

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA
MOLINA**

FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA



**“COMPARACIÓN DE LOS MODELOS HIDRÁULICOS
UNIDIMENSIONAL Y BIDIMENSIONAL EN EL ANÁLISIS DE
INUNDACIONES EN EL RIO VIRU”**

Presentado por:

Gutiérrez Reynaga, Max Josemar

TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE

INGENIERO AGRICOLA

LA MOLINA, 2018

CON TODO EL CARIÑO DEL MUNDO A MI MAMÁ Y PAPÁ,
QUIENES EN TODO MOMENTO ME BRINDARON SU APOYO.

AGRADECIMIENTOS

Quisiera expresar mis más sinceros agradecimientos a mi alma mater, Universidad Nacional Agraria La Molina y a la Facultad de Ingeniería Agrícola, que me formó académicamente con sus dedicados docentes, de los cuales guardo grandes enseñanzas.

A mi asesor el Dr. Néstor Montalvo Arquíñigo, el cual me aconsejó en todo momento y me alentó a seguir adelante.

A mi padre el ingeniero Máximo Gutiérrez Bernaola, quien durante todo este camino me acompañó enseñándome a cómo uno debe comportarse como profesional.

A mi tía Alicia Gutiérrez Bernaola, que fue la que me recibió en su casa y me cuidó durante el tiempo que estuve preparándome para la universidad, a mi tía Josefina “Chepa” Gutiérrez Bernaola, quien siempre tuvo tiempo para apoyarme en mis actividades “extra académicas”.

A la Ing. Elizabeth León Chinchay, quien fue la persona que me dio mi primer trabajo como profesional.

A mi hermano Jiampiere Gutiérrez Reynaga, quien siempre está ahí para alentarme.

A mis amistades: Enzo Hurtado, Neil Rivas, Aysha Aguilar, Rafael Aita, Rossemary Zeballos, Carlos Polo, Francisco Córdova, Kevin Paz, Romulo Ayala, Pepe Chavez, con quienes siempre puedo contar para todo.

Y en especial a mi madre, la ingeniera Aurora Amparo Reynaga Guillen, de no ser por su paciencia y su cariño, yo no sería lo que soy ahora.

ÍNDICE

I. INTRODUCCION	1
II. REVISION BIBLIOGRAFICA	3
2.1 ANTECEDENTES:	3
2.2 HIDROLOGIA:	4
2.4 DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD:.....	5
2.5 ANALISIS DE FRECUENCIA DE AVENIDAS:.....	5
2.6 PRUEBAS DE BONDAD DE AJUSTE.....	7
2.7 SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA (SIG).....	8
2.8 MODELOS UNIDIMENSIONALES.....	10
2.8.1 Modelo Hec-Ras.....	13
2.9 MODELOS BIDIMENSIONALES.....	14
2.9.1 Programa Iber:	16
2.10 CALIBRACION.....	17
III. MATERIALES Y METODOS	21
3.1 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO:.....	21
3.1.1 Ubicación del Proyecto	21
3.1.2 Ubicación Geográfica.....	21
3.1.3 Ubicación Hidrográfica.	22
3.2 MATERIALES Y EQUIPOS:	23
3.3 METODOLOGÍA:.....	23
3.3.1 Análisis Hidrológico	23
3.3.2 Método estadístico para el cálculo del caudal máximo.....	25
3.3.3 Método de Relaciones Empíricas- Cálculo de Caudal Instantáneo.....	25

3.4 PROCESAMIENTO DE LA DATA EN ARC-GIS.....	26
3.5 MODELACION DE INUNDACION CON GEO-HEC-RAS:.....	26
3.6 MODELACION DE INUNDACION CON IBER:.....	27
3.7 CALIBRACIÓN DE LOS MODELOS:	27
3.8 COMPARACION DE MEDIAS.....	30
3.9 CEDULA DE CULTIVO Y PERDIDA DE INGRESOS POR INUNDACION .	30
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES:.....	32
4.1 ANALISIS HIDROLOGICO.....	32
4.2 RELACIONES EMPIRICAS TUCCI- CÁLCULO DE CAUDAL INSTANTANEO	33
4.3 COMPARACIÓN IBER Y HEC-RAS	34
4.4 DETERMINACIÓN DE PUNTOS CRITICOS:	36
4.5 CALIBRACIÓN DE LOS MODELOS:	45
4.6 COMPARACIÓN DE MEDIAS:	49
4.7 PERDIDAS OCACIONADA POR LA INUNDACIÓN:.....	51
V. CONCLUSIONES:.....	56
VI. RECOMENDACIONES:	57
VII. BIBLIOGRAFIA	58
VIII.ANEXOS.....	60

