

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**APROVECHAMIENTO SOSTENIBLE DE RECURSOS
HÍDRICOS PLUVIALES EN ZONAS RESIDENCIALES**

Tesis para obtener el título de ingeniero civil, que presenta el bachiller:

LUIS MARTÍN LEÓN ROMERO

Asesor: MSc. Ing. Richard Paul Pehovaz Alvarez

Lima, Noviembre del 2016

RESUMEN

La presente tesis aborda el tema del aprovechamiento de agua mediante un sistema de captación de aguas pluviales, la cual es una práctica poco utilizada, pero interesante tanto en el aspecto ambiental como en el aspecto económico. El sistema se basa en la captación del agua de lluvia a través de los techos, la cual se utilizará directamente en las viviendas como alternativa de ahorro para distintos usos. Se tiene como caso de estudio, la implementación de dicho sistema en viviendas residenciales de la sierra peruana. El lugar de estudio es la Nueva Ciudad de Morococha, ubicada en la provincia de Yauli, departamento de Junín, en la zona central del Perú.

Se analizó la problemática de la captación de agua, los antecedentes históricos y la situación actual de sistemas de captación de agua de lluvia, con el fin de justificar la factibilidad del presente trabajo. Para ello, se procedió a identificar y delimitar la cuenca hidrográfica en la que se encuentra la ciudad, a través del software ArcGis, para posteriormente determinar las características geomorfológicas de la cuenca en estudio.

Seguidamente, se realizó un tratamiento de los datos de precipitación, el completamiento de los mismos, análisis de consistencia, entre otros, lo cual permite realizar una cuantificación más certera de la cantidad de agua de lluvia utilizable que se conseguirá con el sistema de captación pluvial. Asimismo, se analizaron las condiciones de la zona de estudio, que incluye las dotaciones de las viviendas, los materiales a utilizar en el sistema de captación pluvial y las condiciones de la vivienda, como el área techada y el área libre disponible para colocar tanques de almacenamiento de agua.

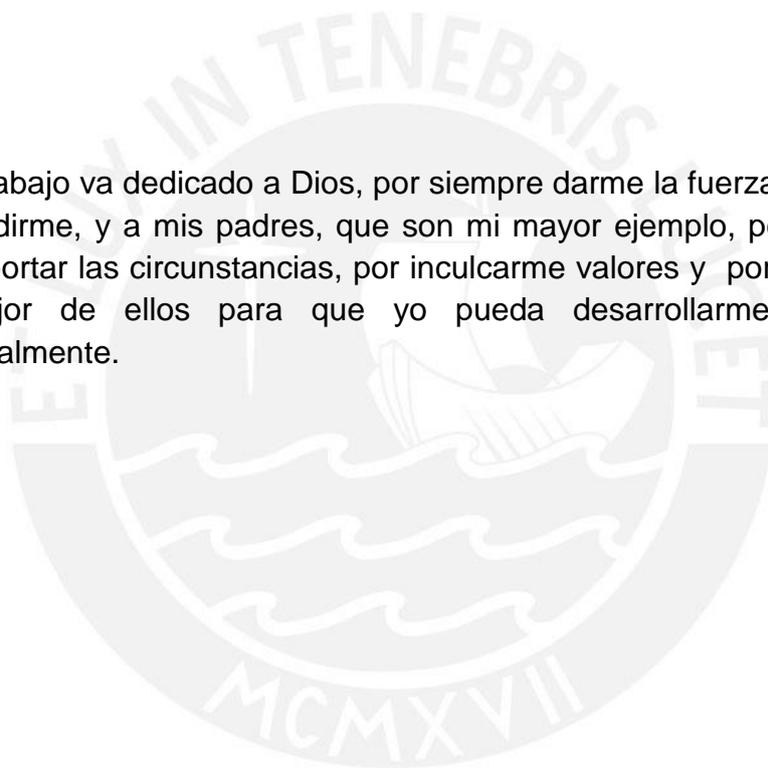
Finalmente, con el estudio realizado se obtuvo una capacidad de abastecimiento anual de 31.95m^3 , valor con el cual se analizaron las variables ambientales y sus beneficios para determinar la conveniencia del sistema de captación pluvial en la zona de estudio.





Dedicatoria

Este trabajo va dedicado a Dios, por siempre darme la fuerza necesaria para no rendirme, y a mis padres, que son mi mayor ejemplo, por confiar en mí sin importar las circunstancias, por inculcarme valores y por siempre darme lo mejor de ellos para que yo pueda desarrollarme profesional y personalmente.



Agradecimientos

Al ingeniero Richard Paul Pehovaz Alvarez, por ser un apoyo constante en la elaboración de la presente tesis, aportando con sus conocimientos técnicos como asesor y por tener siempre la disposición de enseñarme y aconsejarme.

A la empresa GMI S.A., por colaborar con datos de la zona de estudio, facilitando las memorias descriptivas de las viviendas proyectadas, así como los planos de la Nueva Ciudad de Morococha.

A todas las personas e instituciones que colaboraron con la elaboración de la presente tesis, por su ayuda desinteresada, los consejos, correcciones y comentarios del trabajo.

ÍNDICE

| | |
|------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1. Introducción..... | 1 |
| 1.1 Problemática | 1 |
| 1.1.1 Necesidad de Cuidar el Medio Ambiente..... | 1 |
| 1.1.2 Necesidad de Conservación y Aprovechamiento del Agua | 2 |
| 1.1.3 Concepto de Sostenibilidad | 4 |
| 1.1.4 Propuesta de Solución | 5 |
| 1.1.5 Ventajas y Desventajas del Sistema de Captación Pluvial | 6 |
| 1.2 Antecedentes | 6 |
| 1.2.1 Primeros Sistemas de Captación de Agua de Lluvia | 6 |
| 1.2.2 Sistemas de Captación Pluvial en el Mundo y Situación Actual.... | 9 |
| 2. Objetivos y Alcances..... | 14 |
| 2.1 Objetivo General..... | 14 |
| 2.2 Objetivos Específicos | 14 |
| 2.3 Alcances | 14 |
| 3. Metodología | 15 |
| 4. Marco Teórico | 17 |
| 4.1 Cuenca Hidrográfica | 17 |
| 4.1.1 Definición | 17 |
| 4.1.2 Caracterización de la Cuenca | 18 |
| 4.2 Precipitaciones | 20 |
| 4.2.1 Definiciones..... | 20 |
| 4.2.2 Completamiento de Datos de Precipitación | 21 |
| 4.2.3 Análisis de Consistencia..... | 22 |
| 4.2.4 Uniformización de Datos..... | 23 |
| 4.2.5 Períodos de Avenidas y Estiaje..... | 26 |
| 4.3 Calidad del Agua | 26 |
| 4.3.1 Generalidades | 26 |
| 4.3.2 Estándares de Calidad de Agua..... | 27 |
| 4.4 Métodos de Tratamiento de Agua..... | 30 |
| 4.4.1 Método de Clarificación..... | 30 |
| 4.4.2 Método de Filtración..... | 31 |
| 4.4.3 Métodos Físicos de Desinfección..... | 32 |
| 4.4.4 Métodos Químicos de Desinfección | 32 |

| | | |
|-------|----------------------------------------------------------------------|----|
| 4.5 | Sistema de Captación y Distribución | 35 |
| 4.5.1 | Captación | 35 |
| 4.5.2 | Recolección y Conducción..... | 36 |
| 4.5.3 | Interceptores | 37 |
| 4.5.4 | Almacenamiento..... | 38 |
| 4.6 | Fórmulas para el Diseño del Sistema de Captación y Distribución | 39 |
| 5. | Estudio de Caso..... | 41 |
| 5.1 | Localización de la Zona de Estudio | 41 |
| 5.2 | Tratamiento de los Datos de Precipitación..... | 42 |
| 5.2.1 | Recolección y Selección de Datos de Precipitación | 42 |
| 5.2.2 | Completamiento de datos de Precipitación..... | 43 |
| 5.2.3 | Análisis de Consistencia..... | 45 |
| 5.2.4 | Delimitación de la Cuenca Hidrográfica..... | 47 |
| 5.2.5 | Polígonos de Thiessen | 50 |
| 5.2.6 | Períodos de Avenidas y Estiaje..... | 52 |
| 5.3 | Condiciones de la zona de Estudio..... | 53 |
| 5.3.1 | Dotaciones de Viviendas..... | 53 |
| 5.3.2 | Materiales | 54 |
| 5.3.3 | Condiciones de la Vivienda..... | 57 |
| 5.4 | Cálculo de tanque de almacenamiento | 58 |
| 5.5 | Inversión Inicial | 59 |
| 5.6 | Potencial de Abastecimiento del Sistema de Captación Pluvial..... | 61 |
| 5.7 | Análisis de Sensibilidad..... | 62 |
| 6. | Discusión de Resultados | 63 |
| 6.1 | Pluviometría..... | 63 |
| 6.2 | Zona de Estudio y Condiciones de la Vivienda | 64 |
| 6.3 | Cálculo del Tanque de Almacenamiento e Inversión Inicial..... | 65 |
| 6.4 | Beneficios Económicos y Análisis de Sensibilidad | 66 |
| 6.5 | Beneficios Ambientales..... | 66 |
| 7. | Conclusiones..... | 67 |
| 8. | Líneas Futuras de Investigación | 69 |
| 9. | Bibliografía..... | 70 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1: Distribución del agua en la tierra. | 2 |
| Figura 2: Cisterna a tajo abierto para recolección de lluvia en Yemen. | 7 |
| Figura 3: Cisterna Maya denominada “Chultun”. | 8 |
| Figura 4: Sistema simple y único llamado “Rojison” en Tokyo. | 11 |
| Figura 5: Tipos de Cuencas | 17 |
| Figura 6: Cuenca Hidrográfica con Números de Orden en Cauces. | 19 |
| Figura 7: Cuenca con estaciones pluviométricas y Polígonos de Thiessen. | 24 |
| Figura 8: Cuenca con isoyetas trazadas. | 26 |
| Figura 9: Filtro de arena. | 31 |
| Figura 10: Lámpara UV con detalles en A y con cubierta protectora en B. | 32 |
| Figura 11: Sistema de desinfección con tanque de cloro gaseoso aislado. | 33 |
| Figura 12: Equipo industrial para producción de ozono. | 34 |
| Figura 13: SCAPT – Sistema de captación de agua pluvial en techos. | 35 |
| Figura 14: Proyección de las áreas efectivas de captación para distintos tipos de techos. | 36 |
| Figura 15, Figura 16: Canaleta de recolección vistas inferior y superior. | 37 |
| Figura 17: Tanque Interceptor de Primeras Aguas. | 38 |
| Figura 18: Provincia de Yauli. | 41 |
| Figura 19: Departamento de Junín. | 41 |
| Figura 20: Pestaña “Análisis de datos” del programa Excel. | 44 |
| Figura 21: Interfaz del programa ArcMap con curvas de nivel. | 48 |
| Figura 22: Modelo Digital del Terreno. | 48 |
| Figura 23: Mapa en Formato Raster. | 49 |
| Figura 24: Cuenca Hidrográfica delimitada. | 49 |
| Figura 25: Puntos de las estaciones en la cuenca hidrográfica. | 51 |
| Figura 26: Polígonos de Thiessen generados en el programa ArcGis. | 51 |
| Figura 27: Techos de calaminon. | 55 |
| Figura 28: Detalles de perfil. | 55 |
| Figura 29: Valores de referencia para el coeficiente de escorrentía (C) en diferentes tipos de superficies y coberturas. | 56 |
| Figura 30: Planta de distribución de arquitectura. Primera etapa. | 57 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gráfico 1; Curva doble masa. | 23 |
| Gráfico 2: Línea de tendencia y ecuación de regresión lineal para el mes de Enero entre las estaciones de Morococha y Huascacocha. | 45 |
| Gráfico 3: Curva doble masa para la estación Huascacocha. | 47 |
| Gráfico 4: Identificación de periodos de avenidas y estiajes. | 53 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1: Precipitaciones mensuales (mm) de la estación Huascacocha con dato faltante. | 43 |
| Tabla 2: Precipitaciones totales anuales acumuladas en la estación Huascacocha y las estaciones base. | 46 |
| Tabla 3: Características geomorfológicas de la cuenca. | 50 |
| Tabla 4: Conversión de coordenadas geográficas a coordenadas UTM. | 50 |
| Tabla 5: Áreas y pesos relativos de las estaciones utilizando los polígonos de Thiessen. | 52 |
| Tabla 6: Datos adicionales a utilizar. | 58 |
| Tabla 7: Cálculo del tanque de almacenamiento. | 58 |
| Tabla 8: Precio unitario del concreto por m ³ | 60 |
| Tabla 9: Precio unitario del encofrado por m ² | 60 |
| Tabla 10: Costo de inversión total del sistema de abastecimiento. | 61 |
| Tabla 11: Cuadro de agua disponible en m ³ | 61 |
| Tabla 12: Porcentajes de variación con aumento de precipitaciones. | 62 |
| Tabla 13: Porcentajes de variación con disminución de precipitaciones. | 62 |



1. Introducción

1.1 Problemática

1.1.1 Necesidad de Cuidar el Medio Ambiente

En la sociedad actual, se vive una época de imperante necesidad de conservar el medio ambiente. Por años, no se ha tomado conciencia de la devastación que se está produciendo en el planeta debido a la extracción masiva de recursos naturales para satisfacer las necesidades de la civilización, sin tener un concepto claro que los recursos no se estaban renovando al mismo ritmo en el que se estaban consumiendo.

Esta situación conlleva en el tiempo a una especie de círculo vicioso, en el cual, cambiar los paradigmas para aportar al cuidado y conservación del medio ambiente resulta sumamente difícil, ya que los seres humanos se han mal acostumbrado a vivir bajo algunas rutinas y comodidades que en muchos casos no se encuentran dispuestos a cambiar. Entender que cada quien desde su propio hogar puede cambiar sus propios modos de vida en busca de conservar mejor el planeta es lo que motiva principalmente este tema de tesis.

En este caso, se busca desde la ingeniería, plasmar los principios que se deberían hacer más fuertes hoy en día, es decir, la necesidad de cuidar el medio ambiente y los recursos naturales. Cada quien desde su capacidad debería aportar a este propósito, por consiguiente, se debe buscar soluciones más técnicas que permitan generar un cambio significativo para cumplir con este objetivo.

1.1.2 Necesidad de Conservación y Aprovechamiento del Agua

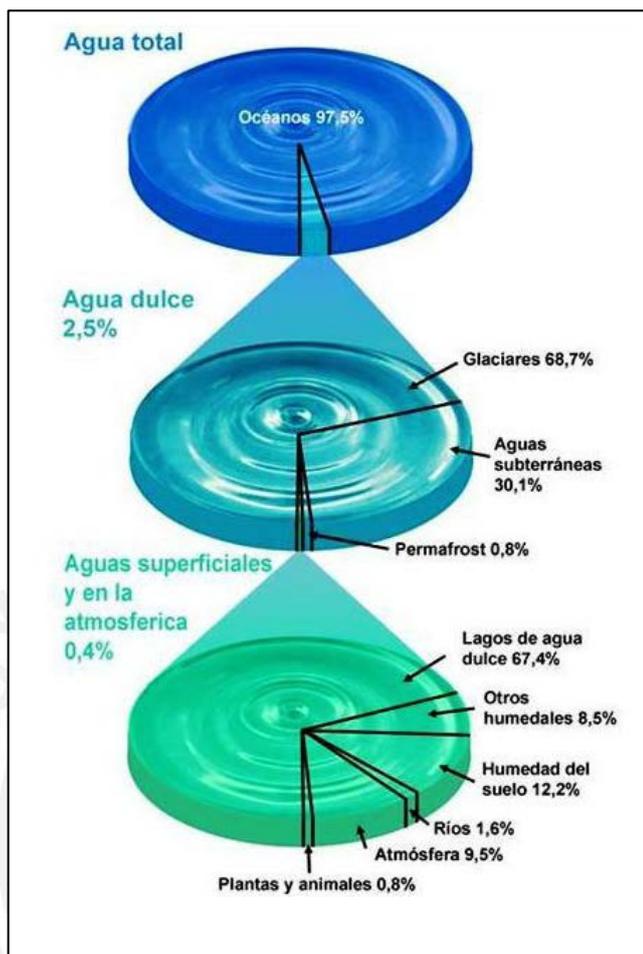


Figura 1: Distribución del agua en la tierra.

Fuente: Shiklomanov y Rodda, 2003. UNESCO. The United Nations World Water Development Report.

Se sabe que la Tierra es un planeta vivo gracias a la abundancia de agua con la que se cuenta. Ésta se encuentra distribuida en su mayoría en los océanos sobre la superficie terrestre, pero también se puede encontrar de manera subterránea a través de los flujos infiltrados en la tierra, y en la atmósfera, en forma gaseosa o precipitándose a la tierra en forma de lluvia. Como se observa en la Figura 1, según Shiklomanov y Rodda (2003), el agua dulce con la que cuenta el planeta, representa solo el 2.5% del agua total. Además, de este porcentaje, el 68.7% está congelada en glaciares, lo cual hace casi imposible su utilización, y el 30.1% está atrapada en aguas subterráneas, así como el 0.8% que se encuentra en estado de permafrost,

que vendría a ser una capa delgada de hielo congelado en el suelo de lugares cercanos a los polos.

Es así que solo el 0.4% del 2.5% de agua dulce se puede utilizar para dotar a todos los seres vivos del planeta, lo cual representa aproximadamente 35'029.210 km³ de agua. Este volumen, es el que se ve afectado por la gran necesidad de la gente de consumirla y a lo largo de los años se ha ido deteriorando cada vez más gracias a la extracción indiscriminada de las poblaciones. El poco cuidado se debe a la falsa creencia que el agua es un recurso infinito y renovable, gracias a la facilidad con la que se consigue. Sin embargo, se sabe que cada vez se está consumiendo más agua, lo cual no permite que se regenere adecuadamente y complete su ciclo natural gracias a la amplia contaminación que es ejercida a lo largo del planeta. Según datos recogidos por el informe sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo de la UNESCO (2003), en 20 años se vivirá una escasez de agua tal que el 50% de la población podría sufrir carestía.

Según las Naciones Unidas en su segundo informe (2006), se pueden mencionar algunas de las razones por las cuales el recurso hídrico se está viendo afectado muchísimo a lo largo de la historia. En primer lugar, está relacionado directamente al crecimiento de la población mundial, es decir, al haber más seres humanos (los cuales son los que consumen la mayor cantidad de agua en el planeta), se requiere un mayor abastecimiento de agua. Luego, está la necesidad de la gente de buscar nuevos lugares para establecerse y, por consiguiente, nuevas fuentes de aguas vírgenes que no habían sido aprovechadas antes. Otra razón es que la gente, al tener una mayor capacidad de desarrollo, requiere del recurso hídrico ya no solo para el consumo personal vital, sino también para otras actividades como limpieza de autos, limpieza de viviendas cada vez más grandes, regado de jardines mayores, realización de juegos acuáticos, etc. Por último, y no menos importante, está la contaminación por el uso industrial que se le da al agua, el cual termina por consumir el agua utilizada y no dejarla apta para seguir su camino en su ciclo natural. (UNESCO, 2006)

El agua se encuentra en la tierra en la misma cantidad siempre, gracias al ciclo hidrológico, pero ello no quiere decir que sea un recurso totalmente renovable. La gente suele pensar que el agua va a estar siempre a nuestra disposición, por lo cual no le dan la debida importancia en cuidarla y preservarla. Esta situación conlleva a que el recurso hídrico sea explotado indiscriminadamente, lo cual hace que se consuma más rápido de lo que puede ser renovado y purificado de manera natural. Es así, que se está perdiendo cada vez mayor capacidad de abastecimiento para futuras generaciones, lo cual se ve agravado por las constantes emisiones de aguas contaminadas que se vierten irresponsablemente en ríos y lagos por parte de una gran cantidad de fábricas e industrias en general, que no tratan sus aguas antes de desecharlas. (UNEP, 2009)

Por todo lo antes expuesto, hoy en día se tiene la imperante necesidad de cambiar el rumbo de nuestra historia, y solo se conseguirá, si cada uno dentro de sus posibilidades toma acción en el cuidado del recurso hídrico en el planeta. Es así, que el tema de la conservación y reuso del agua es uno de los pilares fundamentales de la presente tesis.

1.1.3 Concepto de Sostenibilidad

La Comisión de Medio Ambiente y Desarrollo de las Naciones Unidas (1987) define desarrollo sostenible como “desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades”. A pesar de ser un concepto que se utilizó hace ya varios años, la idea sigue siendo prácticamente la misma si se analiza otra fuente más reciente, como es el glosario del documento de Evaluación de Ecosistemas del Milenio (2006), en el cual se define sostenibilidad como “Característica o estado según el cual pueden satisfacerse las necesidades de la población actual y local sin comprometer la capacidad de generaciones futuras o de poblaciones de otras regiones de satisfacer sus necesidades.”.

Otro aporte importante es el expuesto por Allenby, Allen y Davidson (2007), en donde ya se empieza a hablar del concepto de ingeniería sostenible y cómo se debe enseñar en las universidades de manera que sea inherente a

los procesos de ingeniería. En el artículo se rescata que la sostenibilidad al ser una característica cualitativa muchas veces se escapa de las dos características fundamentales de la ingeniería las cuales son altamente cuantitativas como son medir las expectativas de los clientes y luego realizar el producto final físico. A pesar de lo complicado que resulta ingresar nuevas variables a los procesos de ingeniería como ciclos de vida, eficiencia energética, contaminación del ambiente o el aire, entre otros, son de suma importancia, y consecuencia de ello se obtienen también beneficios para los usuarios finales de los productos que se generan.

Estas definiciones son, sin duda, las que más sustentan el objetivo del presente trabajo. La sostenibilidad depende directamente de la manera en que las personas se abastecen de los recursos naturales disponibles. Así, por citar un ejemplo, se podría llamar a una deforestación de un bosque como sostenible si es que se hace a un ritmo que permita a la naturaleza renovar los árboles de manera tal que siempre exista el mismo volumen de vegetación en la zona.

En este caso, se quiere apoyar la noción de sostenibilidad, mediante la reducción de la extracción de aguas superficiales, utilizando un método de extracción sostenible totalmente, desde la concepción misma de no afectar los flujos superficiales ni subterráneos.

1.1.4 Propuesta de Solución

Se propone como una solución de mitigación de algunas malas prácticas en el manejo del recurso hídrico, la utilización de una forma de aprovechamiento de agua que es totalmente sostenible y nada invasiva. En este caso, se propone la captación pluvial mediante sistemas de techos, en donde directamente se recoge el agua de lluvia para ser utilizada en los hogares.

