

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



TESIS

**VIVIENDAS SOSTENIBLES TIPO ISLAS PARA MITIGAR
LOS DAÑOS CAUSADOS POR LAS INUNDACIONES EN LA
ZONA RURAL DE ILAVE – PUNO**

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

**ELABORADO POR
BRAYHAN MAX BONIFACIO CASTILLO**

**ASESOR
Ing. ALFREDO JAVIER MANSEN VALDERRAMA**

Lima- Perú

2020

DEDICATORIA:

A mis padres Máximo Bonifacio Janampa y Rosario C. Castillo Maldonado que siempre anhelaron ver a su hijo superarse, y por medio de esta Tesis decirles que estoy en camino a lograrlo. Dedicado a mis hermanos, tíos, primos y a la tierra que me vio nacer Yaután-Casma.

AGRADECIMIENTO:

En primer lugar, agradezco a Dios por acompañarme, guiarme y permitirme terminar esta hermosa etapa de mi vida.

Agradezco a mis padres Máximo Bonifacio J. y Rosario Castillo M. por su apoyo incondicional, que me motivo a seguir adelante en todo momento.

Agradezco a mi asesor y maestro el ingeniero Alfredo Mansen Valderrama por su constante apoyo, paciencia y consejos que me sirvieron de guía y referencia para culminar satisfactoriamente la presente tesis.

Agradezco al doctor Marco Antonio González S. por sus sabios consejos, y constante alegría que me motivó a seguir esforzándome.

Agradezco a mi novia Rebeca Dueñas A. por su apoyo incondicional durante esta etapa de mi vida.

INDICE

INDICE	1
RESUMEN	5
ABSTRACT	6
PRÓLOGO	7
LISTA DE TABLAS	8
LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS	13
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	16
1.1 GENERALIDADES.....	16
1.2 ANTECEDENTES.....	17
1.2.1 Internacionales.....	17
1.2.2 Nacionales.....	19
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	21
1.4 OBJETIVOS	26
1.4.1 General	26
1.4.2 Específicos	26
1.5 METODOLOGIA	26
1.5.1 Población.....	26
1.5.2 Técnicas de recolección de datos.....	30
1.5.3 Información Cartográfica.....	30
1.5.4 Información Topográfica.....	30
CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO	32
2.1 INUNDACIONES	32
2.1.1 Tipos y Características.....	32
2.2 MEDIDAS ESTRUCTURALES	33
2.2.1 Vivienda Sostenible.....	33
2.2.2 Diques.....	34
2.2.3 Polder y Terps.....	34
2.2.4 Los Waru-Waru.....	36
2.3 CONCEPTOS DE HIDROLOGÍA.....	37
2.3.1 Introducción al Concepto de Cuenca.....	37
2.3.2 Parámetros geomorfológicos de una cuenca	37
2.3.3 Análisis de frecuencia de caudales máximos instantáneos.....	40

2.4	CONCEPTOS DE HIDRÁULICA.....	40
2.4.1	Introducción sobre Hidráulica.....	40
2.4.2	Cálculo de Niveles de Agua.....	41
2.4.3	Conceptos Básicos de Socavación.....	42
	CAPÍTULO III: ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN.....	46
3.1	UBICACIÓN.....	46
3.1.1	Delimitación Política.....	46
3.1.2	Ubicación Geográfica.....	46
3.1.3	Situación y Extensión.....	46
3.2	ASPÉCTOS GENERALES DEL ÁREA DE INFLUENCIA.....	47
3.2.1	Aspectos Sociales.....	47
3.2.2	Aspectos Económicos.....	47
3.2.3	El Clima.....	47
3.2.4	Aspectos Viales.....	48
3.3	ASPÉCTOS ESPECÍFICOS DEL ÁREA DE INFLUENCIA.....	49
3.3.1	Geotecnia.....	49
3.3.2	Geología.....	50
3.4	EVALUACIÓN DE CAMPO.....	52
3.5	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS.....	54
3.6	ESTUDIO HIDROLÓGICO.....	56
3.6.1	Cuenca del Rio llave.....	56
3.6.2	Tiempo de retorno de diseño.....	57
3.6.3	Estimación de Caudales para un evento extremo.....	59
3.6.4	Estimación de Niveles para un evento extremo.....	63
3.7	ESTUDIO HIDRÁULICO.....	66
3.7.1	Coeficiente de Rugosidad de Manning.....	67
3.7.2	Pendiente media del cauce.....	67
3.7.3	Rastro de Antigua Avenida.....	68
3.8	MODELAMIENTO EN CONDICIONES ACTUALES CON LA APLICACIÓN DEL PROGRAMA HEC-RAS2D.....	68
3.8.1	Aplicación del Programa HEC-RAS2D.....	68
3.8.2	Metodología del programa HEC-RAS2D.....	69
3.8.3	Huella de inundación influenciada por el lago Titicaca.....	71
3.8.4	Huella de inundación influenciada por el rio llave.....	74
3.8.5	Estimación de la huella de agua.....	76

3.9	MODELAMIENTO EN CONDICIONES ACTUALES CON LA APLICACIÓN DEL PROGRAMA HEC-RAS UNIDIMENSIONAL.....	78
3.9.1	Aplicación del programa HEC-RAS unidimensional.	78
3.9.2	Descripción del modelamiento en el programa HEC-RAS unidimensional.	79
3.9.3	Estimación de la huella de agua.....	83
3.10	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.	85
3.11	ESTIMACIÓN DE SOCAVACIONES.....	85
3.11.1	Erosión general transitoria y por contracción.....	85
3.12	ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.....	86
3.12.1	Islas con gaviones rectangulares y forradas con geotextil.	87
3.12.2	Islas protegidas con geobolsas.	90
3.12.3	Islas protegidas con suelo reforzado y cubiertas con vegetación...	91
3.12.4	Viviendas sostenibles elevadas.....	94
3.12.5	Evacuación a las zonas altas.....	95
3.13	COMPARACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.....	96
	CAPÍTULO IV: DISEÑO DE LAS VIVIENDAS SOSTENIBLES TIPO ISLAS.	98
4.1	DISEÑO DE LAS ISLAS.....	98
4.1.1	Criterios generales de diseño.	98
4.1.2	Diseño del sistema de defensa.....	99
4.1.3	Descripción de las islas.	100
4.1.4	Alcances para la construcción de las islas.....	100
4.1.5	Diseño arquitectónico de la isla.....	100
4.1.6	Detalles.....	105
4.2	DISEÑO DE LA VIVIENDAS SOSTENIBLES.	108
4.2.1	Diseño Arquitectónico.....	108
4.2.2	Diseño Estructural.	112
4.2.3	Diseño Sanitario.	115
	CAPÍTULO V: METODOLOGÍA DE COMPARACIÓN DE BENEFICIO.	117
5.1	BENEFICIO ECONÓMICO.	117
5.2	BENEFICIO SOCIAL.....	118
5.3	BENEFICIO AMBIENTAL.....	118
	CONCLUSIONES	120
	RECOMENDACIONES	124
	BIBLOGRAFÍA	126

ANEXOS 129

RESUMEN

Las inundaciones y el friaje son fenómenos naturales ocasionados por diferentes factores, y afectan a millones de personas cada año alrededor del mundo. Frente a esta situación algunos países, como principalmente Los Países Bajos, desarrollaron tecnologías como los Terps (montículos artificiales de tierra, que sobre ella se podían construir viviendas, granjas o pueblos enteros) y Polders (técnicas que consisten en aislar por medio de diques un espacio cubierto por el mar), que permitieron superar estos eventos.

En el Perú estos fenómenos se presentan en determinadas épocas del año y su intensidad varía de acuerdo a la región. Ante estos eventos, nuestros antepasados prehispánicos recurrieron al desarrollo de diferentes tecnologías para protegerse de estos fenómenos naturales, como son: los Waru-Waru (camas de cultivo elevadas artificialmente por estar en un área inundable), las islas flotantes de los Uros (islas artificiales compuestas por bloques de planta de totora), entre otros.

Principalmente, este trabajo de investigación está enfocado en los fenómenos que afectaron de manera catastrófica a la población de escasos recursos económicos, que mayormente viven en zonas rurales y dependen de la agricultura y ganadería como fuente de alimentos y de ingresos. Se ha estudiado los centros poblados pertenecientes a la zona rural de Ilave-Puno, que se encuentran cerca de la desembocadura del río Ilave al lago Titicaca.

Se ha tratado de dar solución al problema de la inundación implementando una solución integral, el cual busca construir islas artificiales y sobre ellas ambientes necesarios para llevar una vida cómoda, como son una vivienda, un invernadero y un corral para sus animales, para combatir el friaje se ha implementado una vivienda sostenible el cual ha sido diseñada con materiales que tengan propiedades térmicas y económicas, para combatir la sequía se ha considerado adaptar los pozos de agua a un sistema de bombeo el cual almacenara agua en un tanque elevado, que será impulsado por paneles solares. Se ha usado el programa HEC-RAS 2D para estimar los niveles de agua de la inundación, para cada centro poblado estudiado para un periodo de retorno de 100 años (caudal 1295.80m³/s y nivel de agua de lago Titicaca 1812.37 m.s.n.m.). Con los niveles de agua y la profundidad de erosión se pudo diseñar las islas artificiales y luego diseñar los demás ambientes con los datos obtenidos de la inspección de campo.

ABSTRACT

Floods and coldness are natural phenomena caused by different factors, and affect millions of people every year around the world. Faced with this situation, some countries, such as mainly the Netherlands, developed technologies such as the Terps (artificial mounds of land, which could be built on houses, farms or entire villages) and Polders (techniques that consist of insulating by means of dikes a space covered by the sea), which allowed to overcome these events.

In Peru, these phenomena occur at certain times of the year and their intensity varies according to the region. Before these events, our pre-Hispanic ancestors resorted to the development of different technologies to protect themselves from these natural phenomena, such as: The Waru-Waru (artificially raised cultivation beds for being in a flood area), the floating islands of the Uros (artificial islands) composed of blocks of totora plant), among others.

Mainly, this research work is focused on the phenomena that catastrophically affected the population with limited economic resources, who mostly live in rural areas and depend on agriculture and livestock as a source of food and income. The population centers belonging to the rural area of Ilave-Puno, which are located near the mouth of the Ilave river to Lake Titicaca, have been studied.

It has tried to solve the problem of flooding by implementing an integral solution, which seeks to build artificial islands and on them necessary environments to lead a comfortable life, such as a house, a greenhouse and a pen for their animals, to combat cold has implemented a sustainable housing which has been designed with materials that have thermal and economic properties, to combat drought it has been considered to adapt the water wells to a pumping system which will store water in an elevated tank, which will be driven by solar panels. The HEC-RAS 2D program has been used to estimate flood water levels, for each population center studied for a return period of 100 years (flow 1295.80 m³ /s and water level of Lake Titicaca 1812.37 m.a.s.l.). With the water levels and the depth of erosion it was possible to design the artificial islands and then design the other environments with the data obtained from the field inspection.

PRÓLOGO

En el desarrollo de un país es fundamental el bienestar y la seguridad de sus habitantes, para que de esta manera puedan invertir, con suma confianza, el tiempo y/o los recursos necesarios en las correctas actividades que permitan su crecimiento económico, social e intelectual. Por esta razón y por que como todo buen profesional que tiene el compromiso de aportar al desarrollo del país, es que constantemente se busca incentivar, apoyar y realizar investigaciones que permitan incorporar, corregir o mejorar posibles soluciones a distintos problemas que afectan a la población.

El autor de la presente tesis asumió la responsabilidad de investigar específicamente dos fenómenos naturales que afectan gravemente a muchas regiones en el Perú, que son la inundación y el friaje. Estos fenómenos, sin embargo, no afectan de la misma manera a todas las regiones, es por ello que el autor eligió una de las regiones con mayor vulnerabilidad frente a la inundación y el friaje, que es el departamento de Puno, y que por fines académicos eligió el distrito de Ilave.

La alternativa solución que se presenta en el presente trabajo de investigación está fundamentada en estudios de diversos autores y por soluciones a situaciones semejantes en otros lugares del mundo. Lo que busca el diseño de islas tipo diques es solucionar los principales problemas ocasionados por la inundación y el friaje, incorporar los criterios de sostenibilidad y ser económicamente aceptable. Por lo cual luego de un exhaustivo estudio hidrológico e hidráulico y del análisis de las alternativas de solución se logra el diseño de las islas y de la vivienda sustentable.

Finalmente se realiza una evaluación económica, social y ambiental del diseño a corto mediano y largo plazo, sugiriendo a su vez acciones necesarias para lograr la ejecución de la obra bajo una filosofía de sostenibilidad.

LISTA DE TABLAS

Tabla N°1. Emergencias y daños ocasionados por heladas y friaje según departamento, periodo 2003–2016.....	24
Tabla N°2. Galería Fotográfica de las inundaciones que afectaron a la provincia de Puno.....	25
Tabla N°3. Alcaldes de los Centros poblados de la zona lago del área rural de llave - Puno.....	27
Tabla N°4. Ubicación de los 09 centros poblados estudiados en la tesis.....	28
Tabla N°5. Último Censo 2017 de los centros poblados inspeccionados.....	28
Tabla N°6. Preguntas de la entrevista a los pobladores de llave – Zona Lago.	30
Tabla N°7. Galería Fotográfica de la implementación de las islas en Holanda.	35
Tabla N°8. Distancia entre ciudades y localidades de Puno.....	48
Tabla N°9. Coordenadas y elevación de los centros poblados.....	54
Tabla N°10. Promedio de las áreas de vivienda y material de construcción por centro poblado.....	54
Tabla N°11. Promedio de las áreas de cultivo y corral de animales por centro poblado.....	55
Tabla N°12. Datos usados de caudales máximos diarios e instantáneos de la estación de aforo Puente llave-río llave.....	60
Tabla N°13. Prueba Smirnov - Kolgomorov.....	61
Tabla N°14. Caudales de diseño para diferentes periodos de retorno.....	62
Tabla N°15. Datos usados para el análisis estadístico de Niveles de diseño.....	64
Tabla N°16. Prueba Smirnov - Kolgomorov.....	65
Tabla N°17. Niveles de diseño para diferentes periodos de retorno.....	66
Tabla N°18. Coeficiente de Rugosidad de Manning para el tramo de estudio.....	67
Tabla N°19. Pendiente media del curso de agua en el tramo de estudio.....	67
Tabla N°20. Niveles de agua evaluadas en campo con sus niveles de peligrosidad.....	68
Tabla N°21. Niveles de peligrosidad.....	68
Tabla N°22. Niveles de afectación ocurrida por el incremento del nivel del agua del lago Titicaca.....	73
Tabla N°23. Niveles de peligrosidad:.....	73

Tabla N°24. Niveles de afectación ocurrida por el modelamiento de la llanura de inundación con el programa HEC-RAS2D, para un caudal máximo de 1295.80m ³ /s	78
Tabla N°25. Niveles de peligrosidad.....	78
Tabla N°26. Datos de entrada y salida que se usaron para el cálculo de la profundidad de socavación.	86
Tabla N°27. Características técnicas constructivas, Alternativa 1.	89
Tabla N°28. Características funcionales frente a la inundación y sequía, Alternativa 1.	90
Tabla N°29. Características técnicas constructivas, Alternativa 2.	91
Tabla N°30. Características funcionales frente a la inundación y sequía Alternativa 2.	91
Tabla N°31. Características técnicas constructivas, Alternativa 3.	94
Tabla N°32. Características funcionales frente a la inundación y sequía, Alternativa 3.	94
Tabla N°33. Características técnicas constructivas, Alternativa 4	95
Tabla N°34. Características funcionales frente a la inundación y sequía, Alternativa 4.	95
Tabla N°35. Características de la Alternativa de solución.....	96
Tabla N°36. Costo de unitario por material aplicado en cada alternativa.	97
Tabla N°37. Cota de la corona de la isla para los diferentes centros poblados ...	99

LISTA DE FIGURAS

Figura N°1. Localización satelital de los centros poblados a estudiar.....	29
Figura N°2. Valores máximos recomendados de riesgo admisible de obras de drenaje.....	58
Figura N°3. Serie histórica de los datos completados de la Estación Hidrométrica Puente llave.....	61
Figura N°4. Prueba de bondad de ajuste: Análisis gráfico.....	62
Figura N°5. Serie histórica de datos de la estación Hidrométrica Desaguadero (1928-1985).....	63
Figura N°6. Prueba de Bondad de Ajuste: Estación Hidrométrico Desaguadero (1928-1985).....	65
Figura N°7. Hidrograma de diseño.....	70
Figura N°8. Imagen de los tiempos de simulación.....	71
Figura N°9. Imagen satelital del tramo a simular.....	72
Figura N°10. Huella de inundación ocurrida por el incremento del nivel del agua del lago Titicaca.....	72
Figura N°11. Imagen del enmallado para el análisis del rio llave.....	74
Figura N°12. Imagen con el análisis del rio llave para un periodo de retorno de 100 años.....	74
Figura N°13. Imagen de velocidades máximas de la inundación.....	75
Figura N°14. Imagen satelital con el análisis del rio llave para un periodo de retorno de 100 años.....	75
Figura N°15. Imagen satelital del centro poblado de Santa Rosa de Huayllata con el tirante de agua frente a una inundación para un periodo de retorno de 100 años.....	76
Figura N°16. Imagen satelital del centro poblado de Pharata Copani con el tirante de agua frente a una inundación para un periodo de retorno de 100 años.....	77
Figura N°17. Imagen satelital del centro poblado de Ccallata Pacuncani con el tirante de agua frente a una inundación para un periodo de retorno de 100 años.....	77
Figura N°18. Hidrograma de diseño.....	80
Figura N°19. Imagen de los tiempos de simulación.....	81

Figura N°20. Imagen con el análisis del río llave para un periodo de retorno de 100 años.....	81
Figura N°21. Imagen de velocidades máximas de la inundación.....	82
Figura N°22. Imagen satelital con el análisis del río llave para un periodo de retorno de 100 años.	83
Figura N°23. Imagen satelital del centro poblado de Santa Rosa de Huayllata con el tirante de agua frente a una inundación para un periodo de retorno de 100 años.....	83
Figura N°24. Imagen satelital del centro poblado de Pharata Copani con el tirante de agua frente a una inundación para un $Tr=100$ años.....	84
Figura N°25. Imagen satelital del centro poblado de Ccallata Pacuncani con el tirante de agua frente a una inundación para un $Tr=100$ años.....	84
Figura N°26. Parámetro frontal en Terramesh System.....	87
Figura N°27. Fotografía del parámetro frontal en Terramesh System.....	88
Figura N°28. Fachada del suelo reforzado, Terramesh System.....	88
Figura N°29. Fachada del suelo reforzado, isométrico, Terramesh Verde.	92
Figura N°30. Fachada del suelo reforzado, detalles, Terramesh Verde.	92
Figura N°31. Fachada del suelo reforzado, ilustración, Terramesh Verde.	93
Figura N°32. Planta típica de la isla tipo dique.	101
Figura N°33. Cortes A-A, y Corte B-B.	102
Figura N°34. Cortes C-C, y Corte D-D.	102
Figura N°35. Isométrico de la vivienda sostenible tipo isla.	103
Figura N°36. Modelo de inundación durante una inundación.	103
Figura N°37. Alternativa de comunicación durante el estancamiento del agua por la inundación.	104
Figura N°38. Modelo de inundación después de una inundación.	104
Figura N°39. Vista panorámica del nuevo del micro ecosistema.	105
Figura N°40. Esquema constructivo de los gaviones empotrándose al núcleo del dique.....	106
Figura N°41. Tipo de gaviones utilizadas en el proyecto.....	107
Figura N°42. Sección típica de los gaviones y el geotextil de protección.	107
Figura N°43. Planta de la vivienda sostenible.....	110

Figura N°44. Isométrico de la vivienda sostenible.....	111
Figura N°45. Planta general del proyecto.....	112
Figura N°46. Zonas sísmicas del Perú.....	113
Figura N°47. Esquema de muro de adobe.....	114
Figura N°48. Esquema de cimentación.....	115
Figura N°49. Esquema de la instalación sanitaria.....	116

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS.

A	: Área de la cuenca
A_p	: Área promedio de la cuenca
A_m	: Área mojada
B	: Ancho de cuenca
°C	: Grados centígrados
CN	: Número de curva
Ca.	: Coeficiente de Asimetría
C_v	: Coeficiente de Variación
cm	: centímetro
d	: Diámetro característico de las partículas
D_x	: Diámetro x del sedimento del lecho
E	: Perdida de energía
e	: Erosión
Ff	: Factor de forma
Fr	: Número de Froude
g	: Aceleración de la gravedad (m/s^2)
I	: Intensidad
ha	: Hectáreas
hoi	: Profundidad antes de la erosión
hsi	: Profundidad luego de la erosión
hm	: Profundidad media de la sección antes de la erosión
K_c	: Índice de Compacidad o Gravelius
Kph	: Kilómetro por hora
mm/hr	: Milímetro por hora
L	: Longitud del cauce principal
m	: Metro
mm	: Milímetro
m.s.n.m.	: Metros sobre el nivel del mar

N	: Número de datos
n	: Vida útil de la obra
P	: Perímetro de cuenca
P_m	: Perímetro mojado
$P_{\max 24h}$: Precipitación Máxima de 24 horas
Psi	: Libras por pulgada cuadrada
Qd	: Caudal de diseño total
Q_{int}	: Caudal instantáneo
Q_{\max}	: Caudal máximo
$Q_{Tr=100}$: Caudal para un periodo de retorno de 100 años.
R	: Riesgo de Falla
S	: Desviación estandar
S_{cauce}	: Pendiente promedio del cauce
S_{cuenca}	: Pendiente promedio de la cuenca
T_c	: Tiempo de concentración
T_r	: Periodo de Retorno
Vd	: Velocidad directriz
V_m	: Velocidad media del flujo
V_n	: Velocidad media de la sección mojada
V_{ri}	: Velocidad media de la corriente luego de la erosión vertical
X	: Media
y	: Tirante de agua
y_s	: Profundidad de erosión
Zn	: Nivel del pelo de agua
α	: Coeficiente en función del caudal de diseño
β	: Coeficiente en función del periodo de retorno
η	: Rugosidad de Manning
μ	: Coeficiente de correlación por contracción del flujo
ν	: Viscosidad cinemática del agua
σ	: Desviación estándar

Ψ	: Coeficiente que depende del material transportado
ANA	: Autoridad Nacional del Agua.
ASTER	: Advanced Spaceborne Thermal Emisión and Reflexión Radiometer.
CENAPRED	: Centro Nacional de Prevención de Desastres.
DIDP	: Departamento de Investigación y Documentación _Parlamentarios.
INDECI	: Instituto Nacional de Defensa Civil.
INEI	: Instituto Nacional de Estadística e Informática.
INRENA	: Instituto Nacional de Recursos Naturales.
IGN	: Instituto Geográfico Nacional.
GDEM	: Global Digital Elevation Model
MINAGRI	: Ministerio
MINEDU	: Ministerio de Educación.
NASA	: National Aeronautics and Space Administration.
SENAMHI	: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

Las inundaciones y el friaje afectan a millones de personas cada año alrededor del mundo. Este daño comprende desde la pérdida de vidas, propiedades, daños a la infraestructura hasta la inseguridad alimentaria y las enfermedades. Específicamente estos fenómenos afectan de manera catastrófica a la población de escasos recursos económicos, que mayormente viven en zonas rurales y dependen de la agricultura y ganadería como fuente de alimentos y de ingresos.

Las inundaciones y el friaje en el Perú se presentan en determinadas épocas del año y su intensidad varía según la región. Las causas principales son los fenómenos climáticos y las precipitaciones en la región andina. Por ello existen diversas organizaciones e instituciones que constantemente buscan mitigar los daños causados por los diferentes fenómenos naturales que ocurren en el país; sin embargo, los repetitivos desastres han demostrado que la prevención en el Perú contra estos fenómenos no está funcionando como debería ser, por lo que aún sigue siendo una labor pendiente, la prevención de los daños ocasionados por las inundaciones y el friaje. Por lo cual, con este trabajo de investigación se busca contribuir a la solución para mitigar dichos daños.

En la presente tesis se desarrolla un análisis completo de la situación hidrológica, climática y estructural de la región de Ilave-Puno, para luego plantear la alternativa de solución. Este estudio será de gran relevancia para el desarrollo y crecimiento de esta zona rural ya que en la actualidad Ilave no cuenta con un diseño estructural preparado para los fenómenos como las inundaciones y el friaje, los cuales perjudican en gran manera la actividad económica de la población.

Descripción del contenido:

Capítulo I: INTRODUCCIÓN, en este primer capítulo se describe la situación actual de la zona de estudio, se presenta los antecedentes recopilados sobre los efectos de las inundaciones en el Perú y en el mundo, se plantea la problemática del trabajo de investigación, se definen los objetivos trazados que buscan resolver el problema, y la metodología de estudio.

Capítulo II: FUNDAMENTO TEÓRICO, en este apartado se define y describe todos los conceptos que son requeridos para el correcto desarrollo de la investigación. Este capítulo comprende conceptos básicos, donde se define y describe las inundaciones, medidas estructurales, conceptos de hidrología y conceptos de hidráulica.

Capítulo III: ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN, Es aquí donde se define la ubicación de la zona de estudio, los aspectos generales y específicos del área de influencia, la evaluación de la visita de campo como el análisis e interpretación de los datos obtenidos, el estudio hidrológico e hidráulico, modelamiento unidimensional y bidimensional en condiciones actuales, interpretación de los resultados, estimación de socavación, análisis de las alternativas de solución y resultados comparativos.

Capítulo IV: DISEÑO DE LAS VIVIENDAS SOSTENIBLES TIPO ISLAS, se presenta el diseño de la mejor alternativa de solución. Se desarrolla el diseño de las islas y todos los detalles requeridos para su optima funcionalidad. También se desarrolla el diseño de la vivienda sostenible donde se abarcó el diseño arquitectónico, estructural y sanitario.

Capítulo V: METODOLOGÍA DE COMPARACION DE BENEFICIO, hace la comparación entre la situación adoptada y situación actual. Se explica los beneficios esperados posterior a la aplicación de este proyecto, principalmente los beneficios económicos, sociales y ambientales.

1.2 ANTECEDENTES

1.2.1 Internacionales

Rendón, J. G. La ruta andina: turismo y desarrollo sostenible en Perú y Bolivia. Ecuador. 2006. Este estudio hace referencia al programa de investigación multidisciplinario que tuvo por objetivo analizar, por un lado, la relación entre globalización y turismo, y por otro, las implicaciones para el desarrollo sostenible y el alivio de la pobreza a nivel local. Se hace mención a las Islas de los Uros, que es parte de la Reserva Nacional del Titicaca y además un conjunto de islas flotantes formadas en base a totora, habitada por los pobladores de los Uros que son descendientes de una de las culturas únicas, más antiguas

de América del sur. Las principales actividades económicas son la pesca y la caza; también se dedicaron a la elaboración de tejidos de tapices de lana y al disecado de animales. La alteración negativa del ecosistema de la bahía, son producto del mayor volumen de aguas servidas en el acontecer económico, no solo ponen en peligro a uno de los ecosistemas más importantes e integrales de la bahía, que atenta contra el bienestar de la población al no hacer sostenible el manejo racional, armónico, ambiental, y disminuir considerablemente el valor cuantitativo de los bienes y servicios, comprometiendo el futuro de la biodiversidad de la Reserva.

Schoubroeck, F. V., & Kool, H. The Remarkable History of Polder Systems in The Netherlands. Holanda. 2010. En este artículo se hace referencia a los polders tradicionales de los Países Bajos, que se formaron a partir del siglo XII cuando la gente comenzó a crear tierras de cultivo mediante el drenaje de los pantanos de delta en los ríos cercanos. Los pólderes son técnicas que consisten en aislar por medio de diques un espacio cubierto por el mar, permanentemente o durante la marea alta. A lo largo de la historia, los agricultores adaptaban su sistema agrícola, con la finalidad de reducir las inundaciones ocasionales, por lo cual inventaron nuevas maneras de organizarse, y mantener afuera el agua del mar y del río, lo cual ha permitido la construcción de molinos de vientos y estaciones para bombear el agua del pólder. Este sistema de pólder funciona dentro de un contexto de aumento del mar y del río, disminución continua de los niveles de la tierra, el uso cada vez más multifuncional de la tierra (urbanización, recreación y turismo, conservación de la naturaleza, conservación de la cultura), interferencia de las políticas agrícolas y otros intereses. En Holanda una gran cantidad de partidos gubernamentales, no gubernamentales y privados con una práctica de negociación intensa conforman el ámbito del gobierno del pólder. Las más antiguas de estas organizaciones son las "juntas de agua" con el mandato de brindar seguridad contra las amenazas del agua para todos los ciudadanos. La cultura del pólder físico e institucional es, de hecho, un aspecto crucial de la identidad nacional holandesa.

Hoomeijer, F.L. The New Dutch Polder City. Holanda. 2008. En este artículo el autor indica que el diseño de las ciudades del pólder holandés ha sido una combinación de prosperidad tecnológica y una comprensión de las reglas de la gestión del agua. El progreso del pólder se ha desarrollado en seis fases a lo largo de los años. Actualmente la situación del cambio del clima causa inundaciones en

las ciudades dentro del pólder, por lo que el enfoque únicamente técnico es insuficiente. En este caso es necesario reintroducir la buena tradición, el enfoque espacial y una aceptación mayor. En este estudio se da una idea representativa de las relaciones históricas, actuales y futuras entre la urbanización y la gestión del agua en las ciudades pólder. La principal hipótesis que estructura esta investigación afirma que "la buena tradición" se basó en una relación evidente entre la gestión del agua y el diseño urbano. El diseño innovador de la nueva ciudad del pólder holandés solo es posible cuando este aspecto de la tradición se restablece.

Clark, G. Arqueología y Sociedad (Vol.2) Ediciones AKAL. España. 1980. En este estudio el autor hace mención del término Terps el cual es definido como Asentamientos en forma de montículos o tells que son característicos de la prehistoria de Grecia y del Danubio Medio. Los terps están situados en la franja costera que va desde el norte de Holanda hasta el oeste de Schleswig-Holstein, los cuales tienen un interés especial, ya que parece que se formaron a base de tirar arcilla, turba o estiércol por encima del nivel de abandono, posiblemente para contrarrestar los efectos del hundimiento.

1.2.2 Nacionales

MINAGRI. Proyecto de Recuperación de Suelos Mejoramiento de Carreteras y Defensas Ribereñas. Puno. 1988. Este proyecto tuvo como primer objetivo desarrollar el estudio a nivel definitivo de las defensas ribereñas de la margen derecha e izquierda del río llave en la zona de desembocadura al lago Titicaca en un tramo aproximado de 20.143 Km. El segundo objetivo fue hacer el diseño constructivo de las estructuras como prioridad de implementación, así como la programación de obras involucradas. Este proyecto en la cuenca del río llave comprende la construcción de diques de encauzamiento en ambas márgenes, con una longitud de 9 700 m en la margen izquierda y de 10 443 m en la margen derecha entre los sectores de Tara Baja y Aricolla. Los diques seleccionados tienen 3m de corona, con taludes interno y externo de 1V:2H. Se componen de arenas arcillosas, arcillas con gravas y arena conseguidas del lugar, protegidos en el talud interno con una capa superficial de material fuertemente cohesivo e impermeable obtenido de cantera, de 1 m en la corona y 2 m al pie del dique. La cota de coronación corresponde a una descarga de diseño de 50 años de tiempo

de retorno más un borde medio de 1m lo cual da una altura media del dique de 3.84m. Esto supone que la estructura, presenta un nivel de riesgo de 0.261 para 15 años de vida útil o 0.332 para 20 años. Para la construcción del sistema de defensas ribereñas se estableció tres etapas y un presupuesto de 5,939' 776,103 al mes de octubre de 1988.

Choquehuanca Huanca, A., & Mamani Choquehuanca, H. Las inundaciones en Huancané. Puno. 2008. Los autores realizaron un estudio de las inundaciones que han afectado al distrito de Huancané donde se indica que estos fenómenos naturales se presentan anualmente en cada verano y extraordinariamente cada cierto tiempo en Huancané, afectando en gran manera enormes áreas de planicies contiguas al lago. Las dos inundaciones más graves ocurridas en 1984-1986 y 2003, interrumpieron las carreteras de conexión a la ciudad de Huancané. Estos desbordamientos fueron el resultado de la transgresión lacustre y desbordamientos de los ríos Ramis y Huancané, que causaron cuantiosas pérdidas patrimoniales de los pobladores en sus cultivos, ganado, viviendas, etcétera. Es por ello que las instituciones privadas y públicas proporcionaron apoyo para asegurar la sobrevivencia de la población damnificada. Para el autor los esfuerzos del gobierno fueron respuestas momentáneas sin comprender que la verdadera causa de estos fenómenos se encuentra en la colmatación de los lechos fluviales y del fondo del lago Titicaca, en la desembocadura del río Ramis que recibe las aguas pluviales desde las cordilleras de la parte norte y noroeste del altiplano peruano. Entre las múltiples soluciones que se brinda esta la inversión en defensa ribereña; sin embargo, se considera como un paliativo porque no es solución definitiva, y en el estudio se indica que en estas situaciones la acción del hombre es un estorbo (entropía) en la organización del espacio que busca la naturaleza. La naturaleza es sabia, ya que estructura y organiza espontáneamente su sistema físico, pero luego el trabajo del hombre desorganiza este espacio. Por lo cual este artículo concluye que el hombre debe adaptarse a esta organización del sistema para aprovechar mejor las bondades de la naturaleza, en épocas de sequías y lluviosas, porque las inundaciones no solamente tienen efectos negativos, sino, también efectos positivos al generar suelos fértiles para la agricultura, la pesca abundante, la totora y algas para la ganadería, por lo que hay veces que las mismas comunidades provocan la inundación.

Pacheco Zúñiga, O. Tipologías de vivienda alpaquera altoandina en Puno – Perú. Puno. 2016. En este estudio el autor indica que las viviendas alpaqueras altoandinas demuestran diversas soluciones adoptadas por los pobladores para proveerse de un espacio controlado dentro de un espacio natural. El estudio se desarrolla en la comunidad rural de Choroma, localizada en la zona altiplánica del sur del Perú. La muestra para el estudio de caso fue de 15 viviendas escogidas indistintamente, estas corresponden al 30% de la totalidad de viviendas ubicadas en la comunidad. La revisión de bibliografía, elaboración de encuestas con preguntas cerradas politómicas, desarrollo de entrevistas semi estructuradas y el levantamiento gráfico y fotográfico de las viviendas; fueron las herramientas aplicadas para la recolección de información, que posteriormente fue analizada, comparada y clasificada. La vivienda está conformada por cuatro volúmenes independientes como elemento trascendental, que se componen por un “recinto para dormir”, un “recinto para cocinar y comer”, y dos “recintos para almacenar”. Además, poseen un patio como espacio de interacción social y organizador de la vivienda; una letrina, área de servicio que no ha sido edificada por los pobladores, pero se presenta en todas las viviendas, y finalmente tres espacios destinados para los animales: corrales y cobertizos. La concepción de la vivienda alpaquera altoandina está en transición, pues los usuarios, condicionados por su capacidad económica, no se sienten satisfechos y siguen experimentando a fin de conseguir una arquitectura que responda de manera más eficiente a su estilo de vida y los proteja de las condiciones climáticas imperantes. A esto se suma que se vienen ejecutando intervenciones arquitectónicas que proyectan una modernidad enajenada, lo cual influye en los ideales de los pobladores, llevándolos a emplear materiales constructivos foráneos que no son adecuados para su contexto.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los fenómenos naturales han ido afectando a lo largo del tiempo al ser humano desde el inicio de los tiempos, dañando sus bienes materiales e inmateriales; entre los fenómenos naturales más resaltantes tenemos: Los huracanes, los terremotos, las inundaciones, el huayco, el friaje y la sequía. Estos fenómenos se presentan en todo el mundo con diferentes intensidades y en diferentes temporadas. Las personas más afectadas son las de escasos recursos económicos; sin embargo, a lo largo del tiempo el ser humano ha ido adaptándose a estos eventos, logrando

así protegerse y algunas veces anticiparse, pero lo más importante es prepararse para un evento similar o mayor en el futuro.

Respecto a la inundación, Holanda es uno de los países que más ha estudiado este fenómeno, y con el tiempo ha logrado muchos avances que le ha permitido ganar terreno al mar para poder usarlo aumentando sus áreas de cultivo, creando nuevos pueblos, entre otros, por medio de las tecnologías estudiadas (el pólder y los Terps).

En el Perú nuestros antepasados prehispánicos han tenido un buen manejo de las aguas, tanto en las inundaciones, huaycos y sequias. Esto se puede apreciar por medio de los restos arqueológicos que se han podido estudiar hasta la actualidad, entre estos restos arqueológico podemos mencionar el sistema de almacenamiento y drenaje de Macchu Picchu, las galerías filtrantes de Nazca, los Waru waru en el altiplano, las islas flotantes de los Uros, etc. En la Actualidad en el Perú y en el mundo los daños son muy resaltantes ya que no hay una buena planificación de las ciudades frente a los fenómenos naturales que los ha ido afectando a lo largo del tiempo, ante esto estudiaremos el fenómeno de la inundación en la zona rural de Puno, el cual durante muchos años se ha estado presentando este fenómeno natural y lamentablemente hasta la actualidad solo se ha buscado soluciones temporales, y más no una solución integral que busque el desarrollo de la población a largo plazo.

Los fenómenos naturales que más aquejan a la provincia de Puno principalmente son el friaje, la sequía y las inundaciones. Durante muchos años los pobladores de Puno tienen que afrontar periodos de baja temperatura, épocas de inundaciones y épocas de sequias que lamentablemente conllevan a pérdidas humanas, enfermedades crónicas en los pobladores, pérdidas económicas y daños estructurales en la vivienda entre otros.

El problema de la inundación ocurre en las zonas de la región de Puno que están principalmente aledañas a la desembocadura de los ríos Coata, Ramis e llave. Este problema se da como consecuencia de las intensas precipitaciones pluviales que originan el aumento del caudal de los ríos que desembocan en el Lago Titicaca, lo cual conlleva a la elevación del nivel de agua del lago, y como consecuencia se presenta un desbordamiento provocando inundaciones en las planicies cercanas a esta área (ver Tabla N°1).

Según la Dirección Regional de Agricultura en el año 2012 la provincia que sufrió mayores daños fue El Collao, donde se registró la pérdida de 4 451 hectáreas, mientras que otras 12 735 resultaron afectadas.

Ilave es uno de los distritos más afectados de la región de Puno por las inundaciones y el friaje. Este distrito está conformado por 37 centros poblados de las cuales 11 de ellas se encuentran cercanas al lago Titicaca.

Las inundaciones que más afectaron a la provincia de Puno de una manera dramática ocurrieron en los años de 1984 -1987 y 2003 – 2004 (INDECI,2015).

De acuerdo al Compendio Estadístico del SINADECI 2003, a causa de las inundaciones del 2003 se presentaron cuantiosas pérdidas:

- Daños a la vivienda: 801 viviendas destruidas, 2588 viviendas afectadas.
- Daños a la agricultura y ganadería: 24 895 hectáreas de cultivo afectados, 4 768 hectáreas de cultivo perdidos.
- Animales: 137 483 animales afectados.
- Daños a los Servicios Básicos: 8 500m lineales de la red de desagüe deteriorada.

Así también sucede con las bajas temperaturas en las regiones de Puno. En la última década el impacto ocasionado por las bajas temperaturas ha ido en aumento en el Perú. Los fenómenos vinculados a las heladas y el friaje causan graves daños a la población, cultivos y animales y en muchos casos daños irreparables. Las zonas más afectadas se encuentran en la parte altas en donde las temperaturas tienden a bajar demasiado entre ellas tenemos al distrito de Cojata en donde las temperaturas tienden a bajar por debajo de los 0°C.

Ante estos fenómenos antes mencionados el Gobierno Peruano ha buscado incansablemente poder atenuar los graves efectos ocasionados recurriendo a donaciones de empresas privadas, ONGs, y contribuciones extranjeras; sin embargo, estos métodos son solo mitigantes mas no resuelven los problemas del poblador por lo que cada año se viene repitiendo la misma historia.

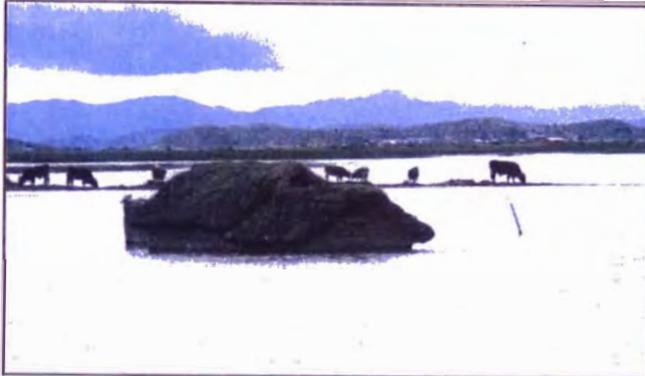
Como se puede observar en la Tabla N°1, según el Informe de investigación del DIDP del año 2018, los daños ocasionados por heladas y friaje en la región de Puno durante el periodo de 2003 al 2016.

Tabla N°1. Emergencias y daños ocasionados por heladas y friaje según departamento, periodo 2003–2016.

Departamento	Emergencia	Damnificados	Afectados	Has. De cultivo perdidas	Has. De cultivo afectadas
Total	8293	103804	6192986	127833	682990
Amazonas	82	1107	14248	530	1403
Áncash	75	175	14180	330	2025
Apurímac	124	6	77525	837	2503
Apurímac	1180	1537	1161895	5360	20017
Arequipa	558	3204	294767	1871	126204
Ayacucho	434	4175	215906	3730	158871
Cajamarca	102	531	8639	32314	51790
Cusco	1260	22371	943303	7044	44364
Huancavelica	1368	36573	681335	1054	3461
Huánuco	384	501	198301	8046	12427
Ica	22	0	7660	0	200
Junín	89	365	40941	39	1629
Junín	170	1485	43362	1345	10089
La Libertad	47	311	31910	958	6364
Lambayeque	33	0	22463	1092	3480
Lima	162	1540	45133	0	40
Loreto	9	0	17228	0	0
Madre de Dios	11	0	8935	0	0
Moquegua	241	2965	132863	142	44533
Pasco	471	401	268661	16648	26524
Piura	64	1530	105809	7180	14648
Puno	1215	24512	1757073	35289	149968
San Martín	1	45	100	0	0
Tacna	185	470	98932	4024	2450
Tumbes	4	0	662	0	0
Ucayali	2	0	1155	0	0

Fuente: DIDP - Informe de investigación, octubre 2018.

Tabla N°2. Galería Fotográfica de las inundaciones que afectaron a la provincia de Puno.