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Mapa de Ubicación	22
Figura 2: Sección de control del aforamiento.....	28
Figura 3: Ubicación de la sección de Control.....	29
Figura 4: Fotografía de la zona de la sección de control	29
Figura 5: Data Histórica de las distribuciones probabilísticas	33
Figura 6: Mapa de comparación de inundación para un periodo de retorno de 10 años	35
Figura 7: Mapa de comparación de inundación para un periodo de retorno de 200 años	36
Figura 8: Progresiva 0+600 con hec-ras.....	37
Figura 9: Progresiva 0+600 con Iber	37
Figura 10: Progresiva 3+500 con Hec-ras	38
Figura 11: Progresiva 3+500 con iber	39
Figura 12: Progresiva 5+000 con hec-ras	40
Figura 13: Progresiva 5+000 con iber	41
Figura 14: Progresiva 6+200 con hec-ras	42
Figura 15: Progresiva 6+200 con iber	42
Figura 16: Progresiva 9+600 con hec-ras	43
Figura 17: Progresiva 9+600 con iber	44
Figura 18: datos de aforamiento en el rio virÚ (Q= 40.27 m ³ /s)	45
Figura 19: datos de aforamiento en el rio viru (Q=182.45 m ³ /s).....	46
Figura 20: Sección de aforamiento con un caudal de Q= 40.27 m ³ /s	47
Figura 21: Sección de aforamiento con un caudal de Q=182.45 m ³ /s	47
Figura 22: Sección de aforamiento con un caudal de Q= 40.27 m ³ /s	48
Figura 23: Sección de aforamiento con un caudal de Q=182.45 m ³ /s	49
Figura 24 : Ventana de inicio hydrognomon	60
Figura 25: Ventana de nuevas series de tiempo	60
Figura 26: selecciones de tiempo de simulación	61
Figura 27: Selecciones de intervalo de simulación	62
Figura 28: ventana de año de inicio de los caudales	63
Figura 29: Asignación de número de datos	63
Figura 30: Datos Hidrológicos	64

Figura 31: Analisis Hidrologico	64
Figura 32: Ventana de análisis Hidrológico	65
Figura 33: Test de Kolmogorov-Smirnov	66
Figura 34: Resultados Test de Kolmogorov-Smirnov	66
Figura 35: Resultados de la Distribución Lognormal.....	67
Figura 36: Resultados de la Distribución Pearson III.....	67
Figura 37: Resultados de la Distribucion Log-Pearson III.....	68
Figura 38: Resultados de la Distribucion Gumbel.....	68
Figura 39: Resultados de la Distribucion Gamma.....	69
Figura 40: Calculo de Periodo de Retorno	69
Figura 41: Selección del tiempo de periodo de retorno.....	70
Figura 42: Resultados de Periodo de Retorno	70
Figura 43: Pestaña Catalog	71
Figura 44: Selección del archivo en AutoCAD	71
Figura 45: Edición de coordenadas UTM	72
Figura 46: Selección de Coordenadas UTM.....	73
Figura 47: Agregar la Data con la pesta “Add Data	73
Figura 48: Selección de la data topográfica georreferenciada.....	74
Figura 49: Visualización de las Curvas de Nivel	74
Figura 50: Visualización de la Pestaña “Selection Manager”	75
Figura 51: Delimitación del Área de estudio de la cuenca del rio Viru	75
Figura 52: Ventana de post-proceso de Imágenes	76
Figura 53: Selección de zoom y archivo de georreferenciacion.....	76
Figura 54: Ventana de espera de Proceso de unión de fotografías	77
Figura 55: Archivos generados con SasPlanet.	77
Figura 56: Selección de “Add Data”	78
Figura 57: Selección de la fotografía del Rio Viru.....	78
Figura 58: Visualización de la fotografía en Arc-GIS.....	79
Figura 59: Selección de “Create TIN”	80
Figura 60: Ventana de edición de Datos de “Create Tin”	80
Figura 61: Tin Generado y Georreferenciado.....	81

Figura 62: Selección de “TIN to Raster”	82
Figura 63: Ventana de edición “TIN to Raster”	82
Figura 64: Visualización del Raster generado a partir del TIN	83
Figura 65: Selección de “Raster to ASCII”	84
Figura 66: Ventana de “Raster To ASCII”	84
Figura 67: Set Target Locations	85
Figura 68: Selección de GeoRAS Config.....	85
Figura 69: Selección de la carpeta de guardo de proyecto	86
Figura 70: Selección de Stream CenterLine	86
Figura 71: Stream CenterLine por defecto	87
Figura 72: Start editing	87
Figura 73: Definición del rio, desde agua arriba hacia aguas abajo	88
Figura 74: Eje del rio	88
Figura 75: Asignación de nombre del rio	89
Figura 76: Definir datos del Rio	89
Figura 77: Definición de la topología y longitud de estaciones	90
Figura 78: Creación de Bank lines	90
Figura 79: Creación de Bank lines	91
Figura 80: Definición de los Bordes libres del Rio	91
Figura 81: Definición de la faja marginal.....	91
Figura 82: Creación de la faja marginal	92
Figura 83: Línea de flujo del Rio	92
Figura 84: Digitalización de la faja marginal	93
Figura 85: Definición de las márgenes derecha e izquierda de la faja marginal	93
Figura 86: Definición de la margen derecha	94
Figura 87: Creación de las secciones transversales	94
Figura 88: Creación De Las Sesiones Transversales.....	95
Figura 89: Construct XS Cutlines.....	95
Figura 90: Definición de intervalos y ancho de sección.....	95
Figura 91: Secciones transversales generadas	96
Figura 92: Definición de Datos de elevación y longitud para la sección	96

