longitud característica en m.

En el flujo de Canales abiertos, la longitud característica se hace igual a la profundidad hidráulica "D" (Chow 1994). Dependiendo del Valor del número de Froude se puede clasificar el flujo como:

- **Flujo Supercrítico:** Si el número de Froude es mayor que la unidad ($F > 1$); el flujo es supercrítico. En este estado las fuerzas inerciales se vuelven dominantes; el flujo tiene una alta velocidad y se describe usualmente como rápido; ultra rápido y torrencial (Chow et al 1994).
- **Flujo Subcrítico:** Si el número de Froude es menor que la unidad ($F < 1$); el flujo es subcrítico. En este estado el papel jugado por las fuerzas gravitacionales es más pronunciado; por tanto, el flujo tiene una velocidad baja y a menudo se describe como tranquilo y corriente lenta (Chow 1994).
- **Flujo Crítico:** Si el número de Froude es igual a la unidad ($F = 1$), el flujo es crítico.

m) Ecuación de Manning

Debido a la simplicidad de su forma y a los resultados satisfactorios que arroja en aplicaciones prácticas, la ecuación de Manning se ha convertido en la más utilizada de todas las ecuaciones de flujo uniforme para cálculos de flujos de canales abiertos (Chow 1994).

La ecuación de Manning se representa de la siguiente manera:

$$Q = \frac{1}{n} AR^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (15)$$

Donde:

Q= Caudal máximo, m³/seg

n = coeficiente de rugosidad

A = área hidráulica promedio, m²

R = Radio hidráulico promedio, m

S = Pendiente, m/m

Dicha ecuación presume flujo turbulento y canal rugoso, por lo tanto, requiere la estimación del coeficiente de rugosidad o Manning, esta depende principalmente de la rugosidad de la superficie, la vegetación y las irregularidades del canal.

Tabla N° 6. Tabla de Valores de Rugosidad “n”

Tipo de Canal y Descripción	Minim o	Norm al	Maxim o
Excavado o dragado			
a. En tierra, recto y uniforme			
1. Limpio, recientemente temrminado	0.016	0.018	0.020
2. Limpio, despues de exposicion a la intemperie	0.018	0.022	0.025
3. Con gravas, seccion uniforme, limpio	0.022	0.025	0.030
4. Con pastos cortos y algunas malezas	0.022	0.027	0.033
b. En tierra, serpenteante y lento			
1. Sin vegetacion	0.023	0.025	0.030
2. Pastos, algunas malezas	0.025	0.030	0.033
3. Malezas densas o plantas acuáticas en canales profundos	0.030	0.035	0.040
4. Fondo en tierra con lados en piedra	0.028	0.030	0.035
5. Fondo pedregoso y bancas con malezas	0.025	0.035	0.040
6. Fondo en cantos rodados y lados limpios	0.030	0.040	0.050

c. Excavado con planta dragado			
1. Sin vegetacion	0.025	0.028	0.033
2. Matorrales ligeros en las bancas	0.035	0.050	0.060
d. Cortes en roca			
1. Lisos y uniformes	0.025	0.035	0.040
2. Afiliados e irregulares	0.036	0.040	0.050
e. Canales sin mantenimiento, malezas y matorrales sin cortar			
1. Malezas densas, tan altas como la profundidad del flujo	0.050	0.080	0.120
2. Fondo limpio, matorrales en los lados	0.040	0.050	0.080
3. Igual nivel máximo de flujo	0.045	0.070	0.110
4. Matorrales densos , nivel alto	0.080	0.100	0.140
Corrientes Naturales			
1.- Corrientes menores (ancho superficial en nivel creciente < 100 pies)			
a. Corrientes en planicies			
1. Limpias, rectas, máximo nivel, sin montículos ni pozos profundos	0.025	0.030	0.033
2. Igual al anterior, pero con más piedras y malezas	0.030	0.035	0.040
3. Limpio serpenteante, algunos pozos y bancos de arena	0.033	0.040	0.045
4. Igual al anterior, pero con algunos matorrales y piedras	0.035	0.045	0.050
5. Igual al anterior, niveles bajos, pendientes y secciones más ineficientes	0.040	0.048	0.055
6. Igual al 4, pero con más piedras	0.045	0.050	0.060
7. Tramos lentos con malezas pozos profundos	0.050	0.070	0.080
8. Tramos con mucha maleza, pozos profundos o canales de crecientes con muchos árboles con matorrales bajos	0.075	0.100	0.150
b. Corrientes montañosas, sin vegetación en el canal, bancas usualmente empinadas, árboles y matorrales a lo largo de las bancas sumergidas en niveles altos			
1. Fondo gravas, cantos rodados y algunas rocas	0.030	0.040	0.050
2. Fondo: Cantos rodados con rocas grandes	0.040	0.050	0.070
2. Planicies de inundación			
a. Pastizales, sin matorrales			
1. Pasto corto	0.025	0.03	0.035
2. Pasto alto	0.03	0.035	0.05
b. Áreas cultivadas			
1. Sin cultivo	0.020	0.030	0.040
2. Cultivos en linea maduros	0.025	0.035	0.045
3. Campos de cultivo maduros	0.030	0.040	0.050

c. Matorrales			
1. Matorrales dispersos, mucha maleza	0.035	0.050	0.070
2. Pocos matorrales y árboles, en invierno	0.035	0.050	0.060
3. Pocos matorrales y árboles, en verano	0.040	0.060	0.080
4. Matorrales medios a densos, en invierno	0.045	0.070	0.110
5. Matorrales medios a densos, en verano	0.070	0.100	0.160
d. Arboles			
1. Sauces densos, rectos y en verano	0.110	0.150	0.200
2. Terreno limpio, con troncos sin retoños	0.030	0.040	0.050
3. Igual al anterior, pero con una gran cantidad de retoños	0.050	0.060	0.080
4. Gran cantidad de árboles, algunos troncos caídos, con poco crecimiento de matorrales, nivel del agua por debajo de las ramas	0.080	0.100	0.120
5. Igual al anterior, pero con nivel decreciente por encima de las ramas	0.100	0.120	0.160
3. Corrientes mayores (ancho superficial en nivel creciente >100 pies). El valor de n es menor que el correspondiente a corrientes menores con descripción similar, debido a que las bancas ofrecen resistencia menos efectiva			
a. Sección regular, sin cantos rodados ni matorrales	0.025	-	0.060
b. Sección irregular y rugosa	0.035	-	0.100

Fuente: Ven te Chow 1994

n) Modelo Iber

Con respecto al modelamiento hidráulico de un canal con sección irregular como es el caso de ríos, el cálculo para la estimación de su perfil del flujo resulta algo complicado y tedioso, ya que se debe realizar largas iteraciones que implican el uso de diferentes variables que dependen de otras (Por ejemplo: tirantes). Para ello, se propone utilizar el software IBER v2.3.4, el cual fue presentado el 10 de junio del 2010 como su versión inicial v1.0, en el Centro de Estudios Hidrográficos (CEDEX) de España; este es desarrollado por el Grupo de Ingeniería de Agua y Medio Ambiente (GEAMA) y el instituto FLUMEN. A partir de ello, la simplificación del trabajo (largas iteraciones) que proporciona la utilización de este software es importante, ya que los proyectos se desarrollan con más rapidez y eficacia para así tener la facilidad de análisis de diferentes escenarios en las zonas de estudio. (Castillo 2017).

- **Ventajas del IBER v2.4.3**

En primer lugar, este es un programa de simulación en dos dimensiones, el cual permite la simulación de flujos en lámina libre en aguas someras (aguas poco profundas) en régimen no-permanente, y consta de 03 módulos: hidrodinámico, turbulencia y transporte de sedimentos. En la presente tesis, se ahondará en el módulo hidrodinámico, el cual permite el cálculo de velocidades en 02 direcciones, tanto en “x” como en “y”, permitiendo alcanzar un espejo de agua mucho más detallado (zona de inundación) a diferencia de un modelo unidimensional; además de la obtención de niveles de agua. Asimismo, el IBER se basa en el método numérico de volúmenes finitos para resolver la ecuación de St. Venant en 2D, los cuales permiten una mejor representación de la interacción entre el flujo y la superficie de ríos. Otra ventaja es la compatibilidad que proporciona el IBER respecto al uso de herramientas externas, tales como un Sistema de Información Geográfico (SIG), ya que permite la exportación de polígonos referenciados (dxf, shapefile, entre otros) e información de superficie para ser posteriormente trabajados dentro del software y así recrear el flujo de un río o quebrada. Así mismo, una vez implementada los datos de superficie, se puede implementar diferentes estructuras, tales como puentes, alcantarillas, presas, entre otras, obteniéndose así diversas situaciones de análisis. Finalmente, es importante añadir que este software está estructurado como una herramienta para temas de planificación hidrológica, inundaciones y calidad de agua. (Ramirez 2017)

- **Datos de entrada del IBER v2.4.3**

En el mismo sentido, para modelar ríos, se necesita 03 datos de entrada necesarios: la malla de cálculo, las condiciones hidrodinámicas y la rugosidad. (Ramirez 2017)

- **Malla de cálculo**

El IBER facilita la importación de topografía en formato ASCII, TIN, entre otros, previamente creados por un Sistema de Información Geográfica (SIG).¹²⁷ Una vez realizada la importación, se genera una malla no-estructurada con elementos de 03 o 04 lados, que ayuda a la adaptación

de la superficie dentro del modelo, la cual puede ser modificada para la implementación de alguna estructura u obtener una malla más/menos detallada. (Ramirez 2017).

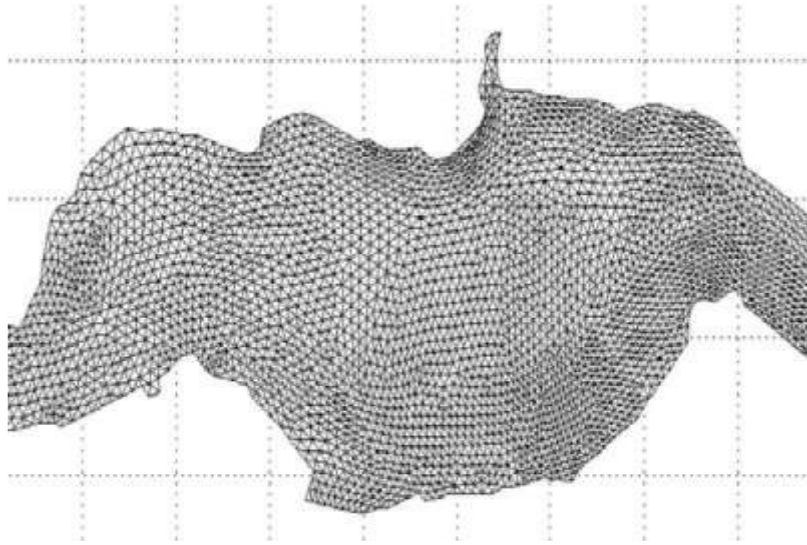


Figura N° 19. Malla no estructurada con elementos triangulares

Fuente: GEAMA Y FLUMEN 2012

- **Condiciones hidrodinámicas**

Como en todo modelo, se necesitan datos iniciales, en este caso, el IBER ofrece 03 posibles condiciones de ingreso: condiciones de contorno de entrada, condiciones de contorno de salida y condiciones internas. En la primera, permite elegir el régimen del flujo (subcrítico, crítico o supercrítico) e ingresar datos de niveles de agua o caudales con los que inicia la simulación del flujo. En la segunda, permite ingresar datos, de ser solo un régimen subcrítico, implementando una cota o curva de gasto a la salida del flujo estudiado. Y finalmente, permite implementar condiciones (coeficientes), para alguna estructura como vertederos, compuertas, entre otros. (Ramirez 2017). Módulo hidrodinámico resuelve las ecuaciones de aguas someras promediadas en profundidad bidimensionales, también conocidas como ecuaciones de St.Venant 2D.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h U_x}{\partial x} + \frac{\partial h U_y}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial h U_x}{\partial t} + \frac{\partial h U_x^2}{\partial x} + \frac{\partial h U_x U_y}{\partial y} = -gh \frac{\partial h}{\partial x} - gh \frac{\partial z_b}{\partial x} + \frac{\tau_{s,x}}{\rho} - \frac{\tau_{b,x}}{\rho} + 2 \Omega h \sin \lambda U_y + \frac{\partial h \tau_{xx}^e}{\partial x} + \frac{\partial h \tau_{xy}^e}{\partial y}$$

$$\frac{\partial h U_y}{\partial t} + \frac{\partial h U_x U_y}{\partial x} + \frac{\partial h U_y^2}{\partial y} = -gh \frac{\partial h}{\partial x} - gh \frac{\partial z_b}{\partial y} + \frac{\tau_{s,y}}{\rho} - \frac{\tau_{b,y}}{\rho} - 2 \Omega h \sin \lambda U_x + \frac{\partial h \tau_{xy}^e}{\partial x} + \frac{\partial h \tau_{yy}^e}{\partial y}$$

Figura N° 20. Ecuaciones de Saint Venant

Fuente: Iberaula

Dichas ecuaciones asumen las hipótesis de distribución de presión hidrostática y distribución uniforme de velocidad en profundidad. La hipótesis de presión hidrostática se cumple razonablemente en el flujo en ríos, así como en las corrientes generadas por la marea en estuarios y zonas costeras. La hipótesis de distribución uniforme de velocidad en profundidad se cumple de forma habitual en ríos y estuarios, siempre y cuando no existan procesos relevantes de estratificación debido a diferencias de salinidad, de temperatura o al viento.



Figura N° 21. Modelo Iber

Fuente: Iber - <http://iberaula.es/modelo-iber/hidrodinamica>

- **Rugosidad**

La rugosidad es un dato básico y necesario en la modelación hidráulica, ya que permite simular un tipo de superficie determinada, y en este caso, se usa el coeficiente de Manning. Una de las grandes diferencias entre un modelo unidimensional y otro bidimensional, es seleccionar o delimitar las diferentes superficies o suelos en planta, que existen sobre el cauce del río o quebrada en estudio, mediante áreas de influencia sobre la topografía a trabajar, permitiendo así obtener resultados más reales. En base a ello, es preciso mencionar, que estas áreas delimitadas pueden ser trabajadas desde un SIG y, posteriormente ser importadas a la ventana de modelación del IBER.

o) Sistemas de Información Geográfica

Es un conjunto de programas, equipamientos, metodologías, datos y personas (usuarios) perfectamente integrados, de forma que se hace posible la recolección, almacenamiento procesamiento y el análisis de datos georreferenciados, así como la producción de información derivada de su aplicación (Teixeira, 1995).

Integrar los SIG y los modelos hidrológicos implica conectar los datos geospaciales que describen el entorno físico, con los modelos de procesos hidrológicos que describen el movimiento del agua a través del medio, es la búsqueda de las relaciones entre patrones y procesos en el espacio geográfico (Burrough, et al. 1986).

Las líneas actuales de investigación en modelos hidrológicos, basadas en sistemas de información geográfica (SIG), información de satélite y sistemas computacionales modernos, ofrecen mayores posibilidades en la subdivisión de la cuenca en subunidades menores más homogéneas, dónde se les aplica un modelo agregado, dándonos la posibilidad de poder responder mejor científicamente a los eventos hidrometeorológicos de la naturaleza. (Tarazona 2016).

Los investigadores en hidrología encuentran cada vez más efectiva la utilización de los SIG debido a su capacidad de gestionar datos distribuidos y referenciados en el mundo real. La capacidad de los SIG-técnica como potentes calculadoras del territorio, permite emplear ecuaciones que ayudan a interpretar los procesos hidrológicos a partir de bases de datos presentando estos resultados en mapas. Esta visión no solo es distribuida sino también integral u holística; el SIG-técnica como paradigma del mapa permite suministrar a los procesos de decisión, una información que resume factores climatológicos, meteorológicos, geomorfológicos, ecológicos, o sociales entre otros (Del Río, 2010).

p) Inundación

La Directiva 2007/60/EC de la Unión Europea define inundación como el cubrimiento temporal por agua de una tierra que normalmente no se encuentra cubierta. Por lo tanto, se incluyen las inundaciones producidas por ríos, torrentes, corrientes de agua efímeras mediterráneas e inundaciones marítimas en zonas costeras. European Parliament. Directive (2007), citado por ESCUDER et al. (2010).

Cabe decir que las inundaciones, se producen por la magnitud de la crecida que lleva al desbordamiento, medida en términos de caudal por km² o de caudal relativo al medio, es muy superior a la de los ríos que avanan grandes cuencas, de ahí su mayor severidad y tienen un tiempo de presentación mucho más rápido tras la lluvia, normalmente, pocos minutos o muy pocas horas, frente a los días que tarda una avenida en recorrer el curso de un gran río (Olcina, 2004).

Durante las inundaciones, las velocidades pueden superar incluso los 4 a 6 m/s, valores con los cuales se arrastran objetos voluminosos y pesados, e incluso crean remolinos y peligrosos fenómenos de succión del aire por efecto Venturi y sobrepresiones por cavitación (Díaz Herrero & Laín Huerta, 2008).

Básicamente, los parámetros topográficos, como la pendiente de la cuenca, corrientes fluviales, o el tamaño y la forma de la cuenca, el tipo de suelo, su geometría y la cubierta vegetal del terreno; al igual que otras condiciones como lluvias, etc. (Díaz Herrero & Laín Huerta, 2008). Nos dicen que, las mayores inundaciones se dan en pequeñas cuencas de montaña, con formas

redondeadas, altas pendientes, suelos delgados e impermeables y ausencia de vegetación.

Es necesario conocer acerca del grado de debilidad o exposición de un elemento o conjunto de elementos frente a una inundación, este término es llamado vulnerabilidad y es catalogado como la facilidad como un elemento puede sufrir daños humanos o materiales. Esta característica puede expresarse en porcentaje (INDECI, 2006).

q) Gestión de Riesgos de desastres

JIMENES et al. (2004); menciona que la gestión de riesgo es el conjunto de conocimientos, medidas, acciones y procedimientos que, conjuntamente con el uso racional de recursos humanos y materiales, se orientan hacia la planificación de programas y actividades para evitar o reducir los efectos de los desastres. La gestión de desastres, sinónimo de la prevención y atención de desastres, proporciona además todos los pasos necesarios que permitan a la población afectada recuperar su nivel de funcionamiento, después de un impacto. Se puede resumir y señalar, al mismo tiempo, que una planificación estratégica de la prevención y atención de desastres tiene dos objetivos generales: por un lado, minimizar los desastres, y por otro recuperar las condiciones de normalidad o condiciones pre desastre; los mismos que se lograrán mediante el planeamiento, organización, dirección y control de las actividades y acciones relacionadas con las fases siguientes:

- Mitigación: Conjunto de acciones cuyo objeto es impedir o evitar que sucesos naturales o generados por la actividad humana causen desastre. Esta reducción se hace cuando no es posible eliminarlos.
- Preparación: Medidas y acciones que reducen al mínimo la pérdida de vidas humanas y otros daños, organizando oportunamente y eficazmente las acciones de respuesta.
- Respuesta: Conduce operaciones de emergencia para salvar las vidas y propiedades, atendiendo oportunamente a la población.

- Recuperación: La recuperación es el esfuerzo de restaurar la infraestructura, la vida social y económica de una comunidad a la normalidad, reconstruye las comunidades a corto, mediano y largo plazo.

r) Aplicación de lo SIG al análisis de riesgos de Inundaciones

Antes de la disponibilidad amplia de tecnología informática en los años 80, Guevara (1995), citado por MASKREY (1998), menciona que los análisis de riesgos fueron realizados utilizando técnicas analógicas, como la superposición manual de mapas temáticos. Esa técnica había sido utilizada durante muchos años para producir mapas de las amenazas ambientales; por ejemplo, para identificar polígonos donde existan terrenos aptos para la construcción, en zonas que no sufran de inundaciones. La misma técnica fue utilizada en 1982 para producir el Plan de Protección Sísmica de Lima Metropolitana (MASKREY, 1998), mediante la superposición de capas cartográficas sobre la vulnerabilidad física de las construcciones (altura de las construcciones, materiales de construcción, estado de conservación, etc.) con información sobre la vulnerabilidad social y económica. Es poco sorprendente, entonces, la introducción de sistemas digitales de información, como los SIG, para el análisis de riesgos. Un SIG puede capturar datos geográficos en diferentes formatos; por ejemplo, mapas analógicos digitalizados, imágenes de satélite y datos alfanuméricos georreferenciados, y puede también almacenar grandes volúmenes de datos en un formato digital en diferentes estructuras de bases de datos. Los SIG permiten la integración de números ilimitados de capas temáticas, utilizando diferentes algoritmos para llevar a cabo operaciones espaciales. También permiten la representación gráfica de la información geográfica en muchos formatos diferentes, incluyendo, pero no limitándose a mapas temáticos. En términos institucionales, los SIG permiten centralizar e integrar información normalmente dispersa en diferentes formatos, en diferentes organizaciones, para producir "nueva" información de acuerdo a las necesidades de diferentes aplicaciones y usuarios. En contraste a las técnicas analógicas, los SIG ofrecen sistemas dinámicos de información, en los cuales los datos pueden ser actualizados periódicamente o continuamente. (MASKREY, 1998).

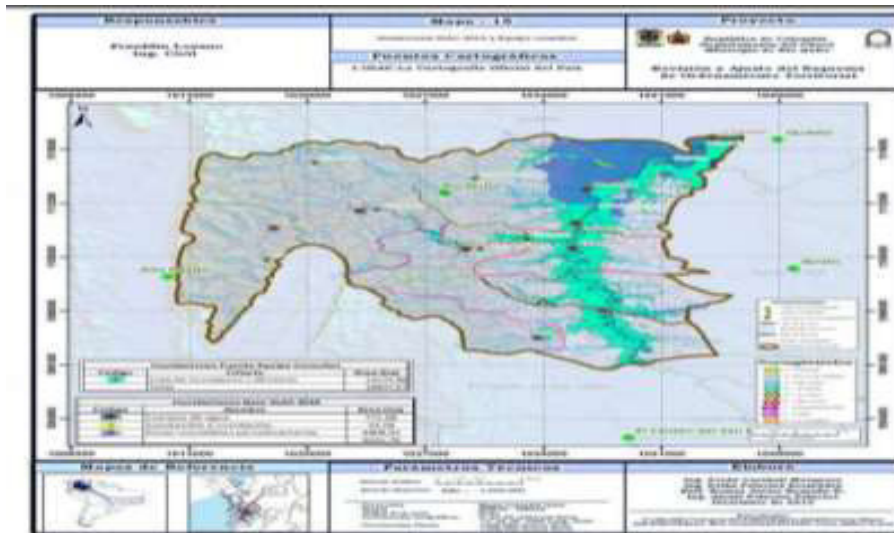


Figura N° 22. Mapa de Riesgos usando SIG

Fuente: IGAC, 2010. Equipo Consultor 2013

s) Zonificación de la Amenaza.

Se define como las de áreas con igual probabilidad de ocurrencia de un fenómeno en un periodo específico. La evaluación de la susceptibilidad del terreno a un proceso de amenaza se expresa como la probabilidad de que tal fenómeno ocurra bajo determinadas condiciones y parámetros y la determinación de la probabilidad de que un evento detonante ocurra. (Christian Moreno, 2016).

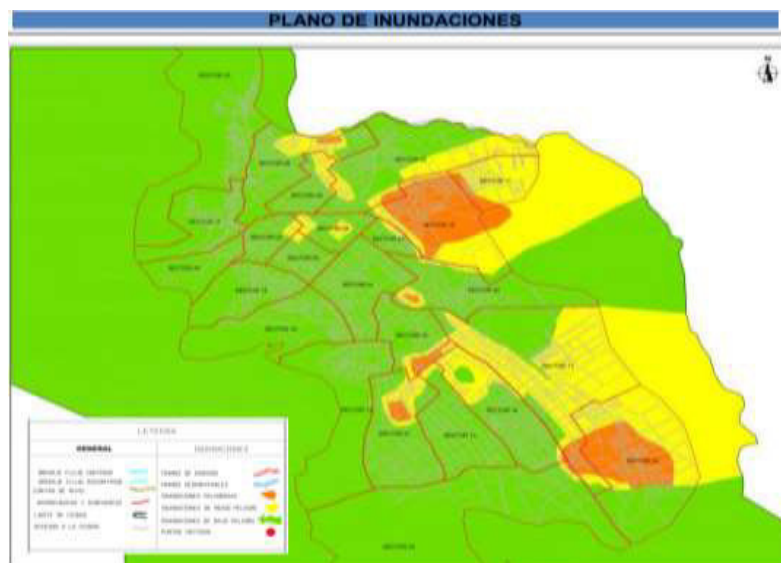


Figura N° 23. Mapa de Zonificación por Inundación

Fuente: EQUIPO TÉCNICO PDU 2016-2026.

t) Clasificación de la Amenaza por Inundación.

La intensidad y los efectos potenciales de las inundaciones dependen de varios aspectos, no sólo de aspectos meteorológicos, sino también de las características propias del terreno, como son los tipos y usos del suelo, el tipo y la distribución de la vegetación, la litología, las características de la red de drenaje, magnitud de las pendientes de la cuenca, obras realizadas en los cauces, entre otros. Otros aspectos importantes a considerar son los meandros y las zonas en los que los ríos se estrechan o pierden profundidad por falta de dragado (limpieza de los sedimentos en cursos de agua), especialmente en las desembocaduras donde se acumula el limo y la tierra arrastrada por la corriente.

Los criterios recomendados para evaluar la intensidad de las inundaciones son diferentes en dependencia del tipo de inundación. Para inundaciones estáticas se considera la profundidad o altura del flujo. Mientras que para inundaciones dinámicas se recomienda utilizar el producto de la velocidad por la profundidad del flujo. (Siempre y cuando esta fórmula arroje valores más altos, en términos de intensidad que la anterior). Los umbrales entre los niveles de intensidad muy alta, alta, media y baja, han sido definidos considerando la peligrosidad que una determinada columna de agua puede significar para la infraestructura o las viviendas y la vida de los pobladores. (INDECI)

El nivel de intensidad de acuerdo a la tabla del INDECI se mide de acuerdo al tirante que tiene la lámina de agua en las llanuras de inundación. (Jorge Quispe, 2015) .

Tabla N° 7: Niveles de intensidad de Peligro

Niveles de Intensidad de Peligro	Altura del Flujo (m)
Muy Alta	$H > 1.5 \text{ m}$
Alta	$0.5 \text{ m} < H < 1.5 \text{ m}$
Media	$0.25\text{m} < H < 0.5 \text{ m}$
Baja	$< 0.25 \text{ m}$

Fuente: INDECI

III. METODOLOGIA

3.1. Ubicación geográfica de la zona de estudio

La presente investigación tiene como zona de estudio el Caserío “El Molino”- perteneciente al Centro Poblado Huambocancha Baja, en la figura N° 24 se observa claramente que dicho caserío se encuentra a la derecha de la Av. Hermano Miguel Carducci carretera a Bambamarca, del distrito de Cajamarca provincia de Cajamarca departamento de Cajamarca.



Figura N° 24. Ubicación de Zona de Estudio

3.2. Situación actual de la zona de estudio

Para esta investigación se visitó e inspeccionó la zona de estudio, el tramo del cauce del Río Mashcón y el caserío “El Molino” y así se obtuvo una idea clara de las posibles zonas de inundación en el Caserío El Molino por condiciones topográficas.



Figura N° 27. Vista del puente Chinchimachay



Figura N° 28. Tramo del Río Mashcón

En la figura N°27. Se puede identificó al puente Chinchimachay, cuya longitud es de 21 m y tiene una altura de 4.8 m y un ancho de 8 m, las

barandas son de fierro de 2" con una altura de 0.90 m. En la figura N° 28, se muestra el tramo de estudio aguas abajo del puente Chinchimachay. Sumado a ello en la figura N° 28 se ve que el tramo del río mashcón contiene material como arena, gravilla, grava y cantos rodados los cuales son extraídos para construcción por ser de buena calidad.



Figura N° 29. Zona en expansión urbana

En la figura N° 29. Se observó que el lugar es una zona en expansión urbana, existen casas de material noble en su mayoría de más de 2 pisos y son multifamiliares, esto nos permite tener un indicador de que el aspecto socioeconómico es de mediana clase. Así mismo se verificó que la pista que se tiene no está asfaltada, tiene conexiones de agua domiciliarias y también energía eléctrica, cable, internet. La zona se encuentra en expansión urbana.

MATERIALES

a) Información cartográfica y topográfica

La información cartográfica utilizada en esta investigación fueron las Cartas Nacionales: 15-f y 15-g, a una escala de 1: 100,000 elaborado por el IGN (Instituto Geográfico Nacional), en el Sistema de Coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator), en el Datum WGS1984, Zona 17 Sur. Cabe mencionar que hoy en día podemos descargar información

digitalizada de nubes como el MINEDU o la NASA, ya que esta información nos permite realizar el tratamiento de las cuencas hidrográficas; por ende, para esta tesis descargamos un DEM de la zona en estudio el cual fue tratado con Arcgis. También se obtuvo información de Uso y Tipo de Suelo, administrada por el ZEE- Cajamarca del Ministerio del Ambiente; en formato shape a una escala de 1: 250,000, correspondiente a la zona de estudio.

b) Equipos y softwares

Equipos

- Laptop Dell modelo Inspiron 5000 procesador intel Core I7, ram 16 gb y disco duro toshiba 1 Tera.
- Drone Phantom 4 Pro

Softwares

- ArcGIS 10.4
- Microsoft Office 2016
- Global Mapper v16.02
- Agisoft Photoscan 1.4.1.
- SAS planet
- Iber v2.4.3
- Google Earth Pro
- Autocad Civil 2017

3.3. PROCEDIMIENTO

La metodología que se utilizó se basa en caracterizar la microcuenca, que tiene como punto de descarga el puente Chinchimachay, perteneciente al Caserío el Molino – Huambocancha Baja- Cajamarca y utilizar el Método Racional para establecer el Caudal de Máxima avenida para diversos tiempos de retorno (T_r); asociados al riesgo de falla y vida útil ; seguidamente aguas abajo del puente en mención, se analizará el tramo de inundación por el río Mashcón al Caserío el Molino con ayuda del software Iber y Arcgis para así obtener la zonificación del área inundable del caserío.

a) Caracterización de la Cuenca de estudio

- Modelo de elevacion digital (DEM) y ortofoto

Para la delimitación de la cuenca se obtuvo un DEM descargado del satélite de la Nasa, el cual tiene una resolución de 12.5 m por pixel, encontrando mejor precisión que las curvas de nivel que se tienen de las cartas nacionales del INEGI. Así mismo con ayuda del software SASplanet, obtendremos una Ortofoto de la zona de estudio que nos ayudará a georreferenciar con mayor exactitud el punto emisor.

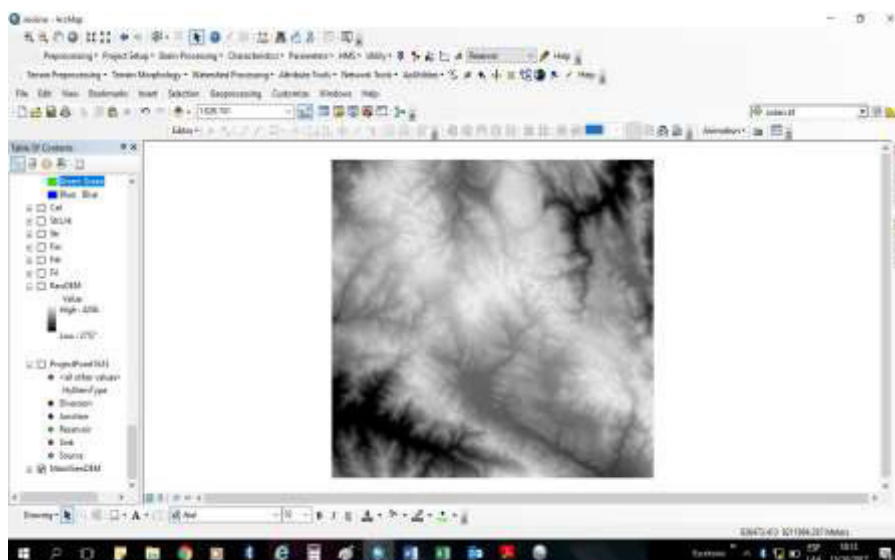


Figura N° 30. DEM de la Zona de estudio

- Remoción de depresiones

Para poder trabajar sin ningun inconveniente con el DEM, es necesario que eliminemos las depresiones o vacios, esto se realiza mediante un autoprosesamiento estableciendo un posible umbral promedio para los pixeles vecinos del DEM. Cuando este procedmiento haya rellenado las depresiones a traves de partes de relieve se creará un archivo "Fill". (Así lo denomina el software).