<p>Viviendas durante la inundación</p> <p>La mayor parte de los centros poblados cercanos a la desembocadura de un río al lago Titicaca son vulnerables a las inundaciones, dado que hasta la actualidad las viviendas no se encuentran preparadas para poder evitar los diferentes tipos de daños.</p>	
<p>Medidas adoptadas durante la inundación</p> <p>En las diferentes zonas afectadas por las inundaciones, la población se ve obligada a improvisar el medio de transporte para su familia, animales y pertenencias, dado que la ayuda de las autoridades no es inmediata.</p>	
<p>Daños a la vivienda posteriores a la inundación.</p> <p>Según INDECI en Puno del 2000 – 2001 se registraron inundaciones que presentaron 1530 emergencias que dejaron 132 mil 862 personas damnificadas y más de 100 muertos, 6,482 viviendas destruidas y 21,371 afectadas, así como más de 60 mil hectáreas de cultivos perdidos y cerca de 10 mil afectadas.</p>	

Fuente: Publicaciones del diario Correo/
<https://diariocorreo.pe/peru/alertan-inundaciones-en-la-region-de-puno-389367/>

Sobre la base de lo expuesto en la presente tesis se presenta una solución integral ante la amenaza de la inundación y el friaje a lo largo de la zona rural del valle del río llave aledañas al lago Titicaca.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 General

Evaluar y desarrollar una solución integral mediante el diseño de viviendas sostenibles ubicadas en islas artificiales usando los criterios bioclimáticos, considerando los factores geográficos, climatológicos y de actividad poblacional propias de la zona rural de llave-Puno. Esta evaluación se realizó para los centros poblados que se encuentran ubicados cerca a la desembocadura del río llave al lago Titicaca las cuales son afectas fuertemente por las inundaciones, sequias y friaje.

1.4.2 Específicos

- Evaluar la actual condición del distrito de llave en su geografía, clima, infraestructura y salud de sus pobladores.
- Efectuar la simulación de las viviendas sostenibles tipo islas empleando el programa HEC-RAS2D para mejorar la precisión de nivel de la inundación.
- Análisis de Beneficios de la alternativa de solución.
- Diseñar la mejor alternativa de solución.
- Comparar beneficios y costos de la implementación de la propuesta planteada, con las soluciones tradicionales.

1.5 METODOLOGIA

1.5.1 Población.

La muestra de estudio para la presente investigación son todas las viviendas afectadas por las inundaciones y friaje en el distrito de llave.

Según el Censo Nacional, el distrito de llave está formada por 4 zonas: Zona Media, Zona Lago, Zona Alta y Zona Urbana donde existe un total de 30,710 viviendas (INEI,2017).

Para el estudio se realizó un muestreo no probabilístico por conveniencia en la región de llave, y se estudió una muestra de 27 viviendas pertenecientes a la zona Lago.

La unidad de análisis es una vivienda del distrito de llave afectada por la inundación y el friaje.

Para lograr los objetivos de la investigación realizó una inspección de campo al distrito de llave – Puno, el día 24 de noviembre del 2018, donde se solicitó a la Municipalidad Distrital de llave la relación de los centros poblados de la Zona Lago, los que continuación se detalla en la Tabla N°3.

Tabla N°3. Alcaldes de los Centros poblados de la zona lago del área rural de llave - Puno.

N°	CARGO	NOMBRES Y APELLIDOS	CENTRO POBLADO
27	Alcalde	Edgar Cabrera Maquera	Ccallata Pacuncani
28	Alcalde	Marco Antonio Roque Maquera	Vilca Chile
29	Alcalde	Rogelio Foraquita Rivera	Rosacani
30	Alcalde	Porfirio Mamani Butron	Pueblo De Camicachi
31	Alcalde	Amadeo Huanacuni Condori	Sillca. Choq. Corpa Flores
32	Alcalde	Juan Alfredo Mamani Condori	Jilacatura
33	Alcalde	David Octavio Quispe Encinas	Pharata Copani
34	Alcalde	Mellir Encinas Contreras	Santa Rosa De Huayllata
35	Alcalde	José Noe Cartagena Condori	Challapujo Suyo
36	Alcalde	Nicolas Ccama Zurita	Sullcacatura II
37	Alcalde	Clemente Mamani Mamani	San Isidro

Fuente: Municipalidad Provincial El Collao-llave.

Esta información se logró obtener gracias a la carta de recomendación brindada por el Departamento Académico de Hidráulica e Hidrología de la Universidad Nacional de Ingeniería, a cargo del Ingeniero Edgar Rodríguez Zubiato, el día 20 de noviembre del 2018, dirigida al alcalde el señor Santos Apaza Cárdenas.

Con la información brindada de los centros poblados existentes en la zona lago mostrada en la Tabla N°03 se realizó la inspección de campo de los centros poblados, el día 26 de noviembre del 2018, se logró obtener las coordenadas y

cotas aproximadas de 9 centros poblados cercanos a la desembocadura del río llave al lago Titicaca, Ver Tabla N°4. Estos 9 centros poblados son estudiados a lo largo de toda la tesis.

De acuerdo al censo nacional INEI (2017) existen 253 centros poblados en el distrito de llave de los cuales para la presente investigación se tomó una muestra de 9 de ellos pertenecientes a la zona lago. En la Tabla N°5 se detalla la cantidad de viviendas existentes por centro poblado y en la Figura N°1 la localización satelital de los centros poblados estudiados.

Tabla N°4. Ubicación de los 09 centros poblados estudiados en la tesis.

CENTRO POBLADO	NORTE	ESTE	COTA TN
Santa Rosa De Huayllata	8229198.00	450636.00	3810.67
Pharata Copani	8228475.00	447928.00	3813.06
Ccallata Pacuncani	8227120.00	445017.00	3814.65
Sullca. Choq. Corpa Flores	8229823.20	439283.28	3811.10
Jilacatura	8229861.68	436825.80	3811.02
Sullcacatura II	8229908.01	438101.91	3812.33
Camicachi	8227328.98	438850.86	3814.40
Challapujo Suyo	8227697.72	434415.76	3819.10
Rosacani	8231799.15	442078.92	3809.57

Fuente: Municipalidad Provincial El Collao-Ilave.

Tabla N°5. Último Censo 2017 de los centros poblados inspeccionados.

CENTRO POBLADO	POBLACIÓN CENSADA	VIVIENDAS PARTICULARES
Santa Rosa De Huayllata	337	381
Pharata Copani	235	48
Ccallata Pacuncani	38	50
Sullca. Choq. Corpa Flores	108	67
Jilacatura	74	70
Sullcacatura II	346	206
Camicachi	111	67
Challapujo Suyo	52	168
Rosacani	320	50

Fuente: INEI, Censos Nacionales 2017 Tomo IV.



Figura N°1. Localización satelital de los centros poblados a estudiar.
Fuente: Google Heart Pro y Elaboración propia.

1.5.2 Técnicas de recolección de datos.

Como técnica de recolección de datos se empleó la entrevista, donde fueron aplicadas 11 preguntas abiertas a 27 representantes de hogar, algunas de estas preguntas se pudieron responder según la observación y las otras por medio de la entrevista. En la Tabla N°6 se muestra las preguntas que se aplicaron a los pobladores de llave zona lago.

Tabla N°6. Preguntas de la entrevista a los pobladores de llave – Zona Lago.

Preguntas de la Entrevista
1. ¿Cuál es el área de la vivienda?
2. ¿Cuál es el material de construcción de las paredes?
3. ¿De qué material son los techos?
4. ¿De qué material son los pisos?
5. ¿Cuál es el área de la zona de cultivo esencial para su alimentación?
6. ¿Cuál es el área de descanso de los animales?
7. ¿Qué alimentos cultivan?
8. ¿Qué animales crían?
9. ¿Cuál es la fuente de energía eléctrica que utilizan?
10. ¿Cuál es la fuente de abastecimiento de agua para su consumo diario?

Fuente: Elaboración propia

1.5.3 Información Cartográfica.

Se usó las siguientes Cartas Nacionales:

Nombre: llave	Nombre: Acora	Nombre: Juli	Nombre: Isla Soto
Código: 33-x	Código: 32-x	Código: 33-y	Código: 32-y

Estas cartas nacionales facilitadas por GEO GPS PERU se usó para identificar los caminos de acceso y los centros poblados cercanos para la visita a campo.

1.5.4 Información Topográfica.

Para recabar la información topográfica se recurrió a la información satelital debido a que el área de trabajo es muy extensa, por lo que si se empleaba el método tradicional o un vehículo aéreo no tripulado resultaría muy costoso. Por tal motivo

se consultó con los ingenieros de la comisión de revisión de la tesis para emplear la información satelital en el desarrollo del proyecto. Resultando una respuesta afirmativa se prosiguió con el diseño y previa calibración de esta información para un análisis más realista.

Se empleó la información satelital de la NASA:

DEM: ASTGTM2-S17W070

ASTGTM2-S16W070

Esta información se obtuvo del satélite ASTER GDEM conocido como el mapa topográfico más exacto de la superficie terrestre. El satélite ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflexión Radiometer). Es un instrumento de alta resolución espacial en la tierra, que fue lanzado en junio de 2009 de manera conjunta por la NASA y el Ministerio de Economía Comercio e Industria (METI) - Japón. Para mayor información ver la página web, NASA EARTHDATA: <https://search.earthdata.nasa.gov>

Con esta información se crearon las curvas de nivel y con el Dem se logró simular la avenida máxima para un periodo de retorno de 100 años.

CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO.

2.1 INUNDACIONES

Inundación, según el glosario internacional de hidrología, la inundación es definida oficialmente como un aumento del agua por arriba del nivel normal del cauce (OMM, 2012).

De acuerdo al estudio publicado de Inundaciones de CENAPRED (2004) se define inundaciones como:

Aquel evento que, debido a la precipitación, oleaje, marea de tormenta, o falla de alguna estructura hidráulica provoca un incremento en el nivel de la superficie libre del agua de los ríos o el mar mismo, generando invasión o penetración de agua en sitios donde usualmente no la hay y, generalmente, causa daños en la población, agricultura, ganadería e infraestructura. (p.5).

2.1.1 Tipos y Características.

Inundaciones Pluviales: Las inundaciones pluviales se presentan cuando la lluvia se precipita sobre una superficie plana o cóncava y el agua no puede desplazarse por sí mismo quedándose estancado por un tiempo hasta que por infiltración y/o evaporación desaparece de la superficie.

Inundaciones Fluviales: Estas inundaciones se generan al desbordarse un río dado que no puede conducir el exceso del agua como producto de la lluvia registradas en cualquier parte de la cuenca tributaria y no necesariamente sobre la zona afectada. El tiempo de esta inundación dependerá de la velocidad del flujo dentro del río.

De acuerdo a CENAPRED (2004) indica que:

Es importante observar que el volumen que escurre sobre el terreno a través de los cauces, se va incrementando con el área de aportación de la cuenca, por lo que las inundaciones fluviales más importantes se darán en los ríos con más desarrollo (longitud) o que lleguen hasta las planicies costeras. (p.19).

Inundaciones Costeras: En el fascículo de Inundaciones CENAPRED (2004) se obtiene la siguiente definición:

Las inundaciones costeras se presentan cuando el nivel medio del mar asciende debido a la marea y permite que este penetre tierra adentro, en las zonas costeras, generando el cubrimiento de grandes extensiones de terreno. (p.20)

La marea de tormenta es generada por los vientos de los ciclones tropicales sobre la superficie del mar y por la disminución de la presión atmosférica en el centro de estos meteoros. Por su parte, el oleaje en el océano puede ser provocado por diferentes factores; sin embargo, su causa más común es el viento. La suma de los efectos de ambos fenómenos, puede causar importantes estragos. (p.20)

2.2 MEDIDAS ESTRUCTURALES

2.2.1 Vivienda Sostenible

Una vivienda sostenible básicamente es aquella vivienda bioclimática; es decir, una edificación que busca aprovechar las condiciones naturales para así disminuir todo lo posible las necesidades energéticas. En estas construcciones hay que tener en cuenta la arquitectura y el tipo de material con el que se va a construir con la finalidad de mejorar la calidad de vida social, económica y ambiental en determinada zona (Bell, 2010). Y en esta investigación la finalidad es mejorar la calidad de vida del poblador rural permitiéndole así su pronto desarrollo.

A continuación, se presentará las consideraciones más relevantes en una vivienda sostenible según Palacios (2011):

- En primer lugar, una vivienda sostenible aprovecha los recursos renovables del entorno como puede ser en el aspecto energético la fuerza del viento y la energía solar, y en el aspecto de la construcción se emplean materiales ecológicos como madera, tierra, rocas entre otros que se encuentren cerca.
- Como segundo lugar es de gran importancia conocer las dificultades naturales a las que esta predispuesta la zona en la que se construirá la vivienda, (como puede ser inundaciones, friaje, sequias entre otros fenómenos naturales) por

lo cual es recomendable que en la zona se realice un estudio previo efectuado por profesionales especialistas.

- También hay que considerar que en la construcción de una vivienda sostenible las ventanas deben ser hechas de tal manera que no permita que se pierda la energía interna, para ello se recomienda la instalación de lunas dobles, y sellar correctamente los vanos.
- Es de gran importancia también tener en cuenta la instalación de un sistema de abastecimiento de agua y un sistema de alcantarillado amigables con el medio ambiente; por lo cual, reutilizar las aguas de lluvia, y la creación de un sistema de tratamiento de aguas residuales son consideraciones para la vivienda y para el uso agrícola respectivamente.

2.2.2 Diques

Según Rodríguez (2004) los diques son obras geotécnicas lineales de gran longitud a modo de pequeñas presas, estas obras están construidas con materiales como arcilla, arena o materiales pétreos. Los diques son empleados especialmente para prevenir la inundación de los campos cercanos a los ríos, ya que sirve como contención de las aguas. Otro uso es el encajonar al río para darle más fluidez a su cauce.

Los diques pueden tener diferentes tipos de clasificaciones, pero para este estudio clasificaremos a los diques por el tipo de material de la siguiente manera:

- Diques de concreto: Estos tipos de diques generalmente son construidos para las bocatomas, barrajes móviles o barrajes fijos, y para los muros de contención de tal manera que propicien estabilidad a los taludes.
- Diques de piedra: Los diques de piedra son empleados para brindar protección a las riberas de los ríos (espigones o gaviones), protección de las quebradas ante el flujo de escombros (gaviones o enrocados).
- Diques de tierra: estos diques son usados para el represamiento de aguas (represas), encausamiento de los ríos (diques naturales o artificiales), encausamiento de quebradas (geobolsas colocadas piramidalmente), etc.

2.2.3 Polder y Terps

Según Schoubroeck (2010), polder es un término originado en Holanda para referirse a aquellas superficies terrestres ganados al Mar del Norte. Los pólderes

son una creación completamente artificial y son territorios rodeados por diques debido a que estos territorios están por debajo del nivel medio del mar, los cuales necesitan una constante evacuación artificial.

De acuerdo a Clark (1980) antiguamente en Holanda los pólderes se conocían como Terps, que eran asentamientos en forma de montículos, situados en la faja costera que va desde el norte de Holanda hasta el oeste de Schleswig- Holstein, ya que aparentemente se formaron a base de tirar arcilla, turba o estiércol por encima del nivel de abandono, probablemente para contrarrestar los efectos del hundimiento. En Alemania estos asentamientos recibían el nombre de Wunts. Los Terps al norte de Holanda y los Wunts del noreste de Alemania ofrecen muchas analogías, pero difieren en su origen. Estos montículos han sido levantados deliberadamente en estadios sucesivos posiblemente para contrarrestar el comienzo del hundimiento costero.

En la siguiente Tabla N°7 podemos observar una ilustración de los Pólderes y Terps aplicados en Holanda.

Tabla N°7. Galería Fotográfica de la implementación de las islas en Holanda.



Granjas agrícolas en el Noordoostpolder



Granjas agrícolas en el Noordoostpolder



Granjas agrícolas en el Noordwaard



Granjas agrícolas en el Noordwaard

Fuente: Aerophoto-Schiphol Aerial Photography, 30 de agosto 2016 y 23 setiembre del 2016

<https://www.aerophotostock.com/-/galleries/all/-/medias/9ce542fc-cc33-47e2-be21-983d73da3788-huize-keizersguldenwaard-polder-keizersguldenwaard-werkendam>

Tomando en consideración la aplicación de los Terps en Holanda como medida de seguridad en caso de que el sistema del pólder falle o deje de funcionar, los habitantes que se encuentran cerca de la parte baja del río, construyeron sus casas en islas artificiales y así las aguas del río pueden entrar y salir durante los periodos de altamar sin ocasionar daño alguno a las viviendas.

En la presente investigación, la inundación que se estudió fue causada por el incremento del nivel freático del lago Titicaca y el incremento del caudal del río llave, que se produce cada determinado tiempo y demora aproximadamente 2 meses en disminuir por completo. Por lo tanto, para este caso no fue necesario tener una evacuación artificial de las aguas, pero sí tener un sistema de traslado para los pobladores, por lo cual se podría recurrir al empleo de pequeñas lanchas o botes.

2.2.4 Los Waru-Waru

Son una tecnología agrícola de manejo integral de suelos, agua y cultivos en zonas inundables. Esta tecnología consiste en la elevación de campos combinado con una rehabilitación de suelos marginales, mejora del drenaje, almacenamiento de agua, utilización óptima de la energía disponible y atenuación de los efectos de las heladas (Erickson, 1986). Este sistema consiste en la construcción de terraplenes elevados sobre la superficie original, intercalando con canales que se utilizan para almacenar agua y para el riego de los cultivos.

2.3 CONCEPTOS DE HIDROLOGÍA

Según Chow (1994) se sabe que desde tiempos antiguos muchos pensadores han especulado acerca de la circulación del agua, gran parte de esa especulación no tenía bases científicas; sin embargo, el filósofo griego Anaxagoras de Clazonte (500-428 a.C.) ideó una versión primitiva del ciclo hidrológico. Creía que el sol evaporaba el agua del mar hacia la atmosfera, desde donde caían como lluvias, y formaban las reservas subterráneas, los cuales alimentaban los caudales de los ríos.

2.3.1 Introducción al Concepto de Cuenca

Chow (1994) escribe en su libro lo siguiente:

La cuenca es como un sistema hidrológico y se define como una estructura o volumen en el espacio, rodeada por una frontera, que acepta agua y otras entradas opera en ellas y las produce como salidas. (p.7)

Para la presente investigación se empleará el concepto de que una cuenca hidrográfica es un sistema que como principal ingreso de agua son las lluvias, y como salidas son el caudal, la evapotranspiración, el flujo superficial y la percolación.

A su vez la cuenca está delimitada por la línea de divorcio de las aguas, es decir la cota o altura máxima que divide dos cuencas contiguas.

De acuerdo al estudio de Berrocal (2016):

A parte de la divisoria de las aguas superficiales, existe la divisoria freática o subterránea. Esta última establece los límites de los cuerpos de agua subterránea, en donde se deriva el caudal base de la misma cuenca. Las dos divisorias difícilmente coinciden. Se acostumbra definir el área de drenaje de una cuenca de acuerdo a su divisoria topográfica (divorcio de las aguas. (p.25)

2.3.2 Parámetros geomorfológicos de una cuenca

La geomorfología es parte de la geografía física, y estudia de manera descriptiva y explicativa el relieve de la Tierra. Este viene a ser el resultado de un balance

dinámico entre procesos constructivos y destructivos, dinámica que es conocido como ciclo geomorfológico.

Área de la cuenca (A). - Es la superficie de la cuenca que está comprendida dentro de la curva cerrada de divortio aquarum. La magnitud del área es obtenida mediante el planimetrado de la proyección del área de la cuenca sobre un plano horizontal. Dependiendo de donde se ubique la cuenca, su tamaño influye en mayor o menor grado en el aporte de escorrentía, tanto directa como de flujo de base o flujo sostenido (MINAGRI, 2009).

Su importancia radica en las siguientes razones:

- ✓ Es un valor que será utilizado para muchos cálculos en varios modelos hidrológicos.
- ✓ Para una misma región hidrológica o regiones similares, es posible decir que a mayor área mayor caudal o viceversa.
- ✓ Bajo las mismas condiciones hidrológicas, cuencas con áreas mayores producen hidrógrafas con variaciones en el tiempo más suaves y más llanas. Sin embargo, en cuencas grandes, se pueden dar hidrógrafas picudas cuando la precipitación es intensa y en las cercanías, aguas arriba, de la estación de aforo.
- ✓ El crecimiento del área actúa como un factor de compensación de modo que es más común detectar crecientes instantáneos y de respuesta inmediata en cuencas pequeñas que en las grandes cuencas.

Perímetro de la cuenca (P). - Según MINAGRI (2009):

Es la longitud de la línea de divortio aquarum. Se mide mediante el curvómetro o directamente se obtiene del Software en sistemas digitalizados. (p.102).

Longitud del río principal (L). - Según MINAGRI (2009):

Es la longitud mayor de recorrido que realiza el río, desde la cabecera de la cuenca, siguiendo todos los cambios de dirección o sinuosidades, hasta un punto fijo de interés, puede ser una estación de aforo o desembocadura, expresado en unidades de longitud. (p.102).

Ancho promedio de la cuenca (A_p). – Según MINAGRI (2009):

Relación entre el área de la cuenca y la longitud del cauce principal, cuya expresión es la siguiente. (p.103):

$$A_p = \frac{A}{L}$$

Donde:

A_p : Ancho promedio de la cuenca (Km).

A : Área de la cuenca (Km²).

L : Longitud del cauce principal (Km).

Coeficiente de compacidad o índice de Gravelius (K_c). – Según MINAGRI (2009):

Es el parámetro adimensional que relaciona el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo de igual área que el de la cuenca. Este parámetro, describe la geometría de la cuenca y está estrechamente relacionado con el tiempo de concentración del sistema hidrológico. Las cuencas redondeadas tienen tiempos de concentración cortos con gastos pico muy fuerte y recesiones rápidas, mientras que las alargadas tienen gastos pico más atenuado y recesiones más prolongadas. (p.103).

$$K_c = \frac{0.282P}{\sqrt{A}}$$

Donde:

P : Perímetro de la cuenca (Km).

A : Área de la cuenca (Km²).

De la expresión se desprende que K_c siempre es mayor o igual a 1, y se incrementa con la irregularidad de la forma de la cuenca. Este factor adimensional constituye un índice indicativo de la tendencia de avenida en una cuenca.

Factor de forma (Ff). – Según MINAGRI (2009):

Es la relación entre el área de la cuenca y el cuadrado de la longitud máximo recorrido del cauce. Es un parámetro adimensional que denota la forma redondeada o alargada de la cuenca. (p.104).

$$Ff = \frac{A}{L^2}$$

Donde:

A : Área de la cuenca (Km²).

L : Longitud del cauce principal (Km).

2.3.3 Análisis de frecuencia de caudales máximos instantáneos

El análisis de frecuencia es empleado para predecir el comportamiento futuro de las descargas en un sitio de interés, a partir de la información histórica de descargas. Este método está basado en procedimientos estadísticos que permite calcular la magnitud del caudal asociado a un período de retorno.

2.4 CONCEPTOS DE HIDRÁULICA

2.4.1 Introducción sobre Hidráulica.

Como primer punto, para el diseño hidráulico de un dique se debe tener en cuenta: la capacidad hídrica de la sesión de escurrimiento y el comportamiento natural del agua, ya sea en su recorrido natural o artificial, dado que frente a cada uno de estos aspectos la solución es diferente. Por consiguiente, para conocer la dinámica de los ríos es necesario analizar la dinámica de la planta del río, la morfología del fondo del cauce, el transporte de sedimentos y por último el movimiento del flujo (Vide, 2003)

Cuando se haya conocido la dinámica de los ríos se propone las estructuras de protección o de encauzamiento para mitigar los efectos del desborde o inundación que ocurra en la llanura. Posteriormente se volverá a evaluar la dinámica del río frente a esta nueva sección con las estructuras propuestas en la llanura de inundación, y se analizará la estabilidad de la estructura planteada y su respectiva protección frente a la socavación en la cara húmeda.

2.4.2 Cálculo de Niveles de Agua.

Para la obtención del nivel del agua se realiza un cálculo permanente gradualmente variado, el cual permite conocer el nivel del agua cuando la topografía es irregular. Para la obtención del nivel del agua se debe de analizar el perfil del flujo con el caudal de diseño (Chow, 1994).

Para nuestro análisis se utilizó dos métodos para el cálculo del tirante del agua, el primer método fue utilizando un modelo unidimensional y el otro método fue un modelo bidimensional.

Modelamiento unidimensional: Se basa en la aplicación de la ecuación de la energía y generalmente se emplea el programa HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center-River Analysis System). Actualmente este software es empleado para el cálculo de parámetros hidráulicos en el diseño de obras de cauces naturales desarrollado por el U.S. Army Corps of Engineers (Berrocal 2016)

$$Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} = Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} + E$$

Donde:

- $Z_n + P_n$: Nivel del pelo de agua en los extremos del tramo (m).
- V_n : Velocidad media en la sección mojada en los extremos (m/s).
- α_1, α_2 : Coeficiente de la no-uniformidad de distribución de las velocidades en la sección mojada.
- g : Aceleración de la gravedad (m/s²).
- E : Total de pérdidas de energía en el tramo del curso de agua considerando en el cálculo, de la longitud L (m).

Modelamiento bidimensional: Se basa en la solución de las ecuaciones de Saint Venant 2D. Los softwares de modelamiento 2D más usados son el IBER, RIVER 2D y el HEC-RAS2D. Un modelo 2D es especialmente empleado para realizar estudios de las llanuras propensas a inundación, flujos fuera del cauce, flujos en el cauce, etc. A diferencia de los modelos 1D, con el modelamiento 2D puede

conocerse las características hidráulicas (tirante, velocidad, esfuerzo cortante, etc.)

Las ecuaciones de Saint Venant están conformados por la ecuación de conservación de masa y de momento o cantidad de movimiento, estas son ecuaciones diferenciales en derivadas parciales de tipo hiperbólico con coeficientes variables en general (Lluén 2015).

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$
$$\frac{1}{A} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + g \frac{\partial y}{\partial x} - g(S_0 - S_f) = 0$$

Donde:

$\frac{1}{A} \frac{\partial Q}{\partial t}$: Término de aceleración local.

$\frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right)$: Término de aceleración colectiva.

$g \frac{\partial y}{\partial x}$: Fuerzas de presión.

$g(S_0)$: Aceleración de la gravedad.

$g(S_f)$: Término de fuerza de fricción.

2.4.3 Conceptos Básicos de Socavación.

La socavación es un proceso que se produce a corto plazo, largo plazo o transitorio, como en la ocurrencia de avenidas. Generalmente los fallos ocurren cuando se producen las avenidas; sin embargo, también se presentan con procesos a largo plazo.

Existe escasa información sobre modelos teóricos para estimar la profundidad de socavación, esto por el alto grado de incertidumbre y complejidad de las variables involucradas. Por ello es que se recurre a los resultados de investigaciones experimentales de laboratorio basados en el análisis dimensional, lo cual da resultados muy conservadores y contradictorios, (MTC 2011).

De acuerdo al tipo de suelo que se encuentra en el cauce, los materiales se socavan en diferentes formas, por ejemplo: los suelos granulares sueltos se erosionan rápidamente contrariamente a los suelos arcillosos los cuales son más resistentes a la erosión. Existen múltiples fórmulas para estimar las erosiones y socavaciones, de las cuales la mayoría de las fórmulas para lechos granulares (no cohesivos) requieren como dato principal el diámetro representativo del lecho mientras que para los lechos finos (cohesivos) predomina el dato de peso específico del lecho.

Erosión general transitoria y por contracción. La erosión general transitoria (EGT) es un descenso temporal del nivel del lecho producido durante la ocurrencia de una avenida. Por otro lado, si los terraplenes de acceso contraen al flujo, se desarrollará una erosión adicional producto de la aceleración del flujo en la sección cercana a la base de los terraplenes, esta es conocida como erosión por contracción (EC).

Para el cálculo de la socavación en una llanura de inundación se tiene en consideración algunos factores:

- Reconocer si la estructura a construir se encuentra lejos del cauce del río,
- La velocidad del flujo en el lugar de estudio.
- El diámetro medio considerado para la zona del proyecto.

El método propuesto por Lischtván-Lebediev que se detalla en el libro Cálculo de La Erosión General, considera para la determinación de las profundidades de erosión general establece que el mecanismo de erosión se determine cuando la velocidad de escurrimiento (V_r) se reduzca hasta el punto tal en que iguale la velocidad mínima o de equilibrio (U_0) (Schreider 2001).

A continuación, se presenta la ecuación de la velocidad de escurrimiento la cual es considerada a partir de la ecuación de Manning:

$$V_{ri} = \alpha * \frac{h_{oi}^{\frac{5}{3}}}{h_{si}}, \text{ donde } \alpha = \frac{Q_d}{h_m^{\frac{5}{3}} * B_e}$$

Donde:

V_{ri} : Velocidad media de la corriente luego de la erosión en la vertical i de la sección (m/s).

h_{oi} : Profundidad antes de la erosión de la vertical i de la sección.

h_{si} : Profundidad luego de la erosión en la vertical i de la sección (m).

Q_d : Caudal de diseño total (m³/s).

h_m : Profundidad media de la sección antes de la erosión (m).

B_e : Ancho superficial efectivo asociado con Q_d (m).

Ahora se muestra la ecuación de la velocidad mínima o de equilibrio, la cual depende fundamentalmente de las partículas que componen el fondo y que fue propuesta por Maza Álvarez.

$$U_e = 4.7 * \beta * h_{si}^{\frac{0.322}{d^{0.003}}} * d^{0.28}$$

Donde:

d : Diámetro característico de las partículas que componen el fondo (m).

β : Coeficiente en función del periodo de retorno (T_r).

El parámetro β está asociado con el caudal de diseño, cuya expresión fue expuesta para T_r entre 15 y 1500 años como:

$$\beta = 0.8416 + 0.03342 \ln T_r.$$

Por consiguiente, se iguala la ecuación de velocidad de escurrimiento y de la ecuación de la velocidad mínima o de equilibrio, luego se despeja h_{si} , realizando un cambio de variable de $x = \frac{0.322}{d^{0.003}}$

Dando la siguiente ecuación:

$$h_{si} = \left(\frac{\alpha * h_{oi}^{5/3}}{4.7 * \beta * d^{0.28}} \right)^{1/x+1} \quad \alpha = \frac{Q_d}{h_m^{5/3} * B_e}$$

A la ecuación resultante (h_s) se le agrega el coeficiente que depende del material transportado en suspensión (Ψ), y el coeficiente de correlación por contracción del flujo (μ) donde la ecuación final tendría la siguiente expresión:

$$h_{si} = \left(\frac{\alpha * h_{oi}^{5/3}}{0.68 * \beta * \psi * d_{50}^{0.28}} \right)^{1/x+1} \quad \alpha = \frac{Q_d}{h_m^{5/3} * B_e * \mu}$$

$$y_{si} = h_{si} - h_{oi}$$

Donde:

Ψ : Coeficiente que depende del material transportado en suspensión.

m : Coeficiente de correlación por contracción del flujo.

d50 : Diámetro del cauce en milímetros.

Ysi : Profundidad de socavación

CAPÍTULO III: ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN.

Este capítulo está referido a dar solución al problema de las inundaciones, por ello se presenta y explica el análisis previo de la zona de estudio con la finalidad de obtener la información necesaria para la correcta elección de la alternativa de solución (nivel de agua y profundidad de socavación), y luego se presenta las diferentes alternativas propuestas para solucionar el problema, tomando en consideración los diferentes factores que se presentan en la zona en estudio.

3.1 UBICACIÓN

3.1.1 Delimitación Política

La zona del proyecto comprende los centros poblados Pharata Copani y Santa Rosa de Huayllata, pertenecientes al distrito de llave, provincia del Collao, región Puno. El distrito de llave presenta los siguientes límites:

Por el Norte : Distrito de Acora.

Por el Sur : Distrito de Juli.

Por el este : Con el Lago Titicaca y Distrito de Pilcuyo

Por el Oeste : Distrito de Acora y Juli.

3.1.2 Ubicación Geográfica

Geográficamente la Zona de llave está ubicada a $16^{\circ}05'12''$ de latitud sur y $69^{\circ}38'07''$ de longitud oeste. El centro poblado de Pharata Copani está a una altura de 3813.06 m.s.n.m. y el centro poblado de Santa Rosa de Huayllata, a una altura de 3810.67 m.s.n.m.

3.1.3 Situación y Extensión

La zona que enmarca el proyecto presenta extensiones regularmente planas rodeadas por colinas. Situándose al centro de la ciudad en una parte alta de una colina, es prácticamente limitada al sur y este por el río llave. El norte y oeste con extensiones planas, son las zonas de expansión urbana de la ciudad, hoy dedicadas a áreas agrícolas y de pastoreo. El distrito de llave tiene una extensión de 874.57 km².

3.2 ASPÉCTOS GENERALES DEL ÁREA DE INFLUENCIA

3.2.1 Aspectos Sociales

La población del distrito de llave según el último Censo Nacional 2017 es de 46,018 habitantes, donde 24,180 (52.54 %) de la población habita en zonas rurales y un 47.46% en zonas urbanas, lo que representa un 38.33 % de la población de la provincia del Collao, y con un índice de crecimiento (-2.4) en descenso de acuerdo a la población a nivel provincial, y en comparación con el censo del 2007.

3.2.2 Aspectos Económicos

La principal actividad económica es la agropecuaria, la cual ocupa en promedio 40% de la Población Económicamente Activa (PEA). La segunda actividad es el comercio, principalmente por las ferias dominicales donde son comercializados los productos agropecuarios y de consumo (alimentos, vestimentas, etc.).

3.2.3 El Clima

Según ONERN (1980) y Chang (1993) *“el clima de todo el altiplano contribuye a acentuar los efectos de los fenómenos vinculados a la dinámica fluvial y a los procesos erosivos. En efecto, las lluvias son breves y violentas, concentradas en un periodo de poco más de tres meses. Esto determina una fuerte erosión y transporte sólido de los relieves e, igualmente, inundaciones y depósitos en las áreas deprimidas, resultado de eventos a menudo catastróficos. Durante el resto del año el clima es seco y frío, con heladas nocturnas, que favorecen la disgregación de las rocas, y viento fuerte y frecuente”*.

El año se divide en cuatro estaciones astronómicas en función de la actividad atmosférica y de la circulación de masas de aire; no obstante, desde el punto de vista climatológico, la región de la cuenca del río llave tiene una estación húmeda (diciembre a marzo), otra seca (mayo a agosto) y dos periodos de transición (abril y septiembre a noviembre).

En la estación primavera (setiembre-noviembre), verano (diciembre-febrero), otoño (marzo-mayo) e invierno (junio-agosto); el viento dominante viene del Norte-Este generalmente.

En cuanto a la temperatura, la media anual de la microcuenca es de 8.2 °C para la altitud media de la cuenca, con una máxima de 14.9°C y una mínima de 1.5°C. Las temperaturas más templadas se dan en los fondos de valle mientras que las temperaturas más altas se dan en las partes altas de la microcuenca. El promedio mensual de humedad relativa se encuentra en un rango máximo de 67.0% para el mes de enero y una mínima de 47.0% para los meses de junio y julio. Mientras que las horas de sol mensual máximo se presenta en el mes de julio y el mes con menos horas de sol es enero.

3.2.4 Aspectos Viales

A continuación, se presenta la Tabla N°8, donde se informa del estado en el que se encuentran las vías vecinales del distrito de Ilave.

Tabla N°8. Distancia entre ciudades y localidades de Puno.

VIA		Distancia (km)	Tipo de Vía
DE	A		
Puno	Chucuito	19	Asfaltada
Chucuito	Plateria	10	Asfaltada
Plateria	Acora	4	Asfaltada
Acora	Ilave	22	Asfaltada
Ilave	Juli	25	Asfaltada
Juli	Pomata	25	Asfaltada
Pomata	Zepita	32	Asfaltada
Zepita	Desaguadero	10	Asfaltada
Desaguadero	Mazocruz	95	Asfaltada
Mazocruz	Capazo	50	Afirmada
Ilave	Conduriri	68	Afirmada
Conduriri	Mazocruz	16	Afirmada
Ilave	Totorani	20	Afirmada
Totorani	Ayrumas Carumas	30	Afirmada
Puno	Laraqueri	41	Afirmada
Laraqueri	Ayrumas Carumas	42	Afirmada
Puno	San Antonio	86	Afirmada

Fuente: MINAGRI - Evaluación de los Recursos Hídricos en la Cuenca del Rio Ilave, 2009.

3.3 ASPÉCTOS ESPECÍFICOS DEL ÁREA DE INFLUENCIA

3.3.1 Geotecnia

El área de estudio de los centros poblados que se encuentran cerca a la desembocadura del río llave (denominado Centros poblados - Zona Lago) se caracteriza por presentar una baja pendiente longitudinal con un cauce del río que adopta formas meándricas y cursos divagantes.

Según (MINANGRI 1988),

se especifica los tipos de suelos cercanos al Lago Titicaca.

En el margen izquierdo del río llave:

- Tramo Santa Rosa de Huayllata-Cocota
Clasificación SUCS: ML-CL (suelos arcillosos de ligera a mediana plasticidad).
Permeabilidad: 10^{-5} - 10^{-6} cm/s.
- Tramo Coccata – Cullcane.
Clasificación SUCS: ML (suelos arenosos carentes de plasticidad).
Permeabilidad: 10^{-3} - 10^{-4} cm/s.
- Tramo Cullcane - Tihuanaco.
Clasificación SUCS: SP - SM (arenas de pobre gradación).
Permeabilidad: 10^{-3} - 10^{-4} cm/s.
- Tramo Tihuanaco - Callata.
Clasificación SUCS: SP - GP (suelos granulares mala gradación).
Permeabilidad: 10^{-1} - 10^{-2} cm/s.

En el margen derecho del río llave:

- Tramo Huallata - Aricollo.
Clasificación SUCS: CL-CH (predominan arcillas de ligera a mediana plasticidad).
Permeabilidad: 10^{-5} - 10^{-6} cm/s.
- Tramo Aricollo - Challapata.
Clasificación SUCS: SP- SM (arenas de gradación fina con pobre gradación).
Permeabilidad: 10^{-3} - 10^{-4} cm/s.

- Tramo Challapata - Chipana.

Clasificación SUCS: SP - GP (arenas y gravas de pobre gradación).

Permeabilidad: 10^{-1} - 10^{-2} cm/s.

3.3.2 Geología

La zona del proyecto se encuentra en la entrega de las aguas del río llave al lago Titicaca teniendo como centros poblados de estudio cercanas a este punto a Santa Rosa de Huayllata y Pharata Copani. Para el estudio se empleó la información geológica del Proyecto de Recuperación de Suelos Mejoramiento de Carreteras y Defensas Ribereñas (MINAGRI 1988)

Se empleó la información geológica del proyecto de defensas ribereñas del río llave 1988, la cual se encuentra muy cercana a la zona de estudio de nuestro proyecto.

En la evolución geomorfológica del río predominan los suelos granulares fina a media, variando entre arcillas limosas, limo arenosas y arenas finas con gravas pequeñas.

En la zona de estudio el nivel freático es alto en los meses de enero-marzo, debido a la excesiva recarga proveniente de las lluvias que caen durante estos meses, el aporte del río a la elevación del nivel del lago Titicaca que produce una reducción del flujo superficial y subsuperficial. Existe dificultad de evacuar las aguas hacia el lago principalmente por la escasa diferencia de nivel que existe en los terrenos próximos al río, es crítico el margen derecho en los primeros 5 km del lago al río, donde en promedio el nivel freático tiene una profundidad de 0 m. a 0.25 m (MINAGRI 1988).

A continuación, de acuerdo al Proyecto de Recuperación de Suelos Mejoramiento de Carreteras y Defensas Ribereñas, se presentan las áreas de préstamo y sus principales propiedades, donde el tipo de suelo y la granulometría son los recomendados para la construcción de las islas.

- a) Cantera puente llave.

Geología: Depósitos coluviales y residuales, constituidos por arcillas arenosas con fragmentos de roca caliza.

Clasificación SUCS: CL – GC arcillas gravosas y gravas arcillosas de ligera a media plasticidad ($L_p=15.0$)

Coefficiente de permeabilidad: Inferior a 10^{-6} cm/s una vez compactado al 95% de la máxima densidad del Proctor estándar.

Distancia a las obras: A 17 km de Callata (margen izquierda).

Utilización: Como material impermeable en la construcción de las islas.

Volumen explotable: Superior a 95000 m³ en el año 1988.

b) Cantera Ancasaya-Ocoña.

Geología: Corresponde a depósitos coluvio residuales que están contruidos por suelos finos del tipo arcillo limosas que presentan interacciones con arenas arcillosas.

Clasificación SUCS: CL arcillo limosas con interacciones de SC (arenas arcillosas)

Distancia a las obras: A 11.4 km de Chipana.

Utilización: Aptos para la construcción de terraplenes impermeables.

Volumen explotable: Superior a 40000 m³ en el año 1988.

c) Cantera Sancuta – San Cristobal.

Geología: Los materiales corresponden a depósitos aluvio coluviales, que se ha originado de rocas sedimentarias del tipo areniscas y limolitas, predominando suelos arcillo arenosos y arenas arcillosas.

Clasificación SUCS: CL-SC arcilla limosa y arena arcillosa.

Distancia a las obras: A 50 km de Chipana (margen derecho del rio llave.

Utilización: Uso de terraplenes impermeables.

Volumen explotable: Superior a 100000 m³ en el año 1988.

d) Cantera Yuncuta.

Geología: Suelos coluviales y residuales constituidos por arcillas gravosas.

Clasificación SUCS: CL arcilla arenosas con un 30% de fragmento de rocas calizas mayores a la malla N°4.

Distancia a las obras: a 11 km de Callata.

Utilización: Material de terraplen.

Volumen explotable: Superior a 40000 m³ en el año 1988.

e) Cantera de Agregados -Rio llave.

Geología: Corresponde a pequeños depósitos aluviales del cauce que se localizan en los meandros del rio llave, entre los sectores de Ramos y Aricollo.

Clasificación SUCS: GP – SP suelos granulares de pobre gradación.

Distancia a las obras: a 500m.

Utilización: Se puede utilizar como agregados para la elaboración de concretos y en la protección de las islas, (protección y/o filtros)

Volumen explotable: Superior a 12000 m³ en el año 1988.

f) Canteras de rocas.

Corresponden a los afloramientos de calizas que presentan similares propiedades físicas- mecánicas.

Cantera Chasqui: A 12 km del inicio de las obras, margen derecho del rio llave (Chipanqa). Se puede utilizar para la protección de los taludes de las islas y tienen un volumen de explotación de 150000 m³.

Cantera Yuncuta: tiene un volumen de explotación de 100000 m³.

3.4 EVALUACIÓN DE CAMPO

El 24 de noviembre del 2018 se realizó el viaje al departamento de Puno para la inspección de campo. Se llegó al departamento el día 25 de noviembre, y se solicitó información de los centros poblados a la Municipalidad Provincial del Collao.

Centros poblados para inspección de campo del día 26 de noviembre del 2018:

- Challapujo Suyo
- Jilacatura
- Sullcacatura II
- Sullca. Choq. Corpa Flores
- Rosacani.

