

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA PLUVIAL EN UNA
VIVIENDA UNIFAMILIAR PARA FINES SANITARIOS Y USO
DOMÉSTICO EN LA CIUDAD DE JAÉN – PERÚ**

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

Autor : Bach. José Manuel Requejo Salazar

Asesor : Ing. César Jesús Díaz Coronel

JAÉN – PERÚ, OCTUBRE, 2019



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Ley de Creación N° 29304

Universidad Licenciada con Resolución del Consejo Directivo N° 002-2018-SUNEDU/CD

ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día 24 de octubre del año 2019, siendo las 11:20 horas, se reunieron los integrantes del Jurado:

Presidente: Mg Marco Antonio Aguirre Camacho

Secretario: Mg Billy Alexis Cayatopa Calderón

Vocal: Ing Wilmer Rojas Pintado, para evaluar la Sustentación de:

- () Trabajo de Investigación
(X) Tesis
() Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado:

SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA PLUVIAL EN UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR PARA FINES SANITARIOS Y USO DOMESTICO EN LA CIUDAD DE JAÉN-PERU,

presentado por el Bachiller **José Manuel Requejo Salazar**

de la Carrera Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Jaén.

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

- (X) Aprobar () Desaprobar (X) Unanimidad () Mayoría

Con la siguiente mención:

- | | | |
|----------------|------------|--------|
| a) Excelente | 18, 19, 20 | () |
| b) Muy bueno | 16, 17 | () |
| c) Bueno | 14, 15 | (15) |
| d) Regular | 13 | () |
| e) Desaprobado | 12 ó menos | () |

Siendo las 12:15 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.


Presidente


Secretario


Vocal

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Situación Problemática	1
1.2. Justificación	3
1.2.1. Justificación tecnológica.....	3
1.2.2. Justificación económica.....	3
1.2.3. Justificación Socioambiental	4
1.3. Antecedentes	4
1.3.1. A nivel Internacional	4
1.3.2. Antecedentes locales.....	6
1.4. Bases teóricas.....	7
1.4.1. Reseña Histórica	8
1.4.2. Conceptos Generales	13
1.4.2.1. La crisis del agua.....	13
1.4.3. Hidrología.....	20
1.4.4. Ciclo hidrológico	20
1.4.5. Cuenca Hidrológica	21
1.4.6. Precipitación	21
1.4.6.1. Clasificación de la precipitación	22
1.4.6.2. Medición de la precipitación	24
1.4.7. Pluviosidad	27
1.4.8. Análisis estadísticos de datos hidrológicos – modelos de distribución.....	29
1.4.8.1. Distribución Normal.....	30
1.4.8.2. Distribución Log Normal de 2 parámetros.....	31
1.4.8.3. Distribución LogNormal de 3 parámetros.....	32
1.4.8.4. Distribución Gamma 2 Parámetros	33

1.4.8.5.	Distribución Gamma 3 Parámetros	33
1.4.8.6.	Distribución Log Pearson Tipo III	34
1.4.8.7.	Distribución de Gumbel	35
1.4.8.8.	Distribución Log Gumbel.....	35
1.4.9.	Precipitación media sobre una zona	37
1.4.9.1.	Promedio aritmético	37
1.4.9.2.	Polígono de Thiessen	37
1.4.9.3.	Isoyetas.....	38
1.4.10.	Marco de referencia del área de estudio	39
1.4.10.1.	Condiciones climatológicas de Cajamarca.....	39
1.4.10.2.	Condiciones climatológicas de Jaén.....	40
1.4.11.	Demografía y tasas de crecimiento poblacional en Jaén.	42
1.5.	Captación de agua de lluvia	43
1.5.1.	Aplicaciones de sistema de aguas pluviales	47
1.6.	Definición de términos básicos (conceptos)	49
II.	OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	51
2.1.	Objetivo general.....	51
2.2.	Objetivos específicos.	51
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	52
3.1.	Tipo de la investigación	52
3.2.	Línea de investigación	52
3.3.	Localización.....	52
3.4.	Población y muestra.....	52
3.4.1.	Población:	52
3.4.2.	Muestra:	52
3.5.	Variables de la investigación	52
3.5.1.	Variable dependiente	52

3.5.2.	Variable independiente	52
3.6.	Diseño metodológico	53
3.7.	Componentes del sistema.....	53
3.7.1.	Pluviometría	53
3.7.1.1.	Recopilación de la información.....	54
3.7.1.2.	Procesamiento de la información	56
3.8.	Especificaciones técnicas del material a utilizarse	99
3.9.	Alternativas de diseño.....	100
3.9.1.	Criterios de diseño	100
3.9.2.	Método OPS/UNATSABAR (2004)	101
3.9.2.1.	CASO 1	103
3.9.2.2.	CASO 2	104
3.9.2.3.	CASO 3	105
3.9.3.	Método Aqua España (2016).....	106
3.9.3.1.	CASO 1	107
3.9.3.2.	CASO 2	108
3.9.3.3.	CASO 3	109
IV.	RESULTADOS	110
4.1.	Estudio hidrológico de la estación pluviométrica Jaén.....	110
4.1.1.	Procesamiento de los registros de precipitación máxima de 24 horas	110
4.1.2.	Distribuciones teóricas	111
4.1.3.	Precipitación para diferentes periodos de retorno	113
4.2.	Análisis de calidad del agua de lluvia.....	114
4.3.	Demanda de agua no potable en una vivienda unifamiliar en Jaén	115
4.3.1.	Método OPS/UNATSABAR (2004)	115
4.3.2.	Método Aqua España (2016).....	115
4.4.	Alternativas de diseño.....	116

4.4.1.	Vivienda unifamiliar de 120 m ² , 4 habitantes de área verde de 5 m ²	116
4.4.2.	Vivienda unifamiliar de 160 m ² , 5 habitantes de área verde de 10 m ²	117
4.4.3.	Vivienda unifamiliar de 200 m ² , 6 habitantes de área verde de 15 m ²	119
4.5.	Influencia del SCAPT en el ahorro de agua potable.....	120
V.	DISCUSION.....	121
5.1.	Estudio de precipitación en Jaén.....	121
5.2.	Materiales y dimensiones del sistema de captación de agua de lluvia	122
5.3.	Dotación de agua no potable y almacenamiento.....	123
5.4.	Calidad de agua de lluvia suministrado por el sistema.....	123
VI.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	125
6.1.	Conclusiones	125
6.2.	Recomendaciones	126
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	128
	AGRADECIMIENTO	131
	DEDICATORIA.....	132
	ANEXOS.....	133

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1. Dibujo ilustrativo de la domus romana.....	8
Figura N° 2. Casa rural ibicenca.....	9
Figura N° 3 Aljibe Musulmán del “Palacio de la velettas” Andalucía – España.	10
Figura N° 4 “Ronjinson” Reutilización de agua para uso comunitario, Tokio – Japón.....	10
Figura N° 5 Canal de Cumbemayo.....	12
Figura N° 6. Agua en el Mundo.	14
Figura N° 7. Demanda global del agua por sector para el 2040.....	18
Figura N° 8 Nivel de estrés hídrico físico.	19
Figura N° 9 Cambio en la precipitación neta 2010 – 2050.	20
Figura N° 10. El ciclo del agua.	21
Figura N° 11 Precipitación de convección.	22
Figura N° 12. Precipitación orográfica.....	23
Figura N° 13. Precipitación ciclónica.....	23
Figura N° 14. Pluviómetro.	24
Figura N° 15. Pluviógrafo.	25
Figura N° 16. Interpretación gráfica de 1 mm. de lluvia.....	26
Figura N° 17. Precipitación máxima diaria a una probabilidad del 99 % (1970-2015).	29
Figura N° 18. Diagrama del procedimiento para los modelos de distribución.	30
Figura N° 19. Promedio de temperatura y lluvia normal en Cajamarca.	40
Figura N° 20. Mapa de ubicación del distrito de Jaén (zona de estudio).	40
Figura N° 21. Datos de lluvia acumulada de la estación “Jaén” en el periodo 2018/2019.	41
Figura N° 22. Geolocalización de las estaciones más cercanas a la ciudad de Jaén.	42
Figura N° 23. Tasa de crecimiento poblacional de Jaén.	43
Figura N° 24. Sist. de aprovechamiento de agua pluvial en una vivienda con techo a dos aguas y almacenamiento enterrado.....	44
Figura N° 25. Sist. de aprovechamiento de agua pluvial con tanque de almacenamiento sobre la superficie.....	44
Figura N° 26. Sist. de aprovechamiento de agua pluvial en una casa modelo, con red de tuberías independientes.....	45
Figura N° 27. Fotografías de viviendas tomadas al azar en la ciudad de Jaén y sus alrededores.....	45

Figura N° 28. canaleta de conducción de aguas pluviales.....	46
Figura N° 29. Unión de la canaleta con la montante para la conducción de las aguas pluviales.....	46
Figura N° 30 Tanques de almacenamiento de agua de la empresa Rotoplas.	46
Figura N° 31. Diagrama de los diferentes usos del agua pluvial.....	47
Figura N° 32. Estaciones meteorológicas cercanas a la ciudad de Jaén.....	54
Figura N° 33. Histograma de los registros históricos.....	60
Figura N° 34. Gráfica de Distribución de frecuencias. Probabilidad de excedencia vs Precipitaciones.....	62
Figura N° 35. Ajuste dela serie de datos de precipitación a la Distribución Normal.....	64
Figura N° 36. Ajuste dela serie de datos de precipitación a la Distribución LogNormal 2 parámetros.	66
Figura N° 37. Ajuste dela serie de datos de precipitación a la Distribución Gamma 2 parámetros.	69
Figura N° 38. Ajuste dela serie de datos de precipitación a la Distribución LogPearson tipo III.....	72
Figura N° 39. Ajuste dela serie de datos de precipitación a la Distribución Gumbel.	74
Figura N° 40. Ajuste dela serie de datos de precipitación a la Distribución LogGumbel..	76
Figura N° 41. Mapa del polígono Thiessen de la zona de influencia y del distrito de Jaén.	79
Figura N° 42. Mapa de Isoyetas de la zona de estudio.....	80
Figura N° 43. Isoyetas del distrito de Jaén.	81
Figura N° 44. Isoyetas de la ciudad de Jaén.....	82
Figura N° 45. De izquierda a derecha: Techo ondulado de fibraforte, techo trapezoidal de aluzinc, calamina galvanizada.	84
Figura N° 46 Fotografías de viviendas con cubierta superior en los diferentes sectores de Jaén.	85
Figura N° 47. Proyección horizontal de la superficie de captación en diferentes tipos de cubiertas.....	85
Figura N° 48. Imágenes de diferentes tipos de canaletas de recolección.	88
Figura N° 49 . Canaleta de conducción con rejilla de protección.	88
Figura N° 50. Canaletas metálicas de aluminio utilizadas en una cobertura para granja en Bagua Grande.	89

Figura N° 51. Canaletas y bajantes convencionales de diferente sección.	90
Figura N° 52. Sistema de acople empírico entre canaleta y bajante hacia el interceptor y tubo de conducción al almacenamiento. Fuente: FAO.	90
Figura N° 53, Interceptor de primeras aguas.	93
Figura N° 54. Diagrama Curva - Masa entre abastecimiento y demanda mensual para una vivienda de 120m ²	103
Figura N° 55. Diagrama Curva - Masa entre abastecimiento y demanda mensual para una vivienda de 160m ²	104
Figura N° 56. Diagrama Curva - Masa entre abastecimiento y demanda mensual para una vivienda de 200m ²	105
Figura N° 57. Histograma de los registros históricos.	110
Figura N° 58. Comparación gráfica de la prueba de bondad de ajuste.	112
Figura N° 59. Tanque de almacenamiento de agua de 5 000 a 25 000 litros.	117

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1. Pluviometría total por departamentos.	28
Tabla N° 2. Valor “d” según el tamaño de la muestra.....	36
Tabla N° 3. Referencia de las estaciones más cercanas a la ciudad de Jaén.	42
Tabla N° 4. Estaciones meteorológicas solicitadas al SENAMHI.	56
Tabla N° 5. Precipitación máxima 24 horas de la estación Jaén.	58
Tabla N° 6. Precipitación máxima 24 horas anual y parámetros estadísticos básicos.	59
Tabla N° 7. Numeración, año y Precipitación máxima	60
Tabla N° 8. Ppmax 24 horas.....	61
Tabla N° 9. Probabilidad de excedencia mediante Weibull.	62
Tabla N° 10. Procesamiento de las precipitaciones mediante la Distribución Normal.....	63
Tabla N° 11. Procesamiento de las precipitaciones mediante la Distribución LogNormal 2 parámetros.	65
Tabla N° 12. Procesamiento de las precipitaciones mediante la Distribución LogNormal 3 parámetros.	67
Tabla N° 13. Procesamiento de las precipitaciones mediante la Distribución Gamma 2 parámetros.	68
Tabla N° 14. Procesamiento de las precipitaciones mediante la Distribución Pearson tipo III.	70
Tabla N° 15, Procesamiento de las precipitaciones mediante la Distribución LogPearson tipo III.	71
Tabla N° 16. Procesamiento de las precipitaciones mediante la Distribución Gumbel.	73
Tabla N° 17. Procesamiento de las precipitaciones mediante la Distribución LogGumbel.	75
Tabla N° 18. Alturas de precipitación mensual de la estación pluviométrica “Jaén”.	78
Tabla N° 19. Precipitación promedio de distrito de Jaén.	79
Tabla N° 20. Cálculo de la precipitación promedio de distrito de Jaén mediante Isoyetas.	81
Tabla N° 21. Cálculo de la precipitación promedio de la ciudad de Jaén mediante Isoyetas.	82
Tabla N° 22. Coeficientes de escorrentía.	86
Tabla N° 23. Coeficientes de escorrentía.	86
Tabla N° 24. Dimensionamiento de tuberías bajantes.....	91

Tabla N° 25. Determinación del diámetro de tubería en función de la pendiente, intensidad de la precipitación y área de techo.....	92
Tabla N° 26. Normas técnicas.	99
Tabla N° 27. Precipitación promedio mensual en base a los registros históricos (2000 – 2018).....	101
Tabla N° 28. Suministros de agua no potable en una vivienda.	102
Tabla N° 29. Suministro de agua para áreas verdes.	102
Tabla N° 30. Análisis oferta/demanda mensual - almacenamiento vivienda de 120m ² ...	103
Tabla N° 31. Análisis oferta/demanda mensual - almacenamiento vivienda de 160m ² ...	104
Tabla N° 32. Análisis oferta/demanda mensual - almacenamiento vivienda 200m ²	105
Tabla N° 33. Dataciones de agua no potable en una vivienda.	106
Tabla N° 34. Demanda de agua no potable en una vivienda de 120 m ²	107
Tabla N° 35. Oferta de agua no potable en una vivienda de 120 m ²	107
Tabla N° 36. Demanda de agua no potable en una vivienda de 160 m ²	108
Tabla N° 37 Oferta de agua no potable en una vivienda de 160 m ²	108
Tabla N° 38. Demanda de agua no potable en una vivienda de 200 m ²	109
Tabla N° 39. Oferta de agua no potable en una vivienda de 200 m ²	109
Tabla N° 40. Resumen de la prueba de bondad de ajuste para todas las distribuciones. ..	112
Tabla N° 41. Pp máx para diferentes periodos de retorno.....	113
Tabla N° 42 Relación entre el número de observaciones y la precipitación máxima real. 113	
Tabla N° 43. Precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno, corregidas según los valores de la OMM.	114
Tabla N° 44, suministros de agua no potable en una vivienda OPS/UNATSABAR.....	115
Tabla N° 45. Suministros de agua no potable en una vivienda Aqua España 2016.....	115
Tabla N° 46. Influencia del ahorro de agua potable en una vivienda de igual o menor a 120 m ² sin y con un sistema de captación pluvial.	120
Tabla N° 47. Comparación de demanda de agua y volumen de almacenamiento para las diferentes áreas entre los dos métodos empleados.	123
Tabla N° 48. Ensayos fisicoquímicos.....	124
Tabla N° 49. Ensayos microbiológicos	124

RESUMEN

Mediante esta investigación se pretende formular las especificaciones técnicas para el diseño de un sistema de captación y aprovechamiento de agua pluvial para una vivienda unifamiliar en la ciudad de Jaén y en la que se satisfagan las necesidades de uso de agua no potable, para uso doméstico: Lavar accesorios como utensilios de cocina, pisos, lavadora, vehículos, etc.; como uso sanitario en los tanques de inodoros y grifos externos, así también para regadío de jardines o áreas verdes. Se pretende crear un diseño adaptado a la ciudad de Jaén respetando la normativa peruana vigente para Instalaciones Sanitarias y Obras de Saneamiento IS y OS 2006. Los parámetros indispensables para diseñar este sistema son: La pluviometría promedio mensual hallados mediante los métodos de polígono Thiessen e Isoyetas (con uso del software ArcGis 10.5), de por lo menos 15 años a los cuales se tuvo acceso a la información del SENAMHI (Estaciones en estudio), se realizó un estudio hidrológico de la estación “Jaén” y se procesó la información pluviométrica mediante análisis estadísticos aplicados a la hidrología la cual los resultados se verificaron con el software HidroEsta 2.0, el área superficial de captación de agua de lluvia o techo de la azotea donde se empleó dimensiones de 120, 160 y 200 m^2 de acuerdo al área techada de la vivienda, coeficiente de escorrentía según el material usado en la superficie de captación, el volumen de dotación de agua no potable que se calculó en la vivienda, así como también el análisis de calidad de agua que se suministrará mediante el sistema. Con estos datos se diseñó los demás elementos y partes del sistema. Con la aplicación de esta investigación estaremos empleando métodos alternativos sustentables para suplir la problemática mundial y local del agua, y al mismo tiempo ahorrar un porcentaje de hasta 50% de los costes de facturación de agua potable mensual, como también se hará frente a las inundaciones, acumulación de focos infecciosos en las calles, colapso de sistemas de drenaje y alcantarillas, etc.

Palabras Clave: Pluviometría, SENAMHI, estudio hidrológico, HidroEsta 2.0, coeficiente de escorrentía, superficie de captación.

Abstract

Through this research project it is expected to formulate the technical specifications for the creation of a rainwater collection and use system for a single-family home in the city of Jaén and in which the needs of non-potable water use are met, for use Domestic: Wash accessories such as kitchen utensils, floors, washing machine, vehicles, etc.; as sanitary use in the tanks of toilets and external faucets, as well as for the irrigation of gardens or green areas. It is intended to create a design adapted to the city of Jaén respecting the current Peruvian regulations for Sanitary Installations and Sanitation Works IS and OS 2006. The essential parameters to design this system are: The average monthly rainfall found by means of the Thiessen and Isoyetas polygon methods (with the use of ArcGis 10.5 software), for at least 15 years to which it had access to the information of the SENAMHI (Stations under study), it carried out a hydrological study of the “Jaén” station and processed the pluviometric information through statistical analysis applied to the hydrology which the results are verified with HidroEsta 2.0 software, the surface area of rainwater collection or roof roof where dimensions of 120, 160 and 200 m ² are used according to the roofed area of the house, runoff coefficient according to the material used in the catchment surface, the volume of water supply not per table that s e calculated in the house, as well as the analysis of water quality that is supplied through the system. With this data the other elements and parts of the system were designed. With the application of this research we will be using sustainable alternative methods to supply the global and local water problem, and at the same time save a percentage of up to 50% of the monthly drinking water billing costs, as it can also be tackled floods, accumulation of infectious foci in the streets, collapse of drainage systems and sewers, etc.

Keywords: Rainfall, SENAMHI, hydrological study, HidroEsta 2.0, runoff coefficient, catchment surface.

I. INTRODUCCIÓN

El Perú es un país que vive dos problemas ambientales y sociales muy grandes en lo referente a agua: “Se estima que ocho millones de peruanos carecen de los servicios de agua potable y alcantarillado” (INEI, 2018, pág. 10) por ello se considera como “uno de los países latinoamericano con mayores niveles de desigualdad en cuanto al acceso al agua potable en el hogar” (PNUD, 2010) a pesar de que La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) ubica “al Perú a nivel mundial en el puesto 17, en relación con la cantidad de agua disponible por persona” (FAO , 2009) y el Banco Mundial “en el puesto 14 en acceso al agua a nivel de América Latina” (Banco Mundial, 2012, pág. 94). Por otro lado el Perú aún es un país vulnerable ante los eventos climatológicos extremos y así lo hemos notado en los años anteriores: Fenómeno del niño, máximas avenidas de ríos, inundaciones en las zonas rurales y urbanas, lo que provoca el colapso de las estructuras sanitarias e hidráulicas, corte de suministro de agua por días, semanas y hasta meses en casos más extremos; por ello se propone implementar un método estratégico simple y eficaz, así darle una solución a la inequidad de los recursos hídricos en el país, como también aprovechar los eventos climatológicos extremos y darle un uso favorable ante estas situaciones adversas.

1.1. Situación Problemática

Desde hace tiempo sabíamos que la escasez de agua potable amenazaba en convertirse en un grave problema para todo el mundo. “Se estima que 2,1 billones de personas carecen de acceso a servicios de agua potable gestionados de manera segura y que la escasez de agua ya afecta a cuatro de cada 10 personas” (ONU, 2018) El Foro Económico Mundial y otras instituciones calculan que “para 2030 habrá una demanda 40% más alta, que el planeta no podrá suministrar”. Ante la adversa situación, debería ser una responsabilidad socioambiental prioritaria, casi una obligación contar con tecnologías alternativas sustentables para hacer frente a esta problemática.

El déficit de agua en el mundo ahora no solo afecta a las personas y ciudades más vulnerables sino también a las grandes urbes como Ciudad del Cabo (Sudáfrica) que en 2018 tuvo la poco envidiable situación en convertirse en la primera gran ciudad del mundo moderno en quedarse sin agua potable y los habitantes tuvieron la obligación de consumir menos de 50 litros de agua potable al día para evitar “el día cero”; del mismo modo tienen el problema latente Pekín, El Cairo, Moscú, Estambul, Londres, Miami; así como también Sao Paulo y Ciudad de México en Latinoamérica. (BBC, 2018)

Latinoamérica en promedio tiene una disponibilidad de recurso hídrico superior en muchas veces al promedio mundial, y en teoría tendríamos asegurado el consumo para el futuro de nuestras generaciones venideras. Sin embargo, no vivimos en el promedio ni en el futuro. La demanda creciente de recursos hídricos para la agricultura, para la producción de alimentos, para agua de acueductos y alcantarillado y para otra serie de demandas va a tener una presión tan alta que es posible que si no la gestionamos bien terminaremos depilando y depredando este recurso tan valioso. América Latina no sólo tiene una disponibilidad de agua mayor al promedio mundial, sino que incluso es mucho mayor a la demanda proyectada dentro de la región; pero esto hay que entenderlo en el contexto de los diferentes países en los cuales esa no es la situación. Por ejemplo, en nuestro país el 90% de la población vive en donde está el 10% del agua, que es la costa pacífica. Países como Paraguay, Brasil, tienen divergencia muy significativa en la disponibilidad de agua en los diferentes lugares, entonces esto genera situaciones donde la gestión del recurso hídrico se hace extremadamente importante.

Como en todas las ciudades del mundo la falta de accesibilidad al agua se agudiza, no es ajena nuestra localidad de Jaén en épocas de sequía y paradójicamente también en época de lluvia, produciendo innumerables cortes del servicio de agua potable a cualquier hora del día, y además a esto sumándose otra problemática ocasionada por la falta de un sistema de drenaje pluvial y un sistema de alcantarillado deficiente con la que cuenta. Problemática que se manifiesta durante las precipitaciones ocasionando inundación de calles, colapso de estructuras sanitarias y exposición de aguas residuales, daños en losas de concreto y asfalto, al mismo tiempo la proliferación de un foco infeccioso de enfermedades tropicales como dengue, chicunguya y zica.

Problema de la investigación

¿Qué volumen de agua pluvial se puede captar en una vivienda unifamiliar y cómo influye la implementación del sistema de captación en el ahorro de agua potable en la ciudad de Jaén?

Hipótesis

Mediante un sistema de captación de agua de lluvia para techos, se podrá reaprovechar el recurso pluvial y reutilizarlo para fines sanitarios y usos domésticos en una vivienda en la ciudad de Jaén, con ello contribuir a la preservación del líquido elemento mediante una alternativa sustentable y económica para el hogar del ciudadano jaeno.

1.2. Justificación

1.2.1. Justificación tecnológica

Una costumbre milenaria (data de hace 5000 años) para hacer frente a la problemática de falta de agua en circunstancias de eventos climatológicos extremos es el eficiente aprovechamiento de agua de lluvia; en todo el mundo diferentes civilizaciones a lo largo de las épocas desarrollaron métodos para reutilizar el recurso pluvial, sin embargo, estas prácticas se fueron dejando atrás con el uso de nuevos sistemas de distribución del líquido elemento.

Actualmente a pesar que contamos con diferentes tipos de sistemas de distribución y suministro de agua, aún es muy complicado que el suministro llegue a todas las personas ya que año por año la población viene aumentando en cifras muy altas y asentándose en nuevas zonas de expansión urbana, y no solo eso, los fenómenos climatológicos aún nos golpean fuerte en los países en vías de desarrollo como Latinoamérica es por ello la necesidad de contar con tecnologías alternas con componentes ecológicos.

1.2.2. Justificación económica

El agua de lluvia es un recurso gratuito y fácil de mantener. Relativamente limpio que se puede utilizar en actividades que no requieran de su consumo (FAO, 2010). Mediante este sistema se reducirán las tarifas de agua potable entubada hasta en un 50% en los casos más favorables por la disminución en su uso, ya sea en sanitarios, para lavar (superficies, utensilios, vehículos o ropa), riego de jardines o cultivos, entre otras posibilidades.

1.2.3. Justificación Socioambiental

Ahora ante el reto que supone el aumento de la población y la escasez del suministro, tanto en las zonas urbanas como rurales, la captación de agua de lluvia y nuevos sistemas para su correcta gestión, vuelven a verse como una solución para ahorrar y aumentar las reservas de agua; fomentando una cultura de conservación y uso óptimo del agua.

1.3. Antecedentes

1.3.1. A nivel Internacional

(CEPIS, 1988) Manual de consulta sobre tecnología de sistemas de abastecimiento de agua para pequeñas comunidades, en este manual existe un apartado de 10 páginas tratando el tema de “recolección de agua pluvial” en la cual da pautas en términos generales de un pequeño sistema de aprovechamiento de agua pluvial en una vivienda con algunas recomendaciones técnicas para su instalación.

Se debería considerar la recolección del agua de lluvia en los países en donde la precipitación pluvial es fuerte en tormentas de intensidad considerable, con intervalos en los cuales prácticamente no hay lluvia o hay muy poca lluvia. Ello requiere tomar las providencias adecuadas para la captación, colección y almacenamiento del agua. Dependiendo de las circunstancias, la captación del agua se hace en el suelo, o se recolecta el agua que escurre por los techos. (CEPIS, 1988, pág. 49)

(Anaya, 1998) Libro desarrollado junto con IICA – México tiene la intención de ofrecer a profesionales, técnicos, productores y para todas aquellas personas involucradas en la planeación y desarrollo integral sostenible, guías básicas para el establecimiento de sistemas de Captación de Agua de Lluvia para uso doméstico.

La utilización de agua de lluvia no provoca conflictos a nivel de comunidad, representa tecnologías de bajas inversiones, no genera problemas de contaminación y está al alcance de todos. Con la activa presencia de la Asociación Internacional sobre Sistemas de Captación de Agua de Lluvia (IRCSA) se ha despertado interés, en los últimos 20 años, de gobiernos y organismos no gubernamentales sobre el buen aprovechamiento del agua de lluvia. (Anaya, 1998, pág. 5)

(FAO, 2000) La Oficina nacional de la FAO para América latina y el Caribe creó este manual donde toma la experiencia de un conjunto de profesionales de diferentes países de Latinoamérica.

El manual de captación y aprovechamiento de agua de lluvia en zonas áridas y semiáridas en América Latina, ha sido preparado con la intención de proveer a técnicos y a extensionistas de lineamientos generales prácticos para la implementación de sistemas probados sobre captación de agua de lluvia. Sin embargo, éste también puede ser de interés para una mayor audiencia, como especialistas en desarrollo rural y planificadores. El enfoque del manual es aplicativo, presenta técnicas de captación o como también se denomina cosecha de agua de lluvia, que se utilizan para mejorar la producción de cultivos, árboles y pastizales en secano en zonas áridas y semiáridas que han sido utilizadas o que han tenido satisfactorios resultados experimentales en la Región de América Latina y el Caribe. (FAO, 2000, pág. 5).

(Fernandez, 2009) Incentiva la utilización de jardines urbanos en Catalunya dotados por agua de lluvia, y evalúa la factibilidad social y económica de la misma.

El objetivo principal del proyecto es poder establecer ciertos parámetros que permitan crear un protocolo de dimensionado de depósitos para riego de jardines urbanos. Centraremos el estudio en las zonas de mayor concentración urbana de Catalunya, y se incluirán ejemplos prácticos de dimensionado de depósitos para pluviales en jardines urbanos. (Fernandez, 2009, pág. 6).

En Europa muchos países vienen aplicando estos sistemas de captación de agua de lluvia de manera sofisticada, inclusive dentro de planes estatales como también privados. Una de ellas es Aqua España que realizó una guía técnica aplicada para la reutilización de agua de lluvia en España. (Aqua España, 2016)

El agua de lluvia es un recurso alternativo para el suministro de agua en los edificios y viviendas que resulta de especial interés medioambiental y económico. Particularmente allí donde el agua disponible es escasa y/o donde ya tiene una tarifa ajustada a su coste real (...) Aqua España pretende generar un nuevo impulso en nuestro país a la instalación de estas soluciones sostenibles

para el uso del agua, que deben tener un papel central en la iniciativa avanzada de gestión de agua. (Aqua España, 2016, pág. 4)

En Latinoamérica poco a poco se ha llevado a la concientización del reaprovechamiento del recurso pluvial, aunque aún el camino es largo ya se están tomando iniciativas y buenos hábitos para la aplicación de estos sistemas.

(Palacio, 2010) en su tesis de especialización de la Universidad de Antioquia presenta una propuesta de diseño de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia, como alternativa para el ahorro de agua potable en usos tales como descarga de sanitarios, lavado de zonas comunes, entre otros, en una institución educativa del municipio de Caldas, Antioquia.

(Herrera, 2010) en sus tesis para obtener el grado de maestro en ingeniería civil del Instituto Politécnico Nacional de México, plantea un estudio de alternativas para el uso sustentable de agua de lluvia en México, dividido en 6 capítulos, concluye:

Frente a los cambios físicos ambientales, motivados por el calentamiento global es importante cuidar al máximo los recursos hídricos con tecnologías alternativas que sean de bajo costo y que faciliten su implementación. La utilización de los SCALL se ha convertido ya en una necesidad y deberá de ser considerados, en cualquier obra de edificación como un sistema alternativo de abastecimiento de agua potable. También se recomienda utilizar este documento como un primer paso para la realización de un manual en SCALL, es necesario trabajar mucho en diseños que aseguren agua de buena calidad y salud de las personas. (Herrera, 2010, pág. 9)

1.3.2. Antecedentes locales

Asimismo, en Lima un convenio de organizaciones (OPS/UNATSABAR, 2004) se unificó para crear un manual que pretende dar ciertas pautas o recomendaciones técnicas para la instalación de un sistema de captación de agua de Lluvia. Elaborado con apoyo de la Agencia Suiza, aspira a que tanto funcionarios públicos como privados tengan un instrumento guía en su propósito de asegurar diseños adecuados para la captación de agua de lluvia.

(Aranda, 2015) en su tesis de grado de la Universidad Nacional del Centro del Perú desarrolla un sistema de captación de agua pluvial en techos como alternativa para el ahorro de agua potable en la ciudad de Huancayo. Concluye que para áreas de 220 m^2 con 6 pobladores se podrá satisfacer el 100% del consumo de agua potable.

(León, 2016) tesis de grado de la Pontificia Universidad Católica del Perú que consta de aprovechamiento sostenible de recursos hídricos pluviales desarrollado en zonas residenciales de la sierra peruana en Nueva Ciudad de Morococha, provincia de Yauli, Junín.

El potencial de ahorro anual gracias al sistema de captación pluvial es de 31.95 m^3 . Si se considera el valor de dotación por vivienda obtenido es de $15\text{ m}^3/\text{mes}$, se observó que gracias al sistema propuesto se suple la dotación de más de dos meses al año. (León, 2016, pág. 72)

(Hernández, 2014) tesis de grado de la Universidad Privada del Norte que tiene como objetivo determinar el nivel de abastecimiento de agua potable anual con la implementación de un Sistema de Aprovechamiento de Agua de Lluvia en el caserío La Florida, Huasmín, Celendín, Cajamarca.

Con la implementación de un sistema de aprovechamiento de agua de lluvia se logra abastecer de agua potable durante todos los meses del año a las 15 familias del caserío la florida con dotaciones (...) una dotación mayor a 20 litros/familia-día y valores menores a 20lt/Hab-día, siendo el valor mínimo de dotación asumido de 8lt/Hab-día que corresponde a la vivienda N°15 con un área de captación de 45 m^2 y con un volumen de tanque de almacenamiento necesario de 15 m^3 y como valor máximo de dotación es 22.5 lt/Hab-día correspondiente a la vivienda N°03 con un área de captación considerada de 52.07 m^2 y un volumen de tanque necesario de 17.5 m^3 . (Hernández, 2014, pág. 135).

1.4. Bases teóricas

El aprovechamiento de agua pluvial es una técnica milenaria que en diferentes épocas se usó y se sigue utilizando con éxito, a continuación, una breve reseña histórica del uso de esta práctica en todo el mundo.

1.4.1. Reseña Histórica

A. Europa

- Domus Romana

Las domus eran las viviendas de las familias de un cierto nivel económico, cuyo cabeza de familia (paterfamilias) llevaba el título de dominus. Tras acceder a la casa por el vestíbulo se llegaba, a través de las fauces, al atrio (atrium), elemento característico de la domus, un patio cubierto y con una abertura central (el compluvium) por la que entraba el agua de lluvia (que se recogía en el impluvium). (Wikipedia, Domus Romana, 2010).

En el centro del atrio se mantenía sin cubrir un espacio rectangular en el centro llamado compluvium, se establecía la aireación de la casa y a través de él se recogía el agua de lluvia, que iba a caer a un estanque en el centro del atrio, al que llamaban impluvium, desde el que se llevaba a unas cisternas excavadas en el suelo donde se guardaba para el abastecimiento diario. En el centro del impluvium solía colocarse una fuente. (Rodríguez, EL atrium, impluvium y estancias de servicio , 2013)

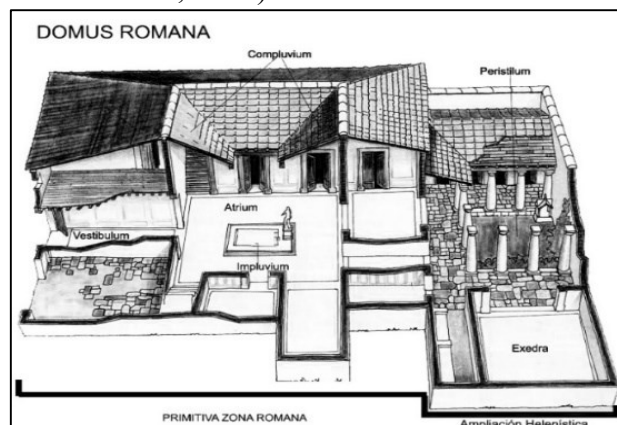
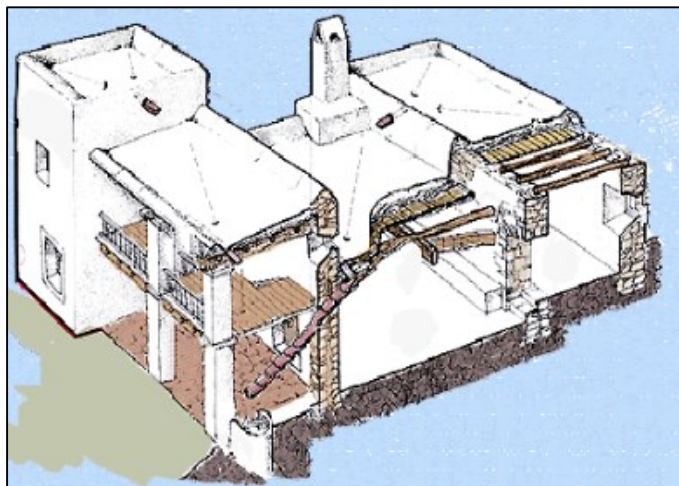


Figura N° 1. Dibujo ilustrativo de la domus romana.
Fuente: <http://bernardorodriguezcerezuelaipat2013.blogspot.com>

- La Casa Pagensa Ibicenca

Según (Fernandez, 2009) era la vivienda rural tradicional de Ibiza, en las islas Baleares. Sus orígenes se asignan a los fenicios que las importaron del Este del Mediterráneo, zona geográfica con un clima muy similar al existente en Ibiza. En la isla no hay cursos de agua permanentes, no hay ríos, la superficie es predominantemente caliza, lo que provoca la rápida infiltración de las aguas pluviales a los acuíferos. Si las casas o Pagés no contaban con un pozo para acceder a las aguas subterráneas, el almacenamiento de aguas pluviales era fundamental.

La casa de Pagés eivissenca cuenta con un sistema muy eficiente de aprovechamiento de aguas de lluvia. La pendiente del terreno permite que las cubiertas desagüen unas en otras, y el agua se reconduce hasta una canalización que la lleva a la cisterna. Situado a la entrada de la misma y a nivel del suelo hay un pequeño depósito de intercepción donde se recogen los restos (hojas, poles, polvo, excrementos de aves, etc.) arrastrados por el agua de las cubiertas. Tras ese filtrado, el agua llega en mejores condiciones al depósito definitivo. Éste está enterrado, tiene forma de botella y cuenta con una tapa, una polea y un cubo para la extracción. La superficie interior está cubierta con una capa de cal para desinfectar el agua almacenada, que se mantiene en buenas condiciones debido a la oscuridad y temperatura.



*Figura N° 2. Casa rural ibicenca.
Fuente: Hernández (2009)*

B. Oriente Medio

- Los Aljibes Árabes

El aljibe es un recurso arquitectónico para almacenar agua. El modelo tradicional árabe es un recipiente total o parcialmente subterráneo, construido o labrado y cubierto por una bóveda de cañón o ligeramente apuntada o en cúpula de casquete, hecha de ladrillo. El agua acumulada suele proceder de la lluvia recogida de los tejados de las casas o de las acogidas del entorno canalizadas hasta él. (Wikipedia, 2014)

Tal es la perfección técnica de estos sistemas que abastecían de agua a toda la ciudad, que siguieron en funcionamiento muchos siglos, hasta la implantación del sistema de agua potable de red



Figura N° 3 Aljibe Musulmán del “Palacio de la veletas” Andalucía – España.
Fuente: <http://museodecaceres.juntaex.es>

C. Asia

- Ronjinson

En Tokio el aprovechamiento de agua lluvia es promovido para mitigar la escasez de agua, controlar las inundaciones y asegurar agua para los estados de emergencia. A nivel comunitario se están implementando instalaciones que están introduciendo a la población en la utilización del agua lluvia, éstas son llamadas “Ronjinson”, se les encuentra la vía pública del distrito de Mukojim. Esta instalación recibe el agua lluvia del techo de la casa, la cual es almacenada en un pozo subterráneo, para extraer el agua se utiliza una bomba manual como se ilustra en la Figura N° 4, el agua colectada es utilizada para el riego de jardines, aseo de fachadas y pisos, combatir incendios y como agua de consumo en situaciones de emergencia (Ballén, Galarza, & Ortiz, 2006)

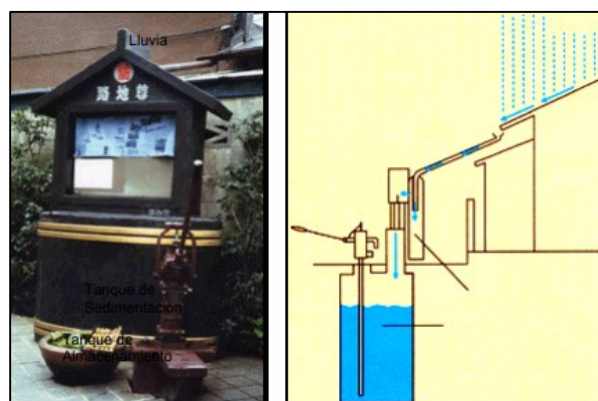


Figura N° 4 “Ronjinson” Reutilización de agua para uso comunitario, Tokio – Japón.
Fuente: UNEP

La India es el segundo país con mayor población después de china. Por ello el gran problema que enfrenta el gobierno es suministrar los servicios básicos a 1.000 millones de personas. La solución que se ha tomado para enfrentar estos problemas son las técnicas de aprovechamiento de agua lluvia. En la India, el monzón es un diluvio breve, allí se dan aproximadamente 100 horas de lluvia por año. En estas 100 horas debe captar y almacenar el agua para las otras 8,660 horas que constituyen un año. (Ballén, Galarza, & Ortiz, 2006)

Según Ballén (2006) Singapur cuenta con recursos naturales limitados y una creciente demanda de agua, esto ha llevado la búsqueda de fuentes alternativas y métodos innovadores para el aprovechamiento del recurso agua. Alrededor del 86% de la población de Singapur vive en edificios de apartamentos. Los techos de estos edificios son utilizados para la captación de aguas lluvias. El agua lluvia es almacenada en cisternas separadas del agua potable, para darles usos diferentes al de consumo humano.

D. África

En los países africanos la recolección de agua de lluvia es muy difundida por obvias razones, pero los sistemas de captación y la implantación de ésta tecnología aún es lento. Recientemente, gracias a una nueva aplicación para móviles desarrollada por ONU Medio Ambiente y la UNESCO, es posible calcular la cantidad de agua de lluvia que puede recogerse en el tejado de las casas. La app utiliza datos meteorológicos reales recopilados en estaciones meteorológicas de toda África. El cálculo se realiza a partir de datos específicos de las ubicaciones más cercanas a las estaciones meteorológicas, que la app presenta como la ciudad más cercana. (Iagua, 2019)

Según la redacción de Cristina Novo para Iagua (2019), la captación de agua de lluvia puede mejorar la calidad de vida de mujeres y niños al reducir la cantidad de tiempo que dedican a buscar agua: en 25 países subsaharianos, las mujeres emplean 16 millones de horas cada día en recoger agua. Puede mejorar la higiene y la salud, gracias a disponer de una fuente mejorada de agua potable, a la vez que contribuye a la seguridad alimentaria, suministrando agua para la agricultura a pequeña escala durante la estación seca. También es posible utilizar el agua recogida para la recarga de acuíferos. Aunque no puede ni debe recogerse cada gota de lluvia, esta fuente de agua es aún poco utilizada en África. Debido al bajo coste de la tecnología para la captación y aprovechamiento de agua de lluvia, es una opción interesante en zonas rurales.

La nueva app muestra las posibilidades de captación de agua de lluvia. A partir de la ubicación, las dimensiones del tejado de la casa, el número de miembros de la familia, y el consumo de agua diario, la app calcula la cantidad de agua de lluvia que podría recogerse y ser utilizada por la familia. También indica el tamaño del sistema de captación y calcula su coste. Dichos sistemas pueden construirse a partir de la tecnología y materiales disponibles en cada sitio. (Iagua, 2019)

E. América

- Sistemas de captación de lluvia Pre-inca e inca

Los antiguos habitantes del Perú precolombino ya tenían conocimientos sofisticados de sistemas hidráulicos y aprovechamiento de agua pluvial, se dice que tenían una estrecha relación con el agua y, (contrario a lo que sucede en el Perú actual) trataban de aprovechar los eventos climatológicos extremos para la reutilización de agua en tiempos de sequía. Solo por nombrar algunas de las admirables construcciones hidráulicas están: Sistema de andenes (Andenes de Andamarca- Ayacucho, terrazas de Moray y Pisac- Cusco), Puquios o acueductos de Nazca (Ica), canal de Cumbemayo (Cajamarca), sistemas de riego de Tipón (Cusco), sistema de drenaje de Machu Picchu (Cusco).

El ingeniero hidrogeólogo estadounidense Kenneth Wright ha publicado un libro sobre estas estructuras hidráulicas, que han merecido el título de "Maravilla de la Ingeniería Civil" en la Asociación de Ingenieros Civiles de Estados Unidos (ASCE). (Wikipedia, Tipón, 2015)



*Figura N° 5 Canal de Cumbemayo.
Fuente: GRC.*

Según Ballén (2006) en la década de los 90' en Brasil, muchas ONG y organizaciones ambientales se enfocaron en trabajar en el suministro de agua para consumo humano usando sistemas de aprovechamiento de agua lluvia. En la región de Brasil de clima semiárido, en promedio anual de lluvia varía desde 200 hasta 1.000 mm. Por ello una ONG y el gobierno de Brasil iniciaron un proyecto para construir un millón de tanques para la recolección de agua lluvia en un periodo de 5 años, para beneficiar a 5 millones de personas. La mayoría de estos tanques fueron hechos con estructuras de concreto prefabricado o concreto reforzado con mallas de alambre.

Los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia son usados en los siguientes 15 Estados y territorios de los Estados Unidos: Alaska, Hawaii, Washington, Oregon, Arizona, Nuevo México, Texas, Kentucky, Ohio, Pennsylvania, Tennessee, North Carolina, Virginia, West Virginia y las Islas Vírgenes. Se estima que más de medio millón de personas en los Estados Unidos utilizan sistemas de aprovechamiento de agua lluvia abasteciéndose de agua para usos doméstico o propósitos agrícolas, comerciales o industriales. Existen más de 50 compañías especializadas en el diseño y construcción de sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias. (Ballén, Galarza, & Ortiz, 2006)

1.4.2. Conceptos Generales

1.4.2.1. La crisis del agua

El agua a nivel global es 97.5% agua salada, la cual prácticamente no utilizamos, y sólo un 2.5% es agua dulce. Sin embargo, de ese dos y medio por ciento hay 1.7% que está congelado en hielo y glaciares a nivel global y hay otro 0.7% que está en el subsuelo, el cual utilizamos poco.