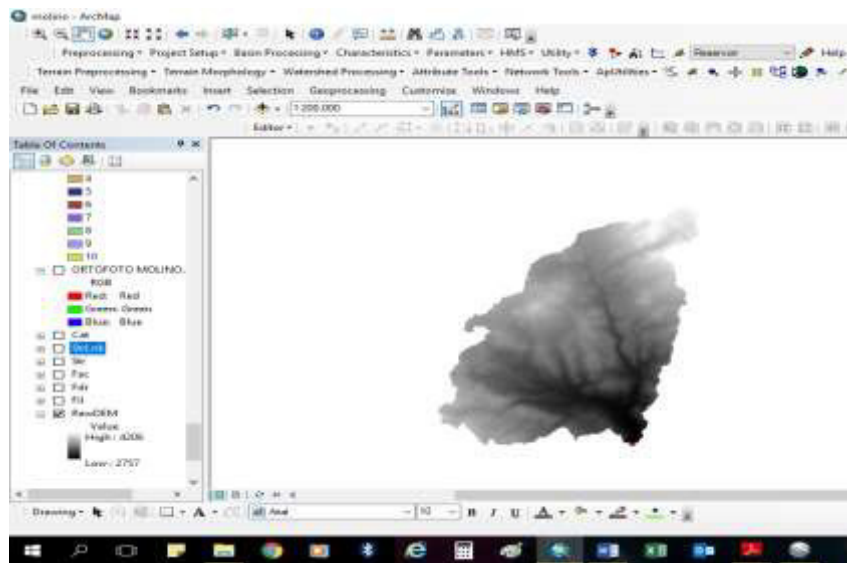


Figura N° 31. Uso de la herramienta Fill

- Dirección del flujo

Es necesario conocer la direccion de flujo de nuestra cuenca "Fdr"(denominado asi por el software), este parametro nos ayudará a calcular variables hidrológicas de interes, como lo son el area de drenaje de aguas arriba de cada íxel,nos ayudara a delinear las subcuencas, definirá la red de drenaje y determinará la longitud y pendiente de los tramos del río entre otros.

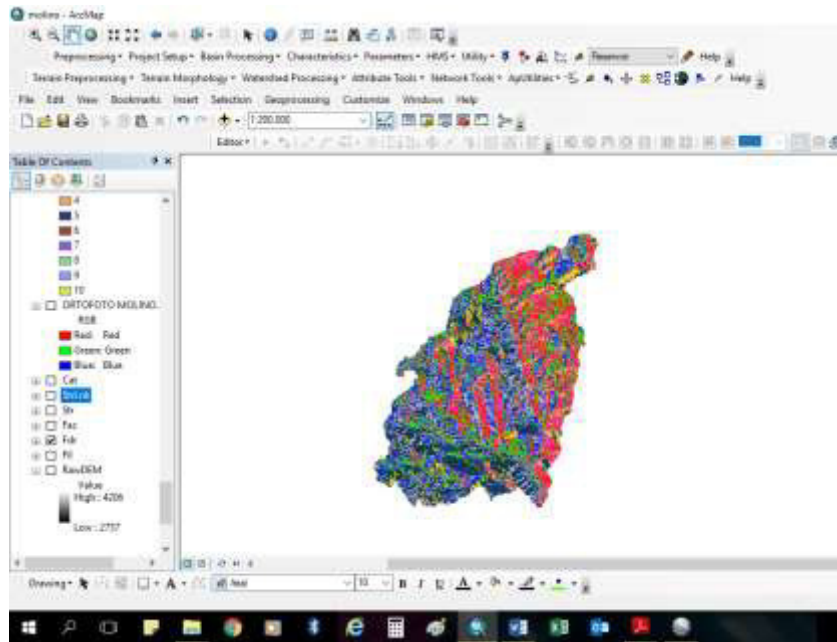


Figura N° 32. Uso de la herramienta Flow Direction

- Flujo acumulado

Ahora que tenemos la dirección del flujo, calculamos el área de drenaje de cada piel. Usando la herramienta Terrain Processing/Direction Flow. El resultado generará un archivo raster “Fac”.

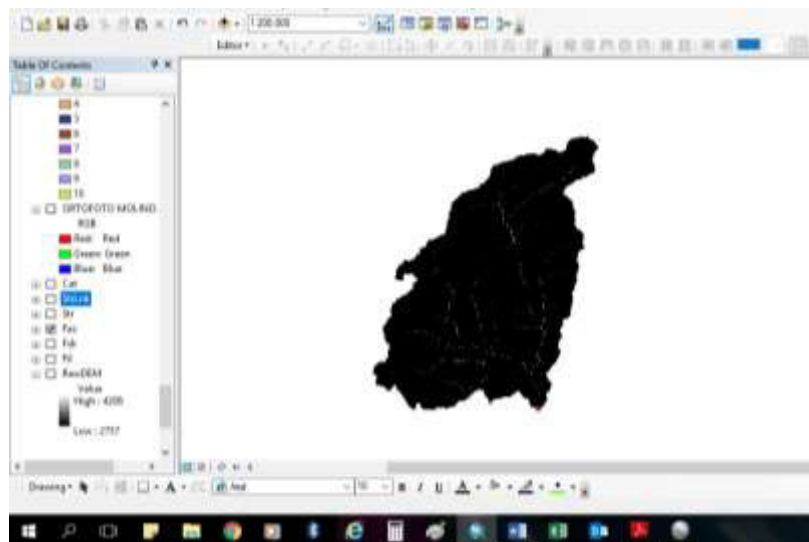


Figura N° 33. Uso de la herramienta Flow

- Red de drenaje

La red de Drenaje tiene como objetivo reclasificar con valores de uno pertenecan a la red; así se generará un archivo que tendrán un valor mayor que un umbral especificado.

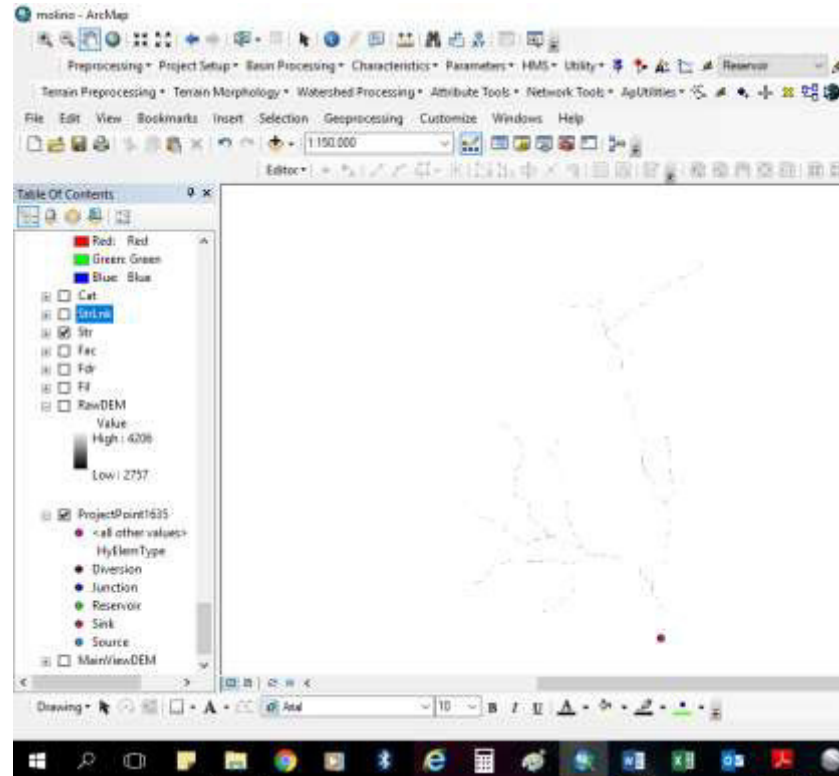


Figura N° 34. Red de drenaje

- Delimitación de la cuenca

Este paso se realizó la delimitación de nuestra cuenca de estudio, generando un polígono de la cuenca hidrográfica a partir de los raster obtenidos anteriormente (Fill, Fdr, Fac, Str). El punto de salida lo definimos en el puente Chinchimachay, el cual se georeferenció y fue de gran ayuda para que se genere la cuenca. Con la ayuda de de “Watershed” logramos delimitar la cuenca y las subcuencas de la zona de estudio.

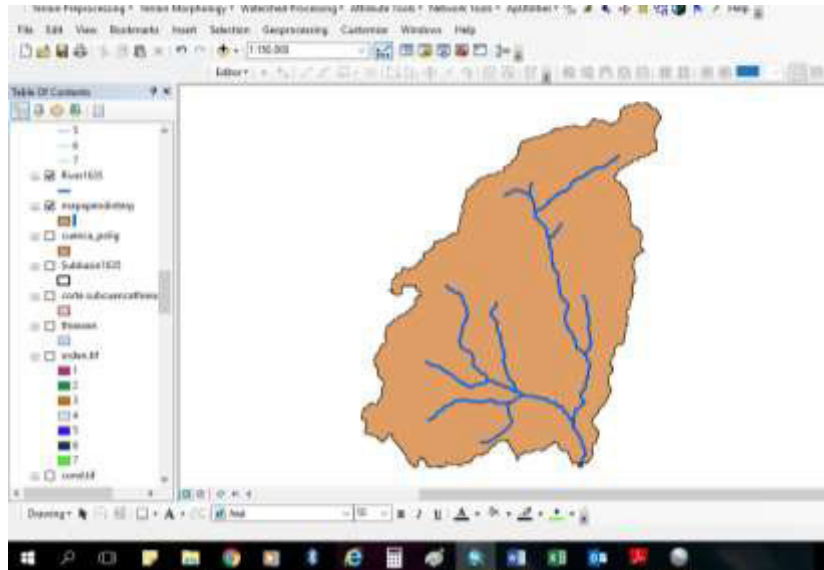


Figura N° 35. Delimitación de la Cuenca

a.1) Parámetros geomorfológicos de la cuenca en estudio:

Es necesario contar con la información de los parámetros que describen la estructura física y territorial con el fin de establecer posibilidades y limitaciones de los recursos naturales. varios de los parámetros nos ayudan a identificar peligros y vulnerabilidad frente a desastres naturales. A continuación, detallaremos algunos parámetros calculados, otros que se obtienen de las características de la cuenca se mostraran en los anexos de esta tesis.

- **Área de la Cuenca**

Se obtuvo el área de la cuenca, mediante el ArcGis 10.4 con la herramienta "Geometry". La cuenca en estudio tiene un área de: 151.77 km²

- **Longitud del Cauce Principal**

El cálculo de la longitud del cauce principal es de suma importancia; para el estudio de esta cuenca se realizó a través de la herramienta ArcHydro – "Longest flow path for catchments". La cuenca en estudio posee una longitud de: 23.79 km.

- **Pendiente Promedio de la cuenca**

La pendiente promedio de la cuenca en estudio se calculó a partir de una reclasificación por pendientes del MDE de la cuenca. Mediante el comando "Slope" en Surface Analysis se obtuvo un nuevo raster, el cual se reclasificó usando "Zonal Statistics as Table". El detalle del cálculo se presenta en los anexos de los cálculos de parámetros geomorfológicos de la cuenca. La cuenca en estudio posee una pendiente media del 27.38 %.

- **Altitud Media de la Cuenca.**

El valor que se encontró para nuestra cuenca en estudio es de: 3439.34 m.s.n.m.

- **Pendiente Media del cauce Principal.**

El valor calculado para esta cuenca es de 4.95 %. El cálculo se hizo mediante el método de Tylor y Shwarz, el procedimiento de cálculo se presenta en los anexos.

- **Tiempo de Concentración**

En esta tesis usaremos la fórmula de Teméz ya que a mayor tamaño mayor tiempo de concentración para las cuencas oval rectangulares como la que se estudió; para esta investigación el valor que se obtuvo es de 355.09 min.

b) Hidrología de la Cuenca

○ Transposición de INTENSIDADES MAXIMAS:

Se realizó la transposición de intensidades de la Estación Weberbauer a la altitud media de la microcuenca Mashcón en estudio, cuya altitud es: 3439.34 m.s.n.m.

Tabla N° 8: Tabla de intensidades transpuestas a la cuenca de estudio

INTENSIDADES MÁXIMAS EN LA MICROCUENCA						
m	Año	5 min.	10 min.	30 min.	60 min.	120 min.
1	1973	136.98	96.29	32.55	18.99	14.92
2	1974	99.00	78.66	46.11	24.41	25.77
3	1975	122.06	67.81	32.55	21.70	13.56
4	1976	92.22	85.44	50.18	25.77	12.21
5	1977	88.15	71.88	50.18	28.48	14.92
6	1978	35.26	32.55	28.48	16.27	8.14
7	1979	81.37	81.37	51.54	31.19	18.99
8	1980	99.03	81.51	45.84	28.59	12.59
9	1981	91.14	74.32	39.51	21.08	17.66
10	1982	119.74	101.92	50.45	31.33	18.00
11	1983	102.12	68.35	42.58	32.16	18.97
12	1984	152.98	97.38	37.43	21.20	13.29
13	1985	80.44	73.78	34.66	20.02	10.92
14	1986	114.73	88.70	40.84	21.16	11.16
15	1987	103.07	66.73	29.29	17.90	10.78
16	1988	95.48	71.61	31.19	18.70	10.65
17	1989	99.82	64.83	37.97	21.70	13.02
18	1990	151.35	101.72	51.45	31.19	16.27
19	1991	112.57	99.00	55.60	35.26	18.99
20	1992	75.95	52.89	25.77	13.56	6.78
21	1993	78.66	69.17	37.97	24.41	13.56
22	1994	124.08	87.04	49.12	25.82	17.51
23	1995	96.44	76.29	38.87	22.68	12.64
24	1996	110.26	81.66	44.00	24.25	15.08
25	1997	111.48	92.36	47.52	24.22	12.12
26	1998	124.77	89.97	55.06	36.75	18.31
27	1999	96.02	51.94	18.72	13.43	8.68
28	2000	63.47	43.33	23.41	13.75	6.89
29	2001	91.14	67.67	34.45	23.44	13.16

30	2002	38.24	27.94	18.72	11.80	5.97
31	2003	96.02	57.77	21.56	13.29	8.27
32	2004	114.73	114.73	44.75	25.36	12.75
33	2005	61.84	59.40	27.80	15.05	8.82
34	2006	40.69	40.69	20.34	13.97	9.36
35	2007	97.65	86.80	44.35	26.31	16.68
36	2008	63.74	45.08	30.92	18.53	13.34
37	2009	92.22	66.73	43.45	29.84	5.49
38	2010	117.18	52.21	41.59	27.50	14.77
39	2011	84.63	49.64	36.35	22.51	13.56
40	2012	86.80	57.23	32.01	20.61	9.22
41	2014	161.52	93.98	36.95	21.52	12.52
42	2015	135.62	86.65	37.00	21.56	13.41

○ **Aplicación del Modelo de Distribución Gumbel**

En la presente Tesis, se utilizó el modelo de distribución Gumbel, debido a que es el que mejor se ajusta a valores hidrológicos extremos y tiene mejores resultados para este tipo de estudio.

Tabla N° 9: Tabla de parámetros para Modelo estadístico Gumbel

PARAMETROS PARA MODELO GUMBEL					
PARÁMETRO	5 min	10 min	30 min	60 min	120 min
	máx.	máx.	máx.	máx.	máx.
Promedio	98.59	72.74	38.07	22.79	13.09
Desv. Estándar	28.49	20.16	10.04	6.21	4.18
α	24.87	17.59	8.76	5.42	3.65
U	85.04	63.16	33.30	19.84	11.10

○ **Prueba de Bondad de Ajuste – Smirnov- Kolmogorov:**

Se realizó la prueba de Smirnov- Kolmogorov para todos los tiempos estándares, 5, 10,30,60 y 120 min. En esta tesis el modelo se ajustó con un nivel de significancia del 95%.

Tabla N° 10: Tabla de Prueba de Bondad de ajuste de Smirnov-Kolmogorov

PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE DE SMIRNOV- KOLMOGOROV					
Duración de intensidad	5	10	30	60	120
Δc	0.132	0.116	0.098	0.102	0.121
Δt	0.205	0.205	0.205	0.205	0.205
$\Delta c < \Delta t$, entonces los datos se ajustan al modelo de Gumbel, con un nivel de significancia del 95%	Si se Ajusta	Si se Ajusta	Si se Ajusta	Si se Ajusta	Si se Ajusta

c) Intensidades máximas de precipitación para diversos tiempos de retorno “Tr” asociados a los parametros de vida útil de una estructura “N” y riesgo de falla “J”.

En la presente investigación es necesario conocer las intensidades para los parámetros de Tr ; N y J, es así que se muestra la tabla N° 11.

Tabla N° 11: Tabla de Intensidades máximas asociada a Tr, N y J

N	J (%)	Tr	Intensidades máximas (mm/h)				
		(Años)	5 min	10 min	30 min	60 min	120 min
5	0	∞	-	-	-	-	-
	1%	498.00	239.45	172.39	87.72	53.51	33.77
	2%	247.99	222.09	160.11	81.6	49.72	31.22
	5%	97.98	198.92	143.72	73.44	44.67	27.82
	10%	47.96	181.02	131.05	67.13	40.77	25.19
	15%	31.27	170.24	123.43	63.33	38.42	23.61
	20%	22.91	162.36	117.85	60.55	36.7	22.45
	22%	20.63	159.69	115.96	59.61	36.11	22.06
	25%	17.89	156.04	113.38	58.32	35.32	21.52
	30%	14.52	150.7	109.6	56.44	34.15	20.74
	40%	10.30	141.77	103.28	53.29	32.21	19.43
	50%	7.73	134.18	97.91	50.62	30.55	18.31
	60%	5.97	127.24	93	48.17	29.04	17.29
	70%	4.67	120.45	88.2	45.78	27.56	16.3
	80%	3.63	113.23	83.1	43.23	25.98	15.24
90%	2.71	104.32	76.8	40.09	24.04	13.93	
100%	1.00						

Continación de tabla N° 11

10		∞	-	-	-	-	-
	1%	995.49	256.69	184.58	93.8	57.26	36.3
	2%	495.48	239.33	172.3	87.68	53.48	33.75
	5%	195.46	216.16	155.91	79.51	48.43	30.35
	10%	95.41	198.26	143.25	73.2	44.52	27.72
	15%	62.03	187.48	135.62	69.4	42.17	26.14
	20%	45.32	179.6	130.05	66.63	40.45	24.98
	22%	40.75	176.93	128.16	65.68	39.87	24.59
	25%	35.26	173.28	125.58	64.4	39.08	24.05
	30%	28.54	167.93	121.8	62.51	37.91	23.27
	40%	20.08	159	115.48	59.37	35.96	21.96
	50%	14.93	151.41	110.11	56.69	34.31	20.84
	60%	11.42	144.47	105.2	54.25	32.8	19.82
	70%	8.82	137.68	100.39	51.85	31.32	18.83
	80%	6.73	130.47	95.29	49.31	29.74	17.77
90%	4.86	121.56	88.99	46.17	27.8	16.46	
100%	1.00	-	-	-	-	-	
25	0	∞	-	-	-	-	-
	1%	2487.98	279.48	200.7	101.83	62.23	39.64
	2%	1237.96	262.11	188.42	95.71	58.45	37.1
	5%	487.89	238.94	172.03	87.54	53.39	33.69
	10%	237.78	221.04	159.37	81.23	49.49	31.07
	15%	154.33	210.27	151.74	77.43	47.14	29.48
	20%	112.54	202.38	146.16	74.66	45.42	28.33
	22%	101.12	199.71	144.27	73.71	44.84	27.93
	25%	87.40	196.07	141.7	72.43	44.05	27.4
	30%	70.59	190.72	137.91	70.55	42.88	26.61
	40%	49.44	181.79	131.6	67.4	40.93	25.3
	50%	36.57	174.2	126.23	64.72	39.28	24.19
	60%	27.79	167.26	121.32	62.28	37.76	23.17
	70%	21.27	160.47	116.51	59.88	36.28	22.17
	80%	16.04	153.25	111.41	57.34	34.71	21.11
90%	11.37	144.34	105.11	54.2	32.77	19.81	
100%	1.00						
50	0	∞	-	-	-	-	-
	1%	4975.46	296.71	212.89	107.9	65.99	42.18
	2%	2475.42	279.35	200.61	101.78	62.2	39.63
	5%	975.29	256.18	184.22	93.62	57.15	36.22
	10%	475.06	238.28	171.56	87.31	53.25	33.6
	15%	308.16	227.5	163.93	83.51	50.9	32.01
20%	224.57	219.62	158.36	80.73	49.18	30.86	

Continuación de la tabla N° 11

50	22%	201.74	216.95	156.47	79.79	48.6	30.46
	25%	174.30	213.3	153.89	78.5	47.8	29.93
	30%	140.68	207.96	150.11	76.62	46.64	29.14
	40%	98.38	199.02	143.79	73.47	44.69	27.83
	50%	72.64	191.43	138.42	70.8	43.04	26.72
	60%	55.07	184.49	133.51	68.35	41.52	25.7
	70%	42.03	177.7	128.71	65.96	40.04	24.7
	80%	31.57	170.49	123.6	63.41	38.47	23.64
	90%	22.22	161.58	117.3	60.28	36.53	22.34
	100%	1.00					
100	0	∞	-	-	-	-	-
	1%	9950.42	313.95	225.09	113.98	69.75	44.71
	2%	4950.33	296.59	212.8	107.86	65.96	42.16
	5%	1950.07	273.42	196.41	99.69	60.91	38.76
	10%	949.62	255.52	183.75	93.38	57.01	36.13
	15%	615.81	244.74	176.13	89.58	54.66	34.55
	20%	448.64	236.86	170.55	86.81	52.94	33.39
	22%	402.98	234.18	168.66	85.86	52.36	33.00
	25%	348.11	230.54	166.08	84.58	51.56	32.46
	30%	280.87	225.19	162.3	82.7	50.4	31.68
	40%	196.26	216.26	155.98	79.55	48.45	30.36
	50%	144.77	208.67	150.61	76.87	46.79	29.25
	60%	109.64	201.73	145.7	74.43	45.28	28.23
	70%	83.56	194.94	140.9	72.03	43.8	27.23
80%	62.63	187.72	135.79	69.49	42.23	26.17	
90%	43.93	178.82	129.49	66.35	40.28	24.87	
100%	1.00						

d) Ecuaciones de Intensidades para los parámetros de N=5,10, 25, 50; 100 años y J=22% asociadas al Tc.

A continuación la tabla N°12 , nos muestra el resumen de las ecuaciones de las curvas IDF que se muestran en los anexos de la presente investigación, las cuales permitieron calcular el valor de las intensidades reemplazando el tiempo de concentración de la cuenca en estudio, que es de 355.09 min.

Tabla N° 12: Ecuaciones de Intensidades en funcion de Tr, N y J

Tr (Años)	N (Años)	J (%)	ECUACIÓN DE INTENSIDAD	INTENSIDAD PARA "Tc= 355.09 min" (mm/h)
20.63	5	22%	$I=469.41(Tc)^{-0.628}$	11.75
40.75	10	22%	$I=517.56(Tc)^{-0.626}$	13.11
101.12	25	22%	$I=581.21(Tc)^{-0.625}$	14.80
201.74	50	22%	$I=629.39(Tc)^{-0.624}$	16.13
402.98	100	22%	$I=677.41(Tc)^{-0.624}$	17.36

e) Cálculo de Coeficiente de Escorrentía.

Para obtener un coeficiente de escorrentía mucho más aproximado, se combinó en el software ArcGis los "shapes" de cobertura de suelo y tipo de suelo obtenidos del ZEE Cajamarca y el mapa de pendientes de la cuenca, este último con la clasificación del manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del MTC 2011, obteniendo así la siguiente tabla, con la cual calcularemos el coeficiente de escorrentía (Ce) ponderado para la cuenca en estudio.

Para esta investigación se obtuvo el valor ponderado del Coeficiente de escorrentía de 0,542; el detalle del cálculo se muestra en los anexos de esta tesis.

f) Cálculo de Caudales Máximos en función del riesgo de falla, vida útil y tiempo de retorno.

En la presente tesis para realizar el cálculo de los caudales máximos se utilizó el Método Racional descrito en las bases teoricas de esta tesis. Se ha considerado relacionar que los caudales máximos están ligados al tiempo de retorno, la probabilidad de acierto de predicción y los años que se pretende proteger la estructura, como se puede observar en la Tabla 14.

Tabla N° 13: Caudales máximos en función del Tr,N y J

N	J (%)	Tr (Años)	Intensidades máximas (mm/h)					I = Tc (min)	Ce	Area (Has)	Qmáx. (m3/s)
			5	10	30	60	120				
5	0	∞	-	-	-	-	-				
	1%	498.00	239.45	172.39	87.72	53.51	33.77	17.84	0.524	15176.86	394.06
	2%	247.99	222.09	160.11	81.6	49.72	31.22	16.49	0.524	15176.86	364.32
	5%	97.98	198.92	143.72	73.44	44.67	27.82	14.75	0.524	15176.86	325.76
	10%	47.96	181.02	131.05	67.13	40.77	25.19	13.39	0.524	15176.86	295.88
	15%	31.27	170.24	123.43	63.33	38.42	23.61	12.56	0.524	15176.86	277.40
	20%	22.91	162.36	117.85	60.55	36.7	22.45	12.00	0.524	15176.86	265.18
	22%	20.63	159.69	115.96	59.61	36.11	22.06	11.75	0.524	15176.86	259.51
	25%	17.89	156.04	113.38	58.32	35.32	21.52	11.49	0.524	15176.86	253.90
	30%	14.52	150.70	109.6	56.44	34.15	20.74	11.12	0.524	15176.86	245.64
	40%	10.30	141.77	103.28	53.29	32.21	19.43	10.43	0.524	15176.86	230.49
	50%	7.73	134.18	97.91	50.62	30.55	18.31	9.85	0.524	15176.86	217.61
	60%	5.97	127.24	93	48.17	29.04	17.29	9.32	0.524	15176.86	205.83
	70%	4.67	120.45	88.2	45.78	27.56	16.3	8.80	0.524	15176.86	194.37
	80%	3.63	113.23	83.1	43.23	25.98	15.24	8.26	0.524	15176.86	182.45
90%	2.71	104.32	76.8	40.09	24.04	13.93	7.61	0.524	15176.86	168.16	
100%	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Continuación de Tabla N° 13

10	0	∞	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1%	995.49	256.69	184.58	93.8	57.26	36.3	18.15	0.524	15176.86	401.01
	2%	495.48	239.33	172.3	87.68	53.48	33.75	17.73	0.524	15176.86	391.58
	5%	195.46	216.16	155.91	79.51	48.43	30.35	16.07	0.524	15176.86	354.92
	10%	95.41	198.26	143.25	73.2	44.52	27.72	14.70	0.524	15176.86	324.74
	15%	62.03	187.48	135.62	69.4	42.17	26.14	13.85	0.524	15176.86	305.97
	20%	45.32	179.60	130.05	66.63	40.45	24.98	13.29	0.524	15176.86	293.70
	22%	40.75	176.93	128.16	65.68	39.87	24.59	13.11	0.524	15176.86	289.51
	25%	35.26	173.28	125.58	64.4	39.08	24.05	12.77	0.524	15176.86	282.17
	30%	28.54	167.93	121.8	62.51	37.91	23.27	12.40	0.524	15176.86	273.84
	40%	20.08	159.00	115.48	59.37	35.96	21.96	11.70	0.524	15176.86	258.45
	50%	14.93	151.41	110.11	56.69	34.31	20.84	11.17	0.524	15176.86	246.76
	60%	11.42	144.47	105.2	54.25	32.8	19.82	10.62	0.524	15176.86	234.68
	70%	8.82	137.68	100.39	51.85	31.32	18.83	10.15	0.524	15176.86	224.21
	80%	6.73	130.47	95.29	49.31	29.74	17.77	9.59	0.524	15176.86	211.94
90%	4.86	121.56	88.99	46.17	27.8	16.46	8.93	0.524	15176.86	197.22	
100%	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Continuación de Tabla N° 13

25	0	∞	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1%	2487.98	279.48	200.7	101.83	62.23	39.64	20.85	0.524	15176.86	460.50
	2%	1237.96	262.11	188.42	95.71	58.45	37.1	19.47	0.524	15176.86	430.10
	5%	487.89	238.94	172.03	87.54	53.39	33.69	17.70	0.524	15176.86	391.00
	10%	237.78	221.04	159.37	81.23	49.49	31.07	16.42	0.524	15176.86	362.64
	15%	154.33	210.27	151.74	77.43	47.14	29.48	15.56	0.524	15176.86	343.62
	20%	112.54	202.38	146.16	74.66	45.42	28.33	14.99	0.524	15176.86	331.18
	22%	101.12	199.71	144.27	73.71	44.84	27.93	14.80	0.524	15176.86	327.02
	25%	87.40	196.07	141.7	72.43	44.05	27.4	14.54	0.524	15176.86	321.27
	30%	70.59	190.72	137.91	70.55	42.88	26.61	14.08	0.524	15176.86	311.06
	40%	49.44	181.79	131.6	67.4	40.93	25.3	13.45	0.524	15176.86	297.12
	50%	36.57	174.20	126.23	64.72	39.28	24.19	12.91	0.524	15176.86	285.23
	60%	27.79	167.26	121.32	62.28	37.76	23.17	12.35	0.524	15176.86	272.81
	70%	21.27	160.47	116.51	59.88	36.28	22.17	11.80	0.524	15176.86	260.73
80%	16.04	153.25	111.41	57.34	34.71	21.11	11.30	0.524	15176.86	249.61	
90%	11.37	144.34	105.11	54.2	32.77	19.81	10.61	0.524	15176.86	234.43	
100%	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Continuación de Tabla N° 13

50	0	∞	-	-	-	-	-				
	1%	4975.46	296.71	212.89	107.9	65.99	42.18	22.09	0.524	15176.86	488.01
	2%	2475.42	279.35	200.61	101.78	62.2	39.63	20.83	0.524	15176.86	460.23
	5%	975.29	256.18	184.22	93.62	57.15	36.22	19.05	0.524	15176.86	420.73
	10%	475.06	238.28	171.56	87.31	53.25	33.6	17.65	0.524	15176.86	389.90
	15%	308.16	227.50	163.93	83.51	50.9	32.01	16.88	0.524	15176.86	372.89
	20%	224.57	219.62	158.36	80.73	49.18	30.86	16.13	0.524	15176.86	356.22
	22%	201.74	216.95	156.47	79.79	48.6	30.46	16.13	0.524	15176.86	356.22
	25%	174.30	213.30	153.89	78.5	47.8	29.93	15.86	0.524	15176.86	350.42
	30%	140.68	207.96	150.11	76.62	46.64	29.14	15.39	0.524	15176.86	340.00
	40%	98.38	199.02	143.79	73.47	44.69	27.83	14.75	0.524	15176.86	325.94
	50%	72.64	191.43	138.42	70.8	43.04	26.72	14.21	0.524	15176.86	313.98
	60%	55.07	184.49	133.51	68.35	41.52	25.7	13.64	0.524	15176.86	301.31
	70%	42.03	177.70	128.71	65.96	40.04	24.7	13.16	0.524	15176.86	290.74
80%	31.57	170.49	123.6	63.41	38.47	23.64	12.58	0.524	15176.86	277.82	
90%	22.22	161.58	117.3	60.28	36.53	22.34	11.95	0.524	15176.86	263.95	
100%	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Continuación de Tabla N° 13

100	0	∞	-	-	-	-	-				
	1%	9950.42	313.95	225.09	113.98	69.75	44.71	23.34	0.524	15176.86	515.62
	2%	4950.33	296.59	212.8	107.86	65.96	42.16	22.08	0.524	15176.86	487.83
	5%	1950.07	273.42	196.41	99.69	60.91	38.76	20.28	0.524	15176.86	448.09
	10%	949.62	255.52	183.75	93.38	57.01	36.13	19.00	0.524	15176.86	419.62
	15%	615.81	244.74	176.13	89.58	54.66	34.55	18.22	0.524	15176.86	402.46
	20%	448.64	236.86	170.55	86.81	52.94	33.39	17.55	0.524	15176.86	387.65
	22%	402.98	234.18	168.66	85.86	52.36	33	17.36	0.524	15176.86	383.40
	25%	348.11	230.54	166.08	84.58	51.56	32.46	17.10	0.524	15176.86	377.68
	30%	280.87	225.19	162.3	82.7	50.4	31.68	16.71	0.524	15176.86	369.18
	40%	196.26	216.26	155.98	79.55	48.45	30.36	16.08	0.524	15176.86	355.12
	50%	144.77	208.67	150.61	76.87	46.79	29.25	15.44	0.524	15176.86	341.09
	60%	109.64	201.73	145.7	74.43	45.28	28.23	14.95	0.524	15176.86	330.18
	70%	83.56	194.94	140.9	72.03	43.8	27.23	14.46	0.524	15176.86	319.53
80%	62.63	187.72	135.79	69.49	42.23	26.17	13.87	0.524	15176.86	306.37	
90%	43.93	178.82	129.49	66.35	40.28	24.87	13.24	0.524	15176.86	292.44	
100%	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

g) Resumen de caudales a modelar

En la presente investigación modelaremos los escenarios de 05 caudales con tiempos de retorno asociados al riesgo de falla (J %), vida útil de protección (N), tomando como constante el riesgo de falla de de 22%, el cual en el manual de Hidraulica y Drenaje del MTC, es un riesgo asumido para obras hidraulicas de defensas ribereñas, las cuales estan relacionadas directamente con inundaciones.

Tabla N° 14: Resumen de Caudales

N (años)	J (%)	Tr (años)	Qmáx (m3/s)
5	22	20.63	259.51
10	22	40.75	289.51
25	22	101.12	327.02
50	22	201.74	356.22
100	22	402.98	383.40

h) Topografía de la Zona de Estudio

La topografía de la zona de estudio, “El Caserío el Molino” y el tramo del río Mashcón, se realizó con la ayuda de un Drone DJI Phantom 4 Pro, obteniendo así un un detalle topografico mucho mas acertado de la zona. El producto del levantamiento topográfico es un modelo digital de terreno, el cual se procesó en los softwares: Global Mapper , Arcgis 10.4 para obtener un archivo ascii que fue el insumo para la modelación hidráulica en Iber.



