

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LA
SUBCUENCA DEL RÍO SAN JOSÉ – AZÁNGARO**

TESIS

PRESENTADA POR:

DIANA VALDEZ DE LA PEÑA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

PUNO - PERÚ

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
“EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LA SUBCUENCA DEL RÍO SAN JOSÉ – AZÁNGARO”

TESIS PRESENTADA POR:
DIANA VALDEZ DE LA PEÑA
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AGRÍCOLA



APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

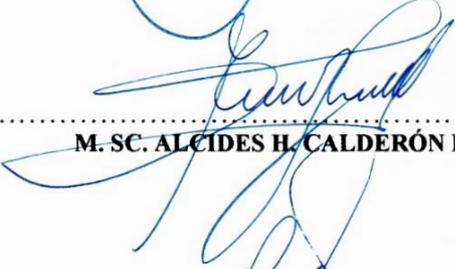
PRESIDENTE DEL JURADO :


ING. RICARDO LUIS BARDALES VASSI

PRIMER MIEMBRO :


ING. EDILBERTO HUAQUISTO RAMOS

SEGUNDO MIEMBRO :


M. SC. ALCIDES H. CALDERÓN MONTALICO

DIRECTOR :


DR. GERMAN BELIZARIO QUISPE

ASESOR :


ING. DEIVI PITER FLORES LLANOS

AREA: Ingeniería y Tecnología
LINEA: Recursos Hídricos
TEMA: Recursos Hídricos

FECHA DE SUSTENTACION: 11 DE JULIO DEL 2018

DEDICATORIA

A mi familia, porque creyeron en mí y me sacaron adelante, dándome ejemplos dignos de superación y entrega.

AGRADECIMIENTOS

- *A la UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO – PUNO, a la FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA, por haberme acogido a lo largo de mi vida Estudiantil.*
- *Mi Sincero Agradecimiento a mis Maestros de la Universidad Nacional del Altiplano: Dr. Germán Belizario Quispe, Ing. Ricardo Bardales Vassi,, Ing. Edilberto Huaquisto Ramos, Ing. Alcides Calderón Montalico, por sus acertados consejos, sus buenas orientaciones, y el tiempo dedicado al logro de la presente investigación.*
- *A mis familiares que siempre estuvieron a mi lado a todas aquellas personas que me ayudaron, me brindaron su amistad y sus consejos sean estas líneas como un presente de afecto y gratitud...*

INDICE GENERAL

RESUMEN.....	11
ABSTRACT.....	12
INTRODUCCIÓN	13
CAPITULO I.....	14
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACION	14
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	15
1.2.1. Problema General.....	15
1.2.2. Problemas Específicos.	15
1.3. ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN.....	15
1.4. JUSTIFICACIÓN	19
1.5. OBJETIVOS.....	20
1.5.1. OBJETIVO GENERAL.....	20
1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
CAPITULO II.....	21
MARCO TEÓRICO.....	21
2.1. MARCO CONCEPTUAL.....	21
2.1.1. RECURSOS HÍDRICOS EN EL PERÚ.....	21
2.1.2. CUENCA HIDROGRÁFICA.....	22
2.2. LA CUENCA COMO SISTEMA.....	26
2.3. IMPORTANCIA DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS.....	27
2.4. SISTEMA HIDROLÓGICO.....	28
2.5. EL AGUA, RECURSO INTEGRADOR DE LA CUENCA.....	29
2.6. MANEJO DE CUENCAS.....	30
2.7. OFERTA DE AGUA	30
2.8. DEMANDA DE AGUA.....	32
2.8.1.1. Pérdidas de agua en los sistemas hidráulicos	33
2.8.1.2. Demandas de agua para uso poblacional.....	34
2.8.1.3. Demanda de agua para uso agropecuario	35
2.9. BALANCE HÍDRICO	36
2.9.1.1. Definición de balance hídrico	36
2.9.1.2. La ecuación del balance hídrico	37
2.9.1.3. Precipitación	38
2.9.1.4. Evapotranspiración	39
2.9.1.5. Infiltración	42

2.9.1.6.	Escurrimiento	44
2.9.1.7.	Hidrometría	46
2.9.1.8.	Hidráulica fluvial.....	49
CAPITULO III.....		50
DISEÑO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACION		50
3.1.	INFORMACIÓN BÁSICA PARA LA EVALUACIÓN.....	50
3.1.1.	UBICACIÓN GEOGRÁFICA	50
3.1.2.	UBICACIÓN HIDROGRÁFICA	50
3.1.3.	Ubicación política	51
3.1.4.	ACCESIBILIDAD – VÍAS DE COMUNICACIÓN	51
3.1.5.	GEOMORFOLOGÍA	52
3.1.6.	HIDROGRAFÍA.....	53
3.1.6.1.	Sistema hidrográfico.....	53
3.1.7.	CUENCA SAN JOSÉ.....	54
3.1.8.	RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIALES.....	63
3.2.	MATERIALES.....	64
3.2.1.	EQUIPOS Y MATERIALES PARA EL PROCEDIMIENTO	64
3.2.2.	INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA.....	65
3.2.3.	INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA E HIDROMÉTRICA	65
3.3.	METODOLOGÍA	66
3.3.1.	INVENTARIO LAS FUENTES DE AGUAS SUPERFICIALES EXISTENTES Y SUS CARACTERÍSTICAS	66
3.3.2.	DISPONIBILIDAD DE RECURSOS HÍDRICOS DE LA SUB CUENCA	67
3.3.3.	ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA PARA GENERACIÓN DE CAUDALES.....	68
3.3.4.	DEMANDA PARA USO AGRÍCOLA CON FINES DE RIEGO Y LA DEMANDA ECOLÓGICA NATURAL DENTRO DE LA SUB CUENCA	73
3.3.5.	POTENCIALIDAD DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DISPONIBLES.....	79
CAPITULO IV		81
EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....		81
4.1.	INVENTARIO LAS FUENTES DE AGUAS SUPERFICIALES EXISTENTES Y SUS CARACTERÍSTICAS EN LA SUB CUENCA DEL RÍO SAN JOSÉ	81
4.2.	DISPONIBILIDAD DE RECURSOS HÍDRICOS DE LA SUB CUENCA DEL RÍO SAN JOSÉ.....	85
4.2.1.	RESULTADOS DEL PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA.....	85
4.2.2.	HUMEDAD RELATIVA MEDIA MENSUAL	94

4.2.3. TEMPERATURA PROMEDIO MENSUAL.....	95
4.2.4. EVAPORACIÓN TOTAL MENSUAL	97
4.2.5. HORAS Y DECIMAS DE SOL TOTAL MENSUAL.....	98
4.2.6. VELOCIDAD DEL VIENTO PROMEDIO MENSUAL	99
4.2.7. GENERACIÓN DE CAUDALES	100
4.2.7.1. Relación lluvia - escurrimiento	100
4.2.7.2. Modelo determinístico – estocástico Lutz Scholz	101
4.3. OFERTA HÍDRICA DE CABECERA DE RIEGO EN LA CUENCA DEL RIO SAN JOSÉ	106
4.4. DEMANDA PARA USO AGRÍCOLA CON FINES DE RIEGO Y LA DEMANDA ECOLÓGICA NATURAL DENTRO DE LA SUB CUENCA	113
4.4.1. RESULTADO DE LA DEMANDA PARA USO AGRÍCOLA CON FINES DE RIEGO.....	113
4.4.2. RESULTADO DE LA DEMANDA ECOLÓGICA.....	123
4.5. BALANCE HÍDRICO DE LA SUBCUENCA SAN JOSÉ.....	128
4.6. POTENCIALIDAD DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DISPONIBLES DE LA SUB CUENCA DEL RÍO SAN JOSÉ	129
CONCLUSIONES	132
RECOMENDACIONES.....	134
BIBLIOGRAFÍA.....	136