Es decir que toda el agua que existe a nivel superficial, o sea todos los ríos del mundo representan solamente el 0.1% del agua a nivel global. Sin embargo, de ese pequeño porcentaje de recurso hídrico es del que subsistimos, es ahí cuando nos sumergimos poco a poco a hablar de la crisis del agua



Figura N° 6. Agua en el Mundo.

Fuente: Centro Virtual de información del agua (2017).

Según el Banco Interamericano de Desarrollo (BID, 2019) Si tomamos ese 0.1% del agua a nivel global eso más o menos se traduce a unos 10 millones de kilómetros cúbicos de agua. Si tomamos la población mundial, aproximadamente unos 7 mil millones de habitantes, y un uso promedio por persona de aproximadamente unos 1000 litros por persona por día, esa cantidad, aunque parezca pequeño a nivel global significa que tenemos agua para utilizarla durante más de 10 mil años.

Pero, esa disponibilidad de agua no es igual en todas partes, según Campos (2019) América Latina y el Caribe es una parte del mundo privilegiada al contar con más del 30 por ciento de las reservas globales de agua dulce y con apenas el 18% de la población del planeta. El agua es el combustible de nuestra región, con cerca del 80% de nuestra matriz energética proveniente del sector hidroeléctrico. Además, casi toda nuestra agricultura y ganadería es irrigada con agua lluvia.

Pero, irónicamente, somos una región llena de agua, pero con sed. En ciudades como Buenos Aires, por ejemplo, el agua es un recurso abundante. La situación es radicalmente diferente en Lima, la segunda ciudad más grande del mundo asentada en una zona desértica. Además, los efectos del cambio climático han comenzado ya a sentirse con

fuerza en nuestra región, en algunas zonas en forma de inundaciones cada vez más serias y frecuentes y en otras en periodos prolongados de sequía. (Campos, 2019)

Dentro del continente americano y particularmente dentro de la región de América Latina y el Caribe hay algunas inconsistencias. Por ejemplo, tenemos las latitudes medias: el norte de México, el norte de Brasil, las costas norte del Perú tienden a ser lugares muy áridos. Dentro de Latinoamérica, tenemos lugares extremadamente húmedos como Centroamérica, pero también tenemos lugares donde la población excede la capacidad de los sistemas naturales de proveer el agua.

Cuando comparamos estas inconsistencias nos damos cuenta de que en algunos lugares sí hay escasez hídrica, sí se puede hablar de la crisis del agua, aunque a nivel global e incluso a nivel regional podamos no tener ningún problema de agua. El asunto no es nada más la disponibilidad sino también el acceso, porque no es lo mismo tener el recurso al lado y no tener acceso a él. El acceso requiere de infraestructura, requiere instituciones, requiere de leyes y todo este conjunto de factores es lo que se llama la gestión del recurso hídrico.

Según el Banco Interamericano de Desarrollo (BID, 2017) entre 1990 y 2015, más de 220 millones de personas en Latinoamérica (de un total de 600 millones) obtuvieron acceso al agua y al saneamiento. Sin embargo, la calidad de los servicios que nos exigen los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU (ODS) todavía es deficiente en nuestra región, sobre todo en saneamiento ya que únicamente 22 % de la población de la región cuenta con acceso a saneamiento seguro.

Asimismo, cerca de 200 millones de personas experimentan un servicio de agua intermitente. El tratamiento de aguas residuales es una tarea todavía pendiente, puesto que menos del 20% de esas aguas recibe algún tipo de tratamiento antes de ser reintroducida en el medio ambiente.

Alcanzar estos nuevos objetivos en agua y saneamiento requiere grandes esfuerzos financieros, según el (BID, 2019):

Para lograr el acceso universal al agua en 2030, la región de América Latina y el Caribe necesitaría invertir al menos US\$ 28.000 millones, mientras que la inversión en saneamiento debería ser mayor: US\$ 49.000 millones. Además, para reducir la tasa de aguas residuales sin tratamiento a la mitad en 2030 necesitaríamos invertir US\$ 30.000 millones solamente en los grandes centros urbanos.

Desafíos muy costosos y difíciles, pero para superarlos no solo se requiere recursos económicos. Se necesita pensar en nuevas ideas, puntos de vista novedosos y tecnologías alternativas para superar esos problemas. Las acciones y pensamientos convencionales no serán suficientes para alcanzar esos objetivos y menos para sostenerlos.

- El agua de lluvia como alternativa a la inequidad y crisis del agua

Según la BBC (2017) Una respuesta más simple y más barata para la crisis mundial del agua es recoger agua de lluvia. El tanque de recogida de aguas pluviales más grande de Melbourne puede almacenar cuatro millones de litros de agua parcialmente tratada.

Autoridades de Kerala, Bermuda E islas Vírgenes de estados Unidos requieren que todos los edificios nuevos incorporen la recolección de agua de lluvia, mientras que Singapur satisface hasta el 30% de sus necesidades de agua potable de este modo. Incluso en Manchester, Inglaterra, donde llueve en promedio 12 días al mes, se están haciendo esfuerzos para recolectar la lluvia. (BBC, 2017)

Según Gichuri (2015) Latinoamérica y el Caribe es la región con mayor porcentaje de agua dulce del mundo y con la cobertura más alta de agua potable de las regiones en desarrollo (94%) pero los índices de cobertura varían ampliamente entre países y entre las zonas rurales y urbanas de un mismo país. Por ejemplo, en Uruguay más del 96% de la población cuenta con acceso a instalaciones de saneamiento mejoradas, frente a menos de la mitad de la población en Bolivia (46%) y casi la cuarta parte (24%) en Haití.

Lo mismo sucede en nuestro país, El Perú cuenta con tres vertientes en su territorio, con una disponibilidad de casi 2 billones de metros cúbicos de agua cada año, sin embargo, por nuestra geografía, la vertiente del Pacífico –donde reside el 66 % de la población- sólo cuenta con una disponibilidad de 2,2 % de acceso al agua (ANA, 2015)

Por eso mi atención se centra en la alternativa sustentable de captación de agua de lluvia, ya que los climas que prevalecen en nuestro país juegan a favor de la implementación de estos sistemas, a pesar de que la pluviometría varía según la región.

- Usos del agua

El uso del agua ha ido aumentando en todo el mundo aproximadamente un 1% por año desde la década de 1980 (AQUASTAT, s.f.). Este aumento constante se ha debido principalmente a la creciente demanda en los países en desarrollo y en las economías emergentes (aunque el uso del agua per cápita en la mayoría de estos países sigue estando muy por debajo del uso del agua en los países desarrollados, simplemente los están alcanzando). Este crecimiento es impulsado por una combinación de crecimiento poblacional, desarrollo socioeconómico y patrones de consumo en evolución (WWAP, 2016). La agricultura (incluida la irrigación, la ganadería y la acuicultura) es, con mucho, el mayor consumidor de agua, dado que representa el 69% de las extracciones anuales de agua a nivel global. La industria (incluyendo la generación de energía) representa el 19%, y los hogares el 12% (AQUASTAT, s.f.)

Se espera que la demanda global de agua continúe aumentando a un ritmo similar hasta 2050, hasta un aumento del 20 al 30% por encima del nivel actual de uso del agua (Burek et al., 2016). Aunque las proyecciones específicas pueden variar un poco, el análisis actual sugiere que gran parte de este crecimiento se atribuirá a los aumentos en la demanda de los sectores industrial y doméstico (OCDE, 2012; Burek et al., 2016; IEA, 2016).

Por lo tanto, es probable que la porción de la agricultura en el uso total de agua disminuya en comparación con otros sectores, pero seguirá siendo el mayor usuario en general en las próximas décadas, en términos de extracción y consumo de agua.

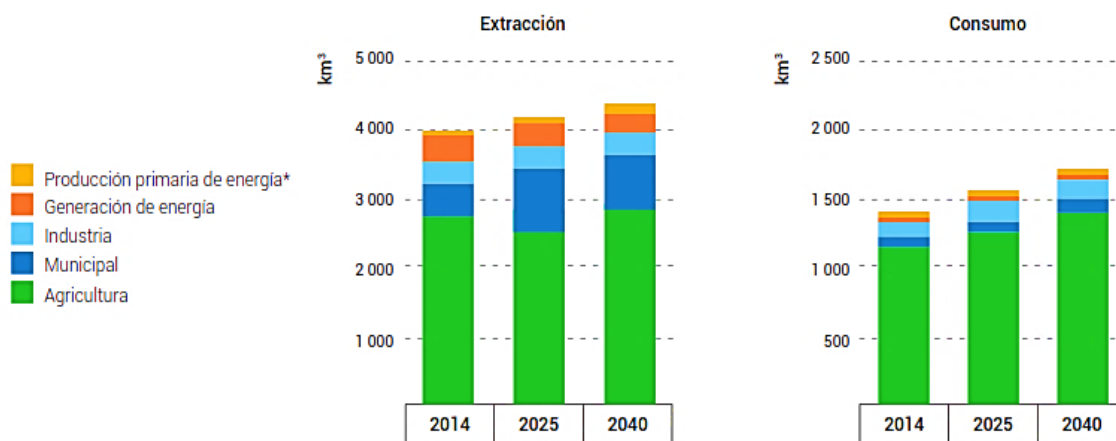


Figura N° 7. Demanda global del agua por sector para el 2040.
FUENTE: Unesco (2019)

- ✓ Extracción de agua: volumen de agua retirado de una fuente; por definición, las extracciones son siempre mayores o iguales al consumo.
- ✓ Consumo de agua: volumen extraído que no se devuelve a la fuente (es decir, se evapora o se traslada a otra ubicación) y, por definición, ya no está disponible para otros usos a nivel local.
- Disponibilidad del agua

Más de 2.000 millones de personas viven en países que experimentan un alto estrés físico por el agua. Aunque el estrés hídrico promedio mundial es solo del 11%, 31 países experimentan estrés hídrico entre el 25% (que se define como el umbral mínimo de estrés hídrico) y el 70%, y 22 países están por encima del 70%, y por lo tanto están bajo un estrés hídrico severo (ONU, 2018). El creciente estrés hídrico indica un uso sustancial de los recursos hídricos, con mayores impactos en la sostenibilidad de estos y un creciente potencial de conflictos entre los usuarios.

Cabe destacar otros aspectos importantes del estrés hídrico. En primer lugar, dado que la disponibilidad de agua puede ser altamente variable de una temporada a otra, los datos promedio de todo el año no muestran períodos de escasez de agua. Por ejemplo, se estima que alrededor de 4.000 millones de personas, que representan casi dos tercios de la población mundial, experimentan una grave escasez de agua durante al menos un mes del año (Mekonnen M., 2016). En segundo lugar, estos datos combinados a nivel de país pueden ocultar diferencias (a veces enormes) en la disponibilidad de agua a lo largo de varias cuencas hidrográficas dentro de un país o región determinada.

Por ejemplo, el bajo estrés hídrico nacional en varios países/regiones (Figura 8), tales como Australia, América del Sur y África subsahariana, no debe malinterpretarse, puesto que el estrés hídrico a nivel de cuenca o local puede ser muy significativo. En tercer lugar, el estrés hídrico físico no tiene en cuenta la escasez económica de agua, donde el acceso al agua no está limitado como resultado de la cantidad de recursos hídricos existentes en sí, sino por la falta de infraestructura para recolectar, transportar y tratar el agua con fines humanos. (UNESCO, 2019)

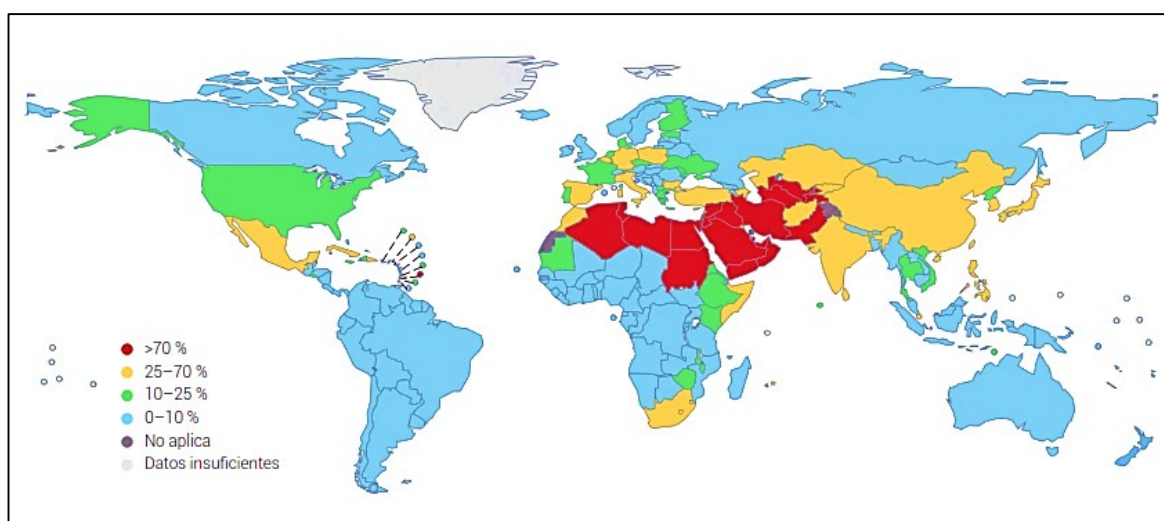


Figura N° 8 Nivel de estrés hídrico físico.

FUENTE: Informe Mundial de ONU sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos (2019).

El estrés hídrico físico se define aquí como la proporción del total de agua dulce extraída anualmente por los sectores principales, incluidos los requisitos ambientales de agua, respecto a la cantidad total de recursos renovables de agua dulce, expresada como porcentaje (UNESCO, 2019)

Es probable que los niveles de estrés hídrico físico aumenten a medida que crezcan las poblaciones y su demanda de agua, y se intensifiquen los efectos del cambio climático (ONU, 2018). De igual manera, es probable que el cambio climático y la variabilidad del clima en aumento oscilen a escala local y de cuenca y según las estaciones. Sin embargo, en su mayoría, las áreas secas tenderán a ser más secas y las húmedas más húmedas (figura 9), de forma que el cambio climático probablemente exacerbará el estrés hídrico en las áreas que ya son de las más afectadas.

Las estimaciones sugieren que, si la degradación del medio ambiente y las presiones insostenibles sobre los recursos hídricos mundiales continúan, el 45% del producto interior bruto (PIB) mundial, el 52% de la población mundial y el 40% de la producción mundial de

cereales estarán en riesgo para el 2050. Las poblaciones pobres y marginadas se verán desproporcionadamente afectadas, agravando aún más las ya crecientes desigualdades (ONU, 2018).

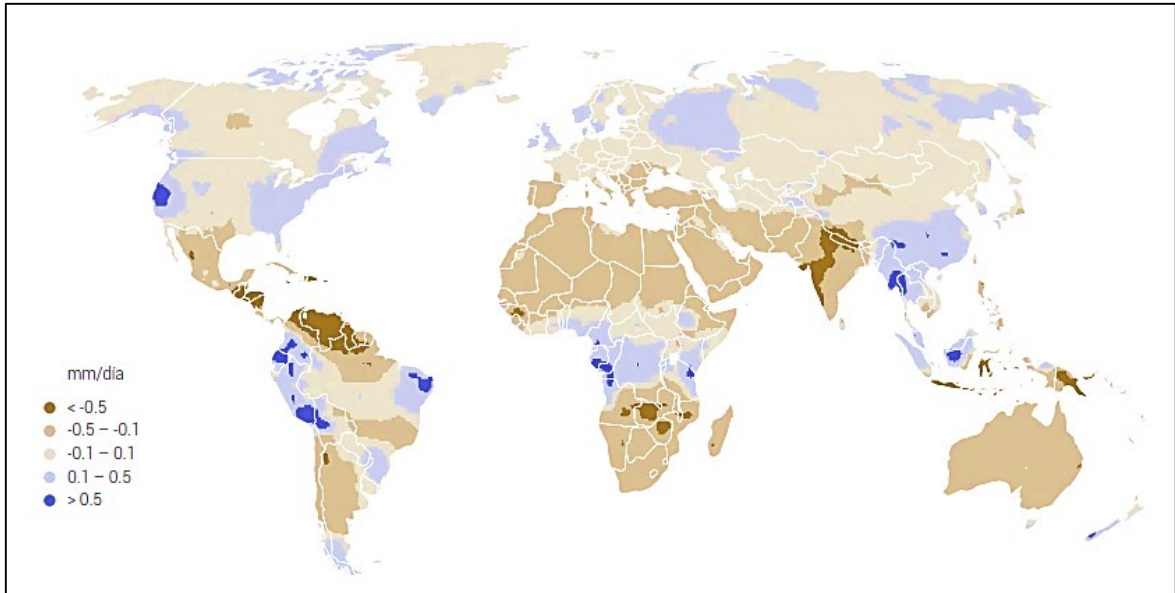


Figura N° 9 Cambio en la precipitación neta 2010 – 2050.

FUENTE: Informe Mundial de la ONU sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019.

1.4.3. Hidrología

Es la ciencia geográfica que se dedica al estudio de la distribución, espacial y temporal, y las propiedades del agua presente en la atmósfera y en la corteza terrestre. Esto incluye las precipitaciones, la escorrentía, la humedad del suelo, la evapotranspiración y el equilibrio de las masas glaciares. (MTC, 2014, pág. 12)

1.4.4. Ciclo hidrológico

Se denomina ciclo hidrológico, al conjunto de cambios que experimenta el agua en la naturaleza, tanto en su estado (sólido, líquido, gaseoso), como en su forma (agua superficial, agua subterránea, etc.) (Villón, 2002, pág. 16)



Figura N° 10. El ciclo del agua.
Fuente: USGS

1.4.5. Cuenca Hidrológica

La cuenca de drenaje de una corriente, es el área de terreno donde todas las aguas caídas por precipitación, se unen para formar un solo curso de agua. Cada curso de agua tiene una cuenca bien definida, para cada punto de su recorrido. (Villón, 2002, pág. 21)

Teniendo en cuenta ese concepto, podemos definir que un sistema de captación de agua de lluvia tiene la estructura de una cuenca, siendo ésta la superficie de captación, pasando a una red de conductos que serían las canaletas para luego derivar a un punto de aforo o almacenamiento.

1.4.6. Precipitación

Para Villón (2002, pág. 69) Es toda forma de humedad que, originándose en las nubes, llega hasta la superficie del suelo; de acuerdo a esta definición la precipitación puede ser en forma de: Lluvias, granizadas, garúas, nevadas.

Desde el punto de vista de la ingeniería hidrológica, la precipitación es la fuente primaria del agua de la superficie terrestre, y sus mediciones y análisis, forman el punto de partida de los estudios concernientes al uso y control del agua. (Villón, 2002, pág. 69).

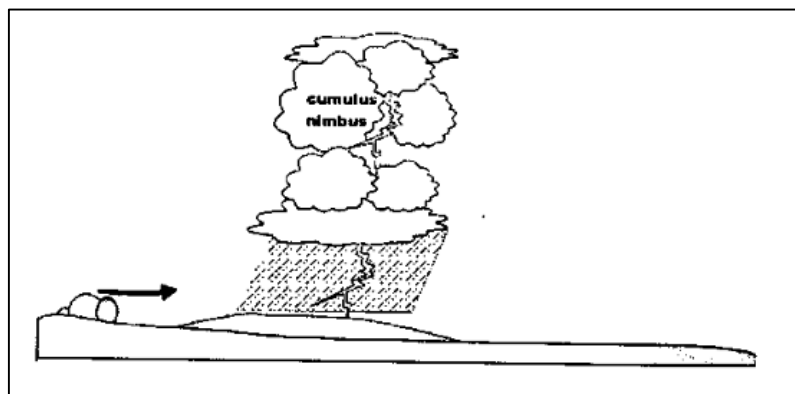
1.4.6.1. Clasificación de la precipitación

Según Villón (2002) la formación de la precipitación, requiere la elevación de una masa de agua en la atmósfera, de tal manera que se enfríe y parte de su humedad se condense. Atendiendo al factor que provoca la elevación del aire en la atmósfera, la precipitación se clasifica en:

- Precipitación de convección

En tiempo caluroso, se produce una abundante evaporación a partir de la superficie del agua, formando grandes masas de vapor de agua, que por estar más calientes, se elevan sufriendo un enfriamiento de acuerdo a la adiabática seca o húmeda. En el curso de su ascenso, se enfrían según el gradiente adiabático seco ($1^{\circ}\text{C}/100\text{m}$), o saturado ($0.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$) (Villón, 2002, pág. 71).

Las masas de vapor se acumulan en los puntos llamados células de convección (figura 11). A partir de este punto, éstas masas pueden seguir elevándose hasta llegar a las grandes alturas, donde encuentran condiciones que provocan la condensación y la precipitación. Generalmente viene acompañada de rayos o truenos. Son precipitaciones propias de las regiones tropicales, donde las mañanas son muy calurosas, el viento es calmo y hay una predominancia de movimiento vertical del aire. (Villón, 2002, pág. 71).



*Figura N° 11 Precipitación de convección.
Fuente: Villón (2002).*

- Precipitación orográfica

Se producen cuando el vapor de agua que se forma sobre la superficie de agua es empujado por el viento hacia las montañas, aquí las nubes siguen por las laderas de las montañas y ascienden a grandes alturas, hasta encontrar condiciones para la condensación y la consiguiente precipitación. (Villón, 2002, pág. 72).

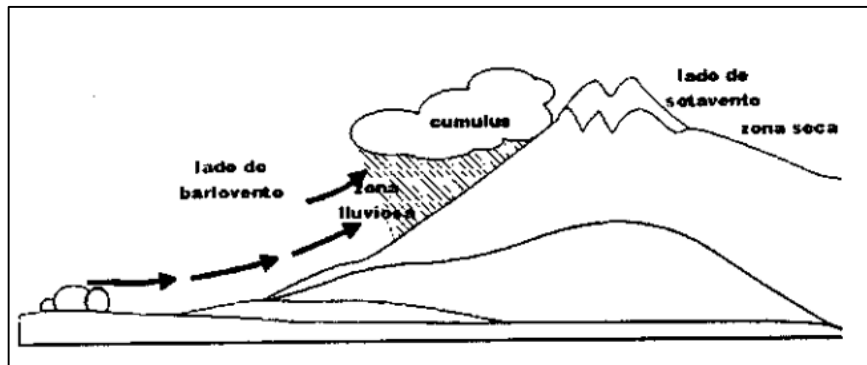


Figura N° 12. Precipitación orográfica.
Fuente: Villón (2002).

- Precipitación ciclónica

Se producen cuando hay un encuentro de dos masas de aire, con diferente temperatura y humedad, las nubes más calientes son violentamente impulsadas a las partes más altas, donde pueden producirse la condensación y precipitación. Están asociadas con el paso de ciclones a zonas de bajas presión. Todas estas formas de originarse las lluvias, en la naturaleza se presentan combinadas, de modo que una lluvia determinada puede provenir de cualquiera de las formas o de la combinación de ellas. (Villón, 2002, pág. 72).

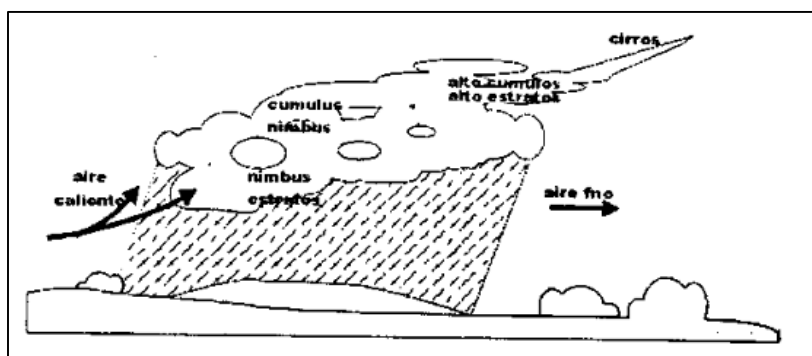
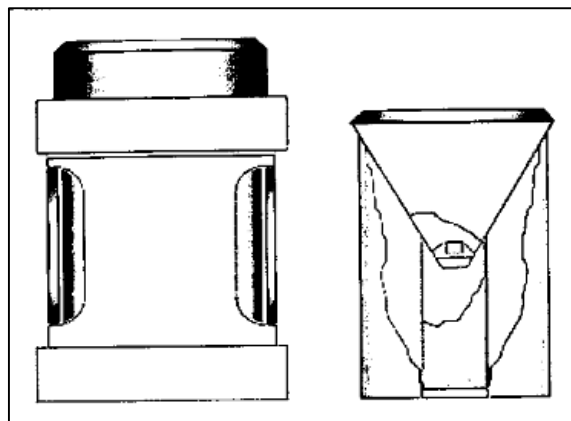


Figura N° 13. Precipitación ciclónica.
Fuente: Villón (2002).

1.4.6.2. Medición de la precipitación

La precipitación se mide en términos de la altura de lámina de agua (hp), y se expresa comúnmente en milímetros. Esta altura de lámina de agua, indica la altura del agua que se acumularía en una superficie horizontal. Los aparatos de medición, se basan en la exposición a la intemperie de un recipiente cilíndrico abierto en su parte superior, en el cual se recoge el agua producto de la lluvia u otro tipo de precipitación, registrando su altura. Los aparatos de medición, se clasifican de acuerdo con el registro de las precipitaciones, en pluviómetros y pluviógrafos. (Villón, 2002, pág. 74).

- **Pluviómetro:** Recipiente cilíndrico de lámina, de aproximadamente 20 cm de diámetro y de 60 cm de alto. La tapa del cilindro es un embudo receptor, el cual se comunica con una probeta de sección 10 veces menor que la de la tapa. Esto permite medir la altura de lluvia en la probeta, con una aproximación hasta de décimos de milímetro, ya que cada centímetro medido en la probeta, corresponde a un milímetro de altura de lluvia; para medirla se saca la probeta y se introduce una regla graduada, con la cual se toma la lectura; generalmente se acostumbra hacer una lectura cada 24 horas.



*Figura N° 14. Pluviómetro.
Fuente: Villón (2002).*

- **Pluviógrafo**

Es un instrumento, que registra la altura de lluvia en función del tiempo, lo cual permite determinar la intensidad de la precipitación, dato importante para el diseño de estructuras hidráulicas.

Los pluviografos más comunes son de forma cilíndrica, y el embudo receptor está ligado a un sistema de flotadores, que origina el movimiento de una aguja sobre un papel registrador, montado en un sistema de reloj. El gráfico resultante recibe el nombre de pluviograma.

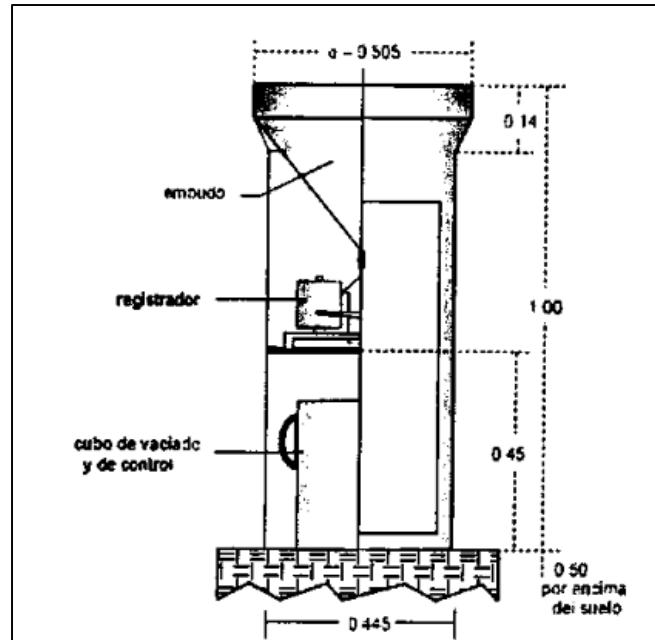


Figura N° 15. Pluviógrafo.
Fuente: Villón (2002).

Los pluviómetros miden la lluvia en un punto o zona donde se encuentra el aparato, y registra las características de precipitación eficientemente de esa zona. En un análisis hidrológico para una estructura hidráulica, se requiere conocer la mayor cantidad de estaciones que miden la precipitación y que se encuentran dentro o fuera de la cuenca de estudio para mediante el método apropiado calcular la Precipitación media (el método más usado Polígono de Thiessen),

En cambio, para este estudio de aprovechamiento de agua lluvia, nos basta con conocer la estación que se encuentra en la zona de estudio, para la ciudad de Jaén se encuentra la estación meteorológica “Estacion Jaén”, Latitud: $5^{\circ} 40' 35.89''$, Longitud: $78^{\circ} 46' 26.96''$ en el sector conocido como “La granja” y frente a las instalaciones del nuevo campus de la Universidad Nacional de Jaén, es administrado por el Servicio Nacional de Meteorología e hidrología del Perú (SENAMHI) que es el ente encargado de la meteorología e hidrología en el país. No sería información confiable si calculamos la precipitación con otras estaciones que se encuentren fuera de la zona de estudio (ojo ya no es cuenca), ya que éstas registrarán

lluvias que son menos o más intensas a las registradas en la ciudad donde se requiere aplicar el sistema de aprovechamiento pluvial.

Los instrumentos que miden la cantidad de lluvia en las estaciones, permiten conocer la altura de precipitación media de una zona, según Villón (2002) están referidas:

- ✓ Altura de precipitación diaria: es la suma de las lecturas observadas en un día
- ✓ Altura de precipitación media diaria: es el promedio aritmético de las lecturas observadas en un día.
- ✓ Altura de precipitación mensual: es la suma de las alturas diarias, ocurridas en un mes.
- ✓ Altura de precipitación media mensual: es el promedio aritmético de las alturas de precipitación mensual, correspondiente a un cierto número de meses.
- ✓ Altura de precipitación anual: es la suma de las alturas de precipitación mensual, ocurridas en un año.
- ✓ Altura de precipitación media anual: es el promedio aritmético de las alturas de precipitación anual, correspondiente a un cierto número de años.

Recordemos que 1mm de lluvia equivale a 1 litro de agua en $1m^2$.

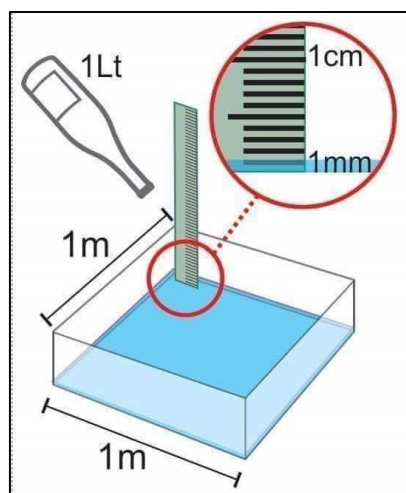


Figura N° 16. Interpretación gráfica de 1 mm. de lluvia.
Fuente: Internet.

1.4.7. Pluviosidad

Llamamos pluviosidad a la cantidad de precipitación caída en una determinada zona geográfica en un período concreto de tiempo (Fernández, 2009, p. 22). La pluviosidad media anual en Perú, según el portal *climate-data* es de aproximadamente 921 mm. pero según la información obtenida del SENAMHI, la precipitación media anual, en el periodo de 2000 – 2014, en relación a todos los departamentos del Perú es de 716.1 mm. sin embargo, ésta no es equitativa en todo el territorio siendo Loreto el mayor departamento con 2608.2 mm. de precipitación media anual (2000-2014) y Lima e Ica los que menor precipitación tienen: menos de 10 mm. Cajamarca cuenta con una precipitación de 732.7 mm.

Departamento	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	PROMEDIO
Amazonas	656.7	711.0	1 016.1	776.2	747.6	694.9	940.8	954.6	690.7	930.2	664.9	882.3	1 008.1	900.1	1 057.8	842.1
Áncash	820.1	1 075.4	875.9	702.5	803.5	739.5	890.9	945.7	705.6	1 308.6	797.3	823.5	953.8	849.6	980.4	884.8
Apurímac	1 106.8	953.2	1 027.0	922.8	800.4	769.5	866.1	842.6	664.5	784.0	787.1	849.8	598.1	1 117.2	S/D	863.5
Arequipa	154.5	181.9	98.4	17.3	56.7	33.2	85.8	18.3	133.2	55.8	16.5	137.4	305.2	256.4	35.5	105.7
Ayacucho	701.4	857.0	706.4	547.7	575.1	405.9	464.1	418.0	312.5	465.5	558.4	613.5	556.5	644.1	480.5	553.8
Cajamarca	708.6	908.6	629.8	528.8	625.9	586.3	689.6	747.7	720.9	794.8	644.5	1 247.2	823.3	724.1	610.9	732.7
Cusco	647.8	864.1	822.1	681.6	614.0	607.4	851.4	621.4	600.3	507.4	881.1	732.5	689.4	808.7	S/D	709.2
Huancavelica	630.4	1 037.7	1 505.6	1 494.1	882.7	744.0	841.0	711.1	691.8	1 301.1	969.6	1 114.8	1 163.2	1 110.6	981.5	1 011.9
Huánuco	511.7	417.9	442.8	380.9	373.0	385.0	503.1	292.4	449.8	480.5	398.6	701.0	598.4	487.6	516.7	462.6
Ica	14.4	5.4	4.2	3.3	3.3	13.6	6.9	1.0	37.7	10.3	3.2	7.0	19.2	5.0	9.0	9.6
Junín	675.7	828.3	813.5	800.9	618.0	522.3	619.9	555.6	493.9	735.0	606.5	912.1	691.9	657.2	793.3	688.3
La Libertad	25.2	32.2	17.7	18.5	1.0	2.6	26.8	14.0	9.6	21.3	41.8	11.6	25.0	30.5	11.3	19.3
Lambayeque	20.1	76.8	45.4	23.3	16.3	2.3	32.0	2.5	39.8	23.0	44.7	19.7	63.2	31.1	10.6	30.1
Lima	8.0	7.6	10.3	4.5	3.0	3.4	2.9	7.7	9.4	15.3	6.9	10.2	7.2	8.6	11.3	7.8
Loreto	2 934.6	2 840.3	2 826.1	2 496.2	2 518.8	2 220.7	2 975.5	2 515.5	2 520.9	3 312.0	2 049.5	1 874.5	2 279.8	3 149.9	S/D	2 608.2
Madre de Dios	2 089.4	2 147.6	2 545.3	2 806.0	1 870.9	1 919.2	2 396.8	2 105.5	1 871.4	2 414.3	...	2 217.9	1 758.5	2 398.1	2 747.7	2 234.9
Moquegua	31.7	14.4	18.1	0.6	11.1	24.1	5.7	7.0	17.2	2.7	4.5	24.9	48.3	12.6	4.0	15.1
Pasco	939.5	1 032.7	961.3	1 044.9	968.4	774.7	1 015.5	836.9	715.1	1 043.7	834.3	993.4	1 075.7	1 135.5	1 042.4	960.9
Piura	72.8	209.1	275.5	40.1	19.4	23.7	59.4	14.3	193.5	82.8	102.9	21.9	111.3	62.0	S/D	92.1
Puno	740.6	1 018.9	892.0	714.1	654.4	674.5	769.0	799.8	661.7	748.1	581.9	760.5	879.4	704.4	615.8	747.7
San Martín	1 428.0	1 617.2	1 186.7	1 434.2	1 149.7	1 351.0	1 319.6	1 413.8	1 399.5	1 284.2	1 185.8	1 298.6	1 375.7	1 427.8	1 673.1	1 369.7
Tacna	49.1	27.2	27.8	16.4	9.6	8.8	13.1	23.4	16.6	16.0	7.7	37.7	26.4	6.3	24.6	20.7
Tumbes	174.2	389.3	650.8	93.6	141.7	132.3	315.2	145.9	533.8	275.7	393.6	110.5	293.1	222.0	85.3	263.8
Ucayali	1 832.9	1 775.1	2 090.7	2 171.8	2 244.6	1 614.4	1 951.2	1 818.6	1 851.0	2 062.9	1 481.3	2 019.6	2 407.7	1 929.8	2 031.6	1 952.2
PROMEDIO	707.3	792.9	812.1	738.3	654.5	593.9	735.1	658.9	639.2	778.1	567.9	725.9	739.9	778.3	686.2	716.1

*Tabla N° 1. Pluviometría total por departamentos.
FUENTE: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)*

La siguiente imagen representa los umbrales de precipitaciones máximas diarias en todo el país y que sirve para monitorear y entender las condiciones máximas de lluvias.

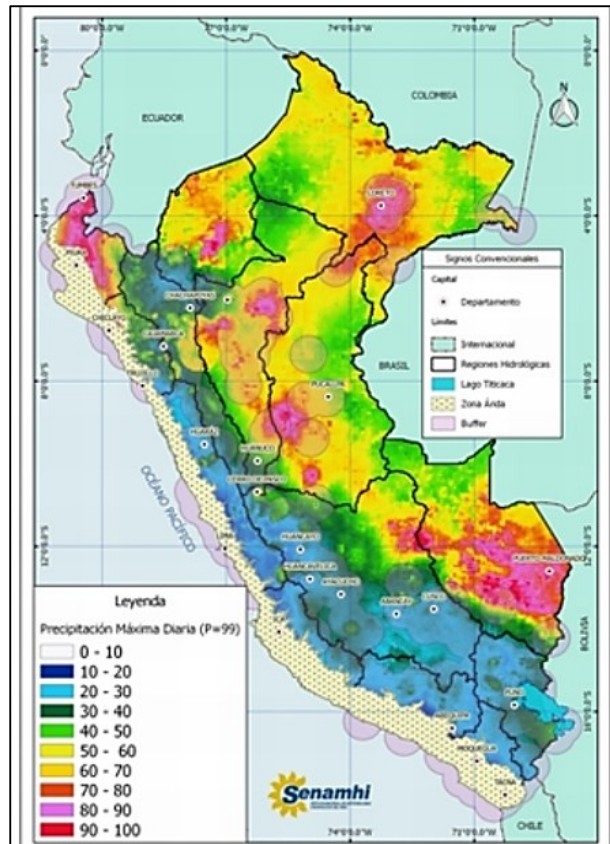


Figura N° 17. Precipitación máxima diaria a una probabilidad del 99 % (1970-2015).
Fuente: SENAMHI.

1.4.8. Análisis estadísticos de datos hidrológicos – modelos de distribución

Según el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje (MTC, 2014) El análisis de frecuencias tiene la finalidad de estimar precipitaciones o intensidades, para diferentes períodos de retorno, mediante la aplicación de modelos probabilísticos, los cuales pueden ser discretos o continuos. Existen diferentes funciones de distribución de probabilidad teóricas; recomendándose utilizar las siguientes funciones (p. 25).

- i. Distribución Normal
- ii. Distribución Log Normal 2 parámetros
- iii. Distribución Log. Normal 3 parámetros
- iv. Distribución Gamma 2 parámetros
- v. Distribución Log Pearson tipo III
- vi. Distribución Gumbel

vii. Distribución Log Gumbel

“Los datos recopilados, solo representan una información en bruto, pero si éstos se organizan y analizan de forma adecuada, proporcionan al hidrólogo una herramienta de gran utilidad, que le permite tomar decisiones en el diseño de estructuras hidráulicas” (Villon, 2014).

Distribución teórica: Proceso de selección

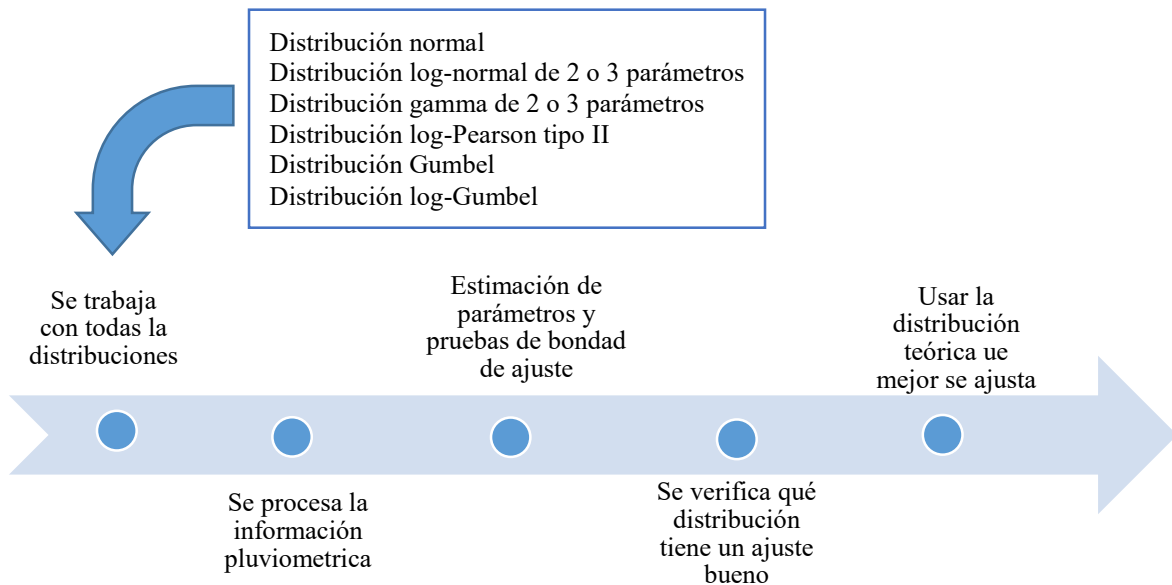


Figura N° 18. Diagrama del procedimiento para los modelos de distribución.
Fuente: Elaboración propia

El Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones en su Manual de Hidrología Hidráulica y Drenaje (MTC, 2014), define así las distribuciones de probabilidad teórica:

1.4.8.1. Distribución Normal

La función de densidad de probabilidad normal se define como:

$$f(x) = \frac{1}{S\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1(x-\mu)^2}{2S^2}} \quad (1)$$

Donde:

$f(x)$ = función densidad normal de la variable x

X = variable independiente

μ = parámetro de localización, igual a la media aritmética de x .

S = parámetro de escala, igual a la desviación estándar de x.

1.4.8.2. Distribución Log Normal de 2 parámetros

La función de distribución de probabilidad es:

$$P(x \leq x_i) = \frac{1}{S\sqrt{(2\pi)}} \int_{-\infty}^{x_i} e^{-(x-\bar{X})^2/2S^2} dx \quad (2)$$

Donde \bar{X} y S son parámetros de la distribución.

Si la variable x de la ecuación (1) se reemplaza por una función $y = f(x)$, tal que $y = \log(x)$, la función puede normalizarse, transformándose en una ley de probabilidades denominada log – normal, N(Y, Sy).

Esta distribución es muy usada para el cálculo de valores extremos por ejemplo Qmax, Qmínimos, Pmax, Pmínima. Tiene la ventaja que $x > 0$ y que la transformación Log tiende a reducir la asimetría positiva ya que al sacar logaritmos se reducen en mayor proporción los datos mayores que los menores. Limitaciones: tiene solamente dos parámetros, y requiere que los logaritmos de las variables estén centrados en la media

Los valores originales de la variable aleatoria x, deben ser transformados a $y = \log x$, de tal manera que:

$$\bar{Y} = \sum_{i=1}^n \log x_i / n \quad (3)$$

Donde \bar{Y} es la media de los datos de la muestra transformada, o sea los logaritmos de la población (parámetro escalar).

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^2}{n-1}} \quad (4)$$

Donde S_y es la desviación estándar de los datos de la muestra transformada, o sea de los logaritmos de la población. Quedando:

$$F(x) = \frac{1}{S_y\sqrt{(2\pi)}} \int_{-\infty}^{y_i} e^{-(y_i - \bar{Y})^2/2S_y^2} dx \quad (5)$$

Asimismo, se tiene las siguientes relaciones:

$$Cs = a/S^3y \quad (6)$$

$$a = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^3 \quad (7)$$

Donde Cs es el coeficiente de oblicuidad de los datos de la muestra transformada. (Monsalve, 1999)

1.4.8.3. Distribución LogNormal de 3 parámetros

Esta difiere de la distribución log-normal de 2 parámetros por la introducción de un límite inferior, X_0 , tal que:

- Función de densidad de Probabilidad

$$f(x) = \frac{1}{S_y \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \frac{(y - \mu_y)^2}{S_y^2}} \quad x > 0 \quad (8)$$

$$y = \ln(x - x_0) \quad (9)$$

$$x_0 = \frac{x_1 x_n - x_{mediana}^2}{x_1 + x_n - 2x_{mediana}} \quad (10)$$

Donde:

μ_y : media de los logaritmos de la población (parámetro escalar)

S_y : Desviación estándar de los logaritmos de la población

X_0 : Parámetro de posición.