Se tomará en cuenta la calidad sanitaria del agua para el consumo humano o para distintos aparatos sanitarios secundarios que representen un ahorro en el consumo general de agua. Para ello, se plantearán posibles métodos de purificación para hacer más eficiente su utilización.

1.1.5 Ventajas y Desventajas del Sistema de Captación Pluvial

Se debe tomar en cuenta que el sistema de captación pluvial presenta un importante número de ventajas como se enumerará a continuación:

- Muy buena calidad físico-química del agua de lluvia.
- Sistema independiente y fácil de construir en zonas residenciales o rurales.
- Se pueden emplear materiales de la zona y mano de obra local.
- La operación del sistema no requiere de energía eléctrica.
- Presenta un mantenimiento relativamente rápido y sencillo.
- Es más cómoda y rápida la recolección del agua de lluvia.
- Ahorro económico al no tener que pagar por el servicio del agua potable a ninguna otra empresa proveedora.

Sin embargo, también hay aspectos negativos que a la larga pueden minimizarse, haciendo un estudio adecuado de las variables que la componen, las cuales se mencionan a continuación:

- Tiene un costo inicial alto, que tal vez no puede ser costado inmediatamente por familias de bajos recursos.
- La cantidad de agua depende del grado de pluviosidad del lugar, que muchas veces es incierta, y del área de captación que puede ser limitada.

El análisis y reducción de las desventajas es también parte del presente trabajo.

1.2 Antecedentes

1.2.1 Primeros Sistemas de Captación de Agua de Lluvia

En épocas antiguas, las personas buscaban siempre establecerse cerca de fuentes de aguas superficiales como ríos o mares, para usar directamente esta agua para su consumo, abastecimiento, regadío, transporte, entre otras actividades. Las aguas de lluvia siempre estuvieron ahí y supieron ser aprovechadas por las civilizaciones. Sin embargo, no eran dependientes de ella sino que solo las usaban como un aporte importante para los cultivos y

necesidades secundarias, debido al amplio abastecimiento con el que contaban, gracias a la zona fértil en donde decidían ubicarse. No obstante, no pudo continuar así debido al crecimiento demográfico que obligaba a las nuevas poblaciones a moverse a lugares mucho más áridos y secos. Debido a esta situación, fueron ellos los que empezaron a valorar mucho las aguas pluviales y empezaron a aprovecharla de manera completa, ya que de eso dependía prácticamente todo su abastecimiento y consecuente supervivencia. (UNEP, 2009)

La Oficina Regional de la FAO (2000), menciona que los datos de sistemas de captación de lluvia más antiguos con los que se cuentan datan de aproximadamente 4000 años atrás, específicamente en el desierto de Neguev, que comparten hoy los países de Israel y Jordania, en donde manipulaban las escorrentías dejadas por las lluvias con desmontes dirigidos hacia predios agrícolas, lo cual era el uso más común en sus inicios.

En la Figura 2, se observa una cisterna a tajo abierto en Yemen, como las que eran acostumbradas construir en templos en donde se usaban los patios para recolectar el agua de lluvia. Estas edificaciones datan de más de 1000 años A.C.

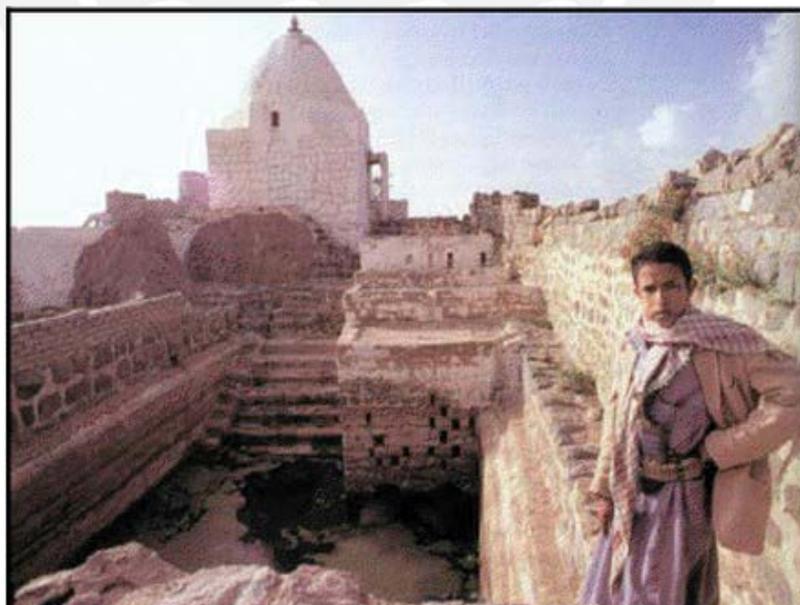


Figura 2: Cisterna a tajo abierto para recolección de lluvia en Yemen.

Fuente: Ballén, Galarza y Ortiz, 2006, Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia.

Tiene importancia para la presente tesis, lo ocurrido en la época romana, en donde se captaban las aguas de lluvias para ser utilizadas en viviendas unifamiliares denominadas domos. Dichas construcciones, contaban con atrios, que eran espacios internos de las viviendas a cielo abierto, en donde recolectaban el agua de lluvia que ingresaba a las viviendas por agujeros en los techos (compluvium), para ser depositados en un estanque central (impluvium). Desde ahí se abastecía el hogar de agua principalmente para los baños y tinas. (Ballén, Galarza y Ortiz, 2006)

Asimismo, se encuentran sistemas de recolección de aguas en China e Irán, que datan de más de 2000 años, en donde utilizaban mecanismos propios de cada lugar. (Ballén, Galarza y Ortiz, 2006)

Según Caballero (2006), métodos más avanzados en el tratamiento de aguas pluviales se utilizaron en Centroamérica, más específicamente en el imperio Maya. Aquí, se almacenaba el agua en cisternas conocidas como “Chultuns”, las cuales eran impermeabilizadas con yeso y tenían aproximadamente 5 metros de diámetro. (Ver Figura 3)

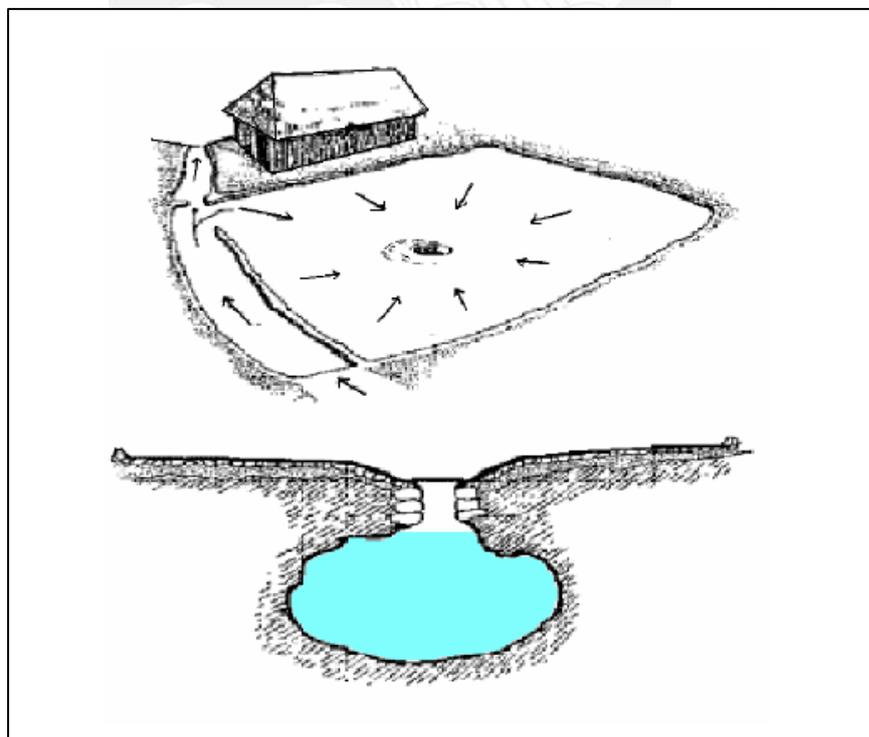


Figura 3: Cisterna Maya denominada “Chultun”.

Fuente: Caballero, 2006, INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL (México), Captación de Agua de Lluvia y Almacenamiento en Tanques de Ferrocemento.

En los últimos tiempos, el aprovechamiento de aguas pluviales ha sido muy poco utilizado y hasta casi completamente ignorado debido a que las tecnologías en el aprovechamiento y transporte de aguas superficiales ha tenido un gran desarrollo permitiendo abastecer a las ciudades. Sin embargo, se sabe que estas tecnologías no siempre son reguladas y que se están agotando las fuentes de agua poco a poco. Lo que es peor, cuando no se ha podido encontrar fuentes de aguas superficiales, se ha optado por suplir esa necesidad con la explotación de aguas subterráneas, para lo cual usan métodos muy invasivos que contaminan el flujo de aguas subterráneas y en algunos casos causa el descenso de la napa freática.

1.2.2 Sistemas de Captación Pluvial en el Mundo y Situación Actual

Se menciona a continuación algunos métodos que se han usado en distintas partes del planeta, así como cuál es la situación actual, mencionando algunos datos estadísticos y costos aproximados que representan los sistemas de captación de aguas de lluvias.

En África, la situación es crítica en cuanto a abastecimiento de agua potable, debido a la pobreza que se vive y a la poca inversión en alcantarillados y acueductos que permitan la obtención y tratamiento de agua. Por ello, los sistemas de captación de agua de lluvia son muy bien vistos ya que son muy eficientes en aprovechar al máximo el recurso hídrico disponible. Sin embargo, es muy difícil aplicarlos por su relativo alto costo que no está disponible para las familias de bajos recursos de la zona. Además, otros factores que lo impiden es la poca precipitación con la que cuentan y la dificultad que tienen de encontrar materiales para los techos que sean impermeables y no se deterioren con el paso continuo del agua. No obstante, hay organizaciones que apoyan a los sistemas de captación de aguas pluviales como Development Technology Unit de Inglaterra, quienes realizaron un concurso entre organizaciones africanas para realizar estos sistemas con el menor costo posible. Asimismo, están los sistemas realizados de manera informal los cuales no aprovechan al máximo la cantidad de agua precipitada ni cuidan su buena calidad físico-química, estando en muchos casos contaminada por su poca protección. Hay muchos

países africanos en los cuales ya se han desarrollado o se están desarrollando proyectos de gran envergadura que incluyen la captación de agua pluvial en grandes áreas, como en Sudáfrica, Togo, Bostwana, Mali, Malawi, Zimbawe, Mozambique, Sierra Leona y Tanzania. (Ballén, Galarza y Ortiz, 2006)

En Asia, el país que más ha desarrollado sistemas de captación de lluvia es la India, principalmente por las condiciones meteorológicas con las que cuenta. En este país, se vive una especie de diluvio breve en donde llueve por 100 horas anuales aproximadamente. Otra de las razones es que muchas de sus aguas superficiales sufren una contaminación fuerte por arsénico, lo que evita su potabilización. Con ayuda de la Organización No Gubernamental (ONG) Forum for Drinking Water Supply & Sanitation, se han instalado más de 1000 sistemas de captación de agua de lluvia para consumo humano. Lo interesante aquí, es ver la variedad en sus tanques de almacenamiento, los cuales pueden ser de concreto reforzado, mampostería, cisternas y tanques enterrados, los precios oscilan entre \$50.00 y \$150.00. (UNEP, 2000)

En China, gracias a un proyecto apoyado por el gobierno llamado “121” implementado entre los años 1995 y 1996, se pudo suministrar de agua a más de 1.2 millones de personas y a 1.18 millones de cabeza de ganado a través de agua de lluvia, que era captada en campos de áreas muy grandes y luego guardada en dos enormes tanques de almacenamiento.

En Singapur, el 86% de viviendas cuenta con techos captadores de lluvia que se almacena luego en tanques distintos al del agua potable, debido a que usan el agua de lluvia para otros fines diferentes del consumo humano.

En Tokio, el aprovechamiento de agua lluvia se promueve para disminuir la carencia de agua, contrastar las inundaciones y garantizar agua para los estados de emergencia. Reciben el agua de lluvia del techo de la casa, la cual es almacenada en un pozo subterráneo (Figura 4). Luego, se emplea una bomba manual para poder extraer el agua, la cual es finalmente utilizada para el riego de áreas verdes, limpieza de fachadas y pisos, combatir incendios y como agua de consumo, en situaciones de emergencia. (UNEP, 2000)

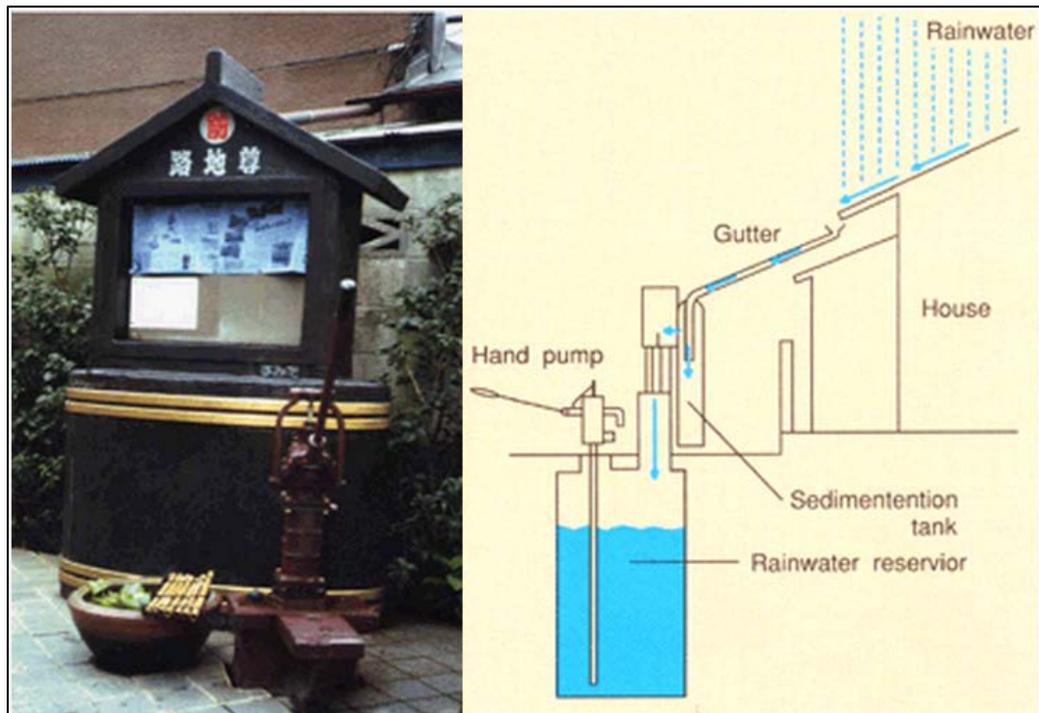


Figura 4: Sistema simple y único llamado “Rojison” en Tokyo.

Fuente: UNEP, 2000, Rainwater Harvesting and Utilisation, International Environmental Technology Centre.

En Tailandia, el almacenamiento de agua de lluvia es un sistema apropiado y económico para obtener agua de muy buena calidad. Esta reserva es causada por escurrimiento del agua por los techos y se almacena en vasijas de arcilla. Estos recipientes están equipados con tapa, grifo y un dispositivo de drenaje. Se pueden encontrar en diferentes volúmenes, desde 1,000 hasta 3,000 litros con lo cual se puede suministrar agua suficiente para un hogar de 6 personas y tienen un costo promedio de US\$20.00. (UNEP, 2000)

En América del sur, Brasil cuenta con muchas ONG y organizaciones ambientales que utilizan sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia con el fin de alcanzar un adecuado abastecimiento para el consumo humano. Asimismo, se inició un proyecto por parte de una ONG con el gobierno de Brasil para construir un millón de tanques, hechos con estructuras de concreto prefabricado o concreto reforzado con mallas de alambre, para la recolección de agua de lluvia en un periodo de 5 años y así, poder favorecer a 5 millones de personas. Cabe mencionar que también en algunas zonas

amazónicas, las comunidades nativas recolectan aguas de lluvia mediante pozos en rocas excavados a mano, los cuales no son muy eficientes y no se dan abasto para satisfacer la demanda de la población indígena.

En México, se desarrolló el proyecto “Agua y Vida” en el cual, el primer desarrollo tecnológico fue un sistema de aprovechamiento de agua lluvia que contaba con una cisterna con capacidad de reserva de 500,000 litros y una superficie de captación cubierta de piedra laja. Otra obra llamada “Techo-Cuenca”, consta de dos cubiertas con pendiente que se unen en un canal, el cual está conectado a una tubería que conduce el agua a un depósito con capacidad para almacenar 285,000 litros. Varias de las construcciones de tipo institucional como jardines de niños y escuelas municipales, están equipadas con sistemas de aprovechamiento de agua lluvia que es utilizada para la descarga de inodoros, el lavado de pisos y baños, y para regar áreas verdes.

En Honduras, se pueden encontrar viviendas acondicionadas con precarios sistemas de aprovechamiento de aguas de lluvias y con escasos mantenimientos de uso y de limpieza. A pesar que estos sistemas tienen deficiencias, logran mejorar el nivel de vida de los habitantes que ponen en práctica las metodologías para beneficiarse del agua de lluvia. (Ballén, Galarza y Ortiz, 2006)

Según el Water Texas Development Board (2005), se cuenta con varios ejemplos en esa ciudad de aprovechamiento de lluvia exitosos, siendo uno de los más saltantes el del Wells Branch Municipal Utility en North Austin, el cual captura la lluvia de un nuevo centro recreativo de 929m² depositándola en un tanque de 140m³, líquido que luego es utilizado para regar 12 acres (48,562m²) del parque municipal que incluye canchas de fútbol.

En Canadá, se compra barriles para el aprovechamiento del agua de lluvia como parte de un programa piloto para la conservación del agua. Los barriles de agua de lluvia son tanques plásticos de 75 galones (284 litros) y tienen un costo de U\$40. El barril se utiliza para recolectar agua de lluvia procedente de los techos, siendo utilizada para actividades, como regar áreas verdes, que demandan más del 40% del agua total. Según las proyecciones, cada barril podría ahorrar cerca de 1,300 galones (4,920 litros)

de agua durante los meses de verano donde la demanda de agua es más alta. La vivienda denominada “HEALTHY HOUSE” es una obra para vivir en familia con un área de 158 m² que no depende del sistema de acueducto municipal. El agua para consumo humano se suministra por medio de un sistema de canales que conducen el agua de lluvia hacia un tanque de almacenamiento donde se le adiciona cal, ésta se utiliza para reducir la acidez del agua y dar un sabor fresco. Posteriormente el agua pasa a través de un filtro de arena fina y carbón activado para remover todas las impurezas. Por último, es sometida a un proceso de purificación mediante luz ultravioleta. (Ballén, Galarza y Ortiz, 2006)

En Alemania, los sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia fueron introducidos como parte de un avance urbano a gran escala en 1998, con el fin de contrastar las inundaciones, utilizar racionalmente el agua de la ciudad y crear un mejor micro clima. El agua cae en las cubiertas de 19 edificios (32,000 m²), se recoge y acumula en un tanque subterráneo de 3,500 m³. Otro proyecto consistió en que el agua de lluvia de todas las cubiertas (7,000 m²) es descargada a una cisterna con capacidad de 160 m³, junto con el agua de escurrimiento de las calles (área de 4,200 m²). El agua se utiliza para la descarga de elementos sanitarios y el riego de áreas verdes luego de ser tratada en varias etapas. La mayoría de los contaminantes del flujo inicial son evacuados al alcantarillado y el sistema retiene aproximadamente el 58% del agua de lluvia que cae dentro del perímetro de las instalaciones. Con ello, según una estimación basada en un modelo de simulación a 10 años, se logrará ahorrar con el sistema aproximadamente 2,430 m³ de agua potable por año. (Ballén, Galarza y Ortiz, 2006)

2. Objetivos y Alcances

2.1 Objetivo General

Analizar la conveniencia de utilizar un medio alternativo de abastecimiento de agua para zonas residenciales, el cual estará basado en la captación de aguas pluviales para ser usadas directamente en las viviendas de manera que se genere un abastecimiento sostenible. Para ello, se estudiará la cantidad agua de precipitación disponible en la zona y las dotaciones necesarias para suplir las necesidades de las familias en cuestión.

2.2 Objetivos Específicos

- Analizar y cuantificar el aprovechamiento hídrico que se obtiene a partir de implementar los sistemas de captación de agua de lluvia que se propone en la zona de estudio.
- 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.
- Mejorar la calidad de vida de los usuarios finales de las viviendas, generándoles una fuente de ahorro a futuro y un sistema que sea totalmente sostenible en el tiempo y aporte de manera positiva al medio ambiente.

2.3 Alcances

- Cuantificar el potencial de aprovechamiento hídrico del sistema de captación pluvial propuesto en la nueva ciudad de Morococha, a partir de un modelo que sea sostenible en el tiempo.
- Permitir que los métodos y fórmulas del presente trabajo se puedan utilizar en futuros análisis en distintas zonas del Perú, haciendo que el proceso sea más eficiente.

3. Metodología

A continuación se describirá la metodología seguida en la presente tesis para lograr los objetivos propuestos, en orden cronológico de trabajo.

- Revisión bibliográfica de los antecedentes históricos y lugares del mundo en donde se están utilizando los sistemas de captación pluvial, confirmando la idea de que es factible realizarlos en cualquier ciudad con precipitaciones disponibles aceptables, y que su poca utilización solo se debe a la poca difusión y estudios más detallados y serios que permitan un uso adecuado de este recurso gratuito.
- Identificación de la región de estudio, la cual es la nueva ciudad de Morococha, debido a la disponibilidad de los datos proporcionados por la empresa GMI S.A. Ingenieros Consultores. Además, se sabe que en las ciudades de la serranía peruana como ésta, se cuenta con precipitaciones continuas que permitirían que este sistema de captación funcione adecuadamente. Se analizarán las condiciones de esta ciudad que podrían afectar el sistema de captación pluvial.
- Tratamiento y análisis de los datos de precipitaciones de la zona con los datos obtenidos de fuentes meteorológicas cercanas, de las cuales se determinaron los promedios mensuales. Con ello, se identificará la cantidad de agua disponible en cada mes del año y se definirán los períodos de avenidas y estiajes.
- Análisis de las dotaciones de las familias residentes en la zona, el cual se puede obtener a través de suministros brindados de cada elemento sanitario de la zona. Para ello se cuenta con algunas especificaciones técnicas de arquitectura, con el detalle de los aparatos sanitarios instalados en cada vivienda. Asimismo, se analizarán a través de informes también de arquitectura los materiales con los que se han construido los techos, para determinar el coeficiente de escorrentía del material, para su uso en los cálculos respectivos.