Figura 93: Export Ras DATA.....	97
Figura 94: Export Ras DATA.....	98
Figura 95: Importando data de arcgis a Hec-ras.....	98
Figura 96: Ubicación del archivo de arcgis exportado.....	99
Figura 97: Especificación del Sistema de unidades	99
Figura 98: “Finish Import Data” para importar las secciones	100
Figura 99: Secciones transversales importadas	100
Figura 100: Asignación de los valores de manning.....	101
Figura 101: Asignación de los valores de manning.....	101
Figura 102: Guardado de datos de Geometría	102
Figura 103: Guardado de datos de Geometría	102
Figura 104: Enter Steady flow data	103
Figura 105: Asignación de periodo de Retorno.....	103
Figura 106: Asignación de caudales maximos	104
Figura 107: Asignación de la pendiente	104
Figura 108: Asignación de periodo y Pendiente.....	104
Figura 109: "Save Flow data"	105
Figura 110: Simulación Hidráulica.....	105
Figura 111: Finished computations	106
Figura 112: Vista 3d de la simulación	106
Figura 113: Exportación de la Data de Hec-ras a Arcgis	107
Figura 114: Exportacion de la Data de Hec-ras a Arcgis	107
Figura 115: Formato XML	108
Figura 116: Formato XML	108
Figura 117: Creación de base de datos Ras Mapping.....	108
Figura 118: Creación de base de datos Ras Mapping.....	109
Figura 119: Importación de Data de Hec-ras.....	110
Figura 120: Importación de Data de Hec-ras.....	110
Figura 121: Mapa de Inundación de Hec-Ras	111
Figura 122: Generación de Superficie de Flujo del Rio	111
Figura 123: Generación de Superficie de Flujo del Rio	112

Figura 124: Delineación de las áreas de inundación	112
Figura 125: Delineación de las áreas de inundación	113
Figura 126: Delineación de las áreas de inundación	113
Figura 127: Áreas Inundadas generadas con Hec-RAS.....	114
Figura 128: Creación de polilíneas.....	115
Figura 129: Creación de polilíneas.....	116
Figura 130: Creación de poli líneas.....	116
Figura 131: Creación de poli líneas.....	117
Figura 132: Creación de poli líneas.....	117
Figura 133: Creación de poli líneas.....	118
Figura 134: Exportación de polígono a formato DXF.....	119
Figura 135: Exportación de polígono a formato DXF.....	119
Figura 136: Importación del área delimitada en formato DXF	120
Figura 137: Importación del área delimitada en formato DXF	121
Figura 138: Importación del área delimitada en formato DXF	121
Figura 139: Colapsar modelo	122
Figura 140: Colapsar modelo	122
Figura 141: Creación de Superficie NURBS.....	123
Figura 142: Creación de Superficie NURBS.....	124
Figura 143: Creación de Superficie NURBS.....	124
Figura 144: Asignación de Rugosidad del Suelo.....	125
Figura 145: Asignación de Rugosidad del Suelo.....	125
Figura 146: Asignación de Rugosidad del Suelo.....	126
Figura 147: Asignación de Rugosidad del Suelo.....	126
Figura 148: Asignación de Caudal Permanente	127
Figura 149: Asignación de Caudal Permanente	127
Figura 150: Asignación de Caudal Permanente	128
Figura 151: Asignación de Caudal Permanente	128
Figura 152: Asignación de Caudal Permanente	129
Figura 153: Asignación de Caudal Permanente	129
Figura 154: Asignación de Caudal Permanente	130