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de cuencas, según unidades y rangos de áreas geográficas.....	23
Tabla 2. Velocidad de infiltración, en función el tipo de suelo	43
Tabla 3. Métodos para la media del flujo o escurrimiento	45
Tabla 4. Vías de accesibilidad a la cuenca del río San José	51
Tabla 5. Altitudes características – cuenca río San José.....	59
Tabla 6. Clasificación de altitudes de la cuenca San José.....	60
Tabla 7. Clasificación ordinal de ríos – cuencas y subcuencas del río San José	61
Tabla 8. Resumen de inventario de fuentes de agua superficiales – cuenca del río San José	63
Tabla 9. Inventario de fuentes de aguas superficiales - cuencas del río San José.....	81
Tabla 10. Distribución de manantiales según tipo de uso y caudal aforado en la subcuenca San José.....	82
Tabla 11. Distribución de río según tipo de uso en la subcuenca San José 2016	83
Tabla 12. Ríos Aforados de la subcuenca San José.....	83
Tabla 13. Precipitación total mensual – promedio multianual (1967 - 2010) – completada y consistente observatorios de la cuenca del río San José y cuencas vecinas	91
Tabla 14. Humedad relativa promedio mensual (%) – promedio multianual observatorios de la cuenca del río San José y cuencas vecinas	95
Tabla 15. Temperatura Media Mensual (°C) – Promedio Multianual Observatorios de la Cuenca del río San Jose y Cuencas Vecinas	96
Tabla 16. Temperaturas medias, máxima promedio y mínima promedio mensual (°C) – promedio multianual observatorios de la cuenca del río San José y cuencas vecinas.....	97
Tabla 17. Evaporación total promedio mensual (mm.) – promedio multianual observatorios de la cuenca del río San José	98
Tabla 18. Horas de Sol Promedio Mensual (hr) – Promedio Multianual Observatorios existentes en la Región.....	99
Tabla 19. Velocidad de Viento Promedio Mensual (m/s) – Promedio Multianual Observatorios existentes en la Cuenca del río San José	100
Tabla 20. Generación de Caudales para el Año Promedio (m ³ /s) Cuenca del río San José	105
Tabla 21. Módulos de Volumen (MMC)	108
Tabla 22. Módulos de volumen (MMC)	109
Tabla 23. Módulos de volumen (MMC)	110
Tabla 24. Módulos de volumen (MMC)	111
Tabla 25. Módulos de Volumen (MMC)	112
Tabla 26. Áreas de riego (Ha.) – bloques de riego cuenca del río San José.....	114
Tabla 27. Demanda agrícola de irrigación San Francisco.....	115
Tabla 28. Demanda agrícola de irrigación Surpana	115
Tabla 29. Demanda agrícola de irrigación Pucachupa Anajquia	116
Tabla 30. Demanda agrícola de irrigación Atuyo Chupa.....	116
Tabla 31. Demanda agrícola de irrigación Chictani Marcapata.....	116
Tabla 32. Cedula de Cultivo Subcuenca San José	118
Tabla 33. Coeficiente de Cultivo (Kc) Subcuenca San José	120
Tabla 34. Coeficiente para el Tanque de Evaporación clase A (Kp) bajo diferentes condiciones.	124

Tabla 35. Datos Climatológicos para el cálculo de la Evapotranspiración Potencial / Observatorio Azángaro	125
Tabla 36. Evapotranspiración Potencial (mm/mes) –Cuenca del río San José.....	125
Tabla 37. Evapotranspiración Potencial (mm/día) – estación Cuenca del río San José	126

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Curva de Gastos en función a la altura de lámina de agua.....	47
Figura 2. Hidráulica fluvial	49
Figura 3. Curva hipsométrica y curva de frecuencias - cuenca del río San José	59
Figura 4. Curva de frecuencias - cuenca del río San José.....	60
Figura 5. Número total de fuentes de agua superficial - Cuenca del río San José realizado con el inventario de fuentes de agua superficial	82
Figura 6. Diagrama Fluvial y Aforos Realizados Subcuenca San José	84
Figura 7. Histograma de Precipitación Total Mensual (mm.) – Estación Azángaro.....	86
Figura 8. . Histograma de Precipitación Total Mensual (mm.) – Estación Progreso.....	86
Figura 9. Histograma de Precipitación Total Mensual (mm.) – Estación Azángaro.....	87
Figura 10. Histograma de Precipitación Total Mensual (mm.) – Chuquibambilla	87
Figura 11. . Histograma de Precipitación Total Mensual (mm.) – Estación Muñani.....	88
Figura 12. Curva de Doble Masa Histórico - Pluviométricos	89
Figura 13. Precipitación mensual (mm.) – completada y extendida de las estaciones de la cuenca del río San José	91
Figura 14. Precipitación mensual (mm.) – completada y extendida de las estaciones de la cuenca del río San José	92
Figura 15. Precipitación mensual (mm.) – completada y extendida de las estaciones de la cuenca del río San José	92
Figura 16. Precipitación mensual (mm.) – completada y extendida de las estaciones de la cuenca del río San José	93
Figura 17. Precipitación mensual (mm.) – completada y extendida de las estaciones de la cuenca del río San José	93
Figura 18. Precipitación total anual – promedio multianual (1967-2010) estaciones de la cuenca del río San José y cuencas vecinas	94
Figura 19. Humedad relativa promedio mensual (%) – promedio multianual observatorios de la cuenca del río San José y cuencas vecinas	95
Figura 20. Distribución de la temperatura media mensual (°C) – promedio multianual observatorios de la cuenca del río San José y cuencas vecinas	96
Figura 21. Horas de Sol Promedio Mensual (hr) – Promedio Multianual Observatorios existentes en la Región Velocidad del viento promedio mensual.....	99
Figura 22. Velocidad de viento promedio mensual (m/s) – promedio multianual observatorios existentes en la cuenca del río San José.....	100
Figura 23. Calibración del Modelo Hidrológico – Cuenca del río Azángaro (m ³ /s)	106
Figura 24. Módulos de Caudal (m ³ /s.).....	108
Figura 25 Módulos de caudal (m ³ /s.).....	109
Figura 26. Cedula de Cultivo (% de área).....	119
Figura 27. Balance Hídrico	128

RESUMEN

La presente tesis realizó la evaluación de los recursos hídricos de la cuenca San José, mediante la aplicación del Balance Hídrico, con el objetivo de conocer la disponibilidad y el potencial de recursos hídricos, realizando un inventario de fuentes de aguas superficiales existentes y sus características, determinado la demanda para uso agrícola con fines de riego y la demanda ecológica natural, y lo tanto determinar la potencialidad de los recursos hídricos disponibles de la sub cuenca. Se pudo verificar y demostrar que existe recursos hídricos desaprovechados, debido a la carencia de infraestructura de almacenamiento, que regula su disponibilidad durante todo el año, compone básicamente un total de 207 fuentes de aguas superficiales, conformadas por 31 manantiales, 17 bofedales, 23 ríos, 5 lagunas, se tiene una disponibilidad bruta total de 75.01 millones de metros cúbicos (MMC). Por lo que se tiene una necesidad de 15.047 Millones de metros cúbicos (MMC), presentando un superávit anual total de 60,087 MMC, y un déficit de 0.06 MMC, este último durante el mes de octubre. En la subcuenca de rio san José existe una gran cantidad de áreas para cultivo por lo que se platearía realizar una serie de actividades y proyecto para el mejoramiento de agropecuario, por lo tanto, mejorar la calidad de vida de los pobladores de las diferentes comunidades de la subcuenca. Es importante realizar programas de monitoreo de calidad de aguas en forma permanente con la finalidad de evaluar el grado de contaminación de las aguas, las cuales podrían afectar en forma directa la salubridad ambiental de la población existente.

Palabras clave: Evaluación, cuenca, disponibilidad, demanda, balance, potencial.

ABSTRACT

This thesis carried out the evaluation of the water resources of the San José basin, through the application of the Water Balance, with the objective of knowing the availability and potential of water resources, making an inventory of existing surface water sources and their characteristics, determined the demand for agricultural use for irrigation purposes and the natural ecological demand, and therefore determine the potential of the available water resources of the sub-basin. It was possible to verify and demonstrate that there are untapped water resources, due to the lack of storage infrastructure, which regulates its availability throughout the year, basically comprising a total of 207 surface water sources, made up of 31 springs, 17 bofedales, 23 rivers , 5 lagoons, there is a total gross availability of 75.01 million cubic meters (MMC). So there is a need of 15,047 Million cubic meters (MMC), presenting a total annual surplus of 60,087 MMC, and a deficit of 0.06 MMC, the latter during the month of October. In the San José river sub-basin there is a large number of areas for cultivation, which is why it would be possible to carry out a series of activities and projects for the improvement of agriculture and livestock, therefore improving the quality of life of the inhabitants of the different communities of the sub-basin It is important to carry out permanent water quality monitoring programs in order to assess the degree of contamination of the waters, which could directly affect the environmental health of the existing population.