- Diseño del sistema de captación y distribución, así como los cálculos necesarios para definir el volumen del tanque de almacenamiento, el volumen del interceptor de primeras aguas y la dotación disponible.
- Análisis de los costos de inversión que ha representado este sistema de captación pluvial, en cuanto al tanque de almacenamiento, interceptores y canaletas, considerando además un valor de mano de obra aceptable.
- Por último, el análisis de la cantidad de agua obtenida a través del sistema de captación pluvial y el análisis de sensibilidad, con lo cual se discutirán todos los resultados obtenidos y se fijarán líneas futuras de investigación para hacer más eficiente el sistema.



4. Marco Teórico

4.1 Cuenca Hidrográfica

4.1.1 Definición

Según Allen Bateman (2007), se denomina cuenca hidrográfica al espacio geográfico que se puede aislar de forma que, si ésta fuese impermeable, toda el agua que escurriría por ella drenaría por un mismo punto. Esta definición, según Aparicio (1992), corresponde solo a las cuencas superficiales, existiendo también cuencas subterráneas asociadas a las superficiales, por lo que en la definición de cuenca es necesario poner como condición la impermeabilidad. Existen a su vez dos tipos de cuencas, un primer tipo llamadas cuencas endorreicas, las cuales desembocan en un lago central, generalmente dentro de los límites de la cuenca (Figura 5a), y un segundo tipo de cuencas, reconocidas como exorreicas, las cuales drenan fuera de la unidad hidrológica, desembocando en otras corrientes, mares u océanos (Figura 5b).

La delimitación de una cuenca se realiza trazando una línea llamada divisoria, cortaguas o parteaguas, que separa las precipitaciones que caen en la cuenca hidrográfica en cuestión y en cuencas vecinas, las cuales desembocan su caudal a sistemas fluviales distintos. (Aparicio, 1992)

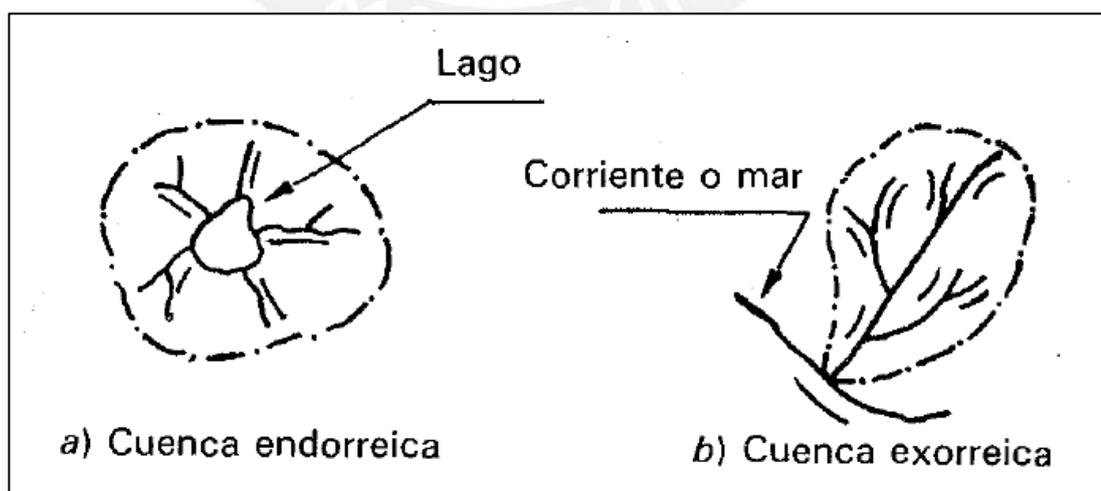


Figura 5: Tipos de Cuencas

Fuente: Aparicio, 1992, Fundamentos de Hidrología de Superficie.

4.1.2 Caracterización de la Cuenca

La cuenca cuenta con diversas características o parámetros geomorfológicos que se mencionan a continuación:

- **Área de la cuenca (A):** Se define como la proyección horizontal de la cuenca limitada por las divisorias. Ésta se puede medir desde mapas topográficos. (Monsalve, 1999)
- **Perímetro de la cuenca (P):** Se refiere a la longitud de la divisoria de la cuenca, la cual depende de la superficie y forma de la misma. (Monsalve, 1999)
- **Longitud del río principal (L):** Se define como la longitud horizontal del río principal entre el punto de afluencia o estación de aforo y el punto sobre la divisoria que este más alejado. (Monsalve, 1999)
- **Forma de la cuenca:** Se utilizan distintos factores como el factor de forma (K_s), que relaciona el área de la cuenca con el cuadrado del máximo recorrido, y el índice de compacidad o Gravelius (K_c), el cual relaciona el perímetro de la cuenca con el perímetro de un círculo de igual área que la cuenca. Sin embargo, es muy complicado determinar la influencia que tiene la forma en las características hidrológicas de la corriente en la cuenca. (Monsalve, 1999)
- **Número de orden de un cauce:** Es una clasificación para los ríos o cauces dentro de la cuenca hidrográfica. Un río de orden 1 o de primer orden, sería un tributario pequeño que no cuenta con ramificaciones. Un río de orden 2 o de segundo orden, sería uno que posee ramificaciones de orden 1. Mientras que un río de orden 3 o de tercer orden, sería uno que solo posee ramificaciones de primer y segundo orden. De esta manera el número de orden de la cuenca está dado por el número de orden del cauce principal. En la Figura 6, se puede observar una cuenca hidrográfica con los números de orden respectivos a las corrientes o cauces, en ese caso el número de orden de la corriente principal y, por lo tanto, de la cuenca hidrográfica es 4. (Aparicio, 1992)

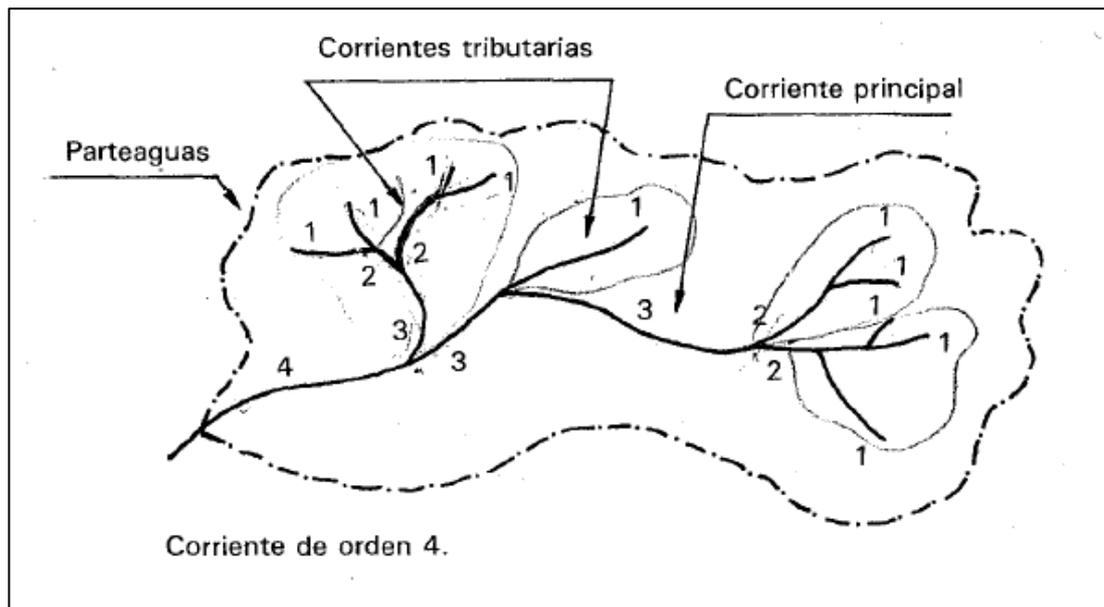


Figura 6: Cuenca Hidrográfica con Números de Orden en Cauces.

Fuente: Aparicio, 1992, Fundamentos de Hidrología de Superficie.

- **Densidad de Drenaje:** Es definida como la relación entre la longitud total de los cursos de agua y el área de la cuenca, y es llamada también longitud de canales por unidad de área. Una densidad alta indica que el drenaje en la cuenca es buena y que responde rápido frente a las precipitaciones, mientras que una densidad baja, denota una respuesta mucho más lenta y una cuenca probablemente ya drenada. (Llamas, 1993)
- **Elevaciones máximas y mínimas:** Se refiere principalmente a los puntos máximos y mínimos, los cuales definen las pendientes que se encuentran en la cuenca, lo cual genera variabilidad en las velocidades de las corrientes y, por consiguiente, en el tiempo de concentración de la cuenca. (Llamas, 1993)

Existe una gran dificultad en relacionar las características físicas con las características hidrológicas de una cuenca, debido a diversos factores. La primera es que para empezar con el análisis de una cuenca, se requiere de mapas bien realizados de la zona de estudio. Por otro lado, es de gran complejidad la relación entre las características físicas reales y estáticas, y las características hidrológicas consideradas altamente estocásticas o

arbitrarias en muchos casos en una cuenca hidrográfica (Linsley, Kohler, Paulus, 1997).

Sin embargo, se cuenta con un software llamado ArcGis, con el cual es posible determinar algunas de las características de la cuenca hidrográfica, por lo que su uso será de mucha utilidad en el presente trabajo.

4.2 Precipitaciones

Las precipitaciones obtenidas de distintas estaciones meteorológicas son un factor principal en la presente tesis. En este capítulo, se realizará una descripción de las precipitaciones que incluirá definiciones, recolección de datos de precipitación, estimación de datos faltantes, análisis de consistencia y períodos de avenidas y estiaje.

4.2.1 Definiciones

Según Linsley y Franzini (1970), la precipitación es cualquier tipo de agua que cae desde la atmósfera y se deposita en la tierra. Es además, el componente más importante del ciclo hidrológico debido a que representa la principal fuente para la existencia de agua dulce en la tierra. La precipitación tiene su foco de generación en las nubes, en donde las gotas de agua aumentan de tamaño generando la saturación de las nubes. Este proceso se da por acción de la temperatura y luego las gotas caen por acción de la gravedad. Para que la precipitación tenga lugar, Kiely (1999) menciona que se deben cumplir dos requisitos: Primero, presencia de núcleos de condensación, en donde se pueda iniciar la condensación propiamente dicha, para así evitar que el aire pueda llegar a sobresaturarse. Segundo, que las gotas de agua no se evaporen cuando pasen por aire más seco y logren alcanzar un tamaño que permita que caigan por acción de la gravedad hacia la tierra.

Existen distintos tipos de precipitación, pero el que es de interés en la presente tesis es la precipitación de tipo líquido, como son las lluvias y lloviznas. Según la Organización Meteorológica Mundial, la lluvia es la precipitación de partículas líquidas de agua, de diámetro mayor de 0.5mm o de gotas menores, pero muy dispersas.

4.2.2 Completamiento de Datos de Precipitación

Para el completamiento de los datos faltantes de precipitación existen diversos métodos. Por un lado se cuenta con métodos muy sofisticados y costosos como los que utilizan satélites, programas estadísticos o modelaciones hidrológicas muy complejas (Smith, 1997), mientras que por otro lado, existen métodos tradicionales, basados en fórmulas matemáticas simples.

Se puede mencionar en primer lugar, el método de completación por regresión lineal, el cual utiliza una estación base para establecer constantes de regresión que luego se utilizarán para determinar el dato faltante de la estación en estudio mediante una ecuación lineal simple (Fórmula 1).

$$y = a + bx \quad (1)$$

Donde

- y: Precipitación estimada (mm)
- x: Precipitación de la estación patrón (mm)
- a y b: Constantes de regresión lineal

Este método, a pesar de su simplicidad, puede ser contraproducente si no se realiza un análisis de la coherencia de los datos, para lo cual se pueden utilizar coeficientes de correlación (UNESCO – ROSTLAC, 1982). Estos coeficientes relacionan las desviaciones estándar del eje X y del eje Y, y deben estar comprendidos siempre entre -1 y 1. Cuando este valor es cercano a -1 ó a 1, es correcto afirmar que hay una buena correlación entre X e Y. Sin embargo, cuando el coeficiente es cercano a 0, se dice que la correlación no es aceptable. En general, se asume que un coeficiente de correlación mayor de 0.8 es aceptable (Pizarro, 1993), (Aparicio, 1992).

Según Pizarro (1993), existen otros métodos como la completación por razones de distancias, completación por promedios vecinales y completación por razones promedios, las cuales se utilizan para datos menores de un año y en zonas planas no montañosas. Así también es importante mencionar la completación por correlación con estaciones vecinas, propuesto por la

UNESCO-ROSTLAC (1982), en el cual se relacionan los coeficientes de correlación de cada una de las estaciones vecinas con la estación carente de datos.

Un método aplicable cuando se cuenta con pocos datos faltantes, es el método propuesto por el ingeniero José Manuel Guevara Díaz en su libro “Métodos de estimación y ajuste de datos climáticos” (2003). Este método, utiliza únicamente los datos de la estación en cuestión para estimar el dato faltante, para lo cual se aplica la fórmula 2:

$$X = \frac{\sum \text{Lluvia meses con datos } X\% \times \text{Lluvia del mes}}{100 - \sum \% \text{ meses sin datos}} \quad (2)$$

Donde

X: Valor de dato faltante (mm)

4.2.3 Análisis de Consistencia

La confiabilidad de la información disponible es una de las interrogantes que se presenta al momento de trabajar con datos meteorológicos. La no homogeneidad de los datos obtenidos se debe a factores humanos o factores naturales, lo cual genera errores sistemáticos que afectan la información hidrológica. Por ello, se recurre a un análisis de consistencia mediante métodos estadísticos que permitan identificar las inconsistencias y minimizar los saltos con datos incoherentes (Searcy, J & Hardison C, 1983).

Para el análisis de consistencia de los datos de precipitación, se cuenta con la curva doble masa, la cual compara datos promedio de estaciones base con la estación a analizar, para comprobar la homogeneidad en la zona estudiada. Las estaciones deben encontrarse en una zona climática similar, y se deben tomar como datos las precipitaciones mensuales acumuladas. Éste método también es utilizado para la interpolación y relleno de datos faltantes, así como para algunas extrapolaciones para series incompletas (Searcy, J & Hardison C, 1983).

Según Aparicio (1992), la curva doble masa es de gran utilidad debido a que muchos de los errores son compensados si se trabaja con promedios de

precipitación acumulada para varias estaciones, mientras que una sola estación es muy susceptible a verse afectada por cambios o factores externos. Para que la correlación sea correcta, se debe observar que al comparar las precipitaciones promedio anuales de las estaciones base con la precipitación promedio anual de la estación en cuestión, la curva doble masa sea una línea relativamente recta, la cual no varíe su pendiente. En el Gráfico 1, se puede observar cómo la curva cambia de pendiente en un año específico, siendo ese el año donde la estación empezó a operar con condiciones distintas.

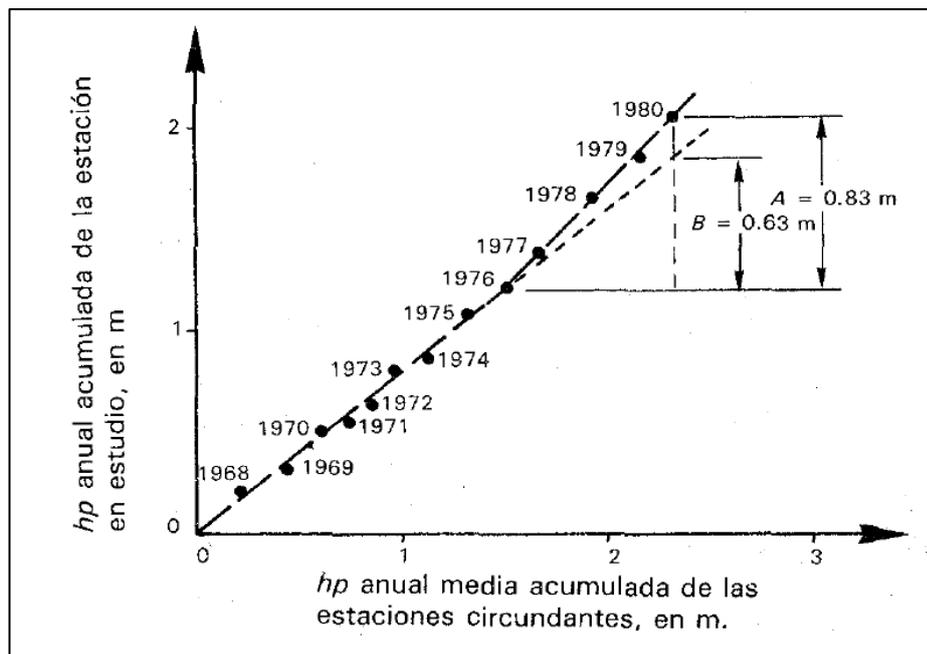


Gráfico 1; Curva doble masa.

Fuente: Aparicio, 1992, Fundamentos de Hidrología de Superficie.

Se observa que en este caso, la pendiente empezó a variar en el año 1976, por lo que se puede corregir la estación en cuestión, multiplicando los datos anteriores a ese año por un factor de ajuste, el cual se consigue relacionando A / B (Ver Gráfico 1).

4.2.4 Uniformización de Datos

Según Ven Te Chow (1994), para determinar el promedio de precipitación o lluvia en un área determinada existen tres métodos.

El primer método, denominado método de la media aritmética, consiste en promediar los valores de precipitaciones de las estaciones correspondientes

al área en cuestión. Para que este método sea válido, es necesario que las estaciones pluviométricas se distribuyan de manera uniforme sobre el área y que los valores medidos no difieran de manera considerable de la media.

El segundo método, denominado método de los Polígonos de Thiessen, sí considera la importancia o peso que tienen las diferentes estaciones pluviométricas. Este método establece que los pesos relativos de cada pluviómetro es determinado por el área correspondiente a una red de polígonos, los cuales se forman uniendo mediante líneas rectas, las estaciones adyacentes y luego, trazando mediatrices de los segmentos. En la Figura 7, se muestra una cuenca hidrográfica ya delimitada, con puntos que indican la ubicación de las estaciones con el trazado respectivo de los polígonos de Thiessen. Este método se puede considerar inflexible, debido a que se requiere construir nuevamente los polígonos cada vez que se cambien las estaciones pluviométricas o que no se considere alguna de ellas por falta de datos.

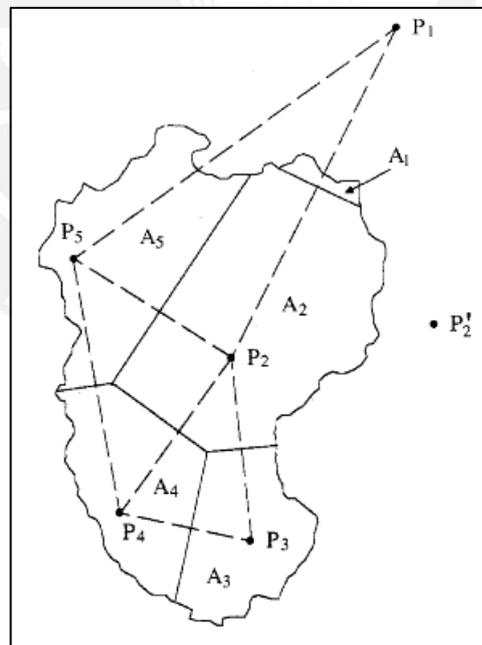


Figura 7: Cuenca con estaciones pluviométricas y Polígonos de Thiessen.
Fuente: Ven Te Chow, 1994, Hidrología Aplicada.

Para calcular la precipitación promedio en la cuenca delimitada mediante los polígonos de Thiessen, se usa la fórmula 3 mostrada a continuación:

$$P = \frac{1}{A} \cdot \sum_{j=1}^J A_j \cdot P_j \quad (3)$$

Donde:

- J : Cantidad de pluviómetros de la zona
- A_j : Área correspondiente a la estación “j”
- P_j : Precipitación correspondiente a la estación “j”
- A : Área total de la cuenca hidrográfica

El tercer método es el método de las isoyetas, el cual consiste en utilizar las profundidades o datos que se observan en los pluviómetros e interpolarlos entre pluviómetros adyacentes. Una isoyeta está definida como la unión de los puntos en un plano cartográfico que presentan la misma precipitación medida en una determinada unidad de tiempo. Una vez creadas las isoyetas (Figura 8), se mide el área entre dos isoyetas contiguas y se multiplica por los datos de precipitación promedio de las dos isoyetas adyacentes, con lo cual se puede utilizar la Fórmula 3, para obtener el promedio sobre el área de la cuenca. Este método se puede considerar más flexible que el método de los Polígonos de Thiessen, debido a que se conoce un patrón de las precipitaciones en las diversas zonas de la cuenca, sin embargo, se requiere de una gran cantidad de estaciones pluviométricas para que se pueda construir el mapa de isoyetas de manera adecuada.

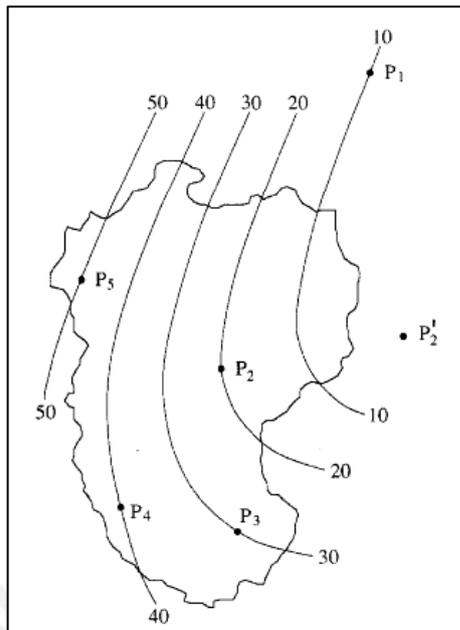


Figura 8: Cuenca con isoyetas trazadas.

Fuente: Ven Te Chow, 1994, Hidrología Aplicada.

4.2.5 Períodos de Avenidas y Estiaje

El período de avenidas se define como el período donde las precipitaciones pluviométricas caen con mayor regularidad, lo que permite almacenar el agua en reservorios para el uso en sistemas hidráulicos. (COES-SINAC, 2010)

Entretanto, el período de estiaje se define como el período donde las precipitaciones pluviométricas disminuyen, lo que produce una reducción en los caudales naturales, por ello es necesario suplir estos meses con agua almacenada. (COES-SINAC, 2010)

4.3 Calidad del Agua

4.3.1 Generalidades

La calidad del agua de lluvia es implícitamente mejor que el de las aguas superficiales, debido a la composición que no permite que se deteriore tanto como las otras que están expuestas constantemente a más agentes contaminantes. Es así, que se puede intuir teóricamente que el agua de lluvia si es bien tratada en cuanto a su recolección, distribución y

almacenamiento puede ser utilizada directamente para algunos usos domésticos como lavado sanitario, lavado y limpieza de pisos, inodoros y riego de jardines, que es lo que se busca en la presente tesis. Asimismo, se sabe que se puede utilizar para distintos usos comerciales e industriales que en este caso no forman parte del alcance de la tesis.