Figura 155: Asignación de Datos de Simulación	130
Figura 156: Ventana de Asignación de Datos de Simulación	131
Figura 157: Generación de malla de triangulación no estructurada	132
Figura 158: Ventana de entrada de tamaño de malla.....	132
Figura 159: Generación de malla de triangulación no estructurada	133
Figura 160: Ventana de proceso de Generación de Malla.....	133
Figura 161: Ventana de proceso de Generación de Malla.....	134
Figura 162: Malla del Terreno.....	134
Figura 163: Malla del Terreno.....	135
Figura 164: Asignación de elevación en la malla.....	135
Figura 165: Seleccionar del archivo ASCII.....	136
Figura 166: Terreno con elevaciones.....	136
Figura 167: Pestaña de Cálculo de Inundación	137
Figura 168: Ventana de Cálculo de Inundación	137
Figura 169: Pestaña Post-Proceso	138
Figura 170: Pestaña Ventana de Resultados.....	138
Figura 171: Ventana de visualización de resultados	139
Figura 172: Ventana de animación de resultados.....	140
Figura 173: Pestaña Raster de Resultados	141
Figura 174: Ventana de Raster de Resultados	141
Figura 175: Archivo Raster de Inundación.....	142
Figura 176: Conversión de Archivos ASCII To Raster.....	142
Figura 177: Ventana Conversión de Archivos ASCII To Raster	143
Figura 178: Raster de Inundación Simulada en IBER.....	144
Figura 179: áreas de cultivo trazadas con Arc-Gis.....	145
Figura 180: Ventana de ArcToolbox>Conversion Tools> From Raster> Raster to.....	146
Figura 181: Área de inundación en Hec-ras en formato Polígono	146
Figura 182: Área de inundación en IBER en formato Raster.....	147
Figura 183: Área de inundación en IBER en formato Polígono.....	147
Figura 184: Ventana de Intersección de ArcGIS.....	148
Figura 185: Áreas afectadas por la inundación	148

INDICE DE TABLAS:

Tabla 1: Distribuciones usadas en hidrología.....	5
Tabla 2: Valores Referenciales del Criterio de Nash-Sutcliffe	19
Tabla 3: Superficie y Altitud de los Distritos de la Provincia de Viru.....	22
Tabla 4: Caudales máximos anuales diarios.....	24
Tabla 5 : Plan de cultivo y riego JJUU Viru - 2016-2017	30
Tabla 6: Resultado de periodos de retorno y las probabilidades estadísticas elegidas.....	32
Tabla 7: Caudales máximos diarios e instantáneos	34
Tabla 8: Resultados Hidráulicos Progresiva 0+600 Hec-Ras.....	37
Tabla 9: Resultados Hidráulicos Progresiva 0+600 IBER	38
Tabla 10: Resultados Hidráulicos Progresiva 3+500 Hec-Ras.....	39
Tabla 11: Resultados Hidráulicos Progresiva 3+500 iber	39
Tabla 12: Resultados Hidráulicos Progresiva 5+000 Hec-Ras.....	40
Tabla 13: Resultados Hidráulicos Progresiva 5+000 Iber	41
Tabla 14: Resultados Hidráulicos Progresiva 6+200 Hec-Ras.....	42
Tabla 15: Resultados Hidráulicos Progresiva 6+200 Iber	43
Tabla 16: Resultados Hidráulicos Progresiva 9+600 Hec-Ras.....	44
Tabla 17: Resultados Hidráulicos Progresiva 9+600 IBER	44
Tabla 18: Resultados Hidráulicos de la sección de Aforo con Hec-ras.....	48
Tabla 19: Resultados Hidráulicos de la sección de Aforo con Iber.....	49
Tabla 20: Valores referenciales del Criterio Nash-Sutcliffe	50
Tabla 21: Valores de tirantes observados y simulados.....	50
Tabla 22: Valores de pérdida de producción de cultivos con áreas simuladas con IBER....	51
Tabla 23: Valores de pérdida de producción de cultivos con áreas simuladas con Hec-ras	52
Tabla 24: Costo de las has de terreno inundadas con Hec-Ras	52
Tabla 25: Costo de las has de terreno inundadas con IBER.....	52
Tabla 26: Perdida total en soles por la inundación para un periodo de retorno de 200 años	53
Tabla 27: Valores de pérdida de producción de cultivos simulados con IBER	53
Tabla 28: Valores de pérdida de producción de cultivos simulados con Hec-RAS	54

Tabla 29: Costo de las has de terreno inundadas con Hec-Ras	54
Tabla 30: Costo de las has de terreno inundadas con IBER.....	54
Tabla 31: Perdida total en soles por la inundación para un periodo de retorno de 50 años .	55
Tabla 32: Resultado de áreas inundadas.....	149

INDICE DE ANEXOS:

ANEXO 1: Análisis Hidrológico.....	60
ANEXO 2: Procesamiento de la data en Arc-Gis	71
ANEXO 3: Fotografía Georreferenciada del Rio	75
ANEXO 4: Modelación de Inundación con Hec-Ras e Iber	80
ANEXO 5: Modelación con Geo-Hec-Ras	85
ANEXO 6: Modelación de Inundación con IBER	115
ANEXO 7: Cedula de cultivo y pérdida de ingresos por inundación.....	145
ANEXO 8: Tablas de hidrología de las descargas máximas diarias del rio Virú.....	150