- Función de distribución de Probabilidades:

Es la integración de la función de densidad:

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} S_y} \int_{-\infty}^y e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{y - \mu_y}{S_y} \right)^2} dx \quad (11)$$

1.4.8.4. Distribución Gamma 2 Parámetros

La función de densidad es:

$$f(x) = \frac{x^{\gamma-1} e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^{\gamma} \Gamma(\gamma)} \quad (12)$$

Válido para:

$$0 \leq x < \infty$$

$$0 < \gamma < \infty$$

$$0 < \beta < \infty$$

Donde:

γ : parámetro de forma ; β : parámetro de escala

1.4.8.5. Distribución Gamma 3 Parámetros

La función de densidad es:

$$f(x) = \frac{(x-x_0)^{\gamma-1} e^{-\frac{(x-x_0)}{\beta}}}{\beta^{\gamma} \Gamma(\gamma)} \quad (13)$$

Válido para:

$$x_0 \leq x < \infty$$

$$-\infty < x_0 < \infty$$

$$0 < \beta < \infty$$

$$0 < \gamma < \infty$$

Donde:

x_0 : origen de la variable x , parámetro de posición

γ : parámetro de forma

β : parámetro de escala

1.4.8.6. Distribución Log Pearson Tipo III

Esta es la distribución estándar para el análisis de frecuencias de crecientes máximas anuales en Estados Unidos y en nuestro medio. La función densidad, está dado por la siguiente fórmula:

$$f(x) = \frac{(\ln x - x_0)^{\gamma-1} e^{-\frac{\ln x - x_0}{\beta}}}{x \beta^\gamma \Gamma(\gamma)} \quad (14)$$

Para:

$$x_0 \leq x < \infty, \quad -\infty < x_0 < \infty, \quad 0 < \beta < \infty, \quad 0 < \gamma < \infty$$

Donde:

x_0 : parámetro de posición

β : parámetro de escala

γ : parámetro de forma

$\Gamma(\gamma)$: función gamma completa

Calculo de los parámetros con las siguientes ecuaciones:

Media

$$\bar{X}_{\ln x} = \frac{\sum \ln x}{N} \quad (15)$$

Desviación estándar

$$S_{\ln x} = \sqrt{\frac{\sum (\ln x - \bar{X}_{\ln x})^2}{N-1}} \quad (16)$$

Sesgo

$$C_{S_{\ln x}} = \frac{N \sum (\ln x - \bar{X}_{\ln x})^3}{(N-1)(N-2)S_{\ln x}^3} \quad (17)$$

Estimación de parámetros, método de momentos

Parámetro de forma: $\gamma = \frac{4}{C_{S_{\ln x}}^2} \quad (18)$

Parámetro de escala: $\beta = \frac{C_{S_{\ln x}} S_{\ln x}}{2} \quad (19)$

$$\text{Parámetro de posición: } x_0 = \bar{X} \ln x - \frac{2S_{\ln x}}{C_{S \ln x}} \quad (20)$$

1.4.8.7. Distribución de Gumbel

La distribución de Valores Tipo I conocida como Distribución Gumbel o Doble Exponencial, tiene como función de distribución de probabilidades la siguiente expresión:

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}} \quad (21)$$

Utilizando el método de momentos, se obtienen las siguientes relaciones:

$$\alpha = \frac{1.2825}{\delta} \quad (22)$$

$$\beta = \mu - 0.45\delta \quad (23)$$

Donde:

α : Parámetro de concentración.

β : Parámetro de localización

Según Ven Te Chow, la distribución puede expresarse de la siguiente forma:

$$x = \bar{x} + k\delta_x \quad (24)$$

Donde:

x : Valor con una probabilidad dada.

\bar{x} : Media de la serie.

k : Factor de frecuencia.

1.4.8.8. Distribución Log Gumbel

La variable aleatoria reducida log gumbel , se define como:

$$y = \frac{\ln x - \mu}{\alpha} \quad (25)$$

Con lo cual, la función acumulada reducida log gumbel es:

$$G(y) = e^{-e^{-y}} \quad (26)$$

- Pruebas de Bondad de ajuste

Las pruebas de bondad de ajuste son pruebas de hipótesis que se usan para evaluar si un conjunto de datos es una muestra independiente de la distribución elegida.

En la teoría estadística, las pruebas de bondad de ajuste más conocidas son la χ^2 y la Kolmogorov – Smirnov, pero en esta tesis se usará la segunda.

✓ Prueba Kolmogorov – Smirnov

Método por el cual se comprueba la bondad de ajuste de las distribuciones, asimismo permite elegir la más representativa, es decir la de mejor ajuste.

Esta prueba consiste en comparar el máximo valor absoluto de la diferencia D entre la función de distribución de probabilidad observada $F_o(x_m)$ y la estimada $F(x_m)$:

$$D = \text{máx} / F_o(x_m) - F(x_m) / \quad (27)$$

Con un valor crítico “d” que depende del número de datos y el nivel de significancia seleccionado (Tabla N° 2). Si $D < d$, se acepta la hipótesis nula. Esta prueba tiene la ventaja sobre la prueba de X^2 de que compara los datos con el modelo estadístico sin necesidad de agruparlos. La función de distribución de probabilidad observada se calcula como:

$$F_o(x_m) = 1 - m / (n+1) \quad (28)$$

Donde m es el número de orden de dato x_m en una lista de mayor a menor y n es el número total de datos (Aparicio, 1996)

Tabla N° 2: Valores críticos “d” para la prueba kolmogorov – Smirnov

TAMAÑO DE LA MUESTRA	$\alpha = 0.10$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$
5	0.51	0.56	0.67
10	0.37	0.41	0.49
15	0.30	0.34	0.40
20	0.26	0.29	0.35
25	0.24	0.26	0.32
30	0.22	0.24	0.29
35	0.20	0.22	0.27
40	0.19	0.21	0.25

Tabla N° 2. Valor “d” según el tamaño de la muestra.
Fuente: Aparicio, 1996

1.4.9. Precipitación media sobre una zona

En general, la altura de precipitación que cae en un sitio dado, difiere de la que cae en los alrededores, aunque sea en sitios cercanos (Villón, 2002, pág. 77).

Según Villón (2002) para calcular la precipitación media de una tormenta o la precipitación media anual, existen tres métodos de uso generalizado:

1.4.9.1. Promedio aritmético

Se calcula el promedio aritmético del total de datos de precipitación, registrados por las estaciones pluviométricas ubicados en la zona o cerca de la zona de estudio.

$$P_{med} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i \quad (29)$$

Donde:

P_{med} = precipitación media de la zona o cuenca.

P_i = precipitación de la estación i

n = número de estaciones dentro o alrededor de la zona de estudio.

La precisión de este criterio, depende de la cantidad de estaciones disponibles, de la forma como están localizadas, y de la distribución de la lluvia estudiada. Es el método más sencillo, pero sólo da buenos resultados cuando el número de pluviómetros es grande.

1.4.9.2. Polígono de Thiessen

Según Villón (2002) “Para este método, es necesario conocer la localización de las estaciones en la zona bajo estudio, ya que, para su aplicación, se requiere delimitar la zona de influencia de cada estación, dentro del conjunto de estaciones” (p.78).

Villón (2002) toma los siguientes pasos para la obtención del polígono Thiessen:

- i. Ubicar las estaciones, dentro y fuera de la zona de estudio
- ii. Unir las estaciones formando triángulos, procurando en lo posible que éstos sean acutángulos (ángulos menores de 90°)
- iii. Trazar las mediatrices de los lados de los triángulos formando polígonos. (Por geometría elemental, las mediatrices correspondientes a cada triángulo, convergen en un solo punto. En un triángulo acutángulo, el centro de mediatrices, está ubicado

dentro del triángulo, mientras que, en un obtusángulo, está ubicada fuera del triángulo)

- iv. Definir el área de influencia de cada estación, cada estación quedará rodeada por las líneas del polígono. El área encerrada por los polígonos de Thiessen y la delimitación de la zona de estudio será el área de influencia de la estación correspondiente.
- v. Calcular el área de cada estación
- vi. Calcular la precipitación media, como el promedio pesado de las precipitaciones de cada estación, usando como peso el área de influencia correspondiente, es decir:

$$P_{med} = \frac{1}{A_T} \sum_{i=1}^n A_i P_i \quad (30)$$

Donde:

P_{med} = precipitación media

A_T = área total de la zona de estudio

A_i = área de influencia parcial del polígono de Thiessen correspondiente a la estación i

P_i = precipitación i

n = número de estaciones tomadas en cuenta

1.4.9.3. Isoyetas

Villón (2002) define que, para este método, se necesita un plano de isoyetas de la precipitación registrada, en las diversas estaciones de la zona en estudio. Las isoyetas son curvas que unen puntos de igual precipitación. Este método es el más exacto, pero requiere de un cierto criterio para trazar el plano de isoyetas. Se puede decir que si la precipitación es de tipo orográfico, las isoyetas tenderán a seguir una configuración parecida a las curvas de nivel. Por supuesto, entre mayor sea el número de estaciones dentro de la zona de estudio, mayor será la aproximación con lo cual se trace el plano de isoyetas.

Del mismo modo, según Villón (2002) el método consiste en:

- i. Ubicar las estaciones dentro y fuera de la zona de estudio.
- ii. Trazar las isoyetas, interpolando las alturas de precipitación entre las diversas estaciones, de modo similar a cómo se trazan las curvas de nivel.
- iii. Hallar las áreas A_1, A_2, \dots, A_n entre cada 2 isoyetas seguidas.

- iv. Si P_0, P_1, \dots, P_n son las precipitaciones representadas por las isoyetas respectivas, calcular la precipitación media utilizando:

$$P_{med} = \frac{\frac{P_0+P_1}{2}A_1 + \dots + \frac{P_{n-1}+P_n}{2}A_n}{A_1 + \dots + A_n}$$

$$P_{med} = \frac{1}{A_T} \sum_{i=1}^n \frac{P_{i-1}+P_i}{2} A_i \quad (31)$$

Donde:

P_{med} = precipitación media

A_T = área total de la cuenca

P_i = altura de precipitación de las isoyetas i

A_i = área parcial comprendida entre las isoyetas P_{i-1} y P_i

n = número de áreas parciales

1.4.10. Marco de referencia del área de estudio

1.4.10.1. Condiciones climatológicas de Cajamarca

Cajamarca por su altitud se encuentra en la región Quechua (entre 2.300-3.500 msnm) lo que determina que su clima sea templado, seco; soleado durante el día, pero frío durante la noche. Su temperatura media anual es de 15,6 °C, siendo época de lluvias de diciembre a marzo, que coinciden con el cíclico fenómeno de El Niño, típico del norte tropical peruano. Sin embargo, en sus diferentes regiones, algunas ciudades tienen clima tropical (Como San Ignacio y Jaén). Además, la proximidad tanto hacia la costa como hacia la selva, sin mencionar su cercanía a la Línea Ecuatorial, la hacen tener el mejor clima de los departamentos de la Sierra Peruana. No tiene picos nevados, pero cuenta con bosques subtropicales húmedos hacia la vertiente oriental, subtropicales y tropicales secos hacia la vertiente occidental, siendo el departamento de la sierra con mayor índice de forestación. (Wikipedia, 2016)

Según el SENAMHI para la región Cajamarca, el mes con la temperatura más alta es setiembre (22.2°C); la temperatura más baja se da en el mes de julio (4.9°C); y llueve con mayor intensidad en el mes de marzo (118.78 mm/mes)

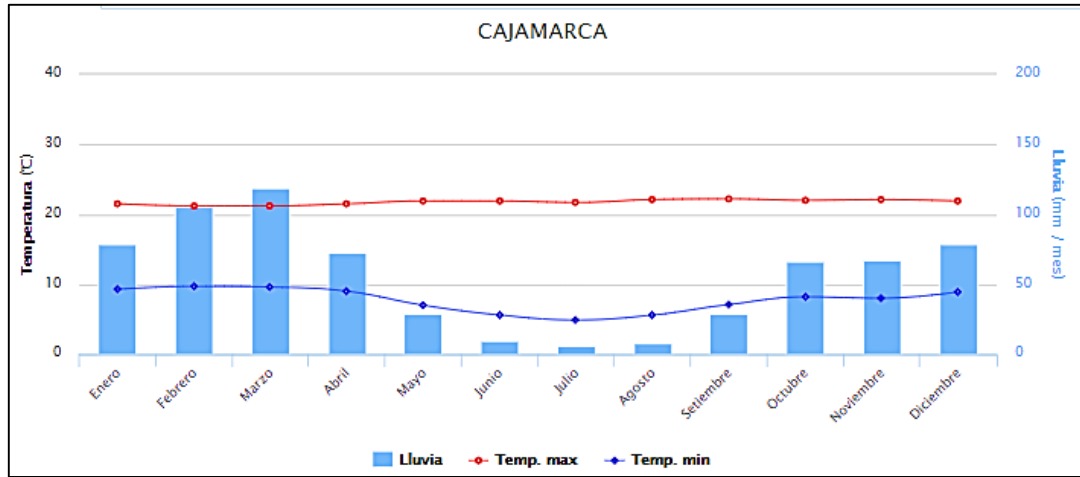


Figura N° 19. Promedio de temperatura y lluvia normal en Cajamarca.
Fuente: SENAMHI

1.4.10.2. Condiciones climatológicas de Jaén

En la ciudad de Jaén, las características de climatológicas y de precipitaciones tienden a ser a las de climas tropicales, justamente por estar cerca de la línea ecuatorial, a diferencia de las ciudades de la Costa o Sierra.

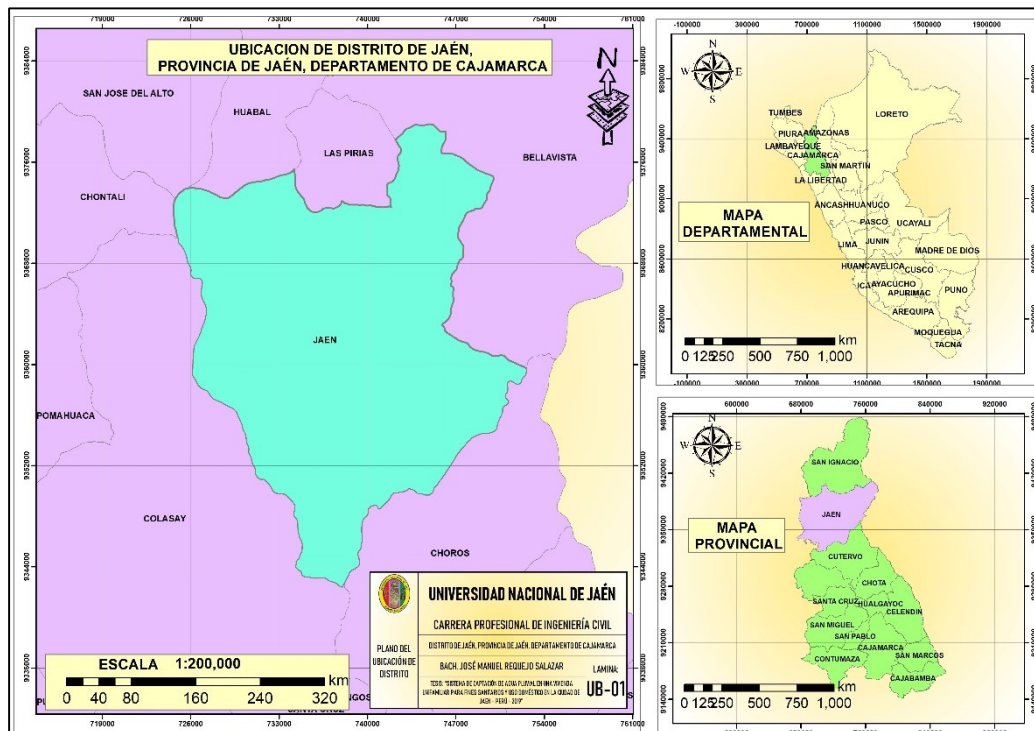


Figura N° 20. Mapa de ubicación del distrito de Jaén (zona de estudio).
Fuente: Elaboración propia.

El portal *climate-data* describe a Jaén como “Un clima tropical. En invierno, hay mucho menos lluvia en Jaén que en verano. Este clima es considerado como Aw según la clasificación climática de koppen-Geiger. La temperatura promedio en Jaén es de 24.2°C. La precipitación es de 784 mm. al año. El mes más seco es agosto, con 22 mm. Con un promedio de 111mm., la mayor precipitación cae en marzo. El mes más caluroso del año con un promedio de 24.8°C es noviembre, julio tiene la temperatura más baja del año, es 23.4°C. La diferencia de precipitación entre el mes más seco y el mes más lluvioso es de 89 mm. Durante el año, las temperaturas medias varían en 1.4°C”

El SENAMHI lo describe como “Tiempo muy caluroso durante el día. Cielo mayormente nublado parcial. Tiempo cálido después de la medianoche. Baja humedad. lluvia en alguna tarde. Vientos ligeros. Alta incidencia de radiación solar directa”. Con una temperatura máxima de 31°C y una mínima de 18°C.

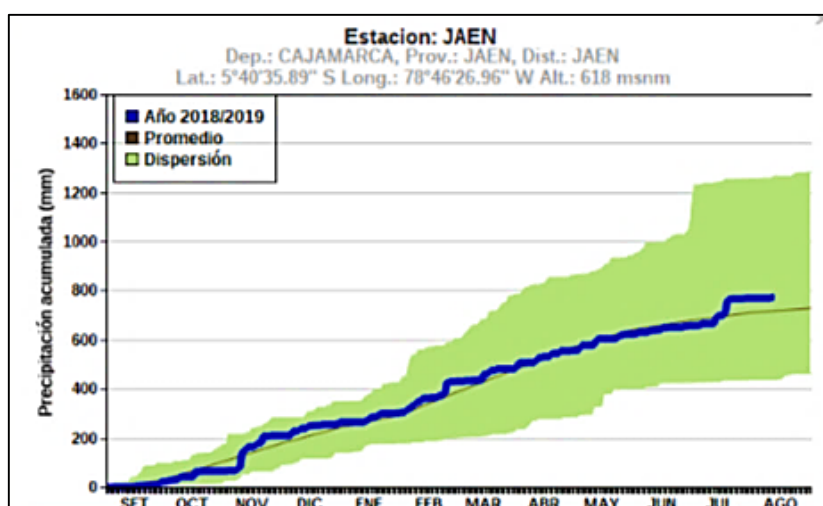


Figura N° 21. Datos de lluvia acumulada de la estación “Jaén” en el periodo 2018/2019.
 Fuente: SENAMHI

Jaén cuenta con estaciones cercanas que se encargan de medir las condiciones climatológicas de la zona, éstas estaciones son meteorológicas (ejemplo Estación Jaén) como también hidrológicas (ejemplo Estación Puente Corona). La precipitación y otras variables hidrometeorológicas se miden generalmente en las estaciones meteorológicas y son éstas las que nos interesarán en nuestra investigación.

Para un sistema de aprovechamiento de agua pluvial nos basta con tener una estación meteorológica dentro del área de estudio, que en este caso es la ciudad de Jaén y que favorablemente para la investigación si cuenta: Estación Jaén, ubicada en latitud 5° 40’

35.89” longitud 78° 46’ 26.96” a una altura de 618 m.s.n.m. en el sector conocido como “La granja”.

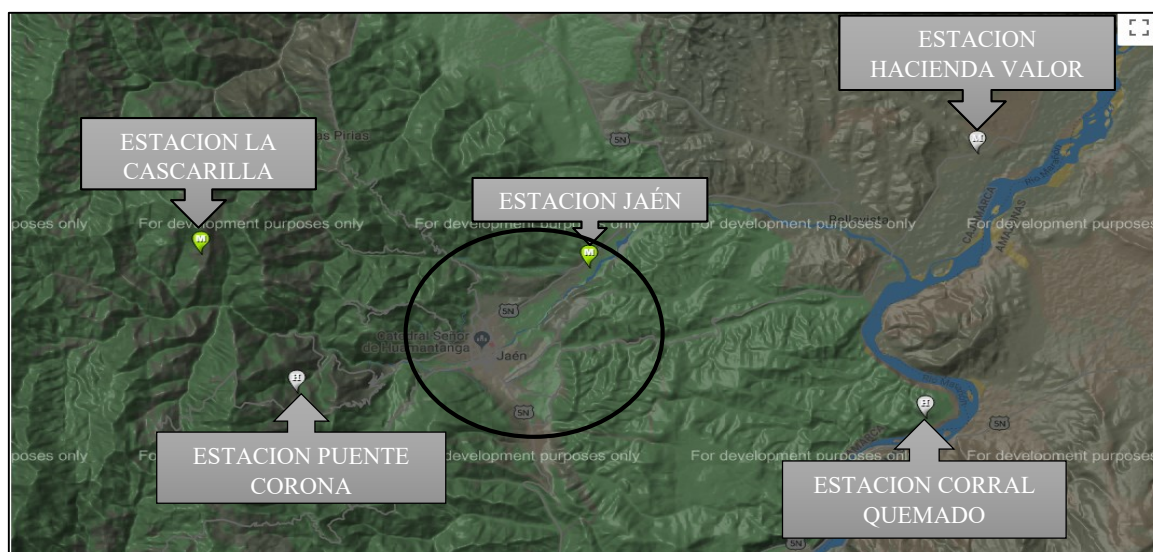


Figura N° 22. Geolocalización de las estaciones más cercanas a la ciudad de Jaén.
Fuente: SENAMHI.

ESTACION LA CASCARILLA	Cajamarca, Jaén, Jaén.
Tipo convencional – meteorológica	Latitud: 5° 40' 18.3", Longitud: 78° 53' 51.6",
En funcionamiento	Altitud: 1991
ESTACION JAÉN	Cajamarca, Jaén, Jaén.
Tipo convencional – meteorológica	Latitud: 5° 40' 35.89", Longitud: 78° 46' 26.96",
En funcionamiento	Altitud: 618
ESTACION HACIENDA VALOR	Cajamarca, Jaén, Bellavista
Tipo convencional – meteorológica	Latitud: 5° 38' 1", Longitud: 78° 39' 1",
Sin funcionar	Altitud: 407
ESTACION PUENTE CORONA	Cajamarca, Jaén, Jaén
Tipo convencional – hidrológica	Latitud: 5° 43' 26", Longitud: 78° 52' 1",
Sin funcionar	Altitud: 1488
ESTACION CORRAL QUEMADO	Cajamarca, Jaén, Bellavista
Tipo convencional – hidrológica	Latitud: 5° 44' 1", Longitud: 78° 40' 1",
Sin funcionar	Altitud: 445

Tabla N° 3. Referencia de las estaciones más cercanas a la ciudad de Jaén.
Fuente: SENAMHI.

1.4.11. Demografía y tasas de crecimiento poblacional en Jaén.

La provincia tiene una población estimada de 198.354 habitantes. Mientras que la ciudad de Jaén, capital de la provincia, cuenta con 150.371 habitantes (Instituto Nacional de Estadística e Informática INEI, 2012).

La evolución de la población del distrito de Jaén en la zona urbana, en el último periodo ínter censal 1993- 2007, muestra un crecimiento moderado de la población. Con una tasa de crecimiento poblacional entre los periodos ínter censales, del distrito de Jaén, ha crecido de 1.78%. (Municipalidad Provincial de Jaén, 2017, pág. 63).

Según la Municipalidad Provincial de Jaén (2017) “El crecimiento vertiginoso de Jaén, principalmente de nuevos asentamientos humanos revela que la población que emigra hacia este distrito, proviene de sectores con bajos ingresos, que son desplazados de otras áreas; crecimiento que será mayor con la ejecución del proyecto habitacional” (p.63).

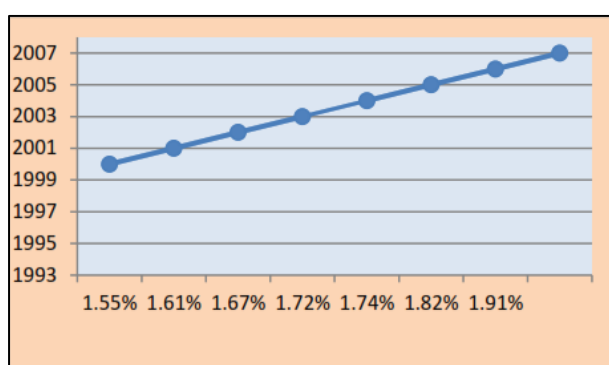


Figura N° 23. Tasa de crecimiento poblacional de Jaén.
Fuente: (MPJ,2017)

1.5. Captación de agua de lluvia

Un sistema de captación de agua de lluvia es cualquier tipo de ingenio para la recolección y el almacenamiento de agua de lluvia, y cuya viabilidad técnica y económica depende de la pluviosidad de la zona de captación y del uso que se le dé al agua recogida. (Wikipedia, Sistemas de captación de agua de lluvia, 2019)

Según la OPS/UNATSABAR (2004) “En la captación de agua de lluvia con fines domésticos se acostumbra a utilizar la superficie del techo como captación, conociéndose a este modelo como SCAPT (sistema de captación de agua pluvial en techos). Este modelo tiene un beneficio adicional y es que además de su ubicación minimiza la contaminación del agua. Adicionalmente, los excedentes de agua pueden ser empleados en pequeñas áreas verdes para la producción de algunos alimentos que puedan completar su dieta” (pag. 3).

En el mundo existen ya muchos sistemas de aprovechamiento de agua pluvial, dependiendo del tipo y función que ejerce ya que es diferente la utilización del sistema para una vivienda,

una finca, una fábrica, un complejo, un colegio, etc. Se puede utilizar el sistema en construcciones terminadas, pero es bueno también planificarlas desde el comienzo.

De todos los tipos y funciones que tienen los sistemas de aprovechamiento de agua pluvial es deducible que siempre existirán los pasos fundamentales para su reaprovechamiento: Pluviometría, Captación y recolección, conducción, almacenamiento, filtrado. Según dependa el caso se pueden adicionar otros pasos como el bombeo si el almacenamiento se encuentra en la parte baja, u otros equipos más sofisticados de filtrado si el caso requiere utilizarlo hasta para consumo humano.



Figura N° 24. Sist. de aprovechamiento de agua pluvial en una vivienda con techo a dos aguas y almacenamiento enterrado.

Tomado de: <https://blog.is-arquitectura.es>



Figura N° 25. Sist. de aprovechamiento de agua pluvial con tanque de almacenamiento sobre la superficie.

Tomado de: <http://www.economiafamiliar.gob.ni>

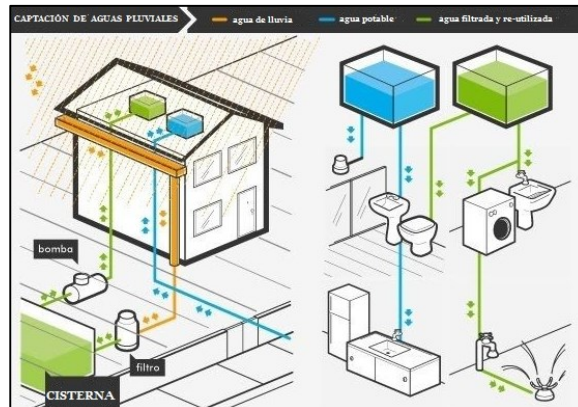


Figura N° 26. Sist. de aprovechamiento de agua pluvial en una casa modelo, con red de tuberías independientes.

Tomado de: <https://www.lavidalucida.com>

- Agua de lluvia: Procedente de la precipitación natural que ha recorrido una columna atmosférica (Aqua España, 2016), evidentemente limpia y sin un tratamiento de potabilización.
- Agua potable: Agua que está dentro de los límites permisibles solicitado por el Reglamento de la calidad de agua para consumo humano DS N° 031 – 2010-SA. (MINSA)
- Superficie de captación: Techo o cubierta elevada en la parte superior de la vivienda que recibirá directamente la precipitación. Se medirá en m^2 .



Figura N° 27. Fotografías de viviendas tomadas al azar en la ciudad de Jaén y sus alrededores.
Fuente: material propio.

- Canaleta: Elemento de conducción horizontal del agua pluvial recogida por la superficie de captación y que la redirigirá hacia la(s) montante para luego llevarla al sistema de filtros (si es necesario) y finalmente al almacenamiento.



*Figura N° 28. canaleta de conducción de aguas pluviales.
Fuente: Propia.*

- Montante: Tubería vertical por medio de la cual se evacúa las aguas pluviales de los niveles superiores a inferiores. (OS. 060, 2006)



*Figura N° 29. Unión de la canaleta con la montante para la conducción de las aguas pluviales.
Fuente: Elaboración propia.*

- Tanque de almacenamiento: Donde se depositará el agua de lluvia captada por el sistema pluvial, puede ser cubico o cilíndrico. Se recomendará que sea de materiales vírgenes y que eviten la reproducción de bacterias en su interior.



*Figura N° 30 Tanques de almacenamiento de agua de la empresa Rotoplas.
Fuente: Rotoplas.*

1.5.1. Aplicaciones de sistema de aguas pluviales

El agua pluvial que se captará y se reaprovechará desde el techo o cubierta superior de la vivienda tiene diferentes aplicaciones en el uso diario, con la diferencia que si será una captación directa o si previo al almacenamiento se tendrá filtros para tratar y tener una mejor calidad de agua. El agua de lluvia tiene diversas aplicaciones habituales, entre ellas:

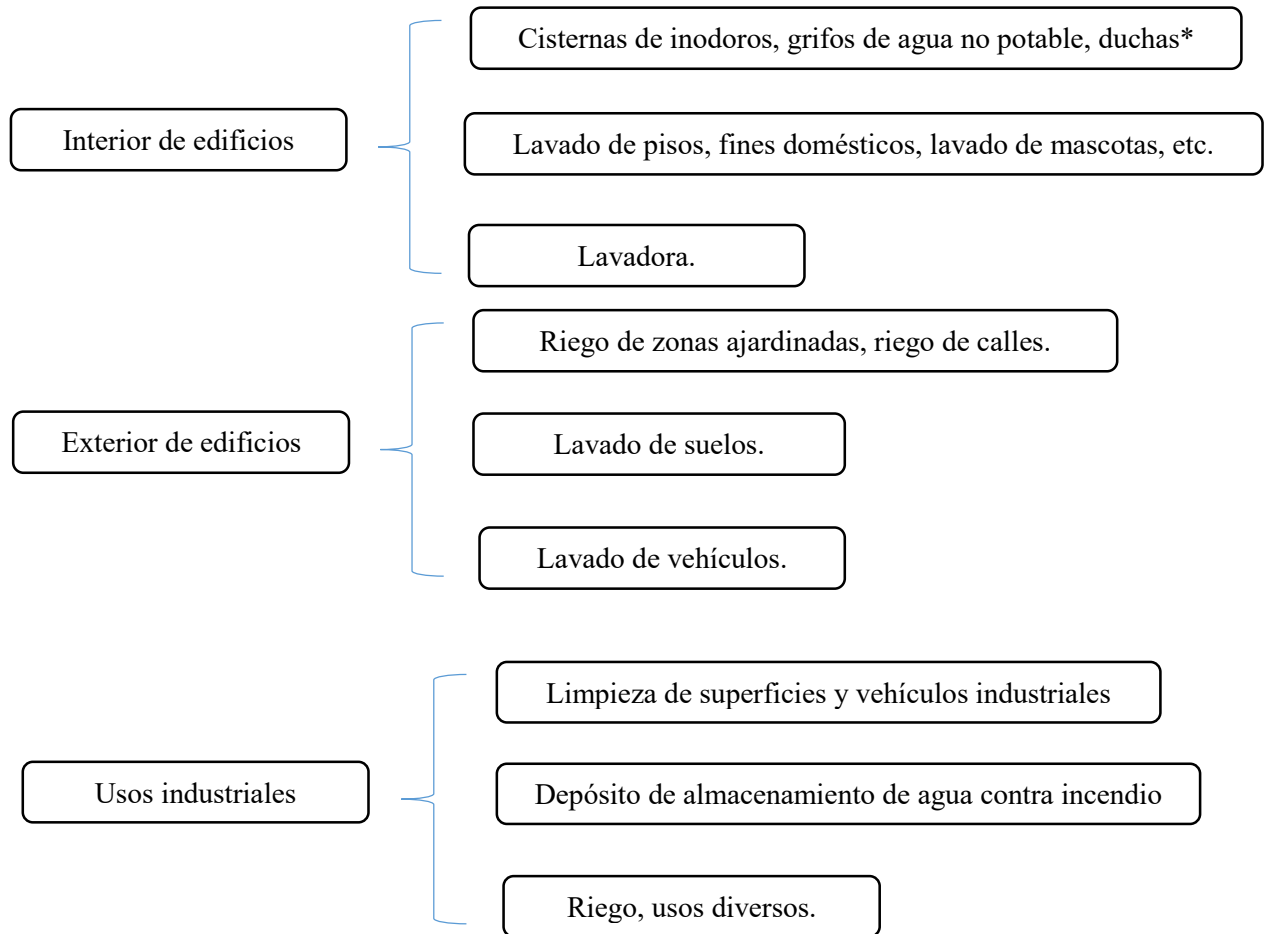


Figura N° 31. Diagrama de los diferentes usos del agua pluvial
Fuente: Elaboración propia.

El sistema estará diseñado para adaptarse a las viviendas fácilmente en la ciudad de Jaén, a un bajo costo y aprovechar el agua de lluvia para utilizarlo en fines domésticos y sanitarios.

- Aprovechará el **techo o cubierta** existente que debe tener una pendiente inclinada hacia el lado donde se ubicará el tanque de almacenamiento, el agua discurrirá por la superficie de captación que será de un material de metálico protegido (planchas acero ondulado, aluzinc, etc.), polipropileno, policarbonato, etc.
- Del techo el agua ingresará al sistema pluvial mediante **las canaletas** las cuales conducirán por la pendiente al almacenamiento por medio de un codo de 90° (o según sea el caso) y un embudo.
- Antes de ingresar al tanque de almacenamiento, el agua de lluvia deberá pasar por un sistema de **descarte de primeras aguas** que evita que los primeros litros que caen del aguacero pasen a la cisterna. Éste permite que los primeros minutos del aguacero limpien bien el techo antes de que entre agua a la cisterna; y así reduce la carga de contaminación en un alto porcentaje en el agua que almacenamos. Se puede fabricar y dependerá de la dimensión de la superficie de captación. En México si existen empresas que se encargan de comercializar de manera industrial el producto.
- El agua pluvial ingresará al **tanque de almacenamiento** que gracias al sistema de descarte de primeras aguas ya se encuentra libre de contaminación hasta un 75% por lo que podemos darle diversos usos domésticos. En el mercado local existen diversas empresas que ofrecen tanques para almacenamiento de agua, debemos optar por el adecuado como los que cuentan con una capa antibacterial y con la capacidad de almacenamiento adecuada según el diseño del sistema.
- Saliendo del tanque de almacenamiento, por decisión propia y si queremos que el agua esté en contacto humano se podrá incorporar un par de **filtros** (filtro multimedia, filtro de carbón activado, filtro de grava, etc.) incluso teniendo fines para consumo humano. El agua ya limpia va a las redes de distribución lista para su uso.

1.6. Definición de términos básicos (conceptos)

- Precipitación: “Fenómeno atmosférico que consiste en el aporte de agua a la tierra en forma de lluvia, llovizna, nieve o granizo” (OS. 060, 2006, pág. 55)
- Captación: Estructura que permite la entrada de las aguas hacia el sistema pluvial. (OS. 060, 2006, pág. 54). El diseño deberá garantizar como mínimo la captación del caudal máximo diario necesario protegiendo a la fuente de contaminación. (IS. 010, 2006)
- Agua de lluvia: “Procedente de la precipitación natural que ha recorrido una columna atmosférica” (Aqua España, 2016), evidentemente limpia y sin un tratamiento de potabilización.
- Agua potable: Agua que está dentro de los límites permisibles solicitado por el Reglamento de la calidad de agua para consumo humano DS N° 031 – 2010-SA. (MINSA)
- Superficie de captación: Techo o cubierta elevada en la parte superior de la vivienda que recibirá directamente la precipitación. Se medirá en m^2 .
- Canaleta: Elemento de conducción horizontal del agua pluvial recogida por la superficie de captación y que la redirigirá hacia la(s) montante para luego llevarla al sistema de filtros (si es necesario) y finalmente al almacenamiento.
- Montante: “Tubería vertical por medio de la cual se evacúa las aguas pluviales de los niveles superiores a inferiores” (OS. 060, 2006, pág. 54)
- Tanque de almacenamiento: Donde se depositará el agua de lluvia captada por el sistema pluvial, puede ser cubico o cilíndrico. Se recomendará que sea de materiales vírgenes y que eviten la reproducción de bacterias en su interior.
- Calidad de agua: Características físicas, químicas, y bacteriológicas del agua que la hacen aptas para el consumo humano, sin implicancias para la salud, incluyendo apariencia, gusto, olor. (OS. 010, 2006, pág. 34)
- Conducción: “Se denomina conducción a las estructuras y elementos que sirven para transportar el agua desde la captación hasta el reservorio o planta de tratamiento. La estructura deberá tener capacidad para conducir como mínimo, el caudal máximo diario” (OS. 010, 2006, pág. 33).

- Almacenamiento y Elevación: 2El volumen de almacenamiento estará de acuerdo a la intensidad y frecuencia de lluvias. El sistema de elevación deberá considerar lo señalado en los artículos 22 y 23 de la presente Norma.” (OS. 010, 2006, pág. 13)
- Coeficiente de escorrentía: “Coeficiente que indica la parte de la lluvia que escurre superficialmente” (OS. 060, 2006, pág. 54)
- Duración de la lluvia: Es el intervalo de tiempo que media entre el principio y el final de la lluvia y se expresa en minutos. (OS. 060, 2006, pág. 54)
- Frecuencias de lluvias: “Es el número de veces que se repite una precipitación de intensidad dada un periodo de tiempo determinado, es decir el grado de ocurrencia de una lluvia” (OS. 060, 2006, pág. 54)
- Intensidad de lluvia: “Es el caudal de la precipitación pluvial en una superficie por unidad de tiempo. Se mide en milímetros por hora (mm/hora) y también en litros por segundo por hectárea (l/s/Ha)” (OS. 060, 2006, pág. 54)
- Lluvia efectiva: “Porción de lluvia que escurrirá superficialmente. Es la cantidad de agua de lluvia que queda de la misma después de haberse infiltrado, evaporado o almacenado en charcos” (OS. 060, 2006, pág. 54)

II. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Objetivo general.

Diseñar y establecer las especificaciones técnicas de un sistema de captación de agua pluvial mediante techos, en una vivienda unifamiliar para ser reutilizado con fines sanitarios y diferentes usos domésticos, en la ciudad de Jaén - Cajamarca.

2.2. Objetivos específicos.

- Realizar un análisis de calidad de agua que se distribuirá mediante el sistema.
- Seleccionar las partes, métodos y/o procedimientos adecuados para el diseño de un sistema de aprovechamiento y reutilización de agua pluvial para Jaén.
- Calcular la demanda de consumo de agua no necesariamente potable en una vivienda promedio en Jaén y satisfacerla parcial o totalmente mediante el sistema.
- Generar un estudio que pueda utilizarse de guía para instalar sistemas de captación de aguas de lluvia en viviendas de manera eficiente, a partir de la calidad de los materiales de la zona, las técnicas constructivas y las características de las precipitaciones.
- Realizar el estudio hidrológico de la estación pluviométrica Jaén y comprobar los resultados de las distribuciones mediante el software HidroEsta 2.0.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Tipo de la investigación

APLICATIVA, CUALITATIVA - CUASI EXPERIMENTAL

3.2. Línea de investigación

Hidrología, Hidráulica, Saneamiento.

3.3. Localización

La presente investigación se desarrolló en la ciudad y distrito de Jaén, provincia de Jaén, departamento de Cajamarca – Perú.

3.4. Población y muestra

3.4.1. Población:

- Serie de registros pluviométricos anuales (Precipitación máxima 24 horas y precipitación total mensual) de la ciudad de Jaén desde el año 2000.
- Viviendas en la ciudad de Jaén que cuenten o puedan implementar techo o cubierta superior como superficie de captación.

3.4.2. Muestra:

- Máxima precipitación diaria mensual de la serie de registros históricos.
- Vivienda unifamiliar en la ciudad de Jaén.

3.5. Variables de la investigación

3.5.1. Variable dependiente

Sistema de agua pluvial para usos domésticos y fines sanitarios.

3.5.2. Variable independiente

Pluviometría promedio de la zona de estudio y vivienda unifamiliar.

3.6. Diseño metodológico

Existen deferentes métodos de aprovechamiento de agua pluvial tanto en la zona rural como urbana, para fines de consumo humano o como agua no potable. En el presente proyecto se adaptó un sistema ideal para la ciudad de Jaén, teniendo en cuenta la pluviometría de la estación más cercana, se aprovechó los techos de las azoteas, terrazas, coberturas metálicas superiores de las viviendas y se diseñó el sistema de aprovechamiento pluvial mediante distribución por gravedad teniendo en cuenta que el tanque de almacenamiento estará en el último piso por debajo de la superficie de captación. Se realizó además análisis de consistencia de la información pluviométrica, análisis estadístico para diferentes periodos de retorno; así como también estudio de dotación de agua no potable en una vivienda unifamiliar, se puede aprovechar la red de alimentación de agua potable que se alimenta del tanque elevado como también se puede diseñar un sistema independiente, se dimensionó los elementos y partes del sistema como las canaletas, bajantes, interceptor de primeras agua, tanque de almacenamiento y por último se realizó un análisis mecánico y de costos, en cuanto a los materiales y equipos se considerará los mejores y más eficientes para el sistema.

3.7. Componentes del sistema

3.7.1. Pluviometría

La información esencial como requisito al diseño del sistema de aprovechamiento de agua pluvial es obtener una serie de registros históricos de la pluviometría de la zona.

La precipitación es uno de los factores que se debe analizar para definir si es, o no factible realizar obras de captación. Para un planificador en captación de agua de lluvia, la tarea más difícil es seleccionar el diseño apropiado de acuerdo a la lluvia. Los datos importantes se obtienen de las estaciones meteorológicas que cuenten con datos de precipitación mensual de por lo menos diez años (Anaya, 1998, pág. 40)

Las estaciones meteorológicas más cercanas a la ciudad de Jaén son 7 (Figura 32), éstas registran los datos climatológicos de la zona de estudio y alrededores, nos servirán para que con los datos de precipitación hallemos una Precipitación media (P_m) que es el dato importante dentro del diseño del Sistema de captación de agua de lluvia. Según Villon (2002) para calcular la precipitación media de una tormenta o la precipitación media anual, existen tres métodos de uso generalizado: Promedio Aritmético, Polígono de Thiessen, Isoyetas.

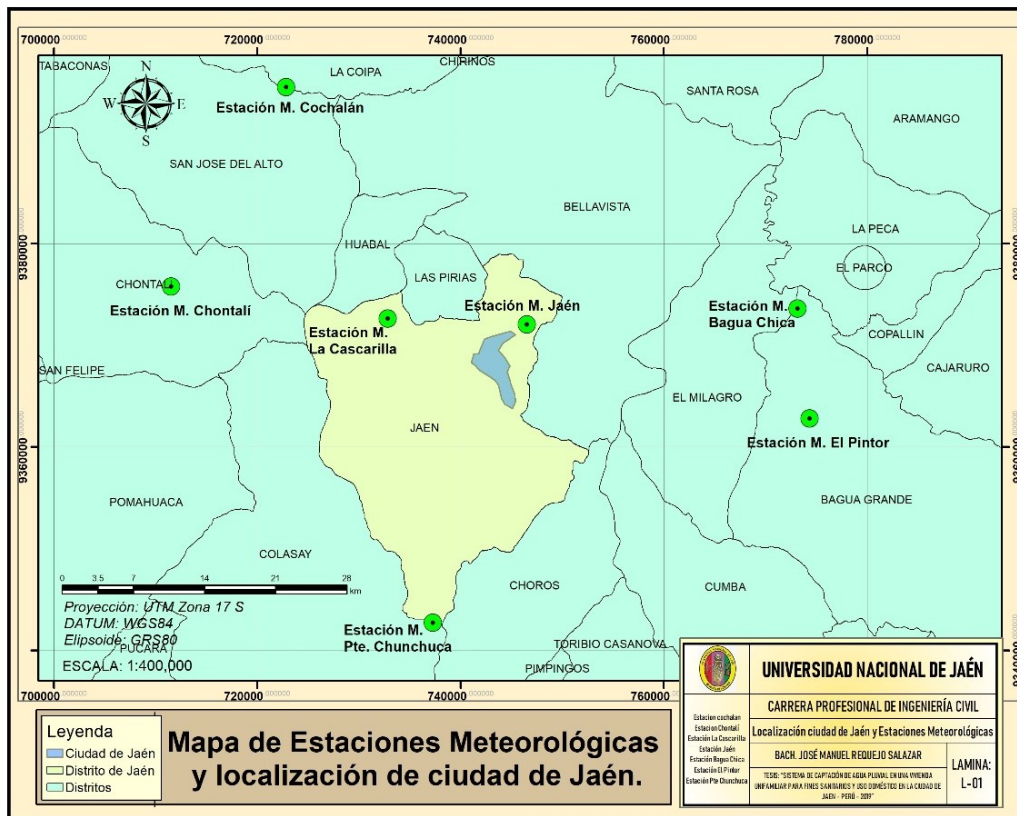


Figura N° 32. Estaciones meteorológicas cercanas a la ciudad de Jaén.

Fuente: Elaboración propia mediante ArcGis 10.5

Se puede trabajar con la información pluviométrica de una estación dentro de la zona de estudio (estación Jaén), pero para tener un análisis más exacto y generalizado, se trabajó con las siete estaciones meteorológicas más cercanas a la ciudad de Jaén mediante los métodos anteriormente descritos para la obtención de la Precipitación Promedio. Así mismo, ya que la Estación Jaén se encuentra dentro del área de estudio, se le tendrá una especial atención ya que ésta es la que registra la lluvia real que cae sólo en la ciudad de Jaén y el total de agua pluvial que cae en ésta será similar al total de agua pluvial que entra al sistema de captación de agua de lluvia, por lo tanto, se realizó el estudio hidrológico de esta estación mediante el análisis estadístico de datos hidrológicos. Éste análisis se hizo con la Precipitación máxima en 24 horas que registro dicha estación.

3.7.1.1. Recopilación de la información

La información o data histórica de pluviometría se obtuvo de la entidad encargada de las mediciones meteorológicas e hidrológicas en el Perú que es el SENAMHI. Ésta entidad proporciona tres métodos para la obtención de dicha información, según la Unidad de atención al ciudadano y gestión documental (UACGD) de esta institución:

- ✓ Gratuita de la página web, puede ubicar cierta información que está disponible de libre acceso al público en el siguiente link:

<https://www.senamhi.gob.pe/?&p=estaciones> o

<https://www.senamhi.gob.pe/?&p=descarga-datos-hidrometeorologicos>

Elija el departamento de su interés y ubique la estación más cercana a su zona de consulta. Las estaciones hidrometeorológicas que visualizará son: verdes (estaciones meteorológicas que están operando actualmente), grises (estaciones meteorológicas e hidrológicas que no están operando, tienen información antigua) y azules (son las estaciones hidrológicas que están operando actualmente).

- ✓ Realizando abono, la data meteorológica tiene un costo, si desea un presupuesto, sírvase remitir el formato adjunto (SOLICITUD TUSNE). De aprobarlo, realiza el pago y en un plazo de 05 a 07 días se le entregará la información impresa.
- ✓ Gratuita presentando documentos: El SENAMHI otorga apoyo a los estudiantes, tesisistas o investigadores (sin fines de lucro), liberando del costo de la información si cumplen con los siguientes requisitos:

- 1) Solicitud dirigida al Director Zonal de Cajamarca del SENAMHI, Ing. Felipe Huamán Solís (formato adjunto - Anexo 02).
- 2) Carta del Decano de la Escuela Profesional dirigida al Director Zonal de Lambayeque del SENAMHI, indicando los datos del tesisista y el título de la tesis.
- 3) Presentar el proyecto de tesis (resumen que sustente el pedido de la información de un máximo de 03 hojas).
- 4) Declaración Jurada, que indique que la información es exclusivamente para su proyecto de tesis (formato adjunto - Anexo 03).
- 5) Carta de compromiso de entregar una copia al término de su investigación y sustentación en formato CD.