Para que el agua pueda ser potable, se deben realizar purificaciones más especializadas, pero que se pueden hacer directamente en el hogar. Sin embargo, ello representaría un gasto adicional dependiendo del tipo de sistema de purificación que se decida implementar, lo cual se analizará más adelante aportando algunas soluciones.

4.3.2 Estándares de Calidad de Agua

Los primeros esfuerzos por establecer leyes e índices para poder regir la calidad del agua se encuentran en Estados Unidos con la Ley de Servicio de Salud Pública emitida en el año 1912. Desde ahí, los estándares fueron evolucionando paulatinamente hasta que en el año 1974 se aprobó la Ley de Calidad de Agua Potable, la cual se convirtió en un exhaustivo método de regulación para los proveedores de agua que pretendía cubrir al 90% de la población de Estados Unidos. Esta nueva ley es la que ha ido actualizándose continuamente. (Masters y Ela, 2008)

Los estándares de agua potable se dividen, según Masters y Ela (2008), en estándares primarios y secundarios. Los estándares primarios, son obligatorios y están basados en criterios relacionados con la salud, mientras que los estándares secundarios tienen que ver más con aspectos estéticos como gusto, olor y color del agua potable, y con aspectos no estéticos como la corrosividad o dureza, pero siendo todos éstos no obligatorios.

Como parte de la clasificación de estándares se encuentra, en primer lugar, los estándares químicos, donde es importante identificar metales de elevada toxicidad como el arsénico, el cadmio, el plomo y el mercurio, así como nitritos y nitratos, fluoruros y fibras de amianto. Los estándares enfocados en los metales se consideran los más importantes en el análisis del agua en el

caso de esta tesis, por la proximidad del sitio de estudio con minas en explotación. Para mencionar, también existen los estándares microbiológicos en donde se analizan directamente las coliformes presentes en el agua y los radionucleidos donde se analizan las concentraciones de algunas sustancias como el radón, el radio-226, el estroncio-90 y el tritio. Así también, los estándares secundarios, los cuales como ya se mencionó anteriormente no son obligatorios. (Masters y Ela, 2008)

Los estándares de calidad de agua más conocidos en el Perú son los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental de Agua (Anexo 6), emitido mediante el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM en el año 2015, siendo esta una revisión del Decreto Supremo N°002-2008-MINAM, en el que participó el gobierno a través del Ministerio de Ambiente liderado por Antonio Brack en el año 2008. En dicho documento se establecen los requerimientos químicos y físicos del agua para sus distintos usos diferenciándolos por categorías que se explicarán a continuación, las cuales fueron definidas por el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM, con las correspondientes correcciones en el Decreto Supremo del año 2015 mencionado anteriormente.

Categoría 1: Poblacional y Recreacional

En esta primera categoría se pueden diferenciar dos tipos de usos del agua, uno que va a ser destinado a su potabilización y el segundo que va a ser destinado a simple recreación.

En el primer caso, a su vez, se diferencian en 3 grupos: Para empezar se tienen las aguas que pueden ser potabilizadas con una simple desinfección. Luego, están las aguas que pueden ser potabilizadas mediante tratamientos convencionales como lo son los procesos de decantación, coagulación, sedimentación, filtración entre otros, además de la desinfección antes señalada. Por último, se tiene el caso en que el agua puede ser potabilizada con tratamientos más avanzados que ya involucran métodos físicos y químicos avanzados, los cuales serán indicados por el sector competente.

En el segundo caso, que son las aguas destinadas para la recreación, se diferencian en dos grupos: El primero depende si el contacto es primario,

como pueden ser en lugares utilizados para natación, esquí acuático, buceo, surf, canotaje, moto acuática, pesca submarina entre otros. Y el segundo, si el contacto es secundario, que se da cuando se practican deportes acuáticos sobre botes, lanchas, o cualquier tipo de embarcación que prevenga de un contacto directo con el agua.

Categoría 2: Actividades de Extracción y Cultivo Marino Costeras y Continentales

En esta categoría se identifican 4 tipos de actividades en las que es utilizada el agua. La primera corresponde a la extracción y cultivo de moluscos bivalvos en aguas marino costeras, la cual se refiere a los animales que se alimentan por medio de filtración, entre los cuales se tienen a las ostras, almejas, choros, conchas de abanico, entre otros. Asimismo se incluyen los gasterópodos como los caracoles, los equinodermos como las estrellas de mar y los tunicados. La segunda sub categoría, corresponde a la extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras, las cuales engloban a todos los peces y las algas comestibles. En cuanto a la tercera sub categoría denominada otras actividades en aguas marino costeras, se incluyen infraestructura marina portuaria, actividades industriales y servicios de saneamiento. Por último se tiene la cuarta sub categoría, denominada extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas, la cual es similar a la segunda sub categoría, en donde las especies hidrobiológicas son para consumo humano, con la diferencia en la ubicación del agua.

Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales

En este caso se diferencian 2 tipos, el primero tiene que ver con el riego de vegetales de tallo bajo, como pueden ser el ajo, la lechuga, fresa, col, arvejas, entre otros y los vegetales de tallo alto, como los árboles forestales, frutales y similares. El segundo lugar, se tiene al agua destinada para bebida de animales, que se refieren principalmente a ganado vacuno, ovino, porcino, equino o camélido y también a animales más pequeños como ganado caprino, cuyes, aves y conejos.

Categoría 4: Conservación de ambiente acuático

Esta categoría está referida a regular las aguas superficiales que representan ecosistemas frágiles o áreas naturales protegidas. Están divididas, a su vez, en lagunas y lagos, las cuales se definen como aguas sin corriente continua, donde también están comprendidos los humedales. Luego tenemos los ríos, los cuales tienen un movimiento definido continuamente en una misma dirección, aquí mismo se diferencian los ríos de la costa y sierra por un lado y los ríos de la selva por otro. Por último, se tiene los ecosistemas marino costeros, los cuales pueden ser estuarios como marismas y manglares, y marinos que comprenden desde la línea paralela de baja marea hasta el límite marítimo nacional.

Cabe señalar que en el presente trabajo, no se cuenta con datos de calidad de agua de lluvia para la zona, la cual es de esperar que este comprendida en la Categoría 1. El análisis de calidad de agua no está dentro de los alcances de la presente tesis, sin embargo, éste será sugerido en el capítulo líneas futuras de investigación, para próximos trabajos.

4.4 Métodos de Tratamiento de Agua

Existen diversos métodos de tratamiento de agua de bajo costo que se pueden utilizar en el sistema de captación planteado en el presente trabajo. De esta manera se agregará valor al sistema de captación y podrá ser mejor aprovechada por los usuarios finales.

Se procederá a mencionar algunas de ellas, sugeridas por la Organización Panamericana de la Salud, en su Biblioteca Virtual de Desarrollos Sostenible y Salud Ambiental. Éstas se pueden utilizar en zonas residenciales y se caracterizan principalmente por su bajo costo comparado con otras opciones más sofisticadas.

4.4.1 Método de Clarificación

Este método se realiza mediante la adición de sustancias químicas o naturales, para que las partículas suspendidas se decanten hacia el fondo del recipiente en el que se esté realizando. Esta capa de sedimentos o lodo

que queda en el fondo se debe proceder a desechar. Uno de los productos que pueden utilizarse es el alumbre, el cual no afecta la salud de las personas y viene en forma de cristales de color blanco. A su vez, no es muy costoso y se puede encontrar libremente en cualquier farmacia.

Éste método se utiliza generalmente cuando el agua es considerada muy turbia, como un paso previo para proceder con otros métodos de limpieza, por lo que luego de este procedimiento, no puede considerarse aún apta para el consumo humano.

4.4.2 Método de Filtración

Este método consiste en filtrar el agua a través de distintas capas de un material poroso, con el objetivo de retener algunas bacterias y partículas suspendidas. Existen distintas formas de realizar este proceso como el filtro de vela, el filtro casero de emergencia o el filtro de arena, el cual se muestra en la Figura 9.

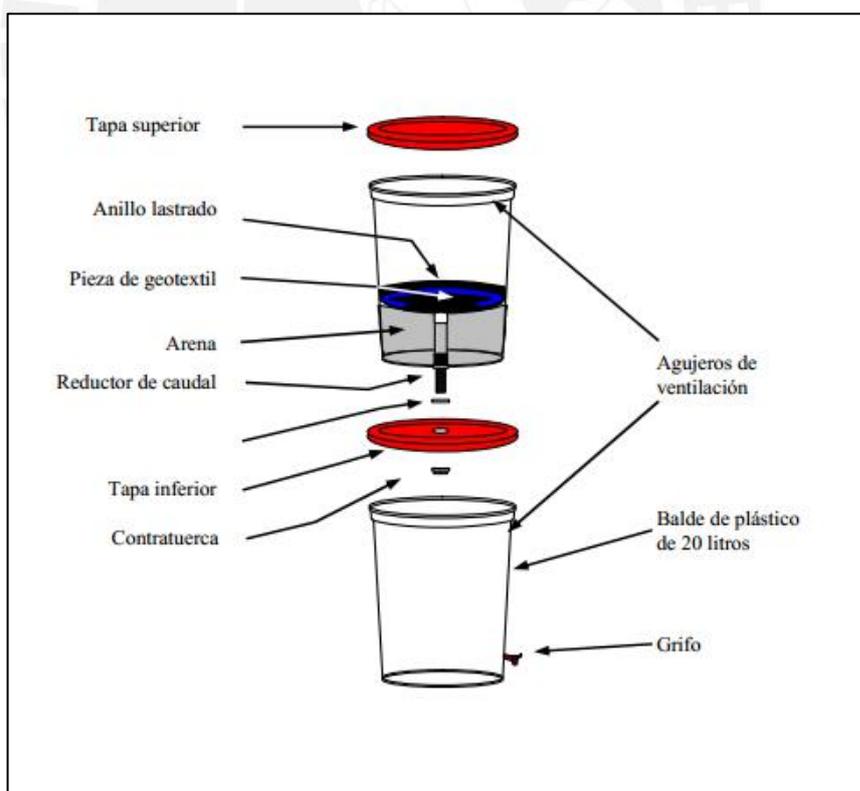


Figura 9: Filtro de arena.

Fuente: UNATSABAR, 2000, Filtro de Mesa de Arena; guía de construcción, operación y mantenimiento.

4.4.3 Métodos Físicos de Desinfección

Este método se refiere a la eliminación de los microorganismos del agua que pueden producir diversas enfermedades en los seres humanos. El método convencional más usado para desinfectar el agua cuando no es posible realizar un tratamiento de aguas por medio de sustancias químicas o medios físicos como la filtración es hervirla. Este proceso debe darse como mínimo por 10 minutos para que se asegure que las bacterias más dañinas y parásitos mueran. Otro método físico es la radiación ultravioleta, la cual es producida por lámparas que emiten una radiación con frecuencia de 254nm (Figura 10), la cual es letal para bacterias y virus. Sin embargo, la efectividad es menor para ciertos tipos de microorganismos comparado con el cloro y el ozono (métodos químicos). (Rocha, 2010)

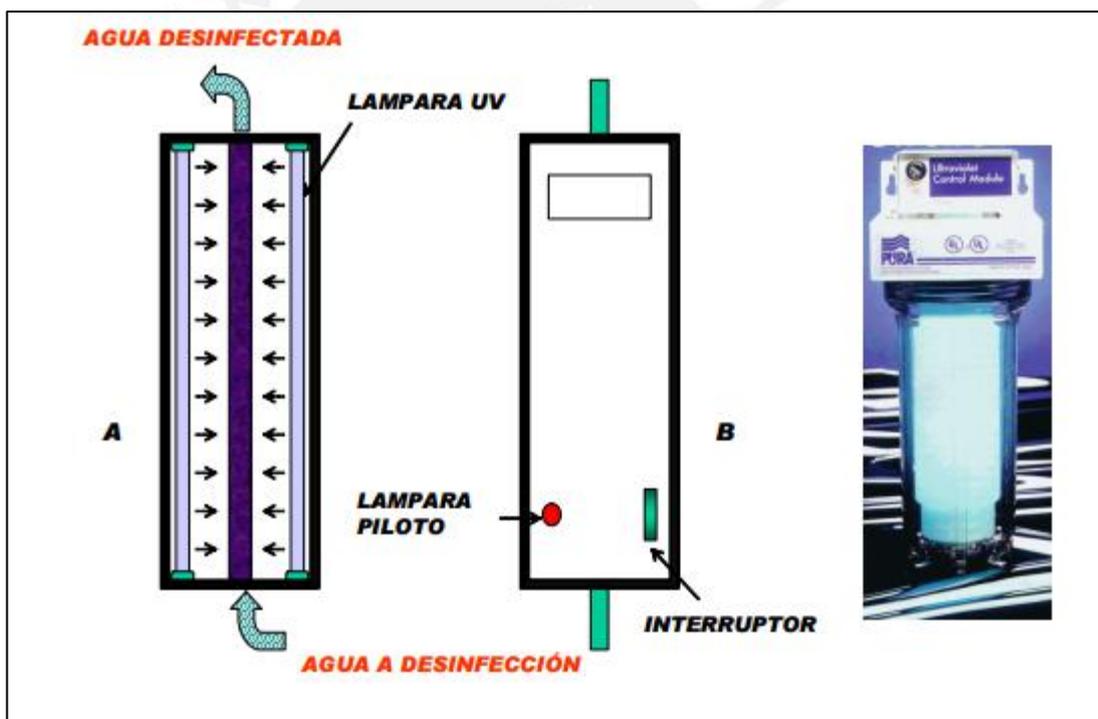


Figura 10: Lámpara UV con detalles en A y con cubierta protectora en B.

Fuente: Rocha, 2010, Ingeniería de Tratamiento y Acondicionamiento de Aguas.

4.4.4 Métodos Químicos de Desinfección

Para la desinfección por métodos químicos existen varios compuestos que se pueden utilizar, todos derivados del cloro para realizar el proceso conocido como cloración. En primer lugar, se tiene el hipoclorito de sodio, el cual es un líquido transparente de color ámbar. Este producto es el más

utilizado para la desinfección doméstica debido a su bajo costo y su relativamente fácil aplicación. Luego, está el hipoclorito de calcio, el cual es un producto sólido seco, que puede ser granulado o en polvo de color blanco, pero que para su utilización se necesita disolver para generar una solución. Por último se cuenta con el cloro gaseoso, el cual es un gas amarillo verdoso que se usa normalmente en plantas de tratamiento. Este gas debe ser aislado y tratado con equipos especiales debido a su alta toxicidad (Figura 11). Todos estos productos poseen la capacidad de eliminar los microorganismos perjudiciales para la salud humana que pueden estar presentes en el agua. (Rocha, 2010)

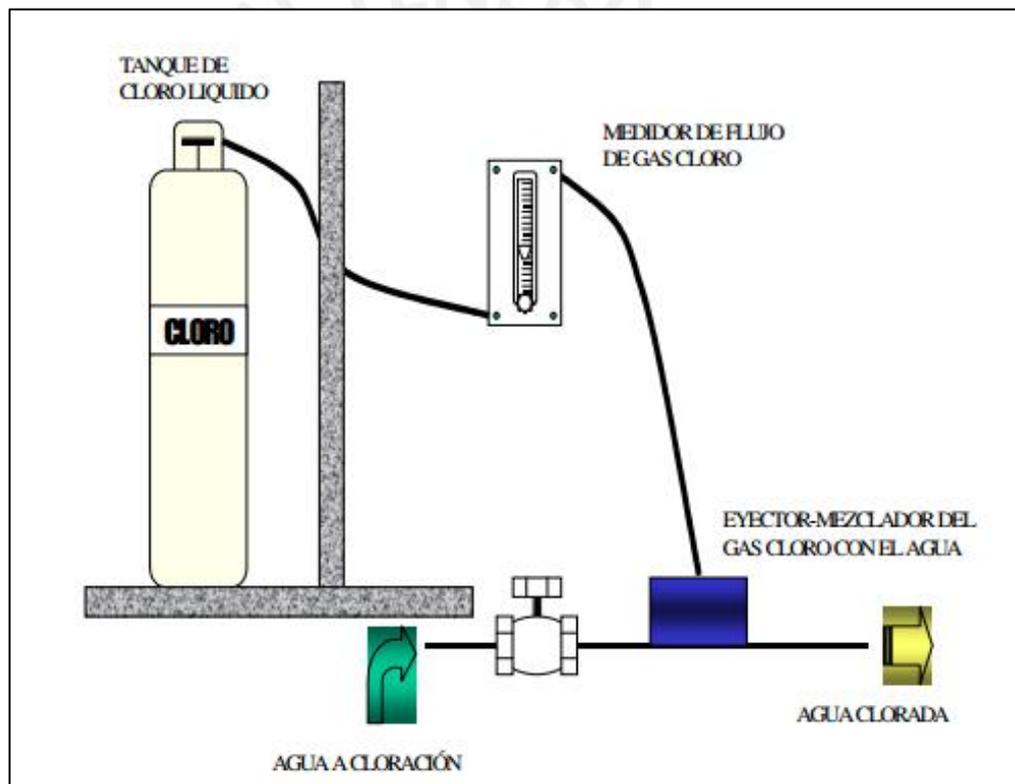


Figura 11: Sistema de desinfección con tanque de cloro gaseoso aislado.

Fuente: Rocha, 2010, Ingeniería de Tratamiento y Acondicionamiento de Aguas.

Atención especial se le debe dar a la desinfección por ozono, el cual tiene un potencial de oxidación mayor que el cloro, por lo que es un desinfectante más eficiente. El problema radica en que el ozono tiene que producirse en el mismo momento de su utilización, debido a su gran inestabilidad que no le permite tener un efecto residual. Por esta razón, contar con equipos que

produzcan ozono puede representar un alto costo de inversión (Figura 12). Sin embargo, con el tiempo se han ido reduciendo los costos de estos sistemas y hasta se pueden encontrar hoy en día en las viviendas comunes. (Rocha, 2010)



Figura 12: Equipo industrial para producción de ozono.

Fuente: Rocha, 2010, Ingeniería de Tratamiento y Acondicionamiento de Aguas.

Como dato informativo, para el control de los sistemas de tratamiento de agua potable en el Perú, la SUNASS (2004) recomienda una serie de pasos a seguir. En primer lugar, se deben realizar inspecciones sanitarias al sistema de producción y distribución, luego se debe realizar un control del cloro residual a la salida de los sistemas antes mencionados, y en los camiones cisterna que distribuyen el agua. Después, se debe controlar la calidad microbiológica del agua potable, la calidad física y química y se debe constatar el cumplimiento del programa de limpieza de reservorios y purga de redes de distribución. Por último, se debe controlar los productos químicos usados en el tratamiento y desinfección del agua potable.

4.5 Sistema de Captación y Distribución

Para el diseño del sistema de captación y distribución, se utilizará el modelo SCAPT (Sistema de captación de aguas pluviales en techo), propuesto por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), el cual se muestra en la Figura 13 con sus componentes principales.

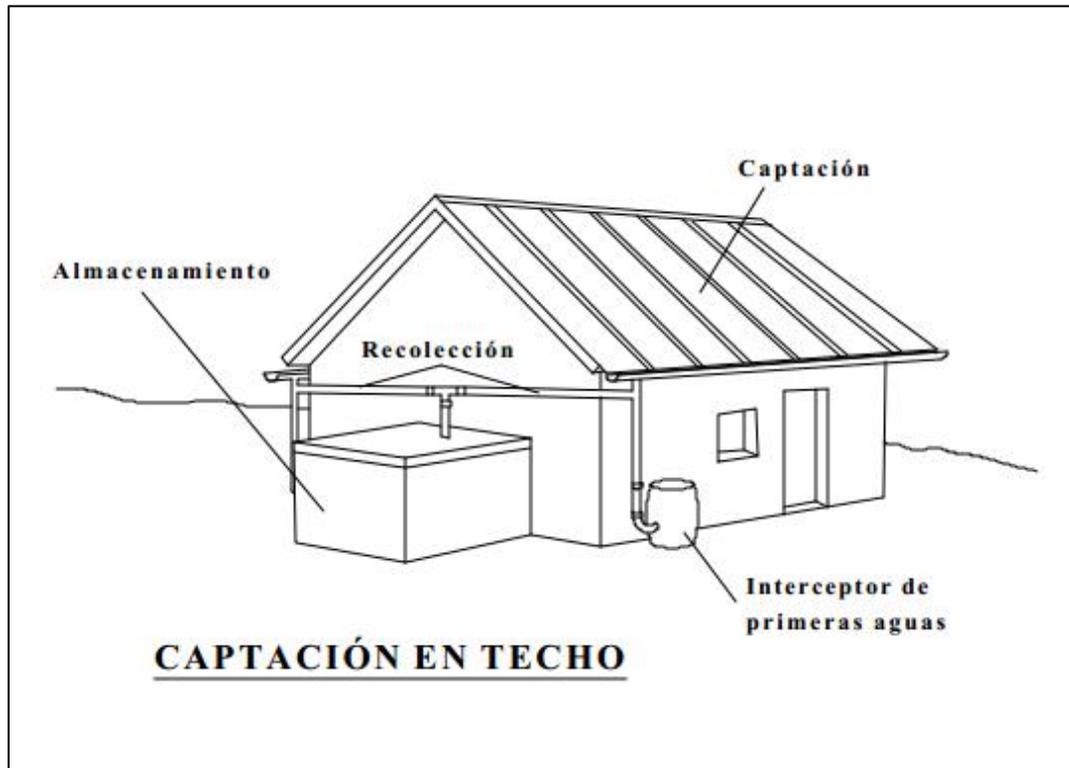


Figura 13: SCAPT – Sistema de captación de agua pluvial en techos.

Fuente: CEPIS, 2004. Guía de Diseño para Captación del Agua de Lluvia.

A continuación se detallan los componentes principales del sistema de captación SCAPT.

4.5.1 Captación

La captación está conformada por el techo de la edificación, el cual debe tener la pendiente y la superficie adecuadas para permitir el escurrimiento del agua. Para efectos de cálculos, solo se debe emplear la proyección horizontal del área del techo, como se observa en la Figura 14.