Figura N° 36. Inicio del Levantamiento en el punto de descarga

En la figura N° 36. Se observa el lugar de inicio del levantamiento básicamente el tramo del Río Mashcón a estudiar.

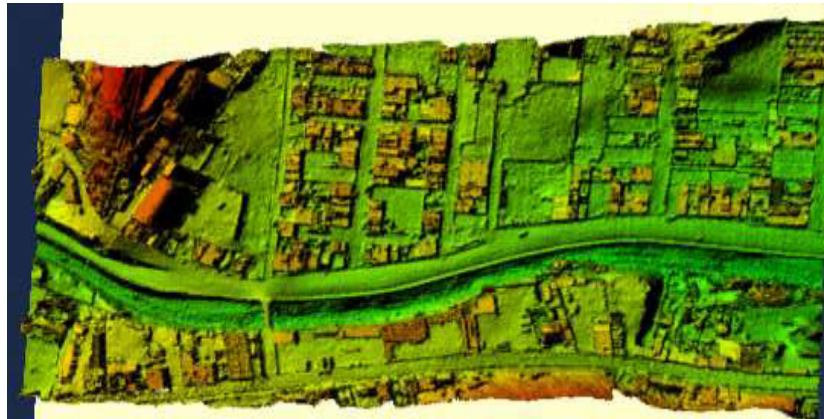


Figura N° 37. Modelo digital del área levantada en Global Mapper.

En la figura N° 37 Se puede observar el Modelo Digital en extensión .tiff , en el software Global Mapper, topografía en excelente calidad con resolución de 0.015m/pixel , de la zona de estudio.

i) Características Generales del tramo de río en estudio

El tramo de río en estudio, pertenece a un río de comportamiento torrente, a un río maduro y a un tipo de ríos aluviales ya que por él discurren materiales sedimentarios y que contribuyen a generar llanuras de inundación en presencia de máximas avenidas

j) Modelamiento Hidráulico

Para Realizar el Modelamiento Hidráulico, vamos a usar el software Iber V2.4.3, al cual vamos a alimentar con la información hidrológica calculada. A continuación, los pasos a seguir:

- **Creación de la Geometría del Modelo:** Para crear la geometría podemos usar el software Autocad 2017, en el cual se puede realizar las delimitaciones de las zonas como, cauce, suelo desnudo, calles, zona agrícolas, lotizaciones, etc. Esta información se exporta a formato .dxf para ser importado luego a Iber.

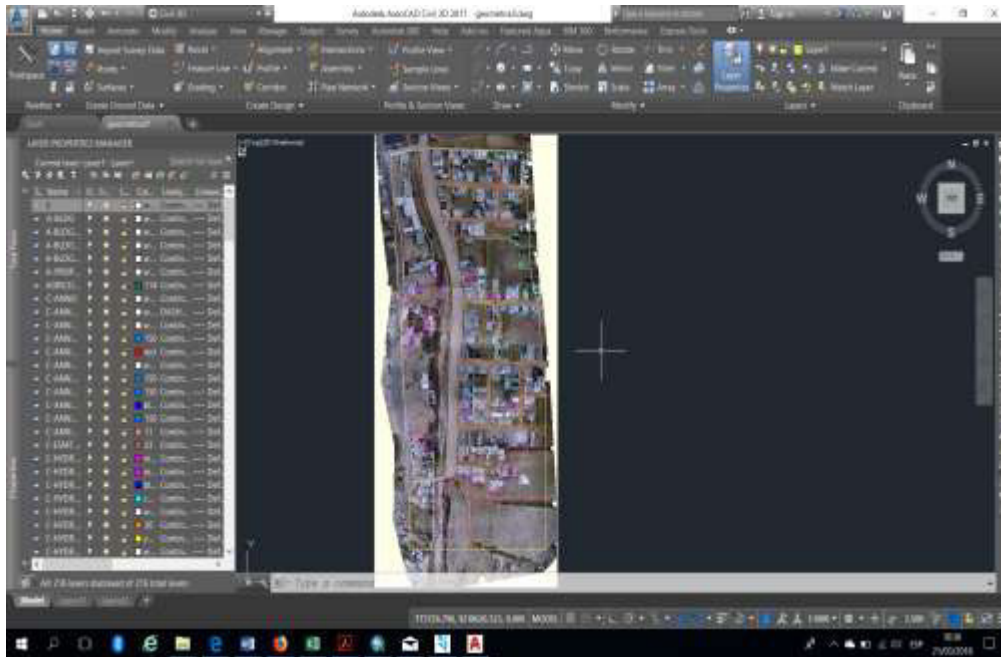


Figura N° 38. Creación de la Geometría del Modelo

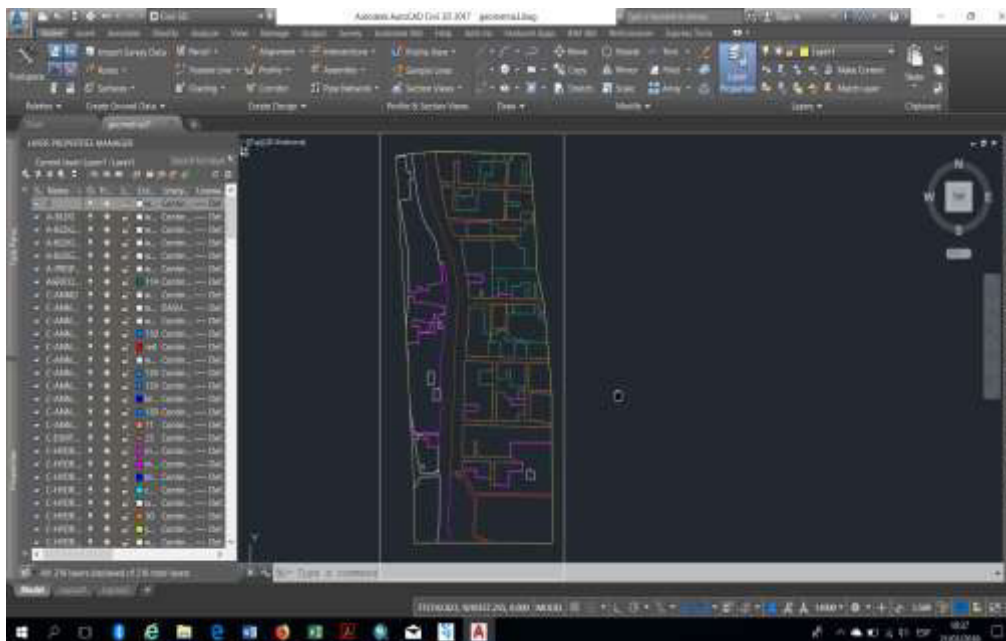


Figura N° 39. Creación de la Geometría del Modelo

- **Importación de la Geometría del Modelo:** En iber vamos a la Opcion Importar DXF, y asi obtendremos nuestra geometria con la cual se generó las superficies para el posterior mallado.

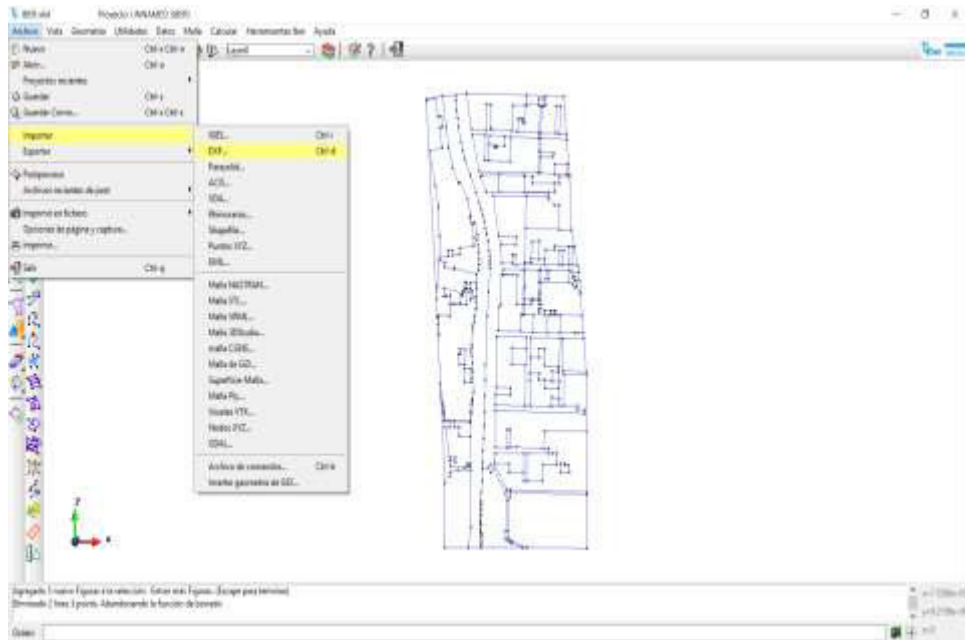


Figura N° 40. Importando la Geometría del Modelo

- **Creación de superficies del Modelo:** En esta tesis se ha creado la superficie del modelo sin las casas, para poder generar la malla por sectores.

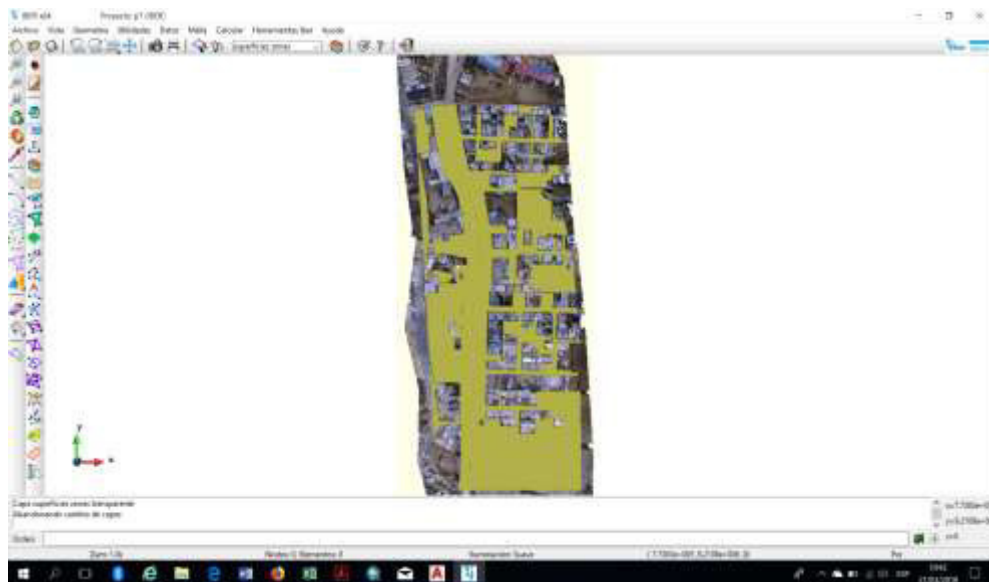


Figura N° 41. Creación de superficies del Modelo

- **Mallado del Modelo:** En la presente investigación se mallará el modelo en 3 zonas, cauce que tiene un numero de malla de 2, la superficie a la parte izquierda que tiene un numero de malla de 2.5 y la zona de la derecha que es básicamente hacia donde se evalua la inundacion, se le colocará un numero de malla de 1.5. Estos numeros de malla los asume el proyectista.

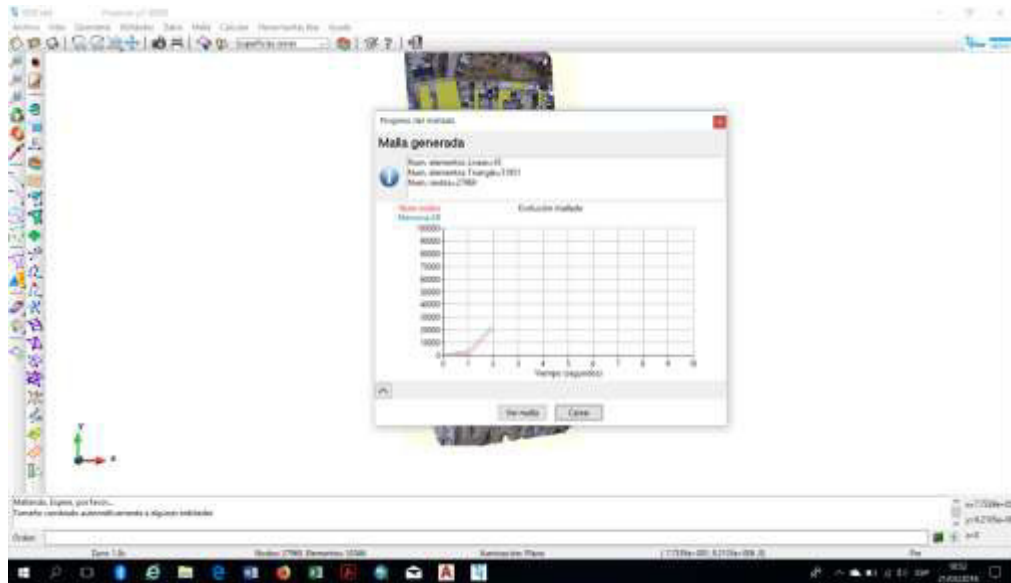


Figura N° 42. Generar la malla en el Modelo

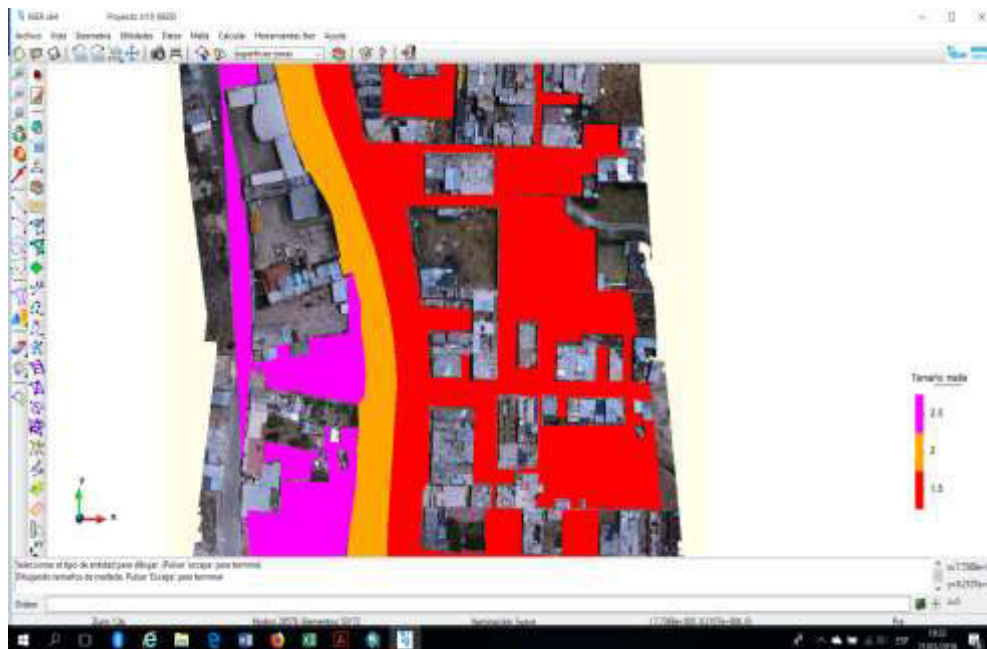


Figura N° 43. Número de malla en el Modelo

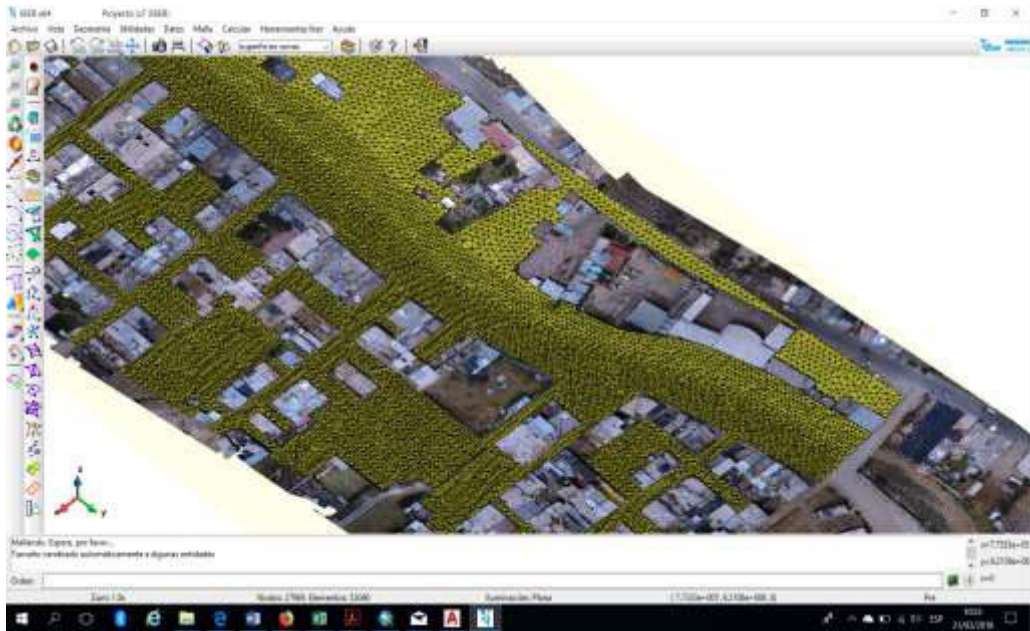


Figura N° 44. Creación de la Malla en el modelo

- **Asignación de Elevación del Modelo:** En la presente investigación se asignó la elevación con la información topográfica que se tiene en formato .tif, la cual tiene una excelente resolución de 0.2 m/píxel; esto permitió mejorar el performance del modelo.

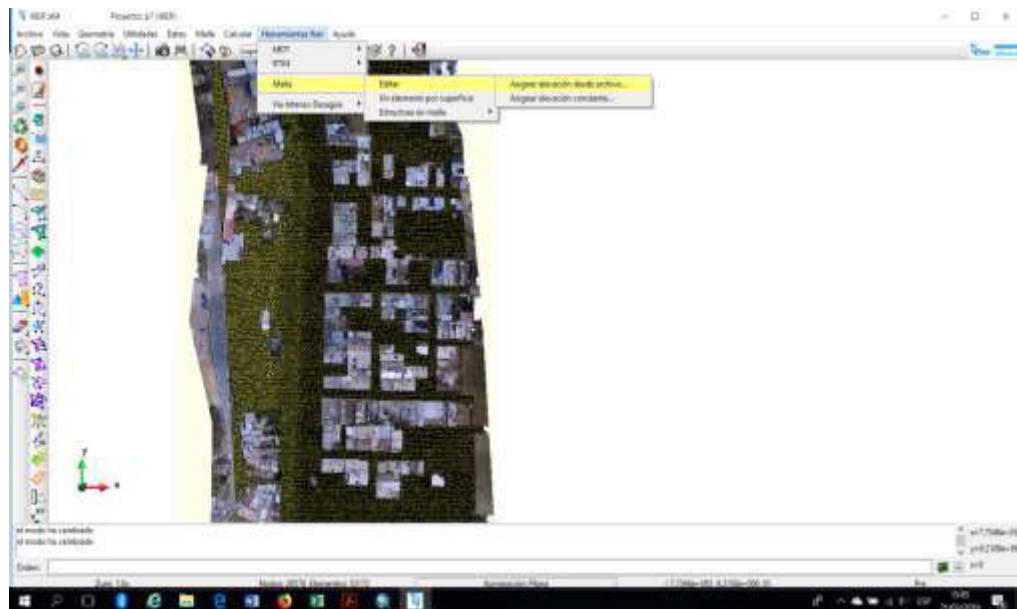


Figura N° 45. Asignación de elevación al modelo

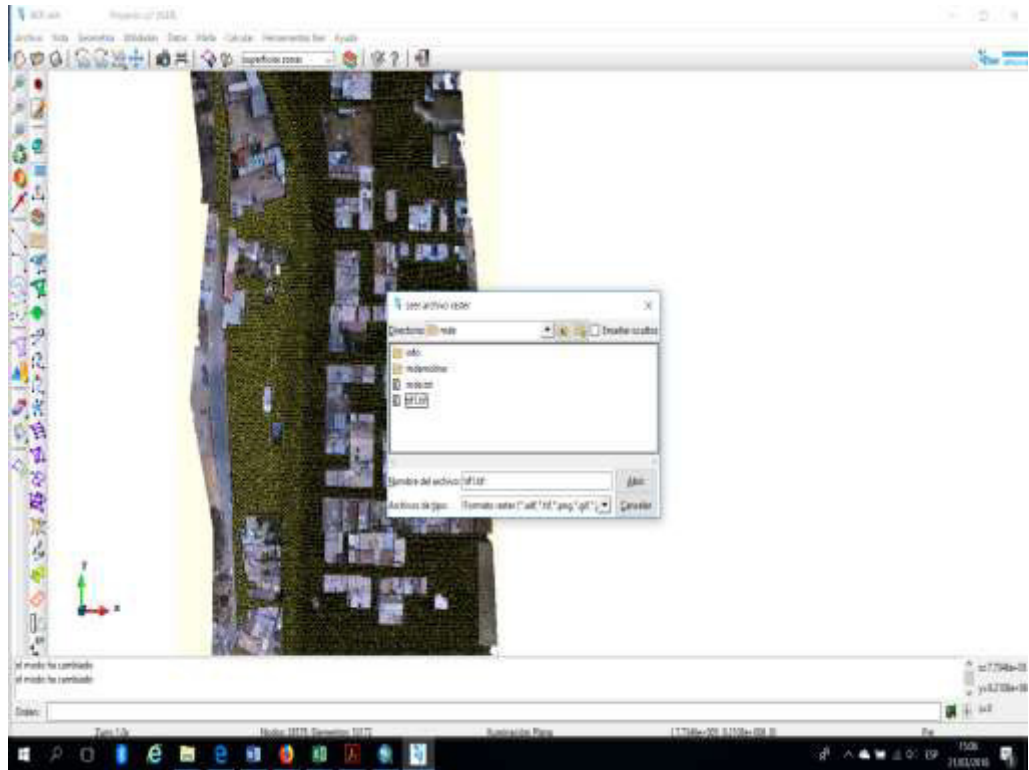


Figura N° 46. Asignación de elevación del modelo a través de DEM

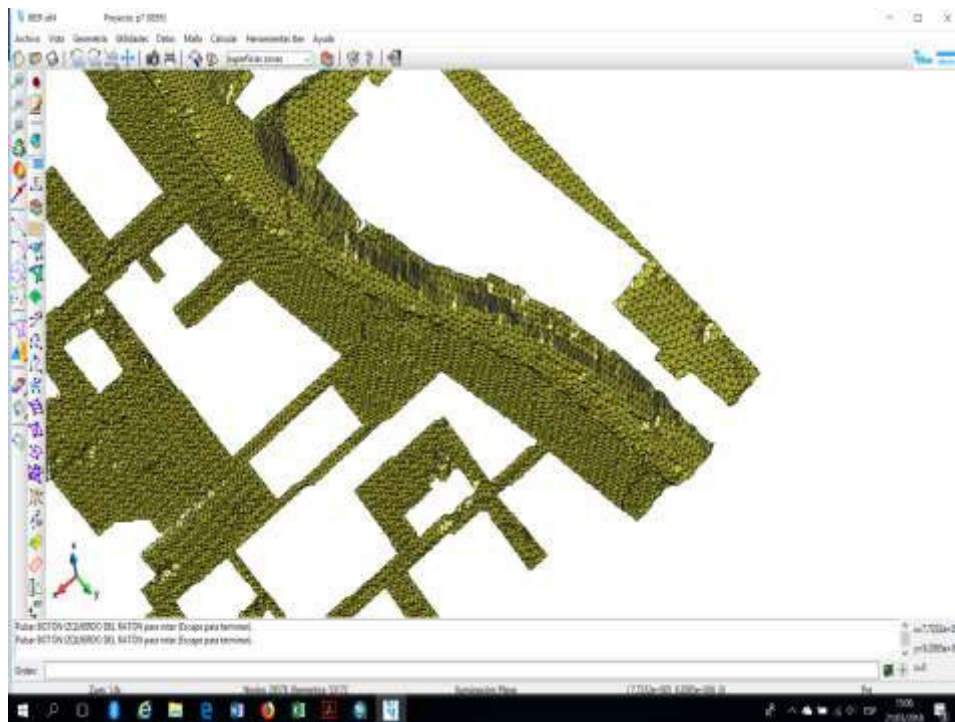


Figura N° 47. Visualización del modelo con elevación asignada

- **Asignación de Rugosidades en el Modelo:** En la presente tesis se asignó las rugosidades de manera automática a través de un archivo de formato ascii el cual se generó en Arcgis 10.4. Las rugosidades que se tomaron para esta tesis fueron las de las tablas de Vente Chow (tabla N° 6) y del Manual para el diseño de Carreteras no Pavimentadas de Bajo volumen de Tránsito, MTC 2008., las cuales se detallaron en el de marco teórico de esta investigación. En Iber se creó las nuevas rugosidades para que el software las pueda leer.

En el modelo de la zona de estudio tenemos las siguientes rugosidades:

- Suelo: Se llamó así al suelo desnudo dentro del modelo, con una rugosidad de 0.030, este valor se tomó de la tabla N° 6 de esta tesis.
- Agrícola: Se denominó así al suelo que tuvo algunos cultivos de pequeñas alturas dentro de la zona de estudio, el valor de la rugosidad para este suelo fue de 0.025, este valor se tomó de la tabla N°6 de esta tesis.
- Calles: Se denominó así al suelo de las calles de la zona de estudio las cuales son de afirmado sin revestir, se consideró un valor de 0.027 tomado del Manual para el diseño de Carreteras no Pavimentadas de Bajo volumen de Tránsito, MTC 2008.
- Cauce: Se denominó así al valor que tomará el río dentro del modelo, el valor se consideró 0.045 tomado de la tabla N°6 de esta tesis.

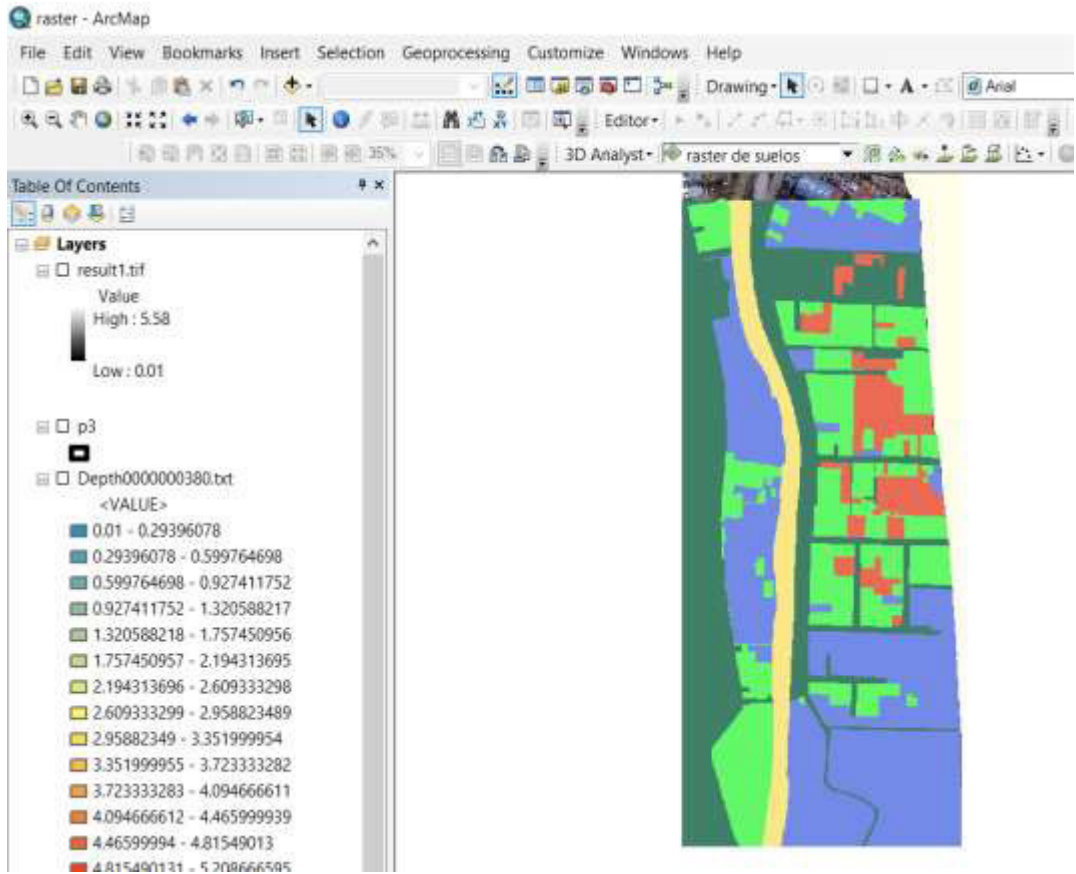


Figura N° 48. Creación de Rugosidades

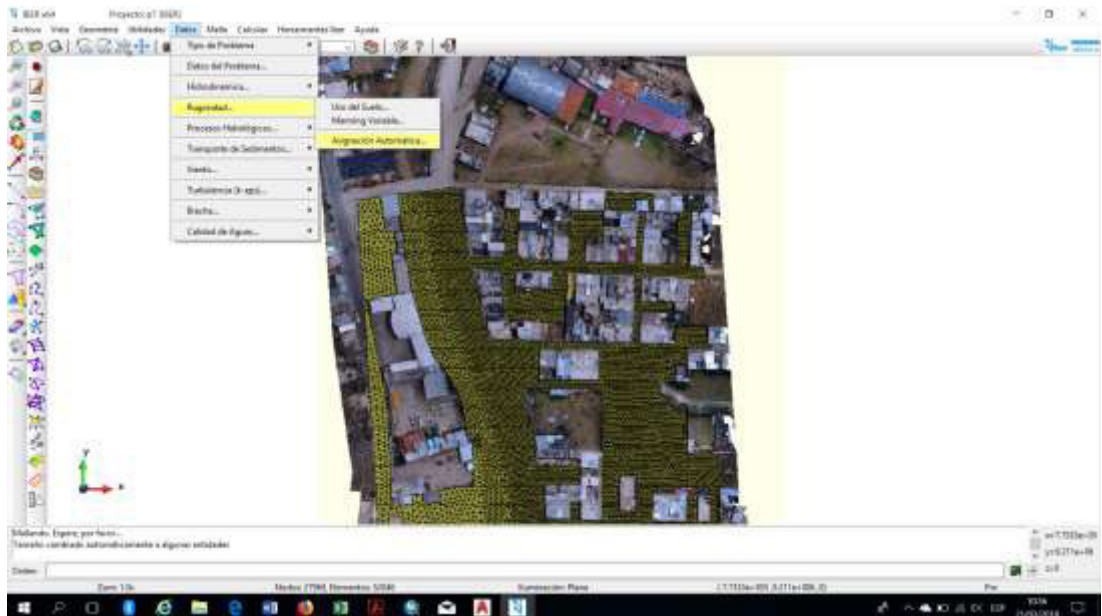


Figura N° 49. Asignación de rugosidades al modelo

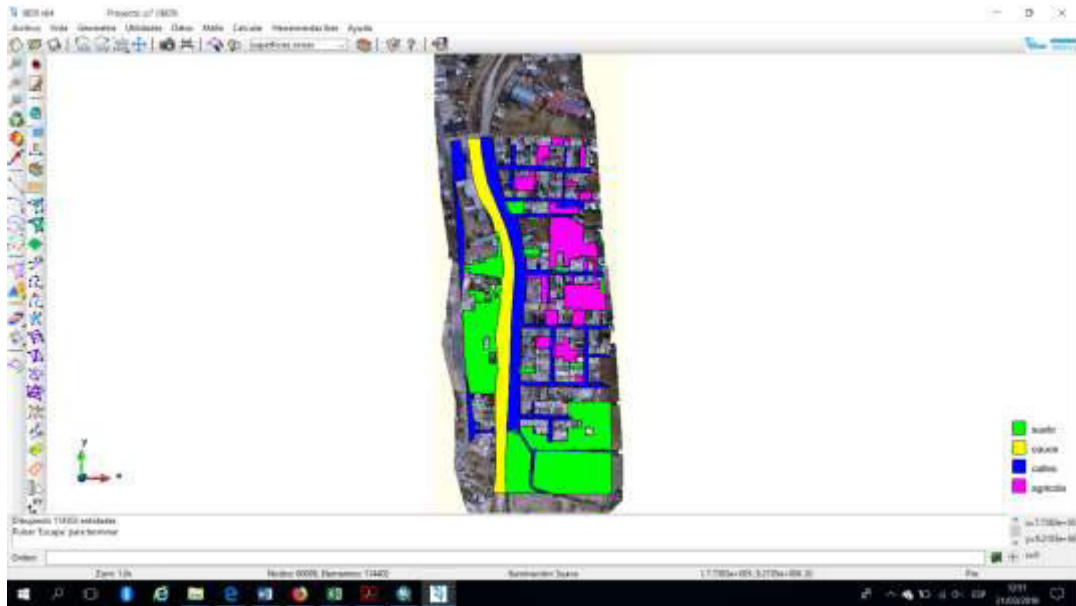


Figura N° 50. Visualización de rugosidades asignadas

- Asignación de Condiciones de Contorno en el Modelo:** Para poder realizar el modelo, se usó la opción “Hidrodinamica” de Iber, donde se pudo ingresar los datos de “Entrada” que son los caudales calculados para cada tiempo de retorno a estudiar y en la salida, básicamente se asignó las líneas por donde puede discurrir el caudal de ingreso después de afectar la zona de estudio.