RESUMEN

El estudio se realiza en un tramo de 10 km del Río Virú, con la finalidad de determinar las zonas de inundación, identificar puntos críticos y comparar los resultados obtenidos empleando los modelos unidimensionales y bidimensionales. El desarrollo del presente trabajo de investigación tomo tres (03) etapas: trabajo de pre-campo, que fue la recopilación de información y coordinación con instituciones relacionadas al tema; trabajo de campo, en la que se realizó la identificación de los puntos críticos de la zona de estudio y trabajo de gabinete, que consistió en la sistematización de la información hidrológica y topográfica a trabajarse en los diferentes programas de modelación, así mismo, se usó la data generada para determinar la pérdida económica de las zonas inundadas.

Los resultados obtenidos, mostraron 5 puntos críticos a tener en cuenta en una inundación en el río Virú, estos alcanzaron 13 ha para una simulación con Hec-Ras y 17 ha para una simulación con IBER para un periodo de retorno de 200 años, así mismo, se llevó a cabo un estudio de pérdidas ocasionadas por la inundación, en el cual se tomó como parámetros, el área inundada, el rendimiento de la cosecha por ha, el volumen de la producción, el precio en chacra (S/. /Kg) y el costo del terreno.

Con los datos de simulación y el estudio de pérdidas ocasionadas por la inundación, se pudo estimar la pérdida que generaría una inundación, para un periodo de retorno de 200 años, con la simulación hidráulica de Hec-Ras se obtienen 13 ha inundadas a lo largo de los 10 km del tramo del río Virú lo que ocasiona una pérdida de cultivos y terreno de S. / 3, 743,879.31 nuevos soles; la simulación con el programa Iber da como resultado 17 ha. Inundadas a lo largo de los 10 km del tramo del río Virú lo que ocasiona una pérdida de cultivos y terreno de S. / 5, 240,860.98 nuevos soles.

Para la modelación de ríos con un caudal estable, los modelos unidimensionales son más que suficientes, pero para simular inundaciones, huaycos y desbordes, los modelos bidimensionales son más eficientes.

Palabras clave: Virú, simulación, bidimensional/unidimensional, Hec-ras, Iber.

ABSTRACT

The study is carried out in a 10 km stretch of the Virú River, with the purpose of determining the flood zones, identifying critical points and comparing the results obtained using the one-dimensional and two-dimensional models. The development of this research work took three (03) stages: pre-field work, which was the gathering of information and coordination with institutions related to the subject; field work, in which the identification of the critical points of the study area and cabinet work was carried out, which consisted in the systematization of the hydrological and topographic information to be worked in the different modeling programs, likewise, it was used the data generated to determine the economic loss of flooded areas.

The results obtained showed 5 critical points to be taken into account in a flood in the Virú river, these reached 13 ha for a simulation with Hec-Ras and 17 ha for a simulation with IBER for a return period of 200 years, as well Also, a study of losses caused by the flood was carried out, which took as parameters, the flooded area, the yield of the crop per hectare, the volume of production, the price per farm (S /. Kg) and the cost of the land.

With the simulation data and the study of losses caused by the flood, it was possible to estimate the loss that would generate a flood, for a period of return of 200 years, with the hydraulic simulation of Hec-Ras 13 ha have been flooded along of the 10 km of the section of the Virú river which causes a loss of crops and land of S. / 3,743,879.31 new soles; the simulation with the Iber program results in 17 ha. Flooded along the 10 km of the Viru river section which causes a loss of crops and land of S. / 5,240,860.98 nuevos soles.

For the modeling of rivers with a stable flow, the one-dimensional models are more than enough, but to simulate floods, “huaycos” and overflows, the two-dimensional models are more efficient.

Keywords: Virú, simulation, two-dimensional / one-dimensional, Hec-ras, Iber.

I. INTRODUCCION

En el Perú, existe una inadecuada distribución de los recursos Hídricos en nuestras 3 regiones, así mismo hay una marcada diferencia en épocas de avenida y estiaje. Estas máximas avenidas conllevan un grave problema en zonas de alto riesgo, es por eso que debemos de hacer estudios de modelación hidráulica, para identificar zonas de inundaciones y desbordes de ríos con la finalidad de hacer planes y programas a fin de superar estos problemas.

El presente trabajo, hace una comparación de los diferentes métodos de modelación hidráulica de ríos, mediante el uso de modelos unidimensionales los cuales están encabezados en gran medida por el Programa Hec-Ras desarrollado por la U.S. Army Corps of Engineers The Hydrologic Engineering Center; que nos permite simular el desplazamiento en una dimensión y los modelos bidimensionales, de los cuales destaca el Programa Iber, desarrollado por el equipo de investigación FLUMEN del Departamento de Ingeniería Hidráulica, Marítima y Ambiental de la Escuela Técnica Superior de Caminos Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Cataluña, que permite la simulación numérica en dos dimensiones.