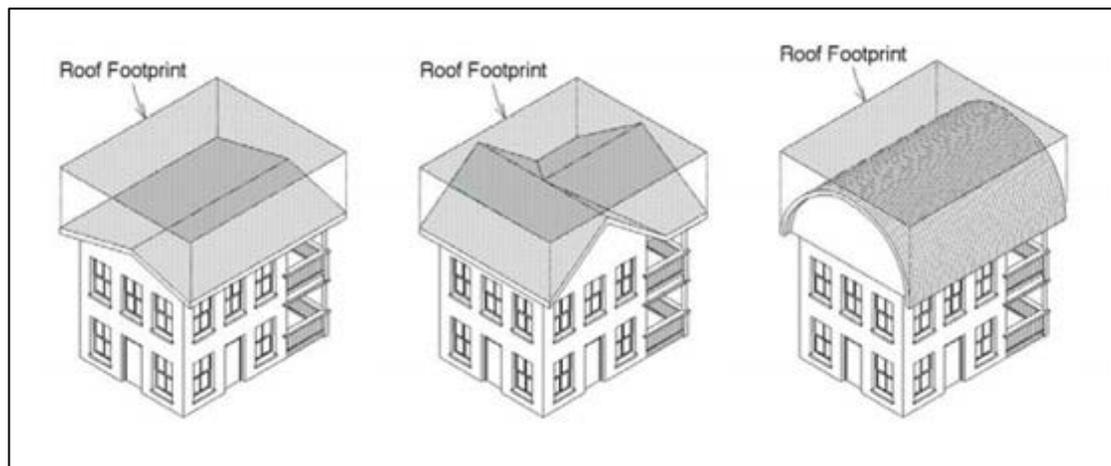


Figura 14: Proyección de las áreas efectivas de captación para distintos tipos de techos.

Fuente: Texas Water Development Board, 2005. The Texas Manual on Rainwater Harvesting.

Los materiales a utilizar en los techos están definidos en el estudio de caso. Las opciones que se pueden considerar son planchas metálicas onduladas, tejas de arcilla, paja, entre otros, dependiendo de las características físicas y climáticas de la zona de estudio. (CEPIS, 2004)

4.5.2 Recolección y Conducción

La función principal del sistema de recolección y conducción es llevar el agua que cae directamente de las precipitaciones hacia el tanque de almacenamiento. Se puede dar a través de canaletas adosadas en los bordes del techo. Éstas deben ser livianas para poder manejarlas y colocarlas de la mejor manera, resistente al agua como todos los componentes del sistema principal y debe ser fácil la conexión entre sus partes. El objetivo es evitar al máximo las posibles fugas de agua que se dan principalmente en los enlaces entre los elementos. Se pueden hacer de bambú, madera, metal o PVC, siendo este último el material elegido para el caso de estudio. Asimismo, las canaletas se pueden fijar al techo mediante alambres, madera o clavos (Figura 15). Es muy importante señalar que en todo el proceso se debe asegurar que el agua no se contamine mediante compuestos orgánicos o inorgánicos que puedan provenir de algún tipo de conexión mal proyectada. Se debe contar además, con unas mallas o

rejillas, como se observa en la Figura 16, que no permitan que algunos materiales indeseables que por lo general caen en los techos obstruyan las tuberías e impidan que el agua llegue hacia los interceptores que vienen más adelante en el sistema. (CEPIS, 2004)



Figura 15, Figura 16: Canaleta de recolección vistas inferior y superior.

Fuente: CEPIS, 2004. Guía de Captación de Agua de Lluvia.

4.5.3 Interceptores

Se le conoce como el dispositivo de descarga de primeras aguas, en el cual se encuentran todos los elementos indeseables que ha ido reteniendo el techo durante el tiempo que no había precipitación. Se debe identificar el volumen de agua requerido para el lavado, se calculará aproximadamente tomando 1 litro por m^2 . Esta cantidad de agua se debe almacenar en un primer momento en un tanque adicional de plástico con una llave de descarga. El detalle del interceptor de primeras aguas se presenta en la Figura 17. (CEPIS, 2004)

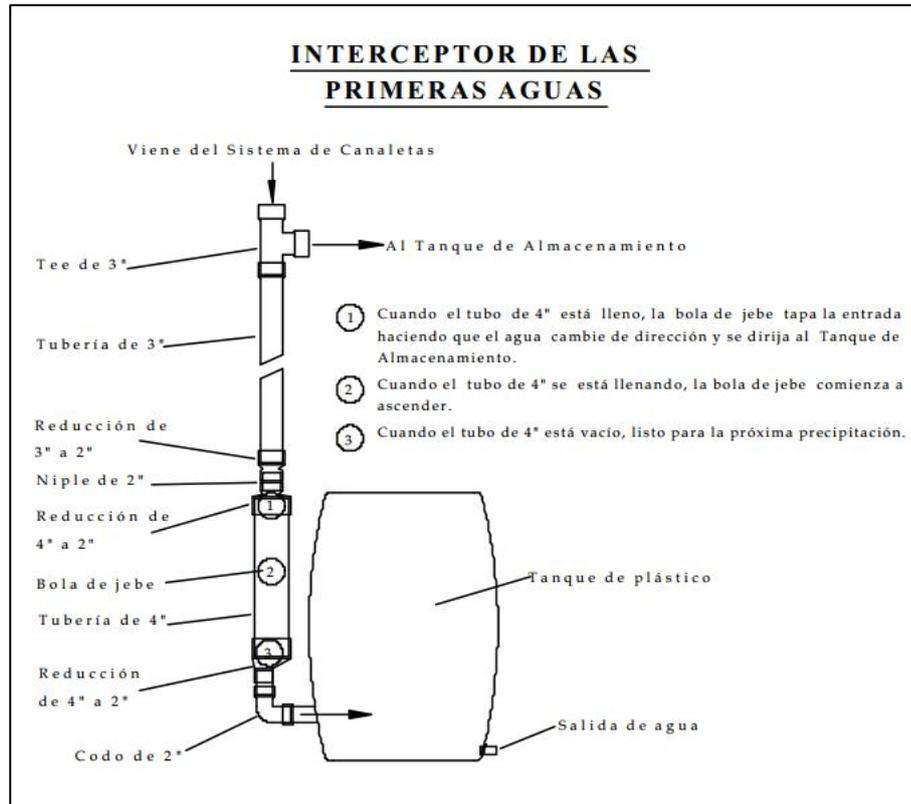


Figura 17: Tanque Interceptor de Primeras Aguas.

Fuente: CEPIS, 2004. Guía de Captación de Agua de Lluvia.

4.5.4 Almacenamiento

Se debe dotar de agua a la vivienda en períodos de estiaje, siendo ésta la función principal del tanque de almacenamiento. De acuerdo con el CEPIS (2001), se deben identificar las características requeridas para el diseño de este tanque, las cuales se mencionan a continuación:

- Impermeabilidad, necesaria para evitar las pérdidas de agua que se pueden presentar por transpiración o goteo.
- Se deben evitar sobrepresiones por lo que se recomienda que el tanque no sea de más de 2 metros de altura.
- Debe ser un tanque cerrado, dotado con una tapa que impida el ingreso de insectos, polvo o rayos solares.
- Debe contar con una escotilla para que se pueda hacer el mantenimiento requerido cada cierto tiempo. Este elemento debe ser del tamaño necesario para que pueda ingresar una persona a realizar esta labor.

- Se debe contar con mallas o rejillas en la entrada y rebose del tanque para evitar el ingreso de hojas o insectos.
- Debe contar con dispositivos de drenaje adecuados, para cuando se quiera solucionar algunos problemas que se puedan presentar o hacer el mantenimiento respectivo.

Según CEPIS (2001), existen dos tipos de tanques principales que se pueden utilizar en las zonas rurales:

- Tanques de mortero cemento – arena: Son tanques pequeños hechos generalmente con moldes de madera. Los modelos más reducidos tienen capacidad de 0.1 a 0.5m³; mientras que los grandes pueden alcanzar volúmenes de 2.3m³ y hasta 1.5m de altura.
- Tanques de concreto: Generalmente se construyen utilizando moldes de acero concéntricos en donde se vacía el concreto. Estos tanques pueden llegar a tener capacidades de hasta 11m³.

4.6 Fórmulas para el Diseño del Sistema de Captación y Distribución

Para la determinación de la precipitación promedio mensual, se utiliza la Fórmula 4 descrita a continuación, la cual relaciona la sumatoria de precipitaciones de un mes específico con el número de años estudiados. (CEPIS, 2004)

$$Pp_i = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} p_i}{n} \quad (4)$$

Donde:

- n: Número de años evaluados
- p_i: Valor de precipitación mensual del mes “i” (mm)
- Pp_i: Precipitación promedio mensual del mes “i” de todos los años evaluados (mm)

Asimismo, para la determinación de la demanda mensual, se necesita conocer la cantidad de usuarios de la vivienda a considerar en el diseño, los días del mes analizado y la dotación, la cual es la cantidad de agua

consumida por persona por día. Luego, se utiliza la Fórmula 5 descrita a continuación. (CEPIS, 2004)

$$D_i = \frac{Nu \times Nd \times Dot}{1000} \quad (5)$$

Donde:

Nu: Número de usuarios que se benefician con el sistema

Nd: Número de días del mes analizado

Dot: Dotación (litros/persona.día)

D_i: Demanda mensual (m³)

Finalmente, para la determinación del volumen del tanque de almacenamiento, se combina el resultado anterior de precipitación promedio mensual, con el coeficiente de esorrentía del techo y el área de captación disponible (Figura 14) en la vivienda, conforme se indica en la Fórmula 6. (CEPIS, 2004)

$$A_i = \frac{Pp_i \times Ce \times Ac}{1000} \quad (6)$$

Donde:

Pp_i: Precipitación promedio mensual (litros/m)

Ce: Coeficiente de esorrentía

Ac: Área de captación (m²)

A_i: Abastecimiento correspondiente al mes "i" (m³)

5. Estudio de Caso

5.1 Localización de la Zona de Estudio

La zona de estudio para la presente tesis es la nueva ciudad de Morococha, ubicada en la provincia de Yauli (Figura 18), departamento de Junín, ubicado en la zona central del Perú (Figura 19). La provincia de Yauli, está ubicada en la parte central de la cordillera de los Andes, teniendo su cota mínima en el río Mantaro a 3,740 m.s.n.m. y su cota máxima en el nevado Tucumachay a 5,730 m.s.n.m. La zona es considerada íntegramente montañosa y los recursos naturales como el clima, el agua y los suelos son los que sustentan principalmente las actividades humanas. (Municipalidad Distrital de Morococha, 2005)

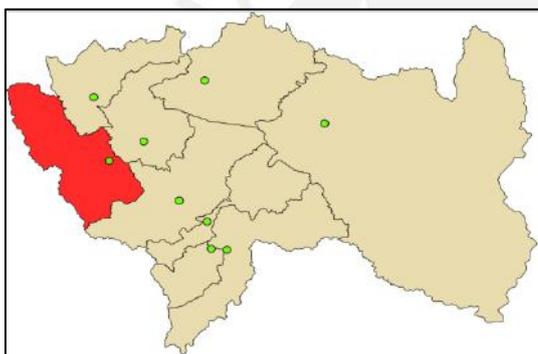


Figura 18: Provincia de Yauli.

Fuente: Google Images.



Figura 19: Departamento de Junín

Fuente: Google Images.

La nueva ciudad de Morococha (Anexo 1) es un reasentamiento de los pobladores de la ciudad de Morococha debido a la explotación del proyecto Toromocho, un importante proyecto de explotación de cobre. La ciudad se ubica a 4,750 m.s.n.m en promedio. Las viviendas y los edificios públicos de la nueva ciudad de Morococha fueron diseñadas siguiendo estándares de calidad nacionales e internacionales, debido a que toda la ciudad fué proyectada y diseñada en conjunto con anterioridad.

5.2 Tratamiento de los Datos de Precipitación

En este ítem se detallan los procedimientos seguidos para el tratamiento de los datos de precipitación seleccionados.

5.2.1 Recolección y Selección de Datos de Precipitación

Para la recolección de los datos de precipitación se presentaron dos opciones:

La primera opción es considerar los datos proporcionados por el SENHAMI, de las estaciones ubicadas en Casapalca, Tarma y Matucana con datos recientes (1990 a 2014), y de la estación Río Blanco con datos más antiguos (1969 a 1988). La ubicación de las estaciones referidas anteriormente, se encuentran en el Anexo 2.

La segunda opción es la proporcionada por un estudio de factibilidad en la derivación Pomacocha – Río Blanco realizado por la empresa SEDAPAL en abril de 1997, donde se encuentran datos de las estaciones meteorológicas de Morococha (1936 a 1995), Huascacocha (1955 a 1995) y Pucará (1952 a 1995) y de la estación meteorológica de Ticlio (1957 a 1968).

El factor que se considera más importante para la elección de los datos de precipitación a utilizar, es la cercanía al lugar de estudio. En este caso, se puede observar en el Anexo 2, que las estaciones meteorológicas utilizadas para el estudio realizado por SEDAPAL, se encuentran mucho más cerca de la nueva ciudad de Morococha, por lo que se considerarán los datos de las estaciones de Morococha, Huascacocha y Pucará, dejando de lado los datos proporcionados por el SENHAMI y la estación de Ticlio, por contener datos de precipitación muy antiguos e incompletos. En el Anexo 3 se muestran los datos de precipitación de las estaciones seleccionadas para el estudio de caso.

Para el análisis de los datos de precipitación, se tomará como base en todas las estaciones, el periodo comprendido entre los años 1955 a 1995, que corresponden a la estación de Huascacocha.

5.2.2 Completamiento de datos de Precipitación

Para el completamiento de los datos de precipitación, se utilizará el método de regresión lineal propuesto en el ítem 4.2.2. En principio, se debe calcular el coeficiente de correlación de las estaciones consideradas en el análisis y que, según Pizarro (1993), debe ser mayor de 0.8 para considerarse aceptable.

En la Tabla 1, se muestra el registro de datos de precipitación mensual de los años comprendidos entre 1955 a 1995 de la estación de Huascacocho. En amarillo, se encuentra resaltada la celda con el dato faltante.

Tabla 1: Precipitaciones mensuales (mm) de la estación Huascacocho con dato faltante.

| Huascacocho | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|-------|---------|-------|-------|------|-------|-------|--------|-----------|---------|-----------|-----------|--------|
| Año | Meses | | | | | | | | | | | | Total |
| | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Setiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre | |
| 1955 | | 154.6 | 174.3 | 55.5 | 62.5 | 17.3 | 11.0 | 5.5 | 33.4 | 46.4 | 23.8 | 69.9 | 654.2 |
| 1956 | 71.8 | 118.8 | 89.4 | 84.9 | 41.7 | 0.3 | 16.8 | 17.6 | 20.6 | 36.1 | 44.7 | 23.0 | 565.7 |
| 1957 | 103.0 | 127.1 | 83.1 | 50.8 | 26.7 | 5.7 | 2.2 | 23.0 | 34.5 | 74.1 | 47.5 | 60.2 | 637.9 |
| 1958 | 68.5 | 125.1 | 110.2 | 45.7 | 22.8 | 1.3 | 9.1 | 5.5 | 35.2 | 78.8 | 45.5 | 72.4 | 620.1 |
| 1959 | 104.2 | 137.0 | 169.2 | 96.5 | 27.9 | 20.8 | 2.8 | 12.5 | 55.0 | 104.0 | 54.0 | 138.0 | 921.9 |
| 1960 | 100.1 | 129.2 | 66.4 | 51.3 | 23.2 | 4.6 | 5.8 | 19.1 | 38.1 | 68.5 | 118.6 | 40.1 | 665.0 |
| 1961 | 186.1 | 119.0 | 97.4 | 126.6 | 71.7 | 10.0 | 0.0 | 8.5 | 45.9 | 31.1 | 139.9 | 152.4 | 988.6 |
| 1962 | 112.5 | 75.5 | 129.8 | 73.4 | 30.2 | 9.9 | 16.6 | 15.6 | 34.6 | 16.8 | 29.2 | 132.7 | 676.8 |
| 1963 | 195.1 | 158.1 | 194.0 | 71.5 | 6.7 | 2.9 | 1.8 | 32.0 | 72.4 | 51.9 | 125.9 | 77.7 | 990.0 |
| 1964 | 102.1 | 99.0 | 152.9 | 54.1 | 73.9 | 0.0 | 2.8 | 27.7 | 22.5 | 86.4 | 58.6 | 19.1 | 699.1 |
| 1965 | 78.6 | 132.8 | 92.2 | 49.5 | 12.3 | 3.4 | 27.7 | 31.5 | 65.8 | 39.8 | 39.3 | 114.6 | 687.5 |
| 1966 | 146.6 | 50.0 | 115.6 | 38.1 | 36.6 | 1.2 | 2.8 | 12.5 | 34.3 | 160.6 | 73.9 | 143.8 | 816.0 |
| 1967 | 84.1 | 187.7 | 149.5 | 65.4 | 27.9 | 13.0 | 31.3 | 28.6 | 27.0 | 111.1 | 45.7 | 86.9 | 858.2 |
| 1968 | 104.5 | 93.9 | 141.7 | 27.3 | 34.2 | 15.5 | 14.7 | 60.2 | 37.9 | 107.4 | 135.7 | 101.9 | 874.9 |
| 1969 | 73.7 | 112.6 | 77.0 | 89.4 | 9.9 | 23.8 | 34.6 | 29.5 | 67.3 | 76.8 | 63.8 | 138.5 | 796.9 |
| 1970 | 203.1 | 88.0 | 73.9 | 95.0 | 47.0 | 8.9 | 1.8 | 2.5 | 96.6 | 68.8 | 18.9 | 139.8 | 844.3 |
| 1971 | 92.3 | 115.2 | 111.6 | 59.9 | 47.8 | 1.3 | 3.8 | 32.9 | 8.4 | 73.9 | 42.3 | 98.7 | 688.1 |
| 1972 | 81.3 | 113.5 | 212.6 | 114.2 | 9.0 | 1.3 | 31.5 | 6.3 | 86.5 | 72.9 | 61.0 | 96.8 | 886.9 |
| 1973 | 184.2 | 171.2 | 172.7 | 67.4 | 23.8 | 28.7 | 11.7 | 19.8 | 59.2 | 113.7 | 66.8 | 125.7 | 1044.9 |
| 1974 | 111.0 | 95.5 | 105.9 | 42.2 | 9.1 | 18.0 | 2.6 | 56.4 | 49.5 | 54.9 | 35.4 | 56.4 | 636.9 |
| 1975 | 109.6 | 138.2 | 139.7 | 31.0 | 93.2 | 22.5 | 7.5 | 22.3 | 40.5 | 45.8 | 74.9 | 67.8 | 793.0 |
| 1976 | 103.3 | 131.2 | 87.5 | 46.0 | 24.8 | 21.8 | 14.5 | 9.2 | 77.3 | 2.3 | 66.5 | 74.8 | 659.2 |
| 1977 | 88.8 | 153.0 | 89.0 | 56.2 | 61.0 | 1.5 | 23.0 | 5.1 | 43.4 | 25.5 | 199.0 | 71.5 | 817.0 |
| 1978 | 105.4 | 160.8 | 95.3 | 20.1 | 23.9 | 17.5 | 18.0 | 24.4 | 93.0 | 90.7 | 89.4 | 51.3 | 789.8 |
| 1979 | 29.0 | 152.1 | 167.3 | 72.1 | 16.3 | 9.9 | 17.5 | 31.5 | 45.0 | 53.3 | 58.8 | 81.0 | 733.8 |
| 1980 | 95.4 | 87.8 | 75.3 | 24.3 | 32.5 | 12.1 | 33.5 | 12.3 | 56.0 | 88.0 | 86.0 | 40.4 | 643.6 |
| 1981 | 145.8 | 204.5 | 135.8 | 37.1 | 16.8 | 2.5 | 0.0 | 44.5 | 62.2 | 91.3 | 111.5 | 135.5 | 987.5 |
| 1982 | 103.4 | 159.3 | 83.6 | 43.4 | 1.3 | 17.0 | 10.2 | 31.2 | 60.7 | 83.8 | 132.1 | 106.3 | 832.3 |
| 1983 | 141.1 | 136.5 | 71.1 | 66.4 | 10.9 | 29.7 | 11.3 | 15.9 | 102.0 | 59.4 | 55.0 | 91.2 | 790.5 |
| 1984 | 75.4 | 143.3 | 119.6 | 62.4 | 24.1 | 27.7 | 5.3 | 16.5 | 7.5 | 55.4 | 101.8 | 92.6 | 731.6 |
| 1985 | 83.8 | 69.5 | 99.6 | 61.8 | 20.6 | 45.7 | 7.1 | 3.8 | 59.4 | 0.0 | 39.1 | 106.3 | 596.7 |
| 1986 | 166.4 | 163.2 | 126.1 | 86.9 | 47.2 | 0.0 | 20.6 | 19.4 | 62.6 | 11.9 | 60.2 | 129.3 | 893.8 |
| 1987 | 144.8 | 113.3 | 73.3 | 23.4 | 28.8 | 23.6 | 38.1 | 19.4 | 38.0 | 38.9 | 81.7 | 113.0 | 736.3 |
| 1988 | 134.2 | 83.8 | 83.6 | 93.7 | 27.2 | 0.0 | 1.8 | 0.0 | 65.0 | 38.6 | 60.5 | 68.1 | 656.5 |
| 1989 | 138.4 | 160.5 | 139.7 | 63.5 | 25.8 | 25.1 | 15.2 | 0.0 | 41.1 | 95.1 | 53.3 | 29.5 | 787.2 |
| 1990 | 179.3 | 39.5 | 83.6 | 36.6 | 32.0 | 100.6 | 12.7 | 16.0 | 66.0 | 105.5 | 95.3 | 117.6 | 884.7 |
| 1991 | 53.1 | 59.2 | 159.8 | 56.9 | 59.1 | 19.4 | 5.8 | 0.0 | 52.5 | 46.1 | 66.9 | 103.4 | 682.2 |
| 1992 | 78.2 | 55.9 | 81.2 | 25.9 | 2.4 | 24.0 | 16.5 | 36.1 | 19.1 | 87.4 | 44.1 | 51.4 | 522.2 |
| 1993 | 157.4 | 149.7 | 120.5 | 85.8 | 81.2 | 19.3 | 18.6 | 23.9 | 48.6 | 73.5 | 143.5 | 122.2 | 1044.2 |
| 1994 | 114.8 | 153.9 | 121.8 | 97.7 | 15.2 | 0.3 | 10.8 | 28.1 | 33.4 | 46.9 | 20.4 | 98.9 | 742.2 |
| 1995 | 76.7 | 107.7 | 101.1 | 66.0 | 13.0 | 6.3 | 17.8 | 5.8 | 35.1 | 47.5 | 50.0 | 77.2 | 604.2 |
| Promedios | 118.0 | 118.0 | 104.7 | 58.2 | 27.4 | 22.1 | 14.1 | 17.1 | 50.6 | 60.6 | 75.1 | 92.7 | 758.5 |

Fuente: Elaboración Propia, a partir de datos tomados de SEDAPAL (Anexo 3)

Para determinar el coeficiente de correlación se utilizó la herramienta del programa Excel “Análisis de datos” (Ver Figura 20). Con ello, se realizó la comparación entre los coeficientes de correlación de la estación con el dato faltante, en este caso Huascacocha, con las estaciones de Morococha y Pucará, eligiéndose la estación con el mayor valor de coeficiente de correlación obtenido para realizar la regresión lineal.