INTRODUCCIÓN

La evaluación de los recursos hídricos en la sub cuenca del río San José constituye uno de los aspectos más importantes en la planificación uso y distribución del recurso hídrico, para ello es necesario realizar un estudio mapeo y una serie de datos necesarios para determinar cuánto y cómo se distribuirá este recurso tan limitado en nuestra actualidad, para determinar los objetivos propuestos estructurándose de la siguiente manera: En el Capítulo I. Desarrolla el planteamiento del problema, antecedentes y objetivos esenciales de la investigación y cómo surge la idea de realizar la presente investigación, pasando por la etapa de la formulación del problema. En el Capítulo II. Hace una revisión bibliográfica extensa, empezando por los conceptos de los recursos hídricos en el Perú, cuencas hidrográficas, etc. En el Capítulo III. Se desarrolla la parte de los materiales de y la metodología usada en la presente investigación. En el capítulo IV: Desarrolla la exposición y análisis de los resultados obtenidos, datos como precipitación mensual, anual, evaporación, evapotranspiración y datos meteorológicos de la cuenca del río San José, se compone básicamente un total de 207 fuentes superficiales, conformadas por 31 manantiales, 17 bofedales, 23 ríos, 5 lagunas en la sub cuenca del río San José. Se obtuvo una disponibilidad bruta total de 75.01 millones de metros cúbicos (MMC), y una necesidad de 15.047 Millones de metros cúbicos (MMC), el mismo que dentro de la distribución mensual se presenta con mayor incidencia entre octubre a diciembre, presentando un superávit anual total de 60,087 MMC, y un déficit de 0.06 MMC, este último durante el mes de octubre.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad, el agua es un elemento esencial de la economía internacional, nacional y local, y es necesaria para mantener y crear los puestos de trabajo en todos los sectores de la economía. La mitad de la mano de obra mundial está empleada en ocho sectores que dependen del agua y de los recursos naturales: agricultura, bosques, pesca, energía, producción con uso intensivo de recursos, reciclaje, construcción y transportes. Siendo así, en el Perú, es muy limitado, tal es el caso del departamento de Puno, que en épocas pasadas tuvo grandes problemas por efecto de sequías, donde la población del medio rural sufre los estragos de la escasez del recurso hídrico. Así mismo debemos indicar que las pocas fuentes que existe no poseen condiciones adecuadas para el consumo humano que es el más requerido además de actividades de regadío; ante este problema es necesario recalcar que las aguas superficiales cumplen un rol muy importante, sobre todo en las zonas rurales y de difícil acceso aun en estos tiempos de modernidad, donde son utilizadas principalmente para uso doméstico y pecuario.

Actualmente en muchas áreas de la cuenca San José no se cumplen con pautas sostenibles para el desarrollo y uso de los recursos de agua. La creciente demanda del recurso, así como la reducción de los caudales en ríos con sus graves consecuencias para usuarios y ecosistemas, la sobre explotación de acuíferos a tasas superiores a la reposición natural, los problemas de contaminación y degradación de la calidad de las aguas, las dificultades de acceso al recurso para satisfacer necesidades básicas de un alto porcentaje de la

población, son desafíos que demandan con urgencia estrategias que permitan resolver las numerosas tareas pendientes en cuanto a la utilización de los recursos hídricos.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cuál es la disponibilidad y el potencial de recursos hídricos en la sub cuenca del río San José?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS.

- ¿Cuáles son las fuentes de aguas superficiales existentes y sus características en la sub cuenca del río San José?
- ¿Cuál es la disponibilidad de recursos hídricos de la sub cuenca del río San José?
- ¿Cuál es la demanda para uso agrícola con fines de riego y la demanda ecológica natural dentro de la sub cuenca del río San José?
- ¿Cuál es la potencialidad de los recursos hídricos disponibles de la sub cuenca del río San José?

1.3. ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN.

Respecto a investigaciones realizadas en la misma zona de estudio con fines de diagnóstico y/o evaluación de los recursos hídricos en la zona en estudio, se consideró los siguientes antecedentes:

- Ramos (2013), mediante un modelo de redes flujos al balance hídrico optimizando la asignación de agua en la sub cuenca del río San José – Azángaro – Puno, obtuvo que para en la situación actual representada por el escenario 1, no se presenta

déficit en tiempo y volumen en la atención de la demanda hídrica en las microcuencas Jocara, Joicollane, Ccaccachupa, mientras en las microcuencas San José, Laconi, Condoriri, Santa Ana, Tintiri, se muestran deficitarios en la demanda hídrica, principalmente en la época seca (periodo de mayor demanda hídrica), sin embargo, en la época húmeda existen volúmenes excedentes en promedio del orden de 16.89 hm³, 4.319 hm³, 13.057hm³, Jocara, Joicollane, Ccaccachupa, respectivamente, mientras que en las microcuencas San José, Laconi, Condoriri, Santa Ana, Tintiri, existen volúmenes excedentes en promedio de 9.923hm³, 31.974 hm³, 28.880hm³, 9.694hm³, 38.283hm³, respectivamente, los que no son aprovechados para ningún uso. Efectuado el balance hídrico de la Sub cuenca San José para la situación futura y bajo las consideraciones del escenario de simulación 2, se determinó que con la oferta hídrica no regulada de la Sub cuenca San José, no se logrará satisfacer todas las demandas futuras de riego previstas; registrándose fuertes déficit, por lo que las superficies de zonas regables potenciales tendrían que verse reducida de forma importante.

- Administración del Distrito de Riego Ramis (2008) en la “actualización del Balance hídrico de la cuenca del río Ramis”, indican que existe un déficit de agua durante el periodo de los meses de agosto hasta noviembre. En la cuenca del río Ayaviri el déficit es mayor con respecto a la cuenca del río Azángaro. En los meses de déficit hídrico, la oferta hídrica disponible solamente satisface las necesidades hídricas en los bloques de riego de la cuenca del río Ayaviri en un promedio de 82% del área potencial bajo riego, y en la cuenca del río Azángaro en un promedio de 89.4%.

- Administración Técnica del Distrito de Riego Ramis (2003), con el objetivo de identificar e inventaría las fuentes hídricas, a fin de contar con una base de datos ordenada de ríos, quebradas, manantiales y lagunas plasmados en un sistema de información geográfica de manera que esta permita una mejor gestión hídrica de la cuenca, en donde se estimó que el volumen de agua usado actualmente en la actividad agrícola es de 943.829 MMC/año, pecuaria es de 4.849 MMC/año, industrial es de 0.027 MMC/año y el uso del agua con fines poblacionales llega a 7.159 MMC/año. En total el volumen de uso actual del agua en la cuenca del Ramis asciende a 955.864 MMC/año. El consumo agrícola representa el 98.7% del consumo de agua en la cuenca.
- PRORRIDRE (2012) en el “estudio de aprovechamiento hídrico para riego en la región Puno”, como parte de contribución al planeamiento de alternativas para el aprovechamiento del recurso hídrico mediante la construcción de infraestructuras de riego en la región Puno. A través de la determinación del potencial extraordinario hídrico superficial de las precipitaciones pluviales, deshielos, nevados, glaciares, manantiales que forman y dan origen a los ríos con caudales permanentes constituyéndose en afluentes de las hoyas del Titicaca, Atlántico y del Pacífico.
- Se concluye que, está formada por las cuencas de los ríos: Ramis, Ilave, Huancane, Coata, Illpa, Suchez, Callacame, Inambari, Tambo, Mauri y cuencas Circunlacustres al lago Titicaca (Pomata – Yunguyo y Moho). La superficie total de la región es de 71,999 km², su altitud máxima es de 4,725 msnm (San Antonio de Esquilache) y altitud mínima es de 820 msnm (Lanlacuni Bajo). La longitud

de curso de río más largo es de 363.49 km con una pendiente media de 1.13 %; pluviométricamente es la región que cuenta con buen rendimiento hídrico. En sus afluentes se han identificado 60 represas entre construidas y proyectadas que almacenarán un volumen total de 1,283.77 Millones de Metros Cúbicos de agua anualmente, que serán distribuidas en más de 146 irrigaciones con la finalidad de incorporar 150,000 hectáreas bajo riego mediante sistemas de riego tecnificado por aspersión y sistema de riego por gravedad, que permitirá mejorar la calidad de vida de más 374,695 productores dedicados a la producción agrícola y ganadera de la región. Debido a la ubicación dispersa de las áreas de demanda hídrica, se ha realizado un balance hídrico en forma localizada en cada curso de agua superficial donde existen captaciones del recurso hídrico. Así mismo la demanda hídrica considerada en el balance hídrico corresponde al requerimiento del área potencial total de cada unidad de riego. Los resultados del balance hídrico demuestran que existe un déficit de agua durante el periodo de los meses de agosto a noviembre.

Respecto a las técnicas y/o metodologías de evaluación de la disponibilidad de recursos hídricos, se consideró los siguientes antecedentes:

- Callata (2014), en el “estudio de aprovechamiento hídrico en la cuenca Coata con fines de planeamiento agrícola”, a partir del inventario de las fuentes de agua superficiales el uso actual y la reserva total de agua almacenada, que en la situación actual en un año hidrológico no cubre las demandas hídricas de los módulos de riego del sistema integral Lagunillas, realizando un trasvase del río verde al embalse Lagunillas se mejora la oferta del recurso hídrico para los módulos de riego para su manejo eficiente, racional y equitativo.