El uso de ambos modelos en la simulación de inundación del río Viru, nos permitirá determinar los puntos críticos y/o vulnerables en el tramo en estudio, así mismo se obtendrá diferentes resultados que ofrece cada modelo, y cuáles son las variaciones de estos, con esto podremos identificar de una forma mucho más precisa, cuáles son las áreas de inundación del río en Estudio, como también que modelo es más cercano a la realidad. En base a lo expuesto, el objetivo general del presente trabajo de investigación:

“Realizar la comparación del modelamiento hidráulico del Río Viru utilizando el modelo unidimensional Hec-Ras, GeoHec-Ras y el modelo bidimensional Iber, con el fin de determinar las zonas vulnerables a inundación obtenidas con ambos programas”

Para tal fin los objetivos específicos fueron:

- ✓ Determinar las zonas de inundación, para periodos de retorno 10, 25, 50, 100, 200 años, en un tramo de 10 km del río Viru aplicando el modelo unidimensional Hec-ras, la extensión GEO-Hec-Ras de Arc-GIS y el modelo Bidimensional Iber.
- ✓ Comparar los resultados obtenidos del Programa Hec-ras frente al Programa Iber en la determinación de las zonas de inundación.
- ✓ Determinar el total de áreas afectadas por cada tipo de simulación de inundación y estimar la pérdida económica ocasionada.

II. REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1 ANTECEDENTES:

Usando los modelos Uni-Bidimensionales, se han realizado trabajos de investigación para determinar áreas de inundación agrícolas, ruptura de presas y modelación hidráulica:

“Modelación Geo-Espacial para el diseño de defensas ribereñas en la faja marginal del río Chancay-Huaral, utilizando SIG y HEC-RAS”: Con el objetivo de estudiar e identificar las áreas vulnerables a las inundaciones, específicamente en la zona de la faja marginal del río Chancay-Huaral, se aplicó el modelamiento geo-espacial para el diseño de defensas ribereñas en la faja marginal del río Chancay-Huaral utilizando SIG y HECRAS, lo que permitirá apreciar los daños ocasionados por las inundaciones por una crecida extraordinaria (Goycochea, 2014).

“Comparación de los modelos Hidráulicos Unidimensional (HEC-RAS) y Bidimensional (IBER) en el Análisis de Rotura en Presas de Materiales Suelos; y Aplicación a la Presa Palo Redondo”. Se utilizan los modelos HEC-RAS (Unidimensional) e Iber (Bidimensional), simulando el proceso de rotura por desbordamiento en una presa de materiales sueltos ocurrido por la falla de esta. Para la comparación de ambos modelos se modeló una serie de pruebas antes de aplicarlo a un caso real como es la Presa Palo Redondo, se relacionaron los resultados con ambos modelos. (Guarn, 2014).

“Comparación de los modelos Hidráulicos Unidimensional (HEC-RAS) y Bidimensional (IBER) en el Análisis del rompimiento presas de materiales sueltos”. Se Determinara las diferencias que se obtienen en el hidrograma de salida generado por el rompimiento de presas de materiales sueltos, usando para la obtención del hidrograma un esquema numérico unidimensional y un esquema numérico bidimensional, los cuales requieren para la discretización espacial el trazado de secciones transversales perpendiculares a un eje en el

caso de una dimensión (secciones que dependerán en gran parte del criterio del modelador) y del trazado de una malla de cálculo que descompone el dominio físico en polígonos, en el caso de dos dimensiones (Cuervo, 2012).

2.2 HIDROLOGIA:

“Es la ciencia dedicada al estudio del agua en la tierra, su ocurrencia, circulación, distribución, sus propiedades químicas y físicas y su relación con el medio ambiente y los seres vivos. El dominio de la hidrología abarca toda la historia de la vida del agua en la tierra” (Delgado, 1992).

“Esta relación del agua sobre los seres vivos incluye el movimiento sobre y debajo de la superficie de la tierra, incluyendo sus procesos químicos, físicos y biológicos que tiene lugar a lo largo de su trayectoria” (CHOW, 1994).

“La hidrología es la ciencia natural que estudia el agua, su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades químicas y físicas, y su relación con el medio ambiente, incluyendo a los seres vivos” (Villon, 2002).