Por razones obvias se optó por la tercera forma para obtener la data histórica de pluviometría de la zona de estudio. Pero no sólo se solicitó la información de la Estación Jaén, se solicitó también de las otras 6 estaciones meteorológicas cercanas a la ciudad (Figura 32). Todas las estaciones solicitadas fueron las siguientes:

ESTACIÓN	PARÁMETROS	ESCALA	PERÍODOS	LATITUD	LONGITUD
LA CASCARILLA	Precipitación	Mensual	2000- 2019	5°40'18.3"	78°53'51.6"
JAÉN	Precipitación	Mensual	2000-2019	5°40'35.89"	78°46'26.96"
CHONTALI	Precipitación	Mensual	2000- 2019	5°38'38"	79°5'24"
BAGUA CHICA	Precipitación	Mensual	2000-2019	5°39'41.34"	78°32'2.25"
EL PINTOR	Precipitación	Mensual	2000-2019	5°45'33.32"	78°31'22.3"
COCHALAN	Precipitación	Mensual	2000-2019	5°27'59"	78°59'19"
PUENTE CHUNCHUCA	Precipitación	Mensual	2000-2019	5°56'32"	78°51'23"

*Tabla N° 4. Estaciones meteorológicas solicitadas al SENAMHI.
Fuente: Elaboración propia.*

Según la (OPS/UNATSABAR, 2004) se deben tomar los datos de precipitación mensual de por lo menos 15 años.

3.7.1.2. Procesamiento de la información

Con toda la información disponible otorgada por el SENAMHI, primero, realizamos el estudio hidrológico de la estación que se encuentra dentro de la zona de estudio (Estación Jaén). Aquí trabajamos con la escala precipitación máxima 24 horas con la data histórica desde el año 1993 ya que mientras más información tengamos, mejores serán los resultados. La información se procesó en hojas de cálculo de Microsoft Excel 2013 y se corroboraron los resultados mediante el software HidroEsta 2.0.

Cabe mencionar que, mediante este análisis, aparte de realizar el estudio hidrológico de la estación en cuestión, también obtendremos un valor de Precipitación promedio máximo (Ppmax) de 24 horas, es decir, la cantidad de lluvia que cae de una tormenta en 1 día en la ciudad de Jaén y será un dato importante para el diseño del sistema ya que así sabremos cuales son las dimensiones de almacenamiento máximos en los casos de lluvias extraordinarias y con ello aprovechar el 100% del recurso pluvial y no desperdiciarla o transportarla al drenaje, lo que nos proporcionaría más oferta de agua que podríamos destinarla en otros o más usos domésticos o fines sanitarios.

También, a partir del valor de Ppmax 24 horas, podremos obtener el valor de Intensidad máxima para un determinado periodo de retorno, con ello dimensionar las partes y componentes del sistema.

A. Estudio Hidrológico

Se realizó el estudio hidrológico de la estación pluviométrica Jaén, considerando en este caso la precipitación máxima 24 horas de enero a diciembre, desde el año 1993 hasta el 2018. Como se mencionó antes, obteniendo esta información del SENAMHI.

Estación: JAÉN / CP - 252 / DRE - 02	Latitud: 05° 40' 35.89"S"	Dpto: Cajamarca
	Longitud: 78° 46' 26.96"W"	Provincia: Jaén
	Altitud: 654 msnm	Distrito: Jaén

Precipitación

Máxima en 24 horas (mm)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1993	7.87	62.56	45.19	11.78	18.82	7.73	4.67	36.10	72.94	24.81	38.85	30.44
1994	14.70	58.46	35.44	57.94	13.87	12.24	6.56	4.75	48.20	7.54	17.39	14.06
1995	4.94	25.51	23.81	22.74	10.18	4.60	10.26	56.98	7.81	9.52	41.22	36.00
1996	7.90	25.70	18.00	11.20	16.50	14.70	0.50	6.70	13.70	19.80	18.40	38.00
1997	11.00	16.70	14.40	30.00	9.66	4.24	7.41	11.97	13.34	23.74	31.61	33.94
1998	26.59	76.25	41.16	37.27	31.44	18.50	3.10	21.82	23.25	29.68	35.65	15.39
1999	24.97	73.60	17.34	16.95	20.36	17.86	5.91	6.16	27.57	24.92	23.13	44.23
2000	7.10	70.45	49.15	39.80	67.99	18.06	8.18	75.14	40.81	3.61	10.89	18.02
2001	33.88	32.71	26.26	22.64	14.83	3.29	7.08	77.94	61.48	10.96	75.31	17.95
2002	7.26	31.63	38.37	18.24	27.04	4.05	12.70	1.26	8.14	25.28	34.01	29.71
2003	6.93	54.34	15.18	15.46	17.14	28.03	8.93	2.30	11.12	15.67	37.01	17.92
2004	7.50	6.80	17.70	30.60	38.10	18.00	2.40	7.20	17.00	19.40	18.20	12.00
2005	6.50	42.00	36.20	31.00	10.20	18.30	1.90	14.50	18.70	27.90	78.50	31.50
2006	18.50	38.70	23.00	9.40	13.50	26.50	1.30	8.50	5.60	11.70	15.50	16.00
2007	7.60	27.00	32.50	29.00	29.30	13.00	27.20	7.50	7.20	45.90	38.90	22.60
2008	17.00	37.20	63.70	10.20	15.80	26.90	17.40	3.40	9.93	24.57	77.48	9.96
2009	21.47	54.12	29.48	13.67	22.19	8.30	8.30	14.64	14.52	20.23	59.48	23.59
2010	16.60	32.80	5.50	41.50	12.50	13.30	4.00	22.90	10.70	24.00	12.10	30.00
2011	25.50	39.50	48.90	39.80	70.60	4.50	21.80	5.80	2.50	30.80	23.50	38.70
2012	23.80	32.60	22.50	27.50	7.80	17.00	6.40	6.80	5.20	26.00	23.20	12.20
2013	9.40	47.00	10.30	18.80	12.90	9.00	6.40	7.40	14.00	56.90	0.70	18.60
2014	1.40	20.00	50.00	59.20	45.30	8.20	10.00	8.50	6.50	9.40	30.80	22.70
2015	49.50	19.60	73.00	24.60	21.60	4.00	55.20	8.20	6.00	13.60	15.00	19.80
2016	25.60	14.50	2.20	28.60	12.50	9.20	15.40	13.20	11.60	0.00	0.00	27.40
2017	23.80	11.20	36.60	26.80	1.50	18.90	9.40	18.50	4.00	17.40	15.00	39.60
2018	15.20	63.80	7.00	27.80	16.00	7.20	16.30	7.40	11.40	21.20	33.00	15.60

Tabla N° 5. Precipitación máxima 24 horas de la estación Jaén.

Fuente: SENAMHI.

Una vez obtenida la información adecuada, se procede al primer procesamiento: Se calcula la precipitación máxima de enero a diciembre, es decir de todos los meses de cada año, se identifica en cual llovió más, para luego seguir trabajando con este dato. De manera referencial se calcula también el Promedio, Desviación estándar, valor máximo, valor mínimo y número de datos en este caso para cada en general.

Año	Ener.	Febr.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	PP MAX
1993	7.9	62.6	45.2	11.8	18.8	7.7	4.7	36.1	72.9	24.8	38.9	30.4	72.9
1994	14.7	58.5	35.4	57.9	13.9	12.2	6.6	4.8	48.2	7.5	17.4	14.1	58.5
1995	4.9	25.5	23.8	22.7	10.2	4.6	10.3	57.0	7.8	9.5	41.2	36.0	57.0
1996	7.9	25.7	18.0	11.2	16.5	14.7	0.5	6.7	13.7	19.8	18.4	38.0	38.0
1997	11.0	16.7	14.4	30.0	9.7	4.2	7.4	12.0	13.3	23.7	31.6	33.9	33.9
1998	26.6	76.3	41.2	37.3	31.4	18.5	3.1	21.8	23.3	29.7	35.7	15.4	76.3
1999	25.0	73.6	17.3	17.0	20.4	17.9	5.9	6.2	27.6	24.9	23.1	44.2	73.6
2000	7.1	70.5	49.2	39.8	68.0	18.1	8.2	75.1	40.8	3.6	10.9	18.0	75.1
2001	33.9	32.7	26.3	22.6	14.8	3.3	7.1	77.9	61.5	11.0	75.3	18.0	77.9
2002	7.3	31.6	38.4	18.2	27.0	4.1	12.7	1.3	8.1	25.3	34.0	29.7	38.4
2003	6.9	54.3	15.2	15.5	17.1	28.0	8.9	2.3	11.1	15.7	37.0	17.9	54.3
2004	7.5	6.8	17.7	30.6	38.1	18.0	2.4	7.2	17.0	19.4	18.2	12.0	38.1
2005	6.5	42.0	36.2	31.0	10.2	18.3	1.9	14.5	18.7	27.9	78.5	31.5	78.5
2006	18.5	38.7	23.0	9.4	13.5	26.5	1.3	8.5	5.6	11.7	15.5	16.0	38.7
2007	7.6	27.0	32.5	29.0	29.3	13.0	27.2	7.5	7.2	45.9	38.9	22.6	45.9
2008	17.0	37.2	63.7	10.2	15.8	26.9	17.4	3.4	9.9	24.6	77.5	10.0	77.5
2009	21.5	54.1	29.5	13.7	22.2	8.3	8.3	14.6	14.5	20.2	59.5	23.6	59.5
2010	16.6	32.8	5.5	41.5	12.5	13.3	4.0	22.9	10.7	24.0	12.1	30.0	41.5
2011	25.5	39.5	48.9	39.8	70.6	4.5	21.8	5.8	2.5	30.8	23.5	38.7	70.6
2012	23.8	32.6	22.5	27.5	7.8	17.0	6.4	6.8	5.2	26.0	23.2	12.2	32.6
2013	9.4	47.0	10.3	18.8	12.9	9.0	6.4	7.4	14.0	56.9	0.7	18.6	56.9
2014	1.4	20.0	50.0	59.2	45.3	8.2	10.0	8.5	6.5	9.4	30.8	22.7	59.2
2015	49.5	19.6	73.0	24.6	21.6	4.0	55.2	8.2	6.0	13.6	15.0	19.8	73.0
2016	25.6	14.5	2.2	28.6	12.5	9.2	15.4	13.2	11.6	S/D	S/D	27.4	28.6
2017	23.8	11.2	36.6	26.8	S/D	18.9	9.4	18.5	4.0	17.4	15.0	39.6	39.6
2018	15.2	63.8	7.0	27.8	16.0	7.2	16.3	7.4	11.4	21.2	33.0	15.6	63.8
PROM	16.3	39.0	31.2	27.0	23.0	12.9	10.7	17.5	18.2	21.8	32.2	24.5	56.2
DESV. ESTA.	10.9	20.0	17.3	13.2	16.6	7.5	11.1	21.0	18.0	11.6	21.0	9.9	16.8
MAXIMO	49.5	76.3	73.0	59.2	70.6	28.0	55.2	77.9	72.9	56.9	78.5	44.2	78.5
MINIMO	1.4	6.8	5.5	9.4	7.8	3.3	0.5	1.3	2.5	3.6	0.7	10.0	28.6
N° DATOS	26.0	26.0	25.0	26.0	25.0	26.0	26.0	26.0	26.0	25.0	25.0	26.0	26.0

*Tabla N° 6. Precipitación máxima 24 horas anual y parámetros estadísticos básicos.
Fuente: Elaboración propia.*

A continuación, se extrajo la información necesaria y se ordenó con su respectiva numeración (Tabla N°7). En la Figura N° 33 se muestra el Histograma de los registros históricos (1993-2018) éste histograma de registro nos va permitir ver como es el comportamiento de los datos.

PRECIPITACION MAXIMA 24 HORAS		
N°	Año	Ppmax (mm)
1	1993	72.94
2	1994	58.46
3	1995	56.98
4	1996	38.00
5	1997	33.94
6	1998	76.25
7	1999	73.60
8	2000	75.14
9	2001	77.94
10	2002	38.37
11	2003	54.34
12	2004	38.10
13	2005	78.50
14	2006	38.70
15	2007	45.90
16	2008	77.48
17	2009	59.48
18	2010	41.50
19	2011	70.60
20	2012	32.60
21	2013	56.90
22	2014	59.20
23	2015	73.00
24	2016	28.60
25	2017	39.60
26	2018	63.80

Tabla N° 7. Numeración, año y Precipitación máxima

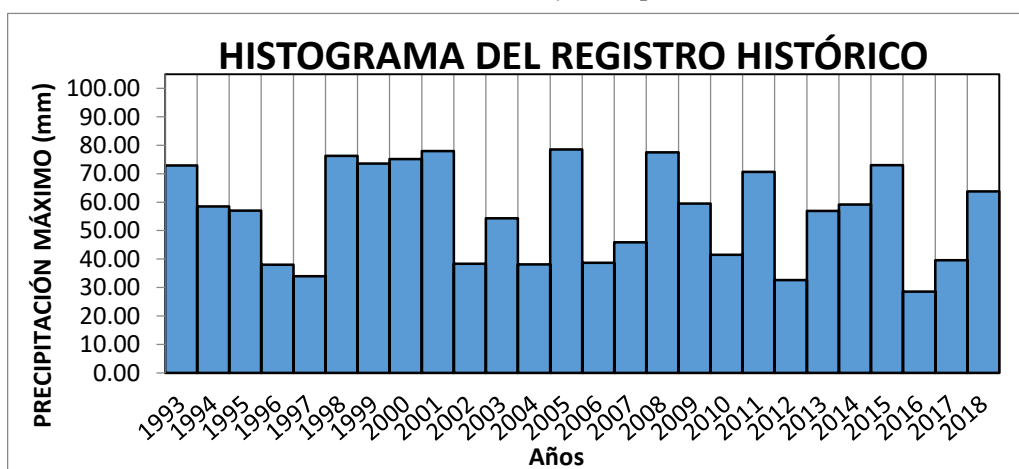


Figura N° 33. Histograma de los registros históricos.

Fuente: Elaboración propia.

Previo al inicio del análisis con las distribuciones teóricas, se realiza una Prueba de datos dudosos, que nos permitirá verificar si existen datos que no guardan relación con los demás, ya sea por un error en la toma de datos o factores externos.

PRECIPITACION MAXIMA 24 HORAS			
Nº	Año	P24hr	Log(P24hr)
1	1993	72.94	1.863
2	1994	58.46	1.767
3	1995	56.98	1.756
4	1996	38	1.580
5	1997	33.94	1.531
6	1998	76.25	1.882
7	1999	73.6	1.867
8	2000	75.14	1.876
9	2001	77.94	1.892
10	2002	38.37	1.584
11	2003	54.34	1.735
12	2004	38.1	1.581
13	2005	78.5	1.895
14	2006	38.7	1.588
15	2007	45.9	1.662
16	2008	77.48	1.889
17	2009	59.48	1.774
18	2010	41.5	1.618
19	2011	70.6	1.849
20	2012	32.6	1.513
21	2013	56.9	1.755
22	2014	59.2	1.772
23	2015	73	1.863
24	2016	28.6	1.456
25	2017	39.6	1.598
26	2018	63.8	1.805

Tabla N° 8. Ppmax 24 horas

PARÁMETROS ESTADISTICOS	P24hr	Log(P24hr)
Número de datos (N)	26	26
Sumatoria	1459.92	44.9505
Valor Máximo	78.5	1.895
Valor Mínimo	28.6	1.456
Media:	56.151	1.729
Varianza:	281.527	0.019
Desviación Estándar:	16.779	0.139
Coefficiente Variación:	0.299	0.081
Coefficiente de Sesgo:	-0.1095	-0.3942
n = 26.00		
Kn = 2.5 (ANEXO N°)		
Kn : Valor recomendado, varía según el valor de n (significancia:10%)		

Umbral de datos dudosos altos (xH: unidad. Logaritmicas)

$$x_H = \bar{x} + k_n \cdot S \quad (32) \quad xH = 2.08$$

Precipitacion maxima aceptaba

$$PH = 10^{xH} \quad PH = 119.5257445 \quad \text{mm}$$

NO EXISTEN DATOS DUDOSOS ALTO DE LA MUESTRA

Umbral de datos dudosos bajos (xL: unidad. Logaritmicas)

$$x_L = \bar{x} - k_n \cdot S \quad (33) \quad xL = 1.38$$

Precipitacion minima aceptaba

$$PL = 10^{xL} \quad PL = 24.00 \quad \text{mm}$$

NO EXISTEN DATOS DUDOSOS MINIMO DE LA MUESTRA

Por lo tanto, no existen datos dudosos. A continuación, se inicia con la parte de distribuciones teóricas, primero se realiza la gráfica de la distribución de frecuencias en función de la probabilidad de excedencia.

m	X	P(X)
0	Pp en orden	m/(n+1)
1	28.60	0.037
2	32.60	0.074
3	33.94	0.111
4	38.00	0.148
5	38.10	0.185
6	38.37	0.222
7	38.70	0.259
8	39.60	0.296
9	41.50	0.333
10	45.90	0.370
11	54.34	0.407
12	56.90	0.444
13	56.98	0.481
14	58.46	0.519
15	59.20	0.556
16	59.48	0.593
17	63.80	0.630
18	70.60	0.667
19	72.94	0.704
20	73.00	0.741
21	73.60	0.778
22	75.14	0.815
23	76.25	0.852
24	77.48	0.889
25	77.94	0.926
26	78.50	0.963
	n	26

Tabla N° 9. Probabilidad de excedencia mediante Weibull.
Elaboración propia

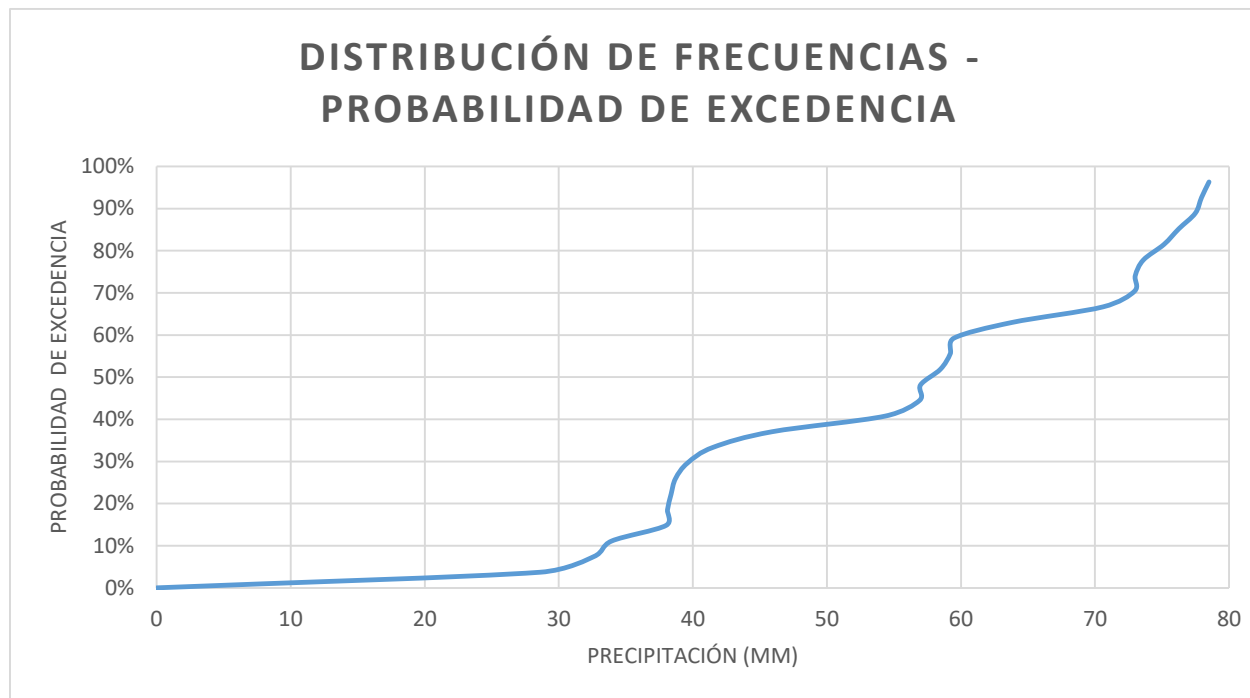


Figura N° 34. Gráfica de Distribución de frecuencias. Probabilidad de excedencia vs Precipitaciones.
Elaboración propia

Ésta gráfica será útil ya que utiliza la serie de registros históricos, mediante la fórmula de Weibull, para graficar la distribución de frecuencias de las precipitaciones. Más adelante, se realiza las comparaciones de las distribuciones teóricas, gráficamente, y se obtendrá cual de todas las gráficas de distribuciones es la que mejor se ajusta a ésta distribución, que será la que se elegirá en nuestra muestra.

- Distribución normal

Primero se ordenan las precipitaciones en orden de menor a mayor, se calcula la media y la desviación estándar de cada uno de la serie de datos; luego se realiza la probabilidad de excedencia (Weibull) como en el acápite anterior, se procede a calcular el valor de Z, la función de Z (F(Z)) y por último el valor de Delta (Δ), tal como se muestra en la tabla.

DISTRIBUCION NORMAL							
m	Pp = X	Media (Xm)	Desviación Estándar (S)	P (X) =m/n+1	Z = (X-Xm)/S	F(Z)	Delta
1	28.60	56.1508	16.77876	0.037	-1.642	0.0503	0.0133
2	32.60			0.074	-1.404	0.0802	0.0061
3	33.94			0.111	-1.324	0.0928	0.0183
4	38.00			0.148	-1.082	0.1397	0.0085
5	38.10			0.185	-1.076	0.1410	0.0442
6	38.37			0.222	-1.060	0.1446	0.0776
7	38.70			0.259	-1.040	0.1492	0.1101
8	39.60			0.296	-0.986	0.1620	0.1343
9	41.50			0.333	-0.873	0.1913	0.1420
10	45.90			0.370	-0.611	0.2706	0.0997
11	54.34			0.407	-0.108	0.4570	0.0496
12	56.90			0.444	0.045	0.5178	0.0734
13	56.98			0.481	0.049	0.5197	0.0382
14	58.46			0.519	0.138	0.5547	0.0362
15	59.20			0.556	0.182	0.5721	0.0165
16	59.48			0.593	0.198	0.5786	0.0140
17	63.80			0.630	0.456	0.6758	0.0461
18	70.60			0.667	0.861	0.8054	0.1388
19	72.94			0.704	1.001	0.8415	0.1378
20	73.00			0.741	1.004	0.8424	0.1016
21	73.60			0.778	1.040	0.8508	0.0730
22	75.14			0.815	1.132	0.8711	0.0563
23	76.25			0.852	1.198	0.8845	0.0327
24	77.48			0.889	1.271	0.8982	0.0093
25	77.94			0.926	1.299	0.9030	0.0230
26	78.50			0.963	1.332	0.9086	0.0544

0.1420	<	0.2667	Δ teórico	0.1420
SE AJUSTA			Δ tabular	0.2667
			n	26

Tabla N° 10. Procesamiento de las precipitaciones mediante la Distribución Normal
Fuente: Elaboración propia.

La columna F(Z) la podemos hallar mediante la fórmula para la distribución normal, teniendo en cuenta otras tablas probabilísticas; pero en la presente investigación, para una mayor fluidez, se trabajó con el programa Microsoft Excel 2013, obteniendo F(Z) mediante

la función: “=DISTR.NORM.ESTAND.N(H6;VERDADERO)” siendo H6 los valores de la columna “Z”.

Para la columna Delta aplicamos la fórmula de Kolmogorov Smirnov, el valor absoluto de la probabilidad observada menos la probabilidad estimada, o sea: $D = \max/P(X) - F(Z)/$

De la columna Delta, identificamos el mayor valor que viene a ser el delta teórico (Δ teórico). Para calcular el valor del delta tabular (Δ tabular) mediante la fórmula: Δ tabular = $1.36\sqrt{n}$, o la hallamos de la tabla N° 2 Valores críticos d para la prueba Kolmogorov – Smirnov, para un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$, en caso no esté tabulado el tamaño de la muestra se realiza una interpolación simple

Ahora procedemos a verificar y validar el proceso de cálculo para Distribución normal mediante el software especializado en Hidrología Estadística: HidroEsta versión 2.00.

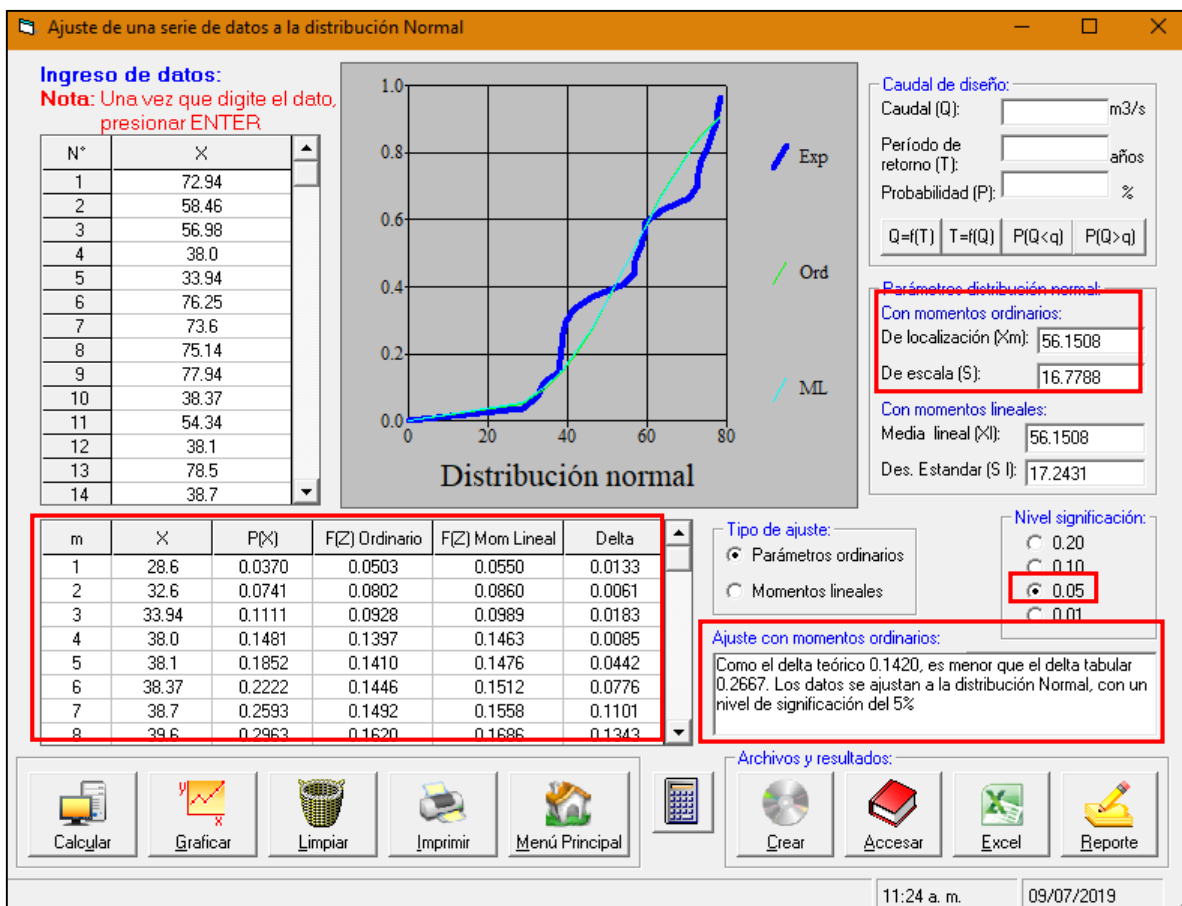


Figura N° 35. Ajuste de la serie de datos de precipitación a la Distribución Normal.
 Fuente: Elaboración propia mediante HidroEsta 2.0

Podemos notar que el análisis de resultados es igual a los obtenidos mediante el uso de Excel, concluyendo que los datos se ajustan a la Distribución Normal, con un nivel de significancia del 5%. De la misma manera se procesan las demás distribuciones.

- Distribución Log Normal 2 parámetros

El mismo procedimiento con la condición que en este caso se trabaja con los logaritmos de precipitación, es así que los parámetros estadísticos como los parámetros ordinarios estarán en función de los valores logarítmicos.

DISTRIBUCION LOGNORMAL 2 PARÁMETROS							
m	X	Y=Ln(X)	P(x)	Media Ln(X)	Desv. Estándar Ln(X)	F(z)	Delta
1	28.60	3.3534	0.037	3.9809	0.3211	0.0253	0.0117
2	32.60	3.4843	0.074			0.0610	0.0131
3	33.94	3.5246	0.111			0.0776	0.0335
4	38.00	3.6376	0.148			0.1425	0.0056
5	38.10	3.6402	0.185			0.1444	0.0408
6	38.37	3.6473	0.222			0.1494	0.0728
7	38.70	3.6558	0.259			0.1557	0.1036
8	39.60	3.6788	0.296			0.1734	0.1229
9	41.50	3.7257	0.333			0.2134	0.1199
10	45.90	3.8265	0.370			0.3153	0.0551
11	54.34	3.9953	0.407			0.5179	0.1105
12	56.90	4.0413	0.444			0.5747	0.1302
13	56.98	4.0427	0.481			0.5764	0.0949
14	58.46	4.0683	0.519			0.6074	0.0889
15	59.20	4.0809	0.556			0.6223	0.0668
16	59.48	4.0856	0.593			0.6279	0.0353
17	63.80	4.1558	0.630			0.7070	0.0774
18	70.60	4.2570	0.667			0.8051	0.1385
19	72.94	4.2896	0.704			0.8319	0.1282
20	73.00	4.2905	0.741			0.8325	0.0918
21	73.60	4.2986	0.778			0.8389	0.0611
22	75.14	4.3194	0.815			0.8541	0.0393
23	76.25	4.3340	0.852			0.8643	0.0125
24	77.48	4.3500	0.889			0.8749	0.0140
25	77.94	4.3559	0.926			0.8786	0.0473
26	78.50	4.3631	0.963			0.8831	0.0799

0.1385 < 0.2667	Δ teórico	0.1385
SE AJUSTA	Δ tabular	0.2667
	n	26

Tabla N° 11. Procesamiento de las precipitaciones mediante la Distribución LogNormal 2 parámetros.

Fuente: Elaboración propia.

La columna F(Z) se puede calcular de igual manera en el Excel aplicando la fórmula: “=DISTR.LOGNORM(Y6;\$AB\$6;\$AC\$6;VERDADERO)”, siendo Y6 el valor de la columna “X”, “\$AB\$6” el valor Media Ln(X), “\$AC\$6” el valor Desv. Estándar Ln(X). Cabe recalcar que al colocar “verdadero” estaremos obteniendo la función acumulada, si colocamos “falso” será la función densidad.

Identificamos el mayor valor Delta que vendría a ser Δ teórico, y si éste es menor que el Δ tabular, entonces podemos concluir que la distribución se ajusta. Luego verificamos la validez mediante el software HidroEsta 2.0

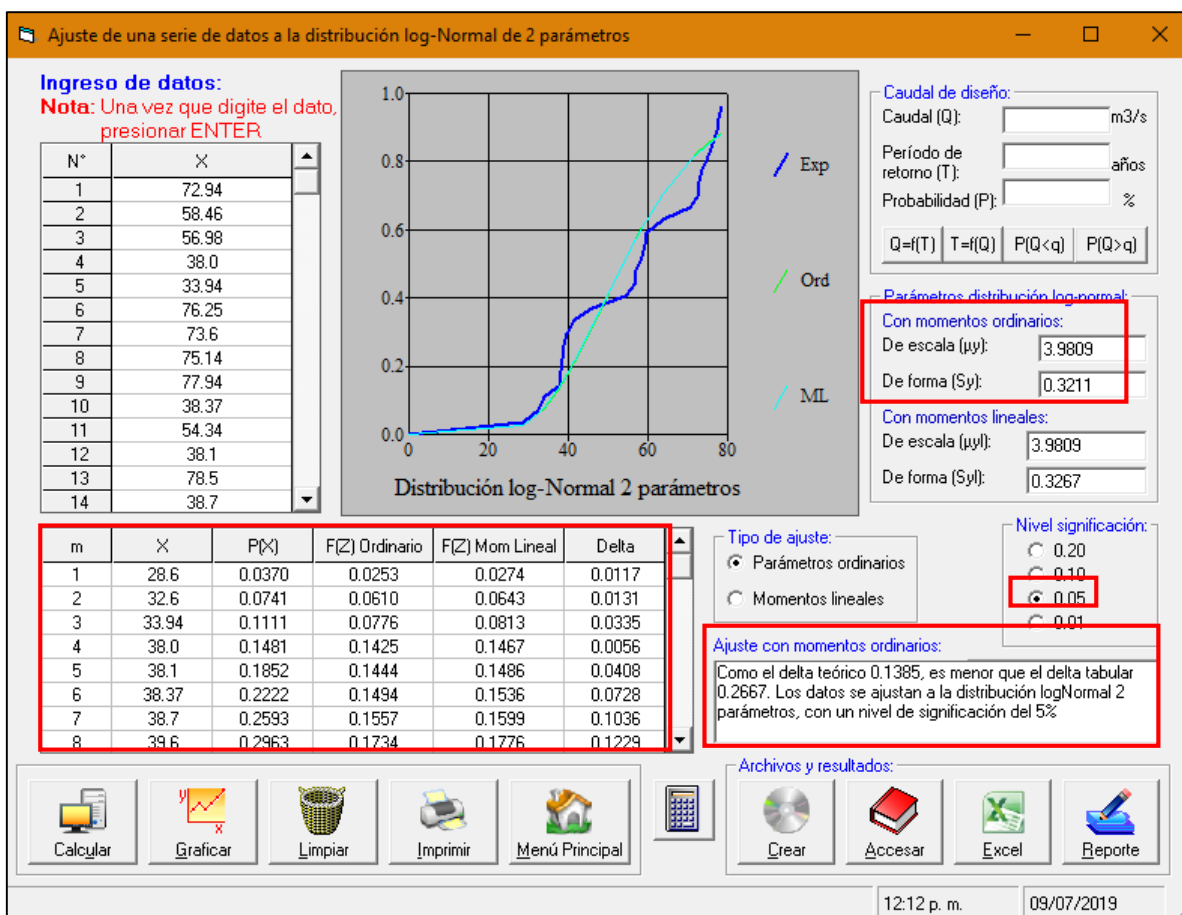


Figura N° 36. Ajuste de la serie de datos de precipitación a la Distribución LogNormal 2 parámetros.

Fuente: Elaboración propia mediante HidroEsta 2.0

Como en el procesamiento de Excel y lo del software coinciden en resultado, entonces es correcto y la serie de registros se ajusta a la Distribución LogNormal de 2 parámetros con un nivel de significancia del 5%.

- Distribución LogNormal de 3 parámetros

La diferencia aquí es que vamos a calcular el parámetro de posición (X_0), en esta distribución no siempre los datos se van a ajustar así que puede descartarse o no según sea el caso.

DISTRIBUCION LOGNORMAL 3 PARÁMETROS										
m	X	P(X)	Median a	X0	(X-X0)	Ln (X-X0)	Media Ln (X-X0)	Desv. Estándar Ln(X-X0)	F(Z)	Delta
1	28.60	0.037	57.7200	130.275	-101.6756	#iNUM!	#iNUM!	#iNUM!	#iNUM!	#iNUM!
2	32.60	0.074			#iNUM!	#iNUM!				
3	33.94	0.111			#iNUM!	#iNUM!				
4	38.00	0.148			#iNUM!	#iNUM!				
5	38.10	0.185			#iNUM!	#iNUM!				
6	38.37	0.222			#iNUM!	#iNUM!				
7	38.70	0.259			#iNUM!	#iNUM!				
8	39.60	0.296			#iNUM!	#iNUM!				
9	41.50	0.333			#iNUM!	#iNUM!				
10	45.90	0.370			#iNUM!	#iNUM!				
11	54.34	0.407			#iNUM!	#iNUM!				
12	56.90	0.444			#iNUM!	#iNUM!				
13	56.98	0.481			#iNUM!	#iNUM!				
14	58.46	0.519			#iNUM!	#iNUM!				
15	59.20	0.556			#iNUM!	#iNUM!				
16	59.48	0.593			#iNUM!	#iNUM!				
17	63.80	0.630			#iNUM!	#iNUM!				
18	70.60	0.667			#iNUM!	#iNUM!				
19	72.94	0.704			#iNUM!	#iNUM!				
20	73.00	0.741			#iNUM!	#iNUM!				
21	73.60	0.778			#iNUM!	#iNUM!				
22	75.14	0.815			#iNUM!	#iNUM!				
23	76.25	0.852			#iNUM!	#iNUM!				
24	77.48	0.889			#iNUM!	#iNUM!				
25	77.94	0.926			#iNUM!	#iNUM!				
26	78.50	0.963			#iNUM!	#iNUM!				

#iNUM!	<	0.2667	Δ teorico	#iNUM!
#iNUM!			Δ tabular	0.267
			n	26

Tabla N° 12. Procesamiento de las precipitaciones mediante la Distribución LogNormal 3 parámetros.

Fuente: Elaboración propia.

Podemos notar que no existe el Ln de un número negativo, es así que nos resulta error en las siguientes columnas, por lo tanto, no obtendremos un Δ teorico y descartamos esta distribución.

- Distribución Gamma 2 parámetros

Esta distribución tiene la particularidad de obtener 2 parámetros: γ (parámetro de forma) y β (parámetro de escala); así como también trabaja con los logaritmos de la serie de registros.

DISTRIBUCION GAMMA (II PÁMETROS)										
m	x	Ln x	P(x)	Media X	Media Ln x	Y	Y	β	F(x)	Δ
1	28.60	3.3534	0.037	56.1508	3.9809	0.0472	10.7615	5.2177	0.0298	0.0072
2	32.60	3.4843	0.074						0.0630	0.0110
3	33.94	3.5246	0.111						0.0781	0.0330
4	38.00	3.6376	0.148						0.1361	0.0120
5	38.10	3.6402	0.185						0.1378	0.0474
6	38.37	3.6473	0.222						0.1423	0.0799
7	38.70	3.6558	0.259						0.1480	0.1112
8	39.60	3.6788	0.296						0.1640	0.1323
9	41.50	3.7257	0.333						0.2004	0.1329
10	45.90	3.8265	0.370						0.2959	0.0745
11	54.34	3.9953	0.407						0.4981	0.0907
12	56.90	4.0413	0.444						0.5578	0.1133
13	56.98	4.0427	0.481						0.5596	0.0781
14	58.46	4.0683	0.519						0.5927	0.0742
15	59.20	4.0809	0.556						0.6089	0.0533
16	59.48	4.0856	0.593						0.6149	0.0223
17	63.80	4.1558	0.630						0.7015	0.0719
18	70.60	4.2570	0.667						0.8108	0.1441
19	72.94	4.2896	0.704						0.8406	0.1369
20	73.00	4.2905	0.741						0.8413	0.1005
21	73.60	4.2986	0.778						0.8483	0.0705
22	75.14	4.3194	0.815						0.8651	0.0503
23	76.25	4.3340	0.852						0.8763	0.0245
24	77.48	4.3500	0.889						0.8878	0.0011
25	77.94	4.3559	0.926						0.8919	0.0340
26	78.50	4.3631	0.963						0.8967	0.0663

0.1441 < 0.2667	Δ teórico	0.1441
SE AJUSTA	Δ tabular	0.267
	n	26

Tabla N° 13. Procesamiento de las precipitaciones mediante la Distribución Gamma 2 parámetros.

Fuente: Elaboración propia

La columna F(x) se puede calcular en Excel aplicando la fórmula: “=DISTR.GAMMA.N(D42;\$J\$42;\$K\$42;VERDADERO)”, siendo D42 el valor de la

columna “x”, “\$J\$42” el valor Y , “\$K\$42” el valor β . Cabe recalcar que al colocar “verdadero” estaremos obteniendo la función acumulada, si colocamos “falso” será la función densidad.

Identificamos el mayor valor Delta que vendría a ser Δ teórico, y si éste es menor que el Δ tabular, entonces podemos concluir que la distribución se ajusta. Luego verificamos la validez mediante el software HidroEsta 2.0

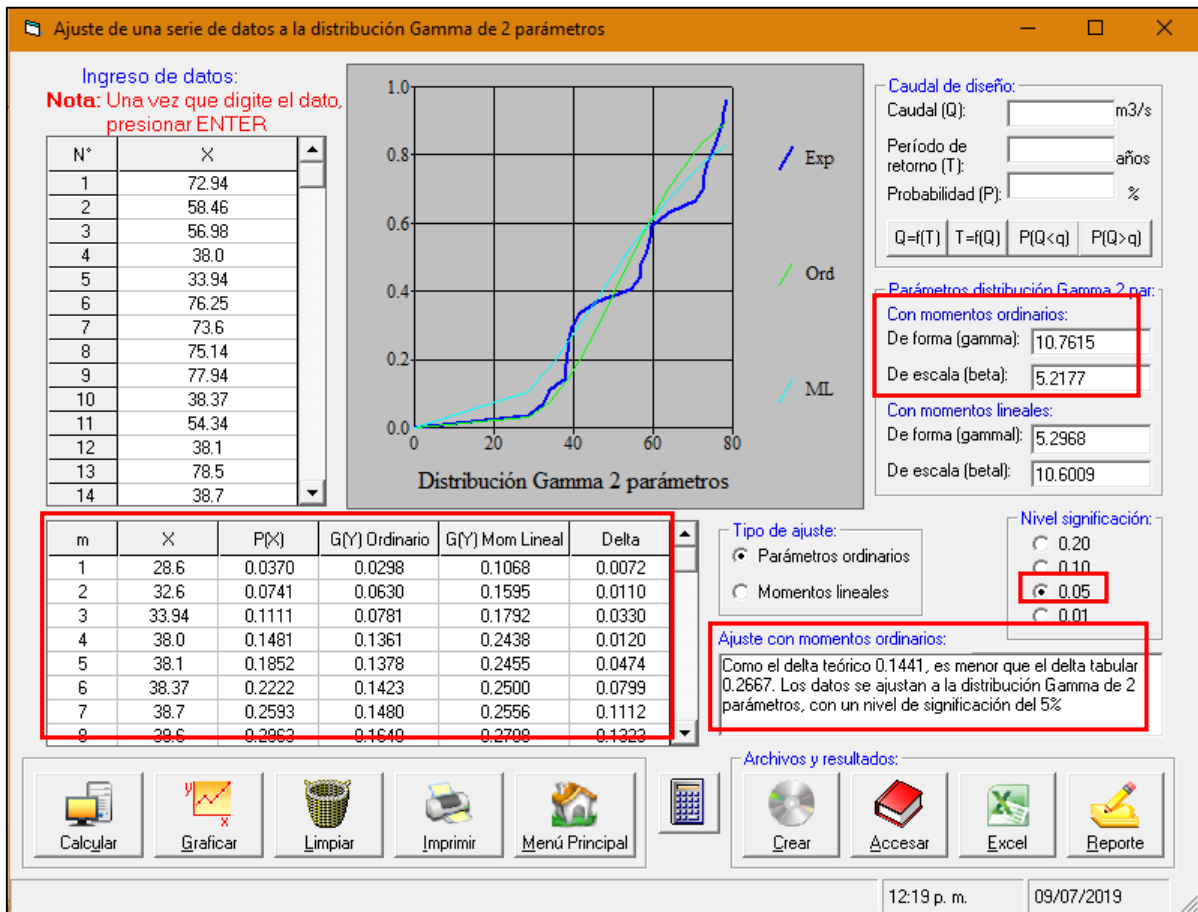


Figura N° 37. Ajuste de la serie de datos de precipitación a la Distribución Gamma 2 parámetros.
 Fuente: Elaboración propia mediante HidroEsta 2.0

Como en el procesamiento de Excel y lo del software coinciden en resultado, entonces es correcto y la serie de registros se ajusta a la distribución Gamma de 2 parámetros con un nivel de significancia del 5%.

- Distribución Pearson tipo III

También conocida como Gamma 3 parámetros, además de los parámetros estadísticos convencionales, β y Υ ; también cuenta con el parámetro de posición X_0 .

DISTRIBUCION PEARSON TIPO III (O GAMMA 3 PARÁMETROS)											
m (1)	x(2)	P(x)	Media (x)	S	Cs	X0	(x-X0)	β	Υ	F(x)	Δ
1	28.60	0.037	56.1508	16.778	-0.109	362.523	-333.924	0.918	333.41	#iNUM!	#iNUM!
2	32.60	0.074					-329.924			#iNUM!	#iNUM!
3	33.94	0.111					-328.584			#iNUM!	#iNUM!
4	38.00	0.148					-324.524			#iNUM!	#iNUM!
5	38.10	0.185					-324.424			#iNUM!	#iNUM!
6	38.37	0.222					-324.154			#iNUM!	#iNUM!
7	38.70	0.259					-323.824			#iNUM!	#iNUM!
8	39.60	0.296					-322.924			#iNUM!	#iNUM!
9	41.50	0.333					-321.024			#iNUM!	#iNUM!
10	45.90	0.370					-316.624			#iNUM!	#iNUM!
11	54.34	0.407					-308.184			#iNUM!	#iNUM!
12	56.90	0.444					-305.624			#iNUM!	#iNUM!
13	56.98	0.481					-305.544			#iNUM!	#iNUM!
14	58.46	0.519					-304.064			#iNUM!	#iNUM!
15	59.20	0.556					-303.324			#iNUM!	#iNUM!
16	59.48	0.593					-303.044			#iNUM!	#iNUM!
17	63.80	0.630					-298.724			#iNUM!	#iNUM!
18	70.60	0.667					-291.924			#iNUM!	#iNUM!
19	72.94	0.704					-289.584			#iNUM!	#iNUM!
20	73.00	0.741					-289.524			#iNUM!	#iNUM!
21	73.60	0.778					-288.924			#iNUM!	#iNUM!
22	75.14	0.815					-287.384			#iNUM!	#iNUM!
23	76.25	0.852					-286.274			#iNUM!	#iNUM!
24	77.48	0.889					-285.044			#iNUM!	#iNUM!
25	77.94	0.926					-284.584			#iNUM!	#iNUM!
26	78.50	0.963					-284.024			#iNUM!	#iNUM!