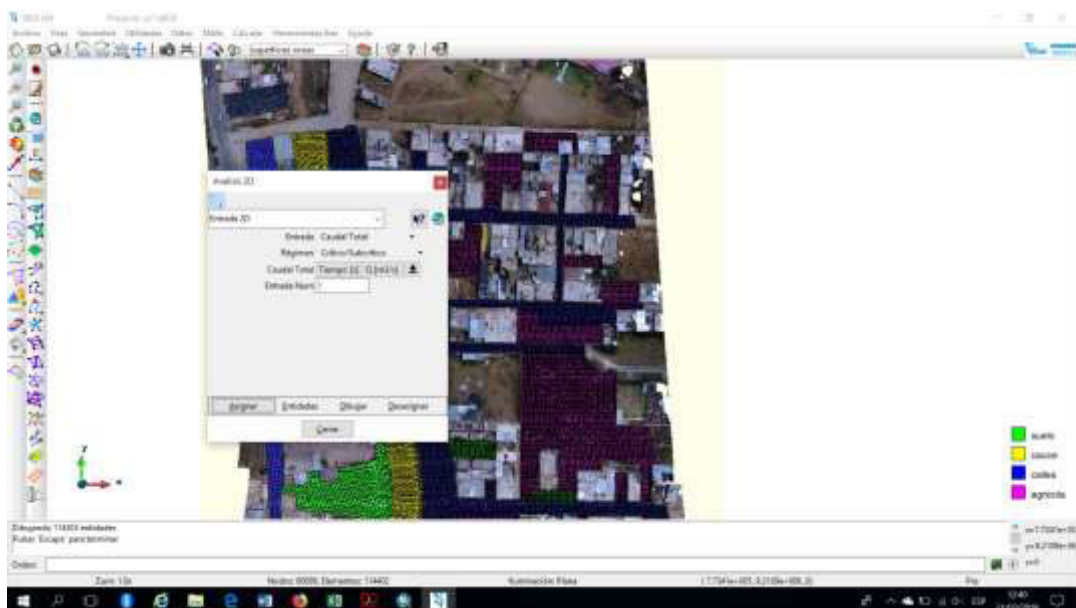


Figura N° 51. Condiciones de entrada en el cauce

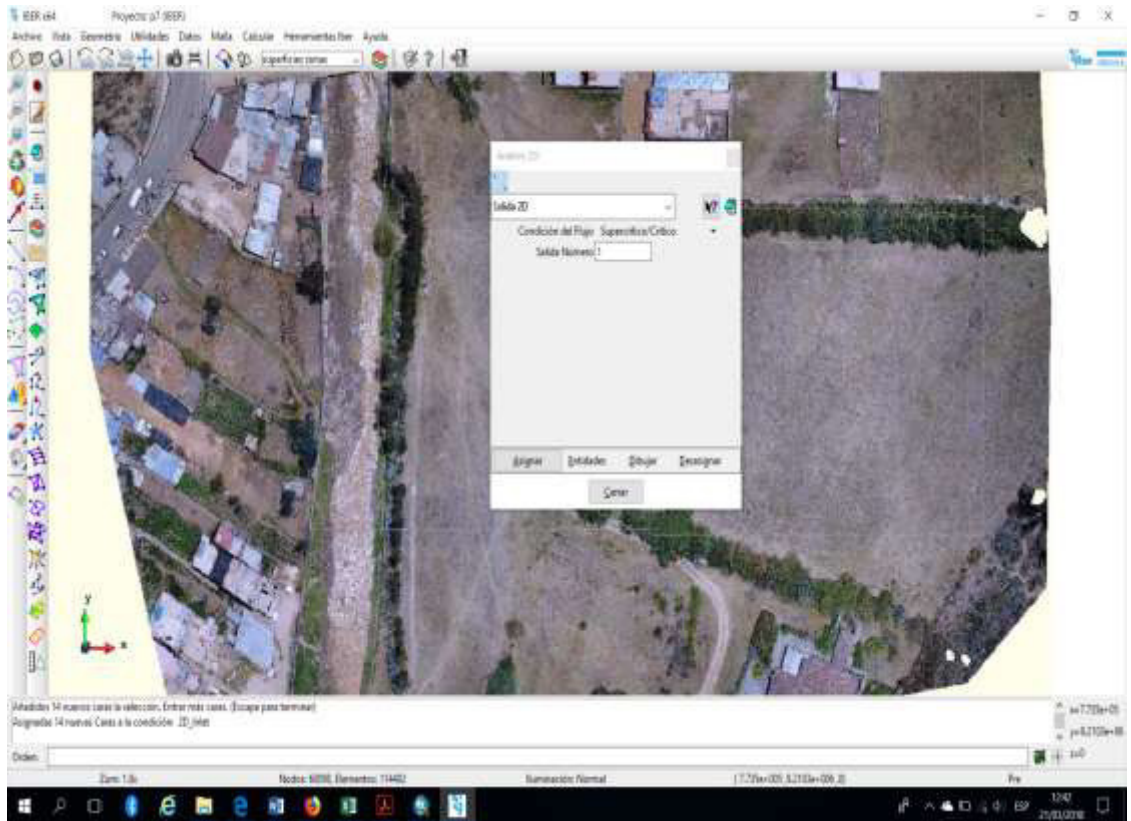


Figura N° 52. Condiciones de salida en el cauce

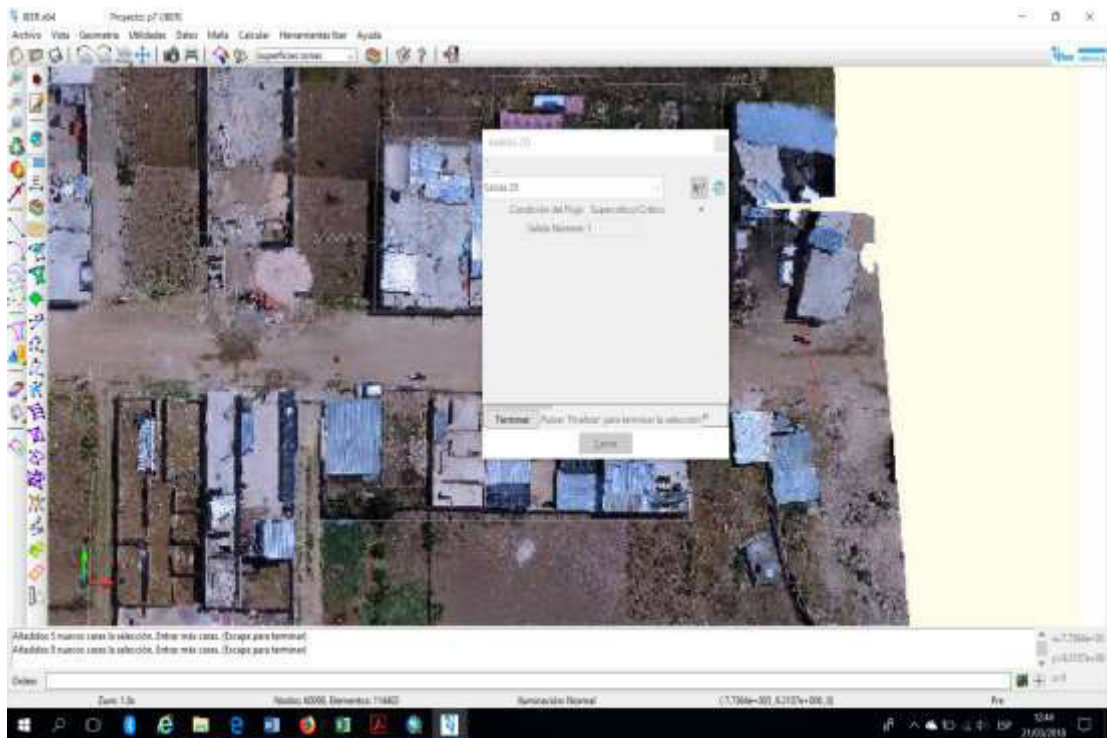


Figura N° 53. Condiciones de salida en las calles

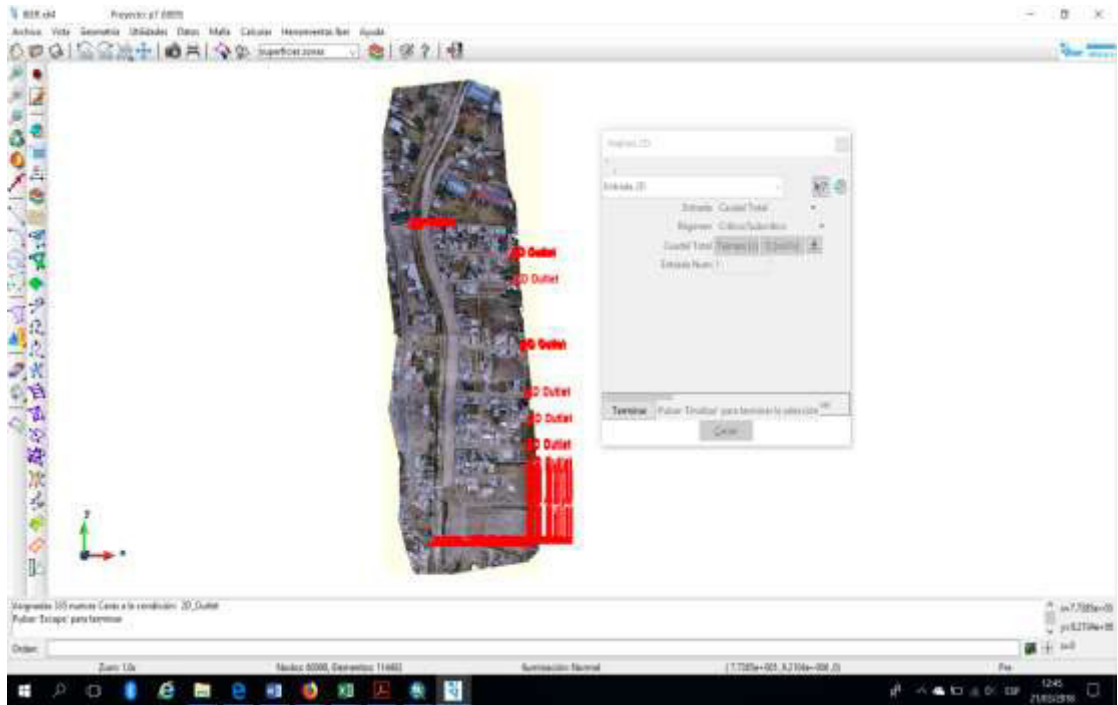


Figura N° 54. Dibujar condiciones de contorno del modelo

- **Tiempo de simulación del Modelo:** En la presente tesis se utilizó 1400 seg con un intervalo de 10 seg.

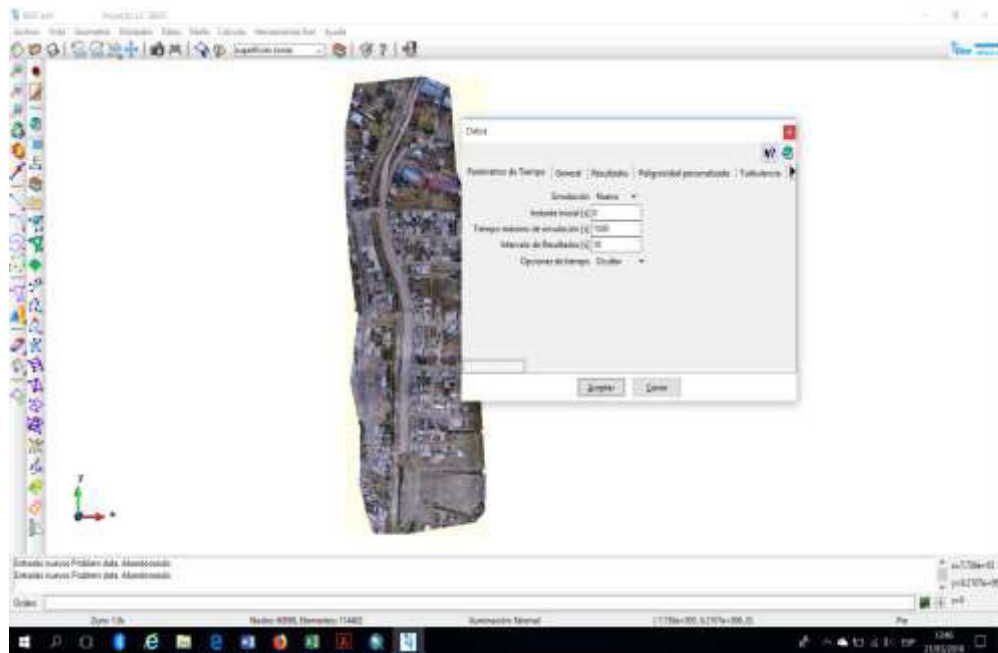


Figura N° 55. Tiempo de simulación del modelo

- **Cálculo del Modelo:** Después de haber ingresado todas las condiciones de contorno como el caudal, la rugosidad, se realizó el cálculo ó corrida del modelo.

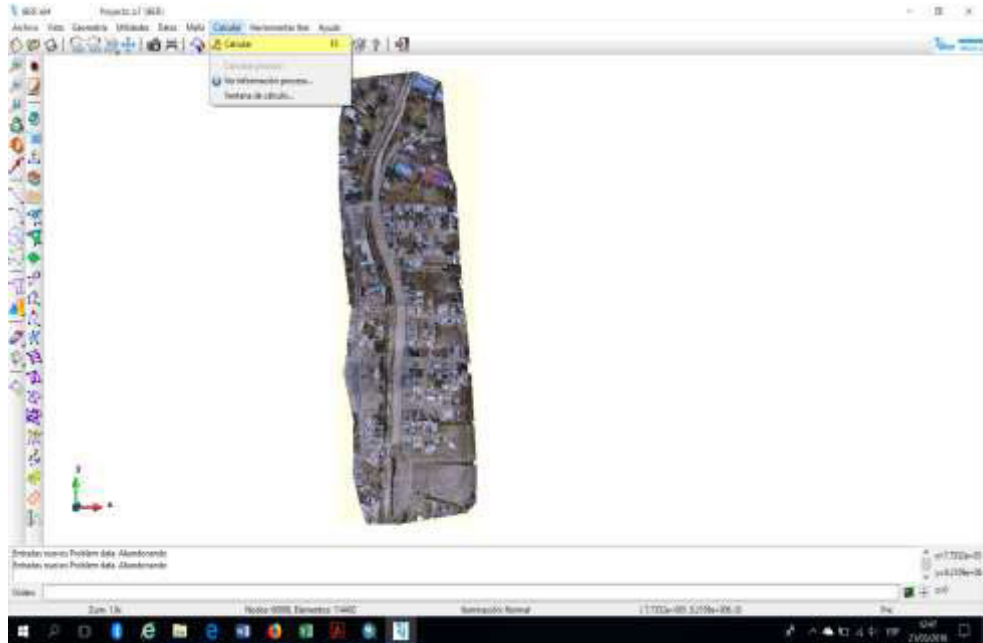


Figura N° 56. Calculando del modelo

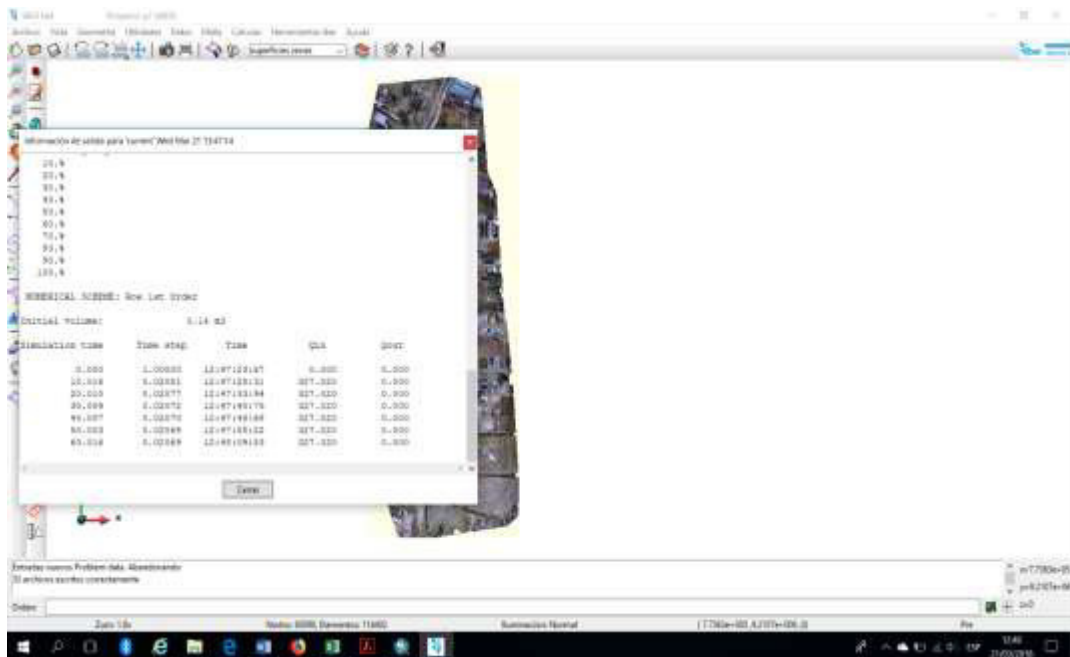


Figura N° 57. Ventana de cálculo del modelo

- **Visualización de Resultados del Modelo:** Podemos obtener los resultados del modelo en la opción “Ver resultados”, en la presente tesis los resultados que necesitamos son del calado(altura del agua respecto la superficie de estudio), los cuales se exportaron a Arcgis y se generó los mapas de inundacion en funcion de esta información.

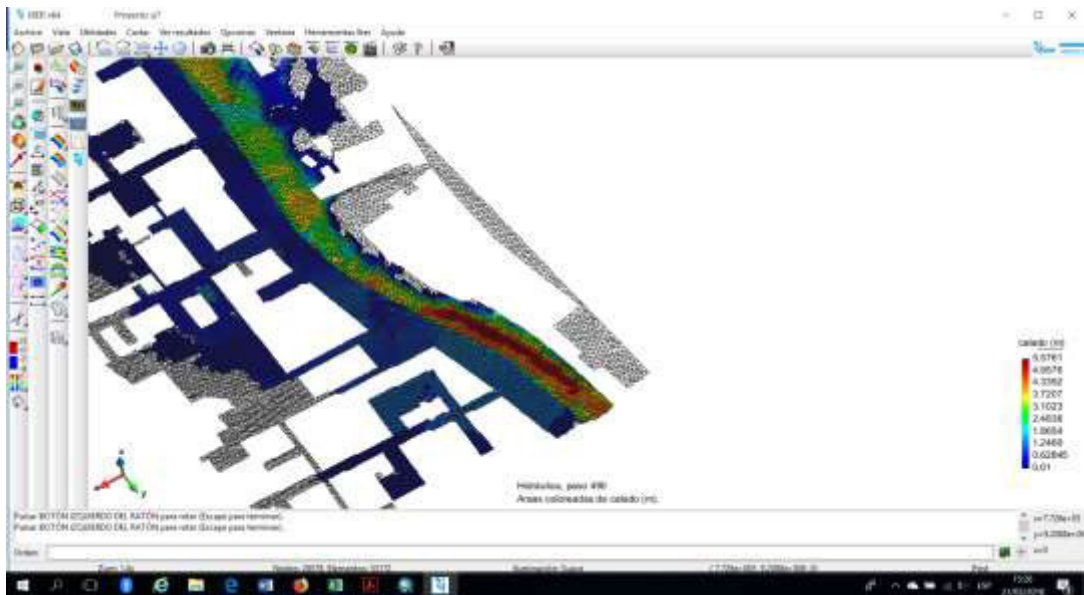


Figura N° 58. Visualización de Resultados del calado en el modelo

k) Zonificación por Áreas de Inundación

Después de haber completado el cálculo del modelo, se obtuvo los resultados de altura de lamina de agua respecto a la superficie (calado), esta información se exporta del software Iber como archivo .AAIGrid a Arcgis 10.4, en el cual se hizo la clasificación de acuerdo a la tabla de peligrosidad de INDECI para inundaciones fluviales.

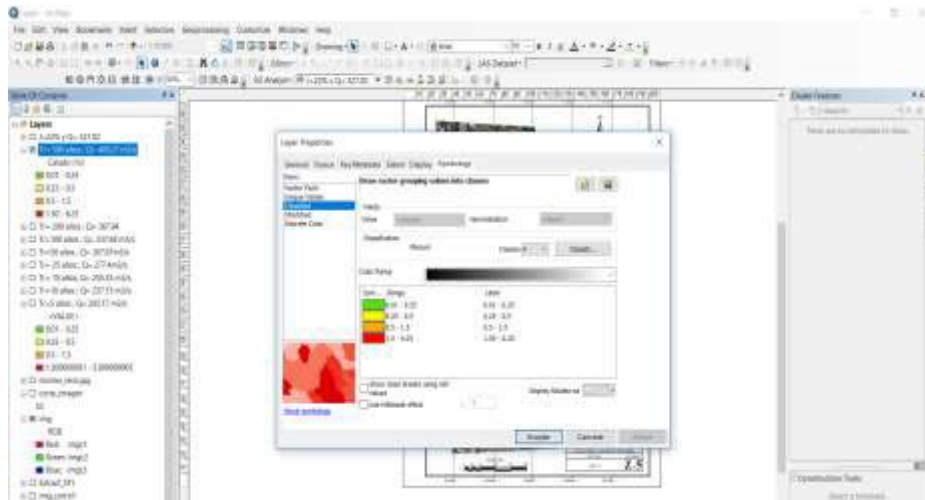


Figura N° 59. Clasificación de áreas inundables en Arcgis 10.4

A continuación se muestra la clasificación de las áreas inundables de acuerdo a lo que norma el INDECI en función de la altura de la lámina de agua o calado.

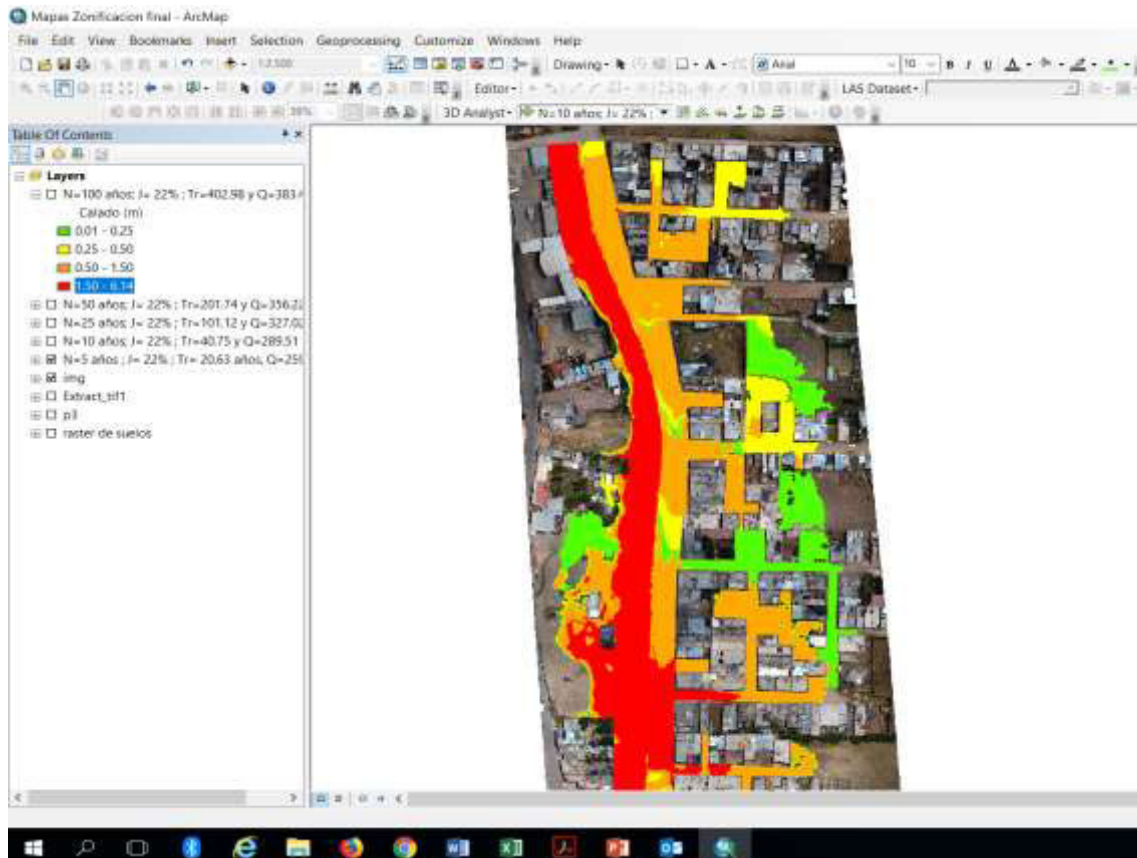


Figura N° 60. Clasificación de áreas inundables acorde con INDECI

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Caracterización de la microcuenca del río Mashcón con descarga en el puente Chinchimachay y uso del método racional.

Caracterizar la microcuenca del río Mashcón, nos ha permitido obtener los parámetros geomorfológicos de la cuenca en estudio, parámetros como el área de la cuenca que es de 151.77 km², con un perímetro de 67.39 km y una longitud del cauce principal de 23.861 km, por la cantidad de área se considera una cuenca pequeña o microcuenca, además su forma es Oval-oblonga a rectangular-oblonga, ya que su K_c es 1.54 > 1.5., este dato es importante para poder tomar decisiones en el cálculo del tiempo de concentración.

Otro de los parámetros calculados fue la pendiente media del cauce principal que tuvo un valor del 4.95 %, el cual es imprescindible para poder hallar el tiempo de concentración de la cuenca.

Así mismo obtuvimos el T_c (tiempo de concentración) de la cuenca, donde se utilizó la fórmula de Témez, como se vio en el marco teórico de esta investigación, para cuencas de forma rectangular - oblonga; es recomendable el uso de esta fórmula, el valor que se obtuvo es de 5.91 hrs ó 355.09 min, el cual cumple lo establecido por su formulación donde nos indica que se usa para cuencas con $T_c < 6$ hrs, esto permite asumir que el tiempo de concentración de la cuenca se ajusta a la microcuenca en estudio.

Cabe mencionar que en esta presente tesis se transpuso la data de intensidades de la estación meteorológica Weberbauer a nuestra cuenca en estudio a través del coeficiente de relación entre altitudes, nuestra cuenca presentó una altitud media de 3439.34 m.s.n.m., es así que se obtuvo la información de intensidades máximas, que con la ayuda del modelo de distribución de Gumbel se ajustó la información, se aplicó la prueba de Smirnov – Kolmogorov que comprobó que la información se ajustaba al modelo mencionado con una confiabilidad del 95%. Finalmente se obtuvo las curvas IDF y sus respectivas ecuaciones para los diversos parámetros de tiempos de retorno, riesgo de falla y vida útil estudiados.

Sumado a los parámetros anteriores se obtuvo el coeficiente de escorrentía, el cual está asociado al uso de suelo, tipo de suelo y pendiente de la microcuenca según el reglamento de hidráulica y drenaje del MTC, en esta investigación se hizo un exhaustivo análisis para calcular este coeficiente con la ayuda de los archivos del ZEE Cajamarca, que se descargan de la web : <http://geoservidor.minam.gob.pe/zee-aprobadas/cajamarca/>, estos archivos se procesaron en Arcgis 10.4 y se obtuvo el valor de 0.5418 adimensional.

Es importante indicar que en la presente investigación para conocer las avenidas máximas en la zona de estudio, se utilizó el método racional, debido a que este método es el más adecuado para este tipo de estudios (inundaciones). Se obtuvieron los caudales máximos asociados a T_r , J y N , obteniendo así : $Q = 259.51 \text{ m}^3/\text{s}$, $T_r = 20.63$ años, $J = 22\%$ y $N = 5$ años ; $Q = 289.51 \text{ m}^3/\text{s}$, $T_r = 40.75$ años, $J = 22\%$ y $N = 10$ años; $Q = 327.02 \text{ m}^3/\text{s}$, $T_r = 101.12$ años, $J = 22\%$ y $N = 25$ años; $Q = 356.22 \text{ m}^3/\text{s}$, $T_r = 201.74$ años, $J = 22\%$ y $N = 50$ años; $Q = 383.40 \text{ m}^3/\text{s}$, $T_r = 402.98$ años, $J = 22\%$ y $N = 100$ años; estos parámetros de N y J son indicados en el manual de Hidráulica y Drenaje del MTC para estructuras de defensas ribereñas.

4.2. Modelamiento Hidráulico en Iber V2.4.3 de la zona de Estudio

Para realizar el modelamiento hidráulico de la zona de estudio, se utilizó el software Iber V2.4.3, el cual nos permitió delimitar las áreas inundables para los parámetros de Q_{\max} , T_r , N y J estudiados en función del calado en el modelo.

Para poder obtener el modelo nos basamos en una geometría de la zona de estudio obtenida de la imagen georeferenciada, la cual se organizó en 3 partes, zona izquierda del cauce, zona urbana y el cauce, donde a cada uno de ellos se les asignó un número de malla de 2.5 (izquierda), 2 (cauce) y 1.5 (zona urbana); La zona urbana se clasificó en pequeñas zonas de calles, agrícola, suelo cada uno de ellos se le asignó un valor de Manning seleccionados de la tabla N° 6 de esta tesis y finalmente se generó la elevación del terreno a través de un DEM de la topografía realizada en la zona de estudio, obteniendo así el modelo de la zona de estudio. Al modelo se le asignó los caudales asociados a T_r , N , J , los Caudales modelados fueron $Q = 259.51 \text{ m}^3/\text{s}$ para $T_r = 20.63$ años, $J = 22\%$ y $N = 5$ años ; $Q = 289.51 \text{ m}^3/\text{s}$ para $T_r = 40.75$ años, $J = 22\%$ y $N = 10$

años; $Q = 327.02 \text{ m}^3/\text{s}$ para $Tr = 101.12$ años, $J = 22\%$ y $N = 25$ años; $Q = 356.22 \text{ m}^3/\text{s}$ para $Tr = 201.74$ años, $J = 22\%$ y $N = 50$ años y $Q = 383.40 \text{ m}^3/\text{s}$ para $Tr = 402.98$ años, $J = 22\%$ y $N = 100$ años.

4.3. Perfil hidráulico del tramo de río en estudio con la presencia de Máximas Avenidas

Se observó que el río al ser de tipo aluvial, con presencia de materiales sedimentarios contribuyen a la generación de llanuras de inundación en presencia de máximas avenidas. Como producto del modelamiento hidráulico se obtuvo perfiles del río, en los cuales se puede observar la lámina de agua sobre la cota del terreno para los caudales de $Q = 259.51 \text{ m}^3/\text{s}$; $Q = 289.51 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q = 327.02 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q = 356.22 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q = 383.40 \text{ m}^3/\text{s}$. respectivamente, los tirantes oscilaron de 4.3 a 5 metros aproximadamente sobre la cota del río, originando así la inundación en la zona de estudio.