- Quispe (2004) en la “evaluación de los recursos hídricos de la microcuenca alto Vilcanota”, se obtuvo una disponibilidad hídrica para enero de $0.592\text{m}^3/\text{s}$ y de $0.054\text{m}^3/\text{s}$ para agosto, indicando que este último es el mes más crítico sufriendo de escasez de este recurso elemental, por lo cual se plantea almacenar este recurso en los meses de abundancia.

1.4. JUSTIFICACIÓN

La evaluación de los recursos hídricos es fundamental, ya que la vida depende de este recurso de vital importancia, tanto para el consumo del ser vivo y vegetal, por lo que este recurso debe tomarse una especial atención en conservación, cuidado, manejo adecuado y aprovechamiento de los recursos hídricos a través de estudios y evaluaciones para fines de las actividades del hombre y ecosistema. El estudio de cuencas en el Perú se empezó a implementar a mediados de la década del 60, como iniciativa de la Universidad Nacional Agraria La Molina lo cual considero como una materia básica en la formación del ingeniero, así como en el desarrollo agropecuario de nuestro país. Esta investigación se justifica en el ámbito técnico-académico y se centra en conocer el estado y uso en que se encuentra la infraestructura de riego y así tener una herramienta básica que permita realizar una “Evaluación de los recursos hídricos de la cuenca San José”, y dar una asignación de aguas a los usuarios de acuerdo a la oferta y demanda de agua. Una vez finalizados estos últimos estudios se desarrollará el trabajo de gabinete materia presente de la tesis, incorporando y extrayendo las experiencias acumuladas referentes a estudios hidrológicos.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. OBJETIVO GENERAL

- Evaluar los recursos hídricos superficiales existentes en la sub cuenca San José a través del balance hídrico.

1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar el inventario las fuentes de aguas superficiales existentes y sus características en la sub cuenca del río San José
- Determinar la disponibilidad de recursos hídricos de la sub cuenca del río San José
- Determinar la demanda para uso agrícola con fines de riego y la demanda ecológica natural dentro de la sub cuenca del río San José
- Determinar la potencialidad de los recursos hídricos disponibles de la sub cuenca del río San José.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. MARCO CONCEPTUAL

2.1.1. RECURSOS HÍDRICOS EN EL PERÚ

El inventario y evaluación de los recursos hidráulicos superficiales del Perú fue realizado por la Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN). El informe de evaluación preparado por ONERN incluye el Inventario Nacional de Ríos, el Mapa de Zonas de Escurrimiento del Perú y una propuesta para un Programa de Instalaciones Hidrométricas. La citada evaluación concluye señalando que en el territorio peruano el escurrimiento anual medio es de 2,044 km³, lo que equivale a 64,800 m³/s. Este escurrimiento corresponde a las siguientes vertientes (ONERN, Inventario y Evaluación Nacional de Aguas Superficiales, 1980):

Del gran total de 2,044 km³/año señalado como recursos hidráulicos superficiales del Perú, el 98,6% está de algún modo comprometido internacionalmente. El escurrimiento superficial del Perú representa casi el 5% del escurrimiento total de los ríos del mundo. En la cuenca del Titicaca los ríos mayores son: Ramis (103 m³/s), Ilave (42 m³/s), Coata (31 m³/s) y Huancané (24 m³/s). (ONERN, Inventario y Evaluación Nacional de Aguas Superficiales, 1980)

2.1.2. CUENCA HIDROGRÁFICA

Es un área en la que el agua proveniente de la precipitación forma un curso principal de agua, se define también como la unidad fisiográfica conformada por el conjunto de los sistemas de cursos de agua definidos por el relieve. Los límites de la cuenca o “divisoria de aguas” se definen naturalmente y corresponden a las partes más altas del área que encierra un río (Ramakrishna, 1997).

La cuenca, sus recursos naturales y sus habitantes poseen condiciones físicas, biológicas, sociales y culturales que le confieren características particulares. El objetivo se orienta a usar la cuenca como captadora de agua para diferentes fines, principalmente para consumo humano y para reducir el impacto de la escorrentía protegiendo así zonas vulnerables cerca de pendientes o cauces. Los proyectos más recientes de manejo de cuenca enfatizan cada vez más la necesidad de mejorar la calidad del agua y no sólo la cantidad y tiempo de descarga. La cuenca sea en forma independiente o interconectada con otras, es reconocida como la unidad territorial más adecuada para la gestión integrada de los recursos hídricos (Dourojeanni, Jouraviev, & Chavez, 2002).

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

La cuenca hidrográfica o de drenaje de un cauce está delimitado por el contorno en cuyo interior el agua es recogida y concentrada en la entrega al dren mayor. Este concepto también puede referirse a punto cualquiera del dren antes de la entrega, y es muy usado en los estudios hidrológicos (Reyes, 1992).

Para Aparicio (1997), una cuenca es una zona de la superficie terrestre en donde (si fuera Impermeable) las gotas de lluvia que caen sobre ella tienden a ser drenadas por el sistema de corrientes hacia un mismo punto de salida.

a.- Clases o tipos de cuencas hidrográficas

Según la clasificación de Gravelius, (1914):

- **Cuenca principal.**- Es aquella en que el cuerpo principal de agua desemboca directamente al océano. Es el río más importante de la cuenca. En el van todas las aguas y los sedimentos.
- **Subcuenca hidrográfica.** - Se denomina a aquellas subdivisiones principales de las cuencas, donde las aguas superficiales y subterráneas alimentan a las cuencas, por lo general las componen aquellas cuencas de segundo orden en adelante.
- **Microcuenca hidrográfica.** - Son unidades geográficas menores, son superficies que cual células se juntan para formar los tejidos o subcuencas, estas a su vez se unen para formar los órganos que serían las cuencas y estas para formar el cuerpo o las grandes cuencas u hoyas. Las microcuencas son cuencas de pocas hectáreas, generalmente usadas con fines de investigación (Cali, 2007).

DSMC-DGAS (1983), en el documento metodología de priorización de cuencas menciona las unidades y rangos de áreas geográficas las cuales son:

Tabla 1. Clasificación de cuencas, según unidades y rangos de áreas geográficas

Descripción	Áreas (Km ²)	N° de orden del río
Microcuenca	10-100	1°, 2°, 3°
Subcuenca	100-700	4°, 5°
Cuenca	700-6000	6° o mas

Fuente. DSMC-DGAS (1983)

b.- Geomorfología de la cuenca

Menciona que las características fisiográficas de la cuenca pueden ser explicadas a partir de ciertos parámetros o constantes que se obtienen del procesamiento de la información cartográfica y conocimiento de la topografía de la zona de estudio. La cuenca como unidad dinámica natural es un sistema hidrológico en el que se reflejan acciones recíprocas entre parámetros y variables. Las variables pueden clasificarse en variables o acciones externas, conocidas como entradas y salidas al sistema, tales como: precipitación, escorrentía directa, evaporación, infiltración, transpiración; y variables de estado, tales como: contenido de humedad del suelo, salinidad, cobertura vegetal, entre otros. Los parámetros en cambio permanecen constantes en el tiempo y permiten explicar las características fisiomorfológicas de la cuenca (Mejía, 2006).

Área (A). - Es la superficie de la cuenca comprendida dentro de la curva cerrada de divortium aquarum. La magnitud del área se obtiene mediante el planimetrado de la proyección del área de la cuenca sobre un plano horizontal. Dependiendo de la ubicación de la cuenca, su tamaño influye en mayor o menor grado en el aporte de escorrentía, tanto directa como de flujo de base o flujo sostenido. El tamaño relativo de estos espacios hidrológicos define o determina, aunque no de manera rígida, los nombres de micro cuenca, sub cuenca o cuenca (Autor, año).

Perímetro (P).- Es la longitud de la línea de divortium aquarum. Se mide mediante el curvómetro o directamente se obtiene del software en sistemas digitalizados (Autor, año).

Factor de forma (Ff).- Es la relación entre el área A de la cuenca y el cuadrado del máximo recorrido (L) este parámetro mide la tendencia de la cuenca hacia las crecidas, rápidas y muy intensas a lentas y sostenidas, según su factor de forma tienda hacia valores extremos grandes o pequeños, respectivamente:

$$Ff = \frac{A}{L^2} \dots \dots \dots \text{Ecuacion 1}$$

Para un círculo $Ff = 0.79$, para un cuadrado con la salida en el punto medio de uno de los lados $Ff = 1$ y con la salida en una esquina $Ff = 0.5$ (Mintegui et al., 1993).

Longitud del río principal (L). - Es la longitud mayor de recorrido que realiza el río, desde la cabecera de la cuenca, siguiendo todos los cambios de dirección o sinuosidades, hasta el punto fijo de interés, puede ser una estación de aforo o desembocadura, expresando en unidades de longitud.

Coefficiente de Gravellius o Índice de Compacidad. - Parámetro adimensional que relaciona el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo de igual área que el de la cuenca. Este parámetro, al igual que el anterior, describe la geometría de la cuenca y está estrechamente relacionado con el tiempo de concentración del sistema hidrológico.