Centros poblados para inspección de campo del día 27 de noviembre del 2018:

- Pueblo de Camicachi
- Ccallata Pacunpani.
- Pharata Copani
- Santa Rosa de Huayllata

Para la inspección de las viviendas de los centros poblados de llave se contó con un plano de la localidad, el listado de los centros poblados proporcionado por la municipalidad respectiva, y el formato de las preguntas para la entrevista. Se fotografiaron las municipalidades de algunos centros poblados y de las zonas.

A continuación, se describe el recorrido programado para la inspección de los centros poblados:

- Como punto de inicio se visitó el centro poblado de Challapuyo Suyo, la cual se encuentra a 6km de la ciudad de llave y a una elevación de 3819.10 msnm.
- El segundo punto de visita fue el centro poblado de Jilacatura la cual se encuentra a 9 km de la ciudad de llave ya a una elevación de 3811.02 m.s.n.m.
- Luego se visitó el centro poblado de Sullcacatura II ubicado a 10.60 km de la ciudad de llave y a una elevación de 3812.33 msnm.
- Se visitó el centro poblado de Sullca. Choq. Corpa Flores ubicado a 10.50 km de la ciudad de llave y a una elevación de 3811.10 msnm.
- Se visitó también el centro poblado de Rosacani ubicado a 14.7 km de la ciudad de llave y a una elevación de 3809.57 msnm.
- Luego se visitó el centro poblado de Camicachi ubicado a 9.17 km de la ciudad de llave y a una elevación de 3814.40 msnm.
- Se visitó el centro poblado de Ccallata Pacuncani ubicado a 15.3 km de la ciudad de llave y a una elevación de 3814.65 msnm.
- Se visitó también el centro poblado de Pharata Copani ubicado a 19 km de la ciudad de llave y a una elevación de 3813.06 msnm.
- Por último, la visita fue al centro poblado de Santa Rosa de Huayllata ubicado a 23 km de la ciudad de llave y a una elevación de 3810.67 msnm.

En la Tabla N°9 se muestra las coordenadas y las elevaciones las cuales fueron obtenidas mediante la información del satélite ASTER y fueron calibradas con los BM del Proyecto de Recuperación de Suelos Mejoramiento de Carreteras y Defensas Ribereñas (MINAGRI 1988).

Tabla N°9. Coordenadas y elevación de los centros poblados.

CENTRO POBLADO	NORTE	ESTE	COTA TN
Santa Rosa De Huayllata	8229198	450636	3810.67
Pharata Copani	8228475	447928	3813.06
Ccallata Pacuncani	8227120	445017	3814.65
Sullca. Choq. Corpa Flores	8229823.2	439283.28	3811.1
Jilacatura	8229861.7	436825.8	3811.02
Sullcacatura II	8229908	438101.91	3812.33
Camicachi	8227329	438850.86	3814.4
Challapujo Suyo	8227697.7	434415.76	3819.1
Rosacani	8231799.2	442078.92	3809.57

Fuente: Elaboración propia

3.5 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS

De acuerdo a la entrevista que se realizó a los representantes de cada vivienda se obtuvieron resultados que se muestran en la Tabla N°10.

Tabla N°10. Promedio de las áreas de vivienda y material de construcción por centro poblado.

Centro poblado	N° Viviendas Entrevistadas	p1: Promedio de área de vivienda (m ²)	p2: Material de los muros	p3: Material de los techos	p4: Material de los pisos
Santa Rosa De Huayllata	3	60	(3) Adobe	(3) Calaminas	(3) Tierra
Pharata Copani	3	55	(3) Adobe	(3) Calaminas	(3) Tierra
Ccallata Pacuncani	3	70	(3) Adobe	(3) Calaminas	(3) Tierra
Sullca. Choq. Corpa Flores	3	60	(1) Adobe (2) Ladrillo	(1) Calaminas (2) Paja	(3) Tierra
Jilacatura	3	80	(3) Adobe	(1) Calaminas (2) Paja	(3) Tierra
Sullcacatura II	3	100	(3) Adobe	(1) Calaminas (2) Paja	(3) Tierra
Camicachi	3	120	(3) Adobe	(3) Calaminas	(3) Falso Piso
Challapujo Suyo	3	85	(1) Adobe (2) Ladrillo	(3) Calaminas	(3) Falso Piso
Rosacani	3	90	(3) Adobe	(3) Calaminas	(3) Falso Piso

Fuente: Elaboración propia en base a entrevista.

De la Tabla N° 10 se observa que el material de los muros de las viviendas en su mayoría es de adobe, y construidos artesanalmente por lo que durante una inundación muchas veces se disgrega con el agua provocando rajaduras y/o colapsos de la vivienda. El material de los techos de las viviendas en la zona visitada es mayormente de calamina, lo cual por sí solo no cumplen una función termoaislante. Respecto al material de los pisos de las viviendas visitadas, generalmente son de tierra, lo cual durante la inundación y/o incremento del nivel freático no cumplen adecuadamente la función termoaislante, provocando que la vivienda se encuentre en constante humedad e impidiendo que el interior de la vivienda sea cálido.

Tabla N° 11. Promedio de las áreas de cultivo y corral de animales por centro poblado.

CENTRO POBLADO	P6: ÁREA DE CULTIVO (Ha)	P7: ÁREA DE CORRAL (m ²)
Santa Rosa De Huayllata	2	80
Pharata Copani	1.5	100
Ccallata Pacuncani	2	70
Sullca. Choq. Corpa Flores	3	75
Jilacatura	2.5	80
Sullcacatura II	2	65
Camicachi	4	60
Challapujo Suyo	1.5	80
Rosacani	3	70

Fuente: Elaboración propia en base a entrevista.

Según la inspección de campo se ha logrado identificar los centros poblados que se ha visto afectados por la última inundación ocurrida en el año 1987 y 2001, las cuales son: Santa Rosa de Huayllata, Roscani, Jilacatura, Sullcaca. Choq. Corpa Fores y sullcacatura II.

De acuerdo a la Tabla N° 11, se muestra el promedio de las hectáreas de cultivo por cada centro poblado que se visitó. Estas áreas de cultivo son dañadas gravemente por la inundación y el friaje provocando pérdidas en los cultivos lo cual causa un significativo daño en la economía del poblador. De la misma manera durante la inundación los animales son afectados y muchos de ellos quedan atrapados y al no tener zonas altas donde refugiarse y descansar perecen por el frío. Por tal motivo se ha visto importante tomar en cuenta esta problemática en el presente trabajo de investigación para lograr una solución integral, la cual tenga

como objetivo principal mitigar los efectos de la inundación y el friaje de esta zona del altiplano.

Los principales cultivos que comprenden la actividad agrícola de los pobladores son: la papa, cebada (grano o forrajera), avena (grano y forrajera), habas grano, quinua, cañihua, trigo, alverjas, mashua, olluco, oca, alfalfa, pastos cultivados y hortalizas (cebolla, zanahorias y otras) (Flores 2015).

Respecto a la actividad ganadera según la entrevista se obtuvo que, en promedio por cada familia, se cría de 10 a 15 animales como es en su minoría ganado vacuno, ovino, porcino y en su mayoría llamas y gallinas.

3.6 ESTUDIO HIDROLÓGICO.

En el presente estudio hidrológico de la cuenca del río llave se empleó como base datos obtenidos en estudios anteriores MINAGRI 1988 y MINAGRI 2009 se ha realizado las distribuciones estadísticas (Normal, Log Normal II, Gumbel, Pearson tipo III y Log Pearson III), para obtener el caudal del río llave y nivel de agua del lago Titicaca considerando un periodo de retorno de diseño.

3.6.1 Cuenca del Río llave.

El sistema de la cuenca del río llave se compone básicamente de los río Huenque y aguas calientes. Esta cuenca está caracterizada como un sistema de cuenca endorreica, ya que desemboca en el lago Titicaca (MINAGRI 2009).

Tomando en consideración el Estudio Hidrológico se presentan las características fisiográficas principales del río llave:

- Perímetro de la cuenca : 631.97 km.
- Cota mínima de la cuenca : 3805.00 msnm.
- Cota máxima de la cuenca : 5400.00 msnm.
- Altitud media de la cuenca : 4309.31 msnm.
- Pendiente media de la cuenca : 0.0055 m/m.
- Cota máxima del cauce principal : 4640.00 msnm.
- Cota mínima del cauce principal : 3805.00 msnm.
- Altitud media del cauce principal : 4222.50 msnm.
- Pendiente media del cauce principal : 0.0040 m/m.

Parámetros geomorfológicos de la cuenca de llave:

- La superficie total es de 7832.53 km².
- El perímetro de la cuenca del río llave es de 631.97 Km.
- La longitud del río principal de la cuenca del río llave es de 211.00 Km.
- Ancho promedio de la cuenca (A_p) del río llave es:

$$A_p = \frac{7\,832.53\text{ Km}^2}{211\text{ Km}}$$

$$A_p = 37.12\text{ Km}$$

- El coeficiente de compacidad de la cuenca del río llave es de 2.01, este valor es más cercano a 2 que a 1, indica que la cuenca es de forma alargada debiéndose estar menos expuesta a las crecientes que una cuenca de forma redondeada.
- Como se indicó anteriormente la información básica utilizada para el análisis probabilístico de serie de caudales máximos instantáneos (extremos u extraordinarios) del río llave comprende el periodo 1960 – 2007. Esta información proviene de una selección de los caudales máximos diarios respectivos a cada año de los registros históricos-aforados en la estación de aforo Puente llave.
- De acuerdo a esta información para el río llave el caudal máximo histórico registrado es de 1307.1m³/seg en el año 2001, y el mínimo es de 51.0 m³/seg en el año 1998 (MINAGRI 2009).

3.6.2 Tiempo de retorno de diseño.

Según el (MTC 2011).

Se le denomina periodo de retorno al tiempo en promedio, en años, en que el valor del caudal pico de una avenida determinada es superada o igualada una vez cada T años.

Para el cálculo del periodo de retorno se definió la vida útil de las islas y el riesgo de la falla admisible.

$$R = 1 - \left[1 - \frac{1}{T} \right]^n$$

Donde:

n : Es la vida útil.

T o Tr : Es el periodo de retorno.

R : Es el riesgo admisible.

La vida útil se consideró como si fuera una defensa ribereña la cual resulta $n=40$ años. Y el riesgo admisible se obtuvo de la Figura N°2, donde se indicó un riesgo admisible de 35% para el tipo de obra de alcantarillas de paso, quebradas menores y descargas de agua de cunetas. Para el presente estudio este riesgo también fue considerado para la construcción de terraplenes.

TIPO DE OBRA	RIESGO ADMISIBLE (**) (%)
Puentes (*)	25
Alcantarillas de paso de quebradas importantes y badenes	30
Alcantarillas de paso quebradas menores y descarga de agua de cunetas	35
Drenaje de la plataforma (a nivel longitudinal)	40
Subdrenes	40
Defensas Ribereñas	25

(*) - Para obtención de la luz y nivel de aguas máximas extraordinarias.
- Se recomienda un periodo de retorno T de 500 años para el cálculo de socavación.

(**) - Vida Útil considerado (n)

- Puentes y Defensas Ribereñas $n= 40$ años.
- Alcantarillas de quebradas importantes $n= 25$ años.
- Alcantarillas de quebradas menores $n= 15$ años.
- Drenaje de plataforma y Sub-drenes $n= 15$ años.

- Se tendrá en cuenta, la importancia y la vida útil de la obra a diseñarse.
- El Propietario de una Obra es el que define el riesgo admisible de falla y la vida útil de las obras.

Figura N°2. Valores máximos recomendados de riesgo admisible de obras de drenaje
Fuente: Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2011.

Por lo tanto, aplicando la fórmula para el periodo de retorno, se obtuvo:

$$Tr = \frac{1}{1 - (35 - 1)^{1/40}} = 93.36$$

$$Tr = 93.36 \text{ años}$$

Dado el resultado anterior se consideró un periodo de retorno $Tr=100$, un riesgo admisible de 33.10% y una vida útil de 40 años. Este periodo retorno fue empleado

para el análisis hidrológico y el diseño hidráulico de la alternativa de solución que se desarrolla en los capítulos 3.6 y 3.7.

3.6.3 Estimación de Caudales para un evento extremo.

Según los datos recopilados de MINAGRI (2009), se realizó el modelamiento hidrológico para los caudales, y para los niveles de agua se empleó los datos recopilados de MINAGRI (1988), considerando las condiciones extremas para realizar una comparación de resultados con los caudales y niveles de los estudios posteriores, con el objetivo de elegir la información más representativa que servía para realizar el diseño de nuestra alternativa de solución.

Para la estimación de los caudales se consideró usar los datos de aforo de la estación Puente llave (usando los caudales instantáneos en 24 horas), esta información fue obtenida de MINAGRI (2009) y para mayores detalles lo podemos apreciar en la Tabla N°12 y la Figura N°3.

Los caudales instantáneos fueron obtenidos mediante el Método de Fuller, el cual se encuentra en función del área de la cuenca, y esta información es la que sirve para el análisis de máximas avenidas (MINANGRI 2009).

Formula Fuller:
$$Q_{int} = Q_{m\acute{a}x} \left(1 + \frac{2.66}{A^{0.33}} \right)$$

Dónde: Q_{int} : Caudal máx instantáneo (m³/s)

$Q_{m\acute{a}x}$: Caudal máximo medio diario (m³/s)

A : Área de la cuenca de interés (km²)

El área de la cuenca del río llave es 7771.50 km², por lo tanto, se obtiene un factor de 1.2 aproximadamente y la ecuación quedaría de la siguiente forma.

$$Q_{int} = 1.2Q_{m\acute{a}x}$$

Tabla N°12. Datos usados de caudales máximos diarios e instantáneos de la estación de aforo Puente llave-rio llave.

Año	Q _{INS} (m ³ /s)
1960	333.60
1961	201.19
1962	614.40
1963	934.80
1964	221.52
1965	82.80
1966	70.56
1967	496.56
1968	354.00
1969	357.60
1970	409.20
1971	570.00
1972	393.60
1973	592.32
1974	879.12
1975	830.88
1976	752.35
1977	390.12
1978	530.27
1979	273.23
1980	613.04
1981	544.00
1982	771.42
1983	52.74
1984	882.72
1985	465.48
1986	1088.40
1987	685.20
1988	426.06
1989	224.52
1990	60.60
1991	194.28
1992	82.92
1993	109.08
1994	440.52
1995	104.52
1996	150.72
1997	379.20
1998	51.00
1999	143.92
2000	193.44
2001	1307.20
2002	354.96
2003	150.72
2004	466.80
2005	359.88
2006	550.44
2007	183.72

Fuente: Elaboración propia/MINANGRI (2009).

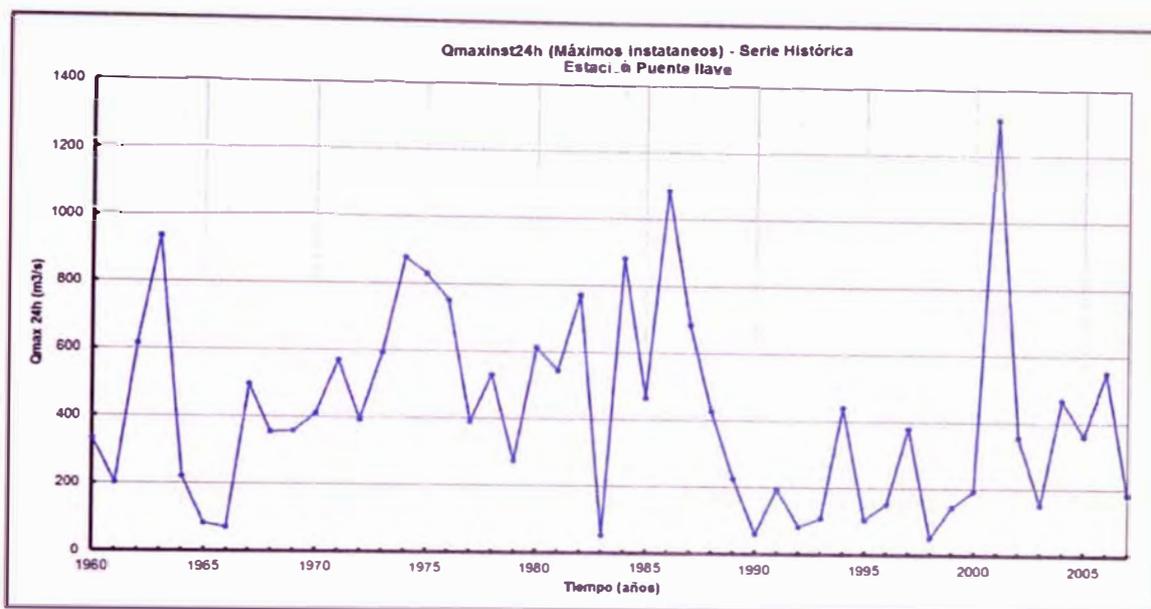


Figura N°3. Serie histórica de los datos completados de la Estación Hidrométrica Puente llave.
Fuente: Elaboración propia/ MINAGRI (2009).

Según la Figura N°3 se muestra la serie histórica de datos de la estación de aforo del Puente llave, a partir del año 1960 hasta el 2007, y se observa el caudal máximo instantáneo en 24 horas para el año 2001 con un $Q=1307.20\text{m}^3/\text{s}$. Para mayor detalle del análisis estadístico ver el Anexo A: Hidrología – Análisis estadístico del caudal del río llave.

Tabla N°13. Prueba Smirnov - Kolmogorov.

Funcion Probabilística	Prueba: Smirnov-Kolmogorov			
	Dc	Dt	¿ Se ajusta ?	Orden Ajuste
Normal	0.097	0.192	SI	3
Log Normal II	0.145	0.192	SI	4
Gumbel (EVI)	0.084	0.192	SI	2
Pearson III	0.075	0.192	SI	1
Log Pearson III	0.175	0.192	SI	5

Fuente: Elaboración propia.

En la prueba de Smirnov – Kolmogorov se eligió la función probabilística que mayor se ajustó a la realidad resultando ser la función Pearson III y la función Gumbel (EVI). Se eligió trabajar con la función probabilística Pearson III dado que presenta una mejor distribución (Ver Tabla N°13 y Figura N°4).

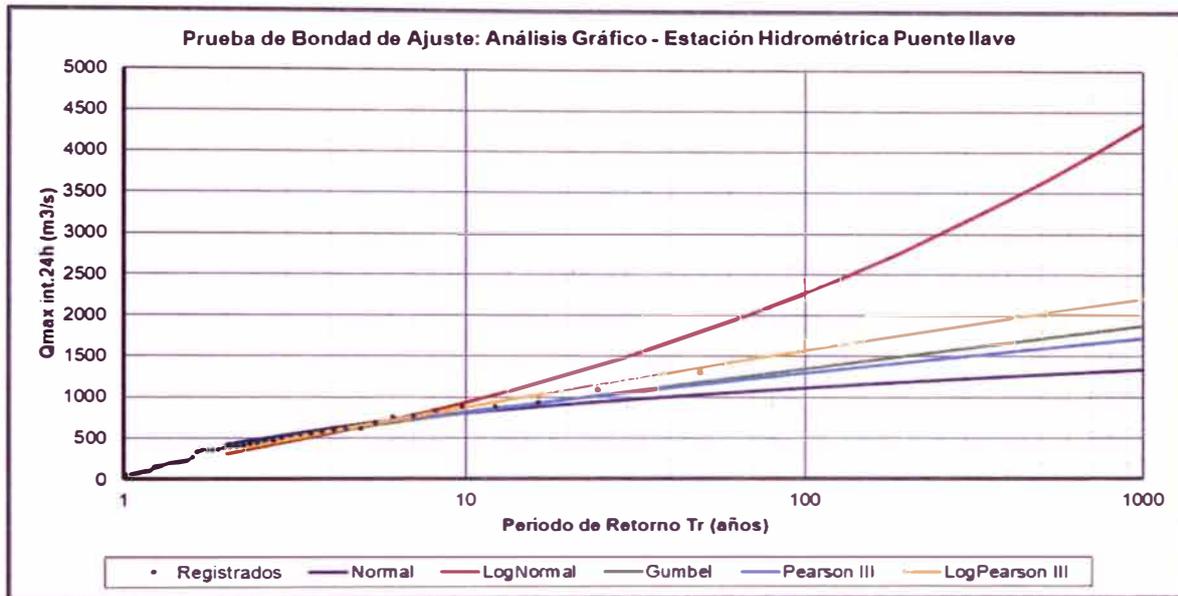


Figura N°4. Prueba de bondad de ajuste: Análisis gráfico.
Fuente: Elaboración propia/ MINANGRI (2009).

Tabla N°14. Caudales de diseño para diferentes periodos de retorno.

Tr años	Q _{INSTANTANEO} (m ³ /s)
	Pearson III
2	380.50
5	649.17
10	816.60
20	969.79
25	1017.04
50	1159.16
100	1295.80
150	1373.80
175	1403.14
200	1428.42
500	1599.12
1000	1725.57

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla N°14 se presenta los caudales para diferentes periodos de retorno según la distribución Pearson III. Para un periodo de retorno de $Tr=100$ años

resultó un caudal de 1295.80 m³/s, para mayor detalle ver el Anexo A: Análisis Estadístico del Rio llave.

3.6.4 Estimación de Niveles para un evento extremo.

Para la estimación de los niveles se consideró usar los datos del lago Titicaca, esta información fue obtenida del MINAGRI (1988). Para mayores detalles lo podemos apreciar en la Figura N°5 y Tabla N°15.

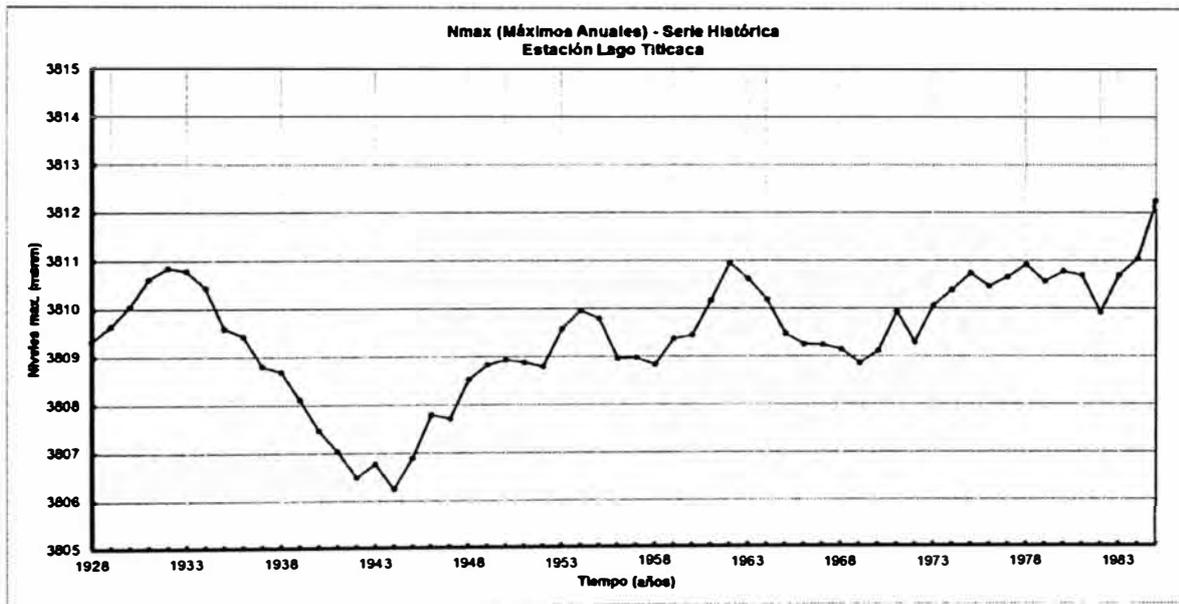


Figura N°5. Serie histórica de datos de la estación Hidrométrica Desaguadero (1928-1985).
 Fuente: Elaboración propia / MINANGRI 1988.

Según la Figura N°5 se muestra la serie histórica de datos de la estación Hidrométrica Desaguadero, a partir del año 1928 hasta 1985, y se observa el nivel máximo anual para el año 1985 con un N=3812.25 m.s.n.m.

Tabla N°15. Datos usados para el análisis estadístico de Niveles de diseño.

Año	Nmax anual (m.s.n.m.)
1928	3809
1929	3810
1930	3810
1931	3811
1932	3811
1933	3811
1934	3810
1935	3810
1936	3809
1937	3809
1938	3809
1939	3808
1940	3807
1941	3807
1942	3807
1943	3807
1944	3806
1945	3807
1946	3808
1947	3808
1948	3809
1949	3809
1950	3809
1951	3809
1952	3809
1953	3810
1954	3810
1955	3810
1956	3809
1957	3809
1958	3809
1959	3809
1960	3809
1961	3810
1962	3811
1963	3811
1964	3810
1965	3809
1966	3809
1967	3809
1968	3809
1969	3809
1970	3809
1971	3810
1972	3809
1973	3810
1974	3810
1975	3811
1976	3810
1977	3811
1978	3811
1979	3811
1980	3811
1981	3811
1982	3810
1983	3811
1984	3811
1985	3812

Fuente: Elaboración propia / MINANGRI 1988

Tabla N° 16. Prueba Smirnov - Kolgomorov.

Función Probabilística	Prueba: Smirnov-Kolgomorov			
	Dc	Dt	¿Se ajusta?	Orden Ajuste
Normal	0.105	0.179	SI	1
Log Normal II	0.105	0.179	SI	2
Gumbel (EVI)	0.140	0.179	SI	5
Pearson III	0.128	0.179	SI	4
Log Pearson III	0.124	0.179	SI	3

Fuente: Elaboración propia.

En la prueba de Smirnov – Kolgomorov se eligió la función probabilística que mayor se ajusta a la realidad resultando la función Normal o la función Log Normal II. Se eligió trabajar con la función probabilística Normal dado que presentó igual delta teórico (Ver Tabla N° 16).

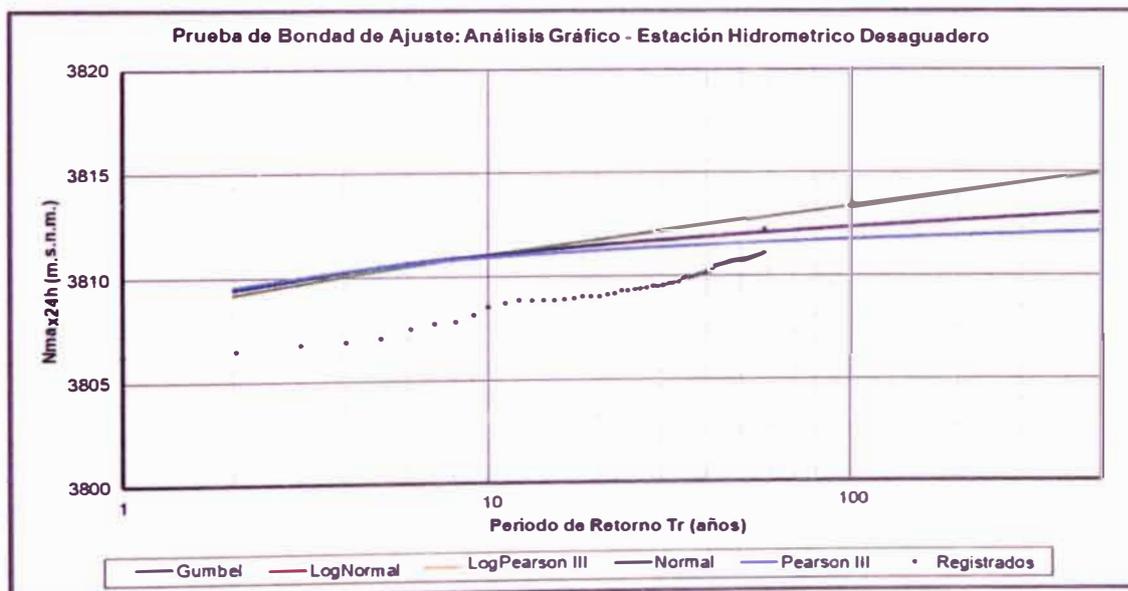


Figura N°6. Prueba de Bondad de Ajuste: Estación Hidrométrica Desaguadero (1928-1985).
Fuente: Elaboración propia.

En La Figura N°6 se representa las diferentes distribuciones estadísticas empleadas según la Tabla N°16 donde se observa que la distribución Normal presentó un mayor ajuste con los datos.

Tabla N°17. Niveles de diseño para diferentes periodos de retorno.

Tr años	Nmax (m.s.n.m.)
	Normal
2	3809.43
5	3810.49
10	3811.05
20	3811.51
25	3811.64
50	3812.02
100	3812.37
150	3812.55
175	3812.62
200	3812.68
500	3813.06
1000	3813.33

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla N°17 se presenta los Niveles de agua del Lago Titicaca para diferentes periodos de retorno según la distribución Normal. Para un periodo de retorno de $Tr=100$ años resultó un Nivel máximo de agua de 3812.37 m.s.n.m. Para mayor detalle ver Anexo B: Hidrología Análisis Estadístico Del Lago Titicaca.

En el Anexo C: Panel Fotográfico, se puede apreciar las huellas de agua que dejó las inundaciones pasadas, estas huellas de agua nos ayudaron a identificar la magnitud que tenían estas inundaciones el cual se puede medir considerando la lejanía que tiene del eje del río y la altura de agua que llegó a este lugar, con estos factores se pudo calibrar los modelos numéricos y obtener un resultado más cercano a realidad, el cual veremos en el Capítulo 3.7.

3.7 ESTUDIO HIDRÁULICO.

Para el presente estudio hidráulico se simuló la inundación para un periodo de retorno de 100 años por lo cual se identificó las zonas inundables, y el nivel de agua máximo que llega en estos lugares.

Para realizar lo antes mencionado se modeló la información topográfica con el programa HEC-RAS2D.

Para el diseño de la isla, fue necesario estimar determinadas características hidráulicas de las llanuras propensas a la inundación, y que hayan sido afectadas por alguna antigua avenida. Estos datos fueron extraídos principalmente de la visita de campo.

3.7.1 Coeficiente de Rugosidad de Manning.

El coeficiente de rugosidad de Manning (n) es un factor influyente en la estimación del nivel de agua y en la velocidad que el flujo presenta. Un alto coeficiente de Manning involucra una sobreestimación del nivel del agua; pero una disminución de la velocidad media, y por el contrario un bajo coeficiente de Manning involucra un bajo nivel de agua; pero altas velocidades.

Las estimaciones de los coeficientes de rugosidad de Manning para el cauce principal y riberas, se realizaron teniendo en cuenta la tabla proporcionada por (Chow,1994). Las tablas y estimaciones se muestran en el Anexo D: Hidráulica. El resumen de valores obtenidos del coeficiente de rugosidad de Manning se muestra en el Tabla N° 18.

Tabla N°18. Coeficiente de Rugosidad de Manning para el tramo de estudio.

Inmediaciones del RIO:	Coeficiente de Rugosidad de Manning		
	Llanura Izquierda	Cauce Principal	Llanura Derecha
llave	0.035	0.035	0.035

Fuente: Elaboración Propia.

3.7.2 Pendiente media del cauce.

Para el cálculo de la pendiente del cauce en la desembocadura del río llave al lago Titicaca se consideró la pendiente estudiada por la información MINAGRI (2009). Dicha pendiente se muestra en Tabla N°19.

Tabla N°19. Pendiente media del curso de agua en el tramo de estudio.

Ubicación	Río	S(m/m)	
		Aguas Arriba	Aguas Abajo
Puno	llave	0.0004	0.0001

Fuente: Elaboración Propia/MINANGRI 2009.

3.7.3 Rastro de Antigua Avenida.

De la inspección de campo se pudo encontrar algunos rastros de agua de una antigua avenida en las paredes de las viviendas, por lo cual se consultó a los pobladores entrevistados sobre la altura de la pared a la que había llegado el agua. A continuación, se presenta una tabla con las respuestas y con sus respectivas afectaciones según el nivel del riesgo. Ver Tabla N°20 y N°21.

Tabla N°20. Niveles de agua evaluadas en campo con sus niveles de peligrosidad.

CENTRO POBLADO	ALTURA DEL NIVEL DE AGUA EN LAS INUNDACIONES (m)	ELEVACIÓN DEL NIVEL DE AGUA EN LAS INUNDACIONES (m)	ELEVACIÓN DEL NIVEL DE TERENO (m)
SANTA ROSA DE HUAYLLATA	1.50	3812.17	3810.67
PHARATA COPANI	0.00	3813.06	3813.06
GCALLATA PACUNCANI	0.00	3814.65	3814.65
SULLCA. CHOQ. CORPA FLORES	1.20	3812.30	3811.1
JILACATURA	1.00	3812.02	3811.02
SULLCACATURA II	0.50	3812.83	3812.33
CAMICACHI	0.00	3814.40	3814.4
CHALLAPUJO SUYO	0.00	3819.10	3819.1
ROSACANI	2.00	3811.57	3809.57

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N°21. Niveles de peligrosidad.

0 m	SIN AFECTACIÓN
(0-0.5) m	CON LIGERA AFECTACIÓN
(0.5-1.5) m	CON AFECTACIÓN MODERADA
(1.5-3)m	CON AFECTACIÓN SEVERA

Fuente: Elaboración Propia

3.8 MODELAMIENTO EN CONDICIONES ACTUALES CON LA APLICACIÓN DEL PROGRAMA HEC-RAS2D.

3.8.1 Aplicación del Programa HEC-RAS2D.

El programa HEC-RAS2D cuenta con una extensión que permite simular el flujo del agua combinando modelos 1D/2D, así como totalmente en 2D. La base de esta ecuación radica en las ecuaciones de Onda Difusa y Sant Venant las cuales se resuelven mediante el algoritmo de volúmenes Finitos Implícitos. Incorpora la

ventana de interface RAS Mapper en la cual el usuario integra el modelo digital del terreno, como paso inicial para la modelización del flujo. El programa tiene su aplicación en los canales prismáticos y sobre la llanura de inundación (Lluén, 2015).

3.8.2 Metodología del programa HEC-RAS2D.

1. Para el modelamiento del programa se debe tener un DEM (Digital Elevation Model) del lugar que se desea modelar, preferentemente que el área este levantado con estación total, y que el levantamiento sea con un vehículo aéreo no tripulado (Dron) o imágenes satelitales de alta precisión, previamente georreferenciadas y guardada en formato Tif.
2. Se creó una carpeta donde se guardó todos los resultados del modelamiento del programa HEC-RAS2D, se estableció las unidades a trabajar y se accedió a la herramienta del Ras Mapper y se importó el DEM.
3. Luego fue añadida una nueva geometría para crear la malla de análisis de (12x12) en el icono 2D Flow Áreas en la que se ingresó el eje del río, las condiciones aguas arriba y aguas abajo, la región del cauce con el Manning correspondiente a $n=0.035$, las llanuras con un Manning de $n=0.035$ y posteriormente se procedió al guardado de la geometría.
4. Se prosiguió al ingreso de los datos de diseño del flujo en Unsteady Flow Data – Simulación, para lo cual se colocó las pendientes aguas arriba ($s=0.0004$), aguas abajo (0.0001) y el hidrograma de diseño (para este hidrograma se ha considerado la presencia del caudal de diseño $Q=1295.80\text{m}^3/\text{s}$, con duración de un día y luego se construyó la campana de Gaus). Ver Figura N°7.

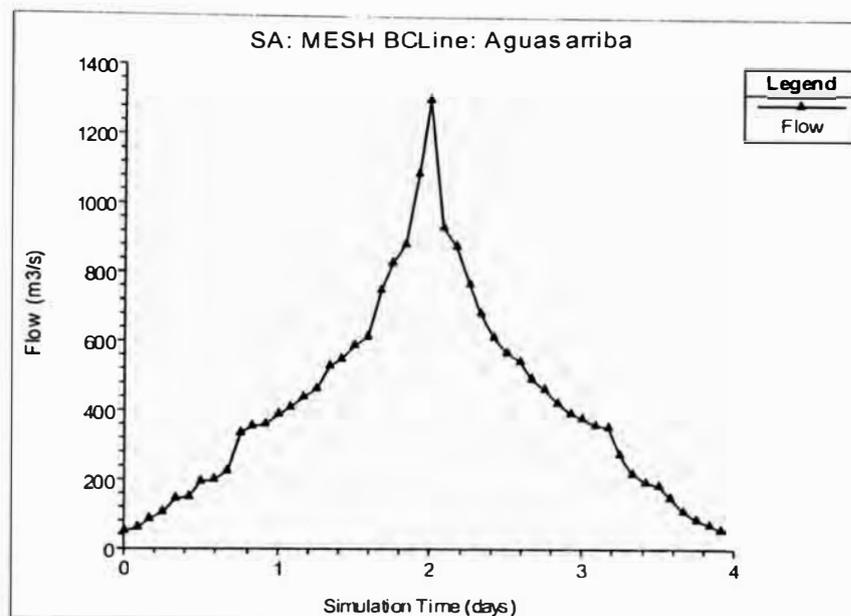


Figura N°7. Hidrograma de diseño.
Fuente: Elaboración Propia / HEC-RAS2D

5. Como quinto paso se recurrió a la herramienta de análisis en el icono de Unsteady Flow Analysis, donde se ingresó el tiempo de simulación (se eligió el tiempo de simulación inicial: 01 NOV 2018 00:00, y como tiempo de simulación final: 04 NOV 2018 22:00). Para que el tiempo del intervalo computacional funcione adecuadamente con la malla, se empleó la metodología de Courant. Esta metodología indica que el producto del paso del tiempo computacional y la velocidad del flujo, dividido por el tamaño promedio de las celdas (mallas), daría como resultado el número de Courant, En la presente investigación se consideró un tiempo computacional de $C=1$, $\Delta X=12\text{m}$ y $V=2\text{m/s}$, dando como resultado (Ver Figura N°8):

$$C = \frac{V * \Delta T}{\Delta X} \leq 1.0$$

$$\Delta T = 6 \text{ seg.}$$

Donde:

- C = Número de Courant
V = Velocidad del Flujo
 ΔT = Paso del tiempo computacional
 ΔX = Promedio de tamaño de celda

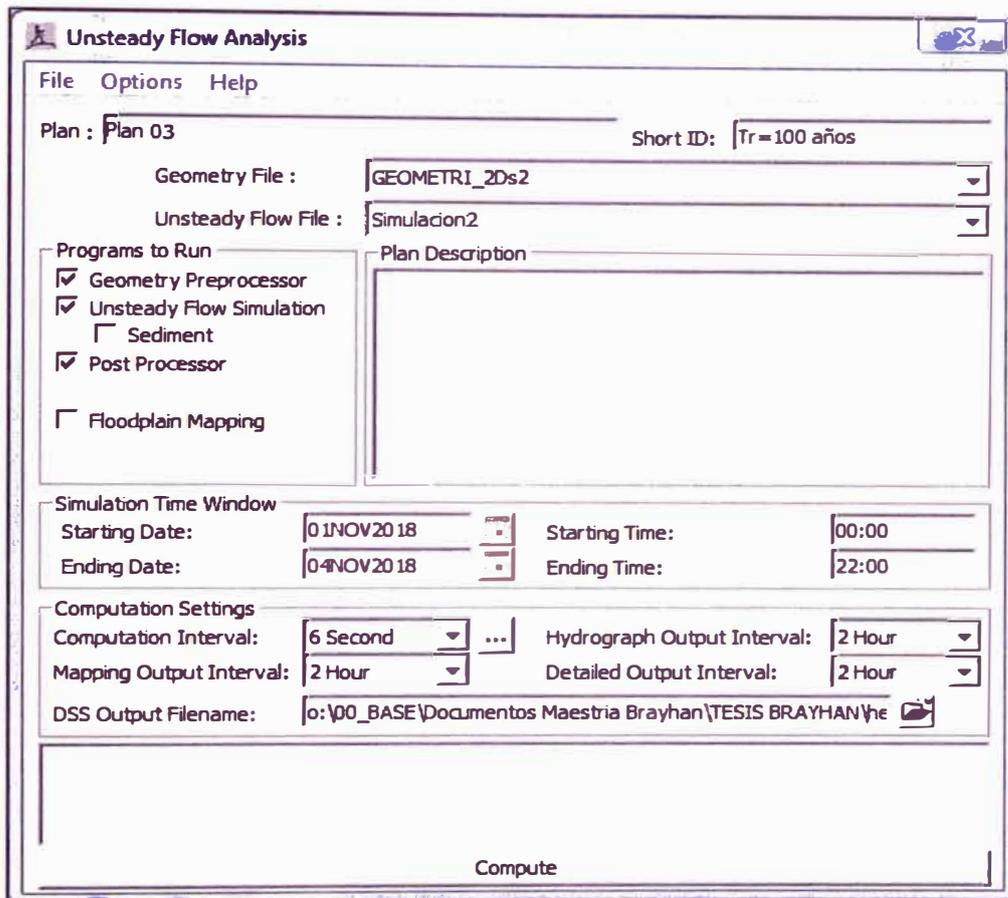


Figura N°8. Imagen de los tiempos de simulación.
Fuente: Elaboración Propia / HEC-RAS2D

6. Como último lugar se revisó en el espacio del Ras Mapper los resultados del análisis y se interpretó para el buen diseño de la estructura a construir.

Para la estimación de la huella de agua se consideró 2 casos, el primero es la influencia del lago Titicaca al incrementar su nivel de agua, y con un periodo de retorno de 100 años donde el nivel es de 3812.37m.s.n.m. El segundo caso es la influencia de la huella de inundación del río llave que ocasiona al procesar en el programa un caudal de 1295.80m³/s con un periodo de retorno de 100 años.

3.8.3 Huella de inundación influenciada por el lago Titicaca.

Se presenta la huella de inundación influenciada por el lago Titicaca (Ver Figura N°9, N°10 y Tabla N°22, N°23).

En la Figura N°11 se muestra una imagen satelital de la desembocadura del río llave en el lago Titicaca.



Figura N°9. Imagen satelital del tramo a simular.
Fuente: Elaboración propia / HEC-RAS2D.



Figura N°10. Huella de inundación ocurrida por el incremento del nivel del agua del lago Titicaca.
Fuente: Elaboración propia / HEC-RAS2D.

En la Figura N°10 se muestra la interfaz de trabajo del programa HEC-RAS2D con la topografía ingresada de la zona de estudio. En esta imagen se puede apreciar

los niveles de la zona de estudio por rango de colores, donde el azul indica zonas bajas y marrón indica zonas altas.

Tabla N°22. Niveles de afectación ocurrida por el incremento del nivel del agua del lago Titicaca.