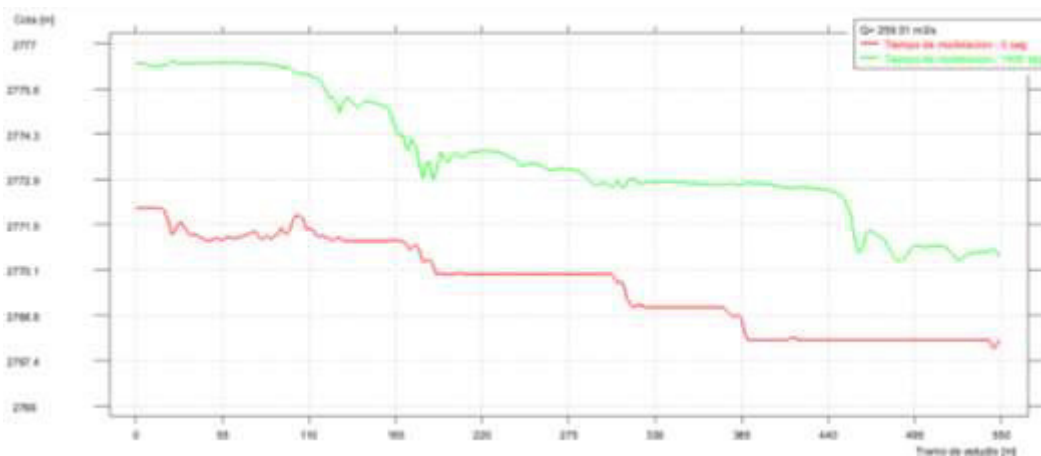


Figura N° 61. Perfil para un $Q_{\text{máx}}$ de $259.51 \text{ m}^3/\text{s}$

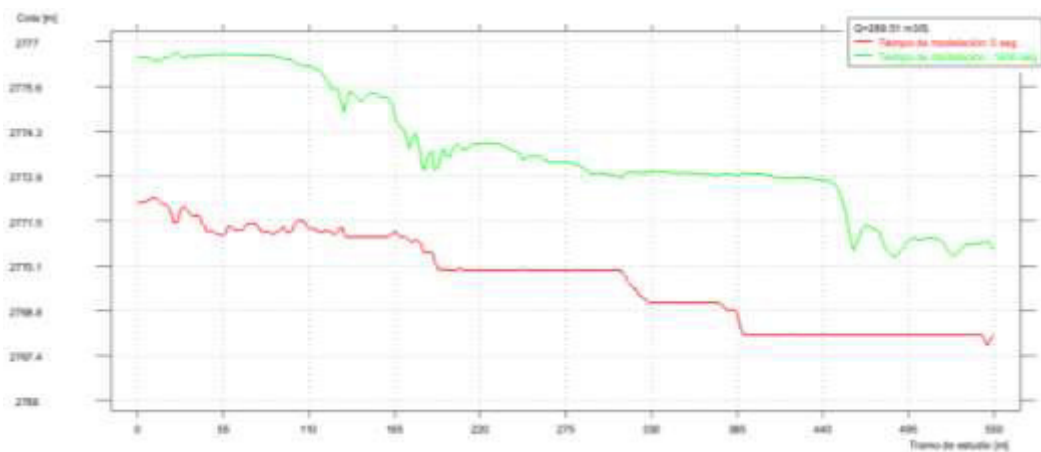


Figura N° 62. Perfil para un $Q_{\text{máx}}$ de $289.51 \text{ m}^3/\text{s}$

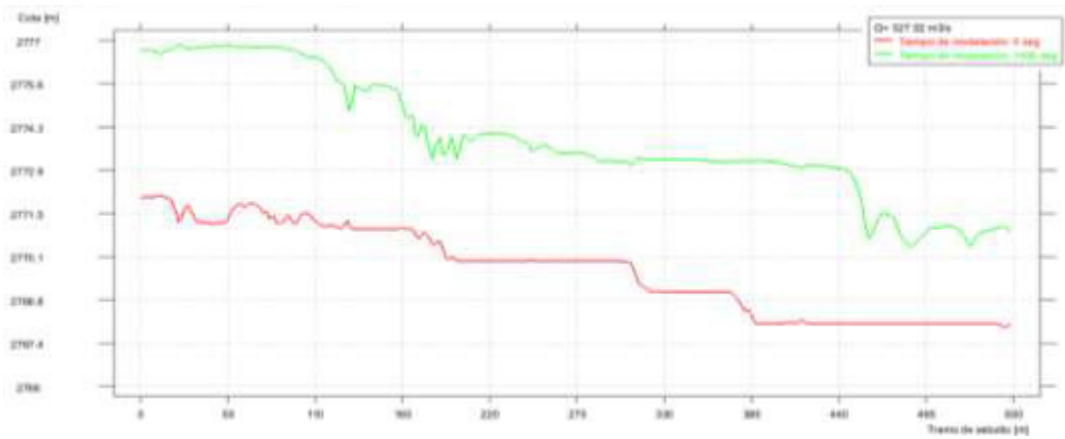


Figura N° 63. Perfil para un Qmáx de 327.02 m3/s

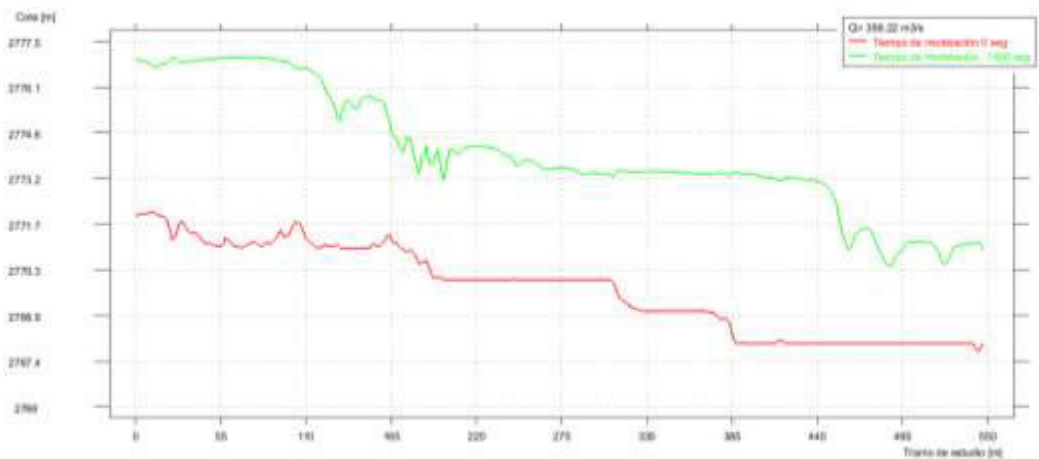


Figura N° 64. Perfil para un Qmáx de 356.22 m3/s

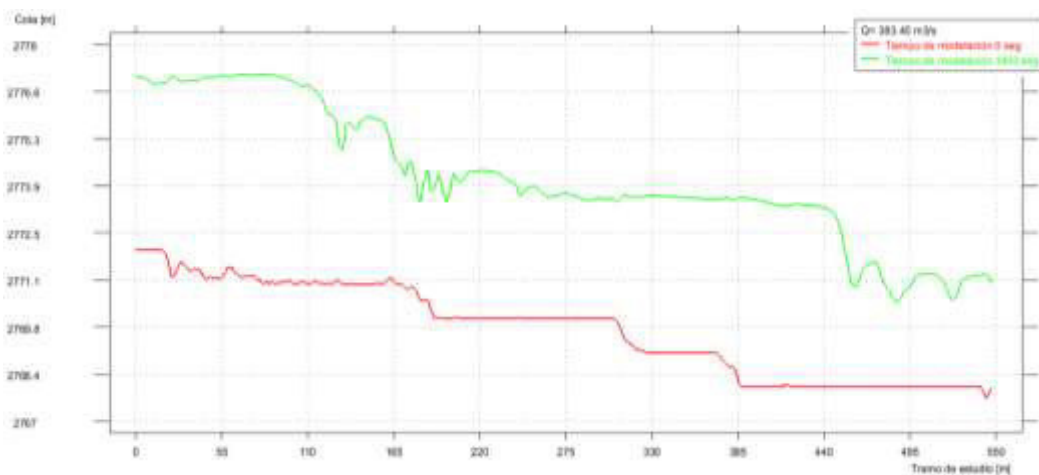


Figura N° 65. Perfil para un Qmáx de 383.40 m3/s

4.4. Identificación y clasificación de las Áreas inundables más peligrosas en el Caserío el Molino Huambocancha Baja – Cajamarca ocasionadas por el Río Mashcón.

Para identificar y clasificar las áreas inundables más peligrosas de la Zona de estudio en el Caserío el Molino – Huambocancha Baja - Cajamarca, se utilizó el software Arcgis 10.4.



Figura N° 66. Identificación de zonas inundables asociadas a la intensidad de peligro según el INDECI en Arcgis 10.4

En la figura N° 77 se puede observar claramente las áreas inundables y el color por índice de peligrosidad de inundaciones fluviales en función del calado según el INDECI. A continuación se muestra la clasificación para los escenarios evaluados.

Para $Tr= 20.63$, $N= 5$ años, $J= 22\%$ y $Q = 205.17$ m³/s:

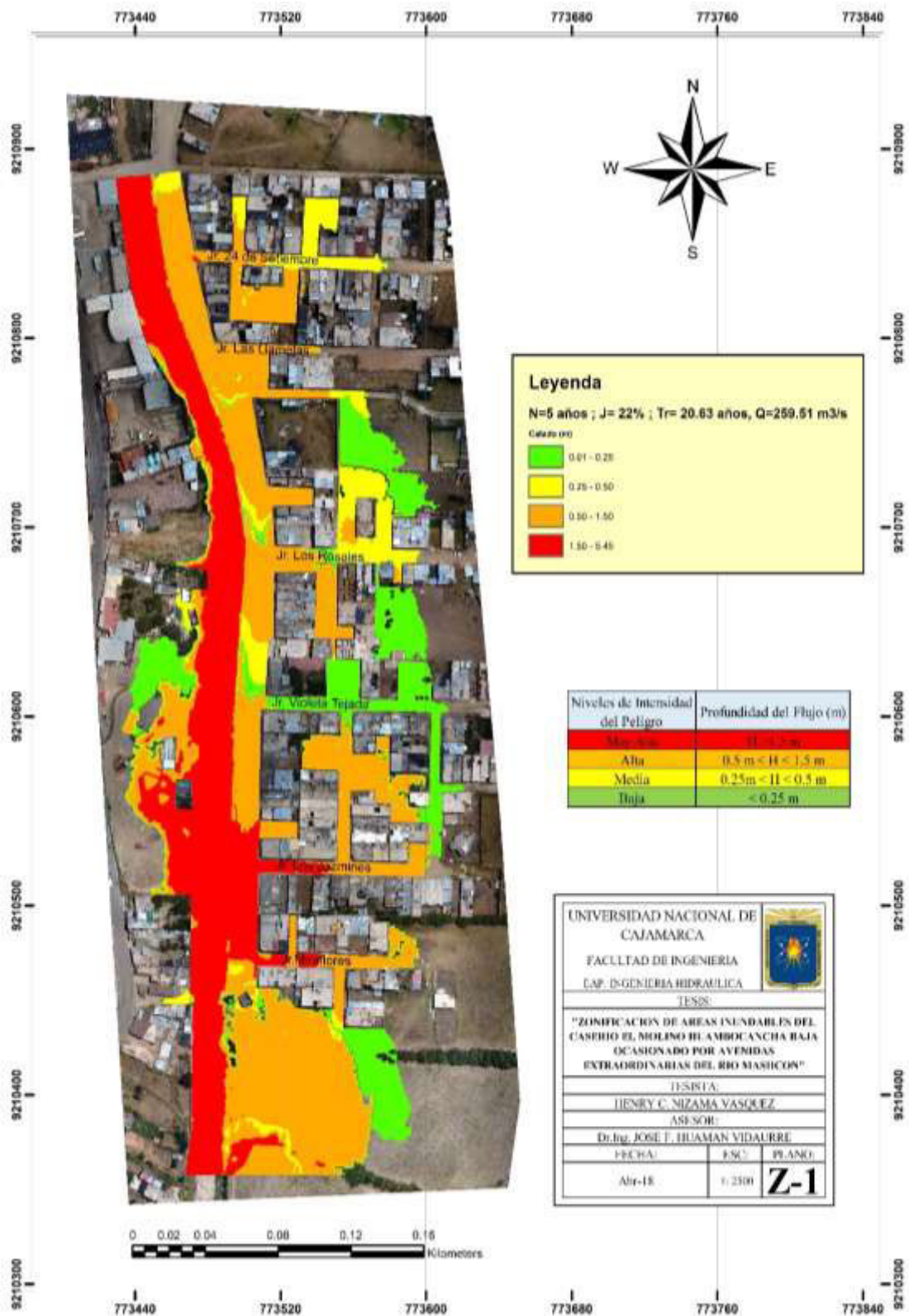


Figura N° 67. Clasificación de resultados para $Tr= 20.63$, $N= 5$ años, $J= 22\%$ y $Q = 259.51$ m³/s

Para $Tr = 40.75$ años, $N = 10$ años, $J = 22\%$ y $Q = 289.51$ m³/s:

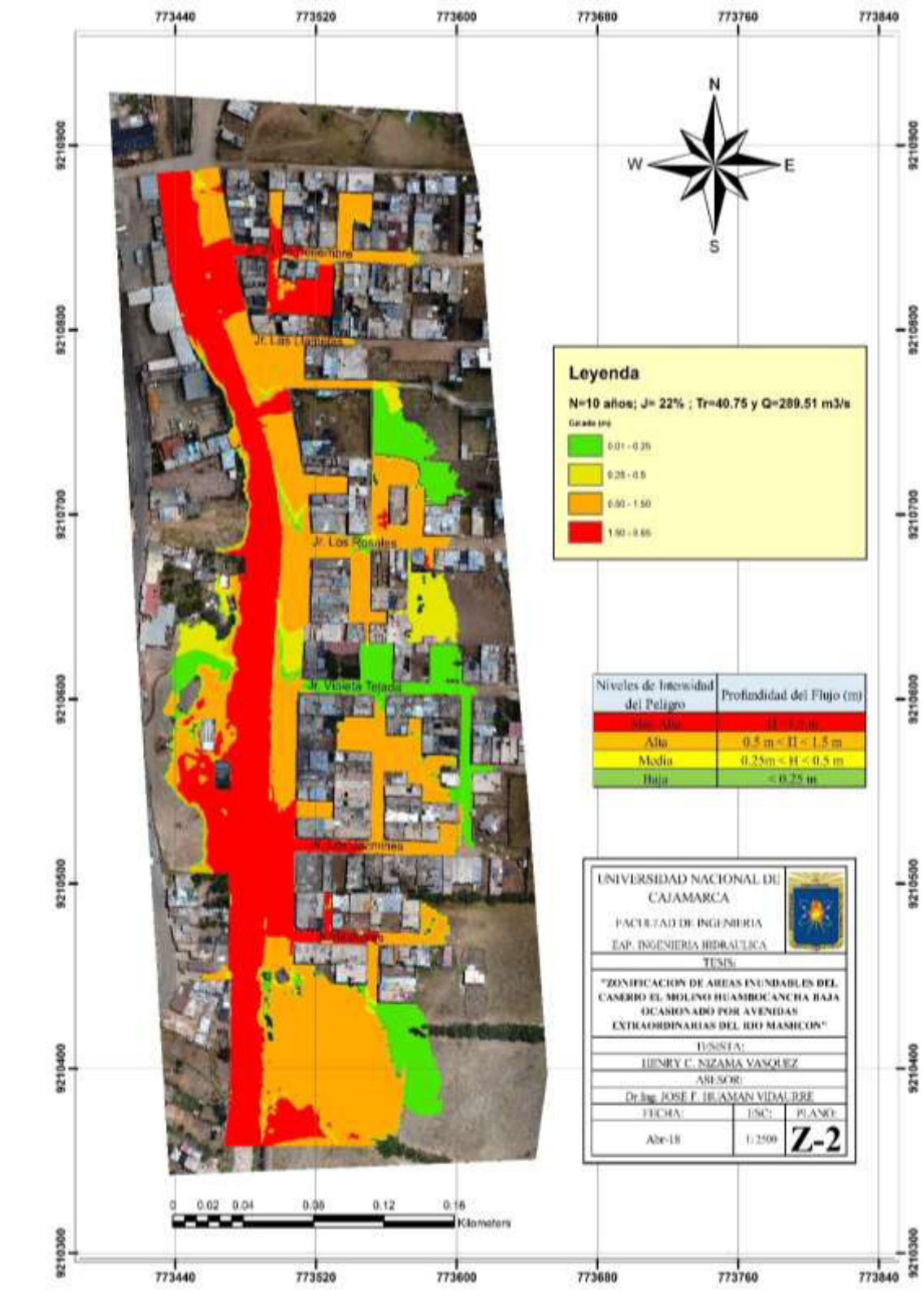


Figura N° 68. Clasificación de resultados para $Tr = 40.75$ años, $N = 10$ años, $J = 22\%$ y $Q = 289.51$ m³/s

Para $Tr= 101.12$ años, $N= 25$ años, $J = 22\%$ y $Q= 327.02$ m³/s:

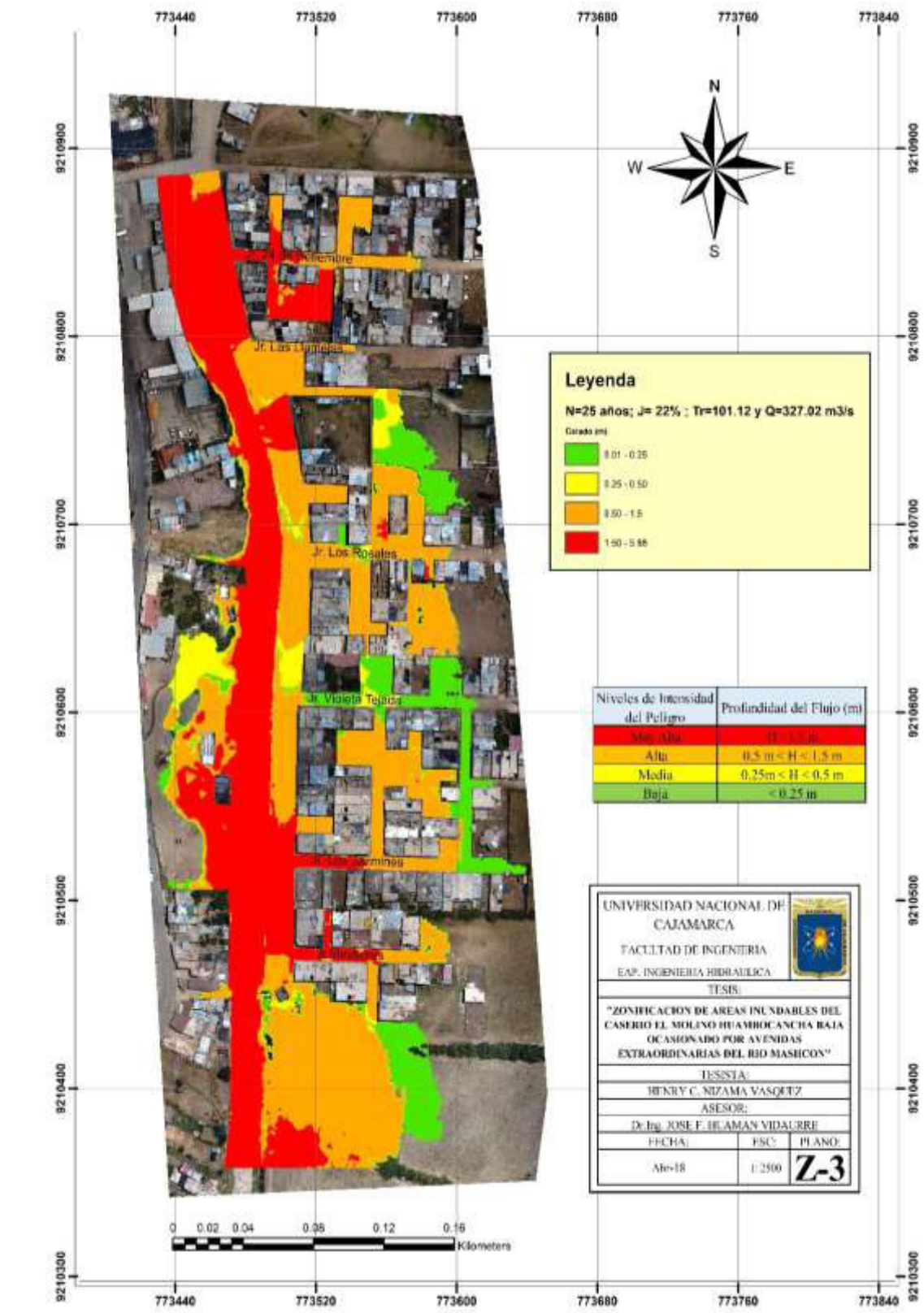


Figura N° 69. Clasificación de resultados para $Tr= 101.12$ años, $N= 25$ años, $J = 22\%$ y $Q= 327.02$ m³/s

Para $Tr= 201.74$ años, $N= 50$ años, $J = 22\%$ y $Q= 356.22$ m³/s:

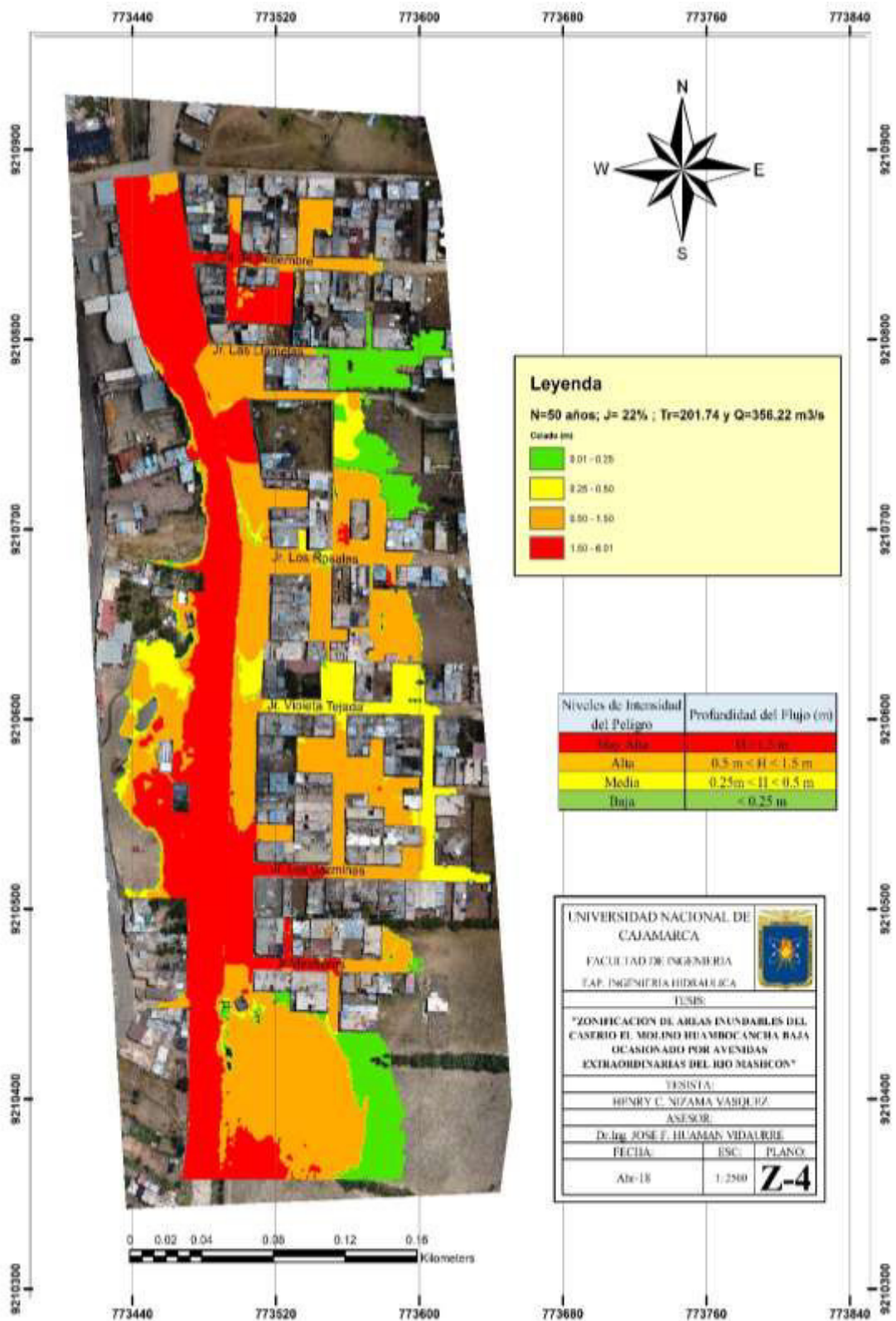


Figura N° 70. Clasificación de resultados para $Tr= 201.74$ años, $N= 50$ años, $J = 22\%$ y $Q= 356.22$ m³/s

Para $T_r = 402.98$ años, $N = 100$ años, $J = 22\%$ y $Q = 383.40$ m³/s:

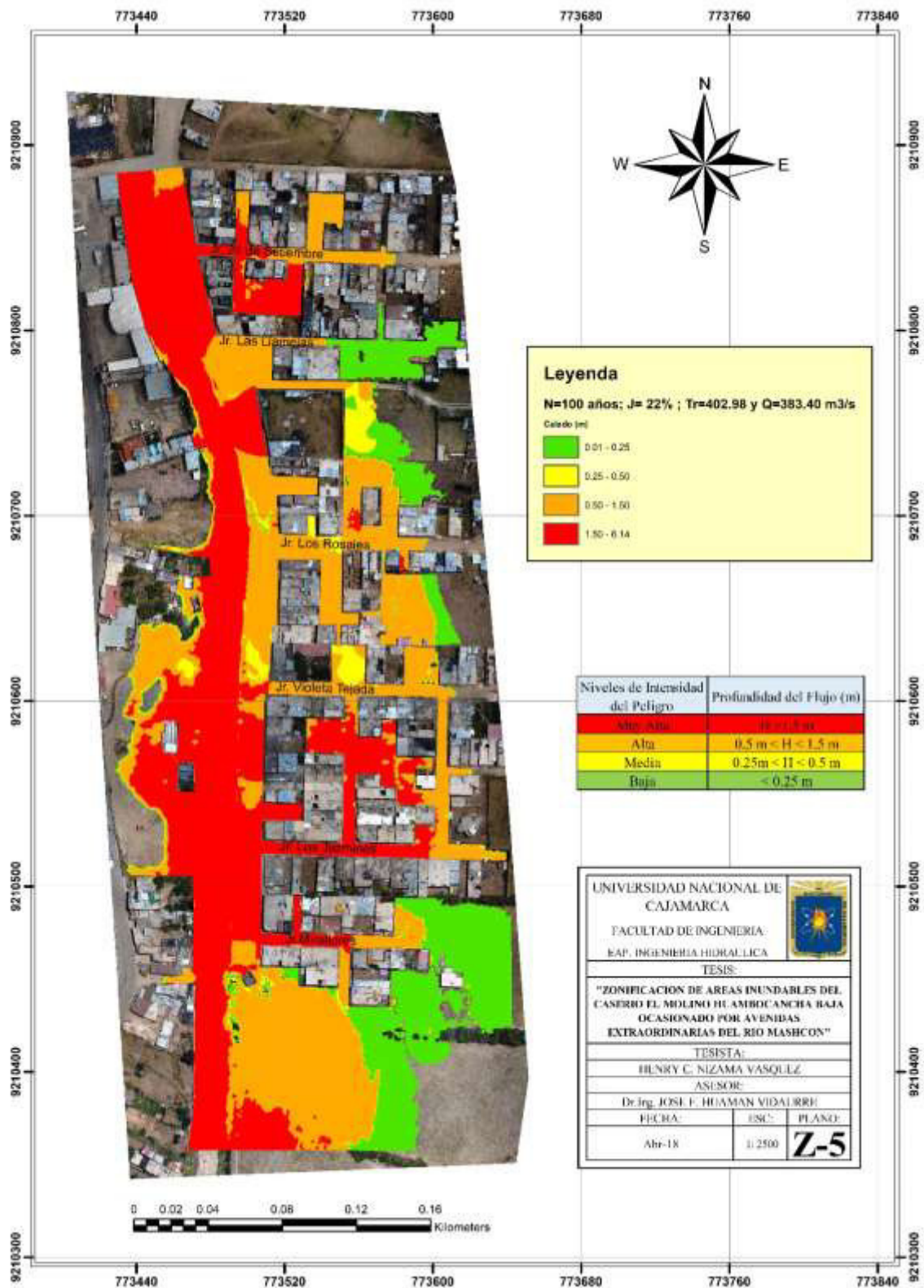


Figura N° 71. Clasificación de resultados para $T_r = 402.98$ años, $N = 100$ años, $J = 22\%$ y $Q = 383.40$ m³/s:

Sin embargo con esta información también podemos determinar los calados en las zonas consideradas críticas para este estudio, se evaluó los calados en los ingresos de las calles representativas del caserío El Molino- Huambocancha Baja- Cajamarca para dicho fin.

La Figura N° 72 se observa que la haber identificado un punto del ingreso de la calle del jr. 24 de Setiembre , en los raster visibles de la zona de estudio, tenemos diversos calados, que se asocian a los índices de peligrosidad que nos proporciona INDECI, viendo que para un $Tr = 20.63$ años se obtuvo un calado de 1.37m, a diferencia del $Tr = 402.98$ años, que se tuvo un calado de 1.94 m, lo cual se entiende claramente que al incrementar los tiempos de retorno, incrementa el caudal y con este se incrementa el calado, lo cual generaría daños irreparables en la zona de estudio.

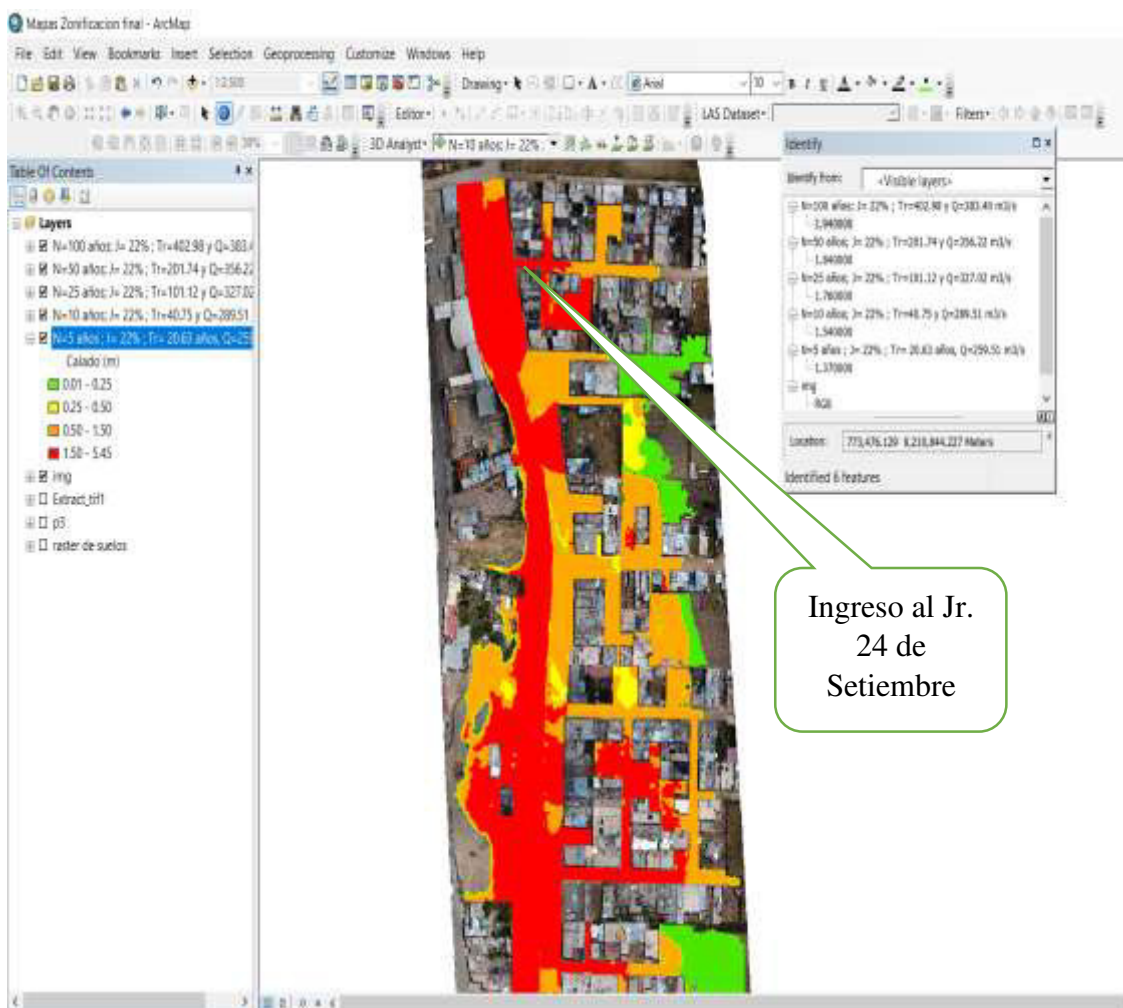


Figura N° 72 . Calados en el ingreso al Jr. 24 de Setiembre

La Figura N° 73 se observa que la haber identificado un punto del ingreso de la calle del jr. Las Llamelas , en los raster visibles de la zona de estudio, tenemos diversos calados, que se asocian a los índices de peligrosidad que nos proporciona INDECI, viendo que para un $Tr = 20.63$ años se obtuvo un calado de 0.67 m, a diferencia del $Tr = 402.98$ años, que se tuvo un calado de 1.16 m, lo cual se entiende claramente que al incrementar los tiempos de retorno, incrementa el caudal y con este se incrementa el calado, lo cual generaría daños irreparables en la zona de estudio.