#iNUM! M!	<	0.2667	#iNUM!
#iNUM!			
Δ teorico		#iNUM!	
Δ tabular		0.267	
n		26	

Tabla N° 14. Procesamiento de las precipitaciones mediante la Distribución Pearson tipo III.
Fuente: Elaboración propia

La fórmula para esta distribución F(x) es la misma que la anterior, lo que varía es el parámetro de posición X_0 , y quedaría de la siguiente manera “=DISTR.GAMMA.N((x-

X0);Y; β ;VERDADERO)”. Como podemos notar nos resulta un error al momento de calcular F(x), así que se descarta esta distribución.

- Distribución LogPearson Tipo III

La misma distribución anterior, con la diferencia que se trabaja con los logaritmos de las precipitaciones.

DISTRIBUCION LOGPEARSON TIPO III												
m	x	Ln(x)	P(x)	Media (Lnx)	S (Lnx)	Cs Lnx	X0	β	Y	Ln(x)-X0	F(x)	Δ
1	28.60	3.353	0.037	3.980	0.321	0.394	5.61	0.063	25.746	-2.257	#iNUM!	#iNUM!
2	32.60	3.484	0.074							-2.126	#iNUM!	#iNUM!
3	33.94	3.525	0.111							-2.085	#iNUM!	#iNUM!
4	38.00	3.638	0.148							-1.972	#iNUM!	#iNUM!
5	38.10	3.640	0.185							-1.970	#iNUM!	#iNUM!
6	38.37	3.647	0.222							-1.963	#iNUM!	#iNUM!
7	38.70	3.656	0.259							-1.954	#iNUM!	#iNUM!
8	39.60	3.679	0.296							-1.931	#iNUM!	#iNUM!
9	41.50	3.726	0.333							-1.884	#iNUM!	#iNUM!
10	45.90	3.826	0.370							-1.784	#iNUM!	#iNUM!
11	54.34	3.995	0.407							-1.615	#iNUM!	#iNUM!
12	56.90	4.041	0.444							-1.569	#iNUM!	#iNUM!
13	56.98	4.043	0.481							-1.567	#iNUM!	#iNUM!
14	58.46	4.068	0.519							-1.542	#iNUM!	#iNUM!
15	59.20	4.081	0.556							-1.529	#iNUM!	#iNUM!
16	59.48	4.086	0.593							-1.524	#iNUM!	#iNUM!
17	63.80	4.156	0.630							-1.454	#iNUM!	#iNUM!
18	70.60	4.257	0.667							-1.353	#iNUM!	#iNUM!
19	72.94	4.290	0.704							-1.320	#iNUM!	#iNUM!
20	73.00	4.290	0.741							-1.320	#iNUM!	#iNUM!
21	73.60	4.299	0.778							-1.311	#iNUM!	#iNUM!
22	75.14	4.319	0.815							-1.291	#iNUM!	#iNUM!
23	76.25	4.334	0.852							-1.276	#iNUM!	#iNUM!
24	77.48	4.350	0.889							-1.260	#iNUM!	#iNUM!
25	77.94	4.356	0.926							-1.254	#iNUM!	#iNUM!
26	78.50	4.363	0.963							-1.247	#iNUM!	#iNUM!

#iNUM!	0.266
M!	< 7
#iNUM!	

Δ teorico	#iNUM!
Δ tabular	0.267

n	26
---	----

Tabla N° 15, Procesamiento de las precipitaciones mediante la Distribución LogPearson tipo III.
Fuente: Elaboración propia.

La fórmula para esta distribución $F(x)$ es la misma que la anterior, lo que varía es el que se trabaja con los logaritmos, quedaría de la siguiente manera $=\text{DISTR.GAMMA.N}(\text{Ln}(x)-X_0; Y; \beta; \text{VERDADERO})$

Podemos notar que para esta distribución nuevamente obtenemos error en los resultados, así que se descarta. Comprobamos el resultado mediante HidroEsta.

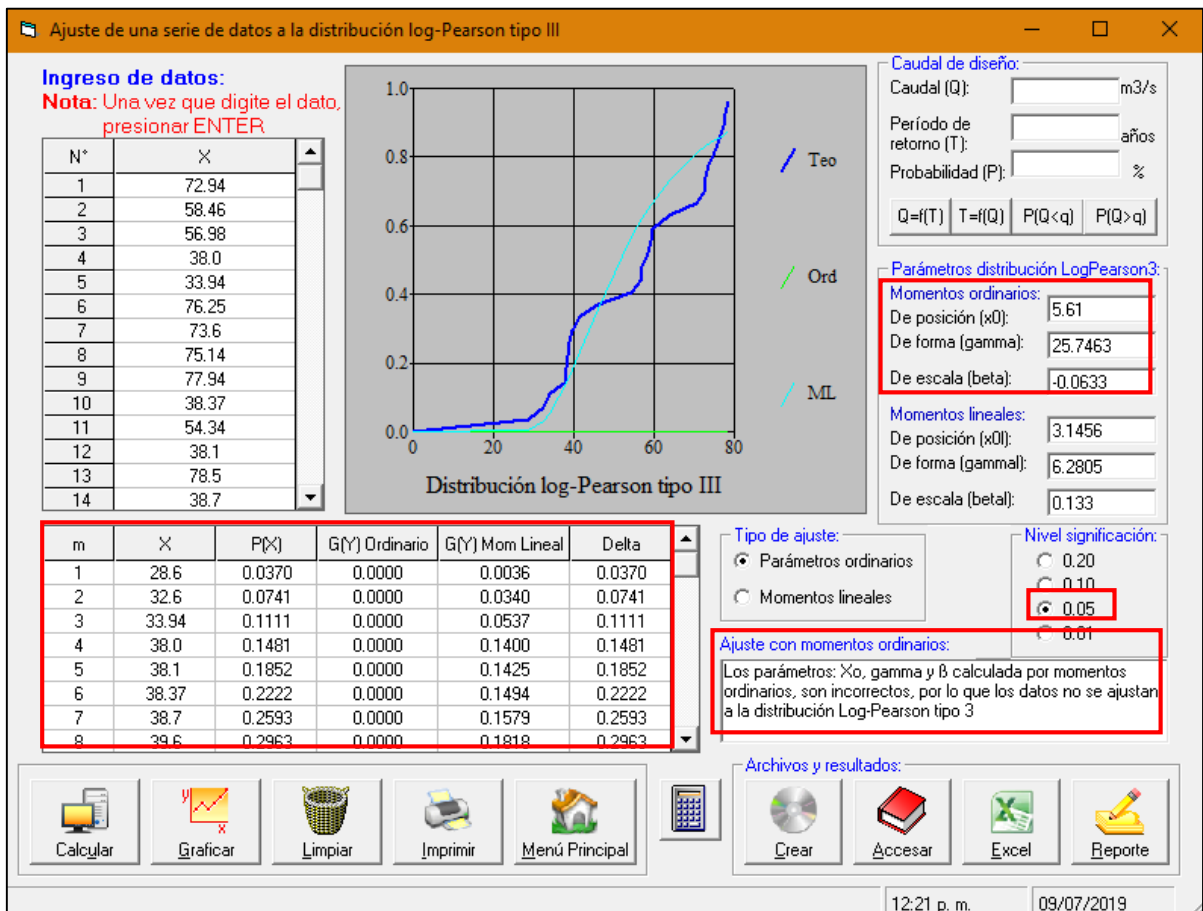


Figura N° 38. Ajuste de la serie de datos de precipitación a la Distribución LogPearson tipo III.
 Fuente: Elaboración propia mediante HidroEsta 2.0

De la misma manera en que comprobamos el proceso, el software demuestra que los datos no se ajustan a esta distribución, y se puede comprobar de manera gráfica tendiendo al error para los momentos ordinarios.

- Distribución Gumbel

Que procesa la información mediante doble exponencial, toma en cuenta el parámetro de concentración α y el parámetro de localización β .

DISTRIBUCION GUMBEL								
m	x	P(x)	Media (x)	S (x)	β	α	F(x)	Δ
1	28.60	0.037	56.15	16.7788	48.6003	13.0823	0.0099	0.0271
2	32.60	0.074					0.0335	0.0406
3	33.94	0.111					0.0466	0.0645
4	38.00	0.148					0.1056	0.0426
5	38.10	0.185					0.1074	0.0778
6	38.37	0.222					0.1124	0.1098
7	38.70	0.259					0.1187	0.1406
8	39.60	0.296					0.1367	0.1596
9	41.50	0.333					0.1789	0.1544
10	45.90	0.370					0.2925	0.0779
11	54.34	0.407					0.5247	0.1173
12	56.90	0.444					0.5885	0.1440
13	56.98	0.481					0.5904	0.1089
14	58.46	0.519					0.6246	0.1061
15	59.20	0.556					0.6410	0.0854
16	59.48	0.593					0.6470	0.0545
17	63.80	0.630					0.7313	0.1017
18	70.60	0.667					0.8302	0.1635
19	72.94	0.704					0.8559	0.1522
20	73.00	0.741					0.8565	0.1158
21	73.60	0.778					0.8625	0.0847
22	75.14	0.815					0.8768	0.0620
23	76.25	0.852					0.8862	0.0343
24	77.48	0.889					0.8959	0.0070
25	77.94	0.926					0.8993	0.0267
26	78.50	0.963					0.9033	0.0597

0.1635 < 0.2667	Δ teórico	0.1635
SE AJUSTA	Δ tabular	0.267
	n	26

Tabla N° 16. Procesamiento de las precipitaciones mediante la Distribución Gumbel.
Fuente: Elaboración propia.

La fórmula para esta distribución F(x) se transcribe de la siguiente manera =EXP(-EXP(-(x - β)/ α)))

Identificamos el mayor valor Delta que vendría a ser Δ teórico, y si éste es menor que el Δ tabular, entonces podemos concluir que la distribución se ajusta. Luego verificamos la validez mediante el software HidroEsta 2.0

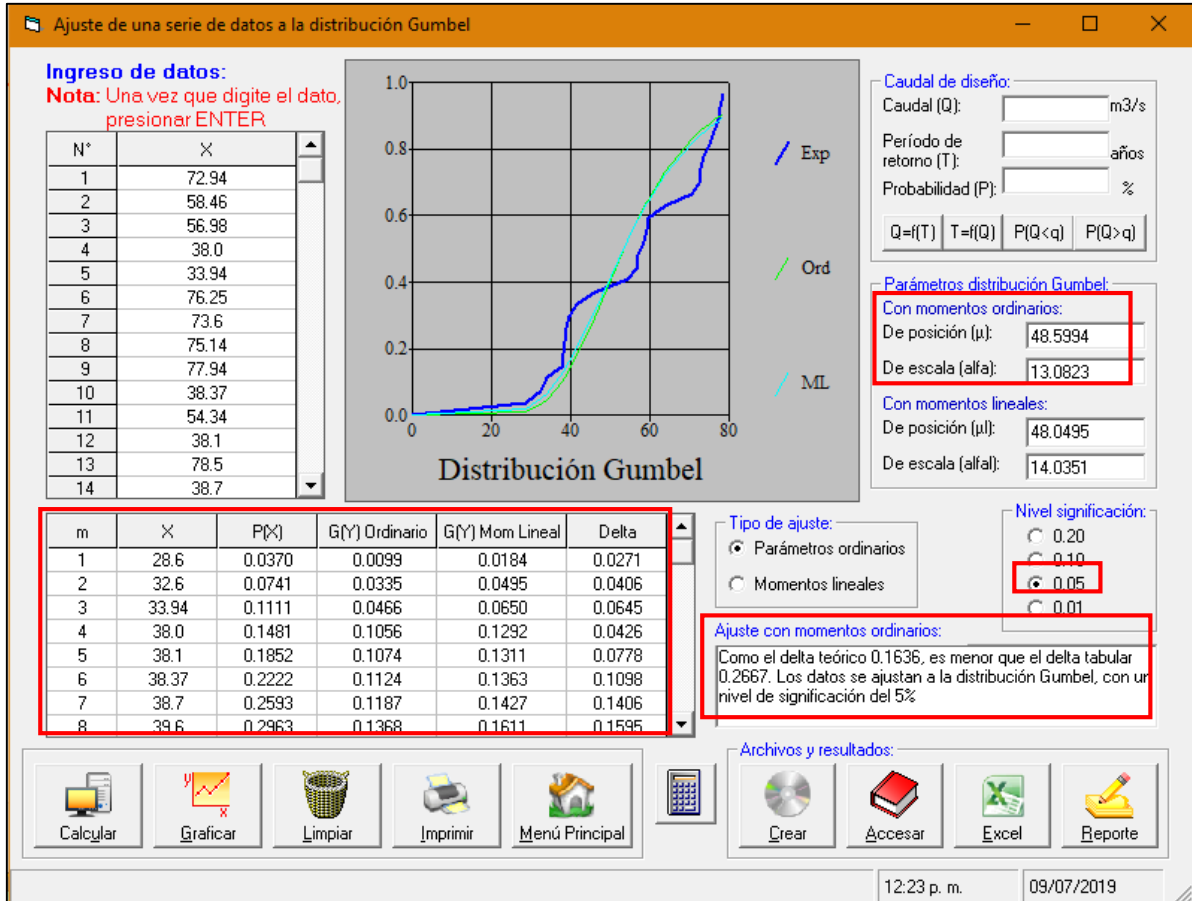


Figura N° 39. Ajuste de la serie de datos de precipitación a la Distribución Gumbel.
 Fuente: Elaboración propia mediante HidroEsta 2.0

Como en el procesamiento de Excel y lo del software coinciden en resultado, entonces es correcto y la serie de registros se ajusta a la distribución Gumbel con un nivel de significancia del 5%.

- Distribución LogGumbel

El mismo procedimiento que la distribución anterior, con la condición que se trabaja con los logaritmos de las precipitaciones, de igual manera los parámetros.

DISTRIBUCION LOG GUMBEL									
m	x	P(x)	Ln (x)	Media Ln (x)	S Ln(x)	β	α	F(x)	Δ
1	28.60	0.0370	3.3534	3.9809	0.3211	3.8364	0.2503	0.0010	0.0360
2	32.60	0.0741	3.4843					0.0169	0.0572
3	33.94	0.1111	3.5246					0.0310	0.0801
4	38.00	0.1481	3.6376					0.1094	0.0387
5	38.10	0.1852	3.6402					0.1120	0.0732
6	38.37	0.2222	3.6473					0.1190	0.1032
7	38.70	0.2593	3.6558					0.1279	0.1314
8	39.60	0.2963	3.6788					0.1531	0.1432
9	41.50	0.3333	3.7257					0.2110	0.1224
10	45.90	0.3704	3.8265					0.3533	0.0171
11	54.34	0.4074	3.9953					0.5885	0.1811
12	56.90	0.4444	4.0413					0.6434	0.1989
13	56.98	0.4815	4.0427					0.6449	0.1635
14	58.46	0.5185	4.0683					0.6731	0.1546
15	59.20	0.5556	4.0809					0.6863	0.1307
16	59.48	0.5926	4.0856					0.6911	0.0985
17	63.80	0.6296	4.1558					0.7564	0.1267
18	70.60	0.6667	4.2570					0.8300	0.1634
19	72.94	0.7037	4.2896					0.8491	0.1454
20	73.00	0.7407	4.2905					0.8496	0.1088
21	73.60	0.7778	4.2986					0.8540	0.0763
22	75.14	0.8148	4.3194					0.8648	0.0500
23	76.25	0.8519	4.3340					0.8720	0.0201
24	77.48	0.8889	4.3500					0.8794	0.0095
25	77.94	0.9259	4.3559					0.8821	0.0439
26	78.50	0.9630	4.3631					0.8852	0.0778

0.1989	<	0.2667
SE AJUSTA		

Δ teórico	0.1989
Δ tabular	0.267

n	26
---	----

Tabla N° 17. Procesamiento de las precipitaciones mediante la Distribución LogGumbel.
Fuente: Elaboración propia.

Los parámetros β y α se calculan en base a los valores logarítmicos. La fórmula para esta distribución F(x) se transcribe de la siguiente manera =EXP(-EXP(-((Ln (x) - β)/ α)))

Identificamos el mayor valor Delta que vendría a ser Δ teórico, y si éste es menor que el Δ tabular, entonces podemos concluir que la distribución se ajusta. Luego verificamos la validez mediante el software HidroEsta 2.0

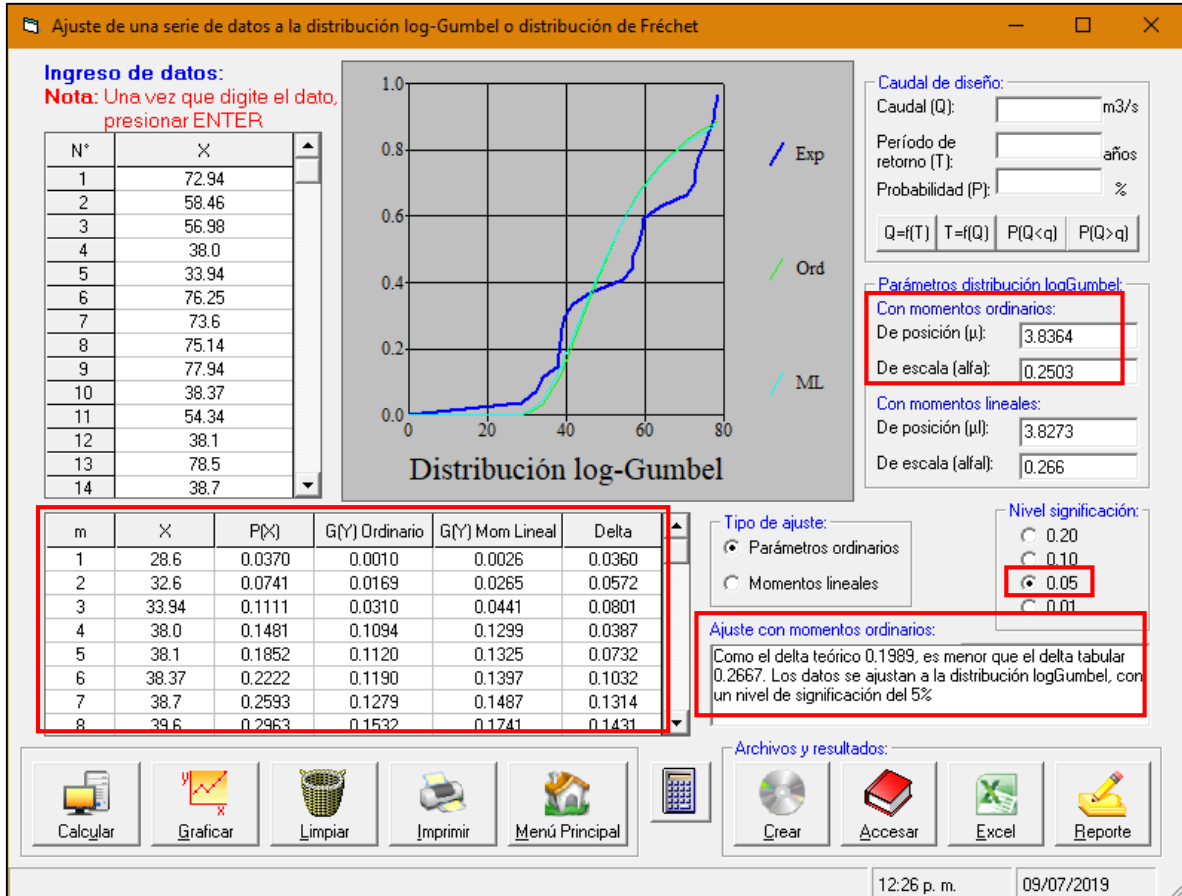


Figura N° 40. Ajuste de la serie de datos de precipitación a la Distribución LogGumbel.
 Fuente: Elaboración propia mediante HidroEsta 2.0

Como en el procesamiento de Excel y lo del software coinciden en resultado, entonces es correcto y la serie de registros se ajusta a la distribución LogGumbel con un nivel de significancia del 5%.

Con esta distribución terminamos el estudio hidrológico de la estación pluviométrica Jaén, con lo cual la distribución que mejor se ajusta a la prueba de bondad, y las precipitaciones para diferentes periodos de retorno se evalúan en los resultados.

- Precipitaciones mensuales de la Estación pluviométrica “Jaén”

Información que es la suma de todas las precipitaciones diarias en un mes. Es de utilidad para verificar la viabilidad de la relación Oferta/Demanda mensual según el método de la (OPS/UNATSABAR, 2004) para el diseño del sistema de captación pluvial, también para obtener la altura de precipitación media mensual de la estación “Jaén”; así como también (junto con las demás estaciones pluviométricas solicitadas) obtener los mapas de Precipitación media mediante el Polígono de Thiessen e Isoyetas para el distrito y ciudad de Jaén.

Las celdas que están resaltadas de amarillo, son celdas que en el formato original enviado por el SENAMHI llegaron vacías, por lo tanto, mediante el método de “Curva de doble masa” y previo a un análisis de consistencia se procedió a realizar el llenado de datos faltantes para esta estación pluviométrica, así como para las demás estaciones solicitadas (ver en Anexos).

Cabe resaltar que la (OPS/UNATSABAR, 2004) recomienda data histórica de al menos los últimos 15 años, en nuestro caso la data histórica se obtuvo desde el año 2000, es decir, 19 años de registros históricos.

Estación: **JAÉN** / CP - 252 / DRE - 02

Latitud: 05° 40'35.89"S"
 Longitud: 78° 46' 26.96"W"
 Altitud: 654 msnm

Dpto: Cajamarca
 Provincia: Jaén
 Distrito: Jaén

**Precipitación
 Mensual (mm)**

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ANUAL
2000	38.2	121.8	145.4	89.8	58.4	80	96.8	23.2	58.2	22.6	13.8	65.4	813.6
2001	101.1	33.4	36.6	43.4	61.7	6.6	12.8	11.9	59.4	35.7	84.4	57.5	544.5
2002	35	103	40.6	105.5	118	8.7	75.1	2.3	25.6	134.7	80.2	37.2	765.9
2003	36.7	135.6	47.7	114.3	130.4	84.5	30.1	25	24.8	73.1	44.5	65.5	812.2
2004	14.7	20.7	78.8	117.2	103.1	29.7	8.4	10.9	23.5	67.8	84.7	51.8	611.3
2005	25.8	128.7	143.8	81.2	36.1	69.1	3.1	22.9	36.9	67.1	119	125.7	859.4
2006	84.1	173.4	124.6	19.2	43.6	73.3	3	19.1	28.7	43.8	87.6	47.3	747.7
2007	51.4	58.3	137	117.6	80.7	37.7	62	24.9	14.4	129.4	139.8	51.8	905
2008	54.4	176.6	124.7	43.8	69.5	65	34.7	10.7	36.7	83.8	70.4	43	813.3
2009	167.6	56.9	138.7	169.1	47.6	32.5	41.2	26.4	37.6	99.2	41.5	29.4	887.7
2010	35.7	67.7	25.2	121.8	46.9	19.6	11.6	24.9	23	69.1	38.4	138.6	622.5
2011	77.4	78.1	118.2	145.9	93.5	25.3	53.6	8.6	13.8	53.9	89.9	154.2	912.4
2012	80.1	72.2	91.3	98.2	18.6	30.1	20.1	14.1	13.7	101.6	92.2	91.5	723.7
2013	21.1	98.2	53.4	48.7	140.1	15.6	22.4	28.2	19.8	142.8	0.7	43.6	634.6
2014	63.1	110.5	157.9	141.4	248.8	35.1	39	34	26.5	20.2	82.3	96.1	1054.9
2015	169.7	101	286.4	80.4	80.4	8.7	112.8	32.6	7.2	20.7	62.8	57.1	1019.8
2016	78.6	67.1	75.0	117.9	35.4	23.6	38.1	18.2	68.7	15.8	50.2	91.1	679.7
2017	99.9	34.9	194.6	97	73.7	58.9	23.1	34.5	10.2	77.7	37.2	94.4	836.1
2018	75.2	111.2	32.2	88.6	90.2	28.4	35.1	14.1	22.4	44.8	144	55.3	741.5
PROMEDIO	68.94	92.07	108.01	96.89	82.98	38.55	38.05	20.34	29.01	68.62	71.77	73.50	788.7

Tabla N° 18. Alturas de precipitación mensual de la estación pluviométrica "Jaén".
 Fuente: SENAMHI.

❖ Mapas de precipitaciones

- Mapa del polígono de Thiessem de la zona de estudio y distrito de Jaén.

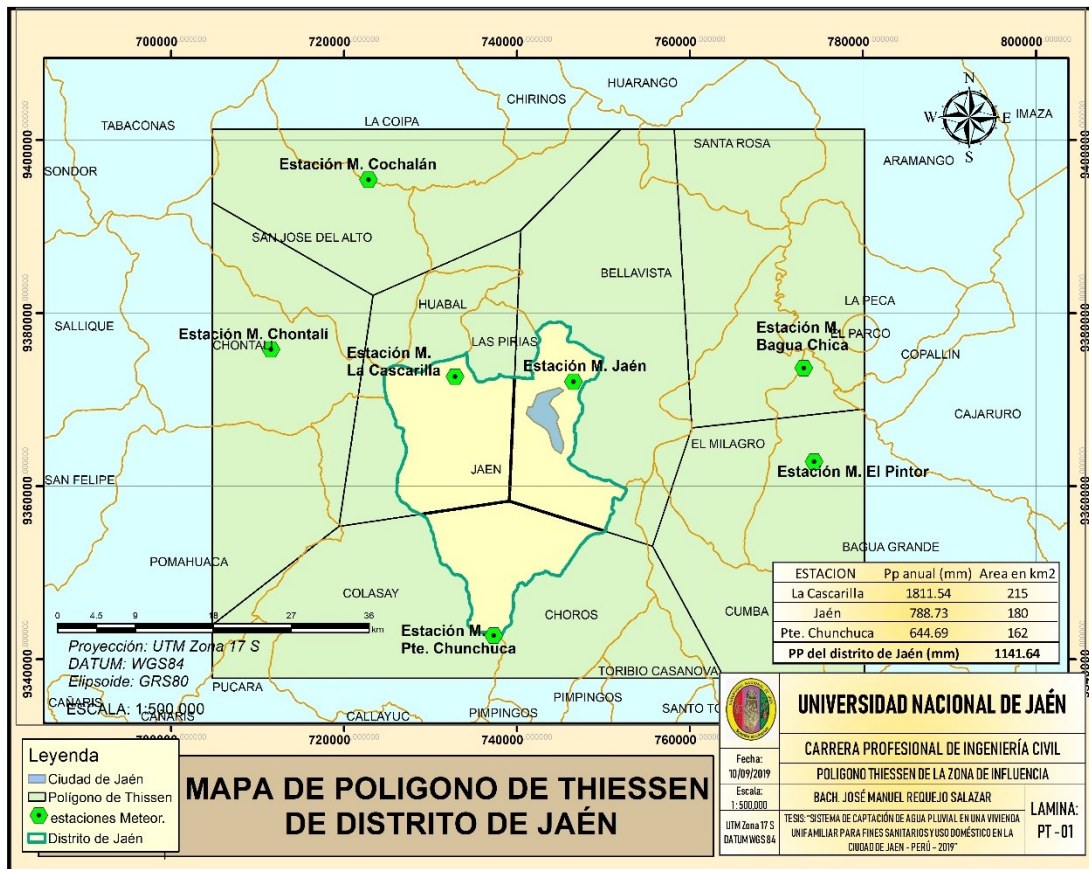


Figura N° 41. Mapa del polígono Thiessem de la zona de influencia y del distrito de Jaén.
Fuente: Elaboración propia mediante ArcGis

Se delimitó la zona de estudio como un rectángulo conteniendo dentro el distrito de Jaén y las 7 estaciones pluviométricas de nuestro interés. Se procedió a realizar el Polígono de Thiessem con la data pluviométrica del SENAMHI para cada estación. Cada estación contiene su área tributaria que corresponde la Precipitación promedio de dicha estación. Para el distrito de Jaén se divide en tres áreas tributarias que corresponden las estaciones: La cascarilla, Jaén y Pte. Chunchuca.

POLIGONO DE THIESSEM							
FI	NOMBRE	ESTE_X_	NORTE_Y_	ALTURA	PP_anual	Área	Area x Pp
D	ESTACION					(km2)	
2	Cascarilla	732850.99	9372658.35	1991	1811.54	215	389480.96
3	Jaén	746535.41	9372066.72	618	788.73	180	141971.76
6	Pte. Chunchuca	737311.63	9342722.57	589	644.70	162	104440.18
Área Total						557	635892.91
Precipitación promedio							1141.6

Tabla N° 19. Precipitación promedio de distrito de Jaén.
Fuente: Elaboración propia.

- Mapa de Isoyetas de la zona de estudio

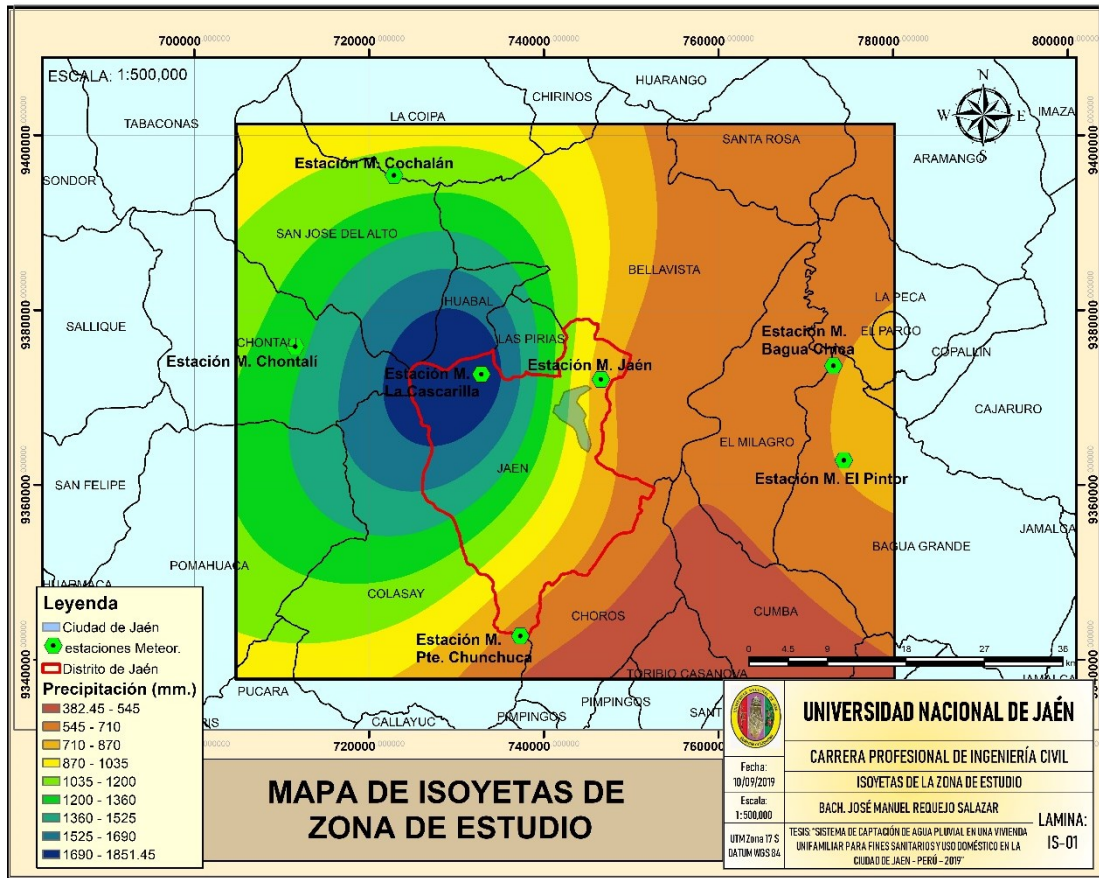


Figura N° 42. Mapa de Isoyetas de la zona de estudio.

Fuente: Elaboración propia mediante ArcGis.

Se realizó la interpolación mediante el software ArcGis 10.5 de la Precipitación promedio mensual de las 7 estaciones en estudio, en la leyenda notamos los 9 intervalos de precipitación para diferentes colores siendo el color azul oscuro el mayor intervalo de precipitación con 1690 – 1851.45 mm. y el color rojo canela el intervalo con menor precipitación 382.45 – 545 mm. Del mismo modo podemos notar los diferentes lugares que coloquialmente sabemos que son lugares muy secos y se encuentran al este de Jaén (Bellavista, Bagua Grande, Bagua Chica, Choros, Cumba, etc.), sabemos que estos lugares se encuentran en la ecorregión del Bosque Seco Ecuatorial, así mismo, la zona más húmeda llega a formar parte de la zona alta de Jaén (al noreste), donde encontramos el Bosque Sr. De Huamantanga que forma parte de la cuenca de la quebrada Amojú.

- Mapa de Isoyetas del distrito de Jaén

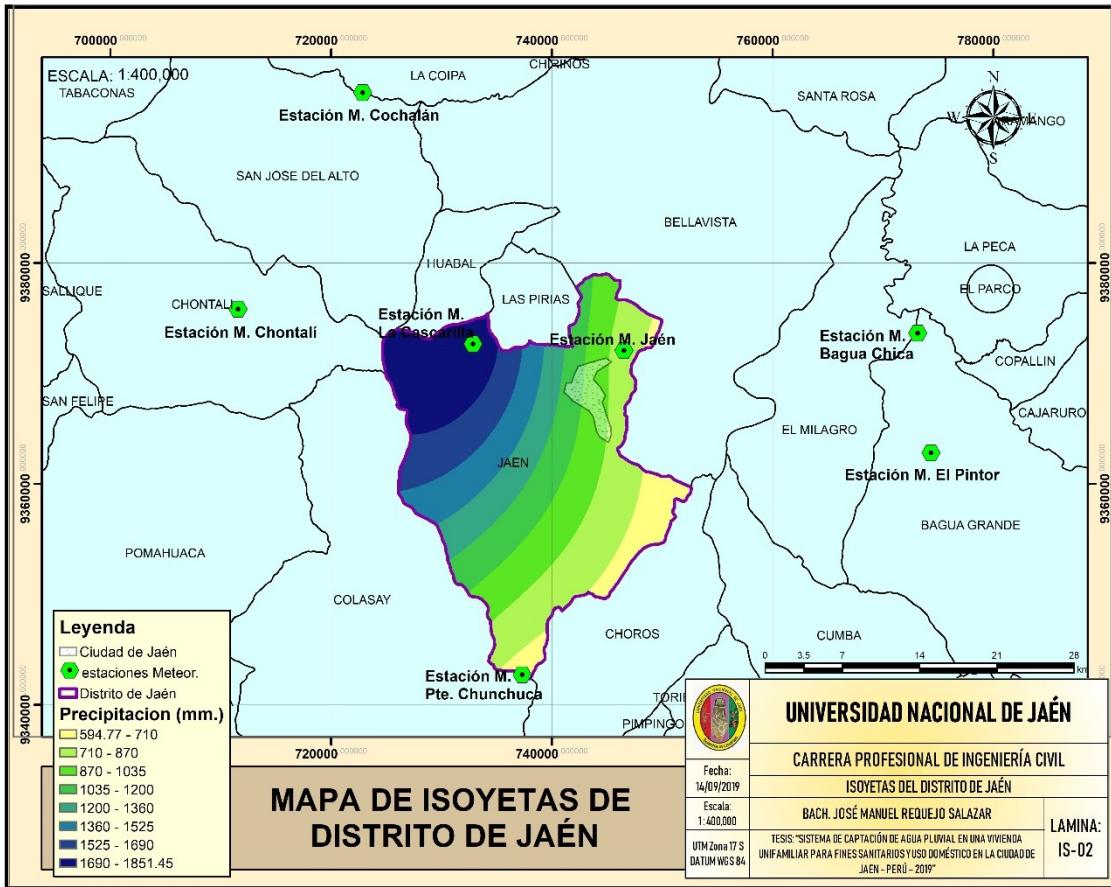


Figura N° 43. Isoyetas del distrito de Jaén.
Fuente: Elaboración propia mediante ArcGis.

De los 9 intervalos de precipitación de la zona de estudio, 8 de ellos se distribuyen en todo el distrito de Jaén dividiéndose en franjas desde el Noroeste (mayor precipitación) a Sureste (menor precipitación). Nótese que la ciudad de Jaén se encuentra delimitado de color blanco.

Se procede a calcular la precipitación promedio del distrito de Jaén mediante este método:

METODO DE ISOYETAS (DISTRITO DE JAÉN)					
VALUE	MIN	MAX	PROMEDIO	Area_Km2	Area*Promedio
2	595	710	652.39	44	28705.05
3	710	870	790.00	112	88480.04
4	870	1035	952.50	95	90487.50
5	1035	1200	1117.50	73	81577.53
6	1200	1360	1280.00	53	67839.94
7	1360	1525	1442.50	54	77895.11
8	1525	1690	1607.50	50	80375.05
9	1690	1851	1770.73	76	134575.20
TOTAL				557	649935.422
PRECIPITACIÓN PROMEDIO					1166.85

Tabla N° 20. Cálculo de la precipitación promedio de distrito de Jaén mediante Isoyetas.
Fuente: Elaboración propia.

- Mapa de Isoyetas de la ciudad de Jaén

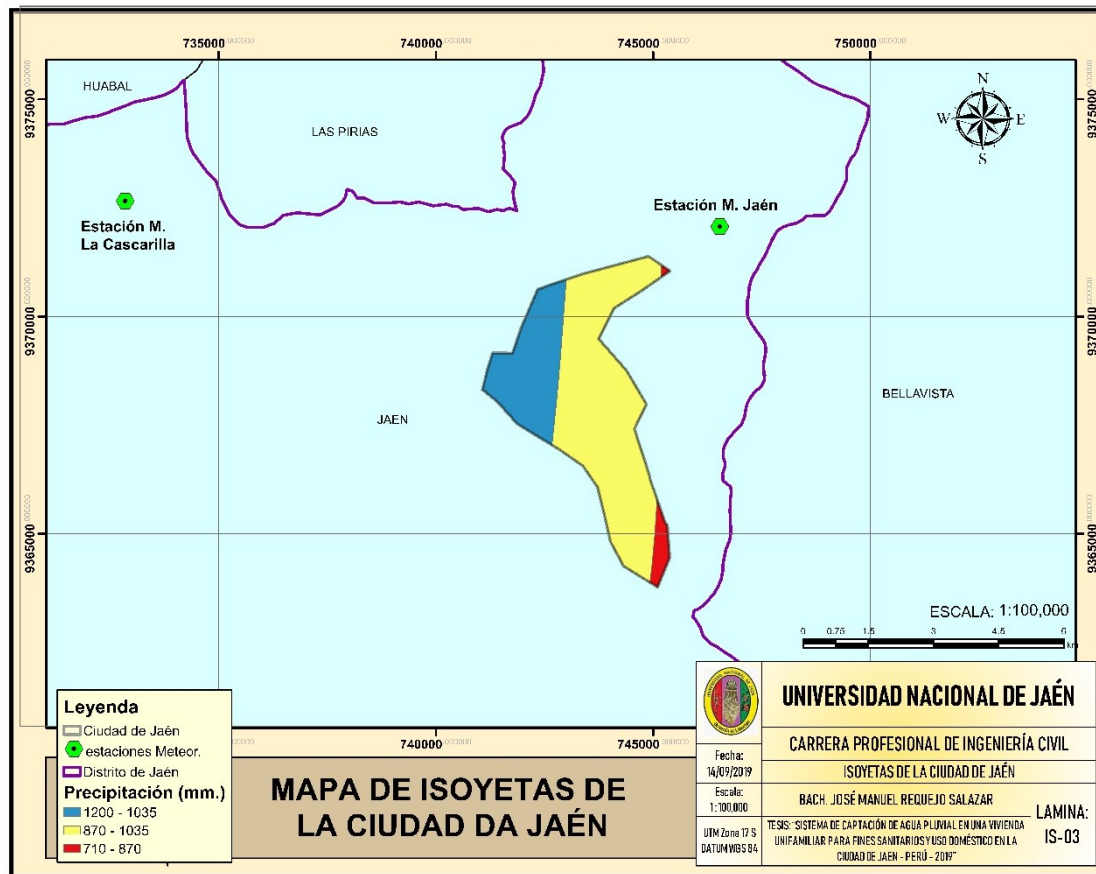


Figura N° 44. Isoyetas de la ciudad de Jaén.
Fuente: Elaboración propia mediante ArcGis 10.5

De los 8 intervalos que se distribuyen a lo largo del distrito de Jaén, se distribuyen 3 franjas de intervalos en la ciudad de Jaén (parte urbana), es lógico que la zona oeste tenga más precipitación ya que es la parte alta de la ciudad, mientras que la zona este tiene la menor precipitación encontrándose por esta parte el bosque seco. Procedemos a calcular la Precipitación promedio de la ciudad de Jaén mediante este método de Isoyetas:

METODO DE ISOYETAS (CIUDAD DE JAÉN)					
VALUE	MIN	MAX	PROMEDIO	Area_Km2	Area*Promedio
3	710	870	790.00	1	790.00
4	870	1035	952.50	10	9525.00
5	1035	1200	1117.50	4	4470.00
TOTAL				15	14785.00156
PRECIPITACIÓN PROMEDIO					985.67

Tabla N° 21. Cálculo de la precipitación promedio de la ciudad de Jaén mediante Isoyetas.
Fuente: Elaboración propia

B. Superficie de captación

O área de captación que será el techo de la azotea o cubierta superior de la vivienda. En las construcciones convencionales en el Perú se tiene la idea de que la azotea puede ser un espacio de multiusos para aprovechar en la vivienda, como terraza o un área de esparcimiento, es por ello que los propietarios cuando tienen los recursos disponibles optan por colocar una cubierta superior (de planchas de acero ondulado, polipropileno, fibraforte, aluzinc, etc.). Ésta cubierta superior también sirve para proteger la losa del último piso del agua de lluvia que se infiltra por las fisuras cuando no se tuvo un fraguado y curado adecuado del concreto; así como también para disipar la temperatura del último piso de los rayos solares que caen directamente sobre el techo.

Pero, se ha estado dejando pasar de largo la importancia que tiene esta cubierta superior como superficie de captación de agua de lluvia y esa es una de las partes importantes dentro del sistema de captación. Para fines de la presente investigación se realizó un recorrido a diferentes zonas de la ciudad de Jaén fotografiando y contrastando la cantidad de viviendas que cuentan con techo o cubierta superior las cuales tienen el potencial para aplicar el sistema de aprovechamiento de agua pluvial.

Según la FAO (2013), la captación de agua de lluvia proveniente de techos de viviendas, establos, galpones, invernaderos y otras construcciones que existen en una finca debe destinarse prioritariamente al consumo humano y utilización doméstica, por sus buenas características de calidad, normalmente mejor que el agua captada en otras estructuras (FAO, 2013, pág. 185)

Para (Aqua España, 2016), se considerarán superficies de captación aquellas que, salvo operaciones de mantenimiento, no sean transitables. (Aqua España, 2016, pág. 10)

La OPS/UNATSABAR recomienda que el techo o cubierta superior de la vivienda debe tener una pendiente no menor al (5%) en dirección a las canaletas de recolección del agua de lluvia. (OPS/UNATSABAR, 2004, pág. 7)

Fernández (2009) sostiene que no se recomiendan superficies de patios ni cubiertas ajardinadas o verdes, pues son susceptibles de contener demasiada biomasa que sería arrastrada por el agua de lluvia y colapsaría el filtro o el decantador. Hay que tener en cuenta que determinados materiales están contraindicados ya que desprenden partículas tóxicas o

fibras contaminantes, como el amianto (fibrocemento, Uralita). Los techos con tela asfáltica tiñen el agua de amarillo. (Fernandez, 2009, pág. 39)

Para la FAO (2013) el techo es el componente más importante del sistema. Debe ser de material impermeable, liso y uniforme (sin deformidades) para que el coeficiente de esorrentía sea elevado (arriba de 0.8 u 80%). En las zonas rurales, los materiales constructivos varían bastante. Los más comunes son: lámina galvanizada, lámina de asbesto (material que puede encontrar restricciones de uso en algunos países), tejas de arcilla o concreto. El techo debe mantenerse limpio, libre de hojas y otros detritos, para que el agua recogida sea de buena calidad. (FAO, 2013, pág. 184).

Hay que considerar que la ciudad de Jaén como una ciudad tropical, los ciudadanos tienden a proyectar colocar una cubierta superior en el último piso de sus viviendas, y los materiales más comercializados son: Techo de eternit, fibraforte (proplipoleno), aluzinc o zincalum, calamina galvanizada, policarbonato, UPVC.

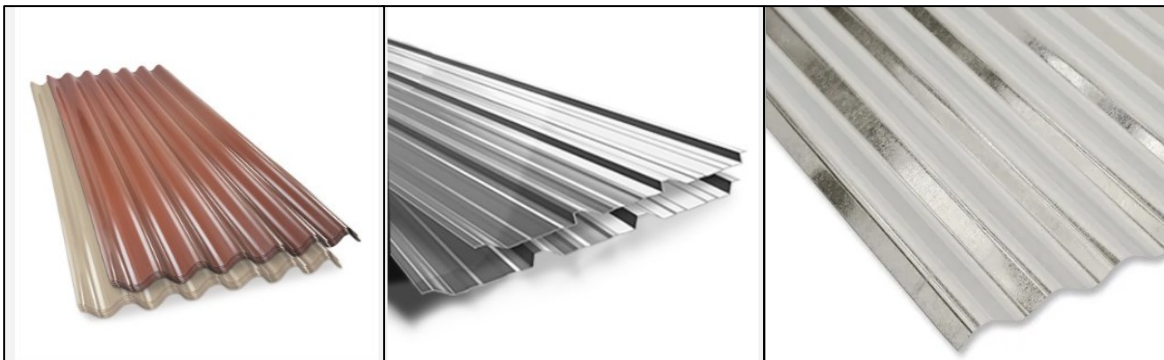


Figura N° 45. De izquierda a derecha: Techo ondulado de fibraforte, techo trapezoidal de aluzinc, calamina galvanizada.