CENTRO POBLADO	ALTURA DEL NIVEL DE AGUA EN LAS INUNDACIONES (m)	ELEVACIÓN DEL NIVEL DE AGUA EN LAS INUNDACIONES (m)	ELEVACIÓN DEL NIVEL DE TERENO (m)
SANTA ROSA DE HUAYLLATA	1.70	3812.37	3810.67
PHARATA CORANI	0.00	3812.37	3813.06
GCALLATA PACUNCANI	0.00	3812.37	3814.65
SULLCA. CHOQ. CORPA FLORES	1.27	3812.37	3811.1
JILACATURA	1.35	3812.37	3811.02
SULLCACATURA II	0.04	3812.37	3812.33
CAMICACHI	0.00	3812.37	3814.4
CHALLAPUJO SUYO	0.00	3812.37	3819.1
ROSACANI	2.80	3812.37	3809.57

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°23. Niveles de peligrosidad:

0	SIN AFECTACIÓN
(0-0.5) m	CON LIGERA AFECTACIÓN
(0.5-1.5) m	CON AFECTACIÓN MODERADA
(1.5-3) m	CON AFECTACIÓN SEVERA

Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla N°22 se observa los niveles de afectación de los centros poblados por medio de colores según el nivel de peligrosidad que presenta debido al incremento del agua del lago Titicaca. También en esta tabla se puede apreciar los niveles de elevación del terreno de los centros poblados, y la altura del agua que llegaría en estas zonas. En la Tabla N°23 se puede apreciar los niveles de peligrosidad según la altura del agua que llega a cada centro poblado como por ejemplo el color verde significa que no sufre afectación, mientras que el color rojo representa una afectación severa, donde la altura del agua llega entre dos y tres metros sobre el nivel de terreno.

3.8.4 Huella de inundación influenciada por el río llave.

Se presenta la huella de inundación influenciada por el río llave (Ver Figura N°11, N°12 y Tabla N°24, N°25). En la Figura N°11 se puede apreciar que el enmallado que se usó para el modelamiento, que corresponde a una malla de 12x12 tanto en el cauce del río como en la llanura de la inundación.

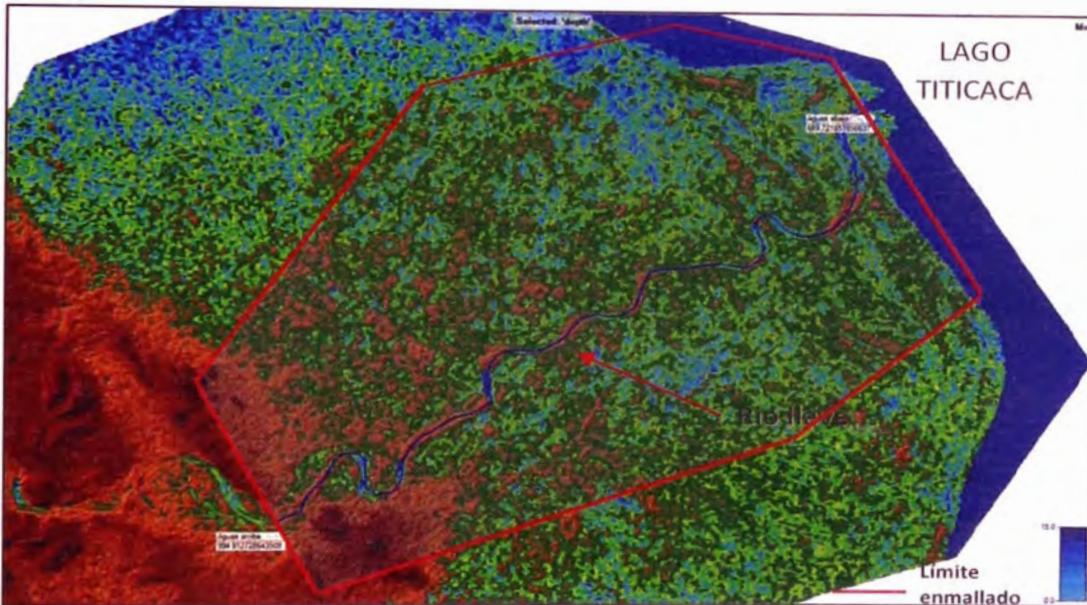


Figura N°11. Imagen del enmallado para el análisis del río llave.
Fuente: Elaboración propia- Ver Anexo D / HEC-RAS2D

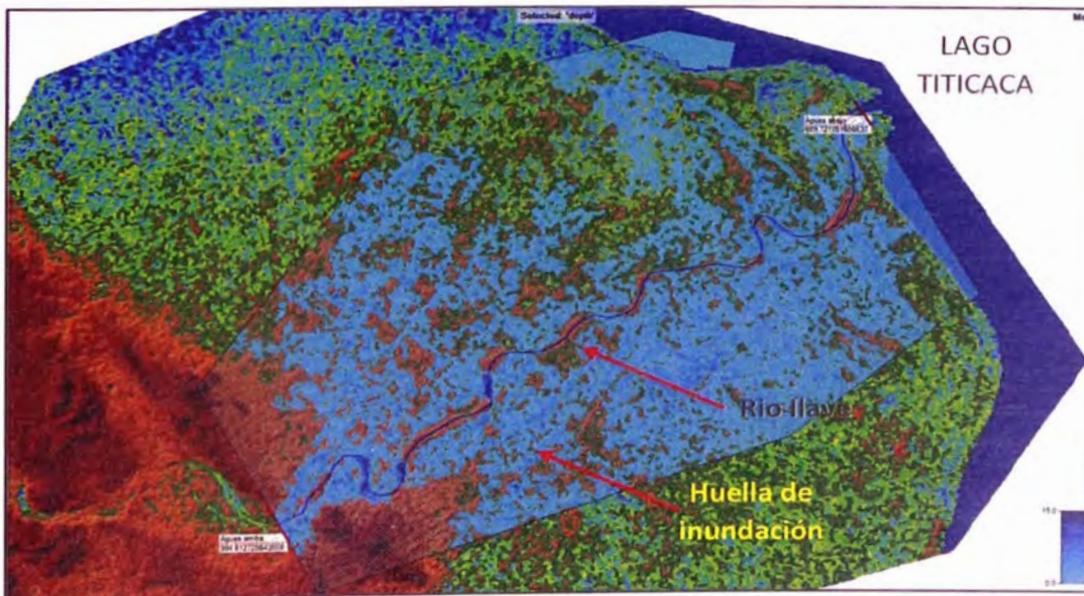


Figura N°12. Imagen con el análisis del río llave para un periodo de retorno de 100 años
Fuente: Elaboración propia – Ver Anexo D/ HEC-RAS2D

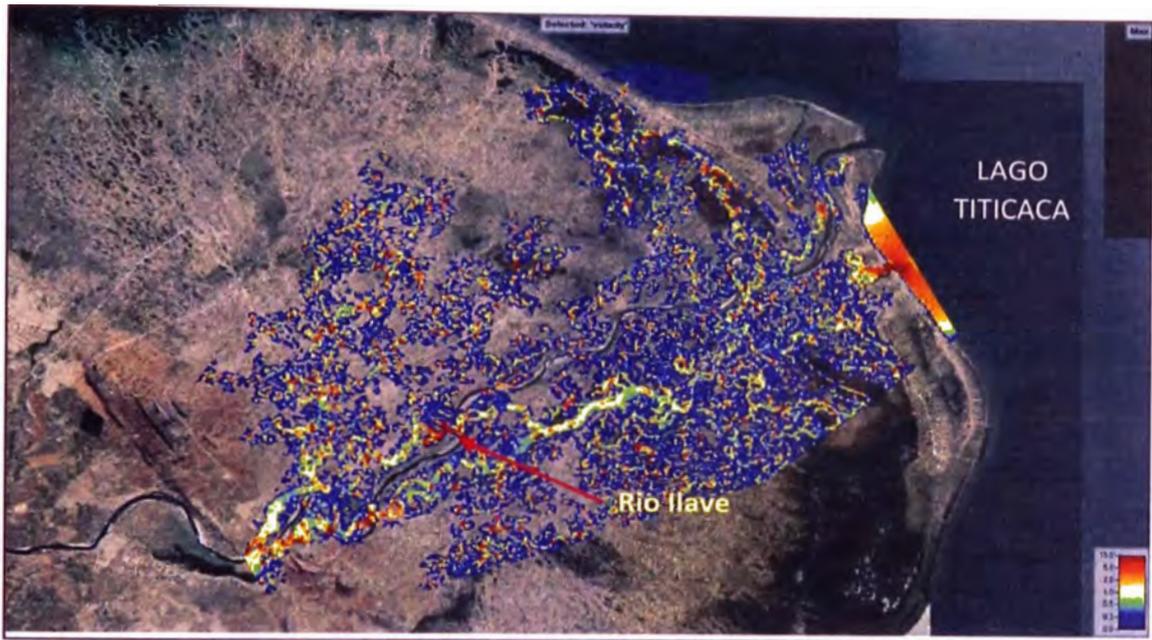


Figura N°13. Imagen de velocidades máximas de la inundación.
Fuente: Elaboración propia – Ver Anexo D / HEC-RAS2D

En la Figura N°12 se muestra la huella de inundación para un caudal de $Q=1295.80\text{m}^3/\text{s}$, que fue modelada con el hidrograma que se encuentra en la Figura N°7 y se observa el grado de afectación de la inundación en la zona de estudio. En la Figura N°13 se observa la distribución de velocidades del agua según la escala de colores mostrada en la figura.



Figura N°14. Imagen satelital con el análisis del río Ilave para un periodo de retorno de 100 años
Fuente: Elaboración propia – Ver Anexo D / HEC-RAS2D

En la Figura N° 14 se muestra la distribución de la huella de inundación sobre una imagen satelital de la zona de estudio, donde se representa el grado de afectación en los centros poblados cercanos. También se puede apreciar la profundidad del agua según la escala de colores mostrada en la figura.

3.8.5 Estimación de la huella de agua.

En las Figuras N° 15, N° 16 y N° 17 se aprecia la altura de agua promedio en los centros poblados mencionados:

Santa Rosa de Huayllata	: 3.00 m
Pharata Ccopani	: 2.50 m
Ccallata Pacuncani	: 2.00 m

Estos valores fueron empleados para el diseño de las islas en cada centro poblado. Y también el efecto de incremento del nivel del agua del lago Titicaca se sumó a este nivel calculado según los datos del estudio hidrológico en el Capítulo 3.6.

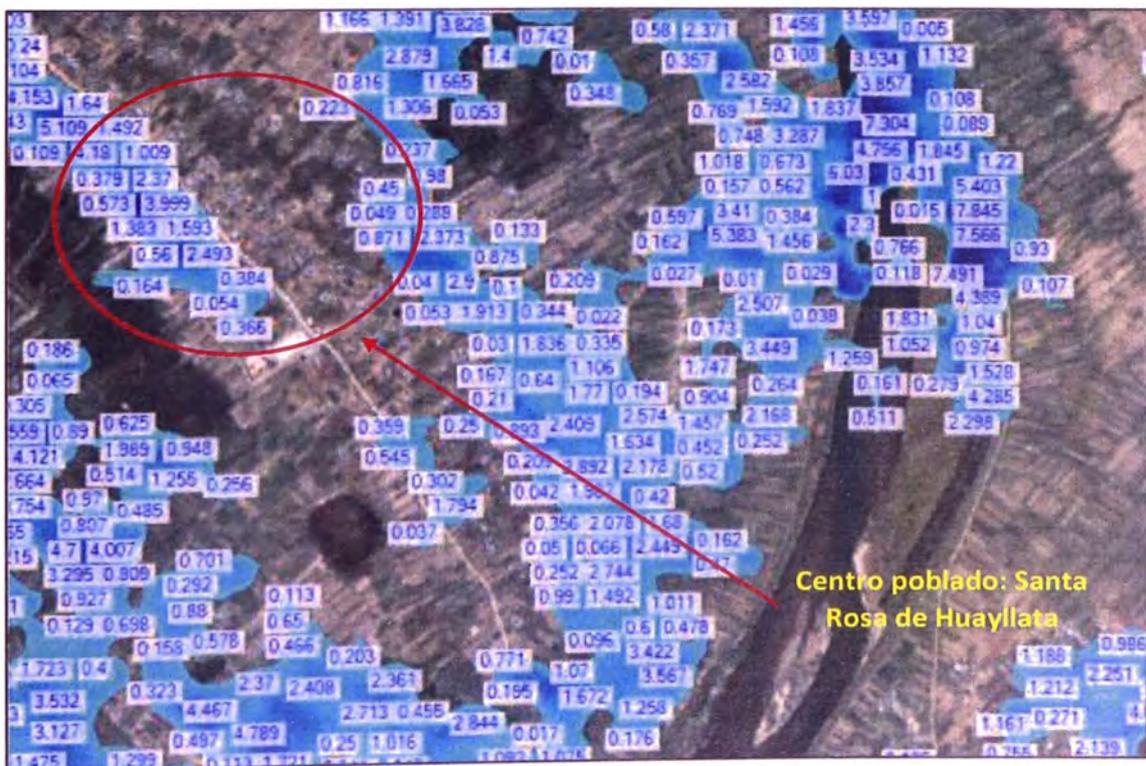


Figura N° 15. Imagen satelital del centro poblado de Santa Rosa de Huayllata con el tirante de agua frente a una inundación para un periodo de retorno de 100 años.
Fuente: Elaboración Propia / HEC-RAS2D



Figura N°16. Imagen satelital del centro poblado de Pharata Copani con el tirante de agua frente a una inundación para un periodo de retorno de 100 años.
Fuente: Elaboración Propia / HEC-RAS2D

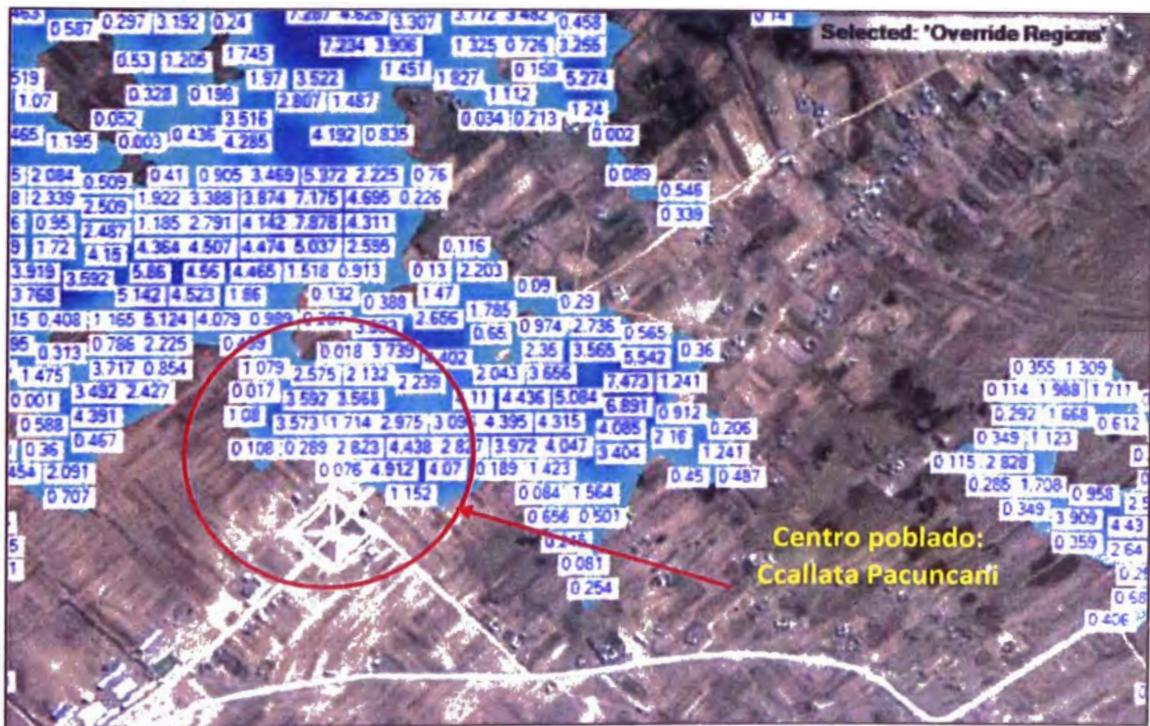


Figura N°17. Imagen satelital del centro poblado de Ccallata Pacuncari con el tirante de agua frente a una inundación para un periodo de retorno de 100 años.
Fuente: Elaboración Propia / HEC-RAS2D

Tabla N°24. Niveles de afectación ocurrida por el modelamiento de la llanura de inundación con el programa HEC-RAS2D, para un caudal máximo de 1295.80m³/s

CENTRO POBLADO	ALTURA DEL NIVEL DE AGUA EN LAS INUNDACIONES (m)	ELEVACIÓN DEL NIVEL DE AGUA EN LAS INUNDACIONES (m)	ELEVACIÓN DEL NIVEL DE TERENO (m)
SANTA ROSA DE HUAYUJATA	3.00	3813.67	3810.67
PHARATA CORANI	2.50	3815.56	3813.06
ECALLATA PACUNCANI	2.00	3816.65	3814.65
SULLCA. CHOQ. CORPA FLORES	1.00	3812.1	3811.1
JILACATURA	1.00	3812.02	3811.02
SULLCACATURA II	0.00	3812.33	3812.33
CAMICACHI	0.00	3814.4	3814.4
CHALLARUJO SUYO	0.00	3819.1	3819.1
RDSACANI	3.00	3812.57	3809.57

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°25. Niveles de peligrosidad

0	SIN AFECTACIÓN
0-1	CON LIGERA AFECTACIÓN
1-2	CON AFECTACIÓN MODERADA
2-3	CON AFECTACIÓN SEVERA

Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla N°24 se puede mostrar la altura del agua que llegaría durante la inundación a cada centro poblado, describiendo también el nivel de afectación y el nivel de peligrosidad según la Tabla N°25. Donde el color verde representa las zonas sin afectación y el color rojo representa las zonas más afectadas.

Este nivel calculado se pudo calibrar mediante la huella de agua dejada en las paredes de las viviendas que se observaron en la inspección de campo causadas por inundaciones anteriores.

3.9 MODELAMIENTO EN CONDICIONES ACTUALES CON LA APLICACIÓN DEL PROGRAMA HEC-RAS UNIDIMENSIONAL.

3.9.1 Aplicación del programa HEC-RAS unidimensional.

El análisis del modelamiento hidráulico del flujo no permanente del río llave se analizó en el espacio del Ras Mapper. Esto fue realizado con la finalidad de

calcular los niveles del agua, y posteriormente compararlo con el modelamiento que se realizó con la extensión en 2D.

Las aplicaciones del programa HEC-RAS unidimensional en la modelación hidráulica son:

- La predicción de las áreas de inundación, y mitigación del mismo en un río o sistemas de ríos para diferentes periodos de retorno.
- Determinación de las variables hidráulicas para el diseño de las estructuras hidráulicas como, puentes, alcantarillas, cunetas, etc.

3.9.2 Descripción del modelamiento en el programa HEC-RAS unidimensional.

- a) Se obtuvo un DEM (Digital Elevation Model) de la zona a modelar. Es recomendable que esta zona esta levantada con estación total, empleando un vehículo aéreo no tripulado (Dron) o imágenes satelitales de alta precisión (previamente georreferenciadas y guardada en formato Tif).
- b) Se creó una carpeta donde se guardó todos los resultados del modelamiento del programa HEC-RAS, se estableció las unidades a trabajar y se accedió a la herramienta del Ras Mapper y se importó el DEM.
- c) Como tercer paso, se trazó el eje del río, los Bank Lines, los Flow Paths y las secciones. Posteriormente se creó la topografía donde se agregó los coeficientes de rugosidad de Manning al cauce del río ($n=0.035$) y a las llanuras de inundación ($n=0.035$), luego se prosigue al guardado de la geometría.
- d) Se prosiguió con el ingreso de los datos de diseño del flujo en Unsteady Flow Data – Simulación, para lo cual se ingresó las pendientes aguas arriba ($s=0.0004$), aguas abajo ($s=0.0001$) y el hidrograma de diseño (para este hidrograma se consideró la presencia del caudal de diseño $Q=1295.80\text{m}^3/\text{s}$ con una duración de 10 minutos, y luego se construyó la campana de Gaus) Ver Figura N°18.

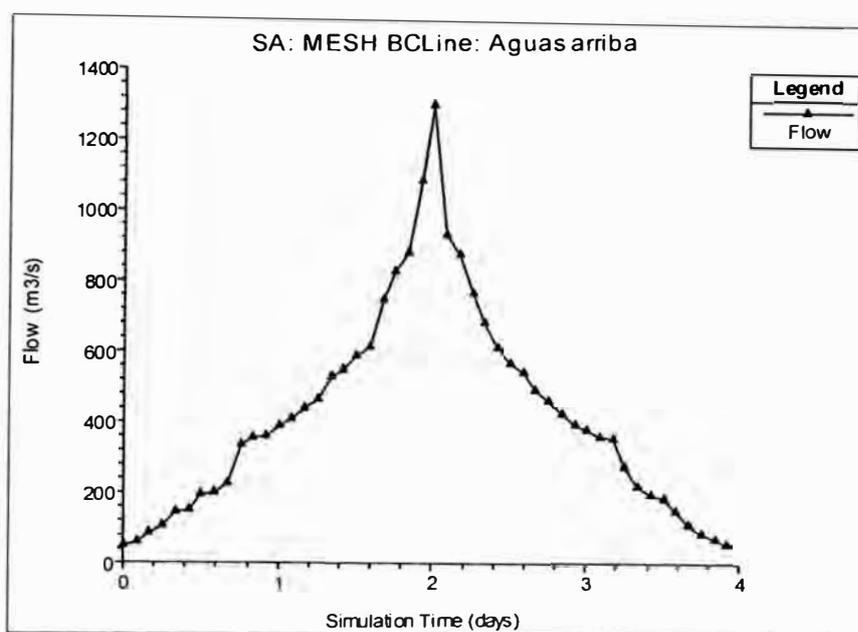


Figura N° 18. Hidrograma de diseño
Fuente: Elaboración Propia / HEC-RAS2D

- e) Como quinto lugar se recurrió a la herramienta del análisis en el icono de Unsteady Flow Analysis, donde se ingresó el tiempo de simulación, (se eligió el tiempo de simulación inicial: 01 OCT 2018 12:00, y como tiempo de simulación final: 04 OCT 2018 02:54. Para que el tiempo del intervalo computacional funcione adecuadamente con la malla, se empleó la metodología de Courant. Esta metodología indica que el producto del paso del tiempo computacional y la velocidad del flujo, dividido por el tamaño promedio de las celdas (mallas), dará como resultado el número de Courant, Para la presente investigación se consideró un tiempo computacional de $C=1$, $\Delta X=250\text{m}$ y $V=2\text{m/s}$, dando como resultado $\Delta T = 125 \text{ segundos}$, el cual fue redondeado a 3 minutos (Ver Figura N° 19).

$$C = \frac{V * \Delta T}{\Delta X} \leq 1.0$$

$$\Delta T = 125 \text{ seg.}$$

Donde:

C : Número de Courant

V : Velocidad del Flujo

ΔT : Paso del tiempo computacional

ΔX : Promedio de tamaño de celda

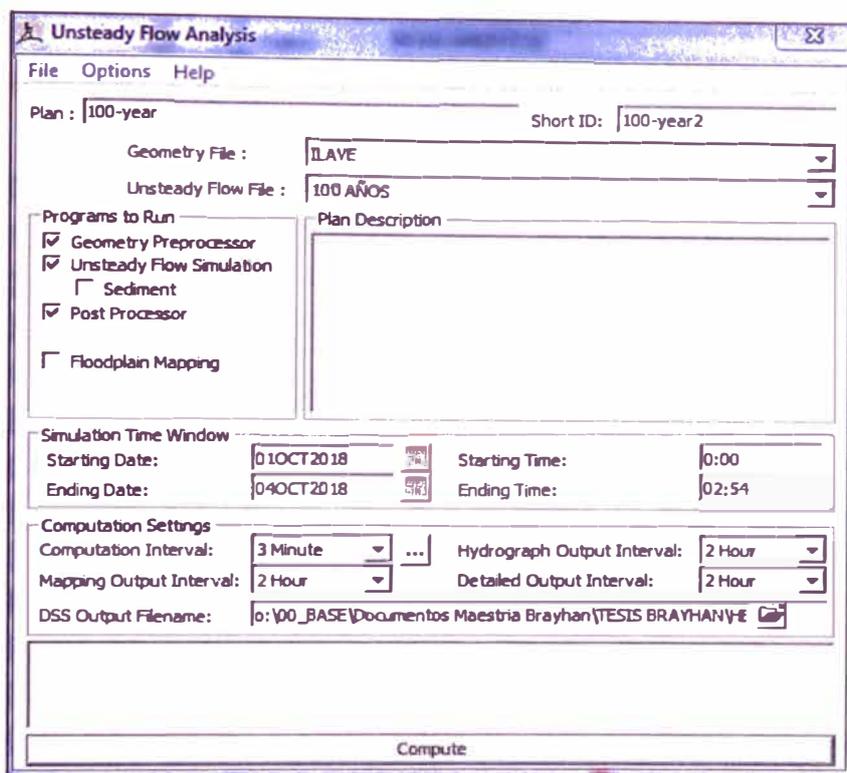


Figura N°19. Imagen de los tiempos de simulación.
Fuente: Elaboración Propia / HEC-RAS2D

- f) Como último lugar se revisó en el espacio del Ras Mapper los resultados del análisis y se interpretó para el buen diseño de la estructura a construir.

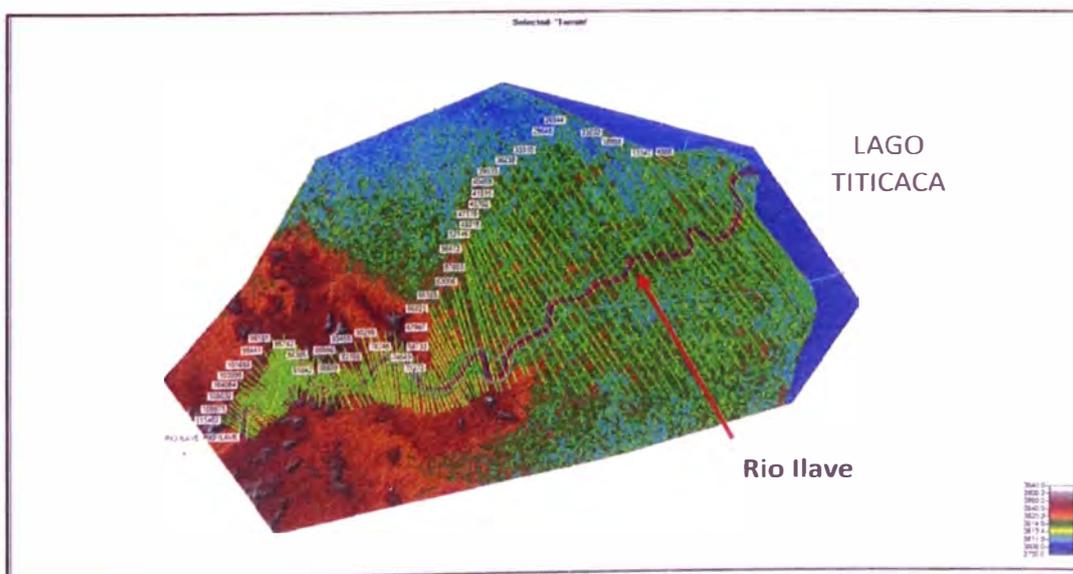


Figura N°20. Imagen con el análisis del rio llave para un periodo de retorno de 100 años.
Fuente: Elaboración propia – Ver Anexo D/ HEC-RAS2D.

En la Figura N°20 se muestra la topografía de la zona de estudio en el programa HEC-RAS2D con la extensión 1D, que se usó para el modelamiento. Para el

análisis se trazó secciones cada 50m aproximadamente con el fin de obtener la nueva geometría de análisis.

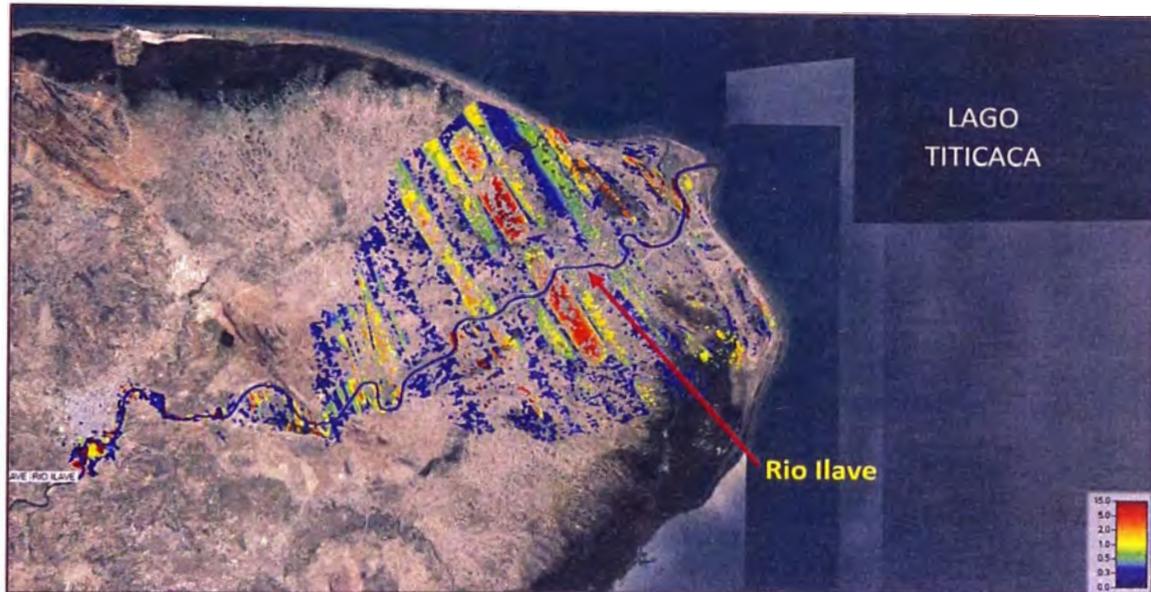


Figura N°21. Imagen de velocidades máximas de la inundación.
Fuente: Elaboración propia – Ver Anexo D / HEC-RAS2D.

En la Figura N°21 se puede observar la distribución de velocidades después del modelamiento para el caudal del diseño, la cual se muestra en la Figura 20 (Hidrograma de diseño). En la Figura N°22 se muestra la huella de inundación para un evento extremo con un periodo de retorno de $Tr=100$ años, proyectada en una imagen satelital, la cual fue facilitada por el programa HEC-RAS2D usando la opción de modelado unidimensional.



Figura N°22. Imagen satelital con el análisis del rio llave para un periodo de retorno de 100 años.
Fuente: Elaboración propia / HEC-RAS2D.

3.9.3 Estimación de la huella de agua.



Figura N°23. Imagen satelital del centro poblado de Santa Rosa de Huayllata con el tirante de agua frente a una inundación para un periodo de retorno de 100 años.
Fuente: Elaboración propia / HEC-RAS2D.

En las Figuras N°23, N°24 y N°25 se aprecia las imágenes satelitales de los centros poblados con su respectiva huella de agua, luego del modelamiento para un evento extremo y un periodo de retorno de $Tr=100$ años. Se aprecia la altura de agua en los centros poblados mencionados:

Santa Rosa de Huayllata : 0.908 m

Pharata Ccopani : 0.728 m

Ccallata Pacuncani : 3.284 m



Figura N°24. Imagen satelital del centro poblado de Pharata Ccopani con el tirante de agua frente a una inundación para un $Tr=100$ años.

Fuente: Elaboración propia / HEC-RAS2D.



Figura N°25. Imagen satelital del centro poblado de Ccallata Pacuncani con el tirante de agua frente a una inundación para un $Tr=100$ años.

Fuente: Elaboración propia / HEC-RAS2D.

3.10 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

A continuación, se comparó el resultado del análisis realizado con el modelamiento 2D y con el modelamiento 1D:

- a) La primera comparación es sobre la continuidad del flujo de la inundación, en la Figura N° 16, se puede apreciar que existe una continuidad de la mancha de agua, mientras que en el modelo 1D (ver Figura N°24) no se aprecia esta continuidad. Esta diferencia se debe a que ambos programas utilizaron diferentes ecuaciones de análisis, como es en el caso del programa 2D el cual empleó las ecuaciones de Sanit -Vernat y lo analizó por medio de elementos finitos usando enmallados. Sin embargo, el modelamiento 1D utilizó las ecuaciones de Bernuilli (la ecuación de la conservación de la energía) la cual empleó secciones transversales.
- b) Una de las limitantes del programa 1D respecto al 2D se da en el caso de que la topografía sea accidentada y plana (tal y como sucede en la presente investigación), por lo que la continuidad del flujo se ve afectada y la interpretación de los resultados no logran ser muy afinadas si se toma las secciones demasiado alejadas. Por ello analizar un alineamiento del río muy extenso llega a ser tedioso, y los resultados podrían ser afectados tal como sucedió en la zona de estudio.
- c) Por último, se comparó los niveles de agua y las velocidades de ambos análisis y los resultados fueron cercanos; sin embargo, no sucedió lo mismo con las manchas de agua, por lo cual se decidió continuar con el diseño de las viviendas sostenibles tipo isla con los resultados obtenidos del modelamiento del programa HEC-RAS2D.

3.11 ESTIMACIÓN DE SOCAVACIONES.

3.11.1 Erosión general transitoria y por contracción.

En el presente caso para el análisis de socavación se consideró la ecuación de erosión general. Debido a que el agua se desplaza lentamente sobre las llanuras, producto de la poca pendiente del terreno, y que además las viviendas no están cercanas al cauce del río, el efecto de la erosión es poco significativa. Se empleó los siguientes datos de entrada para el cálculo de la socavación:

Tabla N°26. Datos de entrada y salida que se usaron para el cálculo de la profundidad de socavación.

Datos de entrada		Datos de salida	
d50	0.001	β	1.00
Qd	431.95	α	0.73
T	100	x	0.40
Be	500	1/x+1	0.71
hm	1.00	hsi	2.50
hoi	2	Ysi	0.50

Fuente: Elaboración Propia.

En el análisis de socavación se consideró un caudal estable para la llanura de inundación. Para este análisis se empleó la tercera parte del caudal total por lo que se estableció el caudal de la margen derecha como $Q=431.95 \text{ m}^3/\text{s}$, el caudal del cauce principal como $Q= 431.95 \text{ m}^3/\text{s}$ y el caudal de la margen izquierda $Q=431.95 \text{ m}^3/\text{s}$. Por lo tanto, según la Tabla N°26 la profundidad de socavación máxima que puede ocurrir en las llanuras de inundación es de 0.50m.

3.12 ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.

Frente al problema de inundación existen múltiples alternativas de solución, que a su vez dependen de diversos factores como son la velocidad del flujo, el nivel de socavación, el nivel del agua, el friaje, la sequía, el área a ser habitada, el área de cultivo, el área de corral para los animales, etc. En este estudio y para el cumplimiento de los objetivos establecidos, se tomó en cuenta el nivel de la inundación, el nivel de socavación y las zonas afectadas por la inundación. Siendo los factores de análisis ya establecidos, se planteó las alternativas de solución y sus criterios a considerar.

Las tres primeras alternativas de solución consistieron en elevar la vivienda, y otras áreas útiles para el poblador, a través de islas artificiales que están conformadas por acumulación de tierra del lugar y a un determinado nivel calculado (Ver Tabla N°24), y de esta manera evitar ser afectada por la inundación. Para combatir el friaje se ha implementado una vivienda sostenible con materiales propios de la zona, y que posean capacidad termoaislante. También se ha considerado combatir la sequía implementando pozos de agua (donde el agua sea bombeada a un tanque elevado) para que sean utilizados en esas épocas.

3.12.1 Islas con gaviones rectangulares y forradas con geotextil.

La Alternativa de solución 1, consiste en la construcción de una isla tipo dique con gaviones rectangulares forrados con geotextil y rellenos con terreno natural. La isla tiene la función de elevar el nivel de la vivienda y proteger los taludes que están en contacto con el agua debido a la inundación. Esta solución es muy estable, sólida y de alta durabilidad.

Este sistema También es conocido como el Terramesh System, este es un sistema en suelo reforzado conformado por un gavión caja de malla hexagonal de doble torsión y cola de refuerzo continuo del mismo material, la cual genera resistencia a la tracción una vez introducida al suelo (Guillón, 2016)

Los materiales que se tomaron en cuenta en el presente estudio fueron gaviones de 1m de altura y colchones de gavión de 0.30m de altura, rellenos con terreno natural del lugar, libre de material orgánico y compactada manualmente.

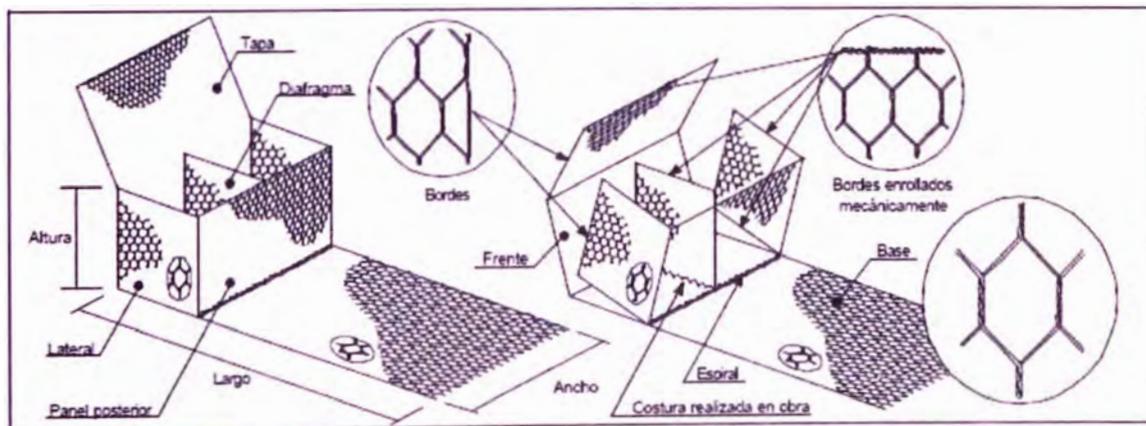


Figura N°26. Parámetro frontal en Terramesh System.
Fuente: Maccaferri noviembre 2016.

En la Figura N°26 y N°27 se muestra una representación esquemática del armado del gavión según el método de Terramesh System, y una representación fotográfica con las dimensiones del gavión respectivamente.

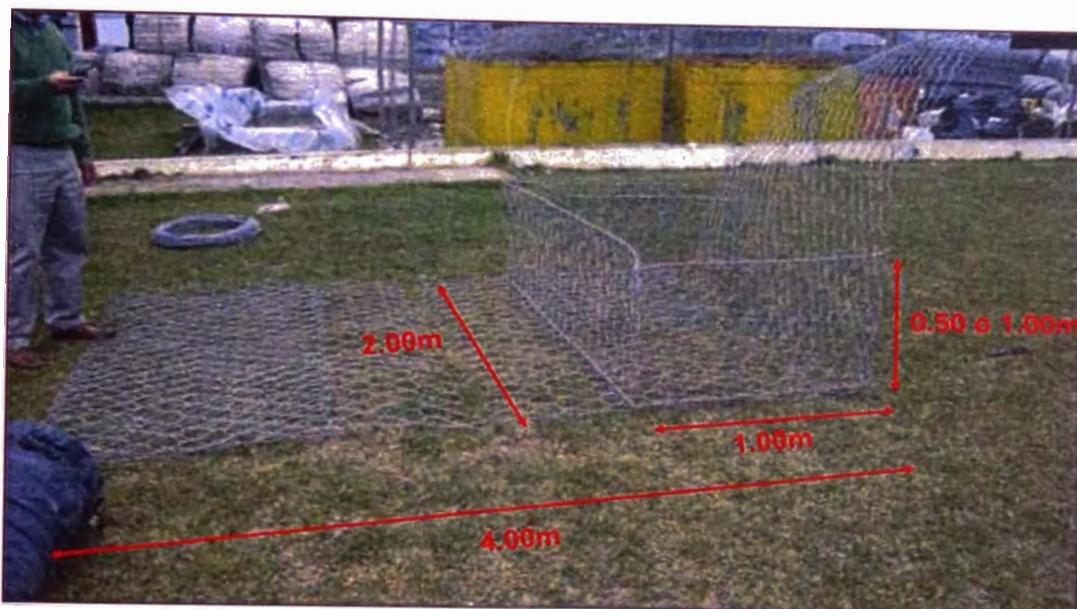


Figura N°27. Fotografía del parámetro frontal en Terramesh System.
Fuente: Maccaferri noviembre 2016.

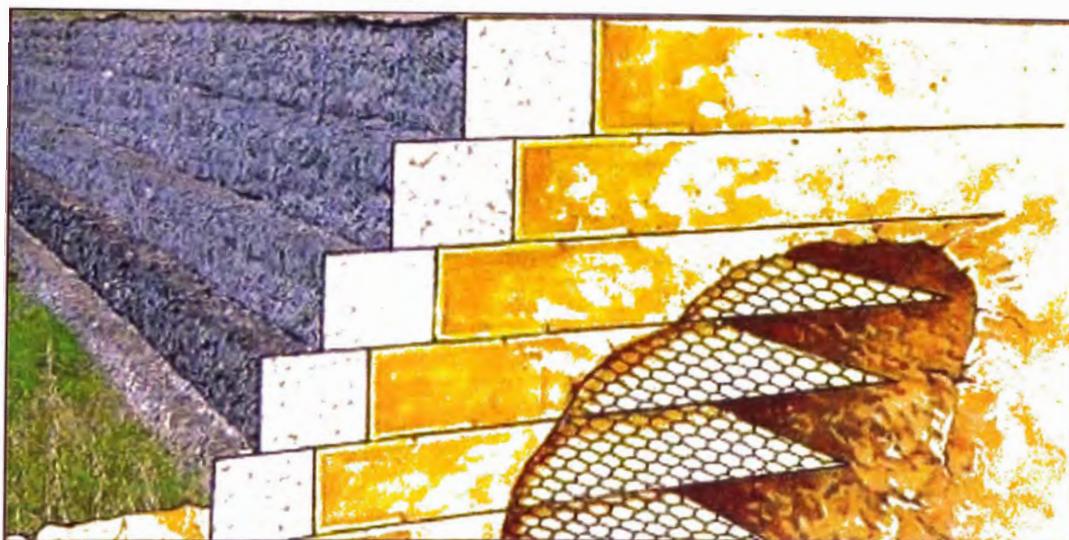


Figura N°28. Fachada del suelo reforzado, Terramesh System.
Fuente: Maccaferri noviembre 2016.

En la Figura N°28 se muestra una isometría de los gaviones con el sistema Terramesh System, donde se observa el empalme con el terreno y la cola de refuerzo continuo.

Para este análisis se consideró aplicar tres clases de gaviones tipo caja, y sus características son las siguientes:

- Gavión tipo caja, clase A: largo 5m, ancho 1m y altura 1m. Tiene un costo unitario de material por unidad de S/. 352.90 soles. Y el costo de geotextil por unidad de gavión es de S/. 298.10 soles.
- Gavión tipo caja, clase B: largo 5m, ancho 1.50m y altura 1m. Tiene un costo unitario de material por unidad de S/. 448.60 soles. Y el costo de geotextil por unidad de gavión es de S/. 311.65 soles.
- Gavión tipo caja, clase C: largo 5m, ancho 2m y altura 0.30m. Tiene un costo unitario de material por unidad de S/. 376.07 soles. El costo de geotextil por unidad de gavión es de S/. 89.43 soles.