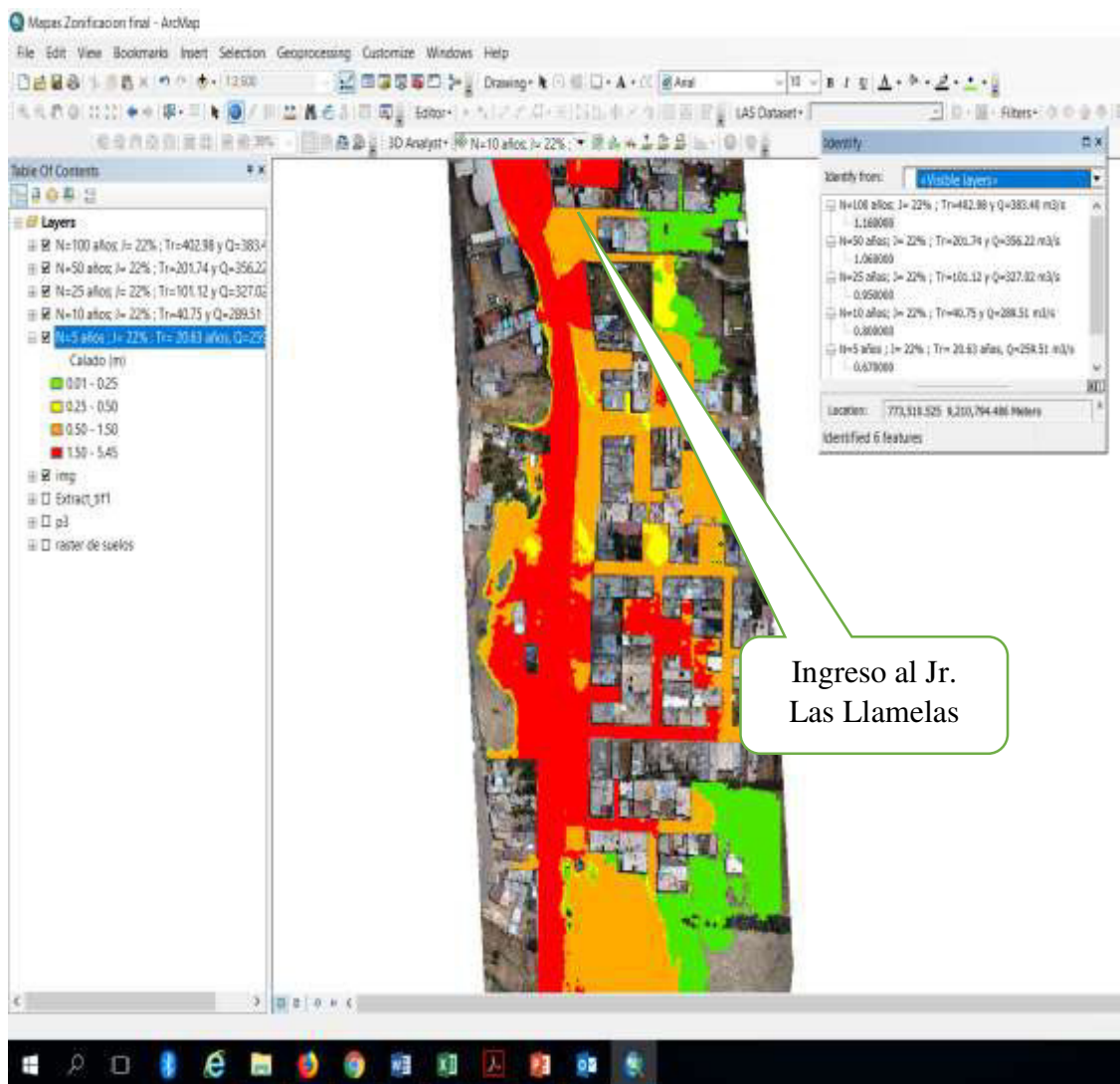


Figura N° 73. Calados en el ingreso al Jr. Las Llamelas

La Figura N° 74 se observa que la haber identificado un punto del ingreso de la calle del jr.Los Rosales, en los raster visibles de la zona de estudio, tenemos diversos calados, que se asocian a los índices de peligrosidad que nos proporciona INDECI, viendo que para un $Tr= 20.63$ años se obtuvo un calado de 0.79 m, a diferencia del $Tr = 402.98$ años, que se tuvo un calado de 1.43 m, lo cual se entiende claramente que al incrementar los tiempos de retorno, incrementa el caudal y con este se incrementa el calado, lo cual generaría daños irreparables en la zona de estudio.

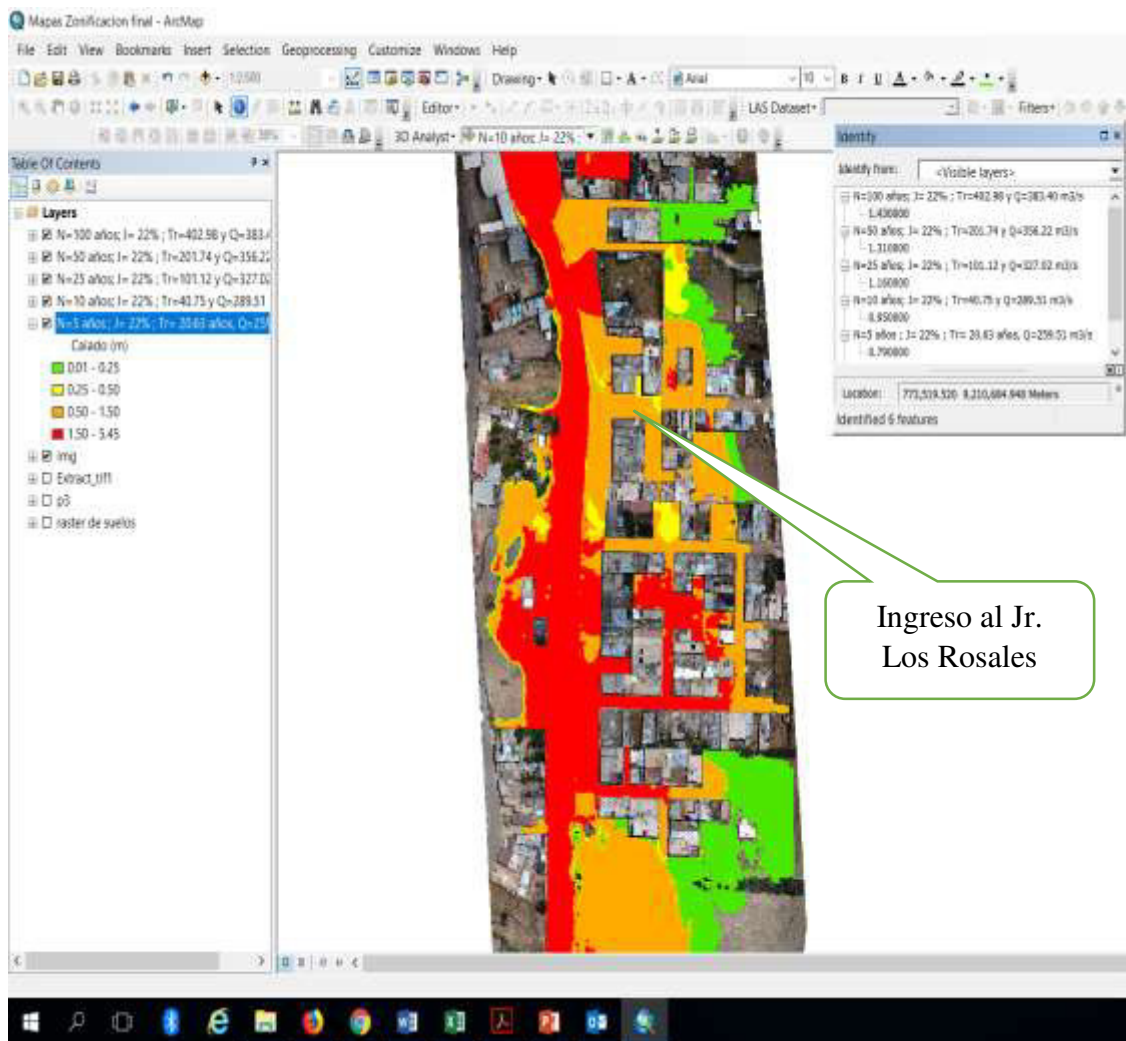


Figura N° 74. Calados en el ingreso al Jr. Los Rosales

La Figura N° 85 se observa que la haber identificado un punto del ingreso de la calle del jr.Violeta Tejada, en los raster visibles de la zona de estudio, tenemos diversos calados, que se asocian a los índices de peligrosidad que nos

proporciona INDECI, viendo que para un $Tr= 20.63$ años se obtuvo un calado de 0.03 m, a diferencia del $Tr = 402.98$ años, que se tuvo un calado de 0.53 m, lo cual se entiende claramente que al incrementar los tiempos de retorno, incrementa el caudal y con este se incrementa el calado, lo cual generaría daños irreparables en la zona de estudio.

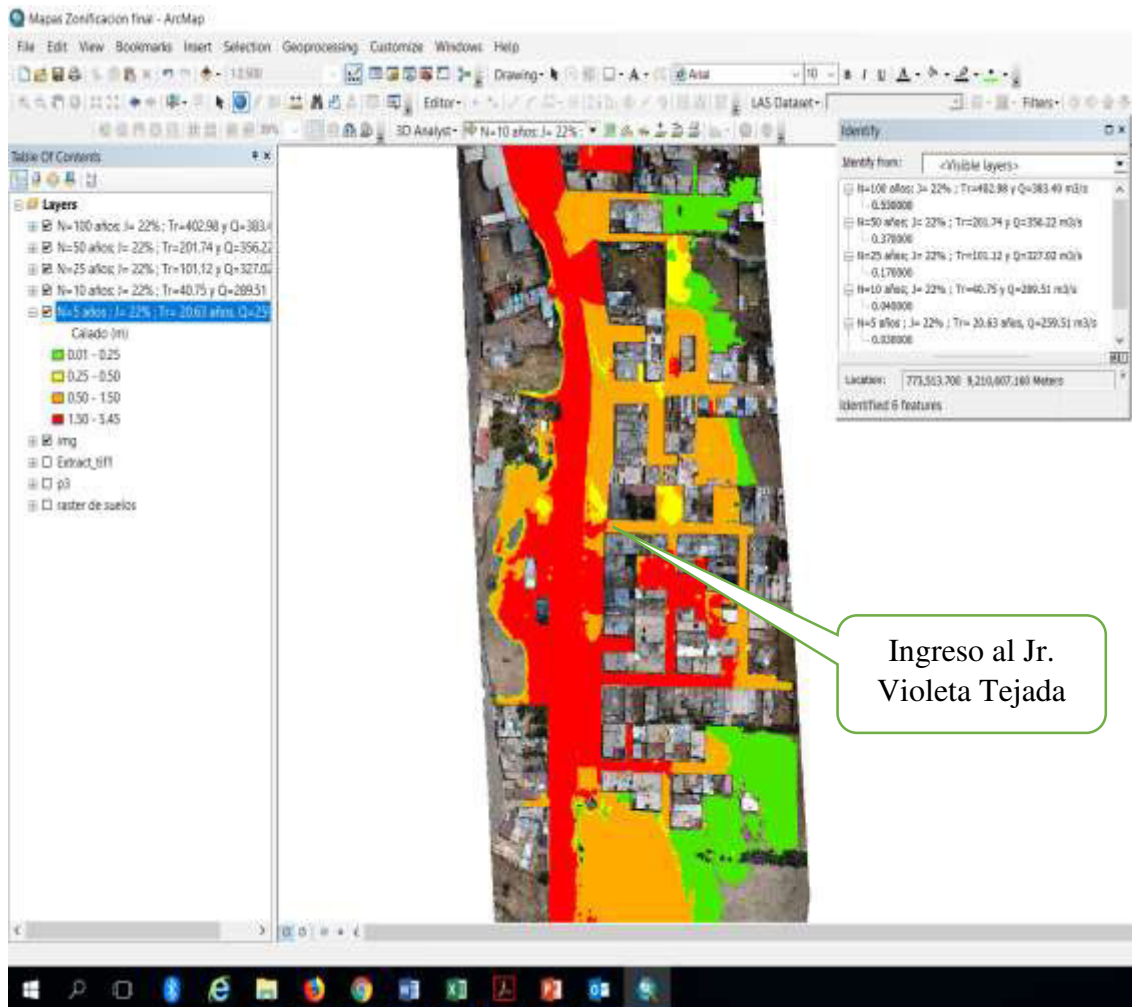


Figura N° 75. Calados en el ingreso al Jr. Violeta Tejada

La Figura N° 76 se observa que la haber identificado un punto del ingreso de la calle del jr.Los Jazmines, en los raster visibles de la zona de estudio, tenemos diversos años calados, que se asocian a los índices de peligrosidad que nos proporciona INDECI, viendo que para un $Tr= 20.63$ años se obtuvo un calado de 1.75 m, a diferencia del $Tr = 402.98$ años, que se tuvo un calado de 2.15 m, lo cual se entiende claramente que al incrementar los tiempos de retorno,

incrementa el caudal y con este se incrementa el calado, lo cual generaría daños irreparables en la zona de estudio.

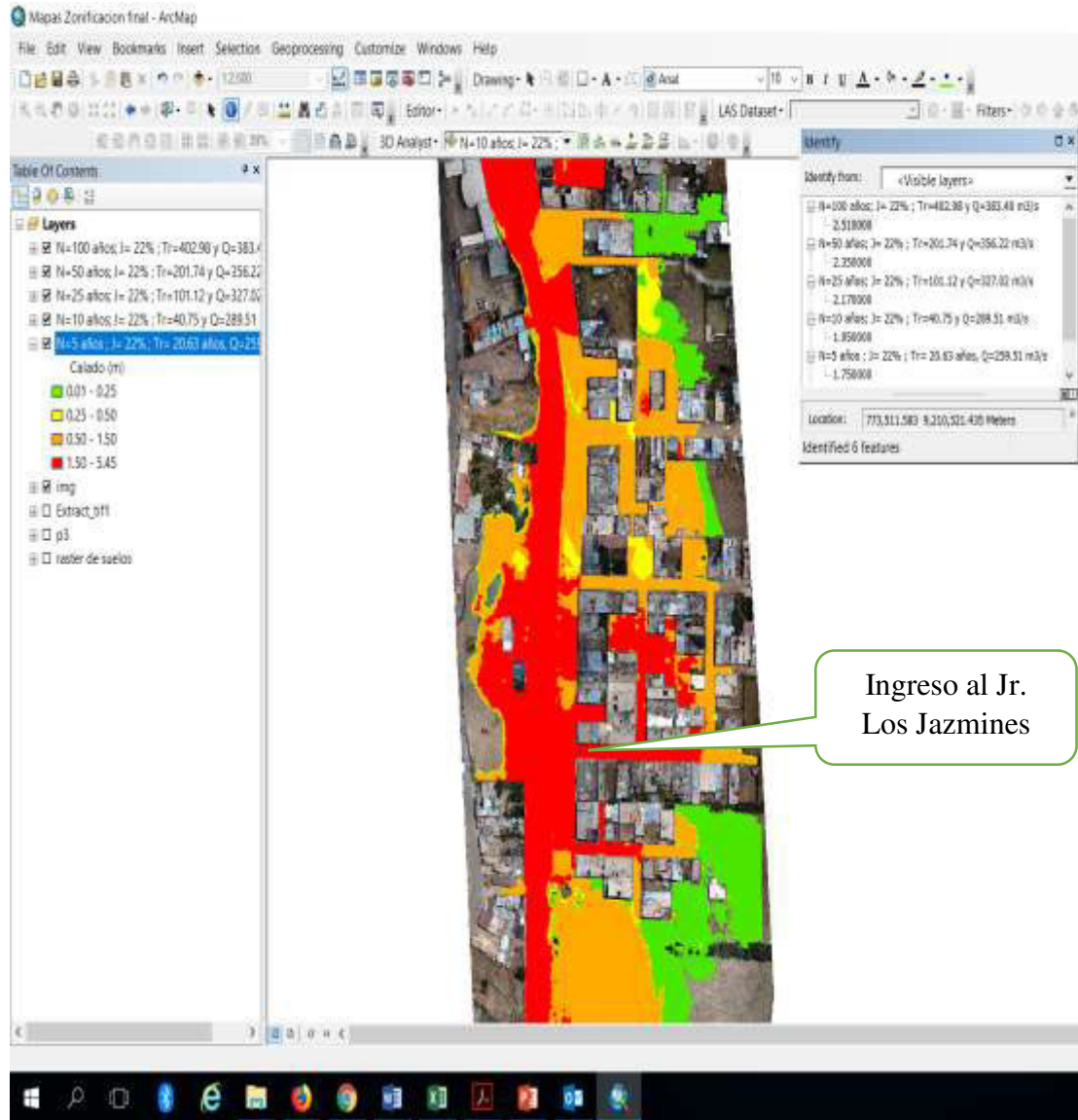


Figura N° 76. Calados en el ingreso al Jr. Violeta Tejada

La Figura N° 77 se observa que la haber identificado un punto del ingreso de la calle del jr.Miraflores, en los raster visibles de la zona de estudio, tenemos diversos calados, que se asocian a los índices de peligrosidad que nos proporciona INDECI, viendo que para un Tr= 20.63 años se obtuvo un calado de 1.60 m, a diferencia del Tr = 402.98 años, que se tuvo un calado de 2.15 m, lo cual se entiende claramente que al incrementar los tiempos de retorno,

incrementa el caudal y con este se incrementa el calado, lo cual generaría daños irreparables en la zona de estudio.

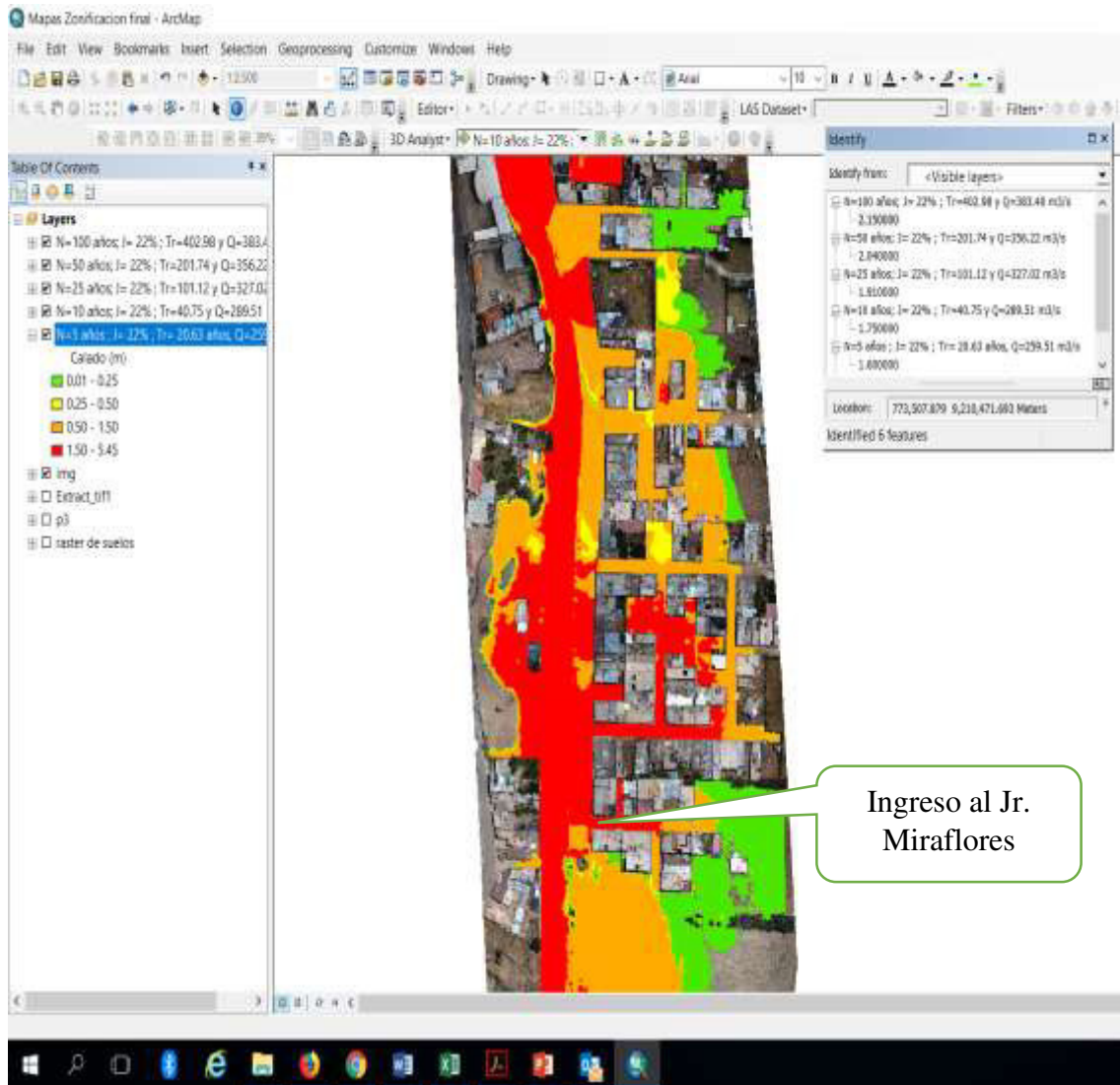


Figura N° 77. Calados en el ingreso al Jr. Miraflores

Sin embargo, de todas las figuras mostradas del N° 78 al N° 77 , se puede concluir que la zonas más peligrosas de la zona de estudio se vió entre las Calles del Jr. Miraflores y el Jr.Los Jazmines, teniendo como indicador una peligrosidad de Alta a Muy Alta. Así mismo el Jr.24 de Setiembre tiene el mismo indicador de alta a muy alta.

En conclusión, se observó que el Caserío el Molino – Huambocancha Baja reaccionó con bastante peligrosidad ante la presencia de eventos de máximas avenidas por desborde del río Mashcón.

Es importante mencionar que en la presente tesis también se realizó la cuantificación de las áreas inundables por el índice de peligrosidad de acuerdo a los tiempos de retorno estudiados , mostrandose estos resultados en la tabla N° 15 de la presente investigación.

Tabla N° 15: Cuantificación de Áreas Inundables asociadas a la Peligrosidad y Tiempo de Retorno (Tr) por eventos de máximas avenidas en el Caserío El Molino – Huambocancha Baja- Cajamarca

CUANTIFICACION DE AREAS INUNDABLES (m2)					
TIEMPO RETORNO (Tr)	Baja(H < 0.25 m)	Media (0.25m < H < 0.5 m)	Alta (0.5 m < H < 1.5 m)	Muy Alta (H >1.5 m)	TOTAL
20.63	5700.01	4042.20	15153.89	4984.68	29880.78
40.75	4783.13	1858.16	18704.14	4831.33	30176.77
101.12	4235.95	885.09	19004.81	6098.59	30224.44
201.74	4182.86	3023.55	19046.73	6146.50	32399.64
402.98	8606.19	642.06	17556.20	10018.53	36822.97

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Se realizó la caracterización de la microcuenca del río Mashcón tomando como punto de descarga el puente Chinchimachay, ubicado a la altitud 2750 m.s.n.m., obteniéndose un área de 151.77 km², una longitud del cauce principal de 23.861 km, pendiente media del cauce principal de 4.95% y un Tc de 5.91 hrs.
- Se realizó el modelo hidrológico de la cuenca Mashcón tomando como punto de descarga el puente Chinchimachay, obteniendo los Q_{máx} para diferentes periodos de retorno asociados al riesgo de falla y vida útil de protección, usando el método racional, obteniendo así Q= 259.51 m³/s para Tr=20.63 años, J= 22% y N = 5 años ; Q= 289.51 m³/s para Tr=40.75 años, J= 22% y N = 10 años; Q= 327.02 m³/s para Tr=101.12 años, J= 22% y N = 25 años; Q= 356.22 m³/s para Tr=201.74 años, J= 22% y N = 50 años y Q= 383.40 m³/s para Tr=402.98 años, J= 22% y N = 100 años.
- Se delimitó el área inundable ocasionada por el Rio Mashcón en el tramo Caserío “El Molino” – Huambocancha Baja – Cajamarca utilizando como herramienta el modelo hidráulico IBER, para diferentes periodos de retorno, obteniendo así que, para el escenario estudiado con menor tiempo de retorno, Tr=20.63 años, se presentan áreas de inundación de 4984.68 m², 15153.89 m², 4042.20 m², 5700.01 m² para un índice de peligrosidad muy alto, alto, medio y bajo respectivamente. Así mismo se obtuvieron mayores áreas para el escenario que presenta un Tr= 402.98 años, con un área de 10018.53 m² ,17556.20 m², 642.06 m², 8606.19 m² los índices de peligrosidad muy alto, alto, medio y bajo respectivamente.
- Se logró zonificar por riesgo de inundación el área inundable en el Tramo Caserío “El Molino” – Huambocancha Baja – Cajamarca, la clasificación se realizó por índice de peligrosidad de acuerdo al calado (H) según la norma de INDECI, en consecuencia en el caserío El Molino se obtuvo para el escenario con menor tiempo de retorno estudiado, Tr= 20.63 años los

calados de 1.37 m, 0.67 m , 0.79 m, 0.03 m, 1.75 m, 1.60 m en los ingresos de las calles de los jirones 24 de Setiembre, Las Llamelas, Los rosales, Violeta Tejada, Los Jazmines y Miraflores respectivamente, para un $T_r = 402.98$ años los calados de 1.94 m, 1.16 m , 1.43 m, 0.53 m, 2.51 m, 2.15 m en las calles de los jirones 24 de Setiembre, Las Llamelas, Los rosales, Violeta Tejada, Los Jazmines y Miraflores respectivamente Esto indica que el molino es un sector con peligrosidad “alta” a “muy alta” ante un evento de máxima avenida.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que para realizar estudios hidrológicos se debe implementar estaciones hidrométricas, de modo que se pueda obtener registros de caudales y así poder realizar la calibración de los modelos hidrológicos e hidráulicos para los proyectos a realizar.
- Se recomienda tener en consideración las herramientas como Arcgis 10.4 e Iber v2.4.3 que sumados con el conocimiento del investigador incrementan notablemente el performance de los modelos y en consecuencia se obtienen resultados confiables en los estudios.
- Para obtener pronósticos de caudales por el método racional siempre se debe incluir la probabilidad de acierto y el riesgo de falla para un periodo determinado de protección de las estructuras, ya que los eventos con avenidas máximas en cauces, están asociados a estos parámetros.
- Para obtener el tiempo de concentración, es importante realizar análisis mucho más específicos que usar fórmulas empíricas probadas en otras cuencas con otras realidades y características que si bien es cierto se busca semejanza, pero no es lo real.
- Se recomienda compartir la información de esta investigación con las entidades encargadas de promover los planes de contingencia ante peligros por inundaciones como el INDECI, Municipalidades, etc.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aparicio F. J., (1997). Fundamentos de Hidrología de Superficie. Edit. Limusa S.A., España.
- Díaz Herrero, A., Laín Huerta, L., Llorente-Isidro M. (2008). Mapas de peligrosidad por avenidas e inundaciones. Madrid: Instituto geológico y minero de España.
- Instituto nacional de defensa civil (2006). Manual básico para la estimación del riesgo. Lima – Perú.
- Ministerio de Transportes y comunicaciones (2011). Manual de hidrología, hidráulica y drenaje. Lima – Perú.
- Olcina Cantos, J.(2004). Riesgo de inundaciones y ordenación del territorio en la escala local. Madrid: A.G.E
- Villón Béjar, M. (2002). Hidrología. Lima: Editorial Villón.
- Ministerio del Ambiente (2012). Geoservidor. Recuperado el 23 de Marzo del 2017, de: <http://geoservidor.minam.gob.pe/zee-aprobadas/cajamarca/>
- Chow, V., Maidment, D y Mays, L.1994. Applied Hydrology. McGraw-Hill. 582 p. International Edition.
- Apacla, R. 2010. Estudio de máximas avenidas en las cuencas de la zona centro de la vertiente del Pacífico. 185p.
- Llamas, J. 1993. Hidrología general. Principios y aplicaciones. Universidad del País Vasco, Quebec, Canadá.
- Rocha, A. 2007. Problemática de las inundaciones y huaicos en el Perú. 12 p.

- Chow, V., Maidment, D y Mays, L.1994. Applied Hydrology. McGraw-Hill. 582 p. International Edition.
- Ortiz ,O.(2016). Similitud hidraulica de sistemas hidrológicos altoandinos y transferencia de información hidrometereológica. Tesis doctoral publicada en escuela de postgrado. Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, Perú.
- TÉMEZ, J.R. Extended and improved Rational Method. Proc. XXIV Congress, Madrid, España. Vol. A. pp 33-40.1991.
- Yepez, C.J. (2016). Comportamiento de las máximas avenidas y las posibles áreas de inundación producidas en la quebrada Cruz Blanca para la zona urbana del distrito de Cajamarca, 2016. Tesis de grado publicada de Ingeniería Civil. Universidad Privada del Norte. Facultad de Ingeniería. Cajamarca – Perú.
- Tarazona, H.G. (2016). MODELAMIENTO HIDROLÓGICO DE LA CUENCA DEL RÍO ICA CON FINES DE PREVENCIÓN DE INUNDACIONES EN LA CIUDAD DE ICA. Tesis de grado publicada de Ingeniería Agrícola. Universidad Nacional Agraria la Molina. Facultad de Ingeniería agrícola. Lima– Perú.
- Potenciano de las Heras, A., Durán Valsero, J.J. (2006). Estudio de inundaciones históricas del río Amarguillo (Toledo). Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- PÉREZ, O. Determinación del tiempo de concentración para estimar la avenida de diseño. Ingeniería civil (La Habana), Cuba, 1985 V36 N1 ene-feb p 40-53. 1985.
- ONERN (Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales). 1971. Evaluación y uso racional de los recursos naturales de la costa. 457 p.

ANEXOS

ANEXO 1. PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS DE LA MICROCUENCA DEL RÍO MASHCÓN.