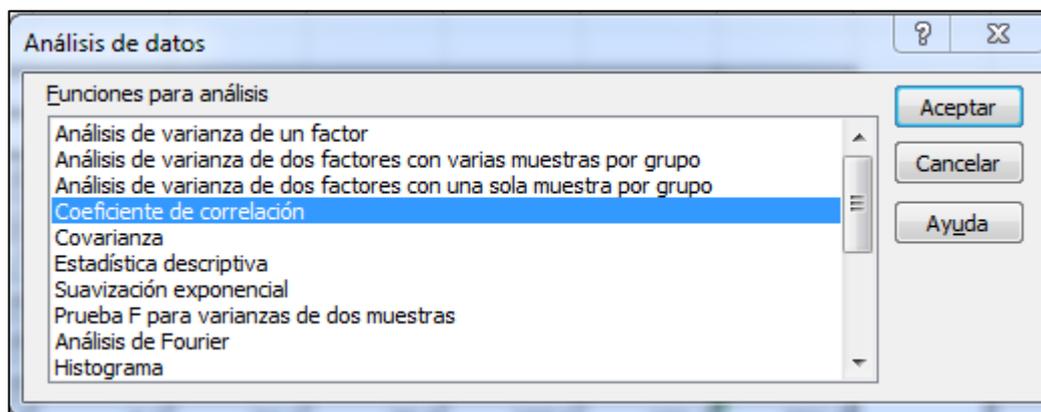


Figura 20: Pestaña “Análisis de datos” del programa Excel.

Fuente: Elaboración propia

Con dicha herramienta se obtuvo que el coeficiente de correlación mayor (R) correspondiente al mes de Enero fue de 0.844 entre la estación de Huascacocha y la estación de Morococha, lo cual se considera aceptable para proceder con la regresión lineal, debido a que es mayor que 0.8 como recomienda Pizarro (1993). Luego, se realizó un gráfico de dispersión con los datos de precipitación del mes de enero de las estaciones de Huascacocha y Morococha. Seguidamente, se determinó la línea de tendencia y la ecuación de regresión lineal (Gráfico 2), conforme a la Fórmula 1 (Ver ítem 4.2.2). Se debe tener en cuenta que el dato que se observa en el Gráfico 2 es del coeficiente de correlación elevado al cuadrado (R^2).

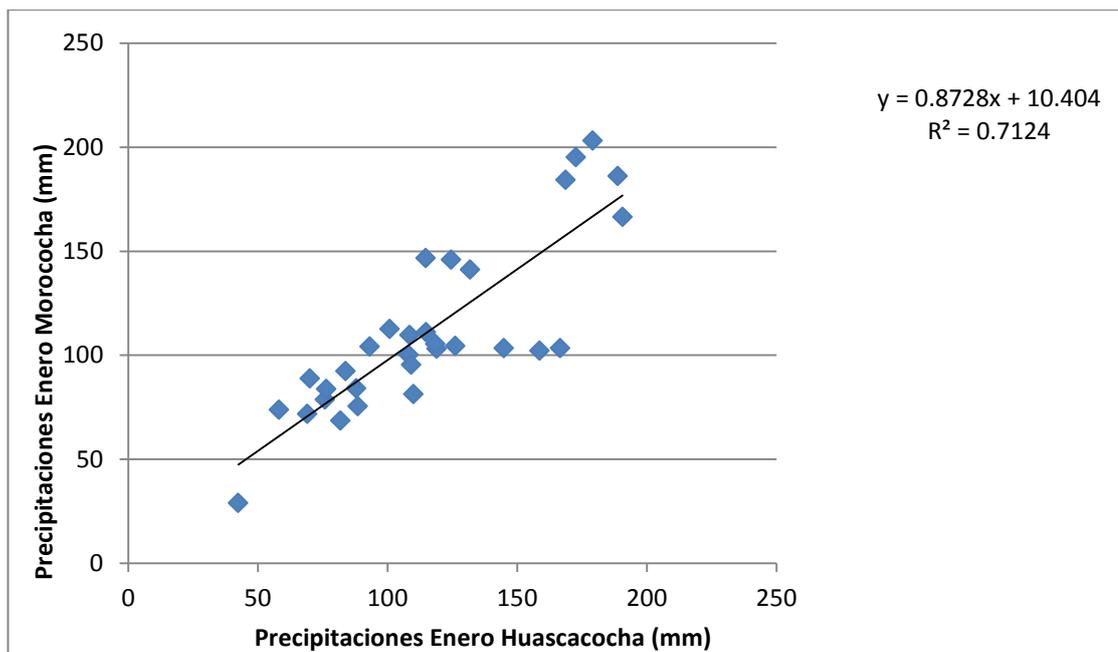


Gráfico 2: Línea de tendencia y ecuación de regresión lineal para el mes de Enero entre las estaciones de Morococha y Huascacocha.

Fuente: Elaboración propia

Con la ecuación de regresión lineal obtenida se calculó el dato faltante para el mes de Enero de 1955, correspondiente a la estación de Huascacocha, obteniéndose un valor de 96.9mm. (Ver Anexo 4b)

Aplicando el mismo procedimiento, se procedió a calcular los datos faltantes de las estaciones Morococha, Huascacocha y Pucará. Los cuadros con las precipitaciones mensuales completadas se muestran en el Anexo 4.

5.2.3 Análisis de Consistencia

En este caso, se utilizarán como estaciones base las estaciones de Morococha y Pucará, para analizar la estación de Huascacocha, debido a que es la que cuenta con la menor cantidad de años de datos de precipitación.

Para realizar la curva doble masa, se colocan en la tabla las precipitaciones totales de la estación de Huascacocha (P. Total) y el promedio de las estaciones base (P. Promedio). Luego, se requiere colocar las precipitaciones totales anuales acumuladas (P. Acumulada) de las estaciones base y de la estación a analizar, como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2: Precipitaciones totales anuales acumuladas en la estación Huascacocha y las estaciones base.

| Huascacocha | | | Estaciones base | |
|-------------|---------------|-------------------|------------------|-------------------|
| Año | P. Total (mm) | P. Acumulada (mm) | P. Promedio (mm) | P. Acumulada (mm) |
| 1955 | 751.1 | 751.1 | 670.5 | 670.5 |
| 1956 | 565.7 | 1316.8 | 603.5 | 1273.9 |
| 1957 | 637.9 | 1954.7 | 646.7 | 1920.6 |
| 1958 | 620.1 | 2574.8 | 642.8 | 2563.4 |
| 1959 | 921.9 | 3496.7 | 936.2 | 3499.6 |
| 1960 | 665.0 | 4161.7 | 688.9 | 4188.5 |
| 1961 | 988.6 | 5150.3 | 867.0 | 5055.5 |
| 1962 | 676.8 | 5827.1 | 625.9 | 5681.3 |
| 1963 | 990.0 | 6817.1 | 919.0 | 6600.3 |
| 1964 | 699.1 | 7516.2 | 730.7 | 7331.0 |
| 1965 | 687.5 | 8203.7 | 677.3 | 8008.2 |
| 1966 | 816.0 | 9019.7 | 549.0 | 8557.2 |
| 1967 | 858.2 | 9877.9 | 775.8 | 9333.0 |
| 1968 | 874.9 | 10752.8 | 804.9 | 10137.9 |
| 1969 | 796.9 | 11549.7 | 736.2 | 10874.0 |
| 1970 | 844.3 | 12394.0 | 856.4 | 11730.4 |
| 1971 | 688.1 | 13082.1 | 629.3 | 12359.7 |
| 1972 | 886.9 | 13969.0 | 801.7 | 13161.4 |
| 1973 | 1044.9 | 15013.9 | 909.2 | 14070.6 |
| 1974 | 636.9 | 15650.8 | 678.3 | 14748.9 |
| 1975 | 793.0 | 16443.8 | 775.3 | 15524.2 |
| 1976 | 659.2 | 17103.0 | 677.3 | 16201.4 |
| 1977 | 817.0 | 17920.0 | 613.6 | 16815.0 |
| 1978 | 789.8 | 18709.8 | 548.7 | 17363.7 |
| 1979 | 733.8 | 19443.6 | 676.4 | 18040.1 |
| 1980 | 643.6 | 20087.2 | 672.1 | 18712.2 |
| 1981 | 987.5 | 21074.7 | 829.3 | 19541.5 |
| 1982 | 832.3 | 21907.0 | 734.3 | 20275.7 |
| 1983 | 790.5 | 22697.5 | 584.4 | 20860.1 |
| 1984 | 731.6 | 23429.1 | 713.3 | 21573.3 |
| 1985 | 596.7 | 24025.8 | 591.3 | 22164.6 |
| 1986 | 893.8 | 24919.6 | 842.4 | 23006.9 |
| 1987 | 736.3 | 25655.9 | 629.5 | 23636.4 |
| 1988 | 656.5 | 26312.4 | 360.2 | 23996.6 |
| 1989 | 787.2 | 27099.6 | 449.5 | 24446.0 |
| 1990 | 884.7 | 27984.3 | 746.6 | 25192.6 |
| 1991 | 682.2 | 28666.5 | 835.0 | 26027.5 |
| 1992 | 522.2 | 29188.7 | 753.4 | 26780.9 |
| 1993 | 1044.2 | 30232.9 | 1054.6 | 27835.5 |
| 1994 | 742.2 | 30975.1 | 767.4 | 28602.9 |
| 1995 | 604.2 | 31579.3 | 647.9 | 29250.8 |

Fuente: Elaboración Propia, a partir de datos tomados de SEDAPAL (Anexo 3)

Finalmente, se graficó la curva doble masa comparando las precipitaciones acumuladas de las estaciones base y de la estación en análisis, como se muestra en el Gráfico 2.

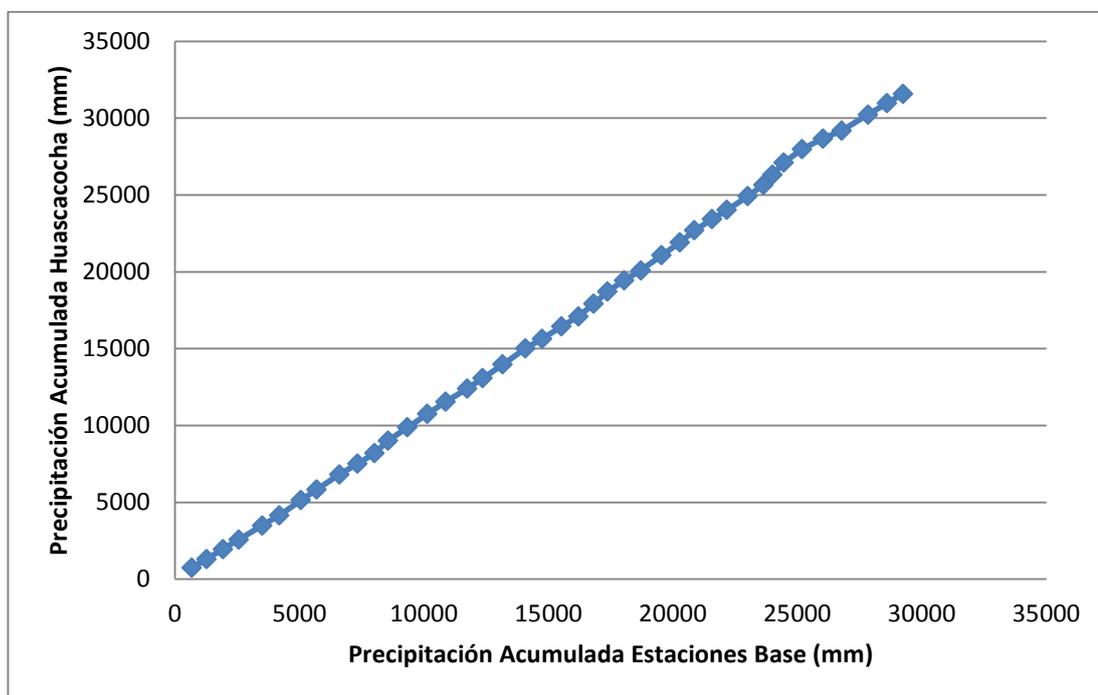


Gráfico 3: Curva doble masa para la estación Huascacocha.

Fuente: Elaboración Propia

Del gráfico 2 se puede observar que la pendiente al inicio de la curva es similar a la pendiente en el tramo final de la misma, lo que es un claro indicador que los datos con los que se cuentan son consistentes y no requiere de una corrección adicional.

5.2.4 Delimitación de la Cuenca Hidrográfica

Se procedió a identificar la cuenca hidrográfica en la que se encuentra la zona de estudio. Para ello, se utilizaron las cartas nacionales que corresponden a dicha zona, las cuales son la carta 24k y la carta 24l, correspondientes a la zona de Matucana. Estas cartas contienen información sobre cotas, ríos, lagos, nevados, curvas de nivel, entre otros, y se pueden descargar mediante la página web del Ministerio de Educación del Perú (MINEDU).

Luego, se utilizó el programa ArcMap, el cual es una extensión del programa ArcGIS, para identificar la cuenca correspondiente. Se ingresaron las cartas nacionales ya descargadas al programa y se seleccionaron las curvas de nivel (Figura 21).

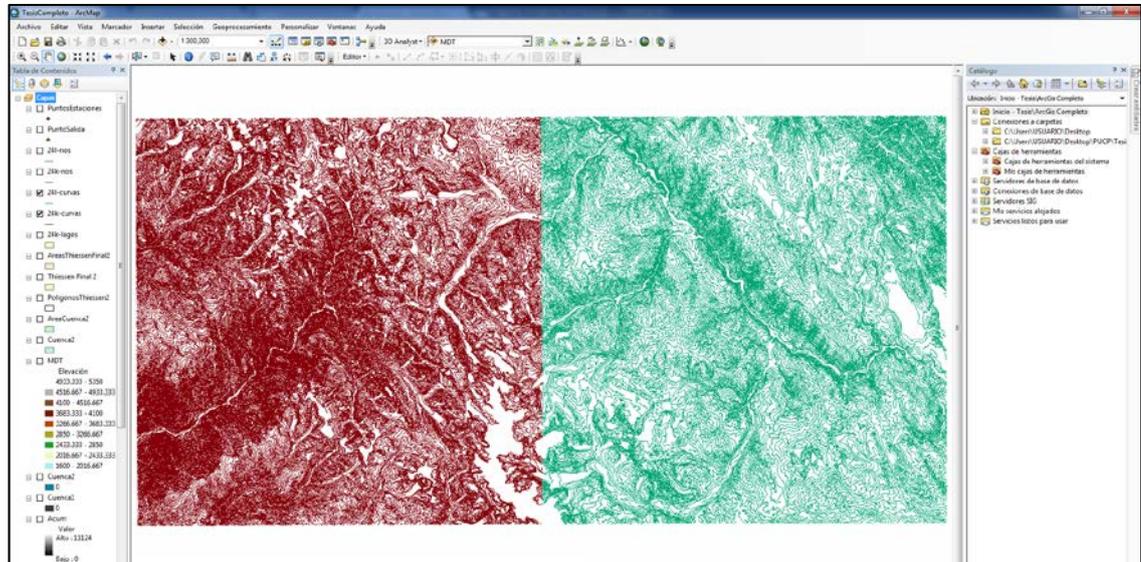


Figura 21: Interfaz del programa ArcMap con curvas de nivel.

Fuente: Elaboración propia

Seguidamente, para poder trabajar con las curvas de nivel, se procedió a convertir las mismas a un formato TIN, para lo cual se generó un MDT o modelo digital del terreno (Figura 22), y a su vez se convirtió el mapa en formato Raster (Figura 23).

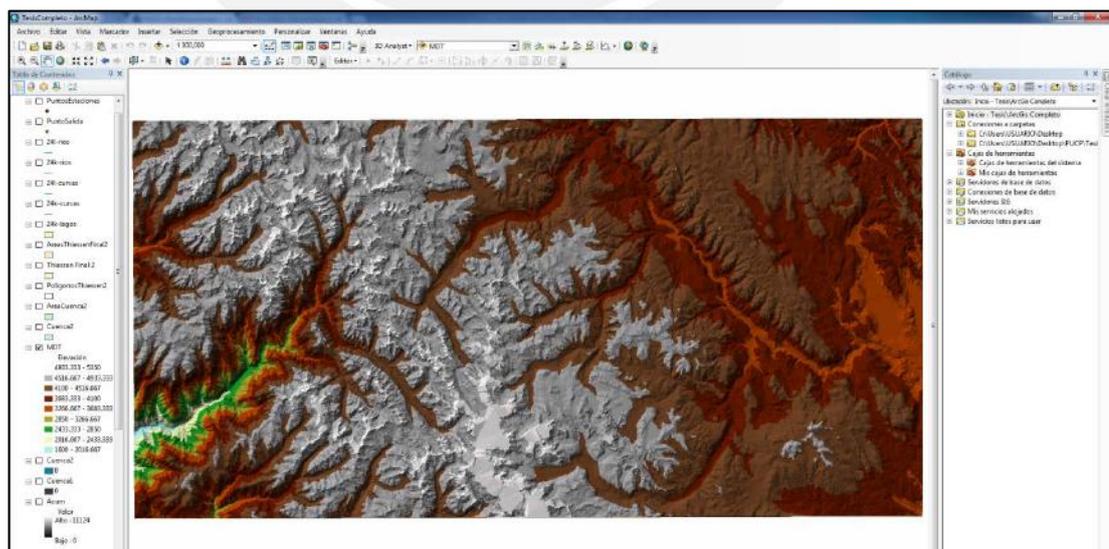


Figura 22: Modelo Digital del Terreno.

Fuente: Elaboración propia

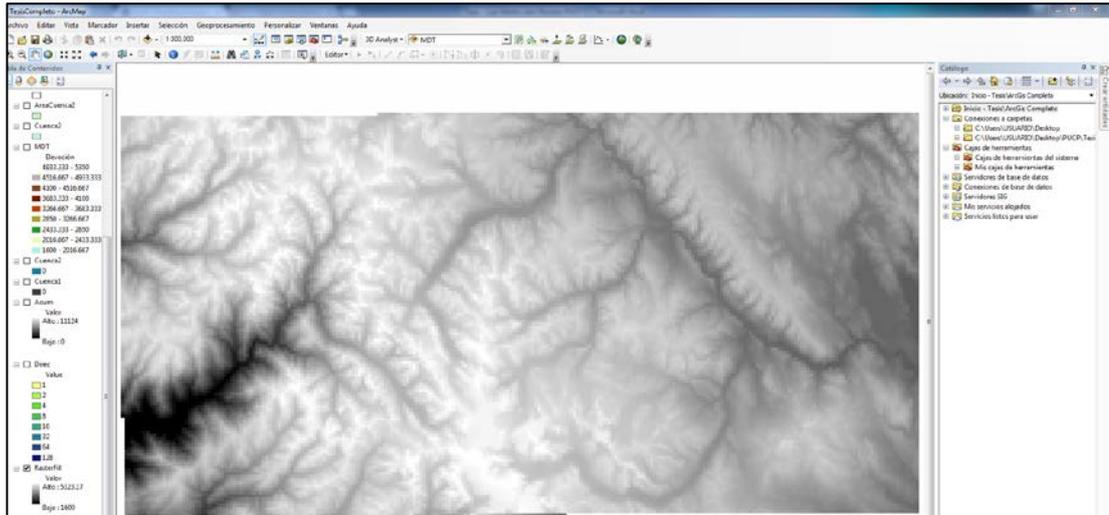


Figura 23: Mapa en Formato Raster.

Fuente: Elaboración propia

A continuación, con el mismo programa, se identificó la dirección del flujo, el flujo acumulado, y se seleccionó el punto de salida de la cuenca estudiada, con lo cual se generó la cuenca hidrográfica (Figura 24).

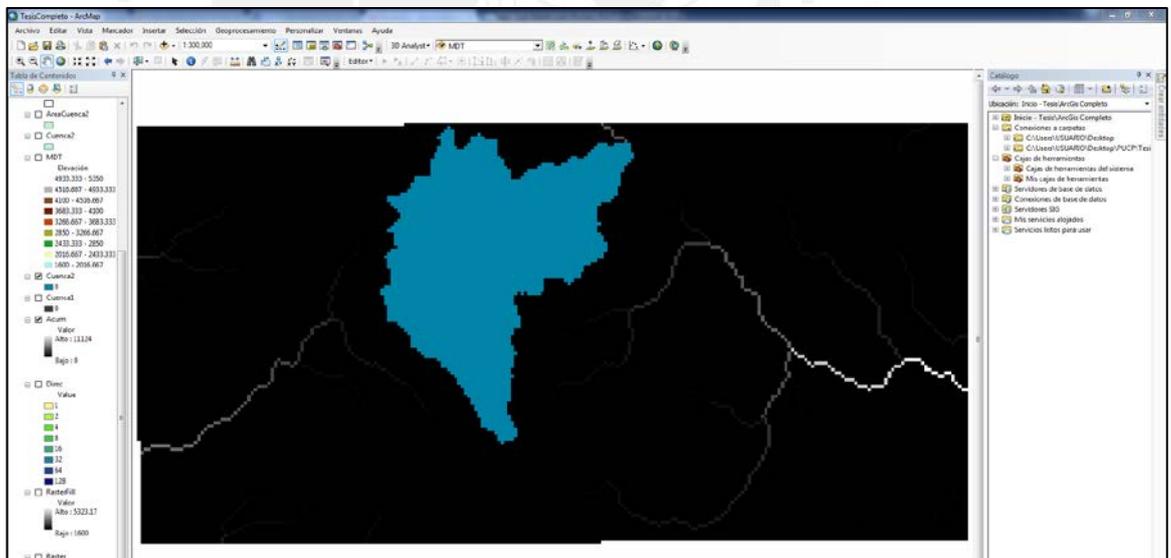


Figura 24: Cuenca Hidrográfica delimitada.

Fuente: Elaboración propia

Por último, se obtuvieron las características geomorfológicas principales de la cuenca, como el área, el perímetro, la longitud del río o cauce principal y las cotas máximas y mínimas. Asimismo, con el área y la longitud del río principal, se procedió a determinar el factor de forma (K_s) y, con el área y el

perímetro, se determinó el índice de compacidad (K_c), conforme se indica en el ítem 4.1.2. La tabla 3 resume las características geomorfológicas de la cuenca en estudio.