Las cuencas redondeadas tienen tiempos de concentración con gastos picos muy fuertes y recesiones rápidas, mientras que las alargadas tienen gastos picos más atenuados y recesiones más atenuadas (Autor, año).

$$Kc = 0.282 \left(\frac{P}{\sqrt{A}} \right) \dots \dots \dots \text{Ecuacion 2}$$

Altitud medida. - Es el parámetro ponderado de las altitudes de la cuenca obtenida en carta o mapa topográfico. En cuencas andinas este parámetro está relacionado con la

magnitud de la laminada de precipitación, variación lineal muy importante en estudios regionales donde la información local es escasa (Autor, año).

Pendiente de laderas o pendiente de cuencas. - Es el promedio de la pendiente de la cuenca, es un parámetro muy importante que determina el tiempo de concentración y su influencia en las máximas crecidas y en el potencial de degradación de la cuenca, sobre todo en terrenos desprotegidos de cobertura vegetal. Existen variadas metodologías, tanto gráficas como analíticas, que permiten estimar la pendiente de la cuenca.

Pendiente del cauce principal del máximo recorrido.- Es el promedio de las pendientes del cauce principal. Este parámetro se relaciona directamente con la magnitud del socavamiento o erosión en profundidad y con la capacidad de transporte de sedimentos en suspensión y de arrastre. Dependiendo de la pendiente, existirán tramos críticos de erosión y tramos críticos de sedimentación, los primeros relación con las mayores pendientes y la segunda con las mínimas.

2.2. LA CUENCA COMO SISTEMA

En enfoque sistémico significa que la cuenca es un todo, funcionalmente indivisible e independiente, en el que interactúan en el tiempo y en el espacio los subsistemas social, cultural, económico político, legal, institucional, tecnológico, productivo, biológico, y físico. También implica la interacción e interconexión entre la parte alta, media y baja o costero marina de la cuenca, la propuesta de opciones de manejo y gestión basada en el análisis participativo de los problemas sus causas y consecuencias, así como el aprovechamiento racional de sus potencialidades y el reconocimiento del agua como elemento integrador, dentro de este enfoque existen varios elementos importantes tales como: proteger y conservar, restaurar y crear, comprender manejar y operar, (Jiménez, 2005).

2.3. IMPORTANCIA DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS

Las cuencas hidrográficas, también conocidas como zonas de captación son cruciales para el ciclo del agua, ya que son las unidades del paisaje donde se junta toda el agua de superficie y está disponible para su uso. Por lo tanto, tiene sentido que las decisiones estratégicas sobre la gestión del agua se deben tomar a nivel de cuencas (WWF, s/f).

El agua, es fundamental para la seguridad ambiental, social y económica, que permite fortalecer el desarrollo humano y al mismo tiempo satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad para que generaciones futuras satisfagan las propias. Por lo tanto, todos somos responsables por su custodia (UICN, 2000).

La participación pública en la planificación y el manejo de los recursos hídricos es un objetivo importante para determinar las necesidades y preocupaciones de todos los usuarios del agua en donde una colaboración efectiva entre los organismos y la población local aumenta las posibilidades de instituir planes eficaces de manejo de las cuencas hidrográficas (Ramsar, 2004).

Para una participación real se necesita de una sociedad bien informada, con conocimientos claros sobre la problemática ambiental, y sus consecuencias en su calidad de vida (Menahem, 2004).

Permitiendo formar parte del proceso de toma de decisiones esto puede ocurrir directamente cuando las comunidades locales se juntan para llevar a cabo la elección de sistemas de provisión, la administración y el uso del agua (GWP, TAC, 2000).

2.4. SISTEMA HIDROLÓGICO

Los fenómenos hidrológicos son extremadamente complejos y es posible que nunca se les entiendan en su totalidad. Sin embargo, en ausencia de un conocimiento perfecto, puede representarse en forma simplificada por medio del concepto de sistema. Un sistema es un conjunto de partes conectadas entre sí, que forman un todo. El ciclo hidrológico puede tratarse como un sistema cuyos componentes son precipitación, evaporación, escorrentía y otras fases del ciclo hidrológico. Estos componentes pueden agruparse en subsistemas de ciclo total, para analizar el sistema total, estos subsistemas más simples pueden analizarse separadamente y combinarse los resultados de acuerdo con las interacciones entre los subsistemas (Chow y., Maldment D. y Mays L., 1994).

Un sistema hidrológico se define como una estructura o volumen en el espacio, rodeada por una frontera, que acepte agua y otras entradas, opera en ellas internamente y las produce como salidas.

Si se utiliza el concepto de sistema, el esfuerzo se dirige hacia la construcción de un modelo que relacione entradas y salidas en lugar de llevar a cabo la extremadamente difícil tarea de una representación exacta de los detalles del sistema, los cuales pueden ser desconocidos o no significativos desde un punto de vista práctico.

De acuerdo a un enfoque clásico se plantean ciertas hipótesis acerca de la naturaleza del sistema como las leyes físicas que gobiernan su comportamiento, luego se combinan con la entrada para predecir la salida. En el enfoque de sistemas, se hace el propósito de evitar los problemas que surgen de la complejidad tanto de la física como de la estructura del sistema, los cuales se combinan en el concepto único de operación de sistema particular. Es así que se puede usar este concepto de operación del sistema como el elemento que

accepte la entrada y la convierte en una salida. A título de ejemplo se considera el procedimiento de hidrograma unitario. En este caso, la precipitación excedente se toma como entrada y la escorrentía directa como la salida. La operación de todo el sistema cuenca al convertir la precipitación excedente en escorrentía se resume en la forma del hidrograma unitario (Aliaga, 1985).

La ventaja de aplicar el concepto de sistema hidrológico es que se puede simplificar la gran cantidad de variables que intervienen en el proceso. Para efectos prácticos, se considera que la entrada más importante del sistema es la precipitación y las salidas igualmente importantes son el caudal y la evaporación. Asimismo, en la práctica el espacio del sistema hidrológico puede ser una pequeña parte de la tierra, dependiendo su magnitud del interés del análisis hidrológico (Vásquez A., 1991).

2.5. EL AGUA, RECURSO INTEGRADOR DE LA CUENCA

El agua es considerada el elemento integrador pues la zona de cabecera de las cuencas garantiza la captación inicial de las aguas y el suministro de las mismas a las zonas inferiores durante todo el año. Los procesos en las partes altas de la cuenca invariablemente tienen repercusiones en la parte baja dado el flujo unidireccional del agua, y por lo tanto toda la cuenca se debe manejar de manera integral, como una sola unidad. Al interior de la cuenca, el agua funciona como distribuidor de insumos primarios (nutrientes, materia orgánica, sedimentos) producidos por la actividad sistemática de los recursos. En la zona de emisión de cauces, el agua regula el funcionamiento de los ecosistemas costero-marinos, (Jiménez, 2005).

El movimiento del agua lluvia y los flujos superficiales, a través de la red de drenaje, desde la parte alta de la cuenca hasta la parte baja, promueve el desprendimiento y arrastre

de partículas (sedimentos orgánicos y minerales) e induce la formación de valles planicies o llanuras de inundación. El sistema hídrico también refleja un comportamiento de acuerdo a como se están manejando los recursos agua, suelo y bosque, así como a actividades o infraestructuras que afectan su funcionamiento, (Jiménez, 2005).

2.6. MANEJO DE CUENCAS

Se entiende por manejo de cuencas la aplicación de principios y métodos para el uso racional, integrado y participativo de los recursos naturales de la cuenca; fundamentalmente del agua, del suelo y de la vegetación, a fin de lograr una producción optima y sostenida de estos recursos con el mínimo deterioro ambiental, para beneficio de los pobladores y usuarios de la cuenca. En el manejo de la cuenca es importante la labor coordinada de las instituciones públicas y privadas pertinentes.

Los principios y métodos empleados están basados en ciencias como la hidrología, la geología, la ciencia del suelo, la agrotecnia y el cultivo de las plantas, la forestería, la ciencia de los pastos, la meteorología, la ecología, la geografía, la sociología, la antropología, la administración, la economía y la informática, entre las principales. Esta diversidad de especialidades hace que el manejo de cuencas sea una actividad necesariamente multi e interdisciplinaria y sobre todo transectorial.

2.7. OFERTA DE AGUA

Es aquella porción de agua que después de haberse precipitado sobre la cuenca y satisfecho las cuotas de evapotranspiración e infiltración del sistema suelo – cobertura vegetal, escurre por los cauces mayores de los ríos y demás corrientes superficiales, alimenta lagos, lagunas y reservorios, confluye con otras corrientes y llega directa o indirectamente al mar. Usualmente esta porción de agua que escurre por los ríos es

denominada por los hidrólogos como escorrentía superficial y su cuantificación conforma el elemento principal de medición en las redes de seguimiento hidrológico existentes en los distintos países.