Tabla N° 16. Parámetros de forma de la Microcuenca del río Mashcón

MICROCUENCA DEL RIO MASHCÓN - EL MOLINO- HUAMBOCANCHA BAJA-CAJAMARCA		UND	CANTIDAD	
Parámetros de forma de la cuenca	Área total de la cuenca	km ²	151.77	
	Perímetro de la cuenca	km	67.39	
	Longitud de río principal	km	23.86	
	Centroides	Este X	m	770533.58
		Norte Y	m	9218524.00
		Altitud Z	m	3455.24
	Longitud total de los ríos de diferente grado	Orden 1	km	443.54
		Orden 2	km	187.38
		Orden 3	km	99.69
		Orden 4	km	60.05
		Orden 5	km	16.02
		Orden 6	km	19.22
		Orden 7	km	7.39
		Long. Total	km	833.29
Ancho promedio de la cuenca	Km	6.36		
Coeficiente de compacidad	adim	1.54		
Factor de forma	adim	0.27		

Tabla N° 17. Parámetros de relieve de la Microcuenca del río Mashcón

MICROCUENCA DEL RIO MASHCÓN - EL MOLINO- HUAMBOCANCHA BAJA-CAJAMARCA		UND	CANTIDAD
Parámetros de relieve de la cuenca	Altitud media de la cuenca	msnm	3439.34
	Altitud de frecuencia media	msnm	3504.62
	Área por encima de frecuencia media	km ²	115.48
	Altitud más frecuente	msnm	3554
	Pendiente media	m/m	2738.00%
	Coeficiente masividad	m/km ²	0.02
	Coeficiente orográfico	adim	0.078

Tabla N° 18. Parámetros de relieve de la Microcuenca del río Mashcón

N°	COTA (msnm)			Área (km ²)					Ci*Ai
	Mínima	Máxima	Promedio "Ci"	Área Parcial (km ²) "Ai"	Área Acumulada (km ²)	Área que queda sobre la superficie (km ²)	Porcentaje de área entre C.N. %	Porcentaje de área sobre C.N. %	
1	2757	2901	2829	5.64	5.64	151.77	3.71%	100.00	15944.51
2	2902	3046	2974	11.34	16.97	146.13	7.47%	96.29	33713.08
3	3047	3191	3119	14.76	31.73	134.80	9.72%	88.82	46025.72
4	3192	3336	3264	18.68	50.41	120.04	12.31%	79.09	60960.81
5	3337	3481	3409	29.44	79.85	101.36	19.40%	66.79	100367.35
6	3482	3626	3554	35.64	115.49	71.92	23.48%	47.39	126659.01
7	3627	3771	3699	20.50	135.98	36.28	13.51%	23.91	75822.56
8	3772	3916	3844	6.57	142.55	15.78	4.33%	10.40	25244.27
9	3917	4061	3989	5.92	148.47	9.22	3.90%	6.07	23624.85
10	4062	4206	4134	3.29	151.77	3.29	2.17%	2.17	13620.88
				151.77			100%		521983.04

ALTITUD MEDIA DE LA CUENCA:	3439.34	m.s.n.m.
------------------------------------	----------------	-----------------

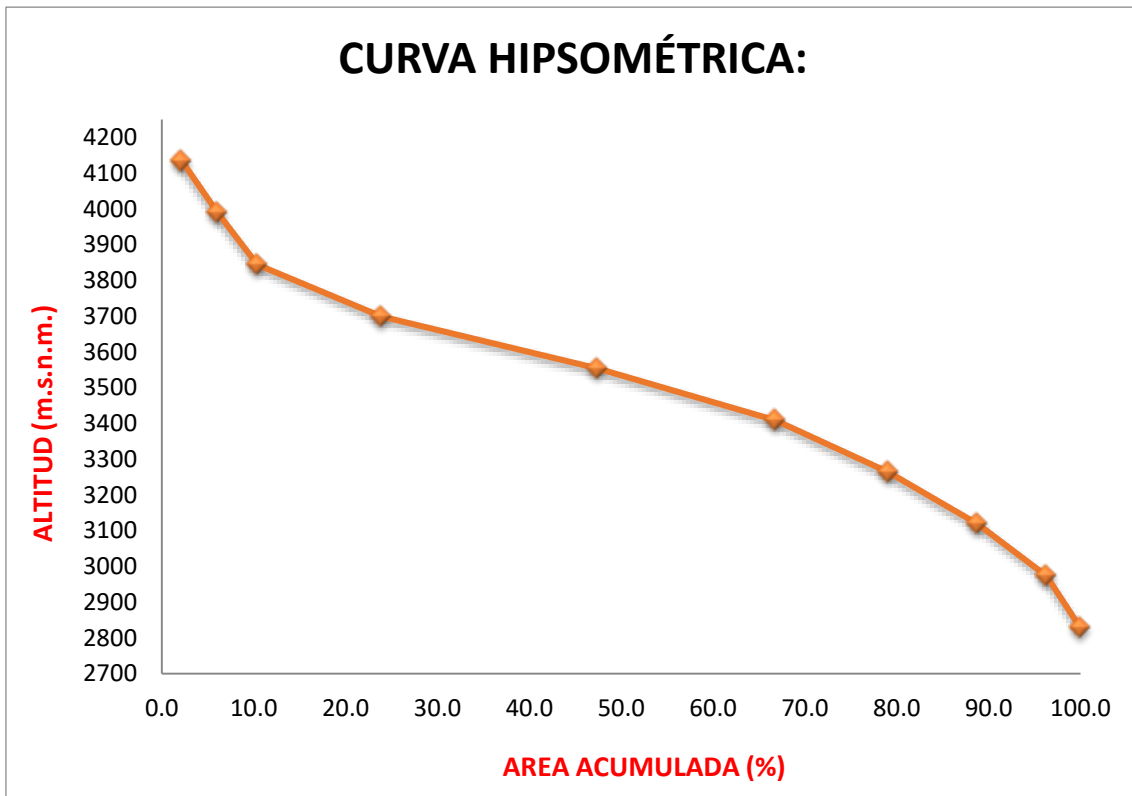


Figura N° 78. Curva Hipsométrica de la Microcuenca del río Mashcón

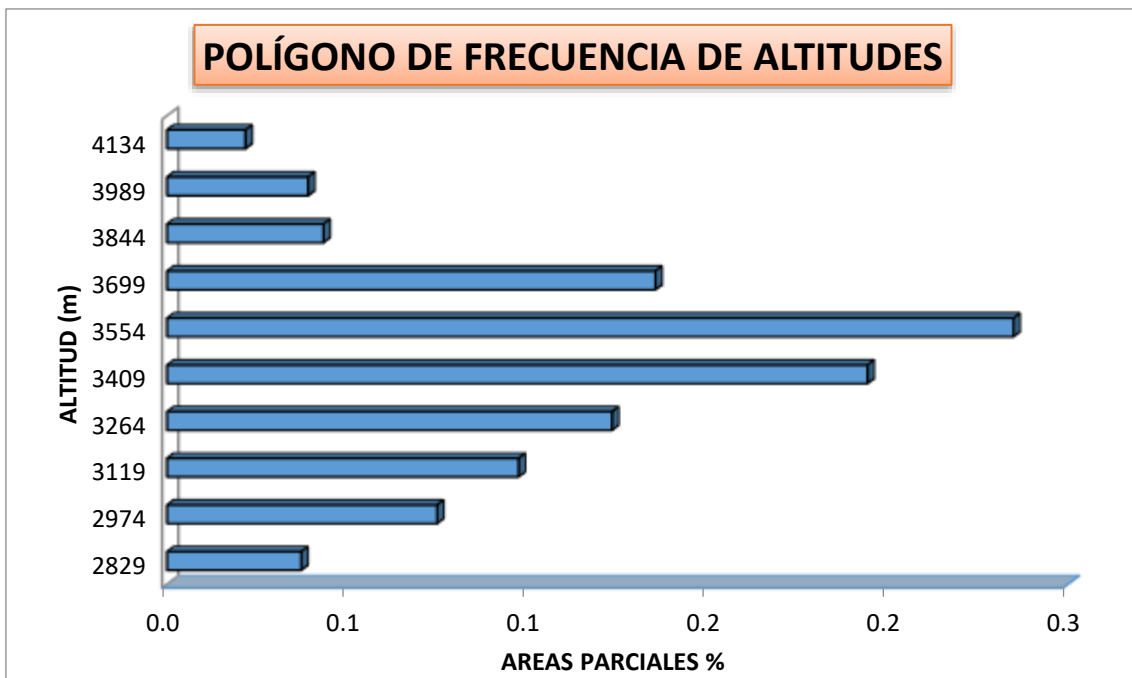


Figura N° 79. Polígono de Frecuencia de altitudes de la Microcuenca del río Mashcón

Tabla N° 19. Parámetros de relieve de la Microcuenca del río Mashcón

CUENCA DEL RIO MASHCON - EL MOLINO- HUAMBOCANCHA BAJA- CAJAMARCA		Unidad de Medida	CANTIDAD	
Parámetros de la red hidrográfica de la cuenca	Número de orden de los ríos	Orden 1	und 9057.00	
		Orden 2	und 3671.00	
		Orden 3	und 1926.00	
		Orden 4	und 1141.00	
		Orden 5	und 311.00	
		Orden 6	und 529.00	
		Orden 7	und 216.00	
		N° Total de ríos	und 16851	
		Grado de ramificación	adim 7	
	Frecuencia de densidad de los ríos	ríos/km2	111.0309	
	Densidad de drenaje	ríos/km2	5.4905	
	Extensión media del escurrimiento superficial	km2/km	0.1821	
	Cotas del cauce principal	Altitud máxima	msnm	4206.00
		Altitud mínima	msnm	2757.00
	Pendiente media del río principal	m/m	4.948	
Altura media del río principal	msnm	3481.50		
Tiempo de concentración	horas	5.918		

ANEXO 2. CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA

Tabla N° 20. Cálculo del coeficiente de escorrentía

ITEM	PENDIENTE TERRENO	USO SUELO	TIPO DE SUELO	AREA_KM2	CE	Area*CE
1	MEDIA > 5%	SIN VEGETACION	PERMEABLE	0.060	0.4	0.024
2	MEDIA > 5%	SIN VEGETACION	PERMEABLE	0.006	0.4	0.002
3	MEDIA > 5%	SIN VEGETACION	PERMEABLE	0.012	0.4	0.005
4	SUAVE > 1%	SIN VEGETACION	PERMEABLE	0.004	0.35	0.001
5	MEDIA > 5%	SIN VEGETACION	PERMEABLE	0.039	0.4	0.015
6	DESPRECIABLE < 1%	SIN VEGETACION	PERMEABLE	0.007	0.3	0.002
7	MEDIA > 5%	SIN VEGETACION	PERMEABLE	0.014	0.4	0.006
8	PRONUNCIADA >50%	SIN VEGETACION	PERMEABLE	0.015	0.5	0.007
9	SUAVE > 1%	SIN VEGETACION	PERMEABLE	0.007	0.35	0.003
10	SUAVE > 1%	SIN VEGETACION	PERMEABLE	0.038	0.35	0.013
11	ALTA > 20%	SIN VEGETACION	PERMEABLE	0.007	0.45	0.003
12	ALTA > 20%	SIN VEGETACION	PERMEABLE	0.020	0.45	0.009
13	PRONUNCIADA >50%	SIN VEGETACION	PERMEABLE	0.027	0.5	0.014
14	PRONUNCIADA >50%	SIN VEGETACION	PERMEABLE	0.020	0.5	0.010
15	ALTA > 20%	SIN VEGETACION	PERMEABLE	0.006	0.45	0.002
16	MEDIA > 5%	SIN VEGETACION	PERMEABLE	0.002	0.4	0.001
17	PRONUNCIADA >50%	SIN VEGETACION	PERMEABLE	0.005	0.5	0.002
18	SUAVE > 1%	SIN VEGETACION	PERMEABLE	0.011	0.35	0.004
19	MEDIA > 5%	SIN VEGETACION	PERMEABLE	0.010	0.4	0.004
20	SUAVE > 1%	SIN VEGETACION	PERMEABLE	0.006	0.35	0.002
21	MEDIA > 5%	SIN VEGETACION	PERMEABLE	0.008	0.4	0.003
22	PRONUNCIADA >50%	SIN VEGETACION	PERMEABLE	0.012	0.5	0.006
23	MEDIA > 5%	SIN VEGETACION	PERMEABLE	0.025	0.4	0.010
24	PRONUNCIADA >50%	SIN VEGETACION	PERMEABLE	0.037	0.5	0.018

Continuación de tabla N°20

25	SUAVE > 1%	SIN VEGETACION	PERMEABLE	0.010	0.35	0.004
26	PRONUNCIADA >50%	SIN VEGETACION	PERMEABLE	0.111	0.5	0.055
27	ALTA > 20%	SIN VEGETACION	PERMEABLE	0.001	0.45	0.000
28	MEDIA > 5%	SIN VEGETACION	PERMEABLE	0.622	0.4	0.249
29	PRONUNCIADA >50%	SIN VEGETACION	PERMEABLE	0.010	0.5	0.005
30	PRONUNCIADA >50%	SIN VEGETACION	PERMEABLE	0.000	0.5	0.000
31	ALTA > 20%	SIN VEGETACION	PERMEABLE	0.004	0.45	0.002
32	ALTA > 20%	SIN VEGETACION	PERMEABLE	0.002	0.45	0.001
33	MEDIA > 5%	SIN VEGETACION	PERMEABLE	0.061	0.4	0.024
34	MEDIA > 5%	SIN VEGETACION	PERMEABLE	0.008	0.4	0.003
35	PRONUNCIADA >50%	SIN VEGETACION	PERMEABLE	0.009	0.5	0.005
36	MEDIA > 5%	SIN VEGETACION	PERMEABLE	0.085	0.4	0.034
37	MEDIA > 5%	SIN VEGETACION	PERMEABLE	0.002	0.4	0.001
38	MEDIA > 5%	SIN VEGETACION	PERMEABLE	0.004	0.4	0.002
39	SUAVE > 1%	SIN VEGETACION	PERMEABLE	0.044	0.35	0.015
40	PRONUNCIADA >50%	SIN VEGETACION	PERMEABLE	0.001	0.5	0.000
41	PRONUNCIADA >50%	SIN VEGETACION	PERMEABLE	0.004	0.5	0.002
42	SUAVE > 1%	SIN VEGETACION	PERMEABLE	0.005	0.35	0.002
43	MEDIA > 5%	SIN VEGETACION	PERMEABLE	0.043	0.4	0.017
44	ALTA > 20%	SIN VEGETACION	PERMEABLE	0.012	0.45	0.006
45	SUAVE > 1%	SIN VEGETACION	PERMEABLE	0.006	0.35	0.002
46	SUAVE > 1%	SIN VEGETACION	PERMEABLE	0.007	0.35	0.002
47	MEDIA > 5%	SIN VEGETACION	PERMEABLE	0.006	0.4	0.003
48	SUAVE > 1%	SIN VEGETACION	PERMEABLE	0.001	0.35	0.001
49	ALTA > 20%	SIN VEGETACION	PERMEABLE	0.012	0.45	0.005
50	MEDIA > 5%	SIN VEGETACION	PERMEABLE	0.010	0.4	0.004
51	SUAVE > 1%	SIN VEGETACION	PERMEABLE	0.003	0.35	0.001

Continuación de tabla N° 20

52	MEDIA > 5%	SIN VEGETACION	PERMEABLE	0.011	0.4	0.004
53	MEDIA > 5%	SIN VEGETACION	PERMEABLE	0.001	0.4	0.000
54	SUAVE > 1%	SIN VEGETACION	PERMEABLE	0.006	0.35	0.002
...
1442	ALTA > 20%	CULTIVOS	SEMI PERMEABLE	0.197	0.55	0.004
1443	ALTA > 20%	CULTIVOS	SEMI PERMEABLE	0.041	0.55	0.002
1444	ALTA > 20%	CULTIVOS	SEMI PERMEABLE	0.056	0.55	0.002
1445	ALTA > 20%	CULTIVOS	SEMI PERMEABLE	0.356	0.55	0.153
1446	ALTA > 20%	CULTIVOS	SEMI PERMEABLE	13.605	0.55	0.004
1447	ALTA > 20%	CULTIVOS	SEMI PERMEABLE	17.366	0.55	0.045
1448	ALTA > 20%	CULTIVOS	SEMI PERMEABLE	0.105	0.55	0.005
1449	ALTA > 20%	CULTIVOS	IMPERMEABLE	0.005	0.65	0.015

Calculando el coeficiente de escorrentia ponderado, con la fórmula 10 del presente documento:

$$C = \frac{82.229}{151.769} = \mathbf{0.542}$$

ANEXO 3. TOPOGRAFÍA DE LA ZONA DE ESTUDIO – CASERÍO EL MOLINO – HUAMBOCANCHA BAJA – CAJAMARCA.

En la figura N° 80. Se observa el puente Chinchimachay ubicado en el cauce del río Mashcón, que su salida determina el punto emisor de la Cuenca estudiada



Figura N° 80 . Puente Chinchimachay en el cauce del río.

En la figura N° 81. Se observa el cauce del Río Mashcón aguas abajo del puente Chinchimachay, es importante tener la idea del cauce que se va a levantar.



Figura N° 81. Estado del cauce del río Mashcón

En la figura N° 82, observamos la programación del vuelo del Drone Phantom 4 Pro, para así poder iniciar el levantamiento topografico en el Caserío el Molino.



Figura N° 82. Programación del vuelo

En la Imagen N° 83 . Empezaremos el levantamiento topografico con lanzamiento de vuelo del Drone a la zona de estudio a levantar.



Figura N° 83. Inicio del levantamiento topográfico con el Drone.

En la Imagen N° 84. Cauce del río Mashcón aguas abajo del puente Chinchimachay que también levantará el Drone.



Figura N° 84. Cauce del río Mashcón aguas abajo.



Figura N° 85. Levantamiento topográfico formato jpg.

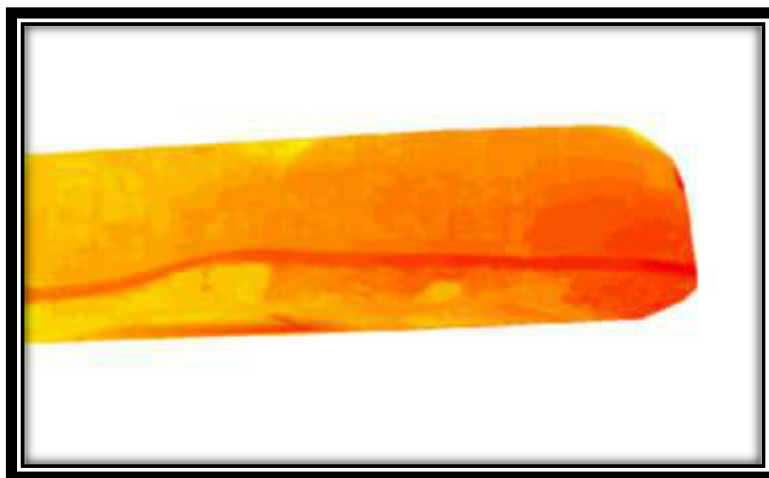


Figura N° 86. Levantamiento topográfico tiff (DEM).

ANEXO 4. CURVAS IDF PARA LOS ESCENARIOS ESTUDIADOS.

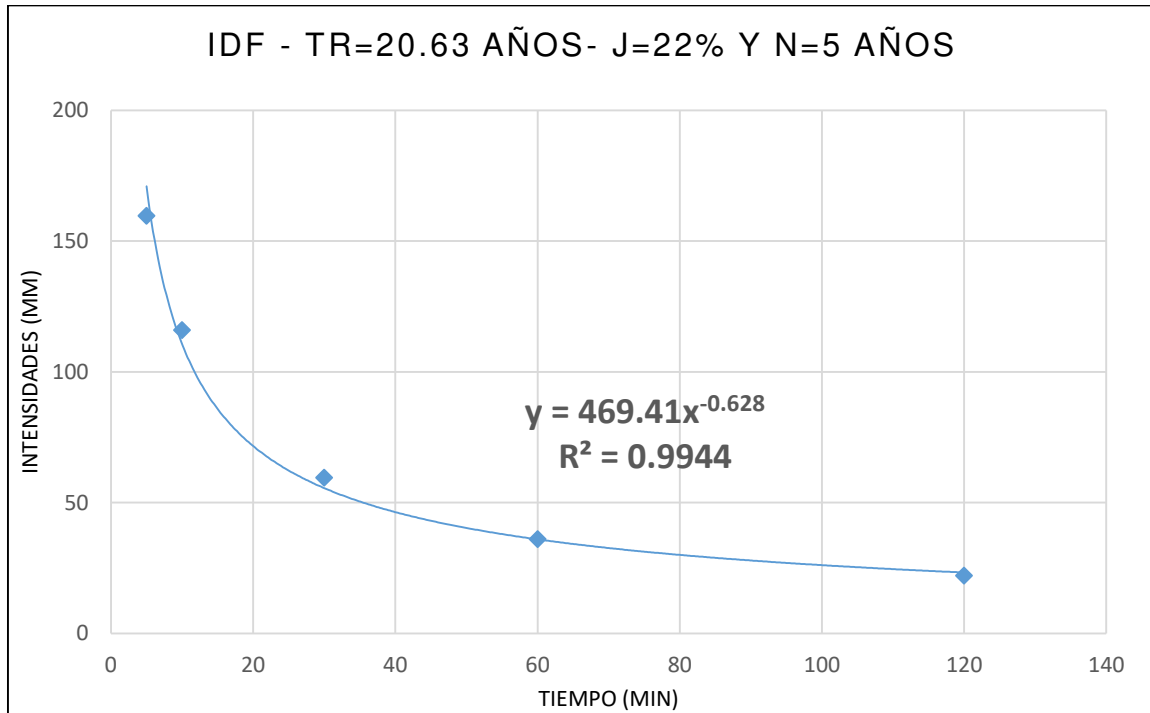


Figura N° 87. Curva IDF para TR=20.63 años, J=22% y N=5 años

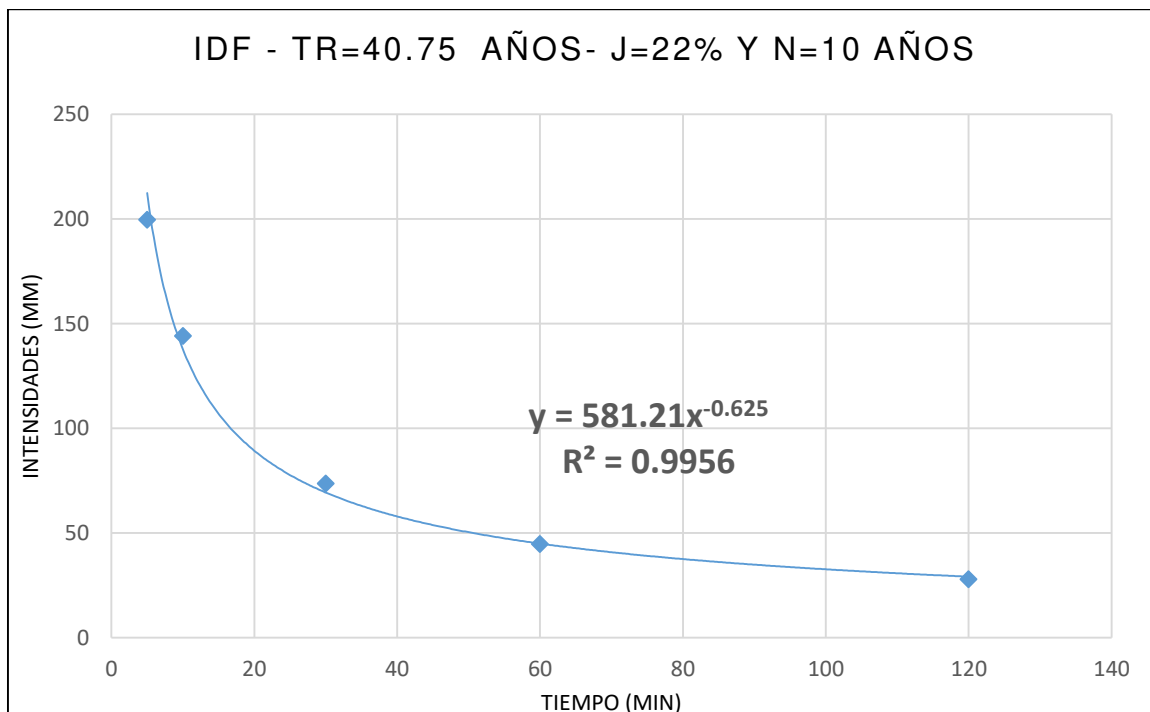


Figura N° 88. Curva IDF para TR=40.75 años, J=22% y N=10 años

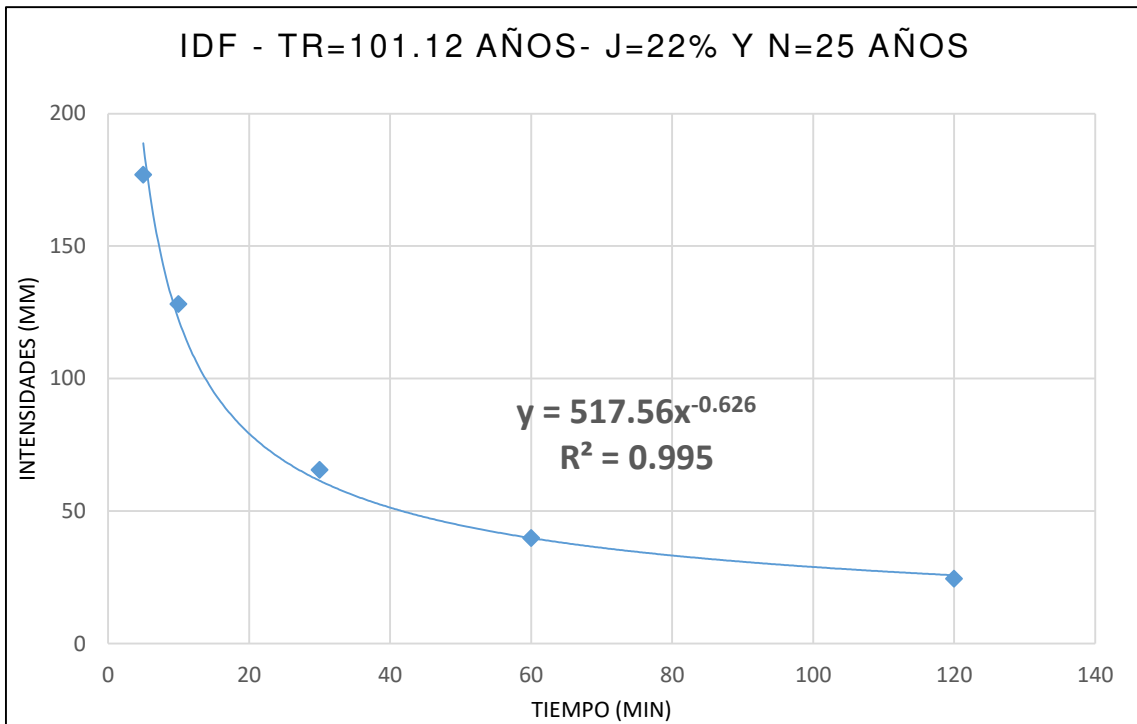


Figura N° 89. Curva IDF para TR=101.12 años, J=22% y N=25 años

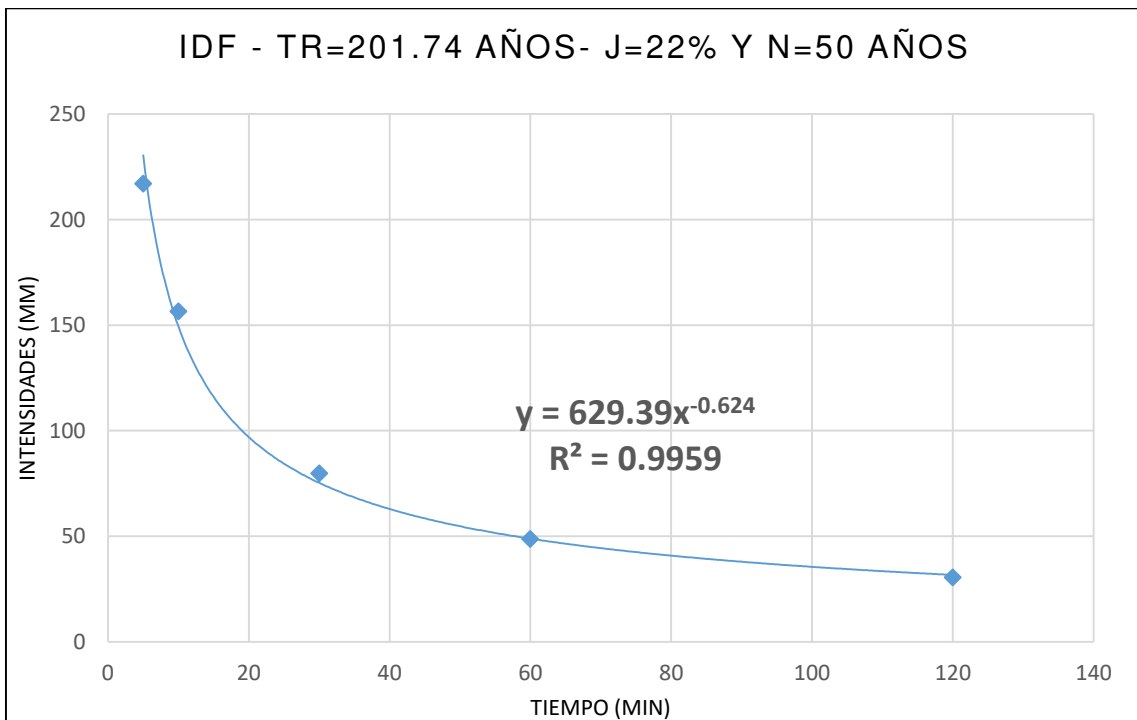


Figura N° 90. Curva IDF para TR=201.74 años, J=22% y N=50 años

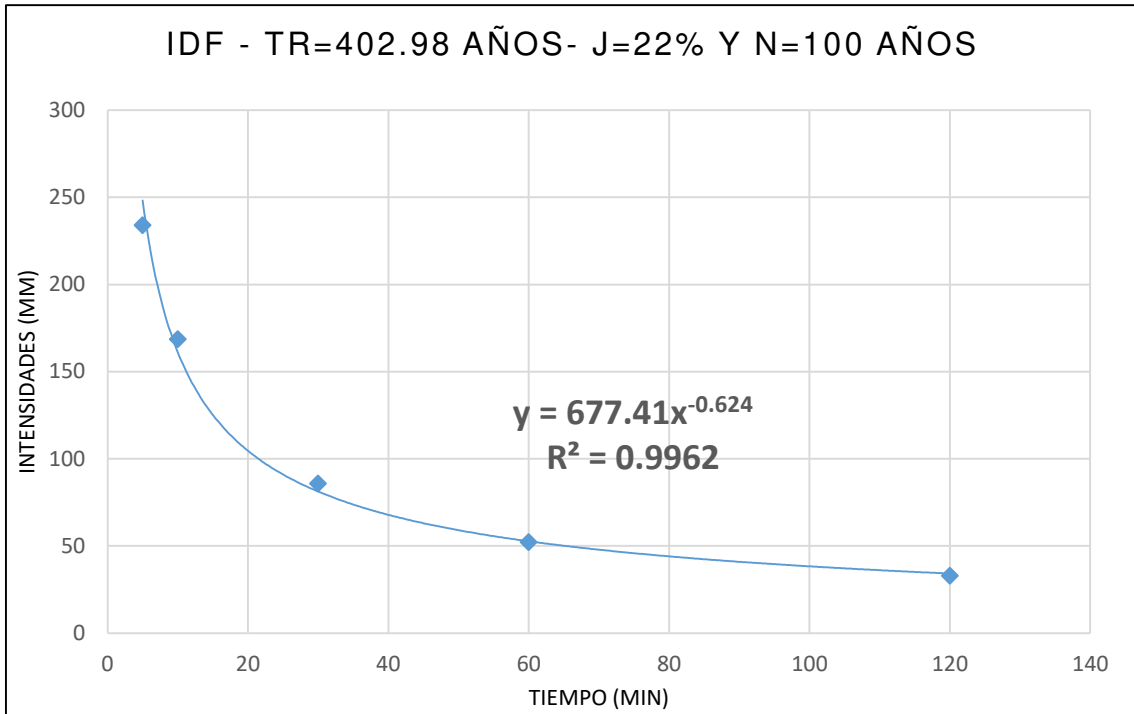
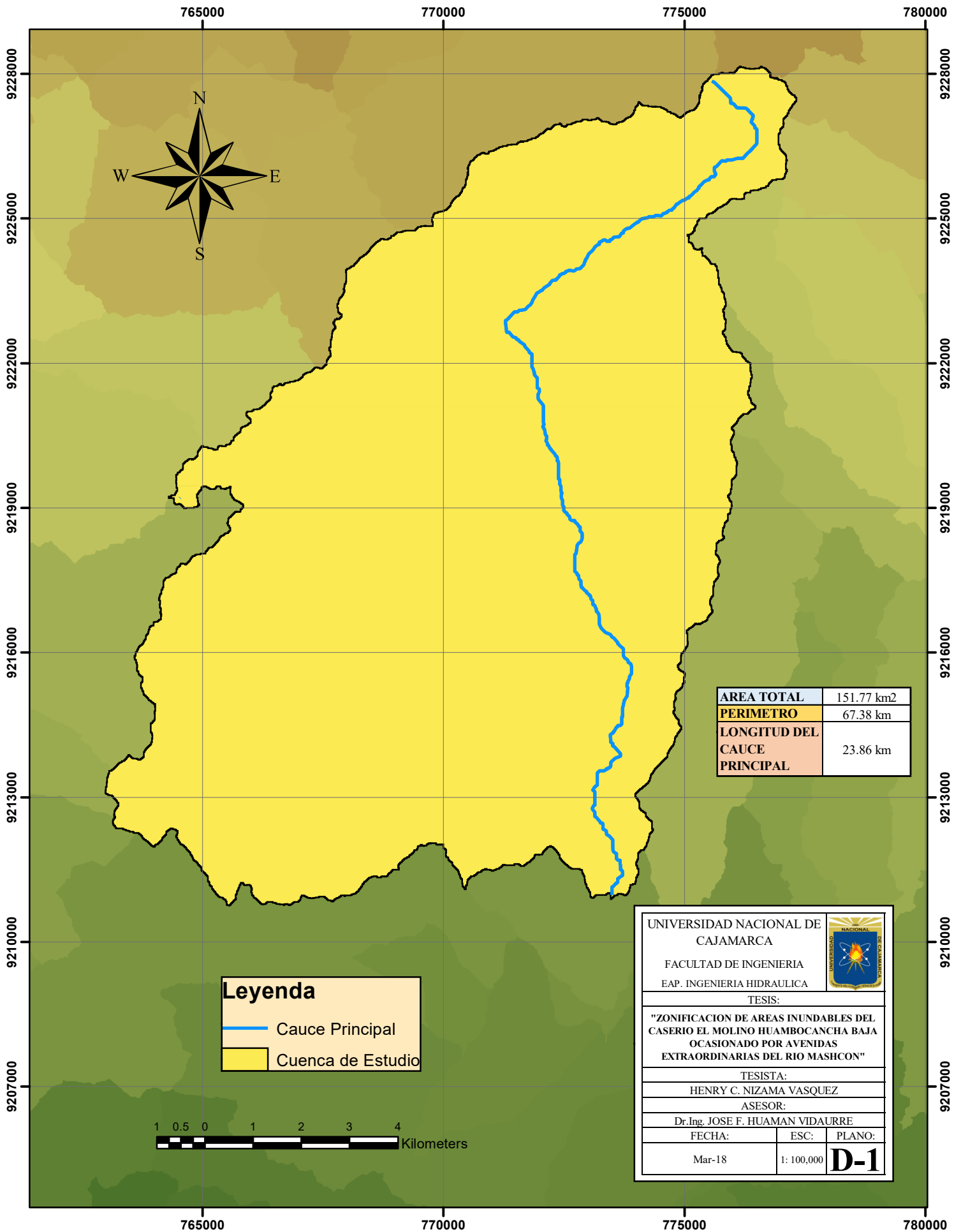