Fuente: Promart y Maestro.

Las formas geométricas de las cubiertas generalmente varían como cubierta inclinada, cubierta de a dos aguas con tijerales, y cubiertas parabólicas o curvadas. De todas estas formas, se proyectará el área horizontal para calcular el área o superficie de captación.



Figura N° 46 Fotografías de viviendas con cubierta superior en los diferentes sectores de Jaén.
Fuente: Elaboración propia.

Necesitamos conocer el área del techo, que es la superficie de captación de agua de lluvia, cabe recalcar que mientras más grande sea esta área, mayor cantidad de agua de lluvia podremos recolectar. Para conocer el área basta con calcular el área techada de la vivienda y/o colocarse en los vértices y calcular sus dimensiones. Independientemente de la forma geométrica que tenga el techo, el área se calculará como la proyección horizontal de ésta.

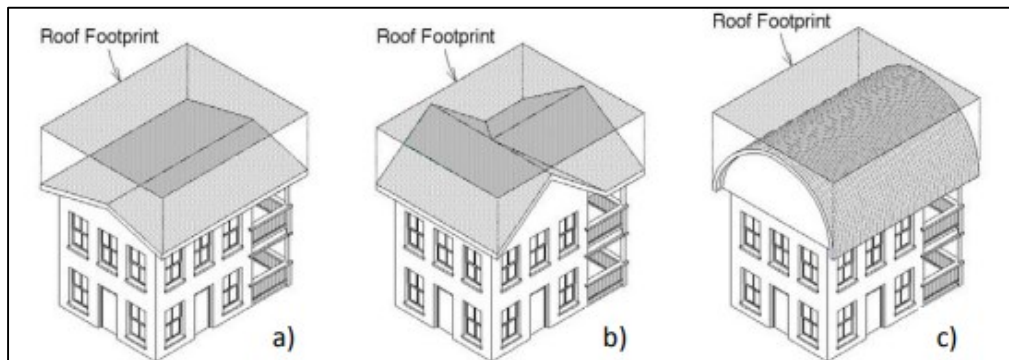


Figura N° 47. Proyección horizontal de la superficie de captación en diferentes tipos de cubiertas.
Fuente: The Texas Manual on Rainwater Harvesting. Texas Water Development Board. 2005.

- Coeficiente de escorrentía

Es el valor que indica el porcentaje de precipitación que escurrirá por el tipo de material de techo que se usará, siendo los materiales metálicos o plásticos los que más alto valor tendrán, convenientemente estos materiales son los más usados como cubiertas en la ciudad de Jaén.

Según la (OPS/UNATSABAR, 2004) los coeficientes de escorrentías para diferentes materiales de cubierta son los siguientes. Están en función del tipo y material de techo, se representa por la letra C

SUPERFICIE DE CAPTACIÓN	COEFICIENTE C
Calamina metálica	0.90
Tejas de arcilla	0.80 – 0.90
Madera	0.80 – 0.90
Paja	0.60 – 0.70

Tabla N° 22. Coeficientes de escorrentía.

Fuente: OPS/UNATSABAR

Según el portal “Galeón” para diferentes materiales, los coeficientes de escorrentía serán los siguientes:

SUPERFICIE DE CAPTACIÓN	COEFICIENTE C
Tejado duro inclinado	0.85
Tejado plano con gravilla	0.60
Tejado plano sin gravilla	0.80
Superficie empedrada	0.65
Revestimiento asfáltico	0.85
Concreto	0.70
Pavimento	0.55
Tejado verde	0.40
Geomembrana de PVC	0.85
Azulejos, teja de barro	0.85
Tejas acanaladas (metálicas)	0.80
Techos de paja o guano	0.65
Suelo con pendiente menores a 10%	0.15
Superficies naturales rocosas	0.35

Tabla N° 23. Coeficientes de escorrentía.

Fuente: <http://galeon.com/elregante/lluvia.html>

Para el diseño se tomarán en cuenta coberturas superiores con diferentes dimensiones, variando de los 120 m² hasta 200 m², para diferentes sectores de Jaén ya que la Precipitación media será la misma que obtendremos del cálculo pluviométrico. Del mismo modo se elegirá el material adecuado y más usado en Jaén que generalmente tienden a ser metálicos o plásticos, y con ello obtendremos el coeficiente de escorrentía según las tablas anteriores.

C. Canaletas de conducción.

Las conducciones horizontales son estructuras que se colocarán en el borde del techo (superficie de captación), se encargarán de conducir el agua de lluvia captado por éste, tendrá la misma pendiente longitudinal que la superficie de captación y estará adosado a los extremos.

Según la (OPS/UNATSABAR, 2003) toma las consideraciones para las canaletas de recolección:

- Las canaletas podrán ser de PVC, metálicas galvanizadas, bambú o cualquier otro material que no altere la calidad físico-química del agua recolectada.
- El ancho mínimo de la canaleta será de 75 mm y el máximo de 150 mm.
- Las canaletas deberán estar fuertemente adosadas a los bordes más bajos del techo.
- El techo deberá prolongarse hacia el interior de la canaleta, como mínimo en un 20% del ancho de la canaleta.
- La distancia que debe mediar entre la parte superior de la canaleta y la parte más baja del techo debe ser la menor posible para evitar la pérdida de agua.
- El máximo tirante de agua en las proximidades del interceptor no deberá ser mayor al 60% de la profundidad efectiva de la canaleta.
- La velocidad del agua en las canaletas no deberá ser mayor a 1.00 m/s.
- Para calcular la capacidad de conducción de la canaleta se podrán emplear fórmulas racionales como la de Manning con sus correspondientes coeficientes de rugosidad, acordes con la calidad física del material con que fue construida la canaleta.
- Las uniones entre canaletas deben ser herméticas y la más lisa posible para evitar el represamiento del agua.

Debemos tener en cuenta también que deben tener una pendiente uniforme hacia el tubo de conducción, suficiente estructura de apoyo para soportar el peso del agua cuando esté en plena carga, así como una boca de salida suficiente para el caudal máximo.

Para calcular la capacidad de la canaleta se podrán emplear fórmulas racionales como la de Manning con sus correspondientes coeficientes de rugosidad, acordes con la calidad física

del material con que fue construida la canaleta, las uniones entre canaletas deben ser herméticas y la más lisa posible para evitar el represamiento del agua.



Figura N° 48. Imágenes de diferentes tipos de canaletas de recolección.
Fuente: Internet

Las canaletas se convierten, con frecuencia, en una fuente de pérdida de agua debido a una mala posición en relación al flujo del agua en caso de lluvias intensas, mala fijación para soportar la carga plena de agua, deformaciones y taponamiento con detritos que se acumulan en los días sin precipitación (FAO, 2013, pág. 185). Por ello es recomendable una buena instalación y fijación, también es conveniente si es posible colocarle una rejilla encima de las canaletas cuando existan arboles cerca de la vivienda.



Figura N° 49. Canaleta de conducción con rejilla de protección.
Fuente: Internet

Para hallar la dimensión adecuada de la canaleta, según la guía de diseño de sistemas de captación del agua de lluvia para uso doméstico y consumo humano (COLPOS 1) a nivel de familia (CIDECALLI –CP, 2007), se deberá tener en cuenta los siguientes cálculos:

✓ Caudal

$$Q_c = \frac{5}{18} (A_{ec} * I_{lluvia}) \quad (34)$$

Donde:

Q_c : Caudal de conducción

$\frac{5}{18}$: Factor de conversión de m^3h^{-1} a lps

I_{lluvia} : Intensidad máxima de la lluvia en la zona

A_{ec} : Área efectiva de captación de agua de lluvia.

Luego, según Sotelo (2005) se podrá determinar el diámetro despejando el área de la ecuación de continuidad:

$$D = 2 \sqrt{\frac{Q_c}{\pi v}} \quad (35)$$

Donde:

D : Diámetro de la canaleta de conducción

Q_c : Caudal de conducción (lps)

v : velocidad (m/s)

Generalmente las canaletas de recolección más usadas en la ciudad de Jaén son las plásticas y metálicas, siendo las últimas (aluminio) las que en su mayoría se emplean por su alta durabilidad y fácil instalación, pero debemos tener en cuenta que no son tan resistentes a abolladuras, por eso se debe tener cuidado en su instalación. Los tamaños más usados son.



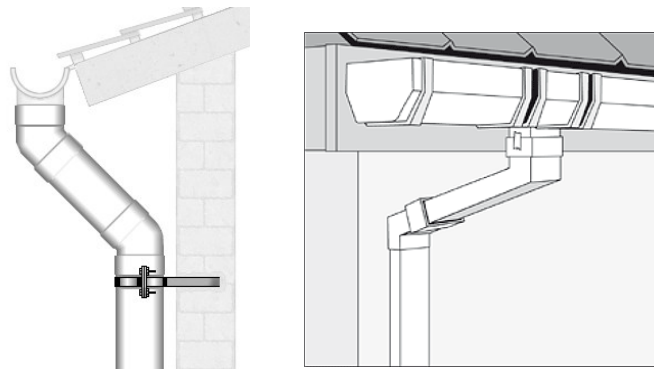
Figura N° 50. Canaletas metálicas de aluminio utilizadas en una cobertura para granja en Bagua Grande.

Fuente: Elaboración propia.

D. Bajante

Esta será la tubería que transporte el agua de las canaletas, primero, hacia el “Interceptor de primeras aguas” es aquí donde se transportarán los primeros litros del aguacero que literalmente lavaran la superficie de captación debido a factores externos de contaminación como el polvo o partículas de tierra que transporta el viento u otro factor de contaminación externa. Esta tubería será vertical.

Segundo, una vez llenado el interceptor de primeras aguas y “lavado” la superficie de captación, la bajante se bifurcará (puede ser en una conexión en “Y” o “T”) y en esta tubería será la que transporte el agua de lluvia limpia hacia el tanque de almacenamiento.



*Figura N° 51. Canaletas y bajantes convencionales de diferente sección.
Fuente: Internet.*

Dependiendo de los diferentes casos reales que se tenga para su instalación, ésta tubería que transportara el agua limpia de lluvia puede convertirse en una tubería horizontal de conducción si el tanque de almacenamiento se encuentra lejos de la bajante. En todos los casos, esta tubería debe entrar por la parte superior del tanque de almacenamiento y colocado de forma que el agua caiga en el lado opuesto de la parte donde se distribuirá el agua a la vivienda.



Figura N° 52. Sistema de acople empírico entre canaleta y bajante hacia el interceptor y tubo de conducción al almacenamiento. Fuente: FAO.

El dimensionamiento de la bajante dependerá de la dimensión de la superficie de captación, así como de la pluviometría. Estos dos factores estarán relacionados directamente para el dimensionamiento de la mayoría de elementos del sistema de captación pluvial ya que si tenemos poca pluviometría en la zona (según los registros históricos y análisis) pero si tenemos una buena área de captación entonces los elementos (canaletas, bajantes, tanque) tendrán dimensiones intermedias; de igual manera si tenemos un alto índice de pluviometría entonces no será necesario tener grandes dimensiones de área de captación para tener elementos con dimensiones intermedias.

Generalmente las bajantes se toman de 3” a 8” (dependiendo, como lo dije anteriormente). Normalmente se podrá calcular las dimensiones exactas mediante la fórmula de Manning para las canaletas y la ecuación de Hazen-Williams para las bajantes. Pero si queremos evitar la intervención numérica, se tiene un cuadro hecho gracias a diferentes casos empíricos en España donde los principales factores son la Intensidad y el área de la superficie de captación.

Diámetro del bajante (pulg.)	Diámetro del bajante (mm.)	Precipitación estimada (mm/hora)					
		25	50	75	100	125	150
Área de techo proyectada horizontalmente (m ²)							
3”	75	818	409	272	204	164	137
4”	100	1709	855	569	427	342	285
6”	150	5017	2508	1672	1254	1003	836
8”	200	10776	5388	3592	2694	2155	1794

Tabla N° 24. Dimensionamiento de tuberías bajantes.

Fuente: <http://galeon.com/elregante/lluvia.html>

Si se utilizan bajantes rectangulares o cuadrados debe tener un área igual o ligeramente mayor al de los diámetros indicados en la tabla. La precipitación que aparece en la tabla es la intensidad de las precipitaciones para la intensidad de la lluvia de diseño para 10 años en periodos de retorno y 5 minutos de duración de la más intensa lluvia. (10% de probabilidad de ocurrencia), estos datos pueden obtenerse del análisis hidrológico de la pluviometría de la zona.

- Tuberías horizontales

El portal *galeón.com/elregante* toma ciertas consideraciones para la captación de agua pluvial para uso agrícola y mini huertos en fincas, es así que mediante experiencias en campo generó unas tablas para dimensionar las tuberías para captación pluvial.

“En algunos casos se requieren tuberías horizontales para el transporte del agua hasta el depósito, en la tabla se puede determinar el diámetro de la tubería en función de la pendiente, la intensidad de la precipitación y el área de techo” (Regante, 2016)

Diámetro de la tubería (pulgadas)	Diámetro de la tubería (mm)	Intensidad de la precipitación (mm/hora)					
		25	50	70	100	125	150
Área techada (m2)							
Pendiente 1 %							
3"	75	305	153	102	76	61	51
4"	100	699	349	233	167	140	116
6"	150	1988	944	663	497	398	331
8"	200	4273	2137	1424	1068	855	706
10"	250	7692	3846	2564	1923	1540	1282
Pendiente 2 %							
3"	75	431	216	144	108	86	72
4"	100	985	492	328	246	197	164
6"	150	2806	1403	935	701	561	568
8"	200	6057	3029	2019	1514	1211	1009
10"	250	10851	5425	3618	2713	2169	1807
Pendiente 4 %							
3"	75	611	305	213	153	122	102
4"	100	1397	699	465	349	280	132
6"	150	2482	1241	827	621	494	413
8"	200	3976	1988	1273	994	797	663
10"	250	8547	4273	2847	2137	1709	1423

Tabla N° 25. Determinación del diámetro de tubería en función de la pendiente, intensidad de la precipitación y área de techo.

Fuente: <http://galeon.com/elregante/lluvia.html>

E. Interceptor de primeras aguas

Este dispositivo será una parte importante dentro del sistema de captación de agua pluvial ya que de éste dependerá contar con una calidad de agua de hasta 75% más limpia de la que cae en la superficie de captación y se transporta por las canaletas. Algunas fuentes lo conocen como “Estructura de limpieza” (FAO, 2013) “Dispositivo para separar el primer chorro sucio” (CEPIS, 1988), “Interceptor” (OPS/UNATSABAR, 2004), “Sistema de descarte de primeras agua – First Fush” (Aqua España, 2016).

La principal función es descargar las primeras aguas provenientes del lavado del techo y que contiene todos los materiales que en él se encuentren en el momento del inicio de la lluvia. Este dispositivo impide que el material indeseable ingrese al tanque de almacenamiento y de este modo minimizar la contaminación del agua almacenada y de la que se vaya a almacenarse posteriormente. En el diseño del dispositivo se debe tener en cuenta el volumen de agua requerido para lavar el techo y que se estima en 1 litro por m^2 de techo. (OPS/UNATSABAR, 2004, pág. 6).

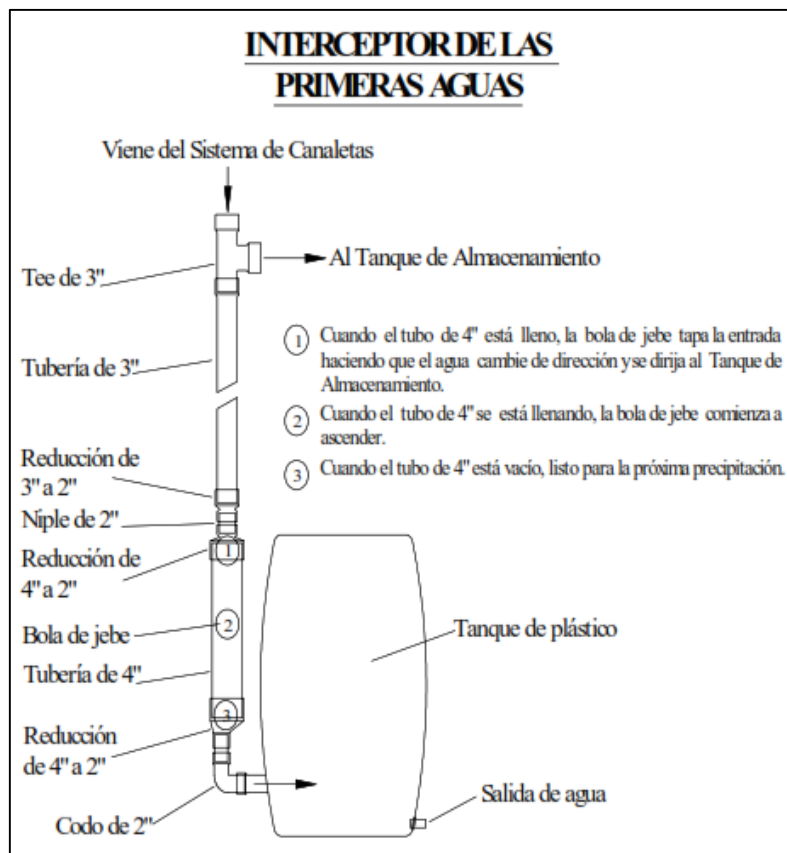


Figura N° 53, Interceptor de primeras aguas.
Fuente: UNATSABAR 2004

F. Almacenamiento

Es la disposición final del agua de lluvia captada antes de su suministro a la dotación de los habitantes de la vivienda para los usos destinados (usos domésticos, fines sanitarios, aseo, riego de jardines, etc). El objetivo es acumular con las mejores garantías el agua procedente de la lluvia. Puede ser un estanque, una cisterna, un tanque elevado, etc. Para la presente investigación se tomará en cuenta como un tanque elevado.

Los materiales utilizados para la construcción de las cisternas o almacenamiento pueden ser de los materiales siguientes: concreto reforzado, fibra de vidrio, acero inoxidable, ferrocemento, polivinilo, polietileno. Las cisternas o almacenamientos pueden construirse como parte de las casas de habitación o edificios y pueden estar junto o a cierta distancia de ellos. (Anaya, 1998, pág. 38)

Si se desea una mejor calidad del agua (incluso para consumo humano) se le puede colocar un filtro a la entrada, en el mercado existen diferentes tipos de filtros y su elección dependerá del análisis del agua de lluvia que se haga en laboratorio. Esto se realizará a elección del propietario de la vivienda, la única variación importante que se tendrá de un sistema de captación de agua pluvial convencional será el coste final.

Cabe mencionar que se debe garantizar un óptimo almacenamiento en el tanque, evitando la entrada de luz (que posibilitaría la proliferación de algas) y de animales.

La OPS/UNATSABAR (2003, pág. 6 y 7) nos da unas especificaciones técnicas para el almacenamiento:

- El tanque del almacenamiento podrá ser enterrado, apoyado o elevado y no será de más de 2 m. de altura para evitar las sobre presiones.
- Deberá contar con tapa sanitaria de 0.60x0.60 m. para facilitar la limpieza o el mantenimiento; drenaje de fondo para la eliminación del agua de lavado; grifo situado a 0.10 m. por encima del fondo; rebose situado a 0.10 m. por debajo del techo, e ingreso del agua de lluvia. El ingreso del agua de lluvia podrá realizarse por el techo o por las paredes laterales del tanque de almacenamiento y no deberá ser menor de 75 mm. de diámetro.

- El interior del tanque de almacenamiento deberá ser impermeable para evitar la pérdida de agua por goteo o transpiración y por ningún motivo el agua debe entrar en contacto con el medio ambiente a fin de garantizar la calidad del agua.
- Los tanques de almacenamiento apoyados deben tener alrededor de su base una losa de protección contra la infiltración de 0.20 m. de ancho. Asimismo, en la zona donde se ubica el grifo para la extracción del agua debe construirse una losa de 0.50x0.50 y borde de 0.10 m. de alto. Esta losa debe contar con dren para eliminar el agua que pueda almacenarse durante la extracción del agua.
- La entrada y el rebose deben contar con mallas para evitar el ingreso de insectos y animales.

En Jaén, las viviendas utilizan para la distribución del agua, en su mayoría, un sistema de gravedad. Una bomba impulsa el agua hasta un tanque de almacenamiento que se encuentra en el último piso o azotea, la cual se encarga de dotar de agua a los diferentes ambientes en la vivienda. Existen diferentes tipos de materiales para el tanque elevado los más usuales son de polietileno y concreto.

Para el sistema de captación de agua pluvial, se recomienda usar otro tanque, puede ser de polietileno o concreto y se puede acoplar a la tubería de distribución del tanque elevado, así cuando no se requiera usar agua para consumo humano, abrir la válvula del tanque de almacenamiento de agua pluvial y dotar a los diferentes ambientes y aparatos específicos en la vivienda.

Para Fernández (2009) los materiales más habituales son el hormigón (prefabricados o ejecutadas in situ) y el polietileno. Existen depósitos rígidos (la mayoría) y flexibles, tipo bolsa, fabricados en poliéster y PVC. Pueden fabricarse también de ferrocemento, malla y polietileno y hasta de botellas plásticas. Dada la posibilidad de conectarlos en serie, la capacidad de estos sistemas es prácticamente ilimitada. En general, los volúmenes habituales (por depósito) oscilan entre 0.5 y 35m³, aunque es posible encontrar en el mercado hasta de 500 m³. (Fernandez, 2009, pág. 40).

Deben tener un registro para posibilitar la limpieza para posibilitar su limpieza periódica.

❖ **Dimensionamiento del tanque de almacenamiento**

Según Aqua España (2016) para calcular las dimensiones del tanque de almacenamiento tendremos en cuenta 2 factores clave:

- La cantidad u oferta de agua pluvial efectiva que se captará y se obtendrá por la superficie de captación y la pluviometría local.
- La demanda que se tendrá en la vivienda por los diferentes usos domésticos, fines sanitarios y aparatos conectados a los cuales se le destinará el agua de lluvia.

También se debe tener en cuenta los periodos máximos que se tendrán entre lluvia. En la ciudad de Jaén según la información del SENAMHI el periodo máximo de días que existe para que se dé otra lluvia en promedio es de 30 a 40 días.

Para el dimensionamiento del tanque de almacenamiento existen varias formas y métodos, la mayoría probadas empíricamente. Según la bibliografía consultada para la presente investigación se utilizará el método de la Asociación Española de Empresas de Tratamiento y Control de Aguas AQUA ESPAÑA (2016); así como el método utilizado por OPS/UNATSABAR (2004). Quedando a análisis de los resultados cual es el método apropiado y que mejor se adapte a las características constructivas y de precipitación en la ciudad de Jaén.

- **Método AQUA ESPAÑA (2016)**

Demanda:

$$D = D_{WC} + D_{RJ} + D_L + D_{LV} \quad (36)$$

Donde:

- D = Demanda de consumo de agua no potable.
- D_{WC} = Demanda de las cisternas de inodoros.
- D_{RJ} = Demanda de riego de jardines
- D_L = Demanda de limpieza (domestica, vehículos, etc)
- D_{LV} = Demanda de la lavadora adaptada al uso de aguas pluviales.

Oferta

Que es la capacidad de captación que tendrá el sistema de aguas pluviales:

$$O = S * C_{SC} * P \quad (37)$$

Donde:

- Superficie (S) = Superficie de recogida o área de captación (m^2)
- C_{SC} = Coeficiente de escorrentía (Tabla N° 22)
- P = Pluviometría anual (mm/m^2 /año o l/m^2 /año), recurriéremos a la información de la Estación meteorológica Jaén.

Dimensionamiento de tanque de almacenamiento

Primero se analiza la viabilidad del sistema:

- Si $D < 0$ Es viable, la demanda se tomará como base de cálculo.
- Si $D > 0$ Inviabile, se descartará algún uso de agua no potable (ya que la limitación vendrá por la captación)

Entonces:

$$V_{TANQUE} = \frac{D}{365 \text{ días}} * F_D * P \quad (38)$$

- V_{TANQUE} = Volumen de depósito de recogida de aguas pluviales, o tanque de almacenamiento en litros o m^3 .
- D = Demanda, necesidades de agua diaria (l)
- F_D = Factor de dimensionamiento, aumento entre 15-20% debido al contenido de sedimentos en el fondo del depósito que produce la pérdida de volumen útil.
- P = Periodo máximo entre dos episodios de lluvia significativos (30-40) días.

- **Método OPS/UNATSABAR (2004)**

Según la OPS/UNATSABAR (2004, pág. 8 al 10), los pasos a seguir para el diseño del sistema de captación de agua de lluvia son:

Determinación de la precipitación promedio mensual; a partir de los datos promedio mensuales de precipitación de los últimos 10 o 15 años se obtiene el valor promedio mensual del total de años evaluados. Este valor puede ser expresado en mm/mes , $litros/m^2/mes$, capaz de ser recolectado en la superficie horizontal del techo.

$$P_{pi} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} p_i}{n} \quad (39)$$

n : número de años evaluados.

p_i : valor de la precipitación mensual del mes “i” (mm)

Ppi : precipitación promedio mensual del mes “i” de todos los años evaluados (mm/mes)

Determinación de la demanda; a partir de la dotación asumida por persona se calcula la cantidad de agua necesaria para atender las necesidades de la familia o familias a ser beneficiadas en cada uno de los meses.

$$Di = \frac{Nu * Nd * Dot}{1000} \quad (41)$$

Nu : número de usuarios que se benefician del sistema.

Nd : número de días del mes analizado

Dot : dotación (L/persona*día)

Di : demanda mensual (m^3)

Determinación del volumen del tanque de abastecimiento; teniendo en cuenta los promedios mensuales de precipitaciones de todos los años evaluados, el material del techo y el coeficiente de escorrentía, se procede a determinar la cantidad de agua captada para diferentes áreas de techo y por mes.

$$Ai = \frac{Ppi * Ce * Ac}{1000} \quad (42)$$

Ppi : precipitación promedio mensual (litros/ m^2)

Ce : coeficiente de escorrentía

Ac : área de captación (m^2)

Ai : Oferta de agua en el mes “i” (m^3)

Teniendo como base los valores obtenidos en la determinación de la demanda mensual de agua y oferta mensual de agua de lluvia, se procede a calcular el acumulado de cada uno de ellos mes a mes encabezado por el mes de mayor precipitación u oferta de agua. A continuación, se procede a calcular la diferencia de los valores acumulados de oferta y demanda de cada uno de los meses. Las áreas de techo que conduzcan a diferencias acumulativas negativas en alguno de los meses del año se descartan por que no son capaces de captar la cantidad de agua demandada por los interesados.

El acumulado de la oferta y la demanda en el mes “i” podrá determinarse por:

$$Aa_i = Aa_{(i-1)} + \frac{Ppi*Ce*Ac}{1000} \quad (43)$$

$$Da_i = Da_{(i-1)} + \frac{Nu*Nd*Dot}{1000} \quad (44)$$

Aa_i : oferta acumulada al mes “i”

Da_i : demanda acumulada al mes “i”

$$V_i(m^3) = A_i(m^3) - D_i(m^3) \quad (45)$$

V_i : volumen del tanque de almacenamiento necesario para el mes “i”

A_i : volumen de agua que se captó en el mes “i”

D_i : volumen de agua demandada por los usuarios para el mes “i”

3.8. Especificaciones técnicas del material a utilizarse

Según el Programa Nacional de Saneamiento Rural, Todos los materiales que se utilizarán deben cumplir con las normas y especificaciones técnicas vigentes, según cuadro:

NORMAS TÉCNICAS VIGENTES	
PRODUCTO	NORMA/ESPECIFICACION TECNICA
TUBERÍA Y ACCESORIOS GALVANIZADAS SERIE I (ESTÁNDAR)	DIAMETROS Y ESPESORES SEGUN NORMA ISO 65 ERW. EXTREMOS ROSCADOS NPT ASME B1.20.1
TUBERÍA Y ACCESORIOS PVC PARA AGUA FRÍA PRESION	CLASE 10, NTP 399.002: 2015 / NTP 399.019: 2004 / NTE 002
ACCESORIOS PVC PARA AGUA FRÍA CON ROSCA	CLASE 10, NTP 399.019: 2004 / NTE 002
VÁLVULA COMPUERTA DE BRONCE	NTP 350.084 1998, VÁLVULAS DE COMPUERTA Y RETENCIÓN DE ALEACIÓN COBRE-ZINC Y COBRE-ESTAÑO PARA AGUA.
TANQUE DE POLIETILENO	FABRICADOS EN POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (HDPE), EL MISMO QUE CUMPLE CON LAS NORMAS DE LA FDA (FOOD AND DRUG ADMINISTRATION DE LOS EE.UU), PROTECCIÓN UV, DISEÑO ESTRUCTURAL DE UNA SOLO PIEZA, POR EL TIPO DE MATERIAL ES MUY RESISTENTE Y LIVIANO, NO SE CORROE, NI SE OXIDA, IDEALES PARA ALMACENAR AGUA, QUÍMICOS, ÁCIDOS, SOLVENTES, FERTILIZANTES E INFINIDAD DE SUSTANCIAS, DISPONIBLE ES ESTÁNDAR, REFORZADO Y EXTRA REFORZADO, SEGÚN NECESIDAD. COLORES NEGRO, BLANCO, TRASLUCIDO, CELESTE Y ACERO. MEDIDAS (2.00 MTS. DE ALTO X 2.200MTS DE DIÁMETRO)

Tabla N° 26. Normas técnicas.

Fuente: Programa Nacional de Saneamiento Rural

3.9. Alternativas de diseño

3.9.1. Criterios de diseño

Antes de emprender el diseño de un sistema de captación de agua pluvial por cualquiera de los dos métodos, es necesario tener en cuenta los aspectos siguientes:

- Precipitación en la zona. Se debe conocer los datos pluviométricos de por lo menos los últimos 10 años, e idealmente de los últimos 15 años (OPS/UNATSABAR, 2004, pág. 8). En esta investigación se obtuvieron los datos de los últimos 19 años (2000 - 2018) que es conveniente para un cálculo más acertado.
- Tipo de material del que está o va a estar construida la superficie de captación, generalmente en la ciudad de Jaén se utiliza de fibraforte (plástico) o metálico como calamina galvanizada o aluzinc, siendo éste último el optado para el diseño ya que el aluzinc viene siendo un producto novedoso y con buenas propiedades de durabilidad y resistencia.
- Número de personas beneficiadas, en el que influirá el área de la vivienda.
- Demanda de agua no potable.

Este análisis conocido como: “Cálculo del Volumen del Tanque de Almacenamiento” toma como base de datos la precipitación media mensual de los 19 últimos años. Mediante este cálculo se determina la cantidad de agua que es capaz de recolectarse por metro cuadrado de superficie de techo y a partir de ella se determina el volumen de agua y la capacidad del tanque de almacenamiento para una determinada área de techo.

3.9.2. Método OPS/UNATSABAR (2004)

- ✓ Determinación de la precipitación promedio mensual

Tomamos los valores de precipitación promedio mensual obtenido en la Tabla N° 18 el cual se obtuvo en base a 19 años de registros históricos (2000 – 2018)

Mes	Prec. prom. (mm.)
ENERO	68.94
FEBRERO	92.07
MARZO	108.01
ABRIL	96.89
MAYO	82.98
JUNIO	38.55
JULIO	38.05
AGOSTO	20.34
SETIEMBRE	29.01
OCTUBRE	68.62
NOVIEMBRE	71.77
DICIEMBRE	73.5

Tabla N° 27. Precipitación promedio mensual en base a los registros históricos (2000 – 2018).
Fuente: Elaboración propia

La mayor precipitación se da en marzo, por lo tanto, en el cálculo del abastecimiento empezaremos por este mes y seguiremos con los demás para hallar el acumulado.

- ✓ Determinación de la demanda

El gasto o uso de agua no potable depende de diferentes factores como cantidad de personas en la vivienda, que suministro o destino en específico se le dará variando para cada mes debido a la cantidad de días. Teniendo en cuenta la costumbre del ciudadano jaeno en el uso racional del agua potable y no potable, se determinó la siguiente demanda de agua:

- *Cisterna de inodoros*: Un suministro que obligatoriamente debe demandar uso de agua de lluvia, siendo ésta un agua sin tratar, no potable pero relativamente limpia lo cual acondiciona muy bien para este fin. Las cisternas de inodoros en los últimos años han estado reduciendo su capacidad de descarga de agua, dependiendo de los modelos, lo que varían entre 3 a 7 litros por descarga se le consideran ecológicos. En nuestro mercado contamos con inodoros eficientes que liberan 3 litros por descarga; por lo tanto, demandaremos **3 usos diarios de 3 litros/descarga/persona**.
- *Lavadora*: Supone un gasto de entre 30 a 60 litros por lavado para una lavadora de 7 a 10 kg. Que es la por lo general la capacidad para una familia unifamiliar.

Asumiremos un gasto de **40 litros/lavado** (9 kg) para una lavadora en una vivienda para la ciudad de Jaén. Teniendo en cuenta que se usará **2 veces por semana**.

- *Uso doméstico*: Uso habitual que se le da dentro de la vivienda al agua no necesariamente potable, como trapeado de pisos interiores, limpieza doméstica, etc. Tomamos un valor de demanda de **10 litros/persona/día**.
- *Limpieza*: Limpieza personal, limpieza de mascotas, etc. **Demandaremos 5 litros/persona/día**.

Suministros	Dotación	DOTACIÓN DIARIA POR PERSONA (l)
Cisterna de inodoro	3 usos diarios de 3l/pers.	9
Lavadora	2 usos/semana de 40l/pers.	11.4
Uso doméstico	1 uso diario de 10l/persona	10
Uso general*	1 uso diario de 5l/persona	5
TOTAL		35.43

Tabla N° 28. Suministros de agua no potable en una vivienda.
Fuente: Elaboración propia.

Los meses de julio a octubre son los más secos, por lo tanto, emplearemos menos dotaciones. Para los meses de julio y agosto **19 l/pers./día**. Para los meses setiembre y octubre **9 l/pers./día**

- *Jardín*: Según la IS. 010 (2006, pág. 6) la dotación de agua para áreas verdes será de **2 l/día/m²**.

Suministro	Dotación	Dotación diaria
Jardín	2l/m2/día	2*(área de jardín)

Tabla N° 29. Suministro de agua para áreas verdes.
Fuente: IS. 010 (2006)

Se procede a realizar el cálculo de la demanda y volumen de almacenamiento para diferentes viviendas convencionales de la ciudad de Jaén, con diferentes características:

- Vivienda unifamiliar de 120 m², 4 habitantes de área verde de 5 m².
- Vivienda unifamiliar de 160 m², 5 habitantes de área verde de 10 m².
- Vivienda unifamiliar de 200 m², 6 habitantes de área verde de 15 m².

El material de la superficie de captación será el más comercializado en la ciudad para cobertura de techo, entre ellas las metálicas (aluzinc, calamina galvanizada) o plásticas (fibraforte, eternit) cualquiera de estos materiales cuenta con un coeficiente de escorrentía de 0.9 (Tabla N° 22). La precipitación media mensual para cada mes según la Tabla N° 27.

3.9.2.1. CASO 1

Vivienda unifamiliar convencional en la ciudad de Jaén 120 m^2 (6m x 20m.), con una cubierta metálica superior de aluzinc en toda el área, con cuatro habitantes y un pequeño jardín de 5 m^2 .

Material de techo : Aluzinc
 Área de captación (70%) : 84 m^2
 Coeficiente de esorrentía : 0.9
 Personas beneficiadas : 4
 Área de jardin : 5 m^2

MES	N° de días	Precipitación (mm)	Abastecimiento (m^3)		Demanda (m^3)		Diferencia mensual (m^3)
			parcial	acumulado	parcial	acumulado	
Marzo	31	108.01	8.166	8.166	4.703	4.703	3.462
Abril	30	96.89	7.325	15.490	4.551	9.255	2.773
Mayo	31	82.98	6.273	21.764	4.703	13.958	1.570
Junio	30	38.55	2.914	24.678	2.580	16.538	0.334
Julio	31	38.05	2.877	27.555	2.666	19.204	0.211
Agosto	31	20.34	1.538	29.092	1.426	20.630	0.112
Setiembre	30	29.01	2.193	31.286	1.380	22.010	0.813
Octubre	31	68.62	5.188	36.473	4.703	26.713	0.485
Noviembre	30	71.77	5.426	41.899	4.551	31.264	0.874
Diciembre	31	73.5	5.557	47.456	4.703	35.967	0.853
Enero	31	68.94	5.212	52.667	4.703	40.671	0.509
Febrero	28	92.07	6.960	59.628	4.248	44.919	2.712

Tabla N° 30. Análisis oferta/demanda mensual - almacenamiento vivienda de 120m^2 .
 Fuente: Elaboración propia.

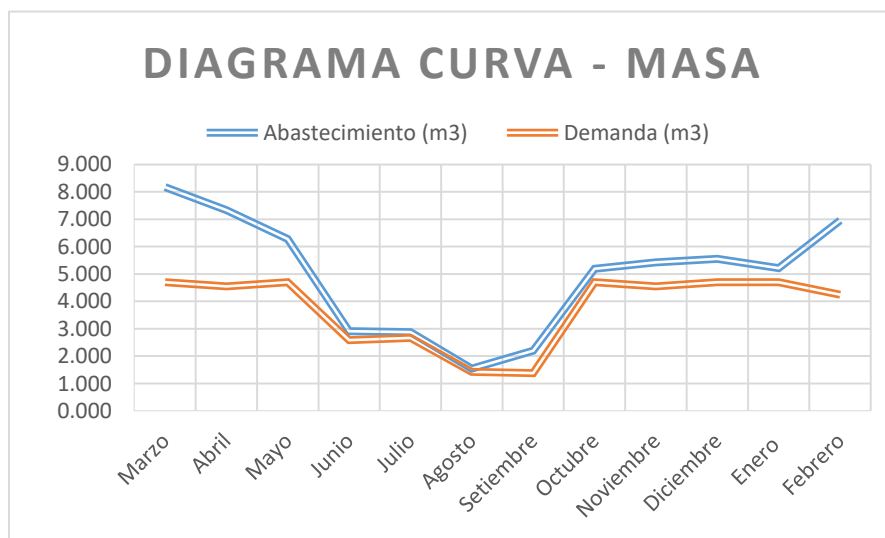


Figura N° 54. Diagrama Curva - Masa entre abastecimiento y demanda mensual para una vivienda de 120m^2 .
 Fuente: Elaboración propia.

3.9.2.2. CASO 2

Vivienda unifamiliar convencional en la ciudad de Jaén 160 m^2 (8m x 20m.), con una cubierta metálica superior de aluzinc en toda el área, con cinco habitantes y un pequeño jardín de 10 m^2 .

Material de techo : Aluzinc
 Área de captación (70%) : 112 m^2
 Coeficiente de esorrentía : 0.9
 Personas beneficiadas : 5
 Área de jardín : 10 m^2

MES	N° de días	Precipitación (mm)	Abastecimiento (m^3)		Demanda (m^3)		Diferencia mensual (m^3)
			parcial	acumulado	parcial	acumulado	
Marzo	31	108.01	10.887	10.887	6.111	6.111	4.776
Abril	30	96.89	9.767	20.654	5.914	12.026	3.852
Mayo	31	82.98	8.364	29.018	6.111	18.137	2.253
Junio	30	38.55	3.886	32.904	3.450	21.587	0.436
Julio	31	38.05	3.835	36.740	3.565	25.152	0.270
Agosto	31	20.34	2.050	38.790	2.015	27.167	0.035
Setiembre	30	29.01	2.924	41.714	1.950	29.117	0.974
Octubre	31	68.62	6.917	48.631	6.111	35.229	0.805
Noviembre	30	71.77	7.234	55.865	5.914	41.143	1.320
Diciembre	31	73.5	7.409	63.274	6.111	47.254	1.297
Enero	31	68.94	6.949	70.223	6.111	53.366	0.838
Febrero	28	92.07	9.281	79.504	5.520	58.886	3.761

Tabla N° 31. Análisis oferta/demanda mensual - almacenamiento vivienda de 160m^2 .
 Fuente: Elaboración propia

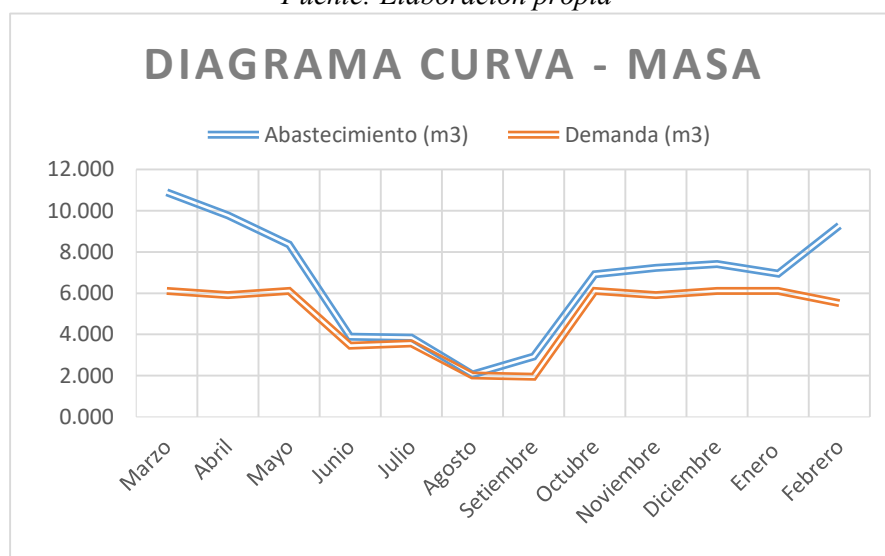


Figura N° 55. Diagrama Curva - Masa entre abastecimiento y demanda mensual para una vivienda de 160m^2 .
 Fuente: Elaboración propia.

3.9.2.3. CASO 3

Vivienda unifamiliar convencional en la ciudad de Jaén 200 m² (10m x 20m.), con una cubierta metálica superior de aluzinc en toda el área, con seis habitantes y un pequeño jardín de 15 m².

Material de techo : Aluzinc
 Área de captación (70%) : 140 m²
 Coeficiente de esorrentía : 0.9
 Personas beneficiadas : 6
 Área de jardín : 15 m²

MES	N° de días	Precipitación (mm)	Abastecimiento (m ³)		Demanda (m ³)		Diferencia mensual (m ³)
			parcial	acumulado	parcial	acumulado	
Marzo	31	108.01	13.609	13.609	7.520	7.520	6.090
Abril	30	96.89	12.208	25.817	7.277	14.797	4.931
Mayo	31	82.98	10.455	36.273	7.520	22.317	2.936
Junio	30	38.55	4.857	41.130	4.320	26.637	0.537
Julio	31	38.05	4.794	45.924	4.464	31.101	0.330
Agosto	31	20.34	2.563	48.487	2.604	33.705	-0.041
Setiembre	30	29.01	3.655	52.143	2.520	36.225	1.135
Octubre	31	68.62	8.646	60.789	7.520	43.744	1.126
Noviembre	30	71.77	9.043	69.832	7.277	51.021	1.766
Diciembre	31	73.5	9.261	79.093	7.520	58.541	1.741
Enero	31	68.94	8.686	87.779	7.520	66.061	1.167
Febrero	28	92.07	11.601	99.380	6.792	72.853	4.809

Tabla N° 32. Análisis oferta/demanda mensual - almacenamiento vivienda 200m².
 Fuente: Elaboración propia

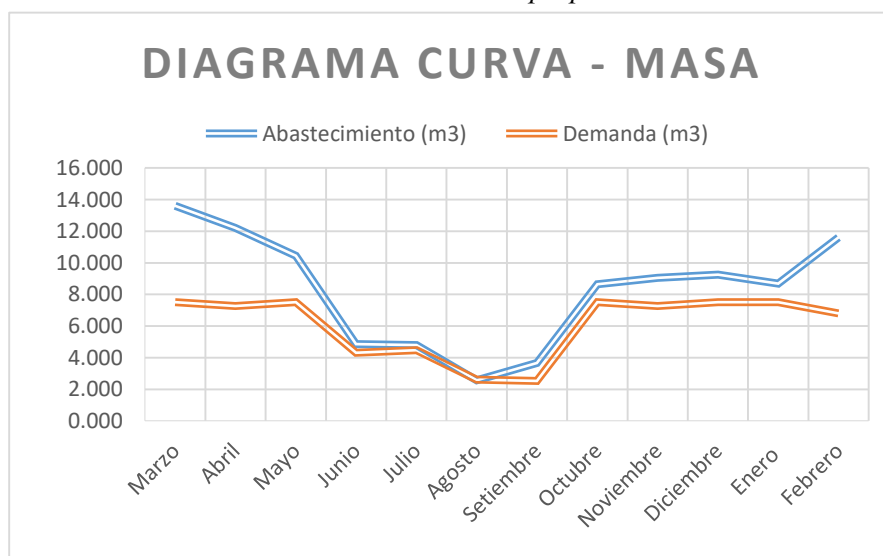


Figura N° 56. Diagrama Curva - Masa entre abastecimiento y demanda mensual para una vivienda de 200m².
 Fuente: Elaboración propia.

3.9.3. Método Aqua España (2016)

- ✓ *Demanda anual del sistema:* Tomamos la demanda de agua no potable en la vivienda, pero anualmente, o sea para los 365 días, teniendo en cuenta para el cálculo de agua para la lavadora, que el año tiene 52 semanas; para el jardín no depende de la cantidad de personas en la vivienda.

Suministros	Dotación	Consumo anual por persona
Cisterna de inodoro	3 usos diarios de 3l/pers.	3285
Lavadora	2 usos/semana de 40l/pers.	4160
Uso doméstico	1 uso diario de 10l/persona	3650
Limpieza	1 uso diario de 5l/pers.	1825
Riego de jardín	2l/m ² /día*30 días sequía*3 periodos de sequía/año	180*(área jardín)

Tabla N° 33. Dataciones de agua no potable en una vivienda.

Fuente: Elaboración Propia.