2.3 ANALISIS DE FRECUENCIAS:

Delgado (1992), menciona que los sistemas hidrológicos son afectados algunas veces por eventos extremos, tales como tormentas severas, crecientes y sequías. La magnitud de un evento extremo esta inversamente relacionada con su frecuencia de ocurrencia, es decir, eventos muy severos ocurren con menor frecuencia que eventos moderados. El objetivo del análisis de frecuencia de información hidrológica es relacionar la magnitud de los eventos extremos con su frecuencia de ocurrencia mediante el uso de distribución de probabilidad. Se supone que la información hidrológica analizada es independiente y esta idénticamente distribuida, y el sistema que lo produce (por ejemplo, un sistema de máximas avenidas) se considera independiente del espacio y tiempo.

Mejía (2012), menciona que, en la ingeniería, no siempre interesa construir una obra que sea capaz de soportar el paso de cualquier caudal a ocurrir. Normalmente, se puede correr el riesgo, después de tomar en cuenta consideraciones de orden económico, de que cualquier estructura puede fallar durante su vida útil, siendo necesario, entonces, conocer ese riesgo. Para eso se analizan estadísticamente las observaciones realizadas en las estaciones hidrometeorológicas, verificándose con qué frecuencia ellas adquieren una magnitud dada. Luego se puede evaluar las probabilidades teóricas de ocurrencia de las mismas.

2.4 DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD:

Chow (1994) menciona que las distribuciones de probabilidad se usan en una amplia variedad de estudios hidrológicos, por ejemplo, los estudios del recurso hídrico de caudales extremos alto y bajo en sequías, volúmenes de embalses, cantidad de lluvia y modelos de series cronológicas, las distribuciones que se usa en hidrología se consideran en la tabla 1, siendo las mencionadas las más usadas.

Mejía (2002) sostiene que los métodos estadísticos se apoyan en la existencia de series de datos de caudales en el lugar de interés, las cuales son sometidas a un análisis de frecuencias usando técnicas tradicionales de estudios (se basan por lo tanto en la observación de eventos pasados). Esto implica que la curva de frecuencia definida para un determinado lugar es válida rigurosamente para ese lugar.

Tabla 1: Distribuciones usadas en hidrología

Nombre	Acrónimo	Referencia
Normal	N	Gauss
Log-Normal	LN	Hazen, 1994
Pearson tipo III	P3	Foster, 1924
Gamma	G	Morán, 1957
Log-Pearson tipo III	LP3	U.S Water resources
Gumbel	G	Emil Julius Gumbel

Fuente: Elaboración propia

2.5 ANALISIS DE FRECUENCIA DE AVENIDAS:

a. Estimación de la magnitud de las crecidas

“El Análisis estadístico de caudales de crecida y calculo hidrometeorológico de caudales. Ambos métodos precisan como datos de partida, series de datos de caudales registrados en estaciones de aforo y de precipitaciones máximas recogidas en estaciones meteorológicas, respectivamente. Estos datos son tratados estadísticamente para obtener las funciones de distribución de distribución de frecuencias que mejor modelan la probabilidad real de ocurrencia de un caudal o precipitación” (Chow, 1994).

b. Estimación del periodo de retorno

Delgado (1992), precisa que cada espacio muestral tiene su propia función de distribución o de densidad de probabilidad, que normalmente no se conoce como a priori. Cuando de ese espacio se extrae un grupo de datos (muestra) al azar, es razonable esperar que su función de distribución de probabilidad sea similar a la del espacio completo, en particular si la muestra es grande. Además, lo más razonable que se puede suponer en cuanto a la frecuencia de cada dato del grupo es que esta, dentro del espacio muestral, igual a la observada (Ven te Chow, 1994). La ecuación más usada en hidrología, el periodo de retorno N-esimo evento de los años n registrada es entonces, de acuerdo con la siguiente ecuación, la ecuación en donde participan estas variables se llama la ecuación de Weibull.

$$T=n + 1/m$$

Los términos de periodo de retorno o intervalo de ocurrencia se usan para representar el número de años que transcurre en promedio para que un evento sea igualado o excedido. El periodo de retorno para lo cual se debe dimensionar un proyecto, varía en función de la importancia del mismo, de la existencia de otras vías alternativas capaces de reemplazarla y de los daños que implicaría su ruptura, pérdida de vidas humanas, costo y duración de la reconstrucción, costo del no funcionamiento de la obra, etc.

2.6 PRUEBAS DE BONDAD DE AJUSTE

Delgado (1992) sostiene que las pruebas de ajuste, tienen por objeto medir la incertidumbre que se obtiene al hacer una hipótesis estadística sobre una población, es decir, calificar el hecho de suponer que una variable aleatoria se distribuya según cierta función. Las pruebas de bondad de ajuste más utilizadas son de ajuste gráfico y ajuste estadístico (Chi-cuadrado, Smirnov-Kolmogorov, error cuadrático mínimo), aquí mencionaremos la prueba de Smirnov-Kolmogorov):

a. Prueba Smirnov-Kolmogorov

El estadístico Smirnov-Kolmogorov, considera la desviación de la función de distribución de probabilidades de la muestra $P(x)$ de la función de probabilidad teórica, escogida $P_0(x)$ tal que:

$$D_n = \max (P(x) - P_0(x))$$

Donde:

- D_n : es la mayor diferencia absoluta observada entre $P(x)$ y $P_0(x)$, obtenida a partir de la distribución de probabilidad que se especifica como hipótesis nula.
- $P(x)$: Frecuencia acumulada observada.
- $P_0(x)$: frecuencia acumulada teórica.