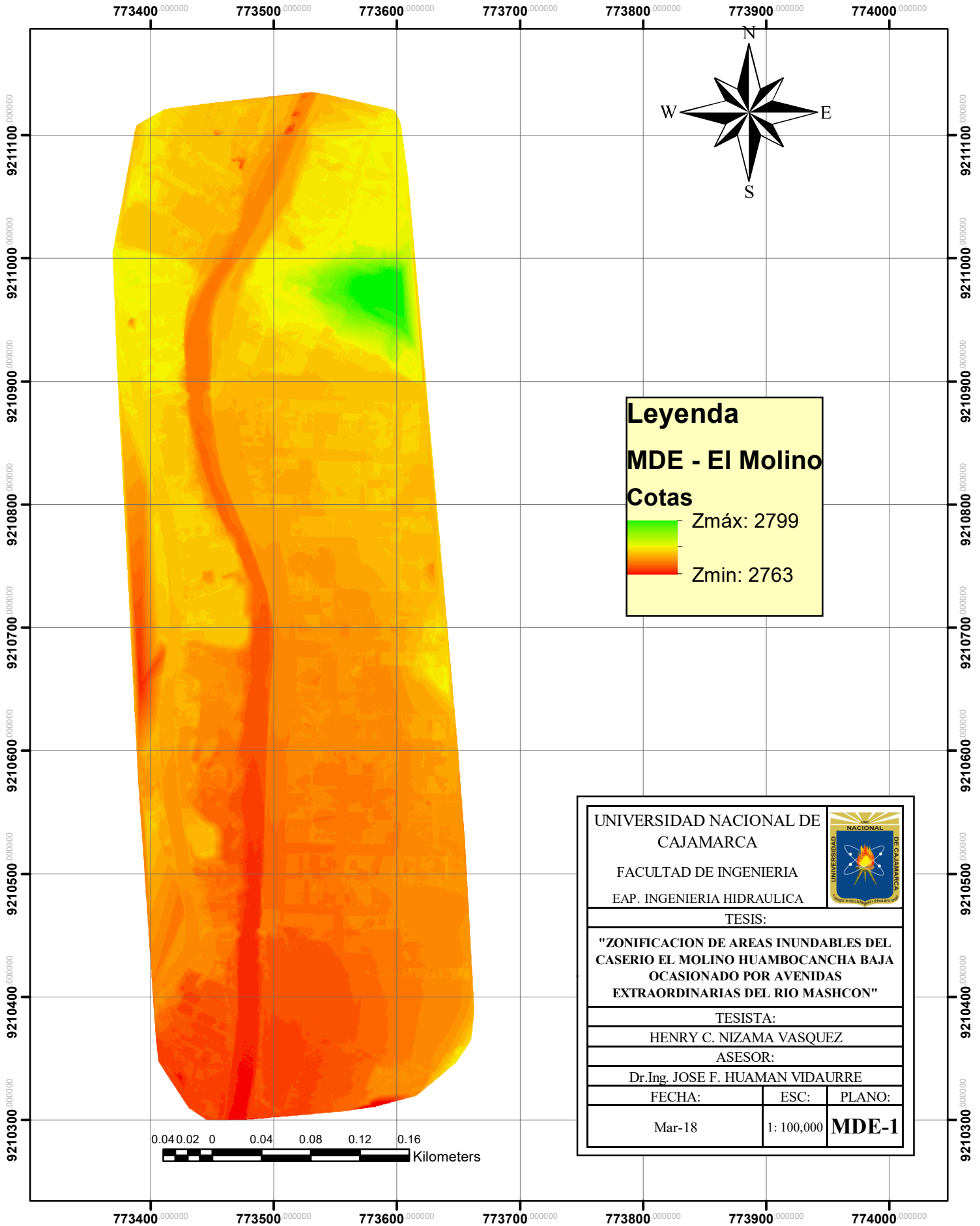
Figura N° 91. Curva IDF para TR=402.98 años, J=22% y N=100 años

ANEXO 5. PLANOS


MAPA DE DELIMITACION DE LA CUENCA EN ESTUDIO



MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN - MDE DEL CASERIO
EL MOLINO - HUAMBOCANCHA BAJA - CAJAMARCA

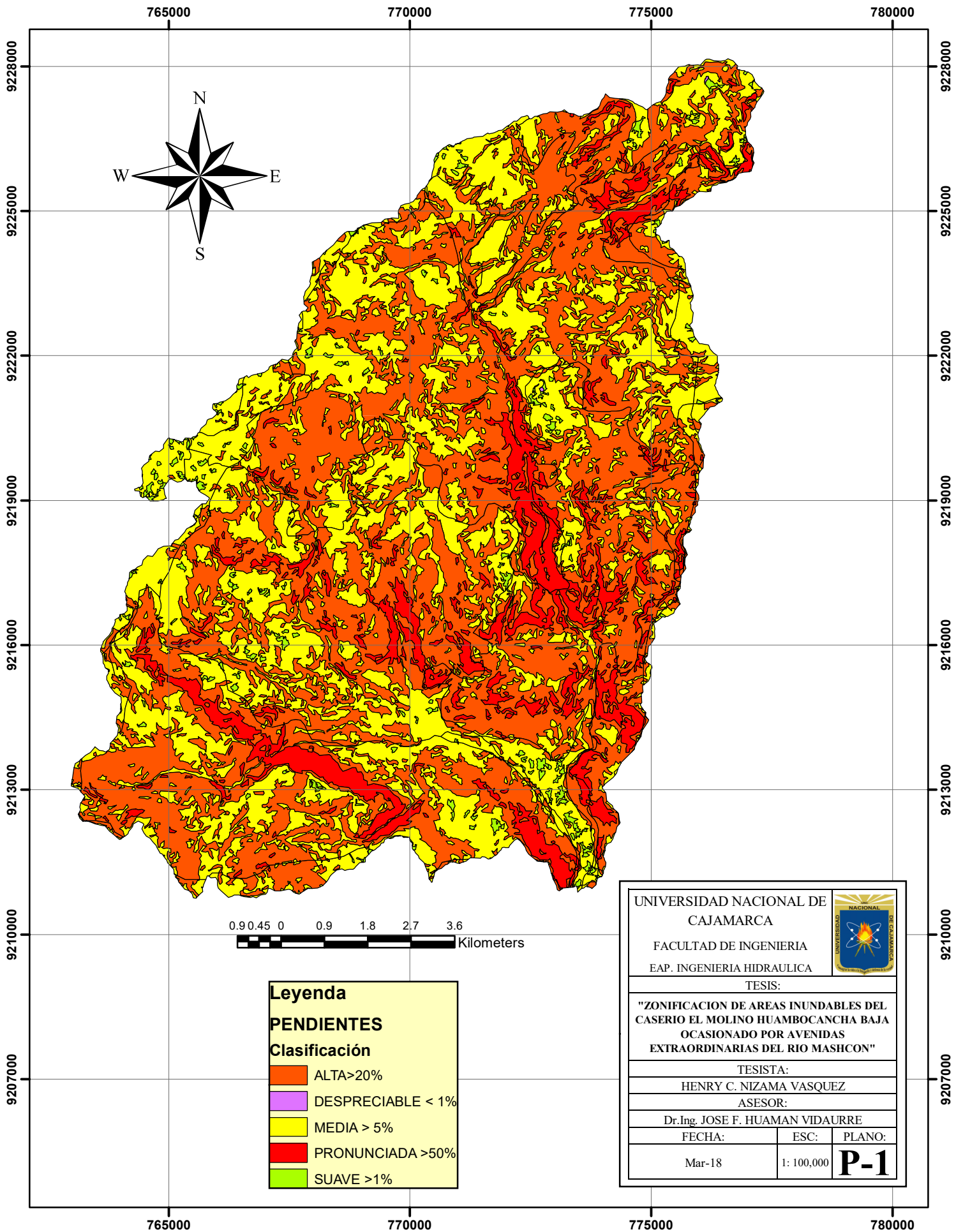


Leyenda
MDE - El Molino
Cotas


 Zmáx: 2799
 Zmin: 2763

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA		
FACULTAD DE INGENIERIA		
EAP. INGENIERIA HIDRAULICA		
TESIS:		
"ZONIFICACION DE AREAS INUNDABLES DEL CASERIO EL MOLINO HUAMBOCANCHA BAJA OCASIONADO POR AVENIDAS EXTRAORDINARIAS DEL RIO MASHCON"		
TESISTA:		
HENRY C. NIZAMA VASQUEZ		
ASESOR:		
Dr.Ing. JOSE F. HUAMAN VIDAURRE		
FECHA:	ESC:	PLANO:
Mar-18	1: 100,000	MDE-1

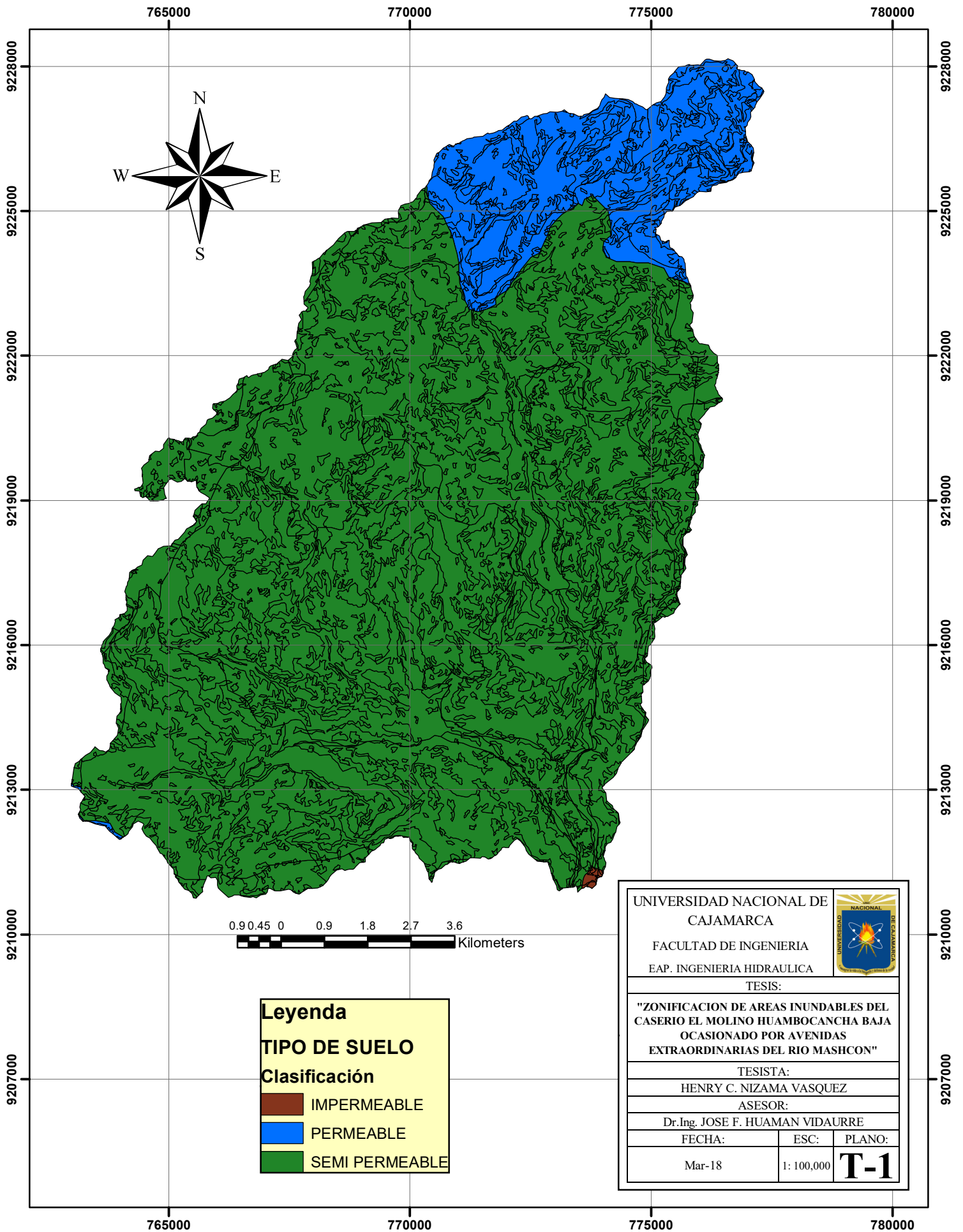
MAPA DE PENDIENTES DE LA CUENCA EN ESTUDIO



Leyenda	
PENDIENTES	
Clasificación	
	ALTA >20%
	DESPRECIABLE < 1%
	MEDIA > 5%
	PRONUNCIADA >50%
	SUAVE >1%

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA			
FACULTAD DE INGENIERIA			
EAP. INGENIERIA HIDRAULICA			
TESIS:			
"ZONIFICACION DE AREAS INUNDABLES DEL CASERIO EL MOLINO HUAMBOCANCHA BAJA OCASIONADO POR AVENIDAS EXTRAORDINARIAS DEL RIO MASHCON"			
TESISTA:			
HENRY C. NIZAMA VASQUEZ			
ASESOR:			
Dr.Ing. JOSE F. HUAMAN VIDAURRE			
FECHA:	ESC:	PLANO:	
Mar-18	1: 100,000	P-1	

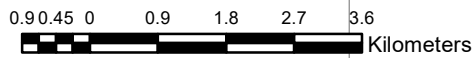
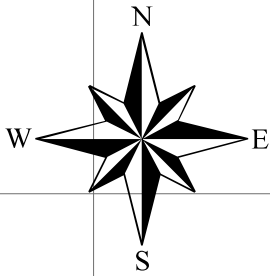
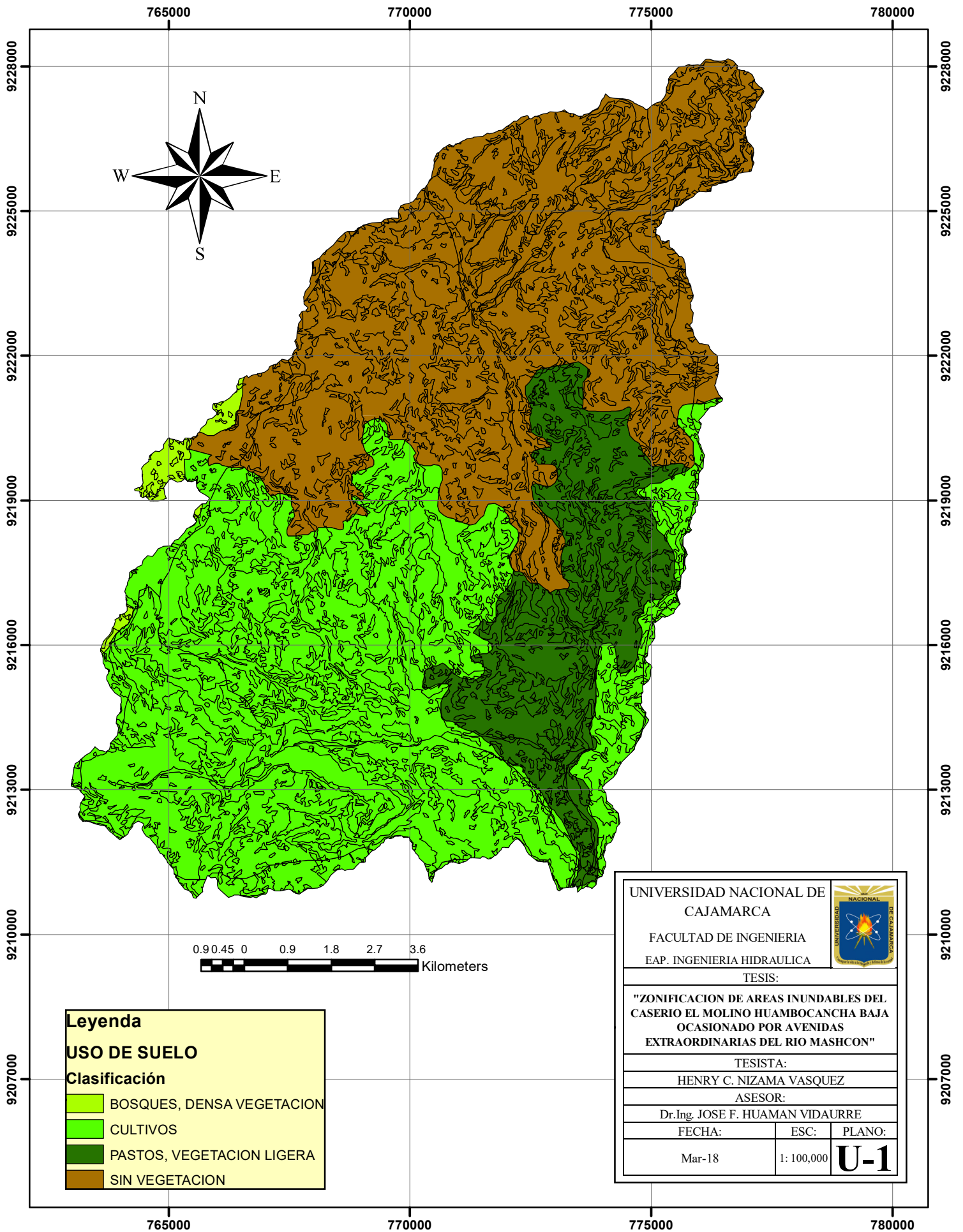
MAPA DE TIPO DE SUELOS DE LA CUENCA EN ESTUDIO



Leyenda	
TIPO DE SUELO	
Clasificación	
	IMPERMEABLE
	PERMEABLE
	SEMI PERMEABLE

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA		
FACULTAD DE INGENIERIA		
EAP. INGENIERIA HIDRAULICA		
TESIS:		
"ZONIFICACION DE AREAS INUNDABLES DEL CASERIO EL MOLINO HUAMBOCANCHA BAJA OCACIONADO POR AVENIDAS EXTRAORDINARIAS DEL RIO MASHCON"		
TESISTA:		
HENRY C. NIZAMA VASQUEZ		
ASESOR:		
Dr.Ing. JOSE F. HUAMAN VIDAURRE		
FECHA:	ESC:	PLANO:
Mar-18	1: 100,000	T-1

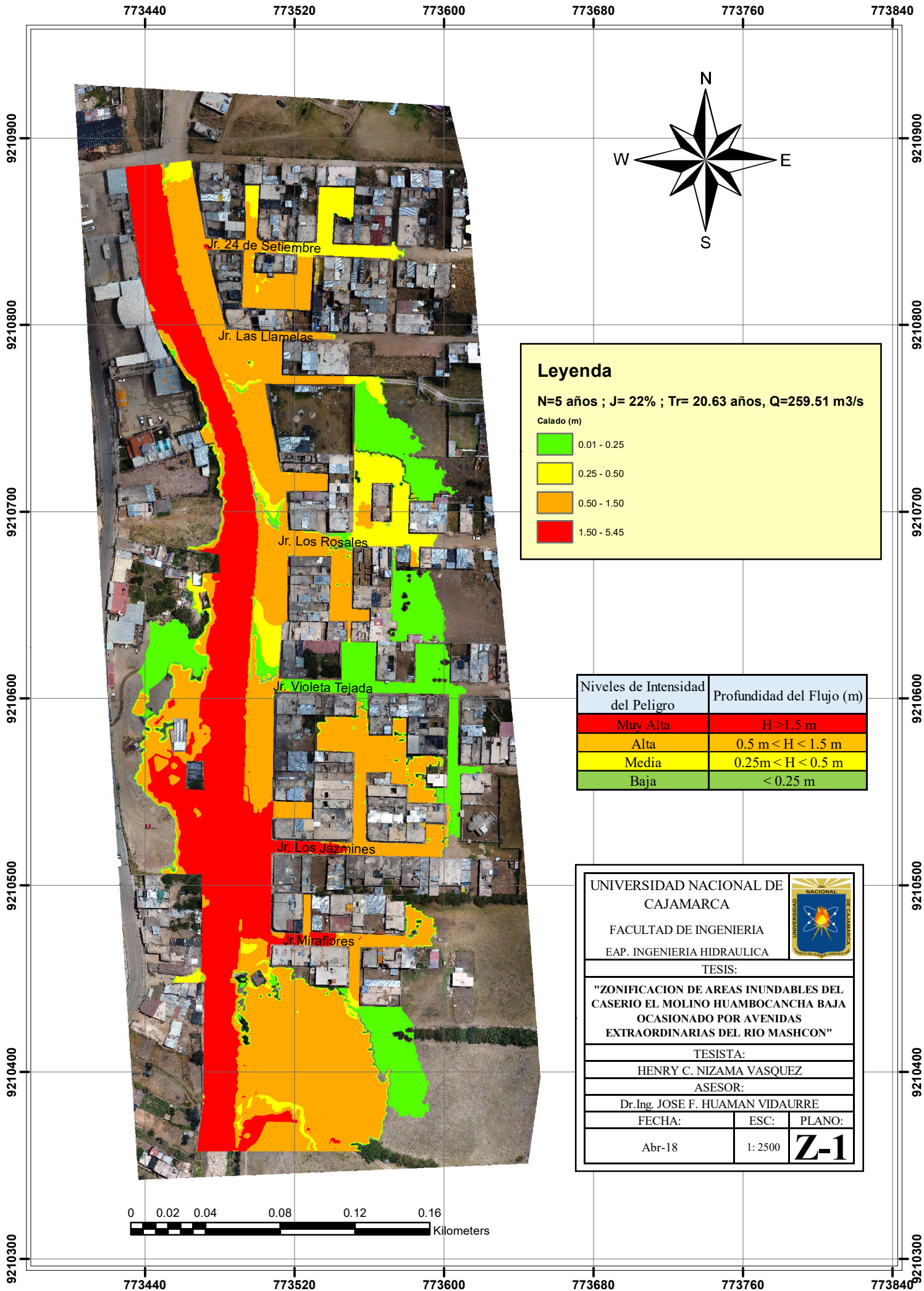
MAPA DE USOS DE SUELOS DE LA CUENCA EN ESTUDIO



Leyenda	
USO DE SUELO	
Clasificación	
	BOSQUES, DENSA VEGETACION
	CULTIVOS
	PASTOS, VEGETACION LIGERA
	SIN VEGETACION

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA			
FACULTAD DE INGENIERIA			
EAP. INGENIERIA HIDRAULICA			
TESIS:			
"ZONIFICACION DE AREAS INUNDABLES DEL CASERIO EL MOLINO HUAMBOCANCHA BAJA OCASIONADO POR AVENIDAS EXTRAORDINARIAS DEL RIO MASHCON"			
TESISTA:			
HENRY C. NIZAMA VASQUEZ			
ASESOR:			
Dr. Ing. JOSE F. HUAMAN VIDAURRE			
FECHA:	ESC:	PLANO:	
Mar-18	1: 100,000	U-1	

MAPA DE ZONIFICACION DE AREAS INUNDABLES - "EL MOLINO" -
N= 5 AÑOS ; J = 22% ; TR=20.63 años y Q= 259.51 m³/s



Legenda

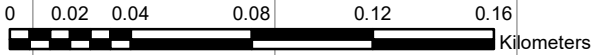
N=5 años ; J= 22% ; Tr= 20.63 años, Q=259.51 m³/s

Calado (m)

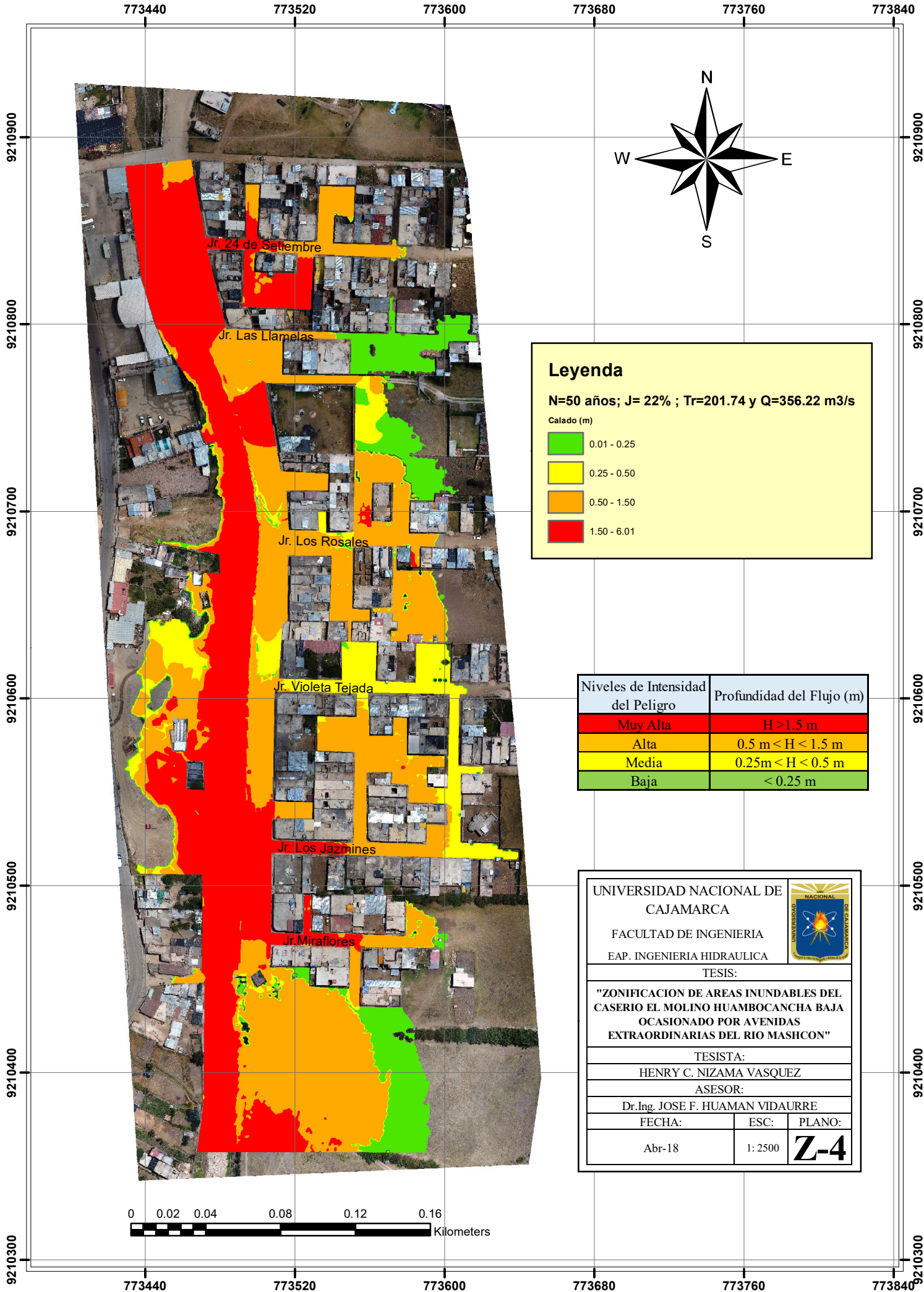
	0.01 - 0.25
	0.25 - 0.50
	0.50 - 1.50
	1.50 - 5.45

Niveles de Intensidad del Peligro	Profundidad del Flujo (m)
Muy Alta	H > 1.5 m
Alta	0.5 m < H < 1.5 m
Media	0.25m < H < 0.5 m
Baja	< 0.25 m

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA		
FACULTAD DE INGENIERIA		
EAP. INGENIERIA HIDRAULICA		
TESIS:		
"ZONIFICACION DE AREAS INUNDABLES DEL CASERIO EL MOLINO HUAMBOCANCHA BAJA OCASIONADO POR AVENIDAS EXTRAORDINARIAS DEL RIO MASHCON"		
TESISTA:		
HENRY C. NIZAMA VASQUEZ		
ASESOR:		
Dr.Ing. JOSE F. HUAMAN VIDAURRE		
FECHA:	ESC:	PLANO:
Abr-18	1: 2500	Z-1



MAPA DE ZONIFICACION DE AREAS INUNDABLES - "EL MOLINO" -
N= 50 AÑOS ; J = 22% ; TR=201.74 años y Q= 356.22 m3/s




Leyenda

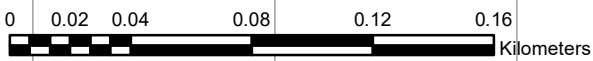
N=50 años; J= 22% ; Tr=201.74 y Q=356.22 m3/s

Calado (m)

- 0.01 - 0.25
- 0.25 - 0.50
- 0.50 - 1.50
- 1.50 - 6.01

Niveles de Intensidad del Peligro	Profundidad del Flujo (m)
Muy Alta	$H > 1.5 \text{ m}$
Alta	$0.5 \text{ m} < H < 1.5 \text{ m}$
Media	$0.25 \text{ m} < H < 0.5 \text{ m}$
Baja	$< 0.25 \text{ m}$

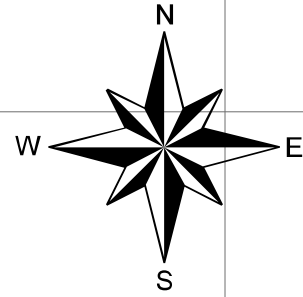
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA			
FACULTAD DE INGENIERIA			
EAP. INGENIERIA HIDRAULICA			
TESIS:			
"ZONIFICACION DE AREAS INUNDABLES DEL CASERIO EL MOLINO HUAMBOCANCHA BAJA OCACIONADO POR AVENIDAS EXTRAORDINARIAS DEL RIO MASHCON"			
TESISTA:			
HENRY C. NIZAMA VASQUEZ			
ASESOR:			
Dr.Ing. JOSE F. HUAMAN VIDAURRE			
FECHA:	ESC:	PLANO:	
Abr-18	1: 2500	Z-4	



MAPA DE ZONIFICACION DE AREAS INUNDABLES - "EL MOLINO" -
N= 100 AÑOS ; J = 22% ; TR=402.98 años y Q= 383.40 m3/s

773440 773520 773600 773680 773760 773840

9210900
9210800
9210700
9210600
9210500
9210400
9210300

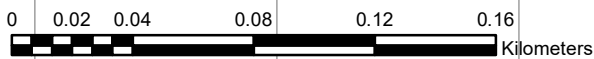


Leyenda
N=100 años; J= 22% ; Tr=402.98 y Q=383.40 m3/s
 Calado (m)

	0.01 - 0.25
	0.25 - 0.50
	0.50 - 1.50
	1.50 - 6.14

Niveles de Intensidad del Peligro	Profundidad del Flujo (m)
Muy Alta	$H > 1.5$ m
Alta	$0.5 < H < 1.5$ m
Media	$0.25 < H < 0.5$ m
Baja	< 0.25 m

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA		
FACULTAD DE INGENIERIA		
EAP. INGENIERIA HIDRAULICA		
TESIS:		
"ZONIFICACION DE AREAS INUNDABLES DEL CASERIO EL MOLINO HUAMBOCANCHA BAJA OCASIONADO POR AVENIDAS EXTRAORDINARIAS DEL RIO MASHCON"		
TESISTA:		
HENRY C. NIZAMA VASQUEZ		
ASESOR:		
Dr.Ing. JOSE F. HUAMAN VIDAURRE		
FECHA:	ESC:	PLANO:
Abr-18	1: 2500	Z-5

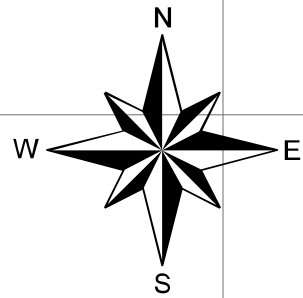


773440 773520 773600 773680 773760 773840

MAPA DE ZONIFICACION DE AREAS INUNDABLES - "EL MOLINO" -
N= 25 AÑOS ; J = 22% ; TR=101.12 años y Q= 327.02 m3/s

773440 773520 773600 773680 773760 773840

9210900
9210800
9210700
9210600
9210500
9210400
9210300



Leyenda

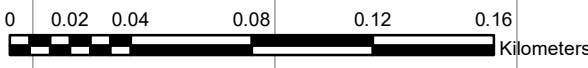
N=25 años; J= 22% ; Tr=101.12 y Q=327.02 m3/s

Calado (m)

	0.01 - 0.25
	0.25 - 0.50
	0.50 - 1.5
	1.50 - 5.88

Niveles de Intensidad del Peligro	Profundidad del Flujo (m)
Muy Alta	$H > 1.5$ m
Alta	$0.5 \text{ m} < H < 1.5$ m
Media	$0.25 \text{ m} < H < 0.5$ m
Baja	< 0.25 m

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA		
FACULTAD DE INGENIERIA		
EAP. INGENIERIA HIDRAULICA		
TESIS:		
"ZONIFICACION DE AREAS INUNDABLES DEL CASERIO EL MOLINO HUAMBOCANCHA BAJA OCASIONADO POR AVENIDAS EXTRAORDINARIAS DEL RIO MASHCON"		
TESISTA:		
HENRY C. NIZAMA VASQUEZ		
ASESOR:		
Dr.Ing. JOSE F. HUAMAN VIDAURRE		
FECHA:	ESC:	PLANO:
Abr-18	1: 2500	Z-3

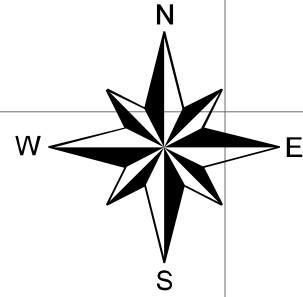


773440 773520 773600 773680 773760 773840

MAPA DE ZONIFICACION DE AREAS INUNDABLES - "EL MOLINO" -
N= 10 AÑOS ; J = 22% ; TR=40.75 años y Q= 289.51 m³/s

773440 773520 773600 773680 773760 773840

9210900
9210800
9210700
9210600
9210500
9210400
9210300



Leyenda

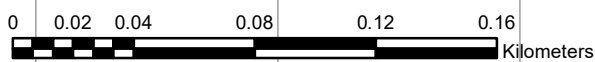
N=10 años; J= 22% ; Tr=40.75 y Q=289.51 m³/s

Calado (m)

	0.01 - 0.25
	0.25 - 0.5
	0.50 - 1.50
	1.50 - 5.65

Niveles de Intensidad del Peligro	Profundidad del Flujo (m)
Muy Alta	H > 1.5 m
Alta	0.5 m < H < 1.5 m
Media	0.25m < H < 0.5 m
Baja	< 0.25 m

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA		
FACULTAD DE INGENIERIA		
EAP. INGENIERIA HIDRAULICA		
TESIS:		
"ZONIFICACION DE AREAS INUNDABLES DEL CASERIO EL MOLINO HUAMBOCANCHA BAJA OCASIONADO POR AVENIDAS EXTRAORDINARIAS DEL RIO MASHCON"		
TESISTA:		
HENRY C. NIZAMA VASQUEZ		
ASESOR:		
Dr.Ing. JOSE F. HUAMAN VIDAURRE		
FECHA:	ESC:	PLANO:
Abr-18	1: 2500	Z-2



773440 773520 773600 773680 773760 773840