La población mundial viene aumentando con gran velocidad. Las necesidades de agua per cápita también crecen y es natural que así sea, pues el hombre busca continuamente mejores condiciones de vida. Mejorar la calidad de vida implica, entre otros aspectos, disponer de agua en cantidad, calidad y oportunidad adecuadas para satisfacer las necesidades humanas. La agricultura bajo riego, que contribuye a la producción de alimentos para esa población creciente, es la mayor consumidora de agua. La industrialización y diversas actividades inherentes al progreso también tienen requerimientos de agua cada vez mayores (Rocha, 1993).

Los datos obtenidos deben ser procesados de modo de obtener el producto final del inventario, que no es otra cosa que la Información. La información es a la vez el final de un proceso y el punto de partida de otro proceso, que es la planificación del desarrollo. Sólo podemos planificar el uso de lo que conocemos. El conocimiento de la Información se convierte así en fuente de poder. La Información, lo han dicho muchos autores, no es un fin en sí; es un medio para obtener conocimiento. Es un instrumento para la acción (WIENWE, 1972).

El Inventario debe ser sistemático, debe ser realizado por personal especializado y debe usarse las más modernas técnicas disponibles. Ante la imposibilidad material de investigar, inventariar y conocer todo, debemos establecer prioridades, jerarquizaciones. "Para la fijación de este orden de prioridades es imprescindible la intención y criterio de los planificadores, quienes, sin disponer inicialmente de elementos de juicio exhaustivos,

deben estimar las áreas conflictivas derivadas del desarrollo; así como también las de mayor potencialidad, a fin de establecer un programa provisorio para inventariar los recursos de dichas áreas y proceder en consecuencia. Por consiguiente, los planificadores hidráulicos deben disponer de un conocimiento profundo de su país, ya que la falta de este requisito ha sido causa de muchos de los fracasos de los consultores extranjeros no consustanciados con las áreas de trabajo", así concluye (Azpuruna y Gabaldon, 1976).

Al analizar los datos correspondientes a las variables asociadas a los proyectos hidráulicos, nos encontramos con que hay una incertidumbre intrínseca que se origina en su naturaleza estocástica. Esta incertidumbre es resuelta mediante el análisis probabilístico a partir de series históricas suficientemente largas (WIENWE, 1972).

Resulta, pues, evidente que la evaluación de las disponibilidades de agua, es decir, la determinación de la oferta, es una tarea ardua. En todo cálculo de la oferta de agua está presente el aspecto económico. Lo que debe buscarse es proporcionar agua en las condiciones requeridas y al menor costo posible. Para ello debe usarse la mejor opción, producto de un estudio de alternativas.

2.8. DEMANDA DE AGUA

Corresponde a la cantidad o volumen de agua usada por los sectores económicos y la población, cuando nos referimos al consumo de agua de los cultivos uno de los términos usados es el "uso consuntivo del agua de los cultivos", esto se refiere a la cantidad de agua que necesita un cultivo determinado para realizar la evapotranspiración y la construcción celular, desde la plantación hasta la cosecha, en régimen climático específico (Perry, 2009).

Los aportes de agua deben ser suficientes para satisfacer la demanda. No siempre es posible cubrir el 100% de la demanda el 100% del tiempo. Cuando la oferta es insuficiente para satisfacer la demanda se dice que el sistema tiene un déficit. No debemos perder de vista algunas particularidades de los proyectos hidráulicos que se realizan en zonas áridas o semiáridas y en países de escasos recursos económicos. Una zona es árida, etimológicamente seca, cuando el agua es la variable que controla su desarrollo.

Pero ¿cómo proceder cuando hay recursos que, como el agua, el capital y el suelo pueden ser escasos? evidentemente que entonces la norma general debe ser el ahorro, y éste debe empezar por el agua.

Es necesario tomar medidas que conduzcan a ahorros significativos del agua. Estos ahorros deben incluir, en el caso de la agricultura, la selección adecuada de los cultivos y del sistema de riego y la adopción de prácticas de riego, de manejo y de gestión del agua conducentes a obtener el máximo ahorro. Lo mismo debe ocurrir con el consumo poblacional.

2.8.1.1. Pérdidas de agua en los sistemas hidráulicos

El tema de la cuantificación de las pérdidas de agua en la operación de los sistemas hidráulicos suele ser importante por las magnitudes que en muchos alcanzan. En un sistema de abastecimiento de agua las pérdidas pueden ser, por ejemplo, del orden del 50% lo que significa que la mitad del agua entregada no se emplea en el fin buscado. La eficiencia del uso del agua se define como la relación entre la cantidad de agua usada y la suministrada. La diferencia entre ambas es una pérdida (Rocha, Arturo, 1993)

Para comprender mejor el tema de las pérdidas, éstas deben ser clasificadas en dos grandes grupos: i) pérdidas con respecto a los objetivos de un proyecto específico de

abastecimiento de agua, es decir, pérdidas relativas, y ii) pérdidas absolutas, entendiendo como tales las pérdidas de agua no recuperables. Las primeras corresponden a lo siguiente: si consideramos y distribuimos agua para un fin específico C

El segundo grupo de pérdidas corresponde, por ejemplo, al agua que se evapora, o se infiltra a gran profundidad, o aparece en un lugar en el que ya no es posible su utilización. Se trata, entonces, de una pérdida absoluta. Es cierto, sin embargo, que en función del ciclo hidrológico el agua no se pierde y se incorpora a las reservas hidráulicas del planeta, pero ya se perdió el significado que podía haber tenido para la satisfacción de las necesidades de un proyecto o de una región específica (Rocha, Arturo, 1993)

En el Perú no tenemos mediciones sistemáticas de las pérdidas de agua en los sistemas de abastecimiento. El estudio y evaluación de las pérdidas que ocurren en los sistemas resulta ser fundamental para el estudio de las demandas. Las demandas no deberían estar exageradamente aumentadas por la existencia de pérdidas cuya ocurrencia podría evitarse.

2.8.1.2. Demandas de agua para uso poblacional

La satisfacción de la demanda de agua para uso poblacional es fundamental para la supervivencia humana. Muchos de los problemas vinculados al abastecimiento de agua de la población están presentados en varios capítulos de este libro, pues se trata de un tema de gran importancia e interés nacional.

Es indispensable su análisis desde la perspectiva de los recursos hidráulicos, pues está estrechamente vinculado con la calidad de vida de la población. En muchas partes del mundo, y de nuestro país, la diferencia entre disponer de agua y alcantarillado o no, puede ser la diferencia entre la vida y la muerte. Las tres cuartas partes de la población rural

mundial carecen de servicios de agua potable. La carencia de los servicios fundamentales de agua potable y alcantarillado trae como consecuencia la propagación de diversas enfermedades. El notable incremento de las enfermedades infectocontagiosas ocurrido en los últimos años en nuestro país y la impostergable necesidad de dar a la población mejores condiciones de vida hacen imperiosa la necesidad de un Plan Nacional de Agua Potable y Alcantarillado, debidamente coordinado con otros aspectos del desarrollo (Rocha, Arturo, 1993)

El problema del adecuado suministro de agua a las poblaciones no siempre está, pues, del lado de la disponibilidad global del recurso, sino también de lo siguiente.

- a. Desigual distribución espacial y temporal de los recursos existentes.
- b. Problemas con la calidad de agua.
- c. Costo de los sistemas hidráulicos de captación y distribución del agua.

2.8.1.3. Demanda de agua para uso agropecuario

La demanda agropecuaria tiene dos grandes componentes. Uno es la demanda agrícola, es decir, la que se origina en las necesidades del riego. El otro componente es el consumo pecuario. El riego es la actividad que consume mayor cantidad de agua. Se calcula que la demanda mundial de agua para riego será de 3 250 kilómetros cúbicos por año. Esto significará que el 62,6% de los usos mundiales de agua corresponderán al riego. A principios de siglo este porcentaje estaba alrededor del 90%. Esto nos indica el aumento de las demandas de agua de otros sectores. (Rocha, Arturo, 1993)

La demanda agrícola depende de la demanda unitaria (por hectárea) multiplicada por el área bajo riego (número de hectáreas). En consecuencia, se puede hablar de una demanda

agrícola nacional, regional, de un valle, de una irrigación o de cualquier otra unidad agrícola.

La demanda neta obtenida luego de las consideraciones anteriores debe aumentarse en la cantidad necesaria para cubrir las pérdidas que ocurren en el sistema.

En los proyectos de riego a veces es necesario considerar una demanda adicional al requerimiento de riego con el objeto de tener agua disponible para el lavado de sales.