- ✓ *Oferta anual del sistema:* Se toma la precipitación anual, según Villón (2002) el mejor método para hallar la precipitación media de una zona de estudio es mediante Isoyetas, en la Fig. N° 44 y Tabla N° 21 tenemos el cálculo de la precipitación promedio de la ciudad de Jaén mediante Isoyetas.

Precipitación media para la ciudad de Jaén: **985.67 mm**

Del mismo modo que el método anterior, se procede a realizar el cálculo de la demanda y volumen de almacenamiento para diferentes viviendas convencionales de la ciudad de Jaén, con diferentes características:

- Vivienda unifamiliar de 120 m², 4 habitantes de área verde de 5 m².
- Vivienda unifamiliar de 160 m², 5 habitantes de área verde de 10 m².
- Vivienda unifamiliar de 200 m², 6 habitantes de área verde de 15 m².

El material de la superficie de captación será el más comercializado en la ciudad para cobertura de techo, entre ellas las metálicas (aluzinc, calamina galvanizada) o plásticas (fibraforte, eternit) cualquiera de estos materiales cuenta con un coeficiente de escorrentía de 0.9 (Tabla N° 22). La precipitación media mensual para cada mes según la Tabla N° 27.

3.9.3.1. CASO 1

Vivienda unifamiliar convencional en la ciudad de Jaén 120 m² (6m x 20m.), con una cubierta metálica superior de calamina galvanizada en toda el área, con cuatro habitantes y un pequeño jardín de 5 m².

Material de techo	:	calamina galvanizada
Área de captación (70%)	:	84 m ²
Coefficiente de esorrentía	:	0.9
Personas beneficiadas	:	4
Área de jardín	:	5 m ²

Suministros	Dotación	Consumo anual/persona (l)	Consumo Total (l)
Cisterna de inodoro	3 usos diarios de 3l/pers.	3285	13140
Lavadora	2 usos/semana de 40l/pers.	4160	16640
Uso doméstico	1 uso diario de 10l/persona	3650	14600
Limpieza	1 uso diario de 5l/pers.	1825	7300
Riego de jardín	2l/m ² /día*30 días sequía*3 periodos de sequía/año		900
TOTAL			52 580.00

Tabla N° 34. Demanda de agua no potable en una vivienda de 120 m².

Fuente: Elaboración propia.

✓ Demanda anual del sistema:

$$D = 52\ 580 \text{ litros}$$

✓ Oferta de agua del sistema:

Área de captación (m ²)	Coef. De esorrentía	Precipitación anual (mm)	OFERTA (litros)
84	0.9	985.67	74 516.652

Tabla N° 35. Oferta de agua no potable en una vivienda de 120 m².

Fuente: Elaboración propia.

$$O = 74\ 516.65 \text{ litros}$$

Como $O > D$, entonces el sistema es viable, o sea, tendremos más agua captada y almacenada anualmente en el sistema que la demandada en un año. En este caso vemos que la producción tiene un superávit de 21936 litros. Procedemos a calcular el volumen del depósito:

$$V_{DEPOSITO} = 52\ 580 \frac{\text{litros}}{365 \text{ días}} * 1.2 * 35 \text{ días}$$

$$V_{DEPOSITO} = 6050.30 \text{ litros} = 6 \text{ m}^3$$

3.9.3.2. CASO 2

Vivienda unifamiliar convencional en la ciudad de Jaén 160 m^2 (8m x 20m.), con una cubierta metálica superior de aluzinc en toda el área, con cinco habitantes y un pequeño jardín de 10 m^2 .

Material de techo	:	Aluzinc
Área de captación (70%)	:	112 m^2
Coefficiente de esorrentía	:	0.9
Personas beneficiadas	:	5
Área de jardín	:	10 m^2
Prec. Medial anual Jaén	:	985.67 mm

Suministros	Dotación	Consumo anual por persona	Consumo Total
Cisterna de inodoro	3 usos diarios de 3l/pers.	3285	16425
Lavadora	2 usos/semana de 40l/pers.	4160	20800
Uso doméstico	1 uso diario de 10l/persona	3650	18250
Limpieza	1 uso diario de 5l/pers.	1825	9125
Riego de jardín	$2\text{l/m}^2/\text{día} * 30 \text{ días sequía} * 3 \text{ periodos de sequía/año}$		1800
TOTAL			66 400.00

Tabla N° 36. Demanda de agua no potable en una vivienda de 160 m^2 .
Fuente: Elab. Propia

✓ Demanda anual del sistema:

$$D = 66\,400 \text{ litros}$$

✓ Oferta de agua del sistema:

Área de captación (m^2)	Coef. De esorrentía	Precipitación anual (mm)	OFERTA (litros)
112	0.9	985.67	99355.536

Tabla N° 37 Oferta de agua no potable en una vivienda de 160 m^2 .
Fuente: Elaboración propia.

$$O = 99\,355.54 \text{ litros}$$

Como $O > D$, entonces el sistema es viable, o sea, tendremos más agua captada y almacenada anualmente en el sistema que la demandada en un año. En este caso vemos que la producción tiene un superávit de 32955litros. Procedemos a calcular el volumen del depósito:

$$V_{DEPOSITO} = 66\,400 \frac{\text{litros}}{365 \text{ días}} * 1.2 * 35 \text{ días}$$

$$V_{DEPOSITO} = 7\,640.55 \text{ litros} = 7.6 \text{ m}^3$$

3.9.3.3. CASO 3

Vivienda unifamiliar convencional en la ciudad de Jaén 200 m² (10m x 20m.), con una cubierta metálica superior de aluzinc en toda el área, con seis habitantes y un pequeño jardín de 15 m².

Material de techo	:	Aluzinc
Área de captación (70%)	:	140 m ²
Coefficiente de esorrentía	:	0.9
Personas beneficiadas	:	6
Área de jardín	:	15 m ²
Prec. Medial anual Jaén	:	985.67 mm

Suministros	Dotación	Consumo anual por persona	Consumo Total
Cisterna de inodoro	3 usos diarios de 3l/pers.	3285	19710
Lavadora	2 usos/semana de 40l/pers.	4160	24960
Uso doméstico	1 uso diario de 10l/persona	3650	21900
Limpieza	1 uso diario de 5l/pers.	1825	10950
Riego de jardín	2l/m ² /día*30 días sequía*3 periodos de sequía/año		2700
TOTAL			80 220.00

Tabla N° 38. Demanda de agua no potable en una vivienda de 200 m².
Fuente: Elab. Propia

✓ Demanda anual del sistema:

$$D = 80\ 220 \text{ litros}$$

✓ Oferta de agua del sistema:

Área de captación (m ²)	Coef. De esorrentía	Precipitación anual (mm)	OFERTA (litros)
140	0.9	985.67	124 194.42

Tabla N° 39. Oferta de agua potable en una vivienda de 200 m².
Fuente: Elaboración propia.

$$O = 124\ 194.42 \text{ litros}$$

Como $O < D$, entonces hay una limitación de captación. En este caso vemos que la producción tiene un déficit de 43974 litros. Por lo tanto, en este caso la Oferta será la determinante de la capacidad de recogida de pluviales:

$$V_{DEPOSITO} = 124\ 194.42 \frac{\text{litros}}{365 \text{ días}} * 1.2 * 35 \text{ días}$$

$$V_{DEPOSITO} = 9\ 230.79 \text{ litros} = 9.2 \text{ m}^3$$

IV. RESULTADOS

4.1. Estudio hidrológico de la estación pluviométrica Jaén

Se realizó el estudio hidrológico de la estación pluviométrica Jaén mediante tres pasos generales:

4.1.1. Procesamiento de los registros de precipitación máxima de 24 horas

- ✓ Se obtuvo la data de precipitación máxima 24 horas desde el año 1993 hasta el 2018 (25 años), con la cual se halló la precipitación máxima para cada año, obteniendo el siguiente histograma:

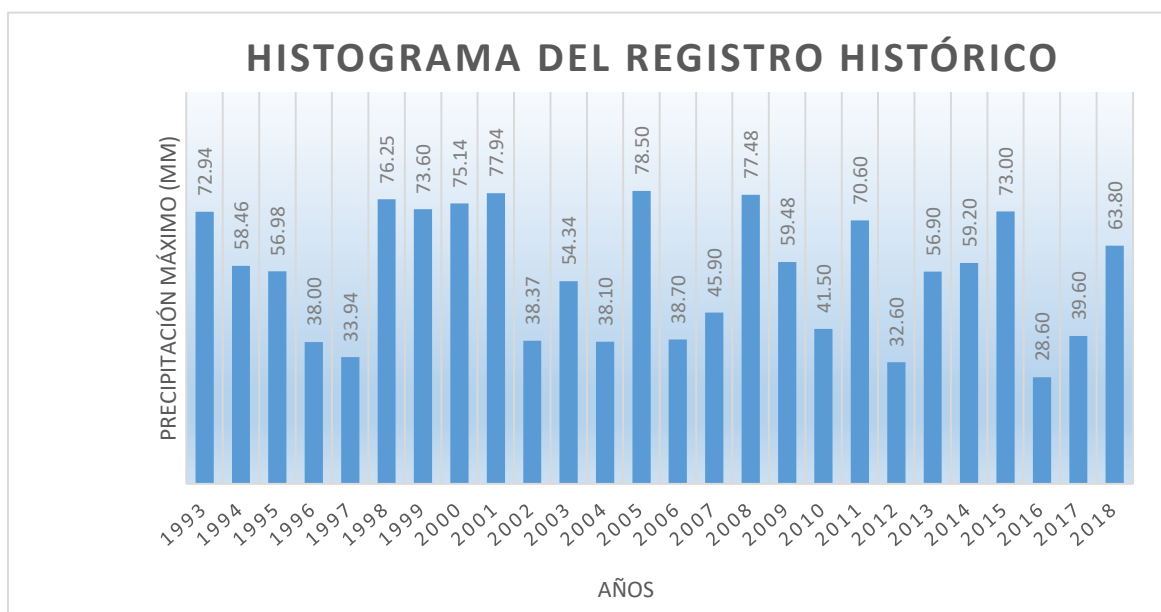


Figura N° 57. Histograma de los registros históricos.
Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Se realizó la prueba de Outliers o datos dudosos para la serie de registros históricos de precipitación máxima 24 horas de cada año, no existiendo datos dudosos altos ni datos dudosos bajos en la muestra.
- ✓ Se obtuvo la distribución de frecuencias y probabilidad de excedencia mediante Weibull.

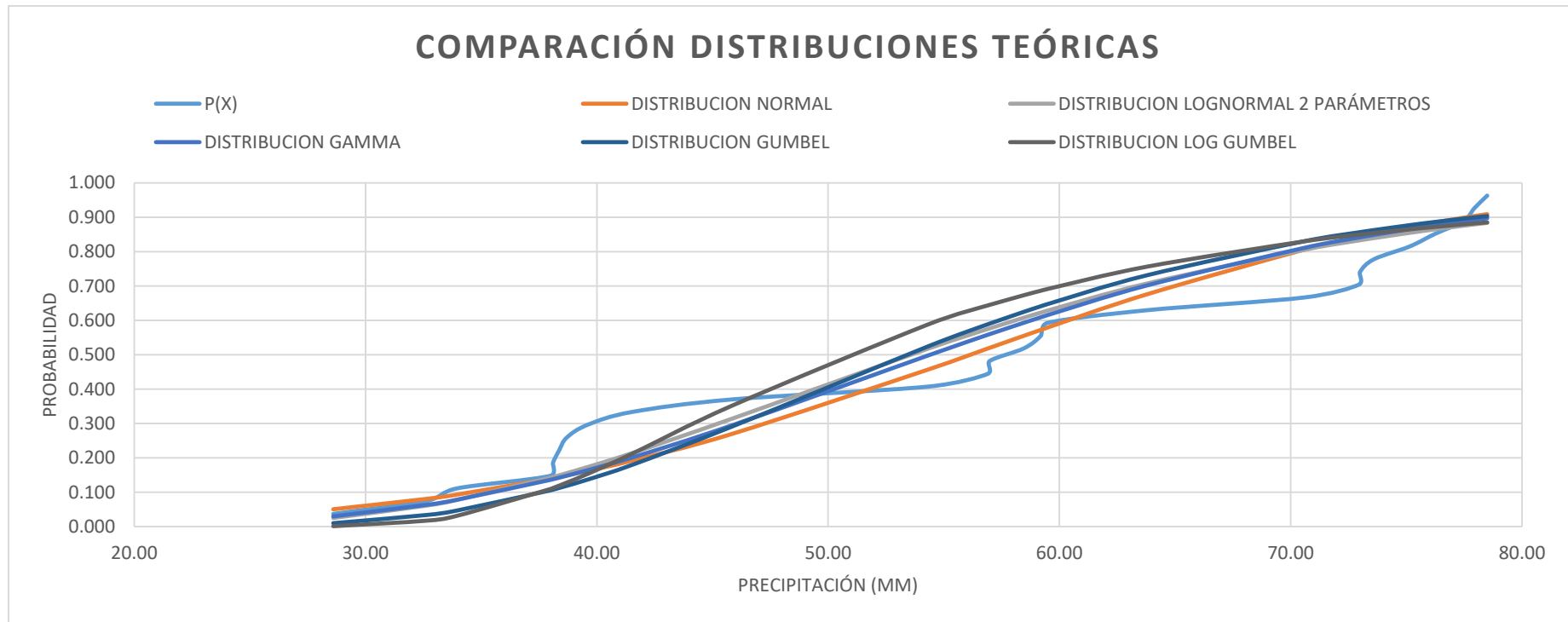
4.1.2. Distribuciones teóricas

- ✓ Se hizo la comparación de distribuciones de probabilidad teórica con las más usuales aplicadas a la Hidrología; y mediante la prueba de bondad de ajuste de Smirnov – Kolmogorov se calculó el delta teórico para cada distribución, en el siguiente cuadro se resume:

Prueba de Bondad de Ajuste de Smirnov - Kolgomorov

Δ TEÓRICO DE LAS DISTRIBUCIONES								
Δ TABULAR	DISTRIBUCION NORMAL	DISTRIBUCION LOGNORMAL 2 PARÁMETROS	DISTRIBUCION LOGNORMAL 3 PARÁMETROS	DISTRIBUCION GAMMA 2 PARÁMETROS	DISTRIBUCION PEARSON TIPO III	DISTRIBUCION LOG PEARSON TIPO III	DISTRIBUCION GUMBEL	DISTRIBUCION LOG GUMBEL
0.2667	0.1420	0.1385	NO CUMPLE	0.1441	NO CUMPLE	NO CUMPLE	0.1635	0.1989
MIN Δ	0.1385							
DISTRIBUCION LOGNORMAL 2 PARÁMETROS								

*Tabla N° 40. Resumen de la prueba de bondad de ajuste para todas las distribuciones.
Fuente: Elaboración propia*



*Figura N° 58. Comparación gráfica de la prueba de bondad de ajuste.
Fuente: Elaboración propia.*

- ✓ Se puede concluir según la prueba de Bondad de ajuste de Smirnov – Kolgomorov que la distribución que mejor se ajusta a la serie de registros históricos es la Distribución LogNormal de 2 Parámetros.

4.1.3. Precipitación para diferentes periodos de retorno

- ✓ Por lo tanto, el estudio hidrológico a la estación pluviométrica “Jaén” concluye que mediante esta distribución podemos calcular las precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno.

Precipitación máxima para diferentes periodos de retorno		
T (años)	P	Distribución LogNormal 2 Parámetros X ^t
2	0.500	53.56
5	0.200	70.18
10	0.100	80.83
25	0.040	93.98
50	0.020	103.59
100	0.010	113.06
500	0.002	134.97
1000	0.001	144.48
Δ	0.2667	0.1385

Tabla N° 41. Pp máx para diferentes periodos de retorno.
Fuente: Elaboración propia.

- ✓ La Organización Meteorológica Mundial (OMM) recomiendo un coeficiente de corrección para datos de estaciones que se registran una vez al día de 1.13.

Relación entre Precipitación máxima verdadera y precipitación en intervalos fijos	
Número de Intervalo de Observación	Relación
1	1.13
2	1.04
3-4	1.03
5-8	1.02
9-24	1.01

Tabla N° 42 Relación entre el número de observaciones y la precipitación máxima real.
Fuente: Hidrología para ingenieros (Linsley, Kohler y Paulhus)

- ✓ Entonces, las precipitaciones máximas en 24 horas para los diferentes periodos de retorno, aplicando la corrección propuesta por la OMM, quedaría:

Precipitación máxima para diferentes periodos de retorno		
T (años)	P	Distribución LogNormal 2 Parámetros X ^t
2	0.500	60.52
5	0.200	79.30
10	0.100	91.34
25	0.040	106.20
50	0.020	117.06
100	0.010	127.76
500	0.002	152.52
1000	0.001	163.26
Δ	0.2667	0.1385

Tabla N° 43. Precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno, corregidas según los valores de la OMM.

Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Por lo tanto, la precipitación máxima 24 horas para un periodo de retorno de 10 años es 91.34 mm. Procedemos a realizar el cálculo de la Intensidad máxima según el método de Frederick Bell, el cual obtenemos una intensidad máxima de **107.23 mm/hr** para un periodo de retorno de 10 años y una duración de 10 minutos.

4.2. Análisis de calidad del agua de lluvia

Se realizó la toma de muestras de agua de lluvia de una precipitación dada el día 29/09/2019, con recipientes previamente esterilizados en laboratorio. La toma corresponde a 15 minutos después de iniciado el aguacero, de una vivienda con superficie de captación (techo) de aluzinc (ver fotografías en Anexos B2).

Se muestran los resultados obtenidos del análisis físico químico y bacteriológico del agua de lluvia analizada (Anexo C).

4.3. Demanda de agua no potable en una vivienda unifamiliar en Jaén

Se tuvo en cuenta una dotación de demanda de agua no necesariamente potable en una vivienda unifamiliar convencional en la ciudad de Jaén, la cual para considerarlo en el diseño de captación de agua de lluvia depende del método a emplearse:

4.3.1. Método OPS/UNATSABAR (2004)

Suministros	Dotación	DOTACIÓN DIARIA POR PERSONA (l)
Cisterna de inodoro	3 usos diarios de 3l/pers.	9
Lavadora	2 usos/semana de 40l/pers.	11.4
Uso doméstico	1 uso diario de 10l/persona	10
Limpieza	1 uso diario de 5l/persona	5
TOTAL		35.43

Tabla N° 44, suministros de agua no potable en una vivienda OPS/UNATSABAR.

Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Sin considerar la dotación de agua para jardines de 2litros/m²/día; mediante este método obtenemos una demanda de agua no necesariamente potable por persona de:

$$\text{Dotación} = 35.43 \text{ litros/persona/día}$$

4.3.2. Método Aqua España (2016)

Suministros	Dotación	Consumo anual por persona (l)
Cisterna de inodoro	3 usos diarios de 3l/pers.	3285
Lavadora	2 usos/semana de 40l/pers.	4160
Uso doméstico	1 uso diario de 10l/persona	3650
Uso general*	1 uso diario de 5l/pers.	1825
TOTAL		12920

Tabla N° 45. Suministros de agua no potable en una vivienda Aqua España 2016.

Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Sin considerar la dotación de agua para jardines de 180litros/m²/año; mediante este método obtenemos una demanda de agua no necesariamente potable por persona de:

$$\text{Dotación} = 12\,920 \text{ litros/persona/año}$$

$$\text{Dotación} = 35.4 \text{ litros/persona/día}$$

Como podemos notar, las demandas de agua no potable serán las mismas para cualquiera de las dos metodologías.

4.4. Alternativas de diseño

4.4.1. Vivienda unifamiliar de 120 m², 4 habitantes de área verde de 5 m².

- ✓ Superficie de captación.

Se tomará en cuenta un material que cuente con un alto coeficiente de escurritía (C= 0.9), favorablemente las cubiertas metálicas es el material más usado en Jaén para techos. Por lo tanto, se podrá emplear Aluzinc o calamina galvanizada a lo largo de toda el área 84 m². La pendiente no será mayor del 5% para cubiertas inclinadas.

- ✓ Canaletas de recolección

Siendo las canaletas de lámina galvanizada (aluminio) las más comerciales en la ciudad, que destaca por su alta durabilidad y fácil instalación, también son más baratas que las de plástico; pero se debe tener cuidado con los golpes o cuando se incline con la escalera ya que son propensas a abolladuras. Tendrá la misma pendiente que el techo.

- ✓ Bajante

La tubería bajante que recibirá el agua de las canaletas mediante un embudo o una boca soldada, será de material PVC y tendrá el diámetro de 3" según la Tabla N° 24.

- ✓ Tuberías horizontales

Si el techo es a dos aguas, una tubería horizontal se encargará de transportar el agua de las canaletas de ambos lados hacia la bajante. La tubería que transporta del interceptor al almacenamiento también será horizontal. Se tomará una tubería PVC de 3".

- ✓ Interceptor de primeras aguas

De acuerdo al área de captación, el agua suficiente para lavarla será a razón de 1litro/m², por lo tanto, el volumen del interceptor será de 85 litros.

- ✓ Tanque de almacenamiento

- Según OPS/UNATSABAR

De acuerdo a los cálculos realizados en la Tabla N° 30, la mayor demanda que voy a requerir será en los meses de 31 días (a excepción de los meses de estiaje donde el suministro de demanda se redujo), con un volumen de 4.7 m³, por lo tanto éste será el valor del volumen

máximo de almacenamiento. Se escoge un tanque de almacenamiento de agua de polietileno de 5000 litros, de modo que tengamos un total de almacenamiento equivalente a 5 m^3 .

- Según Aqua España

El cálculo del depósito de almacenamiento de acuerdo a un análisis anual nos resulta de 6 m^3 , que llega a ser el máximo volumen de agua de lluvia demandada para agua no potable y de acuerdo a la oferta (precipitación anual) si es viable. De la misma manera que el método anterior se escogerá dos tanque de almacenamiento de agua de polietileno de 5000 litros y 1000 litros (Figura N° 59) y acoplarlos juntos en la instalación, de modo que tengamos en total de almacenamiento 6000 litros equivalente a 6 m^3 .

TANQUE PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA

Con Capa interior A+ antimicrobiana que impide el crecimiento y reproducción de bacterias. Fabricado con polietileno de alta densidad que cumple con las normas de la FDA (Food and Drug Administration de los EEUU.) grado alimenticio.

▶ VENTAJAS

- Protección UV.
- Fáciles de transportar e instalar.
- Fácil limpieza y mantenimiento.
- No requiere anclaje a la base.
- Anillos de refuerzo para mayor resistencia.
- Superficies planas que facilitan la instalación de accesorios de entrada y salida ubicados en la parte superior e inferior del tanque.
- Incluye tapa de 18".
- Color negro.
- Resiste temperaturas ambientales desde -10°C hasta 60°C .
- Asesoría técnica permanente.

▶ ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Capacidad [Lts.]	Altura [mm.]	Diametro [mm.]	Tapa [H]
5000	1800	2200	18"
10000	3000	2200	18"
25000	3980	3000	18"



Figura N° 59. Tanque de almacenamiento de agua de 5 000 a 25 000 litros.
Fuente: Eternit Perú.

4.4.2. Vivienda unifamiliar de 160 m^2 , 5 habitantes de área verde de 10 m^2 .

✓ Superficie de captación

Se tomará en cuenta un material que cuente con un alto coeficiente de escorrentía ($C= 0.9$), favorablemente las cubiertas metálicas es el material más usado en Jaén para techos. Por lo

tanto, se podrá emplear Aluzinc o calamina galvanizada a lo largo de toda el área $112 m^2$. La pendiente no será mayor del 5% para cubiertas inclinadas.

✓ Canaletas de recolección

Siendo las canaletas de lámina galvanizada (aluminio) las más comerciales en la ciudad, que destaca por su alta durabilidad y fácil instalación, también son más baratas que las de plástico; pero se debe tener cuidado con los golpes o cuando se incline con la escalera ya que son propensas a abolladuras. Tendrá la misma pendiente que el techo.

✓ Bajante

La tubería bajante que recibirá el agua de las canaletas mediante un embudo o una boca soldada, será de material PVC y tendrá el diámetro de 3" según la Tabla N° 24.

✓ Tuberías horizontales

Si el techo es a dos aguas, una tubería horizontal se encargará de transportar el agua de las canaletas de ambos lados hacia la bajante. La tubería que transporta del interceptor al almacenamiento también será horizontal. Se tomará una tubería PVC de 3"

✓ Interceptor de primeras aguas

De acuerdo al área de captación, el agua suficiente para lavarla será a razón de $1 \text{ litro}/m^2$, por lo tanto, el volumen del interceptor será de 115 litros.

✓ Tanque de almacenamiento

- Según OPS/UNATSABAR

De acuerdo a los cálculos realizados en la Tabla N° 30, la mayor demanda que voy a requerir será en los meses de 31 días (a excepción de los meses de estiaje donde el suministro de demanda se redujo), con un volumen de $6.1 m^3$, por lo tanto, éste será el valor del volumen máximo de almacenamiento. Se escoge dos tanques de almacenamiento de agua de polietileno de 5000 litros y 1100 litros, de modo que tengamos un total de almacenamiento equivalente a $6.1 m^3$.

- Según Aqua España

El cálculo del depósito de almacenamiento de acuerdo a un análisis anual nos resulta de $7.6m^3$, que llega a ser el máximo volumen de agua de lluvia demandada para agua no potable

y de acuerdo a la oferta (precipitación anual) si es viable. De la misma manera que el método anterior se escogerá dos tanques de almacenamiento de polietileno de 5000 y 2500 litros teniendo un total de 7500 litros o 7.5 m³.

4.4.3. Vivienda unifamiliar de 200 m², 6 habitantes de área verde de 15 m².

✓ Superficie de captación

Se tomará en cuenta un material que cuente con un alto coeficiente de escurritía ($C= 0.9$), favorablemente las cubiertas metálicas es el material más usado en Jaén para techos. Por lo tanto, se podrá emplear Aluzinc o calamina galvanizada a lo largo de toda el área 140 m². La pendiente no será mayor del 5% para cubiertas inclinadas.

✓ Canaletas de recolección

Siendo las canaletas de lámina galvanizada (aluminio) las más comerciales en la ciudad, que destaca por su alta durabilidad y fácil instalación, también son más baratas que las de plástico; pero se debe tener cuidado con los golpes o cuando se incline con la escalera ya que son propensas a abolladuras. Tendrá la misma pendiente que el techo.

✓ Bajante

La tubería bajante que recibirá el agua de las canaletas mediante un embudo o una boca soldada, será de material PVC y tendrá el diámetro de 4" según la Tabla N° 24.

✓ Tuberías horizontales

Si el techo es a dos aguas, una tubería horizontal se encargará de transportar el agua de las canaletas de ambos lados hacia la bajante. La tubería que transporta del interceptor al almacenamiento también será horizontal. Se tomará una tubería PVC de 4"

✓ Interceptor de primeras aguas

De acuerdo al área de captación, el agua suficiente para lavarla será a razón de 1litro/m², por lo tanto, el volumen del interceptor será de 140 litros.

✓ Tanque de almacenamiento

- Según OPS/UNATSABAR

De acuerdo a los cálculos realizados en la Tabla N° 30, la mayor demanda que voy a requerir será en los meses de 31 días (a excepción de los meses de estiaje donde el suministro de demanda se redujo), con un volumen de $7.52 m^3$, por lo tanto, éste será el valor del volumen máximo de almacenamiento. Se escoge dos tanques de almacenamiento de agua de polietileno de 5000 litros y 2500 litros, de modo que tengamos un total de almacenamiento equivalente a $7.5 m^3$.

- Según Aqua España

El cálculo del depósito de almacenamiento de acuerdo a un análisis anual nos resulta de $9.23m^3$, que llega a ser el máximo volumen de agua de lluvia demandada para agua no potable y de acuerdo a la oferta (precipitación anual) si es viable. De la misma manera que el método anterior se escogerá dos tanques de almacenamiento de polietileno de 5000 litros teniendo un total de 10000 litros o 10 m³.

4.5. Influencia del SCAPT en el ahorro de agua potable

CASOS (viviendas iguales o menores de 120 m ²)	INFLUENCIA SIN/CON UN SCAPT		
	Consumo de agua potable mensual sin un SCAPT (m ³)	Consumo de agua potable mensual con un SCPAT (m ³)	% de ahorro mensual
Vivienda 1	19	14	26.3
Vivienda 2	16	11	31.3
Vivienda 3	14	9	35.7
Vivienda 4	18	13	27.8
Vivienda 5	12	7	41.7
Vivienda 6	11	6	45.5
Vivienda 7	16	11	31.3
Vivienda 8	21	16	23.8

Tabla N° 46. Influencia del ahorro de agua potable en una vivienda de igual o menor a 120 m² sin y con un sistema de captación pluvial.

Fuente: Elaboración propia.

V. DISCUSION

De acuerdo a los resultados obtenidos para el diseño de captación de agua pluvial en una vivienda unifamiliar en la ciudad de Jaén, para viviendas con área de $120 m^2$, $160 m^2$, $200m^2$ y superficie de captación a lo largo del 70% de toda el área; se plantea la discusión de los siguientes aspectos implicados en la investigación: Estudio de precipitación en Jaén, materiales y dimensiones de las partes del sistema de captación pluvial, selección del mejor método para la dotación de agua no potable y volumen de tanque de almacenamiento y por último la calidad de agua de lluvia suministrado por el sistema.

Si aplicamos bien todas estas partes fundamentadas en la presente investigación, podremos dar respuesta al problema planteado al inicio de la investigación sobre cómo aprovechar el agua de lluvia que cae en el techo de la azotea de una vivienda, que actualmente se pierde, y reutilizarla para fines sanitarios y usos domésticos en la ciudad de Jaén.

5.1. Estudio de precipitación en Jaén

La OPS/UNATSABAR (2004) y Anaya (1998) manifiestan que el abastecimiento de agua debe estar basado en los datos de precipitación mensual de por lo menos 10 e idealmente 15 años de la estación más cercana, sin embargo para nuestra investigación se trabajó con los últimos 19 años (2000 – 2018) (Tabla N° 18) y no solo con una estación, sino con 7 estaciones cercanas a la zona de estudio (Figura N° 32), garantizando así que los resultados obtenidos de precipitación tienen una alta probabilidad de validez.

- ✓ Se realizó el estudio detallado de precipitación a escala de máxima precipitación en 24 horas (estación pluviométrica Jaén) y precipitación total mensual (7 estaciones en estudio cercanas a Jaén), gracias a información obtenida del SENAMHI.
- ✓ Con la escala de máxima precipitación en 24 horas, se procedió a realizar el estudio hidrológico de la Estación pluviométrica Jaén, siendo ésta la más cercana a la ciudad. Según el estudio hidrológico la distribución que mejor se ajusta a la frecuencia de la

serie de registros históricos es Distribución LogNormal 2 Parámetros (Tabla N° 40) que para un periodo de retorno de 10 años la precipitación tiende a ser de 91.34 mm. Estos datos indican que en un día la máxima precipitación que se tendrá en la ciudad de Jaén para un periodo de retorno de 10 años será de 91 litros/ m^2 /día.

- ✓ La información precipitación total mensual se trabajó para el cálculo de la precipitación promedio anual mediante los métodos de polígono de Thiessen e Isoyetas de los cuales se obtuvieron los mapas mediante el software ArcGis 10.5. Se realizó a nivel de zona de estudio, distrito y ciudad de Jaén. Realizamos la comparación de los resultados obtenidos a nivel de distrito de Jaén: Polígono de Thiessen: 1141.6 mm, Isoyetas: 1166.85 mm. Teniendo una diferencia no muy significativa. Cabe recalcar que, si queremos aplicar el sistema de captación de agua de lluvia en cualquier parte del distrito de Jaén, se podrá optar por cualquiera de estos dos resultados de pluviometría obtenidos.
- ✓ Con los datos de precipitación media mensual (2000 – 2018) se realizaron los cálculos para hallar el suministro u oferta de agua de lluvia mensual mediante del método empleado por la OPS/UNATSABAR.
- ✓ Con los datos de precipitación media anual (2000 - 2018) obtenido mediante el método de Isoyetas para la ciudad de Jaén se realizaron los cálculos para hallar la oferta de agua de lluvia anual mediante el método empleado por Aqua España

5.2. Materiales y dimensiones del sistema de captación de agua de lluvia

En la superficie de captación se escogerá el material que tenga un coeficiente de escorrentía por arriba del 85% (0.85) las coberturas plásticas y metálicas cumplen esta condición, de éstas se recomienda escoger las metálicas, específicamente las que cuenten con aleaciones o capas de protección como en el caso del aluzinc. Como se detalla en los resultados, las canaletas también serán metálicas (lámina galvanizada), a diferencia de las demás partes del sistema que en su mayoría serán de PVC, algunas bibliografías recomiendan usar otros materiales como el bambú, pero eso no será requerido en esta investigación ya que el sistema será instalado en zona urbana. Se debe respetar las dimensiones de las tuberías, interceptor y tanque de almacenamiento para cada área de captación diferente.

La limitación de la investigación se tendrá en el tanque de almacenamiento ya que solo en la menor área (84 m², caso 1) se tendrá un tanque de almacenamiento de 5 m³ equivalente a 5000 litros, un tanque de almacenamiento mayor a los 5000 litros ya se considera de la línea industrial y se tendría que hacer pedido de ciudades costeras, así mismo, este tipo de tanques son más costosos que los tanques convencionales residenciales.

En los casos de las áreas de captación de 112 y 140 m² se optará por más de un tanque de almacenamiento, generando un peso adicional considerable en el caso de viviendas con pisos superiores, por lo que en caso de construcciones nuevas se debe tomar en cuenta este peso en el diseño estructural.

Dependiendo del tipo de vivienda, estos tanques pueden estar al nivel del terreno (1 piso) o en la terraza de la vivienda (2 o más pisos); cualquiera sea el caso se deberá instalar sobre una plataforma de apoyo a una altura mayor de 0.50 m. del NPT O NTN.

5.3. Dotación de agua no potable y almacenamiento.

Vivienda unifamiliar	OPS/UNATSABAR	Aqua España
120 m², 4 habitantes, 5 m² de jardín	Dotación: 35.43 l/pers. /día.	Dotación: 35.4 l/pers. /día.
	Dotación total en 1 año: 44.91 m ³	Dotación total en 1 año: 52.58 m ³
	Dotación total mensual: 4.7 m ³	Dotación total mensual: 6.05 m ³
	Vol. de almacenamiento: 5 m ³	Vol. de almacenamiento: 6 m ³
160 m², 5 habitantes, 10 m² de jardín	Dotación: 35.43 l/pers. /día.	Dotación: 35.4 l/pers. /día.
	Dotación total en 1 año: 58.8 m ³	Dotación total en 1 año: 66.4 m ³
	Dotación total mensual: 6.1 m ³	Dotación total mensual: 7.6 m ³
	Vol. de almacenamiento: 6.1 m ³	Vol. de almacenamiento: 7.5 m ³
200 m², 6 habitantes (7 hab. para Aqua España), 15 m² de jardín	Dotación: 35.43 l/pers. /día.	Dotación: 35.4 l/pers. /día.
	Dotación total en 1 año: 72.85 m ³	Dotación total en 1 año: 80.22 m ³
	Dotación total mensual: 7.52 m ³	Dotación total mensual: 9.23 m ³
	Vol. de almacenamiento: 7.5 m ³	Vol. de almacenamiento: 10 m ³

Tabla N° 47. Comparación de demanda de agua y volumen de almacenamiento para las diferentes áreas entre los dos métodos empleados.

Fuente: Elaboración propia.

5.4. Calidad de agua de lluvia suministrado por el sistema

El agua que se distribuirá mediante el sistema no es para consumo humano, ya que para este fin deberá estar dentro de los límites permisibles solicitado por el Reglamento de la calidad de agua para consumo humano DS N° 031 – 2010-SA. (MINSA). Se realizó el análisis físico-químico microbiológico (Tabla N° 47, 48).

Ensayos Físicoquímicos	Unidades	Muestra	L.M.P. (*) Agua de Consumo Humano
Color, Pt - Co	UCV-Pt-Co	87.0	20 UCV-Pt-Co
Conductividad	μS/cm	17.73	1500 μS/cm
Potencial de Iones Hidrógeno	pH	6.70	<6.5 – 8.5>
Dureza	Ppm CaCO ₃	56.83	Menor a 250
Turbidez	NTU	21.7	Menor a 5 NTU

*Tabla N° 48. Ensayos físicoquímicos
Fuente: OIKOSLAB*

Ensayos Microbiológicos	Unidades	Muestra	L.M.P. (*) Agua de Consumo Humano
Coliformes Termotolerantes a 44.5°C	NMP/100mL	0.0	0

*Tabla N° 49. Ensayos microbiológicos
Fuente: OIKOSLAB*

(*) LMP: Límites máximos permisibles.

El dato más importante es el ensayo microbiológico, ya que aquí podremos notar la presencia de coliformes que son bacterias que tienen ciertas características bioquímicas en común e importancia relevante en los indicadores de contaminación de agua. La muestra pasa favorablemente este ensayo ya que no se encontró presencia de coliformes (0). Por lo que no existiría inconveniente con el agua pluvial al darle un uso en contacto humano.

En lo que respecta al ensayo físicoquímico, la muestra pasa todos los ensayos, sin embargo, en los ensayos de Color, Pt-Co y turbidez los parámetros están fuera de los límites máximos permisibles. Esto es algo de esperarse, ya que la muestra se tomó de una vivienda que no cuenta con el sistema de captación pluvial, se tomó directamente y a pesar que fue de pasado 15 minutos del aguacero aún se tenía presencia de pequeñas partículas de tierra y polvo (la calle de la vivienda donde se obtuvo la muestra no se encuentra pavimentada). Estos indicadores se pueden remediar colocando floculadores en el tanque de almacenamiento.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- ✓ Al no encontrarse niveles de coliformes en la muestra de agua de lluvia, se concluye que el recurso pluvial no es perjudicial al contacto humano, por el cual podremos realizar actividades diarias de limpieza y aseo personal, pero no de consumo humano.
- ✓ Se concluye que el sistema de captación de agua pluvial para techos es viable para una vivienda de 120 m² (siendo éste es el área típica de una vivienda unifamiliar) obteniendo un volumen de almacenamiento total de 5 m³ el cual puede suministrar el agua no potable requerido en los cálculos anteriores. Para las viviendas con áreas mayores, los volúmenes de almacenamiento aumentan progresivamente llegando a ser no tan factibles técnica ni económicamente para el propietario.
- ✓ La demanda de agua no necesariamente potable en una vivienda en la ciudad de Jaén es de 35.4 litros/persona/día
- ✓ La presente investigación puede usarse como una guía técnica para la instalación de sistema de captación de agua lluvia, teniendo en cuenta la metodología y especificaciones técnicas planteadas. Especialmente en lugares que carezcan del suministro de agua potable constante todos los días y todos los meses.
- ✓ Según el estudio hidrológico la máxima lluvia que se puede dar en un día en la ciudad de Jaén para un periodo de retorno de 10 años es de **91.34 mm** con una intensidad máxima de **107.27 mm/hora** para una duración de 10 minutos.

- ✓ La metodología aplicada por OPS/UNATSABAR, que se basa en el cálculo de oferta/demanda mensual, será la que mejores volúmenes de almacenamiento obtenga, lo que la hace viable técnica y económicamente. Se obtuvo dimensiones de almacenamiento de **5, 6.1 y 7.5 m³** para áreas de **84, 112 y 140 m²** respectivamente.
- ✓ Con la aplicación del sistema de captación de agua de lluvia si se cumple con prácticamente la totalidad de agua no potable requerida en una vivienda en la ciudad de Jaén para los meses de octubre a mayo, para los meses de junio y julio solo se dará demanda para fines sanitarios y uso doméstico 19 litros/pers./día y para los meses de agosto y setiembre solo fines sanitarios 9 litros/pers./día.
- ✓ El sistema no solo puede ser aplicado para viviendas, sino también para complejos deportivos, almacenes, naves industriales y ambientes que cuenten con una cobertura superior metálica que permita las especificaciones técnicas planteadas en la presente investigación.
- ✓ La presente investigación también aplica eficientemente en casos de condominios, cuadras enteras y hasta pequeños centros poblados que pretendan recolectar el agua de lluvia y suministrarlos para los diferentes usos no potables que se le aplicará, almacenando así grandes volúmenes del recurso pluvial y generando un ahorro económico significativo mensual.

6.2. Recomendaciones

- ✓ En el caso que se tenga viviendas con superficies de captación diferentes a las planteadas en la presente investigación, se optará por tomar las especificaciones técnicas de las áreas que más se acerquen a las estudiadas.
- ✓ Para superficies de captación menores, se tomarán las partes y dimensiones obtenidas para un área de 120 m². Para superficies mayores a 200 m² se planteará un nuevo análisis y dimensionamiento, teniendo en cuenta la metodología y especificaciones técnicas planteadas en la presente investigación
- ✓ Para el tanque de almacenamiento que será instalado en la terraza de la vivienda, la plataforma de apoyo a una altura mayor a 0.5m. deberá apoyarse sobre columnas o elementos estructurales para evitar variaciones en el centro de masa de la vivienda.

- ✓ La tapa del tanque y la boca del tubo alimentador de agua pluvial este rodeado de una malla milimétrica para evitar materia externa que haya llegado hasta esta parte del sistema, si el caso se requiere, también colocarlo maya a las canaletas para evitar hojas, insectos, etc.
- ✓ Se recomienda realizar la operación y mantenimiento del sistema periódicamente para los diferentes componentes como: Techo, que es el primer punto de contacto con el agua de lluvia, por lo que es muy importante mantenerlo limpio y no debe almacenarse nada ni ser transitable salvo operaciones de mantenimiento; antes de la temporada de lluvias se recomienda lavar la superficie del techo con agua y cloro.
- ✓ Bajantes y canaletas, se recomienda mantenerlos limpios y libres de hojas, bien acoplados al sistema para evitar fugas y desperdicios.
- ✓ Interceptor de primeras aguas, ya que su función es separar el agua más sucia de cada lluvia para que no entre al tanque de almacenamiento. Hay que drenarlo por lo menos tres días para que haga su función eficientemente.
- ✓ Tanque de almacenamiento, es importante verter cloro al agua a fin de eliminar bacterias y otros microbios. Hay dos formas básicas de clorar el agua, una con cloro líquido, y la otra con cloro en pastilla o polvo.
- ✓ Si se requiere usar el agua recolectada para consumo humano, se recomienda hacer una investigación para verificar que filtros son necesarios aplicarlos dentro del sistema, así eliminar con virus, bacterias y otros agentes no recomendables. Entre los tipos de filtros se podrá usar de carbón activado, filtro de grava, hasta desinfección por UV.
- ✓ Ampliar la investigación como una propuesta para comprobar la influencia que tiene la captación de agua pluvial mediante techos en el casco urbano de la ciudad de Jaén ante las inundaciones generadas por los eventos de máximas precipitaciones. Comprobando cuanto es el caudal de agua que ya no discurrirá a las calles, sino que se almacenará para suministro no potable y evitar así los niveles de inundación que normalmente se daban.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ANA. (2015). *Gestión del agua en el Perú*. San Isidro.
- Anaya, M. (1998). *Sistemas de captación de aguas de lluvia para uso domestico en America Latina y el Caribe*. Mexico: IICA.
- Aparicio, F. J. (1996). *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. Editorial Limusa S.A.
- Aqua España. (2016). *Guía técnica de aprovechamiento de aguas pluviales en edificios*. Madrid: Aqua España.
- Aranda, L. E. (2015). *Diseño del sistema de captación de agua pluvial en techos como alternativa para el ahorro de agua potable en la ciudad de Huancayo 2014*. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Ballén, J., Galarza, M., & Ortiz, R. (2006). Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia. *Seminario Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento urbano de agua*, (pág. 12). Joao Pessoa.
- Banco Mundial. (2012). *¿Está el piso parejo para los niños en el Perú? Medicion de la evolucion de oportunidades*. Lima: GALESE SAC.
- BBC. (2017). *¿Se está acabando el agua dulce en el mundo?* BBC.
- BBC. (30 de Enero de 2018). "Día cero": 4 claves para entender por qué Ciudad del Cabo puede ser la primera gran ciudad del mundo en quedarse sin agua. BBC.
- BID. (2019). *Agua en America Latina*. Bogotá.
- Campos. (2019). Agua en America Latina. (BID, Entrevistador)
- CEPIS. (1988). *Sistema de abastecimiento de agua para pequeñas comunidades*. La Haya: Centro Internacional de Agua y Saneamiento.
- colaboradores de Wikipedia. (19 de Marzo de 2019). "Aljibe". Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/Aljibe>
- Colaboradores de Wikipedia. (11 de Marzo de 2019). *Sistemas de captación de lluvias*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_captaci%C3%B3n_de_agua_de_lluvias
- Colaboradores de Wikipedia. (21 de Junio de 2019). *Tipón*. Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/Tip%C3%B3n>

- FAO . (2009). *Tierra y Población*. Roma: AQUASTAT, FAOSTAT: Oficina del Censo de Estados Unidos.
- FAO. (2000). *Manual de captacion y aprovechamiento de agua de lluvia expeirencias en America Latina*. Santiago: Oficina principal de desarrollo de agua y suelo.
- FAO. (2013). Captacion de agua de lluvia de techos. En *Captacion y almacenamiento de agua de lluvia, opciones técnicas para la agricultura familiar en America Latina y el Caribe*. Santiago: FIDA.
- Fernandez, I. (2009). *Aprovechamiento de aguas pluviales*. Catalunya: Escuela Politecnica superior de Barcelona.
- Hernández, L. (2014). *Sistema de aprovechamiento de agua de lluvia para el abastecimiento de agua potable en el caserío La Florida, Huasmín, Celendin, Cajamarca*. Cajamarca: Universidad Privada del Norte.
- Herrera, L. A. (2010). *Estudio de Alternativas para le uso sustentable de agua de lluvia*. Mexico D.F.: Instituto Politécnico Nacional.
- Iagua. (2019). Una innovadora app para mejorar la captación de agua de lluvia en África.
- INEI. (2018). *Perú: Formas de acceso al agua y saneamiento básico*. Lima: Instituto Nacional de estadística e informatica.
- IS. 010. (2006). Instalaciones Sanitarias. *Reglamento Nacional de Edificaciones*.
- León, L. (2016). *Aprovechamiento sostenible de recursos hidricos pluviales en zonas residenciales*. Lima: Ponitificia Universidad Católica del Perú.
- Mekonnen M., A. H. (2016). *Four billion people facing severe water scacity*. Science Advances Vol. 2.
- MPJ. (2017). *PLAN DIRECTOR*. Jaén.
- MTC. (2014). *Manual de Hidrología, Hidráulica y drenaje*. Lima.
- ONU. (2018). "Agua". Obtenido de <https://www.un.org/es/sections/issues-depth/water/index.html>
- ONU. (2018). *Sustainable Development Goal 6: Synthesis Report 2018 on Water and Sanitation*. Nueva York.
- OPS/UNATSABAR. (2004). *Guía de diseño para la captación del agua de lluvia*. Lima.
- OS. 010. (2006). Obras de Saneamiento. *Reglamento Nacional de Edificaciones*.
- OS. 060. (2006). Obras de Saneamiento. *Reglamento Nacional de Edificaciones*.
- Palacio, N. (2010). *PROPUESTA DE UN SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE AGUA LLUVIA, COMO ALTERNATIVA PARA EL AHORRO DE AGUA POTABLE, EN LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA MARÍA AUXILIADORA DE CALDAS, ANTIOQUIA*. Antioquia: Universidad de Antioquia.