En las Tablas N°27 se presenta las características técnicas constructivas como son la profundidad de desbroce, el tipo de protección frente a la erosión, protección frente a la infiltración vertical, lateral y el tipo de relleno del núcleo de la isla. En la Tabla N°28 se encuentra las características funcionales frente a la inundación y sequia como el abastecimiento del agua, energía eléctrica, sustento alimenticio, económico, y lugar de reposo de los animales.

Tabla N°27. Características técnicas constructivas, Alternativa 1.

Características constructivas	Propuesta
Desbroce	Desbroce de 0.20 cm de material orgánico
Protección frente a la erosión	Colocación de gaviones rectangulares tipo A, B y C
Protección frente a la infiltración vertical	Colocación de Geomembrana en la base del dique.
Protección frente a la infiltración lateral	Colocación de Geomembrana en el perímetro del núcleo.
Tipo de relleno del material del dique	Relleno del núcleo compactado con capas cada 30 cm.

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°28. Características funcionales frente a la inundación y sequia, Alternativa 1.

Características fundamentales	Propuesta
Abastecimiento de agua	Bombeo del agua de la napa freática
Abastecimiento de energía eléctrica	Por medio de los paneles solares
Sustento alimenticio	Se implementará un vivero para el cultivo de los alimentos.
Sustento económico	La comunicación será por medio de canoas o botes inflables.
Lugar de reposo de los animales	Se implementará un corral para los animales

Fuente: Elaboración propia.

3.12.2 Islas protegidas con geobolsas.

En la Alternativa de solución 2 se planteó una isla tipo dique protegida con geobolsas rellenas con terreno natural libre de vegetación. Esta solución tiene como función principal la construcción del núcleo del dique con capas cada 30 cm previamente desbrozada y, con una profundidad de 20cm. Perimetralmente, se protege el núcleo de la isla con geobolsas para evitar el efecto de la erosión superficial. Las ventajas que tienen las geobolsas son las siguientes: emular la roca en un medio donde es escaso, usar los sedimentos de la limpieza de los cauces, resistir empujes y esfuerzos hidráulicos, dota de flexibilidad para adaptarse a socavaciones y asentamientos.

Para este análisis se consideró aplicar una geobolsa de 180 KN/m Con dimensiones de largo 5m ancho 2.45m y alto de 1m, y un costo unitario de material por unidad de S/. 679.05 soles.

En las Tablas N°29 se presenta las características técnicas constructivas como son la profundidad de desbroce, el tipo de protección frente a la erosión, protección frente a la infiltración vertical, lateral y el tipo de relleno del núcleo de la isla. En la Tabla N°30 se encuentra las características funcionales frente a la inundación y sequia como el abastecimiento del agua, energía eléctrica, sustento alimenticio, económico, y lugar de reposo de los animales.

Tabla N°29. Características técnicas constructivas, Alternativa 2.

Características constructivas	Propuesta
Desbroce	Desbroce de 0.20 cm de material orgánico
Protección frente a la erosión	Colocación de las geobolsas
Protección frente a la infiltración lateral	Colocación perimetral de geomembrana.
Protección frente a la infiltración vertical	Colocación de geomembrana en la base de la isla
Tipo de relleno del material del dique	Relleno del núcleo compactado con capas cada 30 cm.

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°30. Características funcionales frente a la inundación y sequia Alternativa 2.

Características fundamentales	Propuesta
Abastecimiento de agua	Bombeo del agua de la napa freática
Abastecimiento de energía eléctrica	Por medio de los paneles solares
Sustento alimenticio	Implementación de un vivero para el cultivo de los alimentos
Sustento económico	La comunicación entre viviendas por medio de canoas o botes inflables.
Lugar de reposo de los animales	Implementación de un corral para los animales

Fuente: Elaboración propia

3.12.3 Islas protegidas con suelo reforzado y cubiertas con vegetación.

Esta Alternativa 3, se propuso como una solución que utiliza el suelo reforzado con revestimiento vegetal, y que a su vez funciona como protección frente a la erosión provocada por la inundación.

Esta alternativa también es conocida como Terramesh verde. Este sistema de suelo reforzado está conformado por una malla hexagonal de doble torsión, cola de refuerzo continuo del mismo material. La fachada del Terramesh está conformada por un elemento geosintético y barras de acero para evitar su deformación, y dos triángulos que generan un parámetro con 70° de inclinación (Guillón, 2016).

Sin embargo, se tiene que tener en consideración que la fachada sufriría un desgaste de los taludes frente al constante tránsito de las personas y los animales.

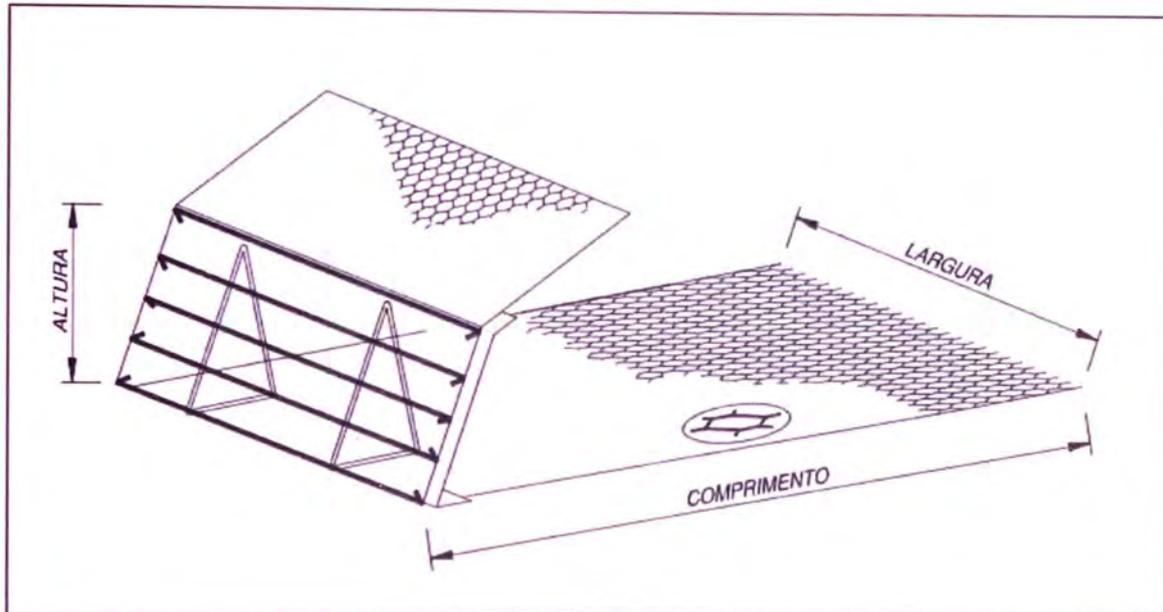
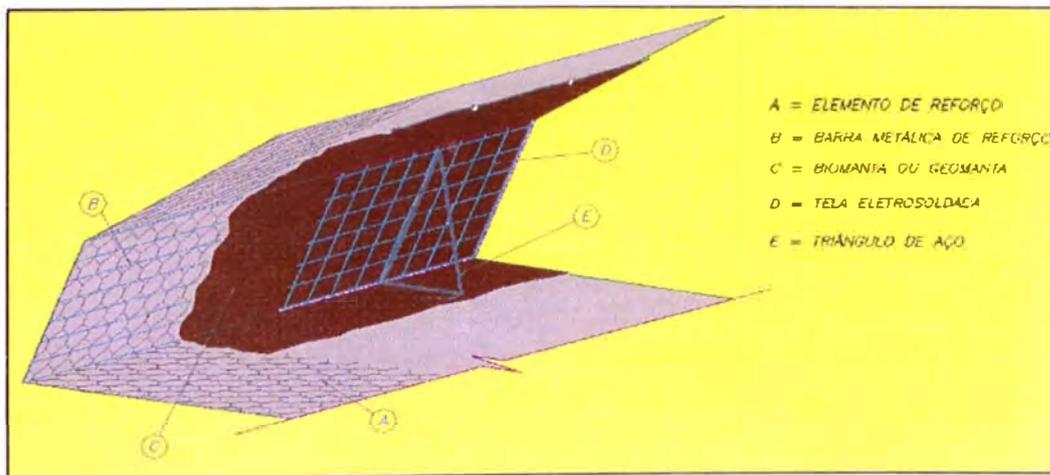


Figura N°29. Fachada del suelo reforzado, isométrico, Terramesh Verde.
Fuente: Maccaferri noviembre 2016.



- A = ELEMENTO DE REFORÇO
- B = BARRA METÁLICA DE REFORÇO
- C = BIOMANTA OU GEOMANTA
- D = TELA ELETROSOLDADA
- E = TRIÂNGULO DE AÇO

Figura N°30. Fachada del suelo reforzado, detalles, Terramesh Verde.
Fuente: Maccaferri, 2016.

En las Figura N°29 y Figura N°30 se muestra los detalles de la fachada del suelo reforzado (donde se aprecia el elemento de refuerzo), la barra metálica de refuerzo, la geomanta, la tela electrosoldada y el triángulo.

La geomanta tiene la función de evitar la fuga del material fino del relleno estructural, y a su vez permitir el crecimiento de vegetación en la superficie. La

función de la malla electrosoldada es garantizar un talud parejo y plano evitando deformaciones excesivas, mientras que los elementos metálicos de forma triangular deben mantener una inclinación deseada para fomentar el crecimiento de la vegetación (Castellanos, 2007).

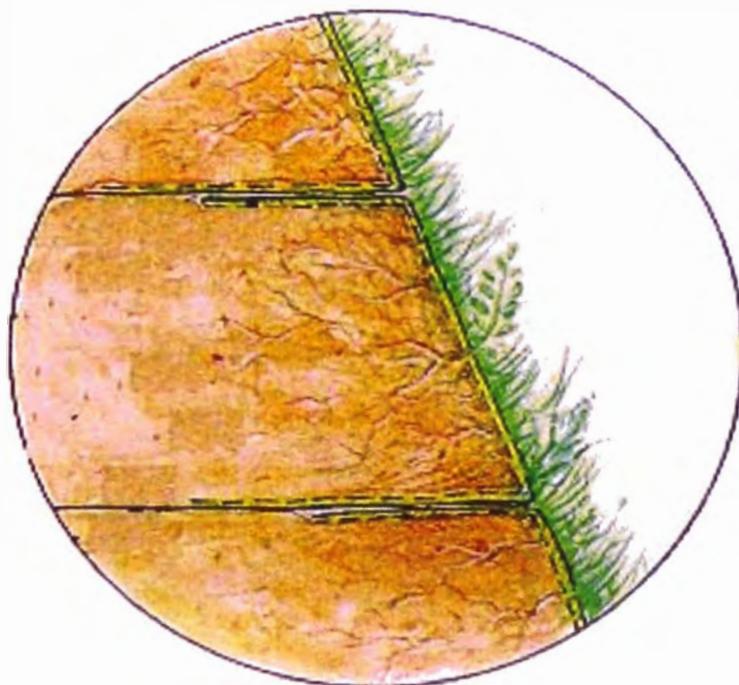


Figura N°31. Fachada del suelo reforzado, ilustración, Terramesh Verde.
Fuente: Maccaferri noviembre 2016.

En la Figura N°31 se muestra una ilustración del resultado final del suelo reforzado usando el sistema Terramesh verde, presentando así un aspecto amigable al paisaje.

Se analizó un elemento Terramesh Verde con dimensiones de largo 4m, ancho 2m y alto de 0.60m con 70° de inclinación y un costo unitario de material por unidad de S/. 650.00 soles.

En las Tablas N°31 se presenta las características técnicas constructivas como son la profundidad de desbroce, el tipo de protección frente a la erosión, protección frente a la infiltración vertical, lateral y el tipo de relleno del núcleo de la isla. En la Tabla N°32 se encuentra las características funcionales frente a la inundación y sequía como el abastecimiento del agua, energía eléctrica, sustento alimenticio, económico, y lugar de reposo de los animales.

Tabla N°31. Características técnicas constructivas, Alternativa 3.

Características constructivas	Propuesta
Desbroce	Desbroce de 0.20 cm de material orgánico.
Protección frente a la erosión	Protección de los taludes con suelo reforzado Terramesh verde.
Protección frente a la infiltración lateral	Colocación de la Geomanta.
Protección frente a la infiltración vertical	Colocación de Geomembrana en la base de la isla.
Tipo de relleno del material del dique	Relleno compactado con capas cada 30 cm.

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°32. Características funcionales frente a la inundación y sequía, Alternativa 3.

Características fundamentales	Propuesta
Abastecimiento de agua	Bombeo del agua de la napa freática
Abastecimiento de energía eléctrica	Por medio de los paneles solares
Sustento alimenticio	Implementación de un vivero para el cultivo de los alimentos
Sustento económico	La comunicación será por medio de canoas o botes inflables.
Lugar de reposo de los animales	Implementación de un corral para los animales

Fuente: Elaboración propia

3.12.4 Viviendas sostenibles elevadas.

Como Alternativa 4, se consideró elevar las viviendas a través de pilares de madera o de concreto hasta llegar a un determinado nivel; sin embargo, se debe tener en cuenta que en la zona hay poca presencia de madera, y movilizar madera de otra región (la selva) sería más costoso. Esta solución no es efectiva para la ganadería ya que se necesita más espacio y es poco estable.

Tabla N°33. Características técnicas constructivas, Alternativa 4

Características constructivas	Propuesta
Desbroce	No hay desbroce
Protección frente a la erosión en los pilares	Colocación de zapatas conectadas o una platea de cimentación.
Protección frente a la infiltración en los pilares	Empleo de pintura epóxica para impermeabilizar el pilar.
Protección frente a la infiltración vertical	Colocación de Geomembrana en la base de los pilares.
Tipo de material de la base y muros de las viviendas	Se plantea la construcción en su mayoría de madera.

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°34. Características funcionales frente a la inundación y sequía, Alternativa 4.

Características fundamentales	Propuesta
Abastecimiento de agua	Bombear agua del nivel freático
Abastecimiento de energía eléctrica	Por medio de los paneles solares
Sustento alimenticio	Implementación de un vivero para el cultivo de los alimentos
Sustento económico	La comunicación será por medio de canoas o botecitos.
Lugar de reposo de los animales	Implementación con un corral para los animales

Fuente: Elaboración propia

En las Tablas N°33 se presenta las características técnicas constructivas como son la profundidad de desbroce, el tipo de protección frente a la erosión, protección frente a la infiltración vertical, lateral y el tipo de relleno del núcleo de la isla. En la Tabla N°34 se encuentra las características funcionales frente a la inundación y sequía como el abastecimiento del agua, energía eléctrica, sustento alimenticio, económico, y lugar de reposo de los animales.

3.12.5 Evacuación a las zonas altas.

La Alternativa 5 propuesta, es la más radical, y busca una evacuación parcial o total de los pobladores del lugar afectado por la inundación. Es una solución actualmente optada por la mayoría de los pobladores, y es por ello que el progreso de la zona se encuentra limitado, debido a que la inundación destruye los avances logrados por el poblador lo cual crea un temor constante y un escaso desarrollo.

3.13 COMPARACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.

Para la elección de la alternativa de solución adecuada a la problemática en la zona rural de llave, se realizó una comparación de las alternativas considerando las características de las construcciones sostenibles, para ello se utiliza algunos requisitos de la certificación Leed. Ver Tablas N°35.

Tabla N°35. Características de la Alternativa de solución.

Características de las construcciones sostenibles	Alternativa de solución				
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Alternativa 5
Emplazamiento o sitios sostenibles	1	1	1	1	0
Control de erosión	1	1	0.5	0.5	0
Respeto por el hábitat de locales	1	1	1	1	1
Gestión del agua	1	1	1	1	0
Tecnologías para la reducción del consumo de recursos naturales	1	1	1	0.5	0
Monitoreo de la calidad del aire	0.5	0.5	0.5	0.5	0
Ventilación natural	1	1	1	1	0
Materiales de baja emisividad	1	1	1	1	0
Confort térmico y lumínico	1	1	1	1	0
Tratamiento de materiales contaminantes	1	1	1	0.5	0
Medidas para el reciclado	0.5	0.5	0.5	0.5	0
costo del material e instalación	0.5	0	0.5	1	1
Índice de sustentabilidad	88%	83%	83%	79%	17%

Fuente: Elaboración propia

Alternativas de solución:

- Alternativa 1 : Islas protegidas con gaviones rectangulares.
- Alternativa 2 : Islas protegidas con geobolsas.
- Alternativa 3 : Islas protegidas con suelo reforzado.
- Alternativa 4 : Viviendas sostenibles elevadas.
- Alternativa 5 : Evacuación a las zonas altas.

Tabla N°36. Costo de unitario por material aplicado en cada alternativa.

Material	Dimensiones			Costo unitario por material	
	Largo	Ancho	Altura		
Gavión rectangular forrada con geotextil	5	1	1	S/	651.00
Geobolsa de 180 km/m	5	2.45	1	S/	679.05
Terramesh Verde	4	2	0.6	S/	650.00

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla N°36 se muestra una comparación de costos de las alternativas de solución, frente a la erosión provocada por la inundación.

Por lo tanto, según el análisis se tomó como alternativa de solución aquella que tuvo mayor porcentaje de sustentabilidad y el que presenta menor costo. Por consiguiente, se eligió la Alternativa 1, la cual es: **Vivienda sostenible tipo islas protegidas con gaviones rectangulares, forradas con geotextil y rellenas con terreno natural.**

CAPÍTULO IV: DISEÑO DE LAS VIVIENDAS SOSTENIBLES TIPO ISLAS.

En este capítulo se estudia el problema del friaje por medio de las viviendas sostenibles usando la solución encontrada, ante el riesgo de inundaciones, en el capítulo 3, la cual fue construir islas con gaviones rectangulares y forradas con geotextil, este capítulo lo dividiremos en 2 subcapítulos, una de ellas es el diseño de las islas, y el otro es el diseño de las viviendas sostenibles. Para ello se ha considerado diferentes factores como son: La huella de agua, el número de habitantes por vivienda, la cantidad de animales, el área de cultivo, etc.

4.1 DISEÑO DE LAS ISLAS.

Para el diseño de las islas tipo diques se ha establecido tres etapas: descripción de los datos preliminares de diseño, diseño de la isla tipo dique (Planta y perfil) y detalles finales de la protección.

4.1.1 Criterios generales de diseño.

- i. **Hidrológico:** Para el propósito de diseño se consideró un caudal máximo, cuyo periodo de retorno es de 100 años, lo cual significó $1295.80 \text{ m}^3/\text{s}$. Para efectos de control de un evento extraordinario se asumió un borde libre de 1.0 m. Se estimó que el nivel máximo que alcanzaría el lago Titicaca es de 3812.37 m.s.n.m. (para un periodo de retorno de 100 años).
- ii. **Hidráulico:** El tramo del cauce es un sistema meandro con pendiente de fondo entre 0.001 y 0.0004. El material de fondo está constituido por finos: arena fina, limo y arcilla (los cuales tienden a introducir un coeficiente de Manning para el cauce de $n=0.035$ y para las áreas inundables un coeficiente de Manning de $n=0.040$). Por otro lado, el nivel de socavación se ha estimado con un criterio conservador.
- iii. **Geotécnico:** La zona en estudio presenta un relieve plano que favorece el proceso de inundación, y dificulta el drenaje natural del río al lago. En la zona predominan los suelos de granulometría fina media, variando entre: arcillas limosas, limos y arenas con gravas finas, y con una capacidad de carga admisible entre 0.5 kg/cm^2 a 1.5 kg/cm^2 . La mayor parte de las zonas inundables del lago presentan un nivel freático alto, es por ello que en algunos lugares el nivel freático llega a estar a 25 cm de profundidad

(respecto al terreno natural), y en otros lugares el agua del nivel freático llega a ser visible (captándose ojos de agua).

4.1.2 Diseño del sistema de defensa.

- i. **Altura de los diques:** Para definir la altura de los diques se tomó en cuenta las siguientes consideraciones: El caudal de diseño es igual a $Q=1295.80 \text{ m}^3/\text{s}$ y la pendiente media del fondo del cauce $s=0.0003$. Adicionalmente se incluyó un borde libre de 1m, el cual es un valor aceptable cuando los caudales de diseño están entre $500 \text{ m}^3/\text{s}$ y $1500 \text{ m}^3/\text{s}$. Aplicando las fórmulas de Saint Venant en la superficie, se obtiene el tirante normal que varía entre 1 m y 3 m (de acuerdo a que tan lejos se encuentra el centro poblado del cauce río). En base a estos resultados y tomando en cuenta el nivel máximo del lago Titicaca de 3812.37 m.s.n.m., la corona de la isla tipo dique deberá tener una cota mayor o igual a 3813.37 m.s.n.m. (de acuerdo al tirante calculado en cada centro poblado frente a una inundación). Ver Tabla N°37.

Tabla N°37. Cota de la corona de la isla para los diferentes centros poblados
($Q_{T=100} = 1295.80 \text{ m}^3/\text{s}$)

CENTRO POBLADO	ELEVACION DEL NIVEL DEL TERRENO (m)	TIRANTE (m)	COTA DE LA CORONA DEL DIQUE (m)	ALTURA DE LOS DIQUES (m)
SANTA ROSA DE HUAYLLATA	3810.67	3.00	3814.37	4.00
PHARATA COPANI	3813.06	2.50	3816.56	3.50
CCALLATA PACUNCANI	3814.65	2.00	3817.65	3.00
SULLCA. CHOQ. CORPA FLORES	3811.10	1.00	3813.37	2.27
JILACATURA	3811.02	1.00	3813.37	2.35
SULLCACATURA II	3812.33	0.00	3813.37	1.04
CAMICACHI	3814.40	0.00	3814.40	0.00
CHALLAPUJO SUYO	3819.10	0.00	3819.10	0.00
ROSACANI	3809.57	3.00	3813.57	4.00

Fuente: Elaboración propia

- ii. **Protección de la isla:** Para la protección del dique se está empleando los gaviones galvanizados forrados con geotextil y rellenos de tierra del lugar previamente tratada y compactada. Más adelante se mostrará los detalles típicos que tendrá (Tipo A, tipo B y tipo C). Esta protección es una implementación nueva que se propone debido a la escasa presencia de piedras en la zona.

4.1.3 Descripción de las islas.

En el presente estudio se ha establecido que la construcción para las islas sea de material homogéneo compuesto de arenas arcillosas o limosas, o arcillas con gravas y arena propios del lugar.

Se ha considerado que el material del cuerpo del dique debe ser colocado en capas de 30 cm, compactado adecuadamente y que las caras en contacto con el agua frente a una inundación deberán estar protegidas por gaviones forrados con geotextil y rellenos con material permeable propias del lugar (previamente tratada u obtenidas de cantera). Estos gaviones se colocarán en el perímetro de la isla, previo corte al núcleo para una mejor adherencia y protección frente a la erosión.

4.1.4 Alcances para la construcción de las islas.

- El área de construcción de las islas tipo diques deberá estar sometido al trabajo de limpieza, eliminándose todo material orgánico, por lo cual se considerará un desbroce de 20 cm de profundidad respecto al terreno natural.
- La profundidad de cimentación será de 50 cm.
- La superficie de tierra sobre la cual será colocado el relleno deberá estar libre de agua estancada.
- La compactación será realizada cuando el material presente una humedad adecuada hasta alcanzar una densidad no menor de 95% de la densidad máxima.
- El material de relleno deberá estar libre de escombros, restos de vegetación y/o material orgánico.
- La compactación será efectuada con rodillos lisos vibratorios o rodillos pata de cabra.

4.1.5 Diseño arquitectónico de la isla.

Para el diseño de la planta de la isla donde estará ubicada principalmente la vivienda, el corral y el invernadero, se ha considerado las siguientes áreas:

Vivienda: 80 m²

Invernadero: 80 m²

Corral: 100 m²

La isla contará también con un pozo séptico y un pozo de agua, éste último estará habilitado para bombear agua a un tanque elevado que posteriormente será

distribuido a los ambientes correspondientes. Con estas consideraciones se ha establecido construir una isla cuadrada de 26 m de lado, con un talud inicial de 1V:2H, y luego se perfila para colocar el geotextil y los cajones de gavión forrados también con geotextil. En la Figura N°32, N°33 y N°34 se observa las representaciones de la planta y sus respectivos cortes.

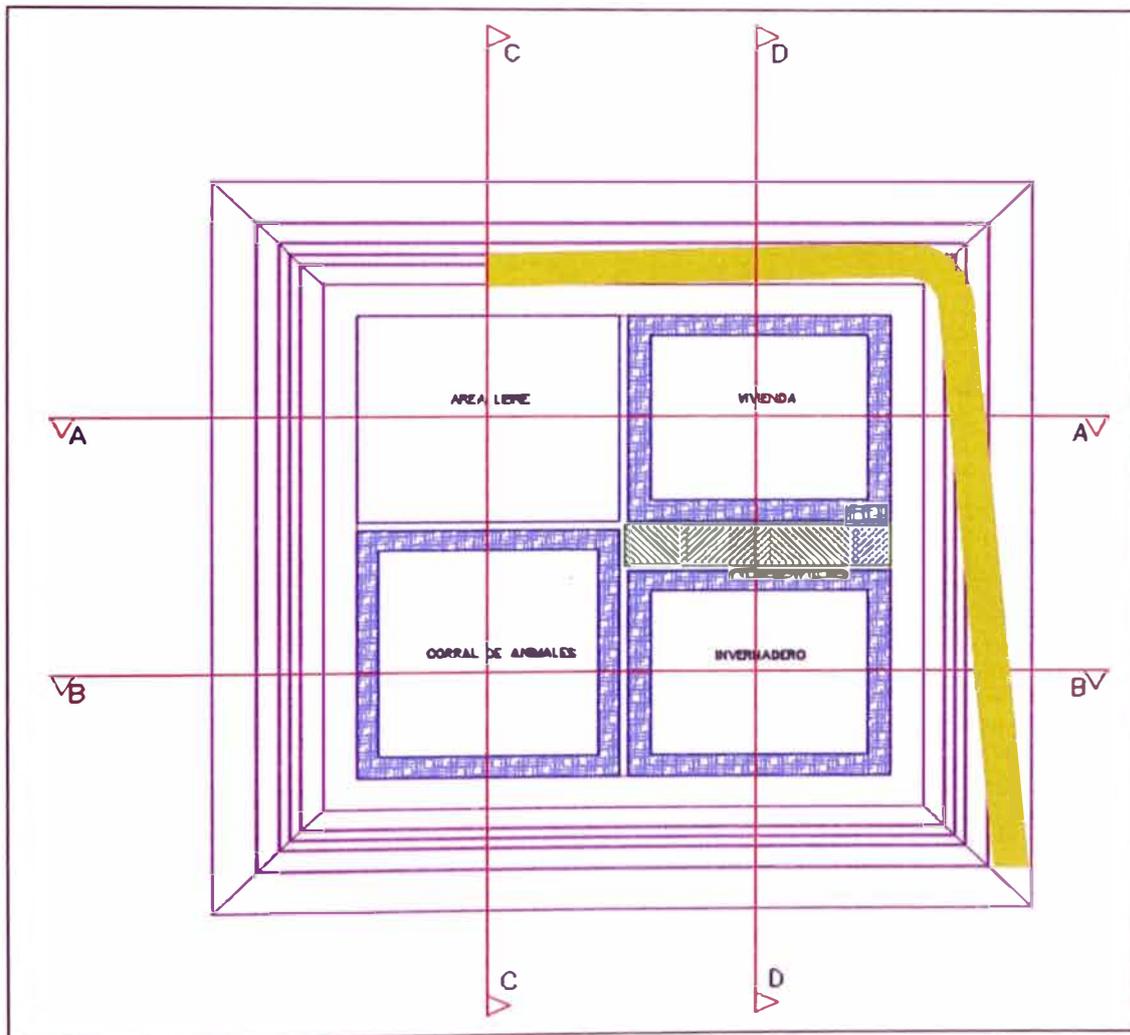


Figura N°32. Planta típica de la isla tipo dique.
Fuente: Elaboración propia

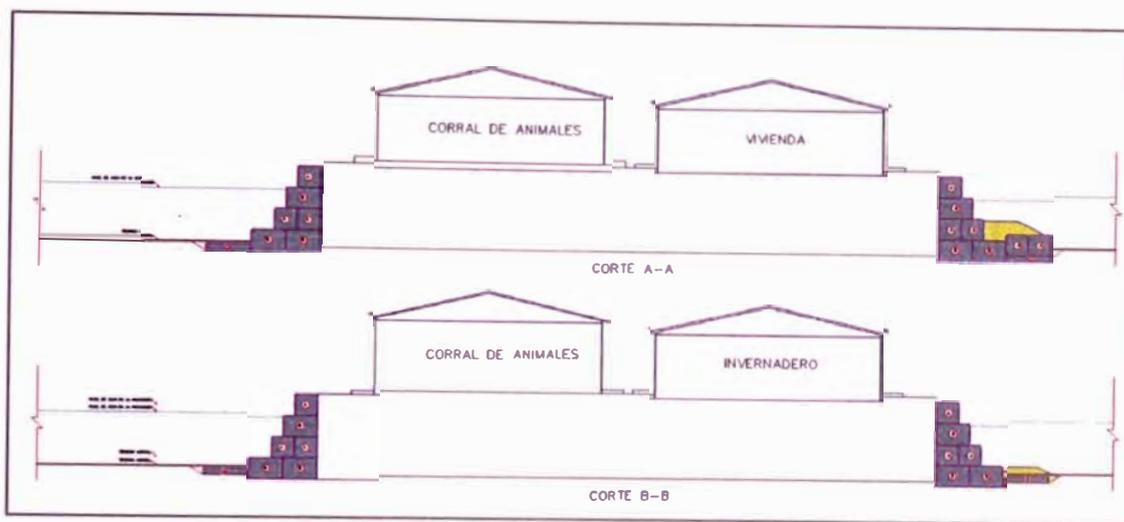


Figura N°33. Cortes A-A, y Corte B-B.
Fuente: Elaboración propia

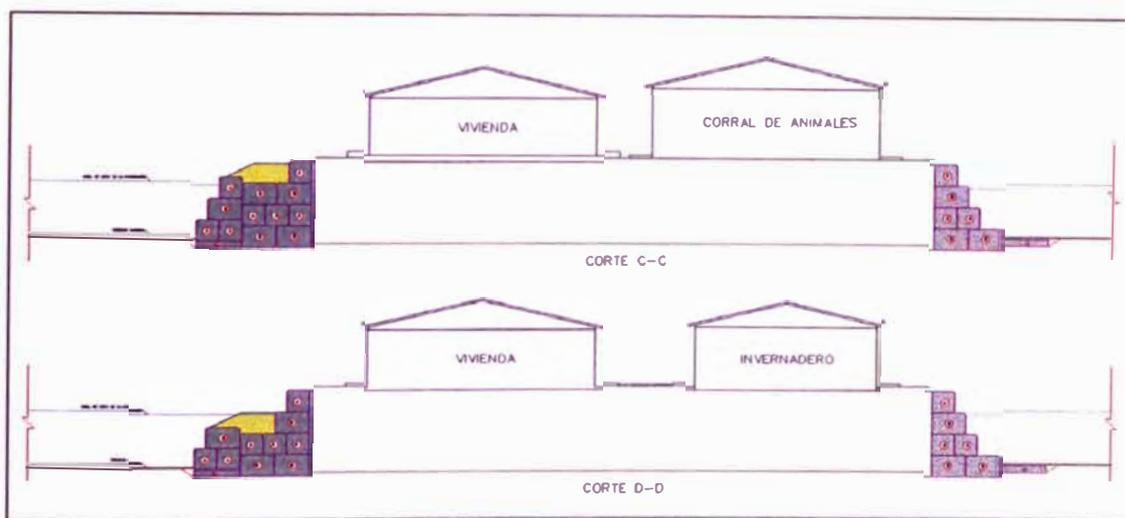


Figura N°34. Cortes C-C, y Corte D-D.
Fuente: Elaboración propia

La Figura N°35 muestra un isométrico de la vivienda sostenible tipo isla en donde se aprecia la vivienda, el invernadero, el corral, el tanque elevado, la rampa de acceso (pendiente 8%) y los gaviones de tierra. La elaboración de este isométrico fue realizada con el programa Revit 2016.



Figura N°35. Isométrico de la vivienda sostenible tipo isla.
Fuente: Elaboración propia

Luego de realizar el isométrico se prosiguió a realizar la representación donde se aprecia el efecto durante y después de la inundación.

En la Figura N°36 se muestra cómo sería una inundación de la zona vulnerable con el proyecto ya implementado. En esta simulación se aprecia que ya no existen los daños a la vivienda como si lo había antes de aplicar el proyecto; sin embargo, aun seguiría viéndose afectado el área dedicado al cultivo en las zonas bajas, pero no en la cima de la isla. Este tipo de daños puede controlarse con el paso del tiempo y con la adaptación de los pobladores a este nuevo ambiente.

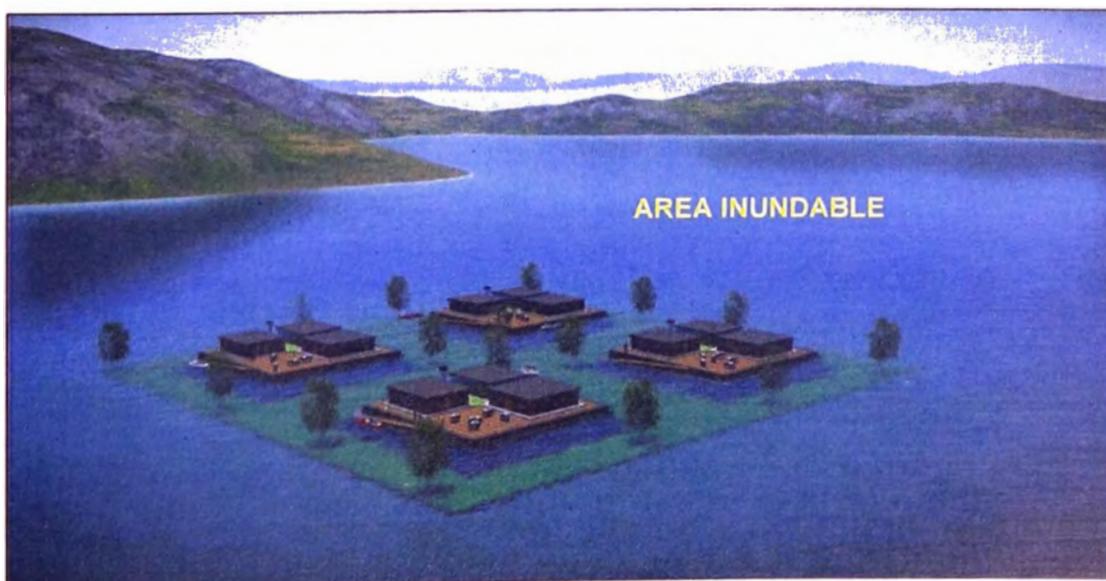


Figura N°36. Modelo de inundación durante una inundación.
Fuente: Elaboración propia

Durante la inundación también se ha considerado la manera de traslación de los pobladores y por ello en la Figura N°37 se muestra que la comunicación entre vecinos sería por medio de botes inflables o canoas.



Figura N°37. Alternativa de comunicación durante el estancamiento del agua por la inundación.
Fuente: Elaboración propia

En la Figura N°38 se ilustra el retiro de las aguas de la inundación y como los pobladores comienzan a aprovechar estas zonas (antes inundadas) para la ganadería y agricultura.



Figura N°38. Modelo de inundación después de una inundación.
Fuente: Elaboración propia

En la Figura N°39. se aprecia que después de la inundación en la zona donde se construyeron las islas, las viviendas siguen en buenas condiciones y el ecosistema

artificial generado entre las viviendas sostenibles tipo islas favorece la condición de las áreas verdes. Esto es favorable para los animales y cultivos debido a que se crea un microclima más cálido.



Figura N°39. Vista panorámica del nuevo del micro ecosistema.
Fuente: Elaboración propia

4.1.6 Detalles.

Para la protección del talud del proyecto se ha considerado lo siguiente:

- Se observó que en la zona de estudio existe poca cantidad de piedras, lo que imposibilita implementar los métodos tradicionales de protección (protección de enrocados y protección por gaviones de piedra). Ante esto, se ha considerado aplicar un método de protección diferente, que consiste en utilizar gaviones de acero galvanizado, forrados con geotextil y rellenos con tierra del lugar compactada (previamente tratada). Este sistema permite estabilizar el talud de las islas, y también protegerlas ante la erosión producida por la inundación.
- El proceso constructivo de la implementación de la construcción del núcleo de la isla y la protección frente a la erosión es la siguiente:
 - a) El desbroce de material orgánico del terreno es de al menos 20 cm de espesor.
 - b) En el diseño, para la formación del núcleo de la isla se recomienda rellenar y compactar con capas de tierra mejorada (propias del lugar) cada 30 cm de espesor.

- c) Perfilado del perímetro de la isla, con la finalidad de colocar los gaviones forrados con geotextil.
- d) Relleno con tierra del lugar compactada (previamente tratada) de los gaviones de acero galvanizado, y forrados con geotextil y así sucesivamente hasta llegar al nivel de la corona teniendo en cuenta que se hará la rampa de acceso mientras se avanza.

La protección frente a la socavación se considera colocar a una profundidad de 50 cm respecto del terreno natural, para ello se emplea el gavión tipo C (colchón de gavión), sobre este van ubicadas el gavión tipo A y tipo B tal como se muestra en la Figura N°40.

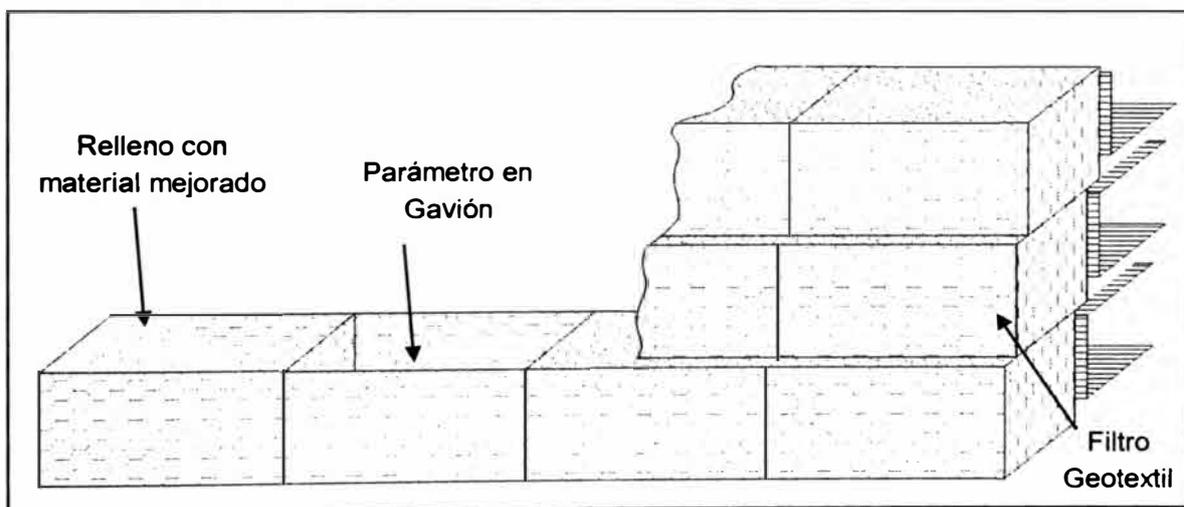


Figura N°40. Esquema constructivo de los gaviones empotrándose al núcleo del dique.
Fuente: Elaboración propia

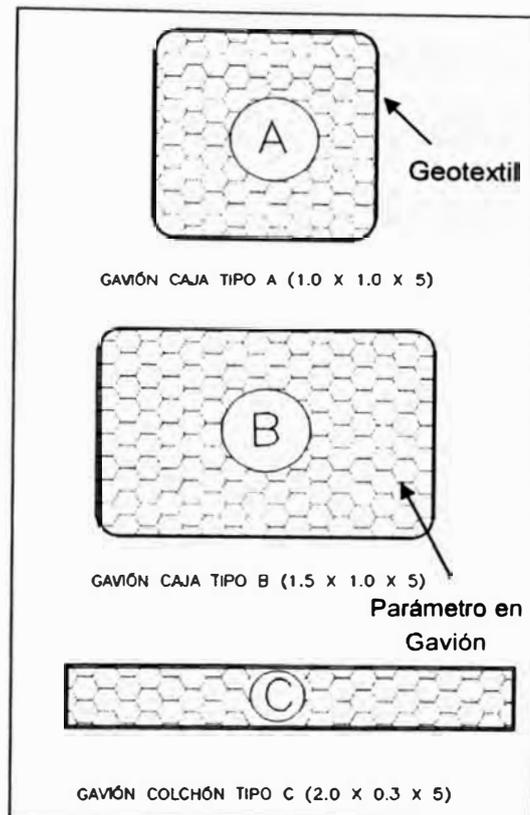


Figura N°41. Tipo de gaviones utilizadas en el proyecto.
Fuente: Elaboración propia

En la presente Figura N°41 se muestra los tipos de gaviones que usa en el proyecto, las cuales son: tipo A (1.0 m x 1.0m x 5m), B (1.5 m x 1.0m x 5m), y tipo C (2.0 m x 0.3 m x 5m), estos gaviones son de tipo caja confeccionados en malla hexagonal de doble torsión, tipo 10 x 12 y forradas con geotextil para evitar el lavado de la tierra dentro de este.

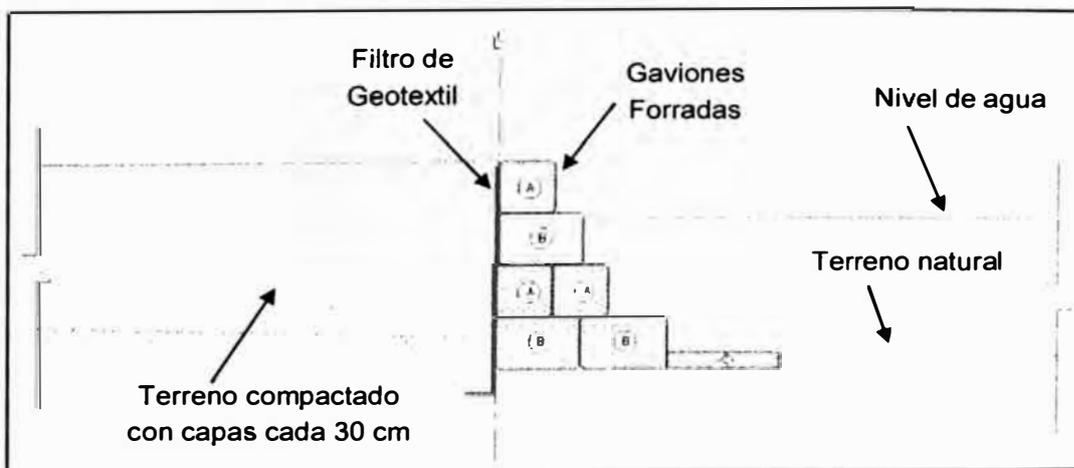


Figura N°42. Sección típica de los gaviones y el geotextil de protección.
Fuente: Elaboración propia

En la Figura N°42 se puede apreciar la sección típica de la transición que existe entre el terreno compactado para formar la isla y la protección del talud con Gaviones forradas frente a una inundación estimada.