Tabla 3: Características geomorfológicas de la cuenca.

| Parámetros Geomorfológicos | Unidades | Valor |
|--------------------------------|-----------------|---------|
| Área (A) | km ² | 686.99 |
| Perímetro (P) | km | 143.43 |
| Longitud del río principal (L) | km | 57.97 |
| Factor de forma (Ks) | und | 0.20 |
| Índice de compacidad (Kc) | und | 1.54 |
| Cota máxima | msnm | 5300.00 |
| Cota mínima | msnm | 3735.20 |

Fuente: Elaboración Propia

5.2.5 Polígonos de Thiessen

Para continuar con el procedimiento seguido en lo que respecta a los datos de precipitación, se ingresaron al programa ArcGis la localización de las estaciones Morococha, Huascacocha y Pucará que servirán para la elaboración de los polígonos de Thiessen. Para ello, primero se convirtieron las coordenadas geográficas con las que se tienen identificadas las estaciones (Anexo 3), en coordenadas UTM, que son las que se trabajan en el software ArcGis (Tabla 4). Los puntos de las estaciones ya ingresadas se muestran en la Figura 25.

Tabla 4: Conversión de coordenadas geográficas a coordenadas UTM.

| Estación | Coordenadas Geográficas | | Coordenadas UTM | |
|-------------|-------------------------|-----------|-----------------|---------|
| | Latitud | Longitud | X | Y |
| Morococha | S 11° 36' | W 76° 08' | 376440 | 8717431 |
| Huascacocha | S 11° 35' | W 76° 05' | 381885 | 8719296 |
| Pucará | S 11° 35' | W 76° 04' | 383702 | 8719302 |

Fuente: Elaboración Propia

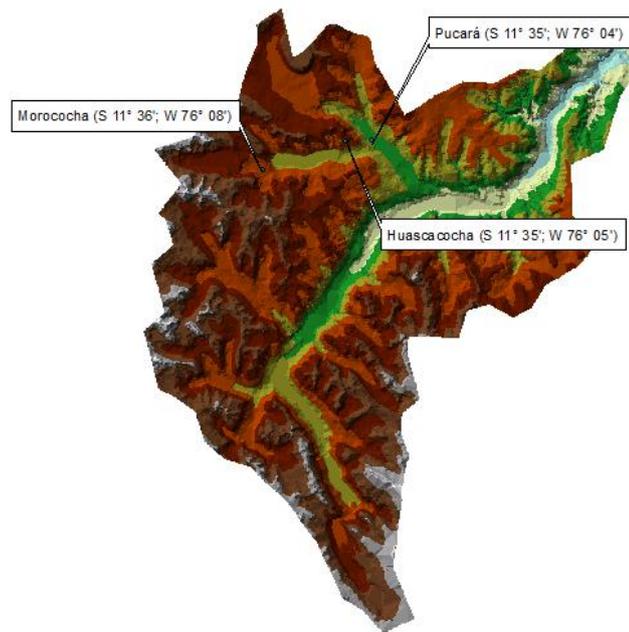


Figura 25: Puntos de las estaciones en la cuenca hidrográfica.

Fuente: Elaboración propia

Por último, se generaron los polígonos de Thiessen, para lo cual se unieron las 3 estaciones consideradas en el análisis y se trazaron las mediatrices de los segmentos. Una vez generados los polígonos se procedió a calcular el área de influencia correspondiente a cada estación, conforme se muestra en la Figura 26.

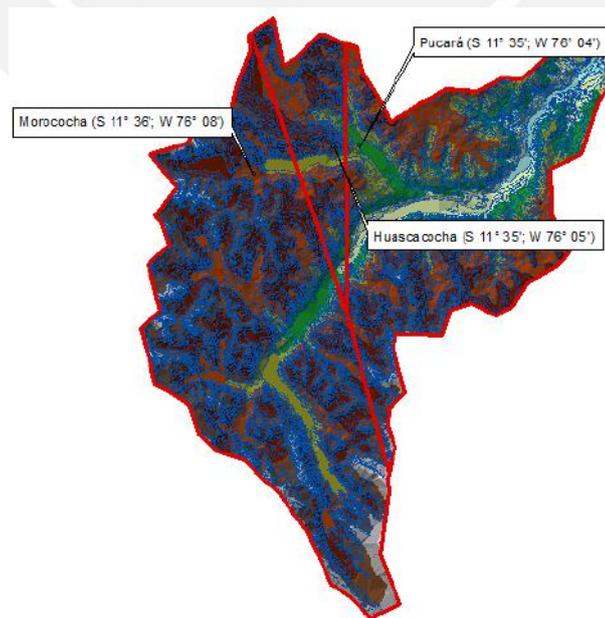


Figura 26: Polígonos de Thiessen generados en el programa ArcGis.

Fuente: Elaboración propia

Luego, se procedió a determinar los pesos relativos de cada estación, mediante una relación entre el área de cada estación y la suma de las mismas (Ver ítem 4.2.4). En la Tabla 5, se muestra cada una de las estaciones consideradas en el estudio, incluyendo el área de influencia determinado mediante los polígonos de Thiessen y sus respectivos pesos relativos. Con ello, utilizando la Fórmula 3, se obtuvieron los datos de precipitación totalmente uniformizados para la zona de estudio, los cuales se presentan en el Anexo 5.

Tabla 5: Áreas y pesos relativos de las estaciones utilizando los polígonos de Thiessen.

| Estación | Área (km ²) | Pesos Relativos |
|-------------|-------------------------|-----------------|
| Morococha | 350.53 | 0.510 |
| Huascacocha | 61.49 | 0.090 |
| Pucará | 274.97 | 0.400 |
| Suma | 686.99 | - |

Fuente: Elaboración Propia

5.2.6 Períodos de Avenidas y Estiaje

Se identificaron los períodos de avenidas y estiaje de la zona en estudio, mediante gráficos que contrastan los promedios mensuales de precipitación y los meses del año (Ver Gráfico 3). Se fijaron los meses en los que se cuenta con un buen abastecimiento de agua y en los meses que se tiene que suplir esta necesidad con los sistemas de almacenamiento proyectados. En este caso, tomando como base las precipitaciones promedio obtenidas a partir del cálculo de los polígonos de Thiessen, se identificó que los períodos en los que se cuenta con mayor cantidad de agua para recolectar son los meses de Enero, Febrero y Marzo principalmente, teniendo valores altos de precipitación también en Diciembre, por lo que se pueden determinar 4 meses de avenidas (período de lluvias) bien marcados en el año. Por otro lado, se observa que en el período de Mayo a Agosto, se tienen muy bajas precipitaciones, siendo los meses de Junio y Julio los más críticos, lo cual no permitiría un abastecimiento adecuado en dichas épocas que las conocemos como períodos de estiaje. Por ello, es que se procede a calcular un tanque

de almacenamiento que permitiría contar con el suministro necesario que se está proyectando también en esos meses de pocas lluvias.

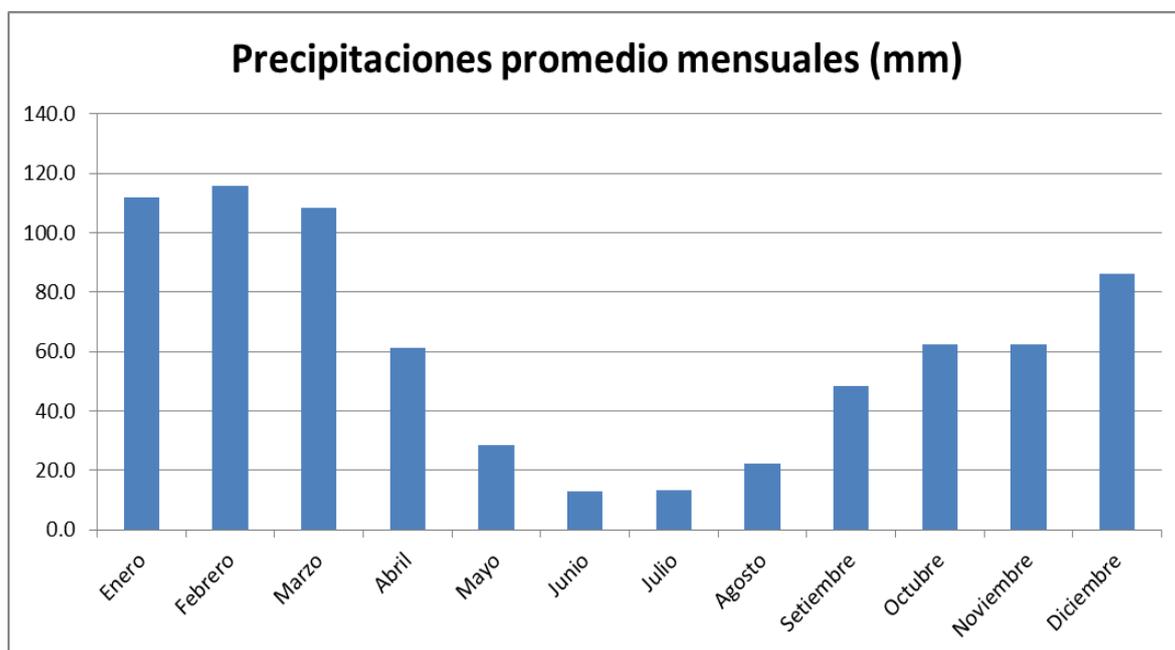


Gráfico 4: Identificación de periodos de avenidas y estiajes.

Fuente: Elaboración propia

5.3 Condiciones de la zona de Estudio

Los datos adicionales necesarios para proceder al diseño del sistema de captación de lluvia se describen a continuación.

5.3.1 Dotaciones de Viviendas

Para las viviendas en las que se centrará el estudio, se cuenta con distintos elementos sanitarios dependiendo del nivel de la edificación. Según datos proporcionados por la empresa GMI S.A., en el primer piso, se cuenta con un baño dotado de inodoro tipo sifón jet, dotado de desagüe automático y tarugos de plástico, lavatorio de losa vitrificada y ducha con acabado cromado que incluye regadera. Además, se tiene un lavadero de acero en la cocina y un lavadero de granito en el patio. Para el segundo y tercer nivel, de ser el caso, se cuenta con un baño adicional dotado de inodoro, lavatorio y ducha en cada piso, al igual que en el primero.

Para determinar la dotación promedio, existen diversas alternativas. La primera consiste en analizar directamente los consumos de elementos sanitarios por día y por familia, para luego determinar promedios de consumo mensual, los cuales al sumarlos darían la dotación promedio final. Sin embargo, estos valores varían mucho de familia en familia y no son tan precisos ni parecidos en todas las épocas del año. Además, estos resultados sufrirían bastante variabilidad adicional por el tema de lo incierto que pueden ser las construcciones de los niveles superiores en el futuro. Por lo antes expuesto, se optó en el presente trabajo por recurrir a las normas emitidas por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento que ofrecen dotaciones promedio finales dependiendo del tipo de vivienda y de los habitantes de la misma. Con el valor encontrado, se puede conocer cuánto es el suministro que se debe compensar y se puede calcular el potencial de aprovechamiento hídrico con el que se contará gracias al sistema de captación de lluvias que se propone.

Según el Sistema Nacional de Estándares de Urbanismo emitido por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento en Febrero del 2011, para viviendas en ciudades rurales, como son las que se están estudiando en la presente tesis, la dotación promedio sería de $15\text{m}^3/\text{mes}$, valor que se utilizó en la cuantificación del ahorro.

5.3.2 Materiales

En zonas urbanas, generalmente los techos están contruidos de concreto, mientras que en las zonas rurales, los techos pueden ser de planchas metálicas, galvanizadas, de asbesto en algunos casos, tejas de arcilla, madera y paja.

Según los informes de arquitectura, específicamente en los requerimientos técnicos de las viviendas, el material que se ha utilizado en los techos son planchas metálicas de Aluzinc pre-pintado tipo TI, de la marca Calaminón o similar, y de un espesor de 0.6 mm (Figuras 27 y 28). Las planchas metálicas son relativamente económicas, además de ser arquitectónicamente aceptadas por su buen acabado. En algunas ocasiones, se puede utilizar también de manera vertical y no tiene problemas con el escurrimiento del agua.

A continuación se detallan algunas características y ventajas de las planchas metálicas:

- Cuenta con el mayor ancho útil del mercado, 1050mm.
- Tiene 36mm de peralte efectivo.
- Buena resistencia contra la corrosión.
- Buena reflectividad de luz solar y disminución de calor.
- Son mucho más durables que las cubiertas de galvanizado convencional.



Figura 27: Techos de calaminon.

Fuente: www.calaminon.com, Calaminon tipo TI Especificaciones

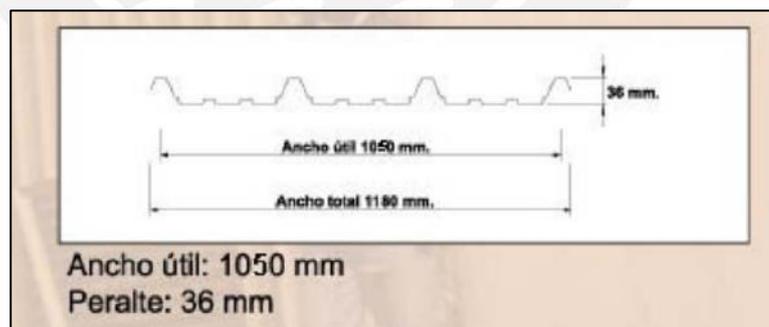


Figura 28: Detalles de perfil.

Fuente: www.calaminon.com, Calaminon tipo TI Especificaciones

Una característica importante para la presente tesis es la determinación del coeficiente de escorrentía superficial de los techos (C). Este coeficiente se define como la relación entre la escorrentía superficial y el valor de la precipitación. Existen muchos factores que pueden afectarla, por lo que

generalmente este factor no resulta una constante en relación a las distintas intensidades de lluvia que se presentan, sin embargo se pueden estimar valores referenciales que pueden ser utilizados en cálculos, como se muestra en la Figura 29. (FAO, 2013)

| Tipos de superficie o coberturas del área de captación | Coefficiente de escorrentía (C) |
|----------------------------------------------------------|---------------------------------|
| Lámina plástica de polietileno | 0,90 |
| Mortero (mezcla de cemento y arena) | 0,88 |
| Asfalto | 0,88 |
| Tejas de arcilla recocida | 0,75 |
| Manta plástica + grava | 0,70 |
| Suelo de textura fina (arcilloso), emparejado con lámina | 0,55 |
| Suelo de textura fina (arcilloso), en barbecho | 0,24 |
| Suelo de textura gruesa (arenoso) | 0,20 |
| Pasto bu el (<i>Cenchrus ciliaris</i>) | 0,15 |
| Áreas cultivadas | 0,08 – 0,41 |
| Pastos | 0,12 – 0,62 |
| Techos | 0,75 – 0,95 |
| Hormigón | 0,70 – 0,95 |

Figura 29: Valores de referencia para el coeficiente de escorrentía (C) en diferentes tipos de superficies y coberturas.

Fuente: FAO, 2013, Captación y Almacenamiento de Agua de Lluvia. Adaptado de Chow 1988; Silva, 1984 citado por Brito, 2007.

El coeficiente de escorrentía sugerido por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (2004) es 0.9, para los materiales que se utilizaron en los techos. Este coeficiente, a su vez, se encuentra dentro del rango proporcionado para los techos en el cuadro de coeficientes de escorrentía (Figura 29).

En zonas rurales y residenciales, se suelen utilizar tanques de concreto para el almacenamiento de agua, los cuales deben tener características especiales que les permitan resistir el efecto continuo del agua. Otra opción en cuanto a tanques es usar los que se encuentran ya fabricados en el mercado de PVC, los cuales pueden ser una buena opción para una producción en serie que permita comprar tanques para varias viviendas. Sin embargo, éstos ya vienen con volúmenes específicos que pueden ser innecesarios para el caso de estudio y generar gastos excesivos.

Debido a que se busca individualizar más el tema a una vivienda típica por ahora, los elementos pre-fabricados de PVC no son una opción y se van a utilizar tanques de almacenamiento de concreto. En cuanto a canaletas, se

ha optado por el PVC como material. Éstas tienen que ser recubiertas de manera especial para evitar cualquier tipo de contaminación perjudicial para el agua que se trasladará, lo cual está más detallado en la parte de diseño en recolección y conducción. Se sabe que el PVC como material constructivo tiene buena relación con el agua, permitiéndose trabajar adecuadamente ante el efecto constante de éste y no viéndose tan afectado por la corrosión que se podría llegar a generar.

5.3.3 Condiciones de la Vivienda

Se procedió a calcular la cantidad de agua que se puede recolectar por metro cuadrado de superficie de techo. Como se mencionó con anterioridad en el ítem 4.5.1, para este cálculo se deberá utilizar la proyección horizontal del techo. Luego, con ese dato, se procedió a calcular el área de techo necesaria y la capacidad del tanque de almacenamiento.

En este caso, se utilizará como modelo la vivienda tipo A (Figura 30), debido a que es la vivienda típica proyectada en la nueva ciudad de Morococha. Éstas se encuentran especificadas en las memorias descriptivas de viviendas realizadas por el área de arquitectura de GMI S.A., según las cuales, el área total del lote es de 108m^2 y 112m^2 . Sin embargo, el área techada que se ha obtenido a través de los planos de Ubicación y Localización, Cuadro de Áreas de Vivienda Tipo A, es de 45.22m^2 , sin considerar el área techada sobre la vereda fuera del lote, que en este caso también se podría utilizar para la captación. Para simplicidad en los cálculos, se tomó como área efectiva de captación del techo 46m^2 .



Figura 30: Planta de distribución de arquitectura. Primera etapa.

Fuente: GMI S.A., Chinalco Perú S.A., 2012, Memorias Descriptiva Viviendas

El coeficiente de escorrentía (C), tiene que ver con los techos seleccionados en la construcción que son de la marca Calaminón. Como se mencionó anteriormente, se utilizó un coeficiente de escorrentía de 0.9. (CEPIS, 2004)

El área considerada en los cálculos fue de 46m² y el número de personas beneficiadas está definido en los documentos de especificaciones de viviendas de GMI S.A. Los datos referidos anteriormente se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6: Datos adicionales a utilizar.

| Parámetro | Valor |
|---------------------------------|-------|
| Coef. Escorrentía | 0.9 |
| Área de techo (m ²) | 46 |
| Nro de personas beneficiadas | 5 |

Fuente: Elaboración Propia

5.4 Cálculo de tanque de almacenamiento

Se procedió a generar un cuadro en el cual se obtuvo la dotación disponible de agua de lluvia gracias a las precipitaciones promedio obtenidas del lugar, mostradas en el Anexo 5. Luego, se estimó el volumen del tanque de almacenamiento a utilizar. Para la generación de la Tabla 7 se utilizaron las Fórmulas 4, 5 y 6, referidas en el ítem 4.6.

Tabla 7: Cálculo del tanque de almacenamiento.

| Mes | Promedios (mm) | Días | Abastecimiento (m3) | | Demanda (m3) | | Diferencia (m3) |
|-----------------------------------|----------------|------|---------------------|----------------|--------------------|-----------|-----------------|
| | | | Parcial | Acumulado | Parcial | Acumulado | |
| Enero | 111.89 | 31 | 5.58 | 5.58 | 2.71 | 2.71 | 2.87 |
| Febrero | 115.81 | 28 | 4.81 | 10.39 | 2.45 | 5.16 | 5.23 |
| Marzo | 108.38 | 31 | 4.33 | 14.72 | 2.71 | 7.88 | 6.84 |
| Abril | 61.31 | 30 | 2.80 | 17.52 | 2.63 | 10.50 | 7.02 |
| Mayo | 28.53 | 31 | 1.08 | 18.60 | 2.71 | 13.22 | 5.38 |
| Junio | 12.99 | 30 | 0.87 | 19.47 | 2.63 | 15.84 | 3.63 |
| Julio | 13.16 | 31 | 0.63 | 20.10 | 2.71 | 18.56 | 1.54 |
| Agosto | 22.14 | 31 | 1.05 | 21.15 | 2.71 | 21.27 | -0.12 |
| Setiembre | 48.36 | 30 | 2.38 | 23.53 | 2.63 | 23.90 | -0.37 |
| Octubre | 62.24 | 31 | 2.45 | 25.98 | 2.71 | 26.61 | -0.63 |
| Noviembre | 62.29 | 30 | 2.94 | 28.92 | 2.63 | 29.24 | -0.32 |
| Diciembre | 86.16 | 31 | 4.03 | 32.95 | 2.71 | 31.95 | 1.00 |
| Cálculo de la dotación disponible | | | 17.51 | litros/hab-día | Volumen del tanque | | 7.65 |

Fuente: Elaboración Propia

De la Tabla 7 y con las diferencias entre el abastecimiento y la demanda para cada mes del año que se obtuvieron, se calculó el volumen del tanque a utilizar, el cual va a permitir almacenar la dotación disponible que se ha generado de 17.51 L/hab-día, gracias a las precipitaciones acumuladas.

El tanque de almacenamiento será de 7.65m^3 ($7.02\text{m}^3 - (-0.63\text{m}^3)$), obtenida de la diferencia máxima y mínima mostrada en la Tabla 7, con lo cual se requeriría que se empiece el año con un volumen de 0.63m^3 suministrados por el abastecimiento común de agua. Por seguridad y para efectos de simplicidad se utilizará un tanque de 8m^3 de capacidad.

5.5 Inversión Inicial

Luego de realizado el diseño, se cuantificó toda la inversión inicial que se necesitaría en instalar el sistema de captación de lluvia, desde los materiales necesarios, la construcción misma y la mano de obra.

Los precios varían dependiendo del tipo de tanque que se va a realizar. En este caso, se consideró un tanque superficial, debido a que va a reducir los costos de bombeo y excavación que representa hacer un tanque enterrado. Además, se observa en los planos de arquitectura de las viviendas que se cuenta con un amplio espacio de zona libre en donde no habría problemas de colocar el tanque de almacenamiento. El interceptor de primeras aguas se calculó de acuerdo al área de techo, por lo que sería suficiente con un pequeño tanque de 50 litros. En este caso hemos calculado un tanque de almacenamiento necesario por hogar de 8 m^3 , por lo que se proyectan tanques de base cuadrada de 2.50 m por lado y 2.00m de altura. Con ello, se tendría una altura de agua de 1.60m, considerando 0.30m libres y 0.10 de espesor de la tapa del tanque. Para las paredes y la base del tanque se proyectaron espesores de 0.15m, con lo cual se puede calcular la cantidad de concreto necesario por tanque. El acero proyectado es de $3/8@0.25\text{m}$, debido a que el volumen del agua y la altura de diseño permiten diseñar con el acero mínimo requerido por la norma (R.N.E. 2014). Se puede observar con mayor detalle un modelo del tanque de almacenamiento proyectado en el Anexo 7.