- Pimentel, G., & Palacios, O. (22 de Marzo de 2017). El agua es un bien escaso que el Perú no sabe administrar. *RPP Noticias*, pág. 10.
- PNUD. (10 de Septiembre de 2010). El Perú muestra mayor desigualdad de la región en acceso al agua potable. *El Comercio*.
- Regante, E. (2016). *Galeón*. Obtenido de www.galeón.com/elregante
- Rodriguez, B. (4 de Marzo de 2013). *EL ATRIUM, IMPLUVIUM Y ESTANCIAS DE SERVICIO*. Obtenido de <https://bernardorodriguezcerezuelaipat2013.blogspot.com/2013/03/el-atrium-impluvium-y-estancias-de.html>
- UNESCO. (2019). *NO DEJAR A NADIE ATRAS*. París.
- Villón, M. (2002). *Hidrología*. San José: ITCR.
- Wikipedia. (2010). Domus Romana.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios en primer lugar, por permitirme llegar hasta esta etapa de mi vida académica y lograr uno de los objetivos más anhelados.

A mi alma máter Universidad Nacional de Jaén (UNJ) autoridades e ingenieros que me impartieron sus enseñanzas profesionales y éticas para ser mejor en el día a día, con valores, principios y competitividad.

Al ingeniero César Jesús Díaz Coronel, por sus aportes y observaciones necesarias para la ejecución de mi tesis.

Al ingeniero Víctor Olivos por su apoyo incondicional a la distancia en los temas concernientes a la investigación.

DEDICATORIA

A Dios por brindarme constancia, paciencia y sabiduría para mi formación universitaria y la ejecución satisfactoria de mi presente investigación.

A mi padre José, por su correcto carácter en mi formación y disciplina que ahora da los frutos de muchos años de constancia, responsabilidad, trabajo, sacrificio y entrega que supo brindarme correctamente con el ejemplo.

A mi familia, por los consejos y enseñanzas impartidas para forjarme y superarme en el día a día, brindándome su apoyo para seguir adelante en lo que me proponga.

ANEXOS

ANEXO A

**(Precipitación mensual de las
estaciones meteorológicas)**

ESTACIÓN: LA CASCARILLA														
Departamento :	CAJAMARCA			Latitud:	5° 40' 18.3"				Distrito :	JAÉN				
Provincia :	JAÉN			Longitud:	78° 53' 51.6"				Altitud :	1991 msnm.				
Precipitación mensual														
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ANUAL	
2000	162.8	150.8	310.3	232.8	265.5	150.3	99.6	78.2	187.5	31.4	51.8	123.1	1844.1	
2001	220.2	98.3	106.3	212.9	185.4	21.8	50.5	30.2	124.8	178.2	257.4	140.6	1626.6	
2002	132.5	203.9	120.8	154.8	198.1	40.5	261.5	64.8	67.7	182.4	190	152.7	1769.7	
2003	124.4	140.7	210.7	179	228.3	136.1	61.4	66	40.6	174.2	140.8	142	1644.2	
2004	111.6	79.9	143.3	168.1	227	80.2	57.4	27.8	82.8	157.3	235.9	160.2	1531.5	
2005	80.6	226.6	269	167.6	124.8	95.7	28.2	37.3	65.7	209.8	185.6	206.4	1697.3	
2006	240.5	276.2	285.9	111.9	89.0	159.7	23.3	25.7	71.2	161.3	233.7	270.4	1948.8	
2007	226.5	80.7	170.3	150.1	155	85.9	80.6	68.2	84.6	243.4	367.3	197	1909.6	
2008	177.4	417.7	258.1	109.7	138	98.2	87.1	65.6	36.1	165	190.3	26	1769.2	
2009	372.8	195.4	341.4	226.5	191.2	81.8	148.8	60.7	72.7	171.1	135.9	165.9	2164.2	
2010	132.4	209.5	92.4	254.2	49.6	42.8	11.1	20.9	54.2	112	60.4	156.6	1196.1	
2011	215.2	171.8	171	193.6	82.3	70.4	71.8	27.8	90.8	128.7	197.6	402.6	1823.6	
2012	399.8	270.2	278.3	234.6	82.2	57.5	96.7	50.1	26.9	183.4	142.6	249.4	2071.7	
2013	124.8	229.5	180.7	92.5	304.2	94.6	68	88.9	53.5	188.2	37.8	150.1	1612.8	
2014	215.3	191.9	430.3	149.5	427.8	108.5	35.3	59.1	57.5	109.4	177.1	266.9	2228.6	
2015	437.6	198.3	528	218.8	197.3	38.9	179.8	72.2	55.1	40.8	122.5	137.9	2227.2	
2016	250.2	126.3	166.9	285.9	95.8	48	81.6	62.3	81.6	34.2	123.9	164.0	1520.7	
2017	287.5	178	364.6	229.5	163.1	129.4	33.1	39.9	65.3	143.6	163.2	107.4	1904.6	
2018	257	196.1	135.6	156.8	277.6	55.7	71.8	44.1	20.5	207.9	371.5	134.2	1928.8	
PROMEDIO	219.43	191.67	240.20	185.73	183.28	84.00	81.45	52.09	70.48	148.54	178.17	176.50	1811.5	

ESTACIÓN: CHONTALÍ														
Departamento :	CAJAMARCA			Latitud:	5° 38' 38"				Distrito :	CHONTALÍ				
Provincia :	JAÉN			Longitud:	79° 5' 24"				Altitud :	1626.5				
Precipitación mensual														
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ANUAL	
2000	32.4	136.3	283.4	191.7	186.6	69.4	38.9	31.3	76.8	18.5	20.6	119.6	1205.50	
2001	201.7	76.1	133.3	117.1	71.2	14.2	62.8	24.1	50.3	68.1	185.8	117.5	1122.20	
2002	56.8	105.7	98.8	181.2	119.5	28.7	92.4	7.4	39.1	125.4	146.8	105.6	1107.40	
2003	119.6	108.5	146.6	175.5	140.4	132.0	37.1	11.3	30.6	148.7	103.6	112	1265.92	
2004	93	35.1	135.6	137.0	105.1	63.8	25.2	21.7	69.2	158.1	111.3	140.8	1095.93	
2005	121.1	206.4	278.4	141.8	104.2	75.1	8.4	11.7	40.3	128.4	116.4	202.1	1434.30	
2006	153.3	172	250.6	130.5	55.8	110.3	18.6	14.1	56.7	118.5	172.7	112.5	1365.57	
2007	149.5	47.2	191.2	162.5	120.5	90.7	52.3	56	22.3	155.8	303.3	94	1445.30	
2008	121.5	303.3	163	167.4	63.9	64.9	74.3	44	49.7	164.5	234.9	47.6	1499.00	
2009	293.5	135.4	209.9	171.8	109	70.2	74.8	29.1	44.2	69	100.7	131.1	1438.70	
2010	61.8	248.6	141.2	202	83.8	54.3	21.1	23.7	38.1	81.6	81.2	99.2	1136.60	
2011	109.1	180.2	144.9	215.3	70.7	41.2	41.6	18.2	166.1	86.9	143.9	269.1	1487.20	
2012	305.5	180.2	202.2	223.9	92.9	48.5	40.5	38.5	15.2	245.5	132.4	151.3	1676.60	
2013	99.4	95.9	128.7	50.9	238.5	55.3	91.9	63.7	43.7	101.8	36.1	114.3	1120.20	
2014	103.7	117.9	206.4	81.7	202.7	94.3	37.4	39.9	32.5	97.2	113.8	136.8	1264.30	
2015	274.8	115.3	385.5	120.9	171.6	41.2	87	27.5	45.7	31.7	70.7	84.2	1456.10	
2016	85.9	88.6	136.5	226.3	38.4	57.9	38.0	34.9	135.6	161.9	91.6	92.3	1187.83	
2017	100.3	132.5	363.1	225.5	99.5	90.8	35.6	51	45.1	98.9	44.2	82.5	1369.06	
2018	147.2	71.3	133.8	110.1	225.5	36.1	24.8	19.5	53.4	120	291.8	94.5	1328.00	
Promedio	138.43	134.55	196.48	159.64	121.04	65.21	47.51	29.87	55.50	114.76	131.67	121.42	1316.09	

ESTACIÓN: COCHALAN													
Departamento :	CAJAMARCA			Latitud: 5° 27' 59"					Distrito : LA COIPA				
Provincia :	SAN IGNACIO			Longitud: 78° 59' 19"					Altitud : 753.7 msnm.				
Precipitación mensual													
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ANUAL
2000	84.4	116.5	222.8	127	160	129.9	39.3	42.9	133.4	75.5	41.3	120.4	1293.40
2001	163.8	55.0	186.3	123.8	62.7	25.7	33.4	27.7	30.8	96.7	208.2	78.9	1093.00
2002	89.8	93.1	86.8	177.4	78.9	18.3	79.1	16.5	9.2	115.3	132.3	141.8	1038.50
2003	62	56.4	133.8	78.2	103.9	117.6	41	13.0	21.4	70.7	127.3	131.3	956.60
2004	65	27.1	127.5	111	83	41	19	17.6	39.3	130.0	109.4	143.2	913.02
2005	103.9	171.3	242.7	105.8	49.3	66.9	6.3	9.5	24.7	105.6	114.4	210.5	1210.76
2006	170.4	112.1	218.4	97.3	47.8	98.3	14	23.5	34.7	65.2	169.7	231.4	1282.82
2007	173.9	16.3	137.2	86.2	153.4	87.6	25.5	34.1	15.5	130.7	148.1	90	1098.49
2008	140.5	376.4	192.2	165.9	62.6	38	51.5	25.8	54.7	153.1	170.8	17.4	1448.90
2009	226.7	111.5	193.8	146.5	72.3	28.9	48	18.4	45.2	99.6	141.1	133.2	1265.20
2010	81.3	125.0	66.0	93.3	130.9	63.6	10.5	15.3	3.2	50.7	113.5	115.6	868.90
2011	72.5	77.6	159.5	202.1	68.1	24.8	68.1	19.1	43.3	97.4	136.6	265.6	1234.70
2012	248.1	163.5	217.5	95.7	48.4	38.1	44	17.9	11.6	152.9	145.8	110.9	1294.40
2013	67.8	73.2	119.8	51.2	235.6	67.8	44.8	48.6	45.7	89.1	7.8	113.9	965.30
2014	160.9	123.8	268.1	44.8	186.8	70.8	30.7	38.7	23.3	51.8	256.7	125.5	1381.90
2015	108.9	37.8	336.0	120.6	65.7	58.4	54.6	22.3	1.2	41.3	84.8	79.2	1010.83
2016	36.5	47.8	81.9	141.4	31.2	51.6	28.6	28.3	83	133.1	52.5	93.9	809.80
2017	86.1	137.2	194.7	237.8	80.9	57.4	24.6	22.8	18.3	36.2	83.1	83	1062.10
2018	114.2	112.0	69.0	64.9	148.2	19	16.7	18.3	7.2	97.9	177.3	60.3	905.00
Promedio	118.77	107.03	171.27	119.52	98.41	58.09	35.78	24.23	33.98	94.36	127.40	123.47	1112.30

ESTACIÓN: BAGUA CHICA														
Departamento :	AMAZONAS			Latitud:	5° 39' 41.34"					Distrito :	BAGUA GRANDE			
Provincia :	UTCUBAMBA			Longitud:	78° 32' 2.25"					Altitud :	397 msnm.			
Precipitación mensual														
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ANUAL	
2000	31.6	40.0	130.1	115.8	79.2	69.3	41.4	35.5	44.3	26.9	29.4	62.9	706.40	
2001	20.9	51.3	47.6	59.8	52.1	1.6	11.7	5.8	70.8	44.2	32.3	156.9	555.00	
2002	42.1	53.4	49.8	57.7	58.4	12.0	111.1	1.4	25.8	95.0	107.6	25.9	640.22	
2003	27.3	27.6	104.3	25.9	87.7	64.2	19.7	8.0	81.0	72.7	38.3	56.6	613.30	
2004	6.5	20.8	42.6	94.5	245.5	40.4	39.9	21.5	9.5	123.5	55.7	53.3	753.70	
2005	36.9	73.9	129.4	101.4	61.1	73.4	19.0	22.0	5.6	66.2	92.8	128.4	810.10	
2006	81.6	57.8	125.2	10.7	53.9	71.7	10.4	22.5	58.5	57.9	47.6	40.5	638.27	
2007	65.6	8.4	54.7	124.0	83.9	67.5	72.8	24.2	33.3	96.5	143.0	50.4	824.30	
2008	51.2	98.8	84.2	37.1	72.1	46.2	30.6	33.9	30.6	87.4	86.7	27.5	686.30	
2009	117.8	54.6	63.6	110.3	71.0	46.1	32.9	37.1	43.0	50.4	87.2	10.9	724.90	
2010	3.6	69.0	30.0	62.2	73.8	24.3	54.1	28.2	20.9	61.8	84.5	76.6	589.00	
2011	70.2	35.2	101.9	46.5	72.1	54.3	24.2	6.3	27.9	34.2	88.5	159.5	720.80	
2012	73.1	102.5	56.1	90.7	29.4	24.2	35.7	5.9	5.3	129.8	46.4	75.7	674.80	
2013	45.4	60.6	56.3	18.6	123.4	18.8	15.9	80.3	31.3	163.1	22.5	13.3	649.50	
2014	92.7	68.0	125.4	75.9	123.8	37.0	44.7	66.1	51.5	42.3	61.0	84.2	872.60	
2015	105.1	81.1	212.7	86.4	58.3	24.2	55.8	43.7	6.8	43.1	85.3	40.7	843.16	
2016	66.6	49.9	127.1	74.5	81.1	16.5	15.9	24.4	77.6	30.4	26.9	62	652.92	
2017	73.1	52.6	195.3	90.1	46.9	86.5	28.6	41.3	28.4	38.9	25.0	69.9	776.55	
2018	38.2	68.2	56.3	55.1	113.1	33.4	44.7	9.9	13.6	33.0	51.9	72.2	589.60	
Promedio	55.24	56.51	94.35	70.38	83.51	42.72	37.32	27.26	35.03	68.28	63.82	66.71	701.13	

ESTACIÓN: EL PINTOR													
Departamento :	AMAZONAS	Latitud: 5° 45' 22.32"				Distrito :				BAGUA GRANDE			
Provincia :	UTCUBAMBA	Longitud: 78° 31' 22.3"				Altitud :				533 msnm.			
Precipitación mensual													
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ANUAL
2000	63.9	58.8	128.8	124.5	129.9	76.1	76.1	32.3	53	29.1	14.9	91.3	878.7
2001	23.3	22.4	75.3	39.6	57.7	5	16.4	1.7	40.6	61.4	91.7	113	548.1
2002	21.3	53	47.3	78.1	60.9	2.1	85.3	11.6	19.7	105.7	80.7	25.5	591.2
2003	39.9	38.7	91.9	73.7	62.3	48.6	35.5	8.4	4.9	72.9	78.2	81.4	636.4
2004	22.1	28.4	62.8	126	127.4	13.7	30.8	16.4	21.8	199.5	70.6	114.9	834.4
2005	21.2	75.3	115.8	44.7	13	55.2	4.3	16.1	3.9	114.9	92.5	131.4	688.3
2006	84.9	32.5	141.2	33.4	14.4	61.9	9.4	20.5	45.8	57.9	46.8	48	596.7
2007	124.2	22.4	25.1	123.5	64.9	8.1	39.7	9.8	24.2	126.5	220.5	25.7	814.6
2008	37.9	130.7	180.9	49.8	68.3	52.8	39.2	43.6	23	40.9	103.4	43	813.5
2009	114.8	107	75.4	168.2	59.2	44	34.7	20.8	31.8	36.6	100.5	13.7	806.7
2010	1.6	74.7	25.3	99.3	41.7	14.9	60.5	3.3	22.9	88.4	52.2	67.6	552.4
2011	26.3	46.5	145.8	131.6	47.9	23.9	18.5	8.5	45.8	56.5	53.8	174.4	779.5
2012	113.8	58	47.8	165.5	10	20.6	13	0	6.3	122.6	122.7	61.5	741.8
2013	34.4	48.5	62.4	15.4	71.1	8.1	18	68.4	22.2	168.3	7.3	42.1	566.2
2014	66.8	34.1	144.3	83.7	184.6	27.3	8.2	52.1	26.9	39.9	67.7	96.7	832.3
2015	156	107.7	219.3	48.4	90.5	12.9	48.3	34.8	5.3	27.2	67	28.4	845.8
2016	72.6	52.6	131	100.8	68.9	11.8	13.1	21.1	60.8	34.4	32.5	91.3	690.9
2017	65.3	77.3	81.8	253.5	39.8	62.4	3	36.2	52.3	52.9	24.4	53.4	802.3
2018	54	63.3	45.9	49.6	135.4	29.7	29	6.8	10.2	32.6	138.2	51.4	646.1
Promedio	60.23	59.57	97.27	95.23	70.94	30.48	30.68	21.70	27.44	77.27	77.14	71.30	719.26

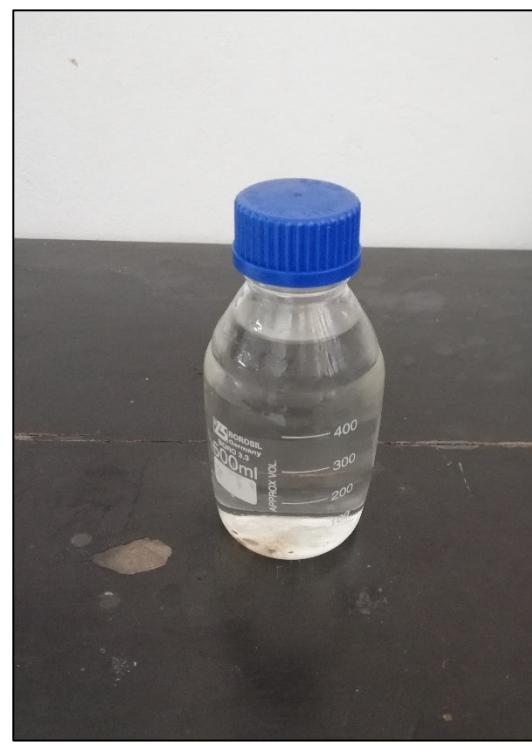
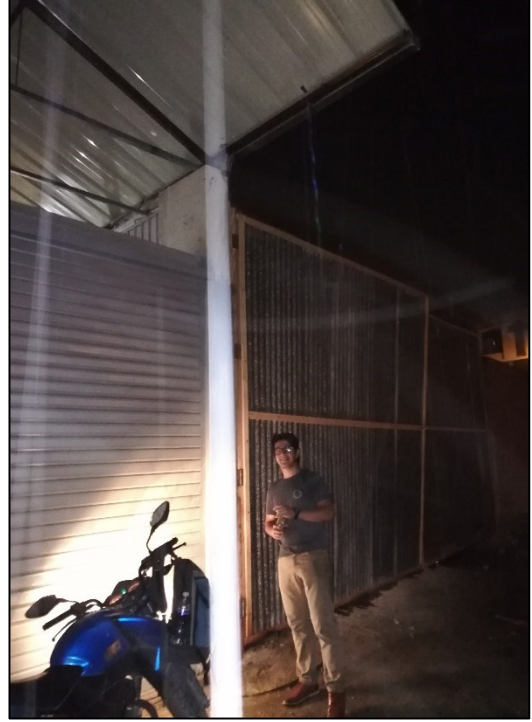
ESTACIÓN: PUENTE CHUNCHUCA														
Departamento :	CAJAMARCA			Latitud:	5° 56' 32"					Distrito :	COLASAY			
Provincia :	JAEN			Longitud:	78° 51' 23"					Altitud :	589 msnm.			
Precipitación mensual														
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ANUAL	
2001	26.9	27.2	65.5	30.1	57.5	7.0	14.5	1.6	64.5	78.6	35.1	68.3	476.8	
2002	13.4	86.2	59.5	128.6	35.5	10.6	35.9	0.0	6.9	87.2	63.1	61.9	588.8	
2003	31.1	37.6	92.3	44	56.3	77.1	6.5	0.0	4	73.9	123.7	119.3	665.8	
2004	40.5	17.0	76.5	127.7	94.2	9.7	4.6	2.7	9.8	115.1	71.6	83.3	652.7	
2005	2.7	130.2	123.9	52.7	43.9	39.7	11.4	11.5	3.2	153.2	20.4	71.1	663.9	
2006	128.4	88.2	99.1	32	48.9	0.0	7.9	10.0	12.5	62.5	37.1	56	582.7	
2007	50.9	37.6	136.4	93.1	147.4	5.8	18.2	25.8	0	208.4	172.5	41.3	937.4	
2008	36.6	230.5	197.1	31	5.6	62.0	0.0	13.4	16	61.4	159.8	10.5	823.9	
2009	207.5	49.7	137.7	163.8	73.8	42.7	48.2	23.7	33.5	85.2	86.9	83.5	1036.2	
2010	15.7	135.1	83.7	99	55.6	0.0	0.0	1.5	4	99.5	52.3	40.4	586.8	
2011	28.5	98.1	68.7	107.5	12.7	10.5	3.6	2.2	15.4	56.6	38.0	211.3	653.1	
2012	199.6	79.6	139.9	128.2	12.4	7.2	0.0	0.0	4.3	184.4	71.0	94.8	921.4	
2013	51.5	49.0	57.5	27.9	91.8	33.2	24.6	15.8	28.3	41.9	24.7	31.7	477.9	
2014	14.0	48.3	117.8	57.6	101.9	22.6	12.5	22.4	5.8	10.2	86.5	69.2	568.8	
2015	278.6	48.5	168.8	80.9	44.9	9.5	20.6	0.0	3.2	10.7	26.8	28.5	721.0	
2016	41.8	38.5	23.9	48.2	25.3	7.4	14.9	14.7	7.7	13.5	0.0	48.4	284.3	
2017	37.5	82.0	189.8	126.4	77.3	12.3	8.7	18.0	16.5	16	28.0	61	673.5	
2018	43.6	17.6	35.2	35.1	65.7	4.2	0.0	5.6	0	12.7	53.9	15.9	289.5	
Promedio	69.4	72.3	104.1	78.5	58.4	20.1	12.9	9.4	13.1	76.2	64.0	66.5	644.7	

ANEXO B

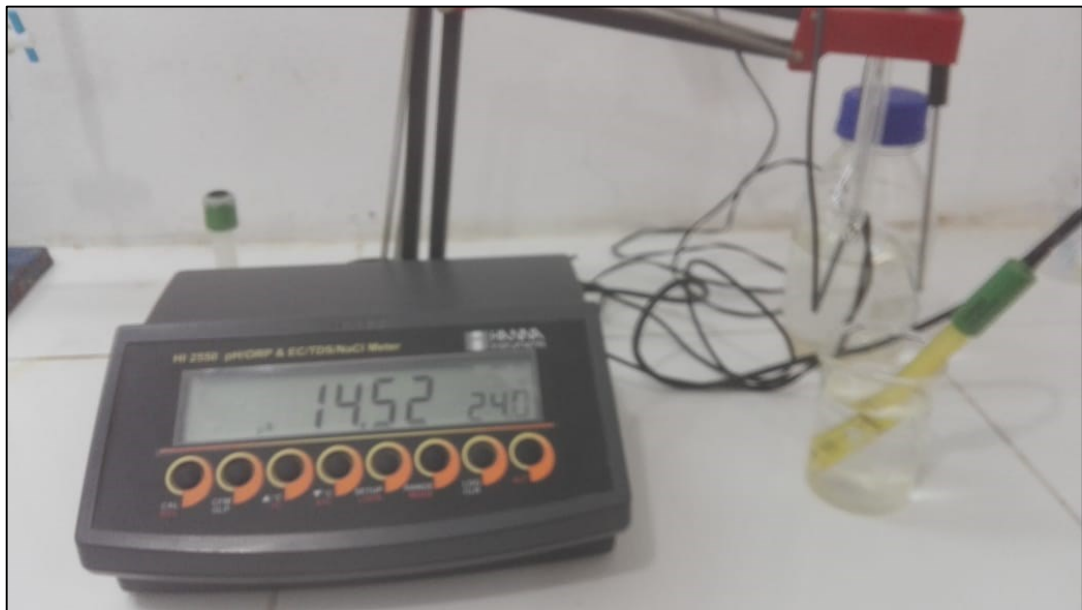
(Panel fotográfico)



Anexo B1. a) Visita técnica a estación meteorológica “Jaén”. b) Pluviómetro convencional. c) recolección de datos pluviométricos en tiempo real. d) Pluviómetro automático “Rain gauge”



Anexo B2. a) Vivienda donde se tomará la muestra b) Inicio de precipitación c) Toma de muestra después de 15 min d) Muestra de agua de lluvia lista para llevar al laboratorio.



Anexo B3. Procesamiento del análisis físico químico del agua de lluvia captada.

ANEXO C

(Resultados ensayo de agua)

ENSAYO DE AGUA DE CAPTACIÓN PLUVIAL N° 1652-2019

Solicitante : Bach. Ing. Civil José Manuel Requejo Salazar
 Fecha de Recepción : 30-09-2019
 Muestra traída al laboratorio para los ensayos, por el solicitante.

Título de la investigación:

"Sistema de captación de agua pluvial en una vivienda unifamiliar para fines sanitarios y uso doméstico en la ciudad de Jaén - Perú"

I.- Datos del Titular

Nombre y Apellidos : José Manuel Requejo Salazar
 Distrito : Jaén
 Provincia : Jaén

II.- Datos de la muestra

Tipo de muestra : Agua de captación pluvial

III. Resultados

Ensayos Físicoquímicos	Unidades	Muestra	L.M.P (*) Agua de Consumo Humano
Color, Pt-Co	UCV-Pt-Co	87.0	20 UCV-Pt-Co
Conductividad	µS/cm	17.73	1500 µS/cm
Potencial de Iones Hidrógeno	pH	6.70	<6.5-8.5>
Dureza	ppm CaCO ₃	56.83	menor a 250
Turbidez	NTU	21.7	menor a 5 NTU

Ensayos Microbiológicos	Unidades	Muestra	L.M.P (*) Agua de Consumo Humano
Coliformes Termotolerantes a 44.5°C	NMP/100 mL.	0.0	0

(*) LMP: Límites máximos permisibles

IV.- Conclusiones

Los resultados de los ensayos físicoquímicos, indican que la muestra **NO PUEDE SER CONSIDERADA AGUA PARA CONSUMO HUMANO.**



Jorge A. Delgado Soto
 ING. RESPONSABLE
 CIP. 56757



Jaén 02 de Octubre del 2019

Señor Bachiller: José Manuel Requejo Salazar

Por el presente informe le hacemos llegar los protocolos empleados para los ensayos fisicoquímicos y microbiológicos del agua de conexión domiciliar.

Ensayos Físicoquímico

Conductividad

Medición utilizando el equipo multiparámetro marca HANNA HI-2550, calibrado con solución HI7030, 1288S $\mu\text{S/cm}$. Norma: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B, 22nd Ed. (Incluye Muestreo). Título: Conductivity. Laboratory Method

Color Verdadero

Método Estándar Platino-Cobalto espectrofotométrico, adaptado al National Council for Air and Stream Improvement (NCASI). Fotocolorimetría, utilizando el equipo DR-900 marca HASH. Norma: SMEWW-Ed.20 (2120C) modificado

Potencial de Iones Hidrógeno (pH)

Medición directa con el equipo multiparámetro marca HANNA HI-2550, previamente calibrado en tres puntos con los Buffers HI 70004P (pH 4.01), HI 70007P (pH 7.01) y HI 70010 (pH 10.01). Norma: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H⁺ B, 22nd Ed. (Incluye muestreo) Título: pH Value. Electrometric Method.

Dureza

Determinación por complexometría titulación con EDTA en presencia de indicador Negro eriocromo T

Turbidez

Medición con equipo Turbidímetro marca HANNA HI-98703, normado por la EPA, cumple y sobrepasa los requisitos de la USEPA 180.1, para aguas residuales y Método estándar 2130B, para agua potable. Norma: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130 B, 22nd Ed Turbidity. Título: Nephelometric Method.

Ensayos Microbiológico

Coliformes Termotolerantes o Fecales (NMP)

Norma: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 E-2, 22nd Ed. Título: Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure.

Sin otro en particular nos despedimos de Usted reiterándoles nuestra especial consideración

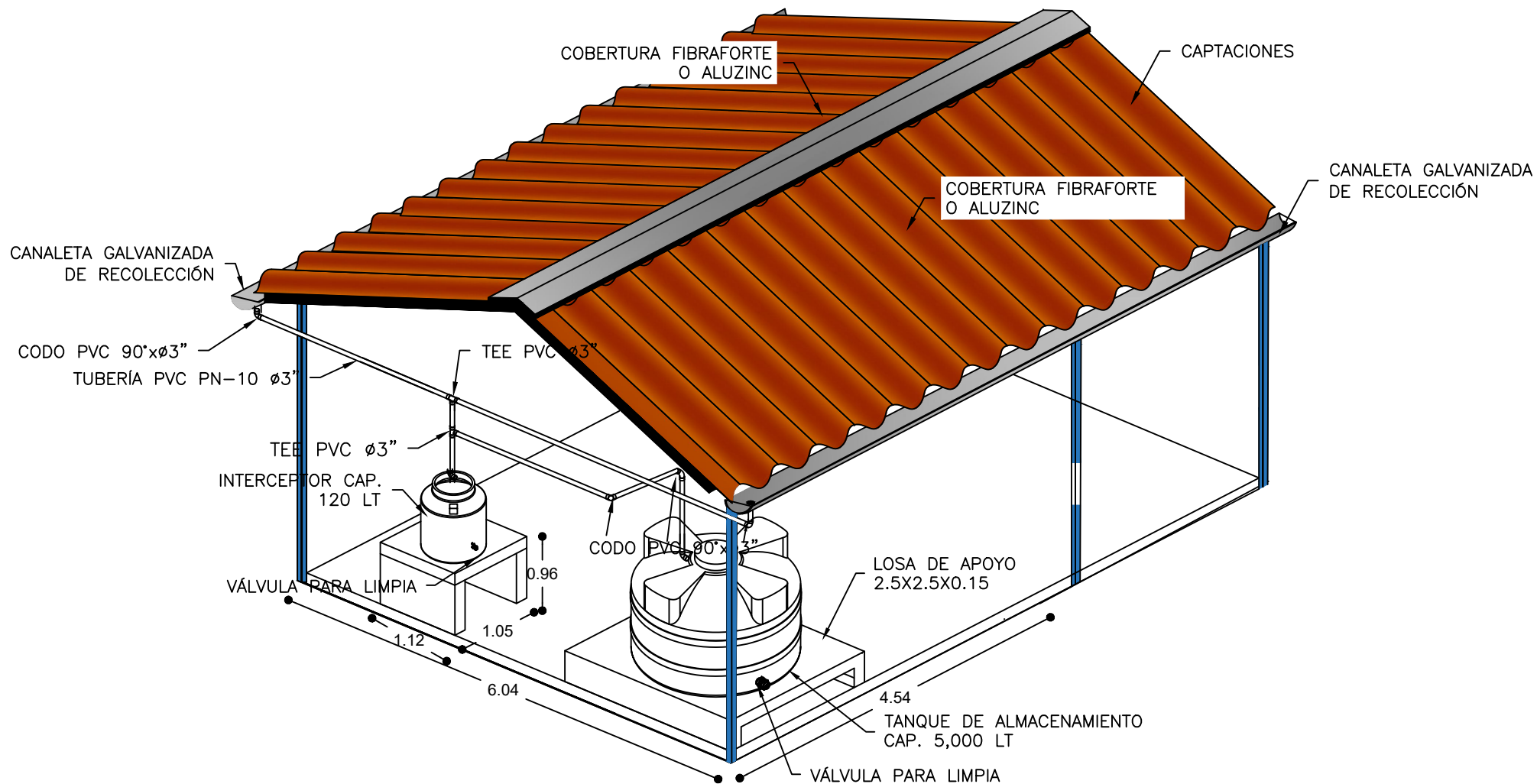
Atentamente:


Jorge A. Delgado Soto
ING. RESPONSABLE
CIP. 56757

ANEXO D

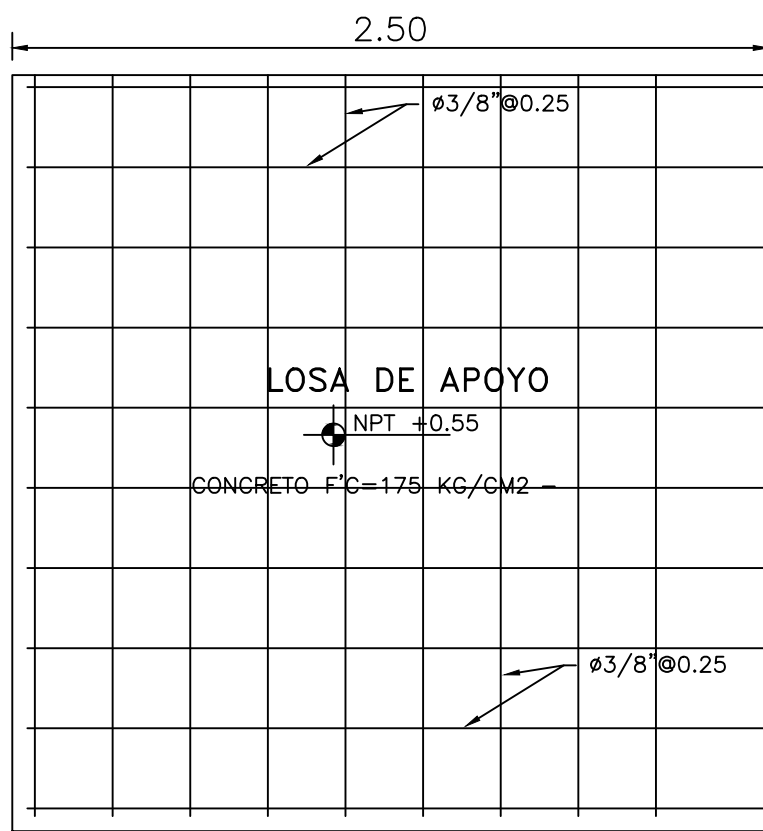
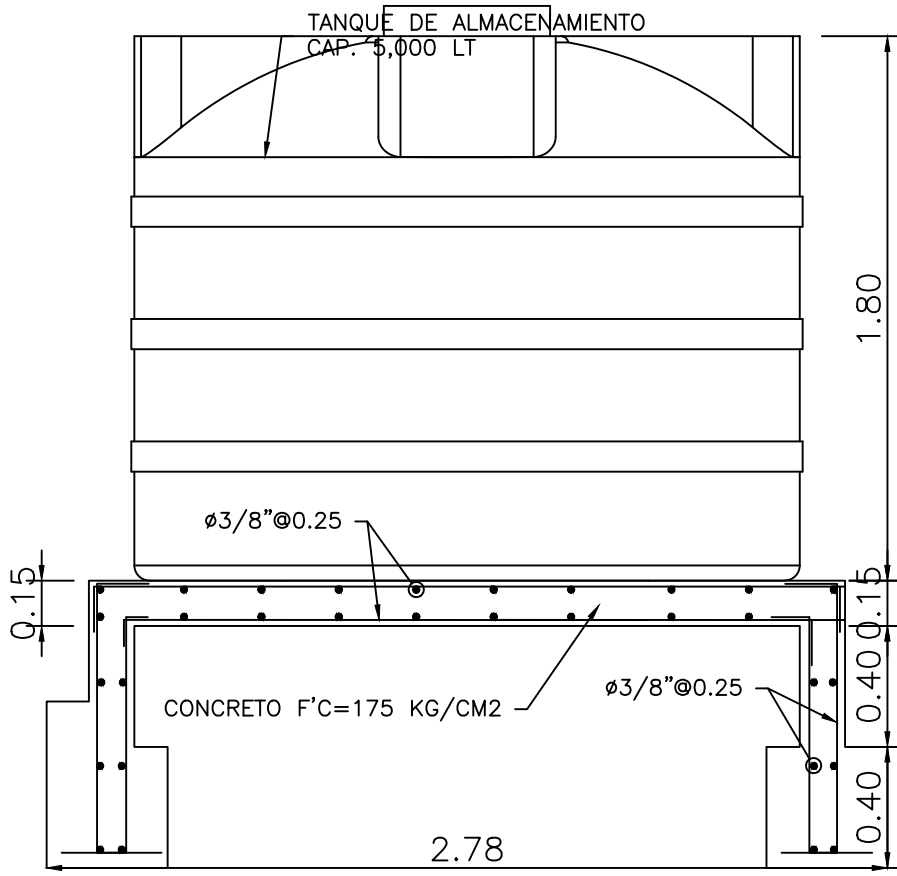
(Planos)



ISIMÉTRICO: ESQUEMA HIDRÁULICO DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA

ESC. 1/75

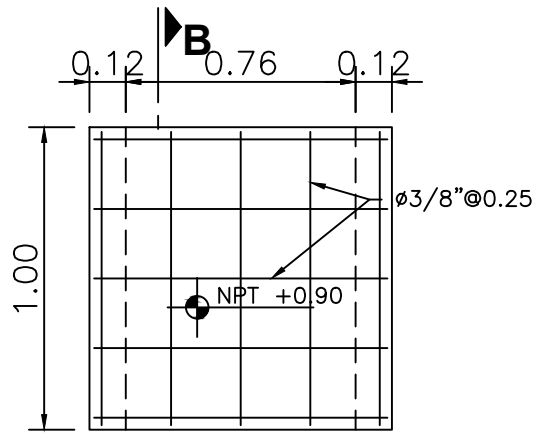
UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN			
Bach. José Manuel Requejo Salazar		Facultad de Ing. civil	
"Sistema de captación de agua pluvial en una vivienda unifamiliar para fines sanitarios y usos domesticos en la ciudad de Jaén - Perú"			
Escala 1:75	Jaén - Cajamarca - Perú	Octubre 2019	



LOSA DE APOYO DE TANQUES

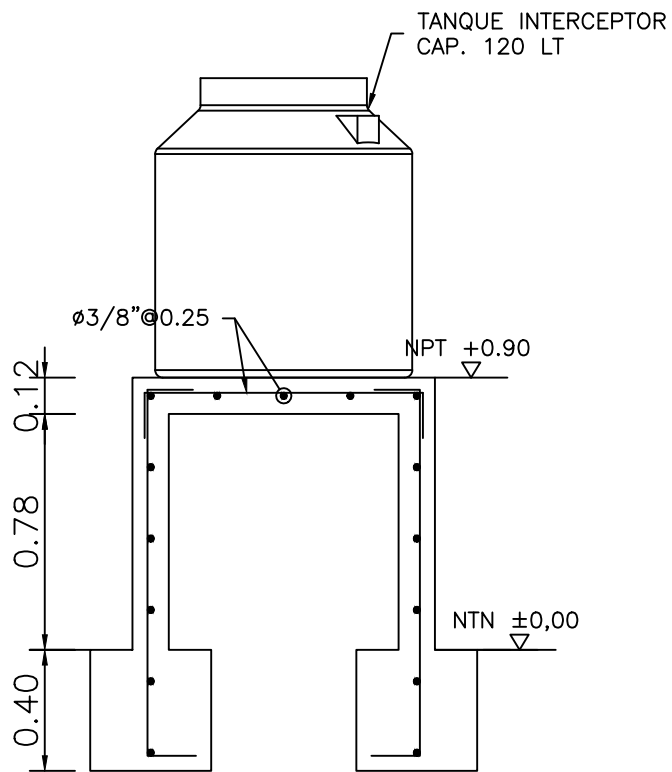
UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN		
Bach. José Manuel Requejo Salazar	Facultad de Ing. civil	
"Sistema de captación de agua pluvial en una vivienda unifamiliar para fines sanitarios y usos domesticos en la ciudad de Jaén - Perú"		
Escala 1:25	Jaén - Cajamarca - Perú	Octubre 2019





LOSA DE APOYO: TANQUE INTERCEPTOR 120 LT

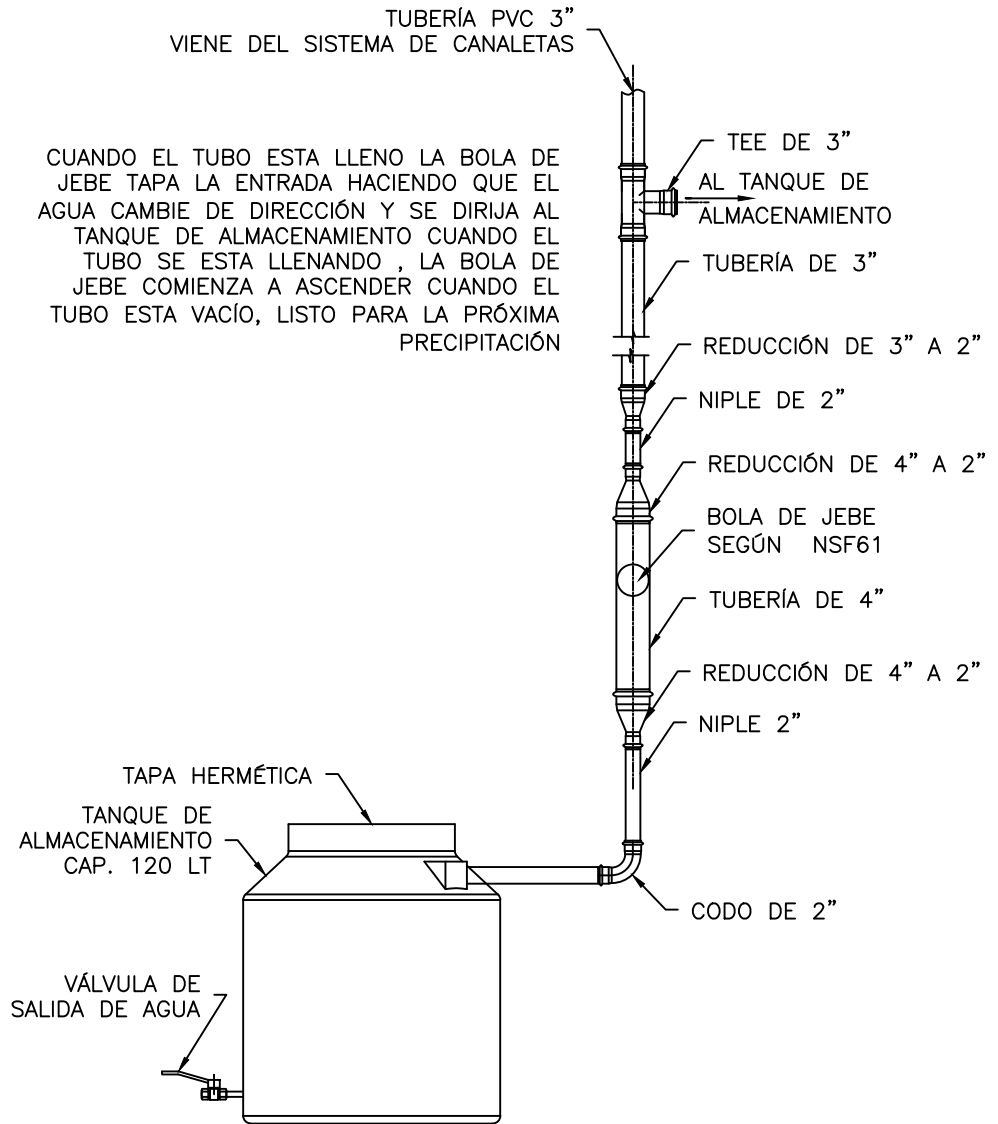
ESC. 1:25



CORTE B-B

ESC. 1:25

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN			
Bach. José Manuel Requejo Salazar		Facultad de Ing. civil	
"Sistema de captación de agua pluvial en una vivienda unifamiliar para fines sanitarios y usos domesticos en la ciudad de Jaén - Perú"			
Escala 1:25	Jaén - Cajamarca - Perú	Octubre 2019	



INTERCEPTOR DE LAS PRIMERAS AGUAS

ESC. 1/25

NORMAS TÉCNICAS VIGENTES

PRODUCTO	NORMA/ESPEC. TECNICA
TUBERÍA GALVANIZADA	NORMA ISO 65 SERIE I (ESTÁNDAR)
ACCESORIOS DE FIERRO GALVANIZADA	NORMA NTP ISO 49 : 1997
TUBERÍA PVC S/P PN10	NORMA NTP 399.002 : 2015
ACCESORIOS PVC S/P PN10	NORMA NTP 399.019 : 2004
VÁLVULA DE COMPUERTA DE CIERRE ESFÉRICO C/MANIJA	NORMA NTP 350.084 : 1998

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Bach. José Manuel Requejo Salazar

Facultad de Ing. civil

"Sistema de captación de agua pluvial en una vivienda unifamiliar para fines sanitarios y usos domesticos en la ciudad de Jaén - Perú"

Escala 1:25

Jaén - Cajamarca - Perú

Octubre 2019