4.2 DISEÑO DE LA VIVIENDAS SOSTENIBLES.

Para el diseño de la vivienda sostenible se tiene como primera consideración satisfacer las necesidades básicas del poblador: el agua, el drenaje y la energía eléctrica.

4.2.1 Diseño Arquitectónico.

El diseño arquitectónico consta de 4 etapas:

Etapa 1: Como primera etapa se busca el adecuado abastecimiento de agua potable para el poblador.

Etapa 2: En esta etapa se realiza la instalación de un sistema de drenaje y un sistema de tratamiento de aguas residuales.

Etapa 3: Esta etapa consiste en el abastecimiento de la energía eléctrica, y la adecuación de un sistema integral en el diseño de la vivienda.

Etapa 4: Esta última etapa consiste en la dinámica de los ambientes, el cual busca una construcción integral entre todos los ambientes.

A continuación, se detalla en qué consiste cada de las etapas antes mencionadas:

Abastecimiento de agua.

Para el abastecimiento de agua se ha considerado usar las aguas del nivel freático, la cual se bombeará a un tanque elevado y de donde luego será distribuido a la vivienda y al invernadero.

Drenaje y tratamiento de aguas residuales.

Respecto al drenaje se analiza dos puntos importantes:

- *El drenaje de las aguas de lluvia:* Respecto al drenaje de las aguas de lluvia se ha considerado colocar canaletas para captar las aguas del techo y llevarlas a un pequeño reservorio de donde luego será usado en la irrigación de los campos de cultivos o pastizales.

- ***El drenaje de las aguas residuales:*** Respecto al drenaje de las aguas residuales se ha considerado instalar un pozo séptico prefabricado (el cual tenga funcionamiento integrado), que cumpla con los fines de captación, tratamiento e infiltración controlada de las aguas residuales de la vivienda. De ser necesario reutilizar estas aguas para el riego de los cultivos que se encuentran en la parte baja, consiguiendo así laminar la infiltración en el terreno.

Abastecimiento de la energía eléctrica.

Para el abastecimiento de la energía eléctrica se ha visto necesario utilizar la energía del sol por medio de dos paneles solares para el funcionamiento adecuado de la vivienda sostenible. Estos paneles serán colocados en los techos previamente diseñadas por un especialista.

Dinámica de los ambientes.

Para la dinámica de los ambientes en primer lugar se analiza los materiales de construcción, luego la ubicación de las puertas y las ventanas exteriores; por último, se analiza la distribución de los ambientes (sala, cocina, comedor y habitaciones).

- ***Materiales de construcción:*** para los materiales de construcción se empleará materiales accesibles a la zona y que tengan características térmicas. Dada la geografía del lugar se ha optado por construir los muros de la vivienda con adobe y paja y con un espesor de 40 cm. Se empleará 5 puertas de madera para la vivienda (2 exteriores de 0.9m x 2.10m, 2 interiores de 0.8m x 2.10m y uno de baño de 0.7m x 2.10m), 1 puerta de madera para el invernadero (1m x 2.10m) y 1 puerta de madera para el corral (1.80m x 2.50m). Las ventanas serán de triple luna de 0.9m x 0.9m y con marco de madera (con el objetivo de aislar térmicamente del ambiente externo). Los techos serán construidos con vigas de madera, cubierto con una capa de triplay, otra de calamina y su respectiva canaleta (Los techos tendrán un ángulo de inclinación de 25° y de alero 1m). Es de considerar que las puertas y ventanas al exterior deben permitir un cierre hermético.

Ubicación de las puertas y ventanas: En primer lugar, para la ubicación de las puertas y ventanas se considera la dirección del viento en el altiplano, el cual va del Suroeste (SO) al Noreste (NE), con una velocidad promedio de 5 km/h

(Senamhi, 2017-2018). Tendremos esta consideración para ubicar las puertas en sentido tal que no se encuentren frontalmente con el viento, y las ventanas deberán estar instaladas considerando la iluminación interna de la vivienda con la intención de reducir el empleo de la energía eléctrica durante los días soleados.

- Distribución de los ambientes: se ha establecido la distribución de la vivienda en 5 ambientes: 1 sala comedor (34.50 m²), 1 cocina (7.02 m²), 1 baño (3.17 m²), 1 dormitorio matrimonial (14.80 m²) y 1 dormitorio simple (13.69 m²).

En la Figura N°43 se muestra la planta arquitectónica de la vivienda sustentable con la respectiva distribución de sus ambientes (Sala comedor, cocina, baño y habitaciones).

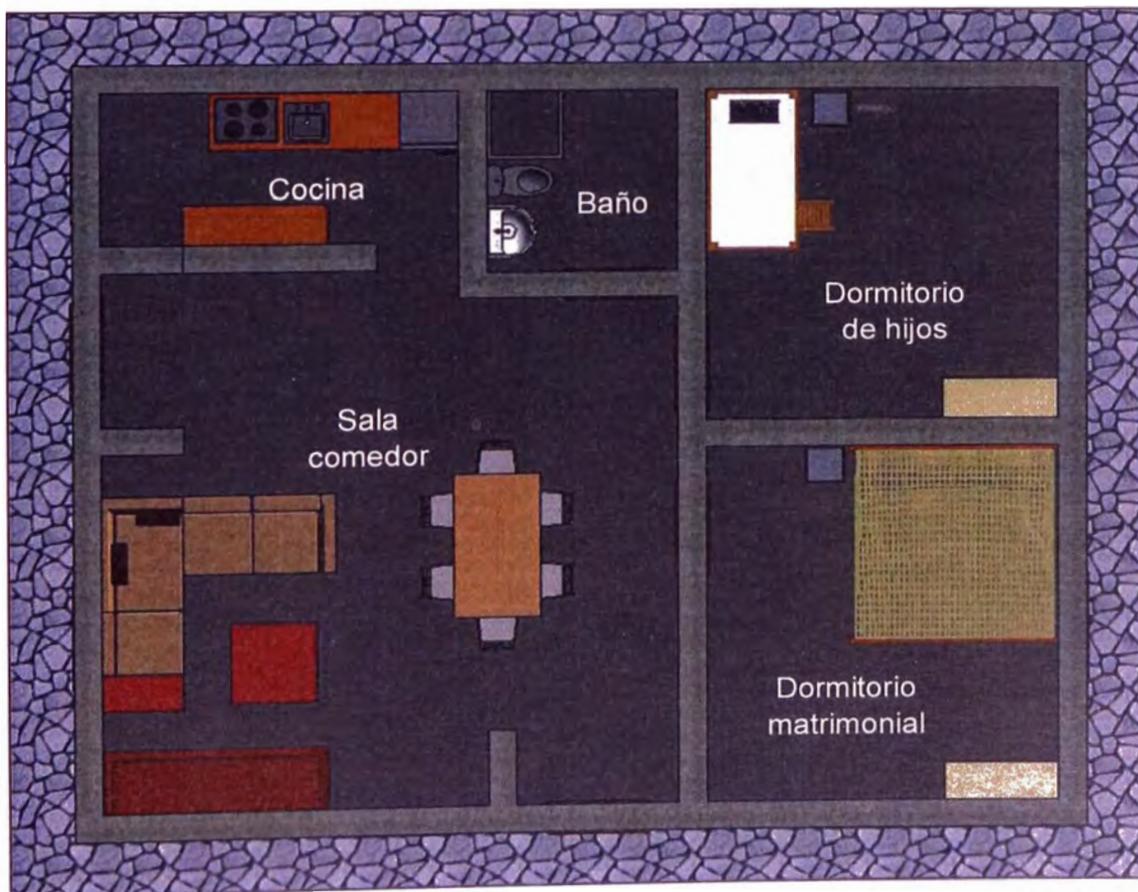


Figura N°43. Planta de la vivienda sustentable.
Fuente: Elaboración propia.



Figura N°44. Isométrico de la vivienda sostenible.
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura N°44 se presenta mediante flechas azules la dirección del viento que va del Suroeste (SO) al Noreste (NE) y la distribución de las puertas y ventanas. Se ha considerado instalar 2 puertas principales para la vivienda (una frente al invernadero y otra frente al área libre) con la finalidad de tener una ventilación en los ambientes internos. Los techos, tendrán un ángulo de inclinación de 25° debido a la presencia de lluvia, y en la parte baja estará instalada una canaleta que captará las aguas de lluvia, y que posteriormente será empleado para el riego de los cultivos.

En la Figura N°45 se observa la planta general del proyecto donde se encuentra ubicada la vivienda, el invernadero y el corral como también el tanque elevado, los paneles solares y el pozo séptico. Todo en conjunto cumplen la función de mejorar la calidad de vida de la familia.

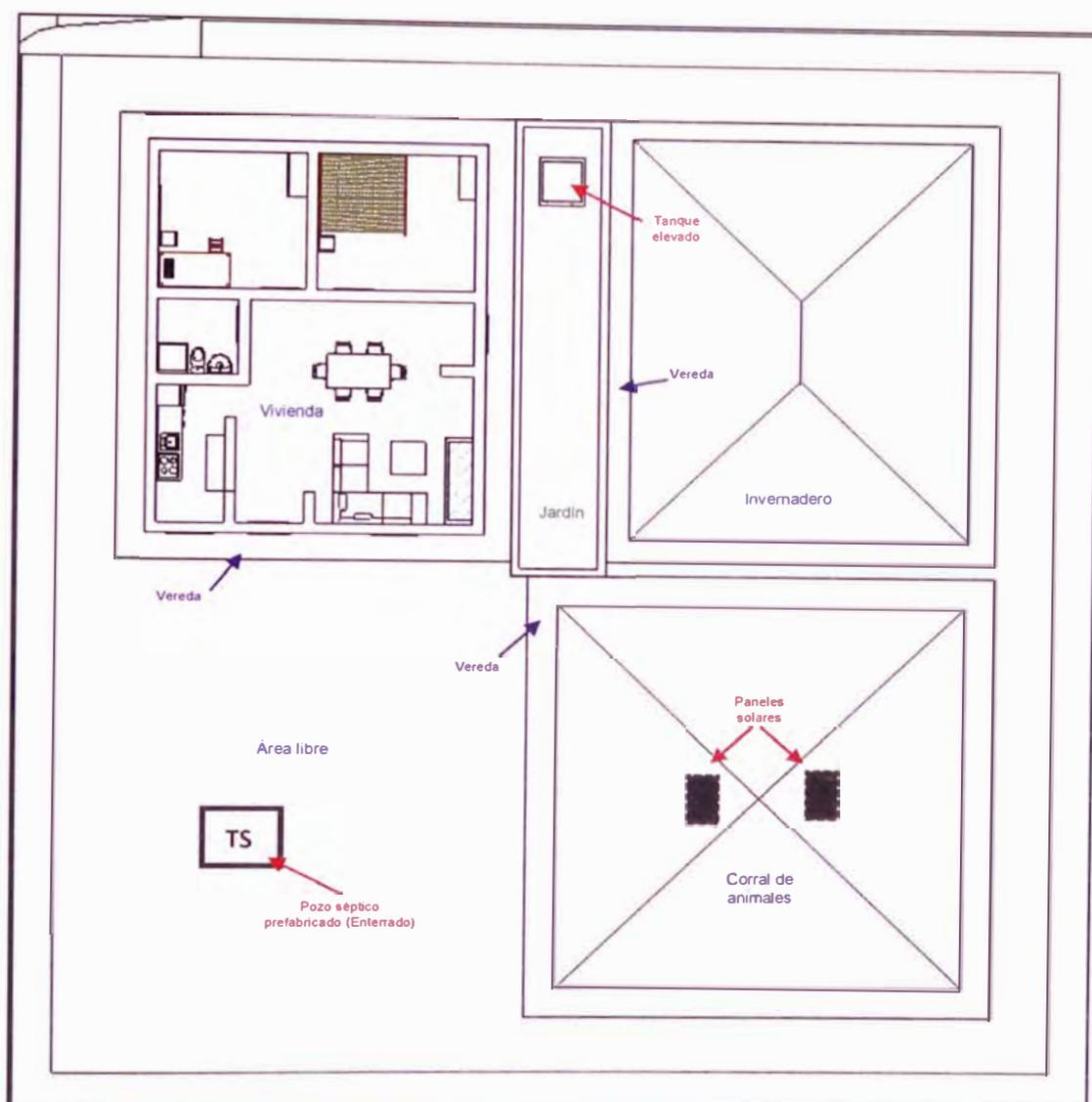


Figura N°45. Planta general del proyecto.
Fuente: Elaboración propia.

4.2.2 Diseño Estructural.

El diseño estructural está basado en la Norma E-0.80 *Diseño y Construcción con Tierra Reforzada* del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

Como primer punto es de gran importancia identificar la zona sísmica a la que pertenece la región de llave para el adecuado diseño de la cimentación y muros de la vivienda, por lo cual se verifica en la Norma E-030, donde se encuentra el mapa del Perú con las zonas sísmicas diferenciadas Ver Figura N°46; en segundo lugar se ha implementado usar materiales económicos, que tengan propiedades térmicas, propios de la zona para poder construir la vivienda, invernadero y corral de los animales; también se ha considerar usar ventanas adecuadas para

combatir el friaje, así en conjunto podremos reducir el impacto del friaje en esta zona de estudio.



Figura N°46. Zonas sísmicas del Perú.
Fuente: Norma E.030 Diseño sísmorresistente

Como segundo punto se especifica que el espesor mínimo del muro debe ser de 40 cm, y tener arriostres horizontales (entre Piso y Techos) y arriostres verticales (contrafuerte o muros transversales). También la planta debe ser simétrica respecto a los ejes principales.

Seguidamente se analiza la relación de la esbeltez vertical ($\lambda_v = H/e$) con la esbeltez horizontal ($\lambda_h = L/e$). De tal modo que se cumpla la siguiente expresión:

$$\lambda_h + 1.25 * \lambda_v \leq 17.5$$

Para el presente caso la longitud del muro $L=4\text{m}$ y la altura del muro es $H=2.40\text{m}$, por lo tanto, el $\lambda_h = 4/0.40 = 10$ y $\lambda_v = 2.40/0.4 = 6$.

$$\lambda_h + 1.25 * \lambda_v = 17.5 \leq 17.5$$

En la ecuación se verifica que cumple la relación establecida por el Reglamento Nacional de Edificaciones E-0.80. Es recomendable que la longitud del contrafuerte sea mayor o igual a 3 veces el espesor del muro, y menor o igual a 5 veces el espesor del muro. Para el presente caso se ha establecido 1.40m de longitud del contrafuerte, y también se ha considerado la colocación de una viga collar en la parte superior de cada muro fijado entre sí.

Como siguiente paso se realiza el cálculo de las fuerzas sísmicas:

$$H = S * U * C * P$$

Donde:

S = Factor de suelo.

U = Factor de uso.

C = Coeficiente sísmico.

P = Peso total de la edificación.

Según la norma E-0.80, S = 1.4; U = 1; C = 0.20. P= Carga muerta+0.50*Carga viva; y donde el peso específico del adobe es de 1600kg/m³.

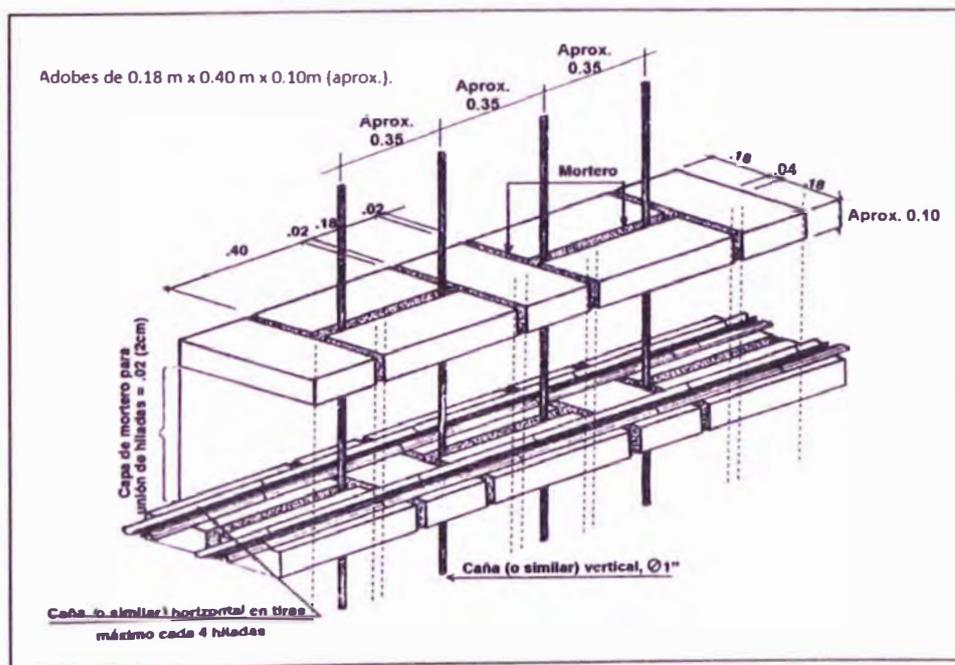


Figura N°47. Esquema de muro de adobe.
Fuente: Norma E.080 Diseño y construcción con tierra reforzada.

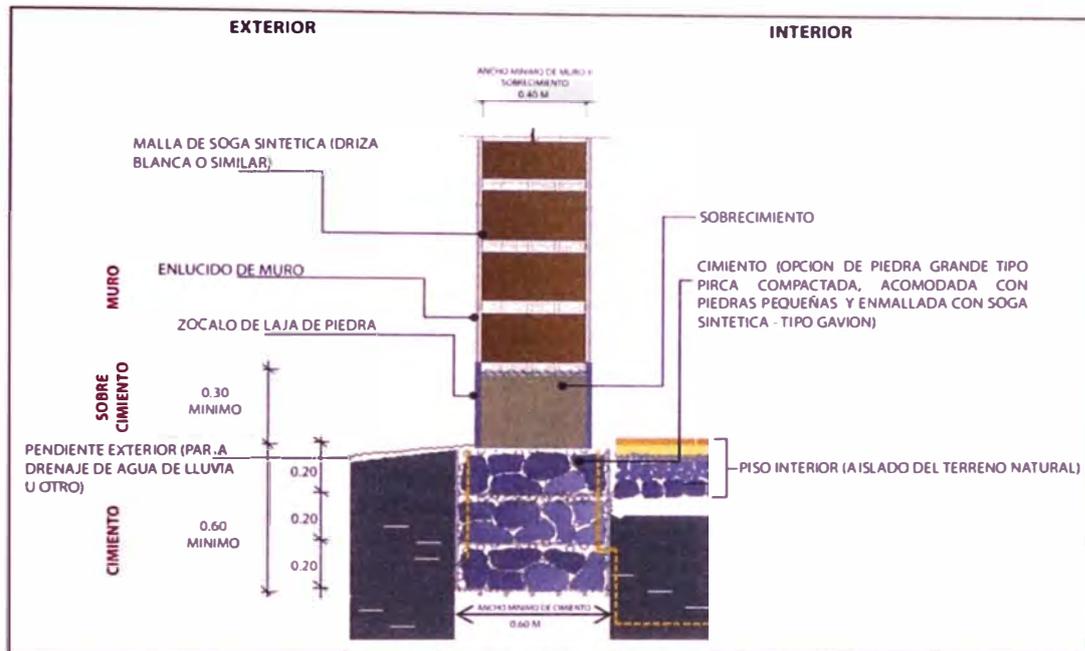


Figura N°48. Esquema de cimentación.

Fuente: Norma E.080 Diseño y construcción con tierra reforzada.

En las Figuras N°47 se presenta las medidas y distribución del muro reforzado de adobe, que cumple la función de ser una estructura estable para la construcción de la vivienda, el invernadero y el corral. Teniendo en cuenta que los bloques de adobe tienen las dimensiones de 40cm de largo, 18 cm de ancho y 10cm de alto, y que serán reforzadas con carrizo u otro material de la zona que cumpla la misma función de reforzar el muro. La Figura N°48 muestra la cimentación que tendrían los muros de adobe en los ambientes de la vivienda, como el acabado interno y externo.

4.2.3 Diseño Sanitario.

Para el diseño sanitario se recurre al reglamento OS-100 del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, el cual indica que para las viviendas con lotes de área menor o igual a 90m², las dotaciones serán de 120 l/hab/d en clima frío y de 150 l/hab/d en clima templado o cálido.

En el presente diseño se establece emplear tubería de 2" para el sistema de abastecimiento de agua (el abastecimiento de agua tendrá como fuente principal las aguas subterráneas, que se bombearan a un tanque elevado, donde el agua tendrá un tratamiento con cloro para la eliminación de las bacterias y de esta manera pueda ser utilizado por el poblador rural).

Respecto al sistema de alcantarillado se llevará las aguas residuales a un pozo séptico prefabricado para su respectivo tratamiento, que luego estas aguas puedan ser utilizadas para los cultivos, y así poder infiltrarlos laminarmente a la napa freática.

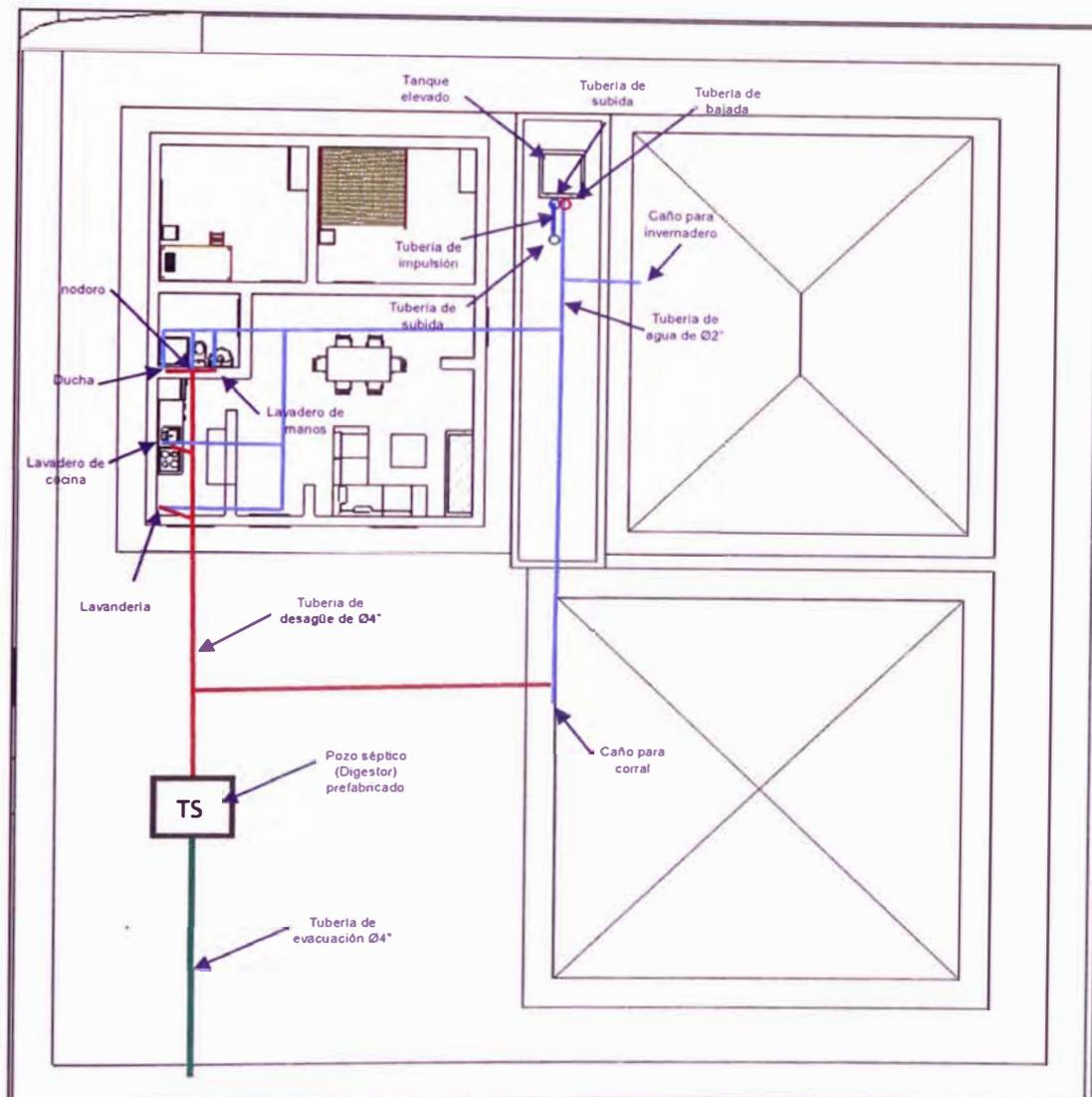


Figura N°49. Esquema de la instalación sanitaria.
 Fuente: Elaboración propia

En la Figura N°49 se presenta un diseño preliminar del sistema de abastecimiento y alcantarillado del proyecto, donde las líneas de color celeste representan las tuberías de abastecimiento de agua potable, las líneas rojas representan las tuberías de alcantarillado y la línea verde la tubería para riego. Los círculos rojos representan que la tubería baja y el círculo de color celeste representa que la tubería sube (una sube del bombeo de la napa freática y la otra sube al tanque elevado); El TS representa el tanque séptico el cual se encuentra enterrado.

CAPÍTULO V: METODOLOGÍA DE COMPARACIÓN DE BENEFICIO.

5.1 BENEFICIO ECONÓMICO.

La presente tesis ha sido elaborada pensando en la población con mayor vulnerabilidad frente a los fenómenos naturales como inundación y friaje. Población que ha experimentado continuamente las terribles consecuencias de estos fenómenos como pérdidas materiales e inmateriales, y esto debido a la ausencia de un desarrollo adecuado de la zona vulnerable para hacer frente a estos eventos.

Frente a la situación antes mencionada, es por lo que se ha buscado implementar soluciones económicas y autosustentables que contribuya a proteger al poblador, y su vivienda de estos eventos adversos. Por lo cual se eligió para el diseño de las viviendas, materiales en su mayoría propias del lugar, como, por ejemplo:

- La conformación de las islas, son de material propio del lugar previamente tratada y compactada en capas de 30 cm, (Para la construcción del núcleo de la isla).
- Para la protección de las islas se ha considerado implementar gaviones forrados con geotextil y rellenos con terreno natural previamente tratado y compactado.
- Para el diseño de las viviendas sostenibles se ha considerado los muros de adobe de un espesor de 40 cm.
- Se tiene un falso piso de tierra o de algún otro material que el dueño de hogar considere necesario.
- Los techos serán colocados sobre una viga de madera con aleros de 1m y pendiente de 25°. Serán cubiertos de triplay y se clavarán junto las calaminas a las vigas de madera.
- La vivienda contará con 2 paneles solares para el consumo de energía eléctrica.
- La vivienda contará con un tanque elevado el cual abastecerá a la vivienda, invernadero y a los animales diariamente.
- La vivienda también contará con una fosa séptica para el tratamiento de las aguas residuales.

Todos estos materiales antes mencionados han sido escogidos por ser lo más económico y sustentable con el medio ambiente ya que son materiales accesibles en la zona, aunque podríamos tener algunos materiales que talvez se nos haga un poco tedioso al transportarlo, estos serían los gaviones forrados, los pozos sépticos prefabricados y el geotextil, luego los demás materiales son accesibles para la zona y con respecto a la mano de obra el poblador del lugar lo puede desarrollar con una adecuada capacitación del proceso constructivo en cada etapa del proyecto.

Respecto al costo de la construcción de esta alternativa podemos decir que a corto plazo es un poco más costosa a los métodos tradicionales empleados en estos lugares ya que se está implementando las islas lo cual eleva el precio en los movimientos de tierra, pero si lo vemos a largo plazo podemos decir que esta solución ayudaría tanto a la población que lograrían su desarrollo económico y social.

5.2 BENEFICIO SOCIAL

Uno de los beneficios sociales que tiene la implementación de la alternativa de solución es el crecimiento económico-social que tendrá esta zona rural principalmente por dos razones. La primera razón es que fomentará el turismo nacional e internacional por la creación de un sistema de viviendas tipo islas. La segunda razón es que frente a una inundación las aguas demoran aproximadamente 1 a 2 meses en desaparecer; sin embargo, podría seguirse en comunicación con los demás centros poblados mediante canoas o botes pequeños.

Otro punto importante que también puede mencionarse es la implementación de esta alternativa de solución en otras regiones con características similares y que necesitan solucionar los problemas de la inundación, friaje y sequía.

5.3 BENEFICIO AMBIENTAL.

Uno de los beneficios ambientales que tiene este proyecto es la creación de un nuevo ecosistema causado por el sistema de islas. Este ecosistema será más agradable para las plantas y los animales dado que en la época de sequía el territorio será más cálido de lo que actualmente es, y esto debido a que las islas funcionarán como rompe vientos provocando una sensación térmica mayor.

Otro beneficio ambiental es el empleo de paneles solares para el aprovechamiento de la energía solar necesaria, para el funcionamiento de los artefactos como los focos, el sistema de bombeo, los equipos eléctricos, etc.

CONCLUSIONES

- Actualmente las infraestructuras de los centros poblados estudiados no se encuentran preparadas para contrarrestar los daños ocasionados por la inundación y el friaje.
- El planteamiento de solución ante el problema de inundación que ocurre en la provincia de Puno a causa del incremento del caudal de los ríos y el nivel de agua del lago Titicaca provoca la inundación de las zonas cercanas a la desembocadura del río al lago, por lo cual se propone implementar una alternativa de solución que ya está funcionando en otros países como lo es en Holanda la cual se llama Terps y en Perú se conocen como los Waru waru o camellones (mayormente usado para cultivos).
- De la visita de campo se logró recopilar información importante sobre la huella de inundación de los años anteriores. De las entrevistas a los pobladores se pudo conocer las condiciones de las viviendas, y el estilo de vida que llevan para poder hacer frente al friaje y a las inundaciones.
- Según el análisis hidrológico se obtuvo un caudal y nivel de diseño para un periodo de retorno de 100 años los cuales fueron: caudal de 1295.80m³/s y un nivel de 3812.37m.s.n.m.
- El modelamiento bidimensional fue analizado mediante la información satelital (Satélite ASTER) debido a que el área de estudio es muy extensa y la disposición económica fue limitada, caso contrario se hubiese empleado un vehículo aéreo no tripulado (LIDAR) para obtener una mayor precisión de la topografía de la superficie del terreno.
- Del modelamiento bidimensional también se puede concluir lo siguiente: el ajuste de los parámetros empleados por el programa HEC-RAS2D fueron obtenidos de la huella de agua en las viviendas dejadas por las inundaciones antes ocurridas: enmallado cada 12 metros, un hidrograma con el caudal máximo instantáneo como pico, un tiempo computacional de 6 segundos para obtener un número de Courant de 1 y obtener un flujo más cercano a la realidad.
- Luego del modelamiento bidimensional se obtuvieron los niveles de inundación que afectan a cada centro poblado. En la Tabla N°20 siguiente se puede apreciar que los centros poblados más afectados son: Santa Rosa de Huayllata, Sullca. Choq. Corpa Flores, Jilacatura, sullcacatura II y Rosacani.

- El modelamiento unidimensional fue realizado con la extensión del programa HEC-RAS2D, que también tiene la función de modelar mediante la creación de secciones transversales usando la ecuación de Bernoulli (ecuación de la conservación de la energía) y la ecuación de continuidad. Para este tipo de modelamiento se tiene que colocar el número de Courant, donde para un número de Courant = 1, el tiempo computacional resulta 125 segundos.
- Se efectuó una simulación en HEC-RAS2D donde se calculó un nivel de agua máximo de 3 m para los centros poblados estudiados.
- Para el cálculo de socavación general y de contracción se ha empleado el método de Lischtvan – Levediev. La altura de socavación resultó ser $Y_{si}=0.50$ m, por lo tanto, trabajaremos con una profundidad de cimentación de 50 cm para la protección de la isla.
- Se evaluó 5 alternativas de solución de las cuales se eligió la alternativa 1: Islas con gaviones rectangulares y forradas con geotextil, dado que presentó mayor índice de sustentabilidad.
- De la elección de la alternativa de solución frente a las inundaciones, se eligió las viviendas sostenibles tipo islas protegidas con gaviones forrados con geotextil y rellenas con terreno natural semicompactada del tipo A, B y C. Tomando en consideración para esta elección la durabilidad del proyecto, y el desarrollo continuo de la población.
- Se estableció que la construcción de las islas sea con arcillas limosas, limos arenosas y arena con grava, con capas cada 30cm compactadas con una densidad no menor al 95% de la densidad máxima y con un talud de relleno de 1V:2H previamente a un desbroce del terreno natural de 20cm.
- Se planteó para la protección, debido a la erosión que provoca la inundación, emplear el terreno natural de la zona (por la escasa presencia de piedras en los alrededores). Se planteó usar gaviones forrados con geotextil rellenos con el terreno natural compactados.
- Para el diseño de las islas se consideró un borde libre de 1 m, por lo cual la altura máxima de la isla sería de 4 m, una profundidad de cimentación de 0.5 m, y un área funcional de la isla de 1600 m².
- Se diseñó islas protegidas ante la erosión y sobre ellas una distribución de áreas donde el poblador pueda vivir cómodamente de acuerdo a sus necesidades.

- Para el diseño de la vivienda sostenible se ha considerado implementar un sistema conjunto dentro de la vivienda, constituido por los dormitorios, la sala y comedor, la cocina y los baños. Se ha establecido que el material de construcción para estos ambientes sea de adobe reforzado con carrizos o acero, las ventanas serian de triple luna con marcos de madera, las puertas serian de madera y ubicadas estratégicamente de acuerdo a la dirección del viento, por último, los techos serán protegidos con vigas de madera cubierto con planchas de triplay, luego se colocaran las calaminas donde se clavarán conjuntamente con las plantas de triplay y las vigas de madera, y con su respectiva canaleta para las lluvias.
- Las viviendas serán abastecidas con agua potable a través del bombeo de agua del nivel freático, la cual será almacenada en un tanque elevado para luego ser distribuido a los ambientes correspondientes.
- Para el abastecimiento de la energía eléctrica se ha considerado utilizar 2 paneles solares ubicados estratégicamente según la posición del sol, para nuestro proyecto se ha colocado encima del corral de animales.
- Respecto al tratamiento de las aguas residuales, se consideró colocar un sistema integrado conformado por un pozo séptico prefabricado que estará ubicado en el área libre de la isla, y la tubería de infiltración que será colocada aproximadamente a 50 m del radio del pozo de bombeo, con la finalidad de no contaminar las aguas extraídas.
- El corral está distribuido estratégicamente con 8 ambientes (4 ambientes de 3mx3m y 4 ambientes de 3mx4m) y un pasadizo principal (de 4mx7m) para el descanso de los animales. Este corral estará construido de adobe reforzado, 2 ventanas de madera y techo similar al de la vivienda y al vivero.

Del funcionamiento del sistema de la vivienda sostenible tipo isla se puede concluir lo siguiente: Esta alternativa de solución es un sistema integrado que busca brindar protección a los pobladores frente a los principales problemas causados por la inundación, el friaje y la sequía. Se ha buscado una solución en la que los pobladores puedan hacer frente a estos problemas y que a su vez sea económica, adaptado a su estilo de vida, amigable con el medio ambiente, y duradera con lo cual permita el desarrollo de la región.

- Según el análisis económico comparativo, se concluye que los gaviones propuestos y el movimiento de tierra elevarían los costos de construcción; sin embargo, resulta ser más económico a largo plazo comparado con otras alternativas de solución. Y además que, con un adecuado plan estratégico, por parte de los habitantes, esta zona lograría ser una zona turística y de esta manera incrementar el ingreso económico de la región.
- Como principal beneficio social, el poblador podrá sentirse protegido frente a los fenómenos naturales, como el friaje e inundaciones, que dañan a su familia, vivienda, cultivos y animales. Esto permitirá una mayor adaptabilidad frente a los eventos ya mencionados, y un pronto desarrollo de la zona.
- Los beneficios ambientales son: el empleo de la mayoría de los recursos propios de la región para la construcción del proyecto, lo cual contribuye a la menor alteración posible del ecosistema de la zona.
- El costo aproximado del proyecto es de S/247,608.00. Donde el costo de la isla es de S/177,608.00, y el costo de la vivienda sostenible más el invernadero y corral es de S/70,000.00. Estos costos han sido calculando considerando los materiales que se usaran tanto para la protección y conformación de la isla como para la vivienda, invernadero, corral de animales e instalaciones principales, (se ha considerado para una altura de isla de 4 metros).
- Las partidas que elevan el costo son los geo sintéticos, los paneles solares, el sistema de bombeo y el pozo séptico prefabricado. Por lo cual si el estado se compromete a ayudar con los materiales y una adecuada capacitación se podría reducir significativamente este costo.
- Como conclusión final, la presente investigación ha logrado cumplir con los objetivos planteados inicialmente; sin embargo, la principal razón del presente estudio fue contribuir a la solución de las consecuencias causadas por la inundación y el friaje, que afectan en gran manera a la seguridad de los pobladores y al desarrollo de la región.

RECOMENDACIONES

- Respecto a la visita de campo: se recomienda realizar un levantamiento topográfico de la zona de estudio empleando un vehículo aéreo no tripulado (Lidar), para lograr una mayor precisión de la superficie del terreno. Es recomendable también realizar un tipo de muestreo probabilístico para obtener una mejor visión de la realidad de los pobladores; sin embargo, implicaría mayores costos de inspección.
- Para el modelamiento unidimensional: se recomienda tener la topografía más a detalle, recomendable por estación total o mediante LIDAR (Light Detection and Ranging), también se recomienda sacar las secciones más cerca para un mejor análisis.
- Del modelamiento bidimensional se recomienda usar una topografía más detallada de preferencia usar el LIDAR (Light Detection and Ranging) para drones, el cual tiene una exactitud 2.5 cm y 10 cm y un mapeo bajo la vegetación. Otra recomendación importante que se debe tener en cuenta es al momento de colocar el tiempo de computación para el análisis bidimensional correcto según el análisis sugerido ya que puede resultar resultados incoherentes.
- Para el cálculo de socavación: Se recomienda realizar el análisis considerando la dirección del flujo de la llanura de inundación y la forma de la estructura diseñada.
- De la alternativa de solución, para la protección de la cara húmeda de la isla se recomienda que en los casos que la altura de la isla sea menor a 1m, colocar solo costales rellenas de terreno natural libre de material orgánico alrededor de las viviendas ya que no muy afectados por las inundaciones.
- Respecto al diseño de la vivienda sostenible: si en caso el material propuesto de la vivienda es costoso para el poblador, se puede optar por algún otro material que este en disponibilidad del usuario, pero que cumpla con la funcionalidad del sistema.
- Para el diseño del vivero: sería recomendable emplear muros de adobe y techo de plástico transparente ya que funciona muy bien para las plantas y es económica.
- Esta alternativa de solución es solo aplicable en las zonas propensas a inundación, en caso de no haya presencia de inundaciones lo recomendable

seria implementar solamente las infraestructuras establecidas, y no la isla, para solucionar los problemas de friaje y sequía.

BIBLOGRAFÍA

1. Bell, J., & Stathaki, E. La Nueva Casa Funcional, Diseños y Procesos Sostenibles con una Estética Directa y Franca. España, Editorial Blume. 2010.
2. Berrocal, R. Propuestas para un protocolo de diseño de puentes sobre cauces naturales en el Perú. Lima Perú, 2016.
3. Castellanos Sullca, J. F. Muros con Suelo Reforzado Proceso Constructivo. Lima-Perú, 2007.
4. Centro Nacional de Prevención de Desastres. Inundaciones. México. 2004.
5. Chow Ven Te. Hidráulica de canales abiertos. Editorial McGraw-Hill, Illinois, USA 1994.
6. Chow Ven Te; Maidment, David R.; Mays, Larry W. Hidrología aplicada, Editorial McGraw-Hill, Illinois, USA 1994.
7. Clark, Grahame. Arqueología y Sociedad. Madrid, España. 1980.
8. Costa, Sergie. La casa ecológica: Ideas Prácticas Para un Hogar Ecológico y Saludable. Barcelona – España. 2010.
9. Flores, A. Propuesta y análisis de diseño de defensas ribereñas en el río llave zona rural C.P. Santa Rosa de Huayllata-llave. Puno-Perú, 2015.3
10. Galloso, María del Pilar; Pacheco, Orlando. Tipologías de Vivienda Alpaquera Altoandina como Base para Creación de Nuevos Modelos. Puno – Perú. 2016.
11. García Jesús y Maza José, Manual de ingeniería de ríos, Capítulo 11 Morfología de ríos, instituto de ingeniería de la universidad Autónoma de México (UNAM), México D.C., 1997
12. Guillón, Darwin. Muros de suelo reforzado con sistema Terramesh en planta de trituración. Maccaferri América Latina. Lima – Perú. 2016.
13. Hooimeijer, Fransje.L. The New Dutch Polder City. The Netherlands. 2008.
14. Huanca, A. C., & Choquehuanca, H. M. Las inundaciones en Huancané. Puno-Perú. 2008.
15. Instituto Nacional de Recursos Naturales y Universidad Nacional Agraria la Molina. Estudio Sobre el Clima, Hidrología, Sequia e Inundaciones en los Departamentos de Tacna, Moquegua y Puno. Lima - Perú. 1998.

16. Lluén W. Aplicación de la nueva herramienta HEC – RAS 5.0 para cálculos bidimensionales del flujo de aguas en ríos. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, 2015.
17. Ministerio de Agricultura y Riego. Evaluación de los Recursos Hídricos en la cuenca del Rio llave. Puno–Perú. 2009
18. Ministerio de Agricultura y Riego. Proyecto de Recuperación de Suelos Mejoramiento de Carreteras y Defensas Ribereñas. Puno. 1988.
19. Ministerio de Transporte y Comunicaciones. Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje, Editorial Macro E.I.R.L., Lima 2011.
20. Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento. Norma E. 080 Diseño y Construcción con tierra reforzada. El peruano. Lima, 2017.
21. Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento. Norma E. 030 Diseño sismorresistente. El peruano. Lima, 2018.
22. Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento. Norma OS.100 consideraciones básicas de diseño de infraestructura sanitaria. El peruano. Lima, 2006.
23. Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales. Inventario y Evaluación Nacional de Aguas Superficiales. Lima – Perú, 1980.
24. Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales. Plan Nacional de Ordenamiento de los Recursos Hidráulicos – Republica del Perú: Bases Metodológicas. Lima – Perú, 1976.
25. Organización Meteorológica Mundial. Glosario Hidrológico Internacional. UNESCO, 2012.
26. Palacios, José L., La Casa Ecológica: Cómo Construir. Trillas, México. 2011.
27. Schoubroeck, Frank. V.; Kool, Harm. The Remarkable History of Polder Systems in The Netherlands. Tiel, The Netherlands, 2010.
28. Schreider M. & Scacchi G. Aplicación del método de Lischtvan y Levediev al cálculo de la erosión general. Universidad Nacional del Litoral. Argentina, 2001.
29. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. Boletín Regional Hidrometeorológico y Agrometeorológico Puno. Puno, Perú. 2017-2018.
30. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. Caracterización hidroclimática, Modelización hidrológica y eventos extremos en las cuencas de los ríos Coata e llave. Puno, Perú. 2013.