Según datos de CAPECO y del análisis de precios unitarios de anteriores trabajos en edificaciones, se calculó el precio por m³ de concreto para cisternas, el cual se muestra en la Tabla 8. El concreto a utilizar será de 210 kg/cm². En este caso, no se consideraría bomba para el vaciado, el cual se asumirá como vaciado manual, para reducir costos de inversión.

Tabla 8: Precio unitario del concreto por m³.

| Descripción | Unidades | Cantidad | Precio Unitario (S/.) | Parcial (S/.) |
|--------------------------------|----------------|----------|-----------------------|---------------|
| Mano de Obra | glb | 1.000 | 15.96 | 15.96 |
| Materiales | | | | |
| Concreto 210kg/cm ² | m ³ | 1.030 | 197.48 | 203.40 |
| Madera Corriente | p2 | 0.920 | 2.10 | 1.93 |
| Equipos | | | | |
| Herramientas Manuales | %MO | 3.000 | 15.96 | 0.48 |
| Vibrador | hm | 2.000 | 0.37 | 0.74 |
| | | | Total (S/.) | 222.52 |

Fuente: CAPECO, 2014.

Luego, se procedió a calcular el encofrado necesario para la construcción de la cisterna por m², lo cual está detallado en la Tabla 9.

Tabla 9: Precio unitario del encofrado por m².

| Descripción | Unidades | Cantidad | Precio Unitario (S/.) | Parcial (S/.) |
|-----------------------|----------|----------|-----------------------|---------------|
| Mano de Obra | glb | 1.000 | 19.92 | 19.92 |
| Materiales | | | | |
| Alambre negro #8 | kg | 0.150 | 2.71 | 0.41 |
| Clavos para madera | kg | 0.150 | 2.71 | 0.41 |
| Curador SIKA Antisol | kg | 0.200 | 1.24 | 0.25 |
| Desmoldante | kg | 0.030 | 4.00 | 0.12 |
| Madera Tornillo | p2 | 3.640 | 2.10 | 7.64 |
| Equipos | | | | |
| Herramientas Manuales | %MO | 3.000 | 19.92 | 0.60 |
| Sierra Circular | hm | 0.345 | 7.56 | 2.61 |
| | | | Total (S/.) | 31.95 |

Fuente: CAPECO, 2014.

Asimismo, se procedió a determinar el acero por kg, lo cual resulta S/.3.45/kg. Con estos datos se calculó el costo de inversión total del sistema de abastecimiento de agua, como se puede observar en la Tabla 10.

Tabla 10: Costo de inversión total del sistema de abastecimiento.

| Descripción | Unidades | Cantidad | Precio Unitario (S/.) | Parcial (S/.) |
|--------------------------|----------------|----------|-----------------------|---------------|
| Concreto | m ³ | 3.943 | 222.52 | 877.39 |
| Encofrado | m ² | 32.000 | 31.95 | 1022.43 |
| Acero | kg | 75.000 | 3.45 | 258.75 |
| Tanque Interceptor (50L) | glb | 1.000 | 100.00 | 100.00 |
| | | | Total (S/.) | 2258.57 |

Fuente: Elaboración Propia

Con los cálculos realizados anteriormente, se obtuvo un costo de inversión total del sistema de aproximadamente S/. 2,258.57, que es un valor estimado referencial para los tanques de este tipo, para viviendas individuales.

5.6 Potencial de Abastecimiento del Sistema de Captación Pluvial

Como se mostró en los cálculos realizados, es posible que gracias al agua de lluvia se consiga suplir parte de la demanda requerida por hogar. Es así que se generó la Tabla 11, utilizando la dotación obtenida anteriormente de 17.51 L/hab-día, especificada en el ítem 5.4. La cantidad de agua en m³ se obtuvo multiplicando la dotación por el número de días de cada mes y por la cantidad de personas beneficiadas, la cual se considera 5 personas para el presente estudio.

Tabla 11: Cuadro de agua disponible en m³

| Mes | Días | Agua disponible (m ³) |
|-----------|------|-----------------------------------|
| Enero | 31 | 2.71 |
| Febrero | 28 | 2.45 |
| Marzo | 31 | 2.71 |
| Abril | 30 | 2.63 |
| Mayo | 31 | 2.71 |
| Junio | 30 | 2.63 |
| Julio | 31 | 2.71 |
| Agosto | 31 | 2.71 |
| Setiembre | 30 | 2.63 |
| Octubre | 31 | 2.71 |
| Noviembre | 30 | 2.63 |
| Diciembre | 31 | 2.71 |
| Total | | 31.95 |

Fuente: Elaboración propia

El potencial de ahorro anual gracias al sistema de captación pluvial es de 31.95m³. Si se considera el valor de dotación por vivienda obtenido en el ítem 5.3.1 de 15m³/mes, se observó que gracias al sistema propuesto se suple la dotación de más de dos meses al año.

5.7 Análisis de Sensibilidad

Un indicador adicional que se va a utilizar en la presente tesis es el análisis de sensibilidad, mediante el cual se podrá determinar si el sistema de captación pluvial se verá afectado de manera considerable por la variabilidad de las precipitaciones. El procedimiento que se utilizará será el de variar las precipitaciones promedio calculadas en un porcentaje y observar en cuánto varían la dotación obtenida y el volumen del tanque de almacenamiento.

Tabla 12: Porcentajes de variación con aumento de precipitaciones

| Porcentaje de Aumento de Precipitaciones | Dotación Disponible (litros/hab-día) | Porcentaje de Variación en Dotación Disponible | Volumen del tanque (m ³) | Porcentaje de Variación en Volumen del Tanque |
|------------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 10% | 19.32 | 10.34% | 8.46 | 10.59% |
| 20% | 21.13 | 20.68% | 9.27 | 21.18% |
| 30% | 22.94 | 31.02% | 10.08 | 31.77% |
| 40% | 24.75 | 41.36% | 10.88 | 42.35% |
| 50% | 26.56 | 51.70% | 11.69 | 52.94% |
| 100% | 35.61 | 103.41% | 15.74 | 105.88% |
| 200% | 53.71 | 206.81% | 23.84 | 211.77% |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13: Porcentajes de variación con disminución de precipitaciones

| Porcentaje de Disminución de Precipitaciones | Dotación Disponible (litros/hab-día) | Porcentaje de Variación en Dotación Disponible | Volumen del tanque (m ³) | Porcentaje de Variación en Volumen del Tanque |
|----------------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 10% | 15.70 | -10.34% | 6.84 | -10.59% |
| 20% | 13.89 | -20.68% | 6.03 | -21.18% |
| 30% | 12.08 | -31.02% | 5.22 | -31.77% |
| 40% | 10.27 | -41.36% | 4.41 | -42.35% |
| 50% | 8.46 | -51.70% | 3.60 | -52.94% |
| 100% | 0.00 | 0.00% | 0.00 | 100.00% |

Fuente: Elaboración propia

6. Discusión de Resultados

6.1 Pluviometría

En cuanto a recolección y selección de datos de precipitación, se observa una primera dificultad en la escasa data disponible de estaciones pluviométricas en la zona de estudio. Es así que, el factor que inclinó la balanza hacia los datos proporcionados por la empresa SEDAPAL, por encima de los datos proporcionados por el SENAMHI, fue la cercanía de dichos datos a la nueva ciudad de Morococha. Al solo contar con 3 estaciones cercanas, se limitan los métodos de tratamiento de precipitaciones utilizados en la presente tesis, por lo que se optó por utilizar métodos que no requieran grandes cantidades de estaciones con datos de precipitación para el análisis. En relación a la cantidad de lluvia promedio que cae en la zona, se puede observar que no es de magnitud alta (el valor máximo promedio de precipitación mensual fue de 115.8mm) si se compara con otros lugares del mundo donde llueve con mucha mayor intensidad. Sin embargo, la precipitación en el lugar de estudio, es mucho mayor que la que se puede obtener en zonas costañas como la ciudad de Lima.

Para el completamiento de datos, se optó por utilizar el método de regresión lineal, debido a ser un método ampliamente conocido y estudiado por diversos autores. Cabe mencionar que el método propuesto por el ingeniero Jose Manuel Guevara Díaz fue una opción latente para hallar los datos faltantes, dado que utiliza los datos de una sola estación, con lo que la ausencia de una cantidad adecuada de estaciones no sería un problema. Sin embargo, al ser un método válido solo para condiciones locales en ambientes tropicales como Colombia o Venezuela, no permitió que se utilice para la presente tesis. En cuanto a los coeficientes de correlación obtenidos, se puede observar que en los cálculos se consigue un valor aceptable (0.844) en el ítem 5.2.2, por lo que se pudo generar la ecuación de regresión lineal para ese caso. Fue necesario que siempre se calculen los coeficientes de correlación comparando una estación con las otras dos estaciones, para

poder definir la más adecuada para realizar la regresión lineal y la línea de tendencia.

En general, los datos con los que se cuentan denotan una consistencia aceptable, gracias a lo observado en la curva doble masa. Esta curva muestra una pendiente similar al inicio y al final, lo cual sugiere que los datos obtenidos son consistentes y se pueden utilizar sin problemas para los demás análisis que se requirieron.

Para la uniformización de datos se optó por los polígonos de Thiessen nuevamente por contar con pocas estaciones para hacer el cálculo, en este caso solo 3 estaciones. Como se puede observar en la Tabla 5 (Ver ítem 5.2.5) referida a los pesos relativos, la estación Morococha con 0.51 y la estación Pucará con 0.40, son las que tienen mayor relevancia, mientras que la estación Huascacocha con 0.09 se queda más relegada. Por ello, en el Anexo 5, se observa que la tabla de precipitaciones obtenida está mayormente influenciada por las estaciones Morococha y Pucará.

6.2 Zona de Estudio y Condiciones de la Vivienda

La zona de estudio seleccionada es una ciudad nueva de la serranía peruana producto de un reasentamiento minero, en este caso la nueva ciudad de Morococha. Las dotaciones que se utilizaron para la presente tesis fueron producto de los Estándares de Urbanismo emitidos por el Ministerio de Vivienda en el 2011, debido a que otorgaba un valor con el cual comparar y cuantificar el potencial de ahorro hídrico.

Los materiales utilizados en los techos, que es el aspecto principal para la tesis, ya estaban definidos como planchas metálicas de Calaminón, por lo que lo más importante fue determinar el valor del coeficiente de escorrentía de los mismos. Dicho valor, como ya se mencionó anteriormente, se estimó mediante el uso de una tabla (Figura 28, FAO, 2013) en la cual se establece un rango de 0.75 a 0.95. Se utilizó finalmente el valor de 0.9 por lo sugerido por el CEPIS en el año 2004, cuando se utilizaba en un sistema con techos muy similares a los del presente caso de estudio. Es importante mencionar

que este valor de coeficiente de escorrentía se puede ajustar mucho más si se hacen pruebas reales en los techos para calcular cuánto es lo que escurre realmente en relación con el valor de la precipitación.

En cuanto a las condiciones de la vivienda se puede observar que el área es relativamente pequeña, por lo que el área de captación también lo será. Esta situación genera que la capacidad de agua que se puede recolectar sea significativamente menor que si tuviéramos más área disponible. Este punto es importante pensando en investigaciones o estudios en el futuro a corto o mediano plazo, debido que hay campo por optimizar en cuanto utilizar más adelante áreas mayores o establecimientos más grandes que permitan un mejor aprovechamiento de las aguas pluviales.

6.3 Cálculo del Tanque de Almacenamiento e Inversión Inicial

En cuanto al cálculo del tanque de almacenamiento, se siguió un procedimiento sistemático, en el cual es importante mencionar que la dotación disponible se obtuvo gracias al abastecimiento acumulado total del año que fue de 32.95m^3 , como se observa en la Tabla 7, en la columna de abastecimiento acumulado (Ver ítem 5.4). Con ese dato se procedió calcular una demanda mensual de abastecimiento y el volumen acumulado, el cual termina siendo de 31.95m^3 al haber considerado 1m^3 de reserva. Con ello se llegó al volumen del tanque de almacenamiento necesario analizando la diferencia entre volúmenes parciales y volúmenes acumulados de la demanda. A pesar que el volumen requerido fue de 7.65m^3 , se optó por utilizar un tanque de 8m^3 , por lo que los costos de inversión inicial son más elevados.

Para determinar los costos se utilizaron los precios unitarios proporcionados por CAPECO y también se consideró experiencias previas en obra para ir ajustando dichos valores. El diseño se realizó respetando la norma peruana (R.N.E., 2014) y considerando tanques similares realizados con anterioridad, que fueron diseñados con los mismos valores utilizados y que difícilmente podrían sufrir variaciones, ya que se está diseñando con espesores y aceros mínimos exigidos por la norma.

6.4 Beneficios Económicos y Análisis de Sensibilidad

En cuanto a beneficios económicos se puede observar que directamente los usuarios de los sistemas de captación pluvial ahorran al ser este un recurso completamente gratuito. Ello se ve reflejado en la cantidad de agua disponible adicional que tendrían con el sistema de captación pluvial, el cual sería de 31.95m^3 . Si este valor se traslada a soles utilizando el precio por m^3 referencial que nos ofrece SEDAPAL (2016) de $\text{S}/1.53/\text{m}^3$, incluido IGV, se obtiene un ahorro de $\text{S}/48.90$ anuales. Sin embargo, el costo de inversión que representa de $\text{S}/2,258.57$, (Ver ítem 5.5) puede complicar su implementación en zonas rurales.

Luego, observando el análisis de sensibilidad se confirma que el sistema es moderadamente sensible al no tener altas variaciones de porcentaje en cuanto a dotación disponible y volumen del tanque de almacenamiento, por lo que las variaciones en las precipitaciones afectarán proporcionalmente el abastecimiento del sistema.

6.5 Beneficios Ambientales

En cuanto a beneficios ambientales se está considerando que el agua de lluvia captada por los techos de las viviendas (46m^2 cada una, ver Tabla 6) de la Nueva Ciudad de Morococha no está afectando el flujo de las aguas superficiales de la cuenca de estudio, debido a que el área de captación es mucho menor al área de la cuenca (686.99km^2 ver Tabla 5). Por ello, se puede comentar que el sistema se está abasteciendo de manera sostenible y se está evitando además que se extraiga el agua de otras fuentes invasivas como pozos que afectarían los flujos subterráneos de la cuenca.

7. Conclusiones

- Se puede concluir que los sistemas de abastecimiento a través de agua de lluvia son en realidad factibles en algunas zonas donde la precipitación es considerable, y que su poco uso hoy en día se debe únicamente a que la facilidad de abastecerse a través de aguas superficiales frenó el desarrollo de las tecnologías en cuanto a captación pluvial. Con el estudio, queda demostrado que estos sistemas realmente funcionan en algunos lugares en donde las personas pueden abastecerse completamente con agua de lluvias.
- En este caso en particular, se puede concluir que el abastecimiento obtenido es considerablemente importante. Sin embargo, el precio de inversión es muy elevado para ser costeado por familias de bajos recursos. Por lo tanto, la factibilidad se va a dar, si se aporta a las familias con la inversión inicial, costo que puede ser cubierto por las empresas que construyen las viviendas, incluyendo la implementación del sistema en el costo de la vivienda, para ir pagándolo por partes mediante créditos hipotecarios.
- Se concluye que el sistema puede resultar mucho más factible económicamente, en donde el abastecimiento de agua a través del sistema convencional de aguas superficiales sea más dificultoso, y por consiguiente más caro. En ese caso los réditos económicos aumentarían considerablemente haciendo del sistema una opción más viable.
- Se utilizó un área de captación muy pequeña (46m^2) en comparación con el área disponible en el terreno (112m^2), por lo que se concluye que se puede obtener una mayor dotación disponible, que podría dar una mayor capacidad de ahorro hídrico. No obstante, al tener mayor capacidad de captación de agua, también se necesitaría tanques más grandes y mayores áreas de techos de captación, por lo que se tendría que buscar un equilibrio que permita tener la solución más económicamente viable.

- La viabilidad del sistema podría frenarse por el hecho de que en el futuro, se planearían crear dos niveles más por vivienda, lo que aumentaría el número de personas en la edificación y aumentaría asimismo la demanda de agua. Por ello, el aporte del agua de lluvia sería cada vez menor en comparación a lo requerido. Sin embargo, esta situación puede conllevar una necesidad mayor de agua que puede satisfacerse de alguna manera gracias al aprovechamiento pluvial.
- Se puede concluir, en cuanto a beneficios ambientales, que siempre va a ser conveniente optar por estos métodos de abastecimiento de agua que no son para nada invasivos. En estos casos no se afectan los flujos de aguas superficiales ni subterráneas, ni se fomenta la contaminación de los mismos. Ello aporta a que la flora y fauna de las zonas donde se encuentran estas fuentes puedan permanecer saludables y conservar su medio ambiente de manera sostenible.



8. Líneas Futuras de Investigación

- Como primer punto importante a investigar en el futuro, se encuentra la realización de tanques de abastecimiento ya no sólo para una vivienda, sino para dos o más. Asimismo, se podría analizar para establecimientos mayores, como centros educativos, coliseos, municipalidades, entre otros. En cualquiera de los casos, el área de captación sería mucho mayor, con lo que nuevamente se puede tener una capacidad de abastecimiento mayor.
- Otro punto a investigar, sería las condiciones necesarias para la adaptación del sistema de captación propuesto, para otras ciudades de nuestro país, en donde las precipitaciones podrían ser mayores y por tanto la capacidad de abastecimiento mucho mayor.
- Una alternativa para estudios posteriores sería la utilización de tanques de almacenamiento pre-fabricados, los cuales podrían ser de PVC o materiales similares, y con ello analizar si se reducen los costos de inversión inicial.
- Un punto importante y con amplia capacidad de desarrollo es el análisis de calidad de agua de lluvia, con lo que se podría, mediante toma de muestras y pruebas de laboratorio, determinar si el agua es apta para otros usos además de los usos expuestos en la presente tesis. Siguiendo la misma línea, se podría investigar con mayor detalle, los métodos de purificación del agua y su inclusión en el sistema de captación de lluvias.
- Por último, se podrían realizar estudios sociales en las zonas rurales para analizar la disposición de la gente a utilizar estos nuevos sistemas de captación pluvial, exponiendo todos los beneficios ambientales y económicos que conllevan el uso de los mismos. Asimismo, se podría capacitar a la gente no solo para la construcción de los sistemas, sino también para el correcto mantenimiento y limpieza de los mismos.

9. Bibliografía

1. Allen Bateman; Hidrología Básica y Aplicada; 2007.
2. Allenby, Allen y Davidson; Teaching Sustainable Engineering; 2007.
3. Aparicio Mijares, Francisco; Fundamentos de Hidrología de Superficie; 1992.
4. Ballén, Galarza y Ortiz; Historia de Sistemas de Aprovechamiento de Agua de Lluvia, Seminario Iberoamericano sobre sistemas de abastecimiento urbano de agua; 2006.
5. Caballero, T. Instituto Politécnico Nacional (México); Captación de Agua de Lluvia y Almacenamiento en Tanques de Ferrocemento; 2006.
6. CAPECO; Costos y Presupuestos en Edificación; 2014.
7. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS); Filtro de Mesa de Arena; 2000.
8. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), Organización Mundial de la Salud; Guía de Diseño para Captación del Agua de Lluvia; 2001, 2004.
9. Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional (COES-SINAC); Glosario de Abreviaturas y Definiciones Utilizadas en los Procedimientos Técnicos del COES-SINAC; 2010.
10. Comisión de Medio Ambiente y Desarrollo de las Naciones Unidas; Informe de la Comisión de Burtland; 1987.
11. GMI S.A., Chinalco Perú; Memoria Descriptiva Viviendas; 2012.
12. Green Facts; Resumen de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio; Sostenibilidad; 2006.
<http://www.greenfacts.org/en/index.htm>
13. Guevara Días, José Manuel; Universidad Central de Venezuela, Métodos de estimación y ajuste de datos climáticos; 2003.
14. Kiely, G.; Ingeniería Ambiental; 1999.
15. Llamas, Jose María; Hidrología General; 1993.
16. Linslay y Franzini; Ingeniería de los Recursos Hidráulicos; 1970.
17. Linslay, Kohler y Paulus; Hidrología para Ingenieros; 1977.

18. Masters, Gilbert M. y Ela, Wendell P.; Introducción a la Ingeniería Medioambiental, Madrid, España; 2008.
19. Ministerio del Ambiente; Decreto Supremo N°002-2008-MINAM; 2008.
20. Ministerio del Ambiente; Decreto Supremo N°023-2009-MINAM; 2009.
21. Ministerio del Ambiente; Decreto Supremo N°015-2015-MINAM; 2015.
22. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (Perú); Normalización de Infraestructura Urbana y Propuesta de Estándares (Capítulo III); 2011.
23. Monsalve, Germán; Hidrología en la Ingeniería; 1999.
24. Municipalidad Distrital de Morococha, Plan Urbano Distrital 2005-2010, 2005.
25. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe; Manual de Captación y Aprovechamiento de Agua de Lluvia, Experiencias en América Latina; 2000.
26. Organización Panamericana de la Salud, Biblioteca Virtual de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental; Protección y Métodos de Tratamiento de Agua; Consulta: 01 de Julio de 2016.
<http://www.bvsde.paho.org/sde/ops-sde/bvsde.shtml>
27. Pizarro, R.; Elementos técnicos de hidrología III. Proyecto regional mayor sobre uso y conservación de recursos hídricos en áreas rurales de América Latina y el caribe; 1993.
28. Reglamento Nacional de Edificaciones, Quinta Edición, 2014.
29. Rocha Castro, Edmundo; Ingeniería de Tratamiento y Acondicionamiento de Aguas; 2010.
30. Searcy, James y Hardison, Clayton; Double-Mass Curves; 1983.
31. Sedapal; Estructura Tarifaria Aprobada Mediante Resolución de Consejo Directivo N°022-2015-SUNASS-CD; Consulta: 28 de Noviembre de 2016.
www.sedapal.com.pe/estructura-tarifaria
32. Smith, Douglas; Statistical Model Approach to Passive Microwave Rainfall Retrieval. Journal of Applied Meteorology; 1997.
33. Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS); La calidad del agua potable en el Perú; 2004.
34. Texas Water Development Board; The Texas Manual on Rainwater Harvesting; 2005.

35. UNESCO – ROSTLAC; Guía metodológica para la elaboración del balance hídrico de América del Sur; 1982.
36. UNESCO; Agua para todos, Agua para la vida, Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo; 2003.
37. UNESCO; El agua, una responsabilidad compartida, 2º Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo; 2006.
38. United Nations Environment Programme – UNEP; Rainwater Harvesting and Utilisation, International Environmental Technology Centre; 2000.
39. United Nations Environment Programme – UNEP and Stockholm Environment Institute; Rainwater Harvesting: a lifeline for human well-being; 2009.
40. Ven Te Chow; Hidrología Aplicada; 1994.