La prueba requiere que el valor D_n calculado con la expresión anterior sea menor que el valor tabulado D_{α} para un nivel de probabilidad requerido.

Chow (1994) establece las siguientes etapas para la prueba de Smirnov-Kolmogorov:

- El estadístico D_n es la máxima diferencia entre la función de distribución acumulada de la muestra y la función de distribución acumulada teórica escogida.
- Se fija el nivel de probabilidad α , valores de 0.05 y 0.01 son los más usuales.
- El valor crítico D_{α} de la prueba debe ser obtenido de tablas en función α y n .
- Si el valor calculado D_n es mayor que el de D_{α} , la distribución escogida se debe rechazar

2.7 SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA (SIG)

a. Concepto de SIG:

Marín (2006) establece el termino SIG de la palabra en inglés: “Geographic Information system (GIS). Se le define como una herramienta de PROGRAMA que nos permite almacenar, recuperar, analizar y desplegar información geográfica.

Portuguez (2015) define a los SIG como una tecnología de manejo de Información Geográfica Formada por Equipos Electrónicos (hardware), programas adecuadamente (software) que permiten manejar una serie de datos espaciales (información geográfica) y realizar análisis complejos con estos siguiendo los criterios impuestos por el equipo científico (personal).

b. Elementos de un sistema de información Geográfica (SIG):

Un SIG está conformado por cinco componentes o elementos y cada uno de esos componentes cumplen con una función para que existan entre ellos una interacción. Es decir, estos conforman la información para que sea procesada o se realice un tratamiento, los recursos técnicos, humanos y las metodologías que se adopten en la organización de la empresa.

A continuación se describen esos componentes:

- Hardware: es el equipo de cómputo con el que opera un SIG. Actualmente el PROGRAMA de estos sistemas se ha adaptado a diversos tipos de hardware desde arquitecturas clientes-servidor hasta computadoras de escritorio aisladas.
- PROGRAMA: proporciona las herramientas y funciones necesarias para almacenar, analizar y desplegar la información geográfica.

c. Aplicaciones:

- Aplicación forestal, que sirve para determinar la magnitud de la tala y reconocer la vía o el acceso a esa tala.
- Bases de datos ambientales, con estos datos se realizan planes convenientes a evitar deterioros naturales en una región.

- Censos, con los datos obtenidos conocer los usos de los servicios que se ofrecen en un área como la distribución de agua potable y transporte.
- Grandes bases cartográficas, con estas bases de datos se adquiere más fácilmente el mantenimiento de inventario con referencias espaciales de los bienes inmuebles así como la valoración y para preparar una gestión contribuyente en la administración pública.
- Planeación urbana, la elaboración de planes generales y normas subsidiarias, entre otros están los planes parciales, proyectos de urbanización, proyectos de compensación y reparcelaciones, evaluación de impacto ambiental, planes especiales y catálogos.
- Sistemas de empresas y servicios, para los servicios de transporte que controlan sus equipos con un rastreo satelital.
- Sistemas para el control y modernización de cambios ambientales: estos ofrecen una inspección para zonas de riesgos por factores naturales y análisis para planes de conservación.

d. Extensión HEC-GEORAS

Es una extensión para usar con ARC-GIS específicamente diseñada para procesar datos geo referenciados para usar posteriormente con HEC-RAS. Hec-GEORAS crea un archivo para importar a HEC-RAS datos de geometría del terreno incluyendo el cauce del río, secciones transversales, etc. Información sobre estructuras hidráulicas-puentes, etc., no puede importarse desde ARC-GIS mediante HEC-GEORAS y debe añadirse a la simulación desde HEC-RAS. Posteriormente los resultados obtenidos de calados y velocidades se exportan desde HEC-RAS a ARC-GIS y pueden ser procesador para obtener mapas de inundación y riegos. (Marín, 2006).

Hec-GeoRAS 10 es una extensión para ArcGis 10 desarrollada conjuntamente por el Hydrologic Engineering Center (HEC) del United States Army Corps of Engineers y el Environmental System Research Institute (ESRI). Básicamente es un conjunto de procedimientos, herramientas y utilidades especialmente diseñadas para procesar datos georreferenciados que permiten bajo el entorno de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), facilitar y complementar el trabajo con HEC-RAS (Molero, 2013).