31. Unión Interamericana para la Vivienda. Ciudad, Vivienda Social y Suelo Urbano. Lima – Perú. 2013.
32. Unión Interamericana para la Vivienda. Haciendo Ciudades Sostenibles. Lima – Perú. 2011.
33. Vide Juan P. Martin, Ingeniería de ríos, Ediciones UPC Universidad Pontifica de Cataluña, Barcelona, España, 2003.
34. Weber Juan F., Hidráulica del transporte de sedimentos, Apuntes de Hidrología Universidad Nacional de Córdoba, 2003.

ANEXOS

**ANEXO A: HIDROLOGÍA
ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL
CAUDAL DEL RIO ILAVE**

Distribution	Probability Density Function	Range	Parameters
Normal	$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)$	$-\infty \leq x \leq \infty$	μ, σ $\mu = \bar{x}, \sigma = s_x$
Lognormal	$f(x) = \frac{1}{x \sigma_y \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\log y - \mu_y)^2}{2\sigma_y^2}\right)$ where $y = \log x$	$x > 0$	μ_y, σ_y $\mu_y = \bar{y}, \sigma_y = s_y$
Gamma	$f(x) = \frac{\gamma^\beta x^{\beta-1} e^{-\gamma x}}{\Gamma(\beta)}$ where $\Gamma = \gamma$ function	$x \geq 0$	λ, β $\beta = \left(\frac{\bar{x}}{s_x}\right)^2; \lambda = \frac{\bar{x}}{s_x^2}$ λ, β, ϵ
Pearson Type III (three parameter gamma).	$f(x) = \frac{\gamma^\beta (x-\epsilon)^{\beta-1} e^{-\gamma(x-\epsilon)}}{\Gamma(\beta)}$	x, ϵ	$\lambda = \frac{S_y}{\sqrt{P}}; \beta = \left(\frac{2}{C_v}\right)^2$ $\epsilon = \bar{x} - s_x \sqrt{\beta}$
Log Pearson Type III	$f(x) = \frac{\gamma^\beta (y-\epsilon)^{\beta-1} e^{-\gamma(y-\epsilon)}}{x \Gamma(\beta)}$ where $y = \log x$	$\log x, \epsilon$	λ, β, ϵ $\lambda = s_y / \sqrt{\beta}; \beta = \left[\frac{2}{C_v}\right]^2$ $\epsilon = \bar{y} - s_y \sqrt{\beta}$
Extreme Value Type I	$f(x) = \frac{1}{\alpha} \exp\left[-\frac{x-u}{\alpha} - \exp\left(-\frac{x-u}{\alpha}\right)\right]$	$-\infty < x < \infty$	α, u $\alpha = \frac{\sqrt{6} s_x}{\pi}$ $u = \bar{x} - 0.5772\alpha$

PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA EMPIRICA

DATOS DE CAUDALES:

Año	Qint24h anual (m3/s)
1960	334
1961	201
1962	614
1963	935
1964	222
1965	83
1966	71
1967	497
1968	354
1969	358
1970	409
1971	570
1972	394
1973	592
1974	879
1975	831
1976	752
1977	390
1978	530
1979	273
1980	613
1981	544
1982	771
1983	53
1984	883
1985	465
1986	1088
1987	685
1988	426
1989	225
1990	61
1991	194
1992	83
1993	109
1994	441
1995	105
1996	151
1997	379
1998	51
1999	144
2000	193
2001	1307
2002	355
2003	151
2004	467
2005	360
2006	550
2007	184



Datos ordenados		Probabilidad de excedencia empirica
m	Qint24h (m3/s)	P (Q)
1	1307	0.980
2	1088	0.959
3	935	0.939
4	883	0.918
5	879	0.898
6	831	0.878
7	771	0.857
8	752	0.837
9	685	0.816
10	614	0.796
11	613	0.776
12	592	0.755
13	570	0.735
14	550	0.714
15	544	0.694
16	530	0.673
17	497	0.653
18	467	0.633
19	465	0.612
20	441	0.592
21	426	0.571
22	409	0.551
23	394	0.531
24	390	0.510
25	379	0.490
26	360	0.469
27	358	0.449
28	355	0.429
29	354	0.408
30	334	0.388
31	273	0.367
32	225	0.347
33	222	0.327
34	201	0.306
35	194	0.286
36	193	0.265
37	184	0.245
38	151	0.224
39	151	0.204
40	144	0.184
41	109	0.163
42	105	0.143
43	83	0.122
44	83	0.102
45	71	0.082
46	61	0.061
47	53	0.041
48	51	0.020

N = 48 **N° de Datos**
X = 423.5 **m 3/s** **Media**
S = 294.6 **m 3/s** **Desviación Estándar**
C.A. = 0.89 **Coefficiente de Asimetria**

A continuación se pasa al análisis estadístico para distintas funciones de probabilidad:

DISTRIBUCIÓN GUMBEL (EXTREMA TIPO I)

DISTRIBUCIÓN GUMBEL (EXTREMA TIPO I) :

m	Q _{max24h} (m3/s)	P (Q)	F (Z)	F(Z)- P(Q)
1	1307	0.980	0.988	0.009
2	1088	0.959	0.969	0.010
3	935	0.939	0.941	0.002
4	883	0.918	0.927	0.008
5	879	0.898	0.926	0.028
6	831	0.878	0.909	0.032
7	771	0.857	0.884	0.027
8	752	0.837	0.875	0.038
9	685	0.816	0.836	0.019
10	614	0.796	0.783	0.013
11	613	0.776	0.782	0.006
12	592	0.755	0.764	0.009
13	570	0.735	0.743	0.009
14	550	0.714	0.724	0.010
15	544	0.694	0.717	0.023
16	530	0.673	0.703	0.029
17	497	0.653	0.665	0.012
18	467	0.633	0.628	0.004
19	465	0.612	0.626	0.014
20	441	0.592	0.594	0.002
21	426	0.571	0.574	0.003
22	409	0.551	0.550	0.001
23	394	0.531	0.528	0.003
24	390	0.510	0.522	0.012
25	379	0.490	0.506	0.016
26	360	0.469	0.477	0.007
27	358	0.449	0.473	0.024
28	355	0.429	0.469	0.041
29	354	0.408	0.468	0.060
30	334	0.388	0.436	0.048
31	273	0.367	0.340	0.028
32	225	0.347	0.263	0.084
33	222	0.327	0.259	0.068
34	201	0.306	0.228	0.078
35	194	0.286	0.218	0.068
36	193	0.265	0.217	0.048
37	184	0.245	0.203	0.042
38	151	0.224	0.159	0.066
39	151	0.204	0.159	0.045
40	144	0.184	0.150	0.034
41	109	0.163	0.110	0.053
42	105	0.143	0.105	0.038
43	83	0.122	0.084	0.038
44	83	0.102	0.084	0.018
45	71	0.082	0.074	0.008
46	61	0.061	0.065	0.004
47	53	0.041	0.060	0.019
48	51	0.020	0.058	0.038

N = 48
 X = 423.5 m3/s
 S = 294.6 m3/s

N° de Datos
 Media
 Desviación Estándar

$\mu_y =$ 0.5476
 $\sigma_y =$ 1.1571
 $\alpha =$ 0.00
 $\beta =$ 290.90

Del Análisis obtenemos que:

Dc = 0.084 Estadístico de Smirnov-Kolgomorov

De Tabla para el Nro de Datos y α considerados:

Dt = 0.192

$\alpha =$ 5

% Nivel de Significancia

→ Como Dc < Dt, entonces el Registro de Caudales SI se ajusta a la Distribucion Gumbel para el nivel de sianficancia dado.

DISTRIBUCIÓN PEARSON III

DISTRIBUCIÓN PEARSON III :

m	Q _{max24h} (m3/s)	P (Q)	K	F (K)	F(K)- P(Q)
1	1307	0.980	11.699	0.991	0.011
2	1088	0.959	10.039	0.971	0.012
3	935	0.939	8.873	0.941	0.002
4	883	0.918	8.478	0.925	0.006
5	879	0.898	8.451	0.923	0.025
6	831	0.878	8.085	0.905	0.028
7	771	0.857	7.634	0.877	0.020
8	752	0.837	7.489	0.867	0.030
9	685	0.816	6.980	0.825	0.009
10	614	0.796	6.443	0.770	0.026
11	613	0.776	6.432	0.769	0.007
12	592	0.755	6.275	0.750	0.005
13	570	0.735	6.106	0.729	0.006
14	550	0.714	5.957	0.709	0.005
15	544	0.694	5.909	0.703	0.009
16	530	0.673	5.804	0.688	0.014
17	497	0.653	5.549	0.650	0.003
18	467	0.633	5.323	0.614	0.018
19	465	0.612	5.313	0.613	0.000
20	441	0.592	5.123	0.581	0.011
21	426	0.571	5.014	0.562	0.010
22	409	0.551	4.886	0.539	0.012
23	394	0.531	4.767	0.518	0.013
24	390	0.510	4.741	0.513	0.003
25	379	0.490	4.658	0.498	0.008
26	360	0.469	4.512	0.470	0.001
27	358	0.449	4.494	0.467	0.018
28	355	0.429	4.474	0.463	0.034
29	354	0.408	4.467	0.462	0.053
30	334	0.388	4.312	0.432	0.044
31	273	0.367	3.854	0.343	0.025
32	225	0.347	3.485	0.272	0.075
33	222	0.327	3.462	0.267	0.059
34	201	0.306	3.308	0.239	0.067
35	194	0.286	3.255	0.229	0.056
36	193	0.265	3.249	0.228	0.037
37	184	0.245	3.175	0.215	0.030
38	151	0.224	2.925	0.172	0.052
39	151	0.204	2.925	0.172	0.032
40	144	0.184	2.873	0.164	0.020
41	109	0.163	2.609	0.124	0.039
42	105	0.143	2.574	0.119	0.024
43	83	0.122	2.410	0.097	0.025
44	83	0.102	2.410	0.097	0.005
45	71	0.082	2.317	0.086	0.004
46	61	0.061	2.241	0.077	0.016
47	53	0.041	2.181	0.071	0.030
48	51	0.020	2.168	0.069	0.049

N = 48

X = 423.5 m3/s

S = 294.6 m3/s

N° de Datos

Media

Desviación Estándar

Ag = 0.89

 $\delta = 4.99$ $\beta = 131.81$ $X_0 = -234.80$

GDL = 10.0

Del Análisis obtenemos que:

Dc = 0.075

Estadístico de Smirnov-Kolgomorov

 $\alpha = 5$

% Nivel de Significancia

De Tabla para el Nro de Datos y α considerados:

Dt = 0.192

→ Como Dc < Dt, entonces el Registro de Caudales SI se ajusta a la Distribucion Pearson III para el nivel de significancia dado.

DISTRIBUCIÓN LOG PEARSON III

DISTRIBUCIÓN LOG PEARSON III :

m	Log(Q _{max24h})	P (Q)	K	F (K)	F(K)- P(Q)
1	3.116	0.980	17.093	0.937	0.042
2	3.037	0.959	16.362	0.914	0.045
3	2.971	0.939	15.755	0.889	0.050
4	2.946	0.918	15.527	0.879	0.040
5	2.944	0.898	15.510	0.878	0.020
6	2.920	0.878	15.285	0.866	0.011
7	2.887	0.857	14.989	0.850	0.007
8	2.876	0.837	14.889	0.844	0.007
9	2.836	0.816	14.516	0.821	0.004
10	2.788	0.796	14.081	0.790	0.006
11	2.787	0.776	14.072	0.790	0.014
12	2.773	0.755	13.935	0.779	0.024
13	2.756	0.735	13.782	0.767	0.033
14	2.741	0.714	13.643	0.756	0.042
15	2.736	0.694	13.596	0.752	0.058
16	2.724	0.673	13.494	0.743	0.070
17	2.696	0.653	13.232	0.721	0.067
18	2.669	0.633	12.985	0.698	0.065
19	2.668	0.612	12.974	0.697	0.084
20	2.644	0.592	12.754	0.675	0.084
21	2.629	0.571	12.621	0.662	0.091
22	2.612	0.551	12.460	0.646	0.095
23	2.595	0.531	12.305	0.629	0.099
24	2.591	0.510	12.269	0.625	0.115
25	2.579	0.490	12.156	0.613	0.124
26	2.556	0.469	11.947	0.590	0.121
27	2.553	0.449	11.922	0.588	0.139
28	2.550	0.429	11.893	0.584	0.156
29	2.549	0.408	11.882	0.583	0.175
30	2.523	0.388	11.645	0.556	0.168
31	2.437	0.367	10.849	0.461	0.094
32	2.351	0.347	10.065	0.366	0.019
33	2.345	0.327	10.012	0.359	0.033
34	2.304	0.306	9.628	0.314	0.008
35	2.288	0.286	9.488	0.297	0.012
36	2.287	0.265	9.471	0.295	0.030
37	2.264	0.245	9.265	0.272	0.027
38	2.178	0.224	8.476	0.188	0.036
39	2.178	0.204	8.476	0.188	0.016
40	2.158	0.184	8.291	0.171	0.013
41	2.038	0.163	7.186	0.084	0.079
42	2.019	0.143	7.015	0.074	0.069
43	1.919	0.122	6.092	0.032	0.090
44	1.918	0.102	6.086	0.032	0.070
45	1.849	0.082	5.448	0.016	0.066
46	1.782	0.061	4.841	0.007	0.054
47	1.722	0.041	4.287	0.003	0.038
48	1.708	0.020	4.153	0.002	0.018

N = 48
 X = 2.500 m3/s
 S = 0.368 m3/s

Nº de Datos
 Media
 Desviación Estándar

Ag = -0.59
 δ = 11.43
 β = 0.11
 Xo = 1.26
 GDL = 23.0

Del Análisis obtenemos que:

Dc = 0.175

Estadístico de Smirnov-Kolgomorov

De Tabla para el Nro de Datos y α considerados:

α = 5

% Nivel de Significancia

Dt = 0.192

→ Como Dc < Dt, entonces el Registro de Caudales SI se ajusta a la Distribucion Log Pearson III para el nivel de significancia dado.

PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE: SMIRNOV - KOLGOMOROV

Ahora, habiéndose realizado los cálculos respectivos de la Prueba de Bondad de Ajuste de Smirnov-Kolgomorov, se pasa a analizar en base a un criterio de orden de ajuste, cual es la función de probabilidad que mejor se ajusta (estadísticamente) a los datos. Así entonces se tiene que:

Funcion Probabilística	Prueba: Smirnov-Kolgomorov			
	Dc	Dt	¿ Se ajusta ?	Orden Ajuste
Normal	0.097	0.192	SI	3
Log Normal II	0.145	0.192	SI	4
Gumbel (EVI)	0.084	0.192	SI	2
Pearson III	0.075	0.192	SI	1
Log Pearson III	0.175	0.192	SI	5

CONCLUSIÓN:

La Función de Probabilidad que mejor se ajusta estadísticamente al Registro de Datos de Caudales Máximas de 24 horas de la Estación Hidrométrica analizada, es :

Pearson III

Sin embargo no se trata de encontrar aquella función que mejor se ajuste estadísticamente a los datos, sino de encontrar una función representativa de los máximos que puedan ocurrir en la zona, por ende en base a la Tabla Resumen de máximos para cada función (ver más adelante) y por experiencia del consultor, se ha decidido que la base estadística para estimar máximos sea la función:

Estación: Probabilidad de → Pearson III

ESTIMACIÓN DE CAUDALES MÁXIMAS INSTANTANEOS PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO

RESUMEN DE CAUDALES MÁXIMAS INSTANTANEOS:

Período de Retorno (Tr años)	Caudales máximos instantaneos de 24 horas (m3/s)				
	Normal	Log Normal II	Gumbel (EVI)	Pearson III	Log Pearson III
2	423	316	375	380	343
5	671	645	635	649	653
10	801	937	808	817	875
20	908	1275	973	970	1091
25	939	1394	1026	1017	1159
50	1028	1803	1187	1159	1368
100	1109	2271	1347	1296	1571
150	1152	2576	1441	1374	1688
175	1168	2698	1476	1403	1731
200	1182	2806	1507	1428	1769
500	1271	3626	1718	1599	2021
1000	1334	4340	1877	1726	2205

Si bien se puede estimar los Caudales máximas instantaneos futuras para diferentes funciones de probabilidades, solo se trabaja con aquella función que mejor representa a los máximos, esto ya se determinó al aplicar la Prueba de Bondad de Ajuste. Entonces se presenta a continuación la función de probabilidad escogida y sus caudales máximas futuras para diferentes periodos de retorno, para la estación en estudio:

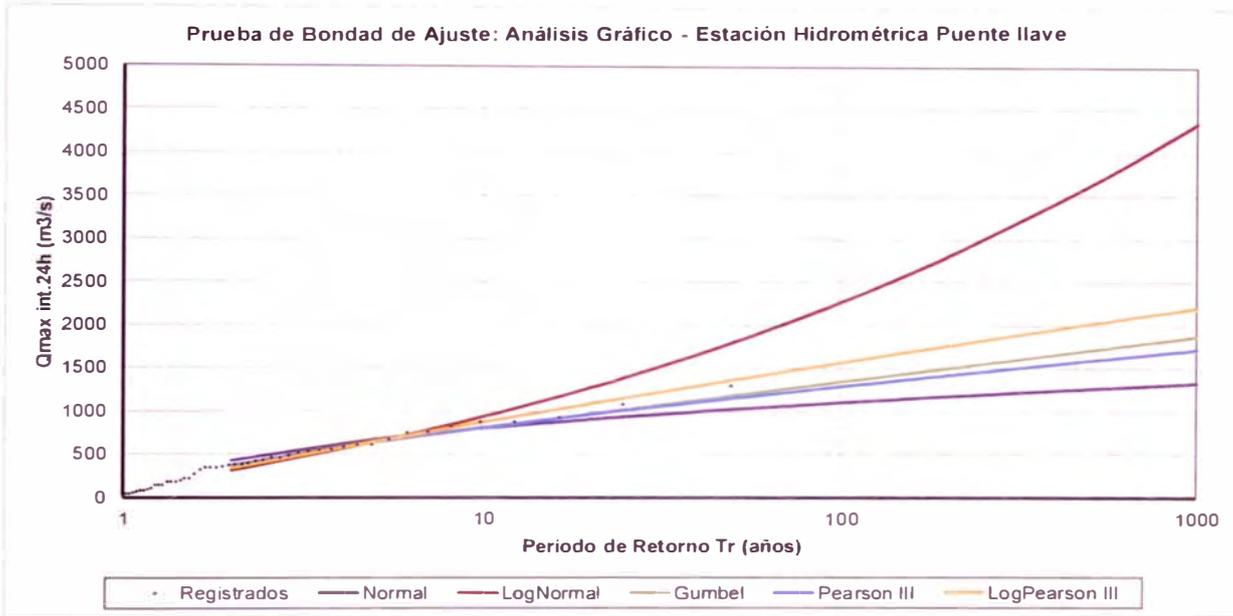
Estación: **Probabilidad de excedencia**

Tr años	Q _{int24h} (m3/s)
	Pearson III
2	380.50
5	649.17
10	816.60
20	969.79
25	1017.04
50	1159.16
100	1295.80
150	1373.80
175	1403.14
200	1428.42
500	1599.12
1000	1725.57

* Máximo Registrado: **1307** m3/s

PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE: ANÁLISIS GRÁFICO

COMPARACIÓN DE DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD :



**ANEXO B: HIDROLOGÍA
ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL
LAGO TITICACA**

Estación Hidrométrica desaguadero de Niveles mínimos y máximos anuales (1928-1985)

AÑO HIDROLOGICO	MINIMO	MÁXIMO	
1928	1929	3808.5	3809.33
1929	1930	3808.55	3809.64
1930	1931	3809.12	3810.05
1931	1932	3809.09	3810.62
1932	1933	3809.76	3810.85
1933	1934	3809.82	3810.79
1934	1935	3809.8	3810.44
1935	1936	3809.37	3809.59
1936	1937	3808.65	3809.44
1937	1938	3808.55	3808.81
1938	1939	3807.96	3808.69
1939	1940	3807.11	3808.11
1940	1941	3806.65	3807.47
1941	1942	3806.25	3807.04
1942	1943	3806.89	3806.5
1943	1944	3805.89	3806.77
1944	1945	3806.13	3806.25
1945	1946	3806.17	3806.9
1946	1947	3806.36	3807.79
1947	1948	3807.14	3807.72
1948	1949	3807.14	3808.53
1949	1950	3808	3808.83
1950	1951	3808.13	3808.93
1951	1952	3808.24	3808.89
1952	1953	3808.1	3808.8
1953	1954	3808.13	3809.58
1954	1955	3809	3809.96
1955	1956	3809.22	3809.8
1956	1957	3808.95	3808.96
1957	1958	3808.19	3808.97
1958	1959	3808.19	3808.83
1959	1960	3808.13	3809.37
1960	1961	3808.84	3809.45
1961	1962	3808.94	3810.17
1962	1963	3809.39	3810.95
1963	1964	3810.2	3810.62
1964	1965	3809.7	3810.19
1965	1966	3809.42	3809.47
1966	1967	3808.47	3809.26
1967	1968	3808.46	3809.24
1968	1969	3808.62	3809.15
1969	1970	3808.18	3808.86
1970	1971	3808.12	3809.11
1971	1972	3808.27	3809.94
1972	1973	3808.21	3809.3
1973	1974	3808.69	3810.06
1974	1975	3809.36	3810.38
1975	1976	3809.7	3810.73
1976	1977	3809.86	3810.46
1977	1978	3809.73	3810.66
1978	1979	3810.06	3810.91
1979	1980	3810.08	3810.56
1980	1981	3809.77	3810.77
1981	1982	3810.03	3810.69
1982	1983	3809.96	3809.93
1983	1984	3808.97	3810.69
1984	1985	3809.93	3811.04
1985	1986	3810.47	3812.25

Fuente : Autoridad Nacional del Agua

Distribution	Probability Density Function	Range	Parameters
Normal	$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)$	$-\infty \leq x \leq \infty$	μ, σ $\mu = \bar{x}, \sigma = s_x$
Lognormal	$f(x) = \frac{1}{x\sigma_y\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(y-\mu_y)^2}{2\sigma_y^2}\right)$ <p>where $y = \log x$</p>	$x > 0$	μ_y, σ_y $\mu_y = \bar{y}; \sigma_y = s_y$
Gamma	$f(x) = \frac{\gamma^\beta x^{\beta-1} e^{-\gamma x}}{\Gamma(\beta)}$ <p>where $\Gamma = \gamma$ function</p>	$x \geq 0$	λ, β, ϵ $\lambda, \beta, \epsilon = \left(\frac{\bar{x}}{s_x}\right)^2; \lambda = \frac{\bar{x}}{s_x^2}$
Pearson Type III (three parameter gamma).	$f(x) = \frac{\gamma^\beta (x-\epsilon)^{\beta-1} e^{-\gamma(x-\epsilon)}}{\Gamma(\beta)}$	x, ϵ	λ, β, ϵ $\lambda = \frac{S_y}{\sqrt{P}}; \beta = \left(\frac{2}{C_v/2}\right)^2$ $\epsilon = \bar{x} - s_x \sqrt{\beta}$
Log Pearson Type III	$f(x) = \frac{\gamma^\beta (y-\epsilon)^{\beta-1} e^{-\gamma(y-\epsilon)}}{x \Gamma(\beta)}$ <p>where $y = \log x$</p>	$\log x, \epsilon$	λ, β, ϵ $\lambda = s_y / \sqrt{\beta}; \beta = \left[\frac{2}{C_v}\right]^2$ $\epsilon = \bar{y} - s_y \sqrt{\beta}$
Extreme Value Type I	$f(x) = \frac{1}{\alpha} \exp\left[-\frac{x-\mu}{\alpha} - \exp\left(-\frac{x-\mu}{\alpha}\right)\right]$	$-\infty < x < \infty$	α, μ $\alpha = \frac{\sqrt{6} s_x}{\pi}$ $\mu = \bar{x} - 0.5772\alpha$

PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA EMPIRICA

DATOS DE NIVELES:

Año	Nmax anual (msnm)
1928	3809
1929	3810
1930	3810
1931	3811
1932	3811
1933	3811
1934	3810
1935	3810
1936	3809
1937	3809
1938	3809
1939	3808
1940	3807
1941	3807
1942	3807
1943	3807
1944	3806
1945	3807
1946	3808
1947	3808
1948	3809
1949	3809
1950	3809
1951	3809
1952	3809
1953	3810
1954	3810
1955	3810
1956	3809
1957	3809
1958	3809
1959	3809
1960	3809
1961	3810
1962	3811
1963	3811
1964	3810
1965	3809
1966	3809
1967	3809
1968	3809
1969	3809
1970	3809
1971	3810
1972	3809
1973	3810
1974	3810
1975	3811
1976	3810
1977	3811
1978	3811
1979	3811
1980	3811
1981	3811
1982	3810
1983	3811
1984	3811
1985	3812



Datos ordenados		Probabilidad de excedencia empirica
m	Nmax (msnm)	P (Q)
1	3812	0.983
2	3811	0.966
3	3811	0.949
4	3811	0.932
5	3811	0.915
6	3811	0.898
7	3811	0.881
8	3811	0.864
9	3811	0.847
10	3811	0.831
11	3811	0.814
12	3811	0.797
13	3811	0.780
14	3811	0.763
15	3810	0.746
16	3810	0.729
17	3810	0.712
18	3810	0.695
19	3810	0.678
20	3810	0.661
21	3810	0.644
22	3810	0.627
23	3810	0.610
24	3810	0.593
25	3810	0.576
26	3810	0.559
27	3810	0.542
28	3810	0.525
29	3809	0.508
30	3809	0.492
31	3809	0.475
32	3809	0.458
33	3809	0.441
34	3809	0.424
35	3809	0.407
36	3809	0.390
37	3809	0.373
38	3809	0.356
39	3809	0.339
40	3809	0.322
41	3809	0.305
42	3809	0.288
43	3809	0.271
44	3809	0.254
45	3809	0.237
46	3809	0.220
47	3809	0.203
48	3809	0.186
49	3809	0.169
50	3808	0.153
51	3808	0.136
52	3808	0.119
53	3807	0.102
54	3807	0.085
55	3807	0.068
56	3807	0.051
57	3807	0.034
58	3806	0.017

N = 58 **N° de Datos**
X = 3809.4 **msnm** **Media**
S = 1.3 **msnm** **Desviación Estándar**
C.A. = -0.63 **Coficiente de Asimetría**

A continuación se pasa al análisis estadístico para distintas funciones de probabilidad:

DISTRIBUCIÓN GUMBEL (EXTREMA TIPO I)

DISTRIBUCIÓN GUMBEL (EXTREMA TIPO I) :

m	N _{max} (msnm)	P (Q)	F (Z)	F(Z)- P(Q)
1	3812	0.983	0.969	0.015
2	3811	0.966	0.896	0.070
3	3811	0.949	0.887	0.062
4	3811	0.932	0.883	0.050
5	3811	0.915	0.876	0.040
6	3811	0.898	0.868	0.030
7	3811	0.881	0.866	0.016
8	3811	0.864	0.861	0.004
9	3811	0.847	0.855	0.008
10	3811	0.831	0.855	0.025
11	3811	0.814	0.851	0.038
12	3811	0.797	0.846	0.049
13	3811	0.780	0.846	0.066
14	3811	0.763	0.837	0.074
15	3810	0.746	0.821	0.075
16	3810	0.729	0.817	0.089
17	3810	0.712	0.807	0.095
18	3810	0.695	0.771	0.076
19	3810	0.678	0.767	0.089
20	3810	0.661	0.743	0.082
21	3810	0.644	0.741	0.097
22	3810	0.627	0.720	0.093
23	3810	0.610	0.715	0.105
24	3810	0.593	0.713	0.120
25	3810	0.576	0.679	0.103
26	3810	0.559	0.635	0.075
27	3810	0.542	0.620	0.077
28	3810	0.525	0.617	0.091
29	3809	0.508	0.582	0.074
30	3809	0.492	0.576	0.084
31	3809	0.475	0.573	0.098
32	3809	0.458	0.550	0.092
33	3809	0.441	0.536	0.096
34	3809	0.424	0.526	0.102
35	3809	0.407	0.512	0.105
36	3809	0.390	0.505	0.115
37	3809	0.373	0.473	0.100
38	3809	0.356	0.459	0.103
39	3809	0.339	0.407	0.068
40	3809	0.322	0.403	0.081
41	3809	0.305	0.392	0.087
42	3809	0.288	0.377	0.089
43	3809	0.271	0.366	0.095
44	3809	0.254	0.355	0.100
45	3809	0.237	0.355	0.117
46	3809	0.220	0.347	0.127
47	3809	0.203	0.344	0.140
48	3809	0.186	0.303	0.116
49	3809	0.169	0.245	0.076
50	3808	0.153	0.116	0.037
51	3808	0.136	0.051	0.085
52	3808	0.119	0.041	0.078
53	3807	0.102	0.016	0.086
54	3807	0.085	0.002	0.083
55	3807	0.068	0.001	0.067
56	3807	0.051	0.000	0.051
57	3807	0.034	0.000	0.034
58	3806	0.017	0.000	0.017

N = 58
 X = 3809.4 msnm N° de Datos
 S = 1.3 msnm Media
 Desviación Estándar

μy = 0.5514
 σy = 1.1721
 α = 1.02
 β = 3808.87

Del Análisis obtenemos que:
 Dc = 0.140 Estadístico de Smirnov-Kolgomorov
 De Tabla para el Nro de Datos y α considerados: α = 5
 Dt = 0.179

% Nivel de Significancia

→ Como Dc < Dt, entonces el Registro de Niveles SI se ajusta a la Distribucion Gumbel para el nivel de significancia dado.

DISTRIBUCIÓN LOG PEARSON III

DISTRIBUCIÓN LOG PEARSON III :

m	Log(N _{max})	P (Q)	K	F (K)	F(K)- P(Q)
1	3.581	0.983	16.970	0.973	0.010
2	3.581	0.966	13.948	0.888	0.078
3	3.581	0.949	13.723	0.877	0.072
4	3.581	0.932	13.623	0.872	0.061
5	3.581	0.915	13.473	0.863	0.052
6	3.581	0.898	13.324	0.855	0.044
7	3.581	0.881	13.274	0.852	0.030
8	3.581	0.864	13.174	0.845	0.019
9	3.581	0.847	13.074	0.839	0.008
10	3.581	0.831	13.074	0.839	0.008
11	3.581	0.814	12.999	0.834	0.021
12	3.581	0.797	12.899	0.827	0.031
13	3.581	0.780	12.899	0.827	0.048
14	3.581	0.763	12.749	0.817	0.054
15	3.581	0.746	12.499	0.799	0.053
16	3.581	0.729	12.449	0.795	0.066
17	3.581	0.712	12.299	0.783	0.071
18	3.581	0.695	11.825	0.742	0.047
19	3.581	0.678	11.775	0.737	0.059
20	3.581	0.661	11.500	0.711	0.050
21	3.581	0.644	11.475	0.709	0.065
22	3.581	0.627	11.250	0.686	0.059
23	3.581	0.610	11.200	0.681	0.071
24	3.581	0.593	11.175	0.678	0.085
25	3.581	0.576	10.850	0.643	0.067
26	3.581	0.559	10.450	0.597	0.038
27	3.581	0.542	10.325	0.582	0.040
28	3.581	0.525	10.300	0.579	0.054
29	3.581	0.508	10.025	0.545	0.037
30	3.581	0.492	9.975	0.539	0.047
31	3.581	0.475	9.950	0.536	0.061
32	3.581	0.458	9.775	0.514	0.056
33	3.581	0.441	9.676	0.501	0.060
34	3.581	0.424	9.601	0.491	0.067
35	3.581	0.407	9.501	0.478	0.071
36	3.581	0.390	9.451	0.472	0.082
37	3.581	0.373	9.226	0.442	0.069
38	3.581	0.356	9.126	0.429	0.073
39	3.581	0.339	8.776	0.383	0.044
40	3.581	0.322	8.751	0.380	0.058
41	3.581	0.305	8.676	0.370	0.065
42	3.581	0.288	8.576	0.357	0.069
43	3.581	0.271	8.501	0.347	0.076
44	3.581	0.254	8.426	0.337	0.083
45	3.581	0.237	8.426	0.337	0.100
46	3.581	0.220	8.376	0.331	0.111
47	3.581	0.203	8.351	0.328	0.124
48	3.581	0.186	8.076	0.293	0.106
49	3.581	0.169	7.676	0.244	0.075
50	3.581	0.153	6.626	0.134	0.019
51	3.581	0.136	5.826	0.072	0.063
52	3.581	0.119	5.651	0.062	0.057
53	3.581	0.102	5.026	0.033	0.069
54	3.581	0.085	3.951	0.008	0.077
55	3.581	0.068	3.601	0.004	0.064
56	3.581	0.051	3.276	0.002	0.049
57	3.581	0.034	2.600	0.000	0.034
58	3.580	0.017	1.975	0.000	0.017

N = 58
 X = 3.581
 S = 0.000

msnm
 msnm

Nº de Datos
 Media
 Desviación Estándar

Ag = -0.63
 δ = 9.93
 β = 0.00
 X₀ = 3.58
 GDL = 20.0

Del Análisis obtenemos que:

Dc = 0.124 Estadístico de Smirnov-Kolgomorov

De Tabla para el Nro de Datos y α considerados:

Dt = 0.179

α = 5

% Nivel de Significancia

→ Como Dc < Dt, entonces el Registro de Niveles SI se ajusta a la Distribucion Log Pearson III para el nivel de significancia dado.

PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE: SMIRNOV - KOLGOMOROV

Ahora, habiéndose realizado los cálculos respectivos de la Prueba de Bondad de Ajuste de Smirnov-Kolgomorov, se pasa a analizar en base a un criterio de orden de ajuste, cual es la función de probabilidad que mejor se ajusta (estadísticamente) a los datos. Así entonces se tiene que:

Funcion Probabilistica	Prueba: Smirnov-Kolgomorov			
	Dc	Dt	¿ Se ajusta ?	Orden Ajuste
Normal	0.105	0.179	SI	1
Log Normal II	0.105	0.179	SI	2
Gumbel (EVI)	0.140	0.179	SI	5
Pearson III	0.128	0.179	SI	4
Log Pearson III	0.124	0.179	SI	3

CONCLUSIÓN:

La Función de Probabilidad que mejor se ajusta estadísticamente al Registro de Datos de Niveles Máximos anuales de la Batimétrica analizada, es :

Normal

Sin embargo no se trata de encontrar aquella función que mejor se ajuste estadísticamente a los datos, sino de encontrar una función representativa de los máximos que puedan ocurrir en la zona, por ende en base a la Tabla Resumen de máximos para cada función (ver más adelante) y por experiencia del consultor, se ha decidido que la base estadística para estimar máximos sea la función:

Estación: Probabilidad de → **Normal**

ESTIMACIÓN DE NIVELES MÁXIMAS

RESUMEN DE NIVELES MÁXIMAS:

Periodo de Retorno (Tr años)	Niveles máximos anuales (msnm)				
	Normal	Log Normal II	Gumbel (EVI)	Pearson III	Log Pearson III
2	3809.43	3809.43	3809.23	3809.56	3809.56
5	3810.49	3810.49	3810.34	3810.51	3810.51
10	3811.05	3811.05	3811.08	3810.94	3810.94
20	3811.51	3811.51	3811.79	3811.26	3811.26
25	3811.64	3811.64	3812.01	3811.34	3811.34
50	3812.02	3812.02	3812.70	3811.58	3811.58
100	3812.37	3812.37	3813.39	3811.78	3811.78
150	3812.55	3812.55	3813.79	3811.88	3811.88
175	3812.62	3812.62	3813.94	3811.92	3811.92
200	3812.68	3812.68	3814.07	3811.95	3811.95
500	3813.06	3813.06	3814.97	3812.13	3812.13
1000	3813.33	3813.33	3815.66	3812.26	3812.25

Si bien se puede estimar los Caudales máximas futuras para diferentes funciones de probabilidades, solo se trabaja con aquella función que mejor representa a los máximos, esto ya se determinó al aplicar la Prueba de Bondad de Ajuste. Entonces se presenta a continuación la función de probabilidad escogida y sus Niveles máximas futuras para diferentes periodos de retorno, para la estación en estudio:

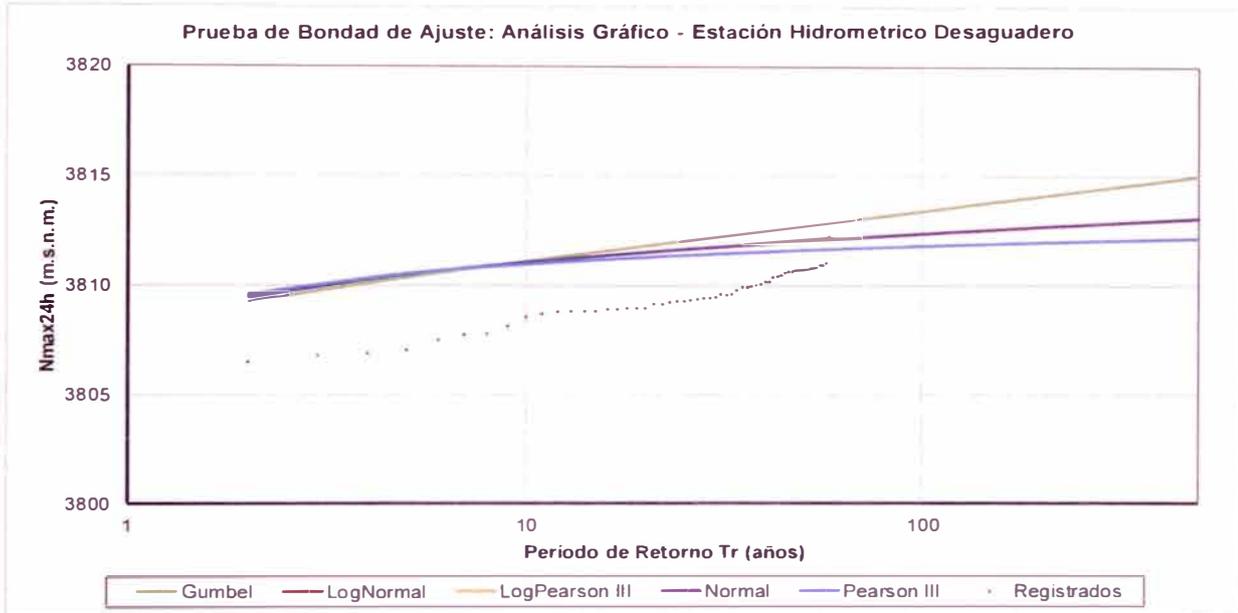
Estación: Probabilidad de excedencia

Tr años	Nmax (msnm)
	Normal
2	3809.43
5	3810.49
10	3811.05
20	3811.51
25	3811.64
50	3812.02
100	3812.37
150	3812.55
175	3812.62
200	3812.68
500	3813.06
1000	3813.33

* Máximo Registrado: 3812.25 msnm

PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE: ANÁLISIS GRÁFICO

COMPARACIÓN DE DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD :



ANEXO C: PANEL FOTOGRAFICO



Fotografía N°1. Puente llave, rumbo a la visita de los centros poblados.



Fotografía N°2. Centro poblado de Chipana, Margen derecha del rio llave.

ANEXO C - PANEL FOTOGRÁFICO



Fotografía N°3. Centro poblado de Chipana, Margen derecha del rio llave.



Fotografía N°4. Centro poblado de Chipana, Margen derecha del rio llave.



Fotografía N°5. Centro poblado de Jilacatura, Margen izquierda del rio llave.



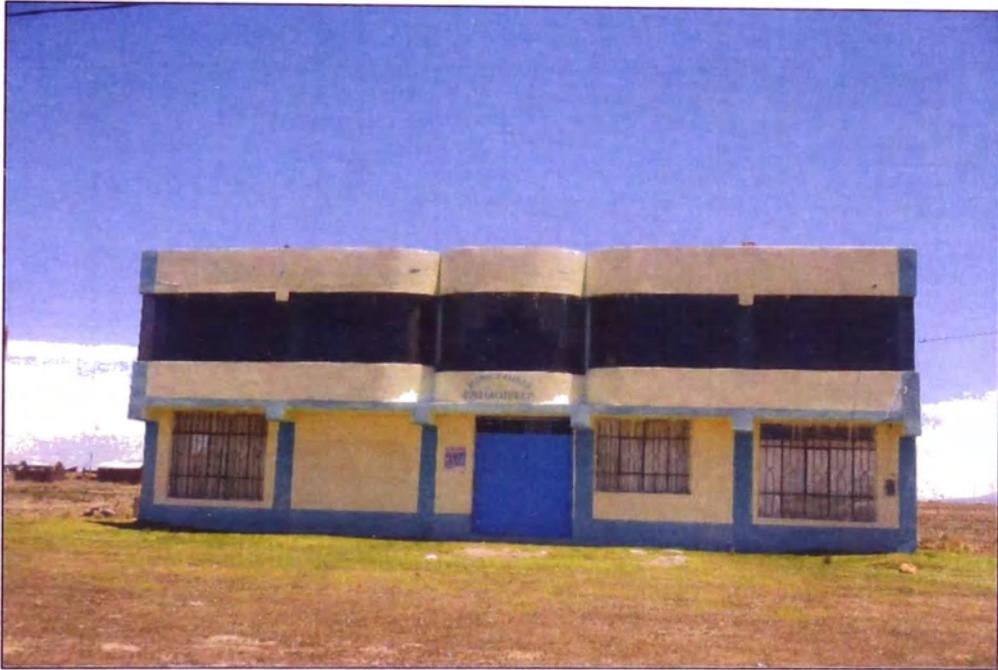
Fotografía N°6. Centro poblado de Jilacatura, Margen izquierda del rio llave.



Fotografía N°6. Centro poblado de Jilacatura, Margen izquierda del rio llave, pozos de agua.



Fotografía N°6. Centro poblado de Jilacatura, pasteo de ganado ovino.



Fotografía N°6. Centro poblado de Sullcacatura II, margen izquierda del rio llave.



Fotografía N°7. Centro poblado de Sullcacatura II, pozos de agua y viviendas a lo lejos.



Fotografía N°8. Centro poblado de Sullcacatura Choquetanca Corpa Flores, margen izquierda del rio llave.



Fotografía N°9. Centro poblado de Sullcacatura Choquetanca Corpa Flores, medidas optadas frente a la inundación.



Fotografía N°10. Ojos de agua.



Fotografía N°10. Cultivo de papa.



Fotografía N°11. Ganadería ovina en promedio por familia tienen entre 8 y 10 animales.