Sería muy largo, y escaparía a los límites que nos hemos propuesto, examinar en extenso las diferentes demandas de agua que existen, pues casi no hay actividad económica en la que no participe el agua.

2.9. BALANCE HÍDRICO

2.9.1.1. Definición de balance hídrico

El balance hídrico se establece para un lugar y un período dados, por comparación entre los aportes y las pérdidas de agua en ese lugar y para ese período. Se tienen también en cuenta la constitución de reservas y las extracciones ulteriores sobre esas reservas. Las aportaciones de agua se efectúan gracias a las precipitaciones. Las pérdidas se deben esencialmente a la combinación de la evaporación y la transpiración de las plantas, lo cual se designa bajo el término evapotranspiración. Las dos magnitudes se evalúan en cantidad de agua por unidad de superficie, pero se traducen generalmente en alturas de agua; la unidad más utilizada es el milímetro. Al ser estas dos magnitudes físicamente homogéneas, se las puede comparar calculando, ya sea su diferencia (precipitaciones menos evaporación), ya sea su relación (precipitaciones sobre evaporación). El balance es evidentemente positivo cuando la diferencia es positiva o cuando la relación es superior a uno. Se elige una u otra expresión en función de comodidades o de obstáculos diversos.

El escurrimiento a partir de una unidad de superficie se contará en las pérdidas. La infiltración se considera como una puesta en reserva bajo forma de napas subterráneas o de agua capilar en el suelo. Las precipitaciones sólidas constituyen reservas constituidas de inmediato. Éstas tienen una duración variable, interestacional en el caso de las coberturas de nieve, interestacional e interanual en el caso de los glaciares, incluso intersecular en el caso de las calotas polares o de las grandes masas de montañas muy altas (Hypergeo, 2014)

Es común, en el estudio de los balances hídricos, comparar las precipitaciones P y la evapotranspiración potencial ETP , lo cual permite distinguir situaciones diferentes en función de umbrales que son directamente significativos para un lugar o un período dado.

- Si $P < ETP$, la evaporación real será igual a P ; habrá deducción sobre las reservas, ausencia de escurrimiento; el período se denominará deficitario.
- Si $P > ETP$, la evaporación real será igual al ETP , habrá escurrimiento y constitución de reservas; el período se llamará excedente.

2.9.1.2. La ecuación del balance hídrico

Forma general de la ecuación del balance hídrico

El estudio del balance hídrico en hidróloga se basa en la aplicación del principio de conservación de masas, también conocido por nosotros como ecuación de la continuidad. Esta establece que, para cualquier volumen arbitrario y durante cualquier período de tiempo, la diferencia entre las entradas y salidas estará condicionada por la variación del volumen de agua almacenada (Sokolov & Chapman, 1981).

Indica que la técnica del balance hídrico implica mediciones de ambos aspectos, almacenamientos y flujos del agua; sin embargo, algunas mediciones se eliminan en

función del volumen y período de tiempo utilizados para el cálculo del balance (UNESCO, 1971).

La ecuación del balance hídrico, para cualquier zona o cuenca natural (tal como la cuenca de un río) o sea de agua, indica los valores relativos de entrada y salida de flujo y la variación del volumen de agua almacenada en la zona o masa de agua. En general, las entradas en la ecuación del balance hídrico comprenden la precipitación (P), en forma de lluvia o nieve, realmente recibida en la superficie del suelo, y las aguas superficiales y subterráneas recibidas dentro de la cuenca o masa de agua desde fuera (Q_{SI} y Q_{ul}). Las salidas en la ecuación incluyen la evaporación desde la, superficie de la masa de agua (E) y la salida de corrientes de agua superficial y subterránea desde la cuenca o masa de agua considerada (Q_{s0} y Q_{u0}). Cuando las entradas superan a las salidas el volumen de agua almacenada (ΔS) aumenta y cuando ocurre lo contrario disminuye. Todos los componentes del balance hídrico están sujetos a errores de medida o estimación, y la ecuación del balance deberá incluir, por tanto, un término residual o de diferencia (v).

Por tanto, el balance hídrico para cualquier masa de agua y cualquier intervalo de tiempo, en su forma más general, vendrá representado por la siguiente ecuación:

$$P + Q_{SI} + Q_{ul} - E - Q_{s0} - Q_{u0} - \Delta S - v = 0 \dots \dots \dots \text{Ecuacion 3}$$

2.9.1.3. Precipitación

La precipitación es uno de los componentes primarios del ciclo hidrológico y corresponde a las entradas en la ecuación del balance hídrico. Cuando el agua en estado líquido o sólido llega al suelo, se dice que ha precipitado (Días y López, 2005).

El vapor de agua contenido en la masa de aire, a consecuencia de los cambios de presión y temperatura y del movimiento de esa masa, ayudado en ocasiones por minúsculos

núcleos de condensación y material sólido en suspensión, se reúne en gotas de agua o en cristales de hielo y cae venciendo las resistencias que se le oponen, hasta llegar a la superficie terrestre (Custodio, 2000).

La precipitación se produce cuando el aire se eleva y se enfría adiabáticamente por debajo del punto de rocío con tal rapidez que no sólo se forman nubes, sino que también se produce lluvia, nieve o granizo. Al tomar en cuenta los mecanismos que hacen alcanzar altura a las masas de aire. (Custodio, 2000).

2.9.1.4. Evapotranspiración

La evapotranspiración (ET) es el proceso por el cual el agua cambia de estado líquido a gaseoso y directamente o a través de las plantas vuelve a la atmósfera en forma de vapor.

La evapotranspiración depende de dos factores muy variables y difíciles de medir: el contenido de humedad del suelo y el desarrollo vegetal de la planta (Thornthwaite, 1948).

El concepto de la evapotranspiración potencial (ETP) o pérdida por evapotranspiración, que se basa en el supuesto de un desarrollo vegetal óptimo y una capacidad de campo permanentemente completa. La evapotranspiración también depende de los factores climatológicos y del tipo de vegetación y es, por tanto, un límite superior de la cantidad de agua que realmente vuelve a la atmósfera por evaporación y transpiración, y se conoce con el nombre de evapotranspiración real (ETR). La ETR se ve afectada por factores como la especie vegetal que cubre el terreno, la fase vegetativa en que se encuentra; la estructura mecánica, naturaleza y química del suelo, y la cantidad de agua disponible en el suelo y en el subsuelo. (Chow et al., 1994).

Métodos de cálculo de la ETP

La unidad más usual para expresar pérdidas por evapotranspiración es el l/m² o la altura del agua en mm por metro cuadrado. La necesidad de tener órdenes de magnitud de este parámetro, hace aceptar los valores deducidos de fórmulas empíricas que se apoyan en datos meteorológicos asequibles (Llamas, 1993).

Los métodos más aplicados se agrupan en los siguientes:

- **Métodos basados en física teórica del microclima**
 - Balance de energía
 - Perfiles de humedad y velocidad del viento
 - Flujo turbulento de humedad
 - Fórmulas semiempíricas o combinadas
- **Medidas directas**
 - Evapotranspirómetros

Son unos aparatos diseñados para obtener medidas directas de la ETP a partir de la siguiente ecuación:

$$ETP = A - S - \ddot{A}R \dots \dots \dots \text{Ecuacion 4}$$

Donde:

A = aportaciones;

S = salidas o gastos de agua (no debidas a ET);

$\ddot{A}R$ = incremento de la reserva de agua del suelo utilizable por las plantas.

El dispositivo consiste en uno o más depósitos excavados en el terreno y rellenos con el producto de la excavación o con el perfil del suelo que se quiera estudiar; en la superficie se planta una vegetación similar a la de la zona de estudio. El fondo tiene un tubo colector que recoge las salidas (S) y las conduce a un depósito situado a un nivel inferior, donde se miden. Se procura, mediante el riego, mantener la humedad del suelo permanentemente en su capacidad de campo, de modo que $\Delta R = 0$, por lo que la ecuación se reduce a:

$$ETP = A - S \dots \dots \dots \text{Ecuacion 5}$$

Donde A y S son conocidas.

Evaporímetros hay diferentes sistemas, por ejemplo, el evaporímetro de Wild dispone de una vasija con agua suspendida de una balanza de resorte que indica directamente la cantidad de agua evaporada. Con el evaporímetro de Piché la evaporación se mide en una escala graduada situada en un tubo que contiene el líquido.

Lisímetros

Parcelas y cuencas de experimentación

Perfiles de humedad del suelo

- **Métodos empíricos**
 - Relación evapotranspiración/evaporación media de estanques
 - Fórmula de Blaney y Criddle
 - Fórmula de Turc
 - Fórmula de Thornthwaite
 - Fórmula de Hargreaves

Tanto los métodos teóricos como las medidas directas son de delicada y costosa aplicación. Están ligados al carácter microclimático del proceso, por lo que son los únicos realmente válidos siempre que se reflejen fielmente las condiciones naturales.