Fotografía N°12. Ganadería también se encontraron los asnos y vacas.

ANEXO D: HIDRÁULICA

CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE MANNING

ESTIMACIÓN DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING

Inmediaciones del : Rio llave

• **Método de Cowan (1956)**

Superficie del Canal	Tierra	n_0	0.020
	Roca		0.025
	Grava fina		0.024
	Grava gruesa		0.028
Irregularidad	Suave	n_1	0.000
	Menor		0.005
	Moderada		0.010
	Severa		0.020
Variación de la Sección	Gradual	n_2	0.000
	Ocasional		0.005
	Frecuente		0.010 - 0.015
Efecto de la Obstrucción	Despreciable	n_3	0.000
	Menor		0.010 - 0.015
	Apreciable		0.020 - 0.030
	Severo		0.040 - 0.060
Vegetación	Bajo	n_4	0.005 - 0.010
	Medio		0.010 - 0.025
	Alto		0.025 - 0.050
	Muy alto		0.050 - 0.1
Intensidad de Meandros	Menor	m	1.000
	Apreciable		1.150
	Severo		1.300

$n_0 = 0.020$

$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)m_5$

$n_1 = 0.000$

$n_2 = 0.000$

$n = 0.035$

$n_3 = 0.005$

Cauce Principal

$n_4 = 0.005$

$m_5 = 1.150$

Fuente: Hidráulica de Tuberías y Canales - Arturo Rocha

• **Tabla**

D-2 Flood Plains			
a. Pasture, no brush			
1. Short grass	0.025	0.030	0.035
2. High grass	0.030	0.035	0.050
b. Cultivated areas			
1. No crop	0.020	0.030	0.040
2. Mature row crops	0.025	0.035	0.045
3. Mature field crops	0.030	0.040	0.050
c. Brush			
1. Scattered brush, heavy weeds	0.035	0.05	0.07
2. Light brush and trees, in winter	0.035	0.05	0.06
3. Light brush and trees, in summer	0.040	0.06	0.08
4. Medium to dense brush, in winter	0.045	0.07	0.11
5. Medium to dense brush, in summer	0.070	0.10	0.16
d. Trees			
1. Dense willows, summer, straight	0.11	0.15	0.20
2. Cleared land with tree stumps, no sprouts	0.03	0.04	0.05
3. Same as above, but with heavy growth of sprouts	0.05	0.06	0.08
4. Heavy stand of timber, a few down trees, little undergrowth, flood stage below branches	0.08	0.10	0.12
5. Same as above, but with flood stage reaching branches	0.10	0.12	0.16

Considerando :
Área Cultivada - Cultivos en Línea

$n = 0.035$ **Llanura Izquierda**

Considerando :
Área Cultivada - Cultivos en Línea

$n = 0.035$ **Llanura derecha**

Fuente: Hydraulic Design of Safe Bridges FHWA 2012



Foto N°1



Foto N°2

VISTA SATELITAL Y ELEVACIONES DE LA ZONA DE ESTUDIO



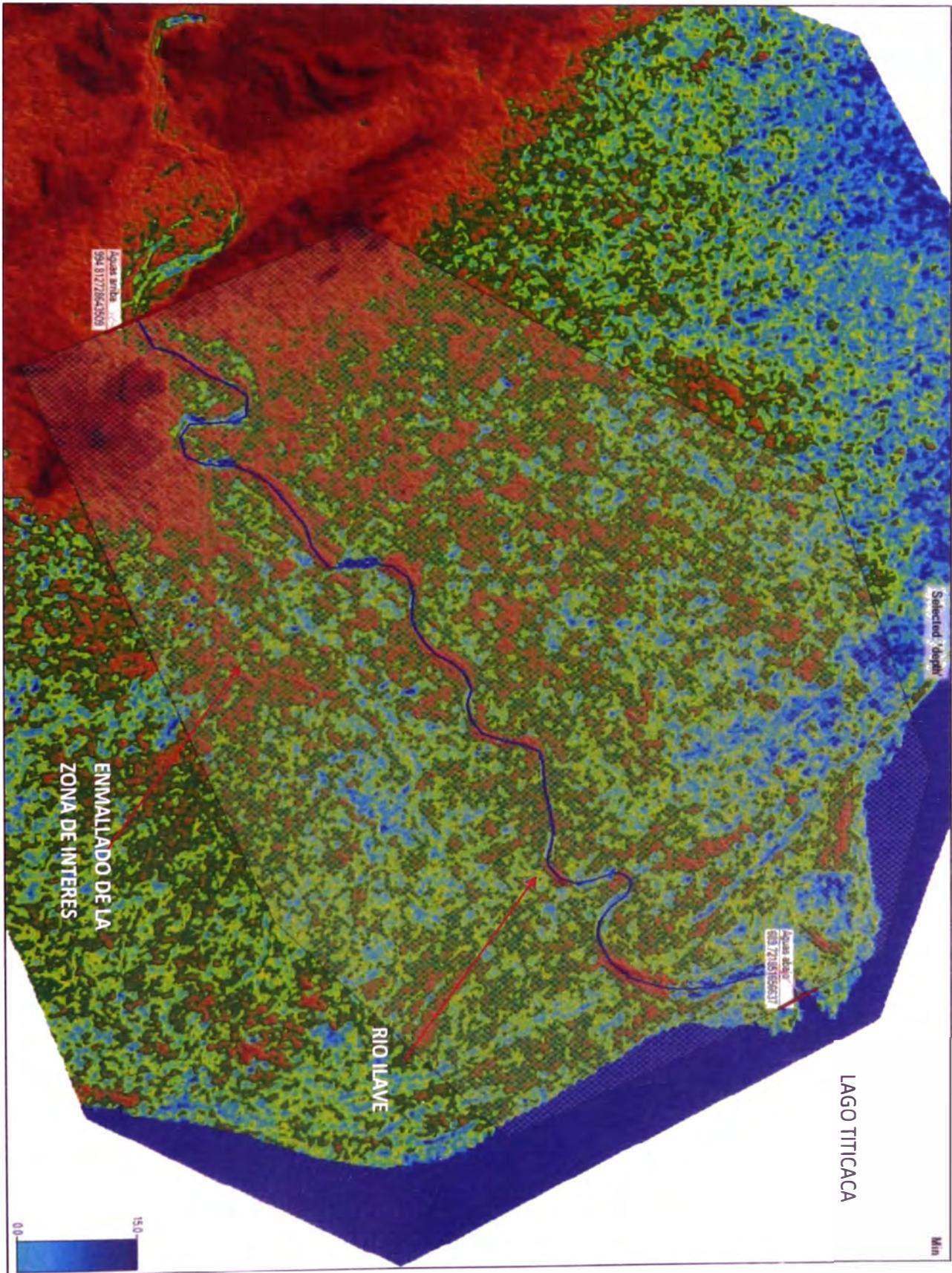


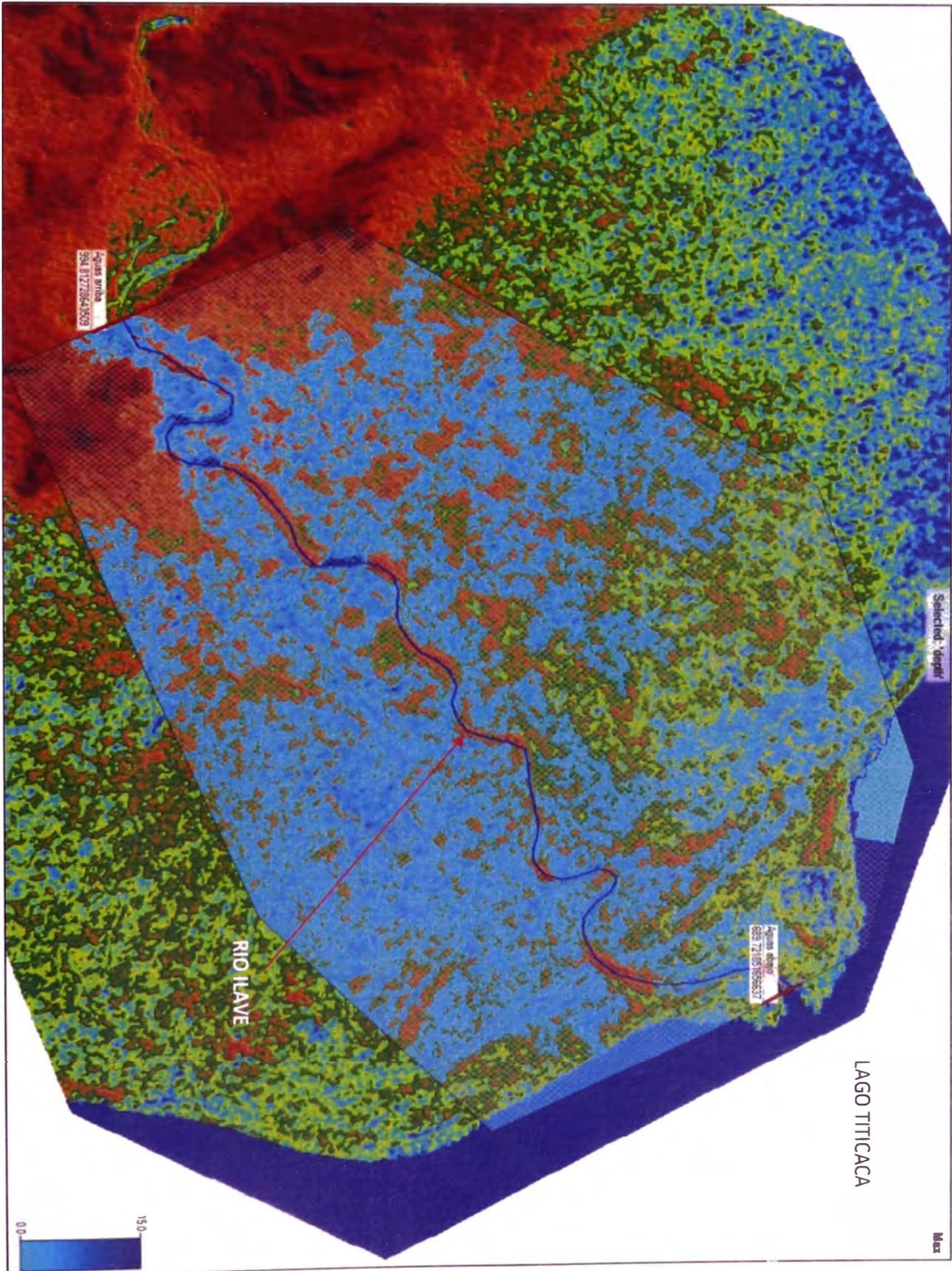
RIO LLAVE

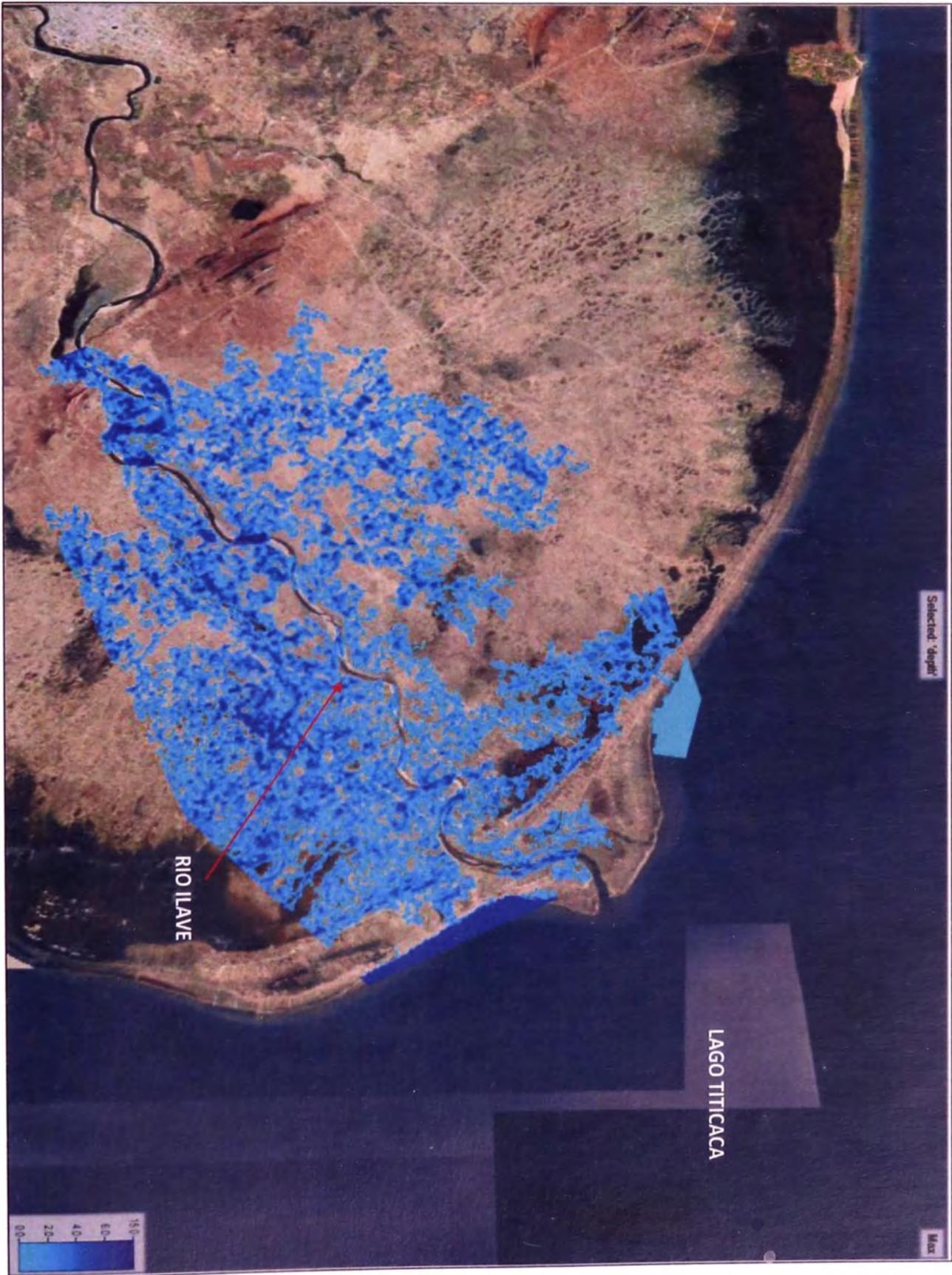
LAGO TITICACA

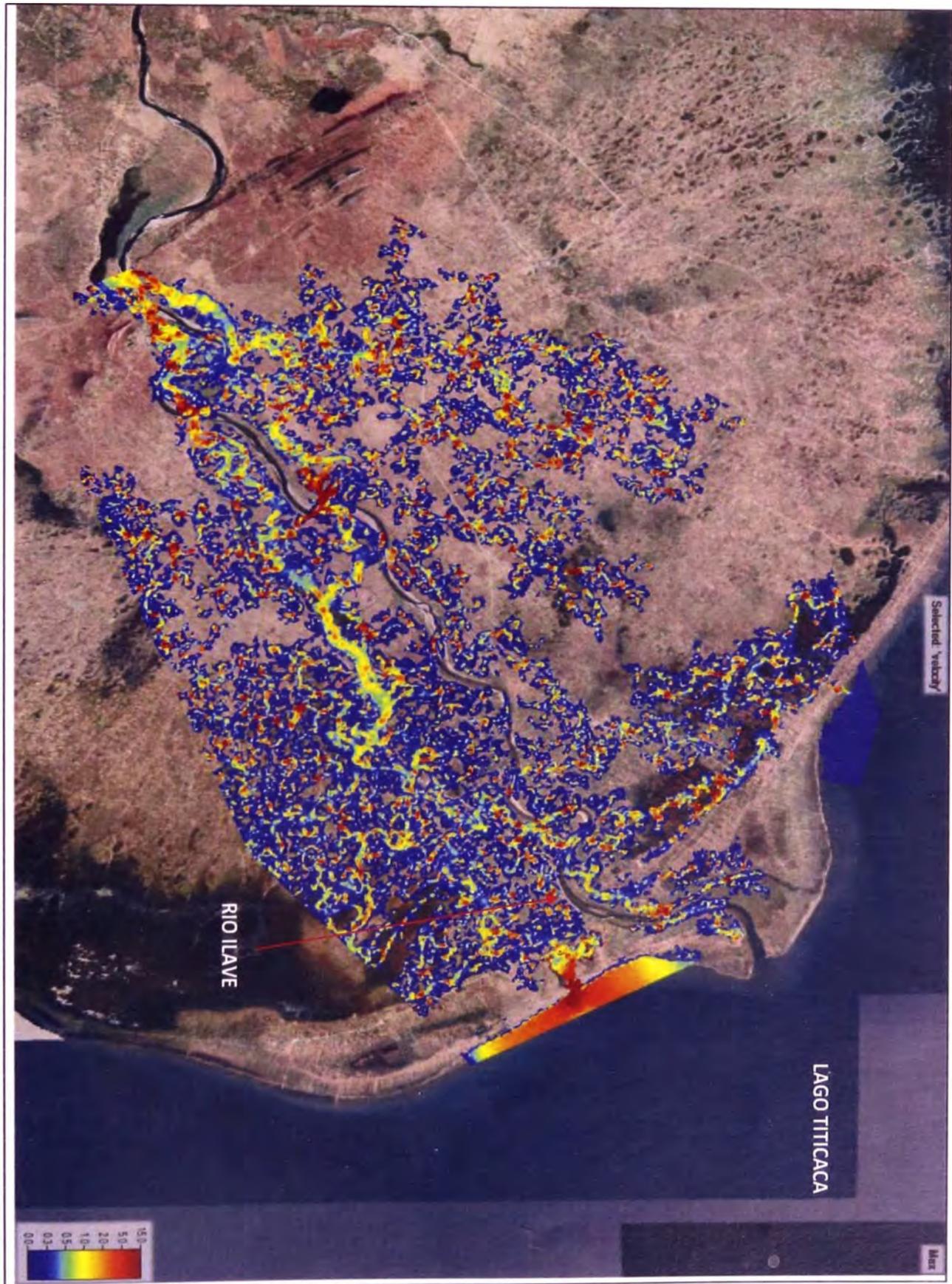


**RESULTADOS DEL
MODELAMIENTO
BIDIMENSIONAL CON EL
PROGRAMA HEC-RAS 2D**

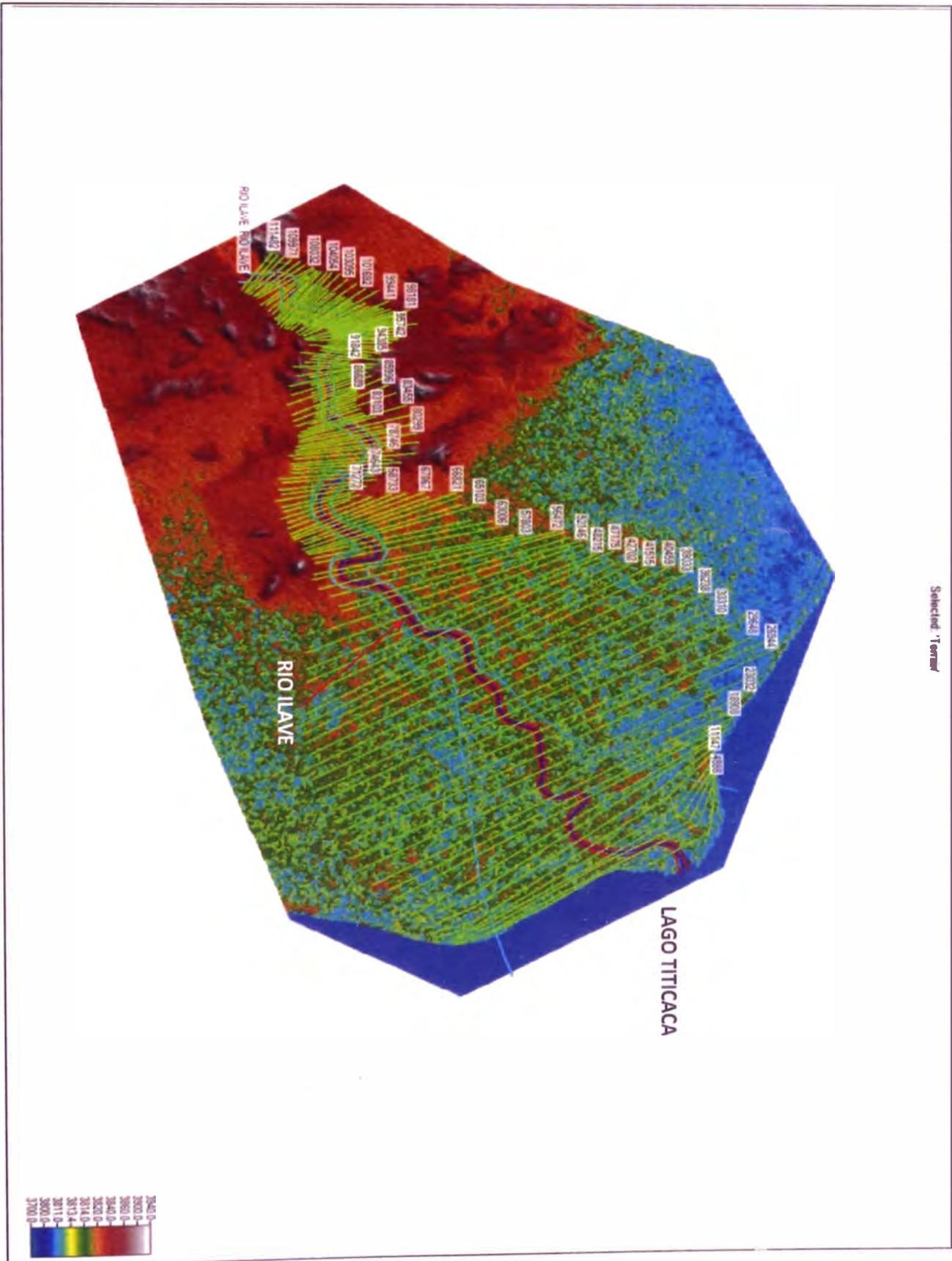




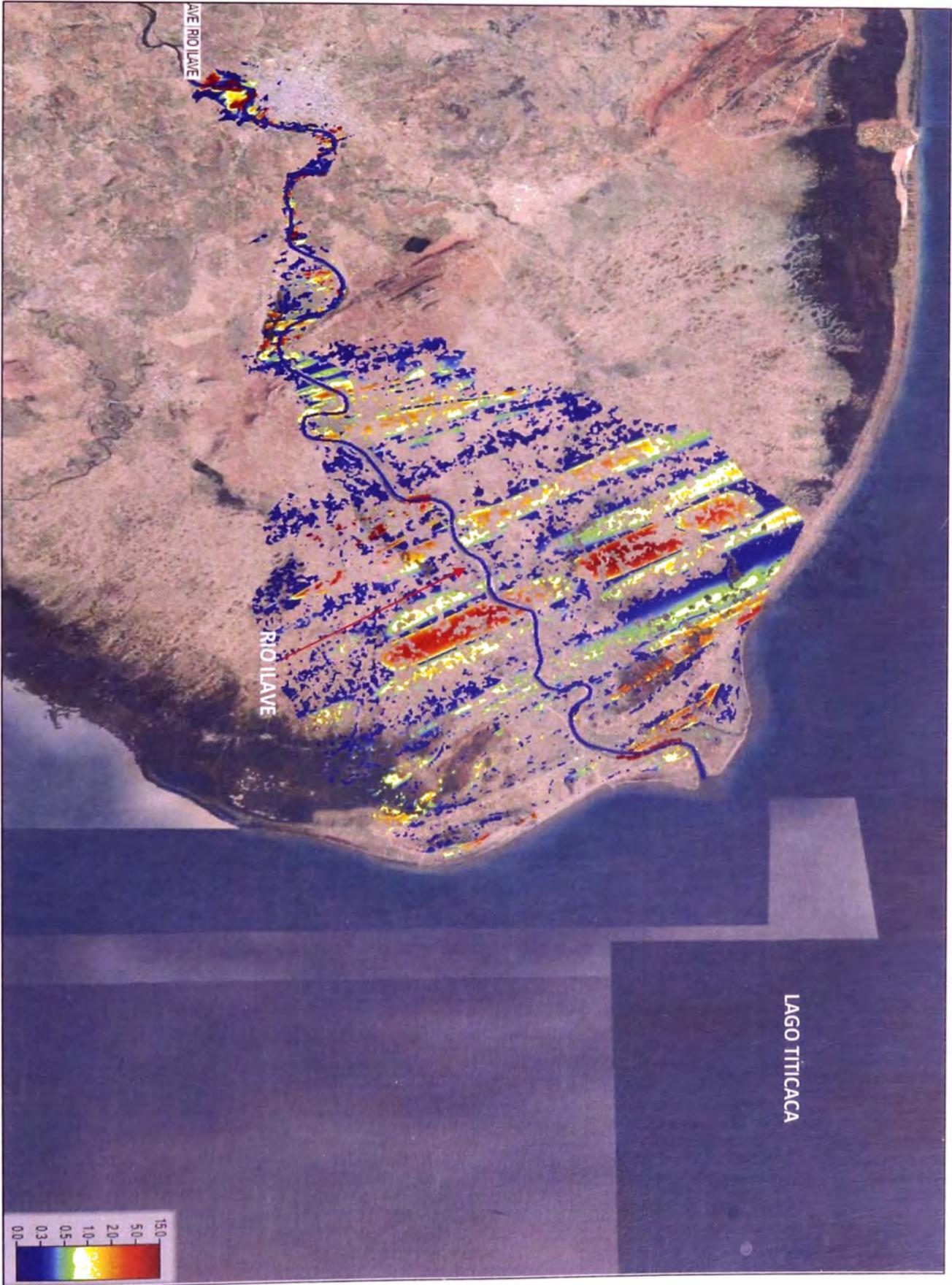


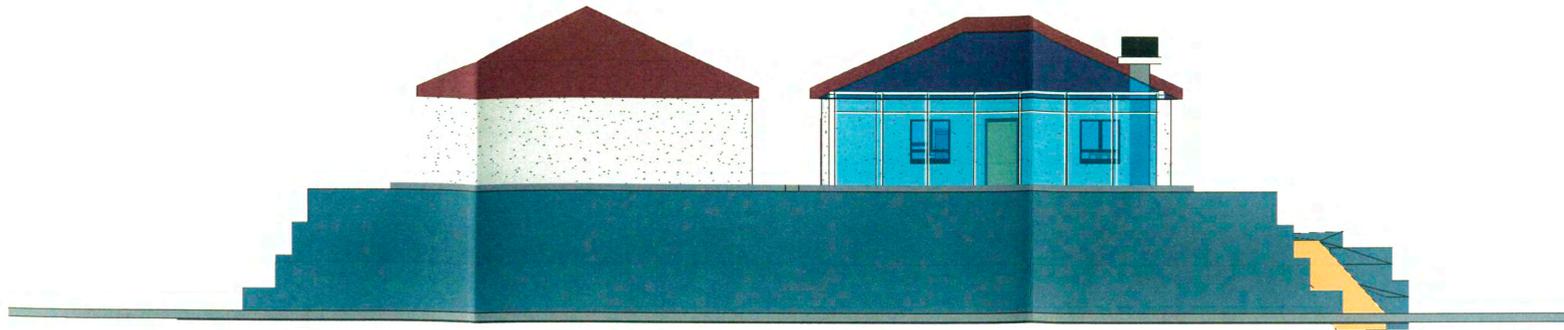


**RESULTADOS DEL
MODELAMIENTO
UNIDIMENSIONAL CON EL
PROGRAMA HEC-RAS 2D**









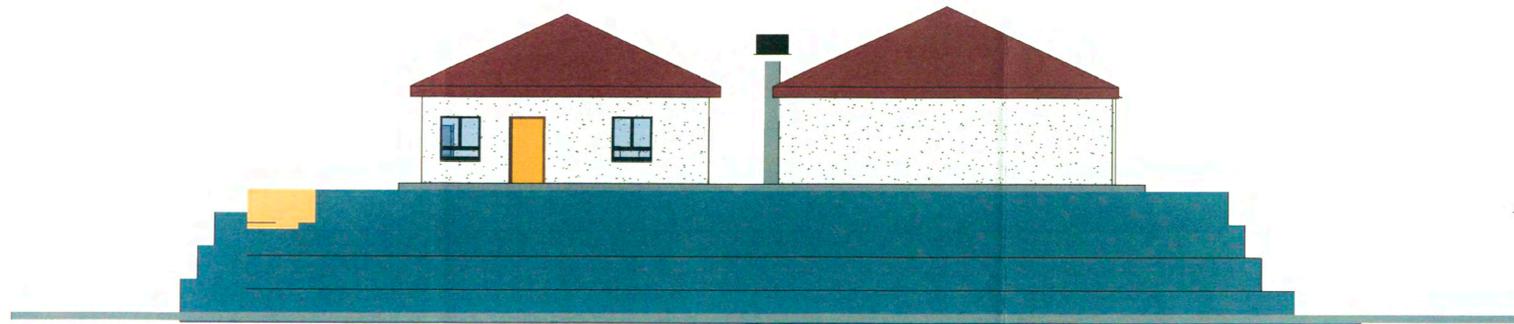
VISTA EN PERFIL DERECHO DEL PROYECTO
sc: 1/250



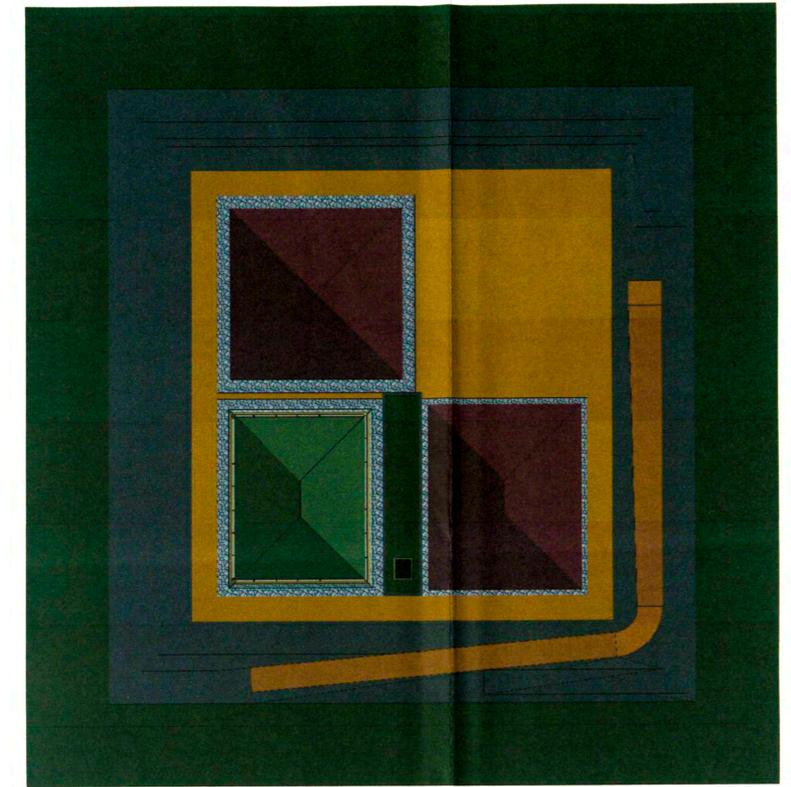
VISTA EN PERFIL IZQUIERDA DEL PROYECTO
sc: 1/250



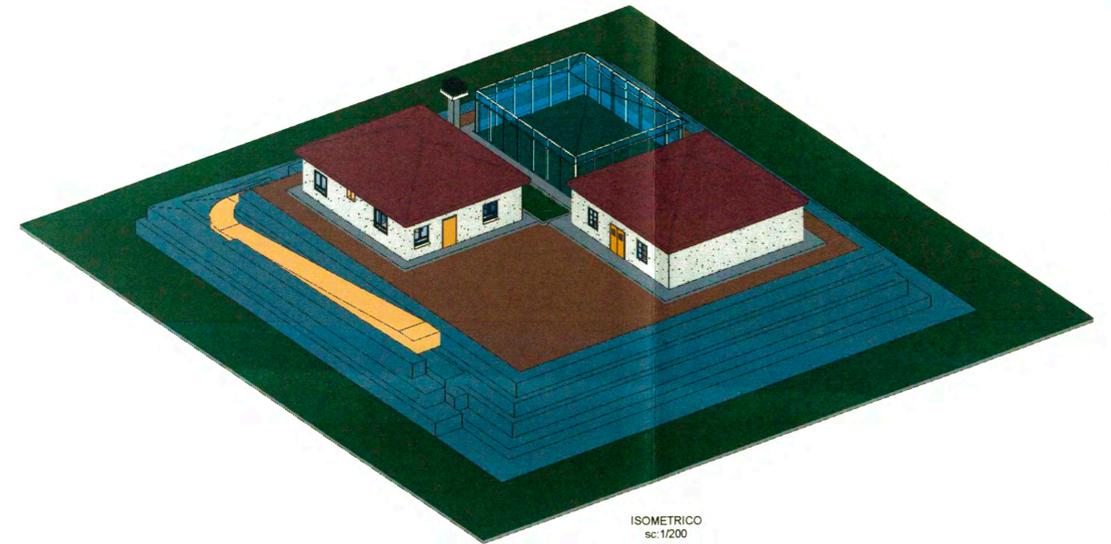
VISTA POSTERIOR DEL PROYECTO
sc: 1/250



VISTA FRONTAL DEL PROYECTO
sc: 1/250

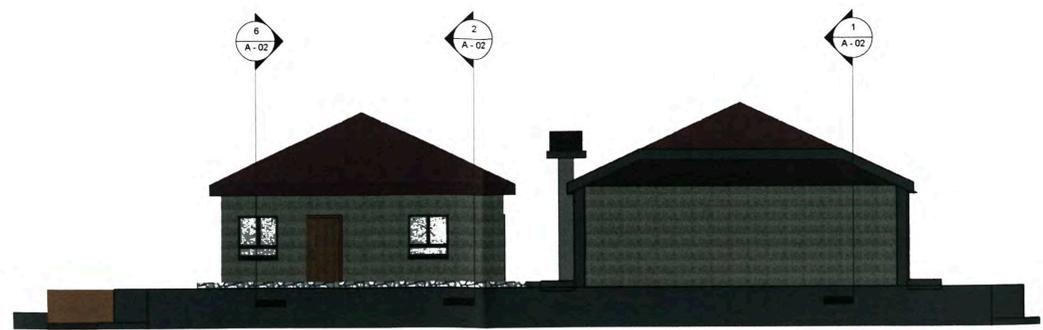


VISTA EN PLANTA DEL PROYECTO
sc: 1/200

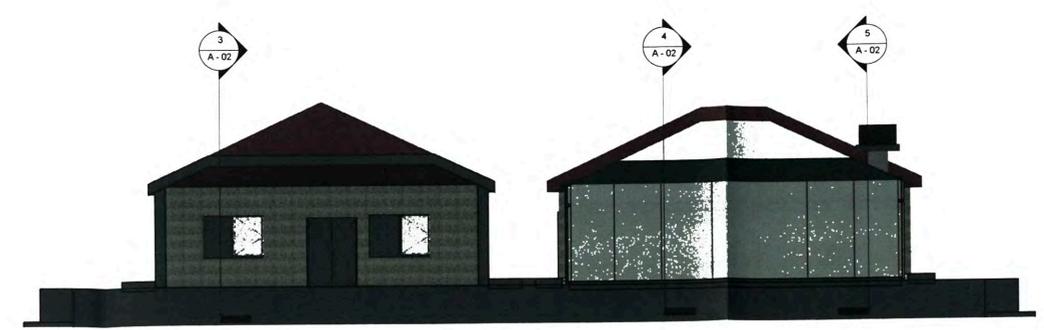


ISOMETRICO
sc: 1/200

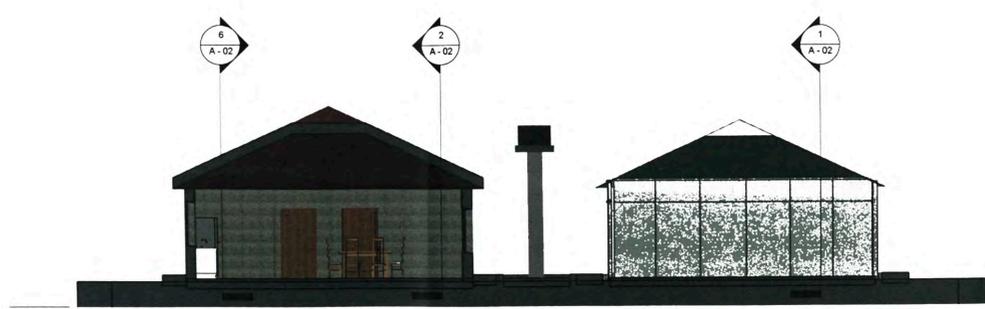
Universidad				UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA	
Tema				VIVIENDA SOSTENIBLE PARA MITIGAR LOS PROBLEMAS DE LA INUNDACIÓN EN LA ZONA RURAL DE ILAVE-PUNO	
Plano				PLANO ARQUITECTONICO DE LA VIVIENDA SOSTENIBLE TIPO ISLA	
Escala	Elaborado	Aprobado	Región	Lima - Perú	
Indicada	Brayhan Bonifacio C.	Alfredo Mansen V.			
Fecha	Revisor	Prescritor	Lamina	A - 01	
Diciembre-2019	Marisa Silva D.	Edgar Rodriguez Z.			



CORTE 3-3
sc:1/100



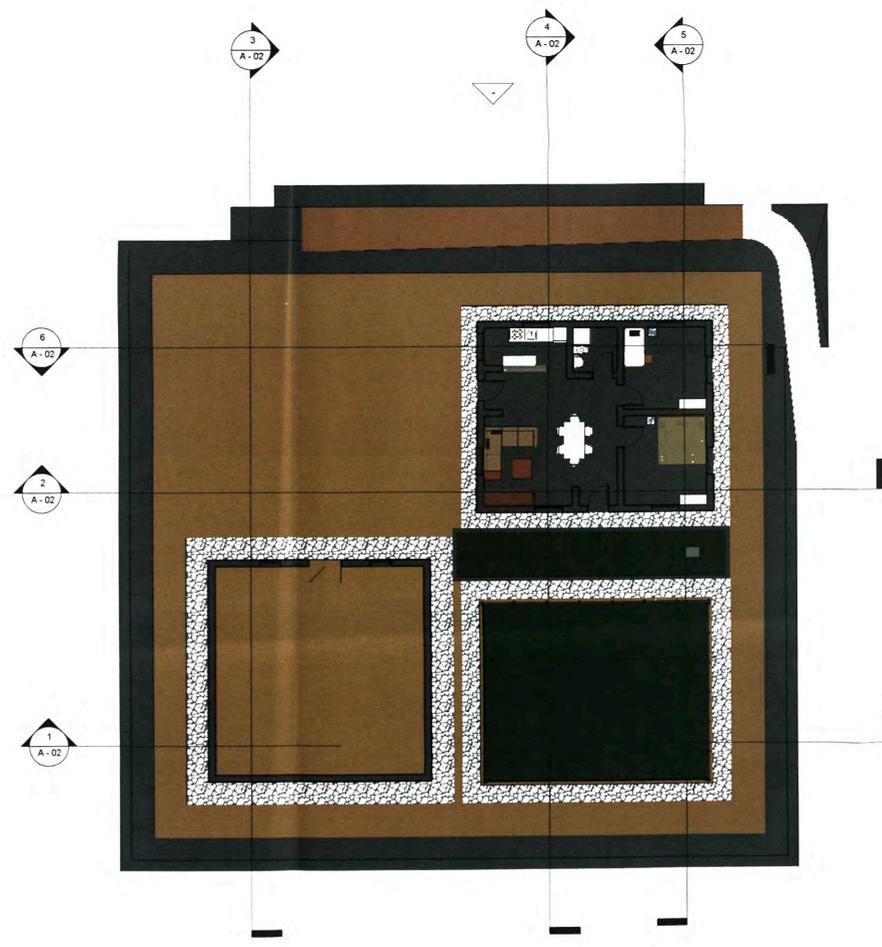
CORTE 1-1
sc:1/100



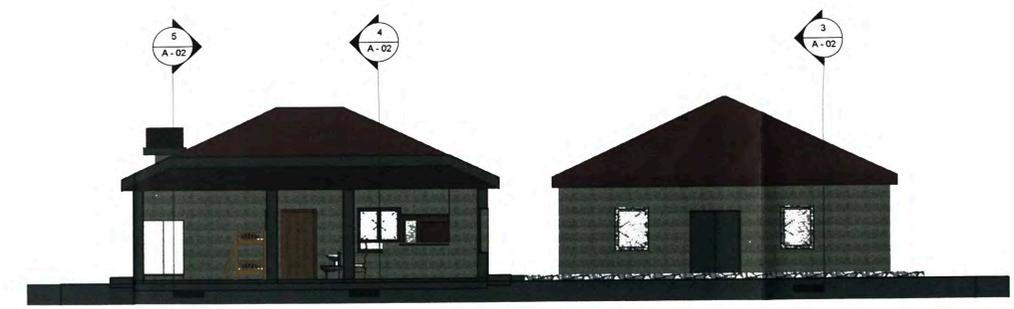
CORTE 4-4
sc:1/100



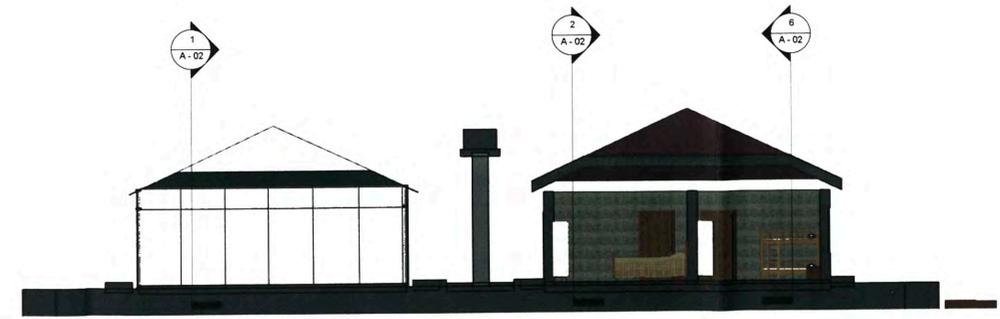
CORTE 2-2
sc:1/100



PLANTA DEL PROYECTO
sc:1/150



CORTE 6-6
sc:1/100



CORTE 5-5
sc:1/100

Universidad				UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA	
Tema				VIVIENDA SOSTENIBLE PARA MITIGAR LOS PROBLEMAS DE LA INUNDACIÓN EN LA ZONA RURAL DE ILAVE-PUNO	
Plano				PLANO DE CORTES Y DETALLES	
Elaborado	Brayhan Bonifacio C.	Aprobado	Alfredo Marsen V.	Región	Lima - Perú
Indicada		Revisado	Edgar Rodríguez Z.	Lamina	A - 02
Fecha	Diciembre-2019	Diseñado	Marisa Silva D.		