Por el contrario, los métodos empíricos son más económicos por que se basan en datos meteorológicos obtenidos de las estaciones meteorológicas, pero los resultados tienen escasa validez si no están contrastados con medidas directas en la zona a la que se aplican. El método de Turc da valores más altos que los obtenidos con medidas directas, por el contrario, con la fórmula de Thornthwaite los valores correspondientes a zonas áridas y semiáridas son algo bajos. La fórmula de Blaney-Criddle tiene en cuenta el tipo de cultivo, por lo que si se tienen valores propios del coeficiente k se pueden obtener buenas aproximaciones (Custodio y Llamas, 1976).

2.9.1.5. Infiltración

Se entiende por infiltración al proceso de entrada, generalmente vertical, de agua a través del terreno, procedente de una lluvia, riego o de una corriente de agua sobre la superficie del suelo. Con el agua penetran en el suelo las sustancias que lleve disueltas y en suspensión. Superada la capacidad de campo del suelo (máxima cantidad de agua que el suelo puede retener), el agua desciende por la acción conjunta de las fuerzas capilares y de la gravedad (Custodio y Llamas, 1976; Porta et al., 1994; Davis y De Wiest, 1971).

La infiltración acumulada es la cantidad de agua que se ha infiltrado por unidad de superficie de suelo en un determinado lapso de tiempo.

$$I = I(t) \dots \dots \dots \text{Ecuacion 6}$$

Dónde: I = infiltración

T = tiempo

La velocidad de infiltración indica la tasa o velocidad a la que el agua entra en el suelo en cada instante, y se define como la cantidad de agua infiltrada por unidad de superficie y de tiempo. Disminuye muy rápidamente a lo largo de los primeros momentos del proceso, partiendo de unas condiciones de suelo seco y tiende a estabilizarse asintóticamente a lo largo del tiempo.

$$i(t) = \frac{dI(t)}{dt} \dots \dots \dots \text{Ecuacion 7}$$

$$I(t) = \int_0^t i(t) dt \dots \dots \dots \text{Ecuacion 8}$$

En la siguiente tabla se muestran algunos valores medios de velocidades de infiltración para distintos materiales.

Tabla 2. Velocidad de infiltración, en función el tipo de suelo

TIPO DE SUELO	INFILTRACIÓN
Muy arenoso	20 – 25 mm/h
Arenoso	15 – 20 mm/h
Limo – arenoso	10 – 15 mm/h
Limo – arcilloso	8 – 10 mm/h
Arcilloso	< 8 mm/h

FUENTE: (Diaz; Esteller; Lopez , 2005)

La velocidad de infiltración media es la cantidad de agua infiltrada acumulada por unidad de superficie a lo largo del tiempo que ha durado el proceso (Díaz; Esteller; Lopez , 2005)

$$i_m = \frac{\sum Q}{A \sum t} = \frac{I(t)}{T} \dots \dots \dots \text{Ecuacion 9}$$

Donde:

A = superficie;

t = tiempo en un instante dado;

T = tiempo total.

La velocidad de infiltración básica o fina es la velocidad de infiltración que corresponde a un régimen relativamente estabilizado.

2.9.1.6. Escurrimiento

Los términos escurrimiento y flujo se refieren, en principio, al mismo fenómeno: el movimiento de un líquido bajo la influencia de la gravedad. En hidrología, la distinción entre estos dos términos es la siguiente: mientras el escurrimiento representa el movimiento del agua sobre una región o una superficie dada, el flujo expresa el movimiento del agua a través de una sección transversal cualquiera. El escurrimiento se expresa normalmente en volumen (m³) o en altura de agua (mm) con relación a una superficie; el flujo se mide en volumen por unidad de tiempo (m³/s). Existen dos tipos de método para medir el flujo o caudal (Díaz & Lopez, 2005)

Método directo. Se mide el caudal directamente con la ayuda de un recipiente calibrado, evaluando, con un cronómetro se toma el tiempo necesario para llenarlo (Díaz & Lopez, 2005)

Métodos indirectos. Se miden los parámetros fundamentales que gobiernan el flujo, es decir, la superficie y la velocidad media de la sección, pues el caudal es el producto de estos dos parámetros. La estimación de la superficie mojada se hace mediante medidas topográficas o con la ayuda de mapas batimétricos suficientemente precisos. La velocidad puede medirse con molinetes o estimada con el empleo de flotadores (Díaz & Lopez, 2005)

Tabla 3. Métodos para la media del flujo o escurrimiento

TIPO DE CANAL	MÉTODO UTILIZADO
Ríos	Método indirecto con base en la medida de la sección transversal y la velocidad. Para una medida precisa de la velocidad debe utilizarse un molinete. Si se quiere únicamente un orden de magnitud, puede emplearse un flotador.
Arroyos, torrentes	Método indirecto (químico): medida de la concentración de una solución salina. Método directo: vertedores.
Grandes canales	Método indirecto: empleo del molinete o de un flotador.
Pequeños canales regulares	Método indirecto: concentración salina o aforador Parshall.
Manantiales	Método directo: llenado de volumen constante en un tiempo fijo, vertedores.
Conductos cerrados	Método directo: llenado de volumen. Método indirecto: tubo de Pitot, Venturi.
Flujo turbulento en laboratorio	Método directo: sonda termoelectrica.

FUENTE: (Díaz; Esteller; Lopez , 2005)

2.9.1.7. Hidrometría

Las medidas directas de caudal en una sección de un río son necesarias e imprescindibles para muy diversos objetivos (Díaz & Lopez, 2005)

- Cuantificación de la escorrentía superficial en una cuenca determinada
- Estudio de las relaciones río-acuífero
- Proyectos de obras hidráulicas
- Prevención y control de avenidas

La escorrentía superficial se refiere, en general, al agua que circula por la superficie terrestre y se concentra en los ríos. En detalle, parte importante de la escorrentía generada por un evento lluvioso, sobre todo en áreas forestales, es realmente de flujo sub superficial o hipodérmico, es decir, agua que no circula en régimen de lámina libre, sino que inicialmente se infiltra, escapa de la evapotranspiración y, en vez de constituir infiltración eficaz, circula horizontalmente por la parte superior de la zona no saturada hasta volver a la superficie (Díaz; Esteller; Lopez , 2005).

Los datos de partida se obtienen en las denominadas estaciones de aforos, o puntos de control, en donde se realizan mediciones de caudales, por muy diversas técnicas, que se denominan aforos o medidas hidrométricas (Díaz; Esteller; Lopez , 2005).

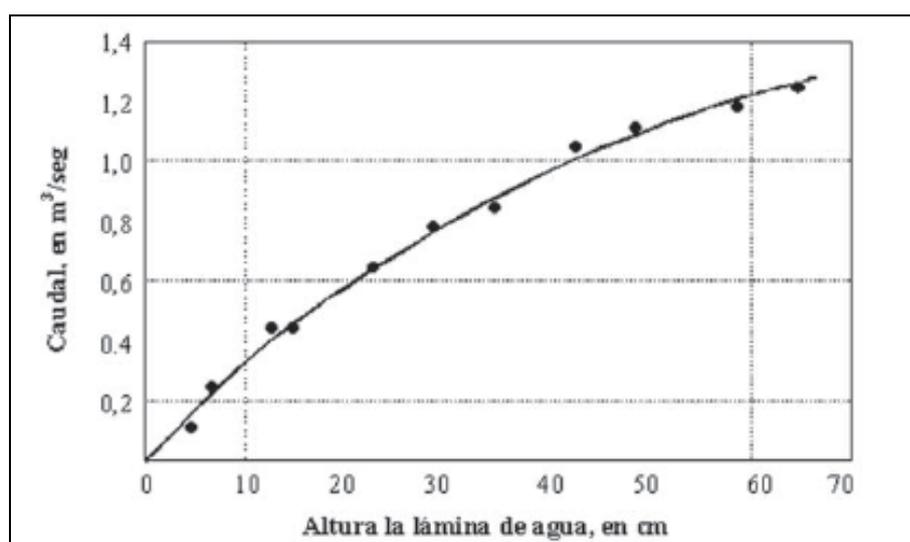
Los datos hidrométricos deben ser fiables y continuos; para ello se requiere de un periódico y sistemático contraste y mantenimiento de las estaciones, y un diseño previo de la red de observación que debe ser lo suficientemente densa como para no permitir la pérdida de información básica pero no tanto como para representar un excesivo costo, mayor complejidad de mantenimiento y la obtención de datos no realmente representativos. Un aspecto interesante a destacar es que, dado precisamente el carácter

estocástico del proceso, se requieren series temporales de larga duración para realizar interpretaciones del funcionamiento del sistema poco influenciadas por situaciones anecdóticas y poco representativas, y también, curiosamente, para poder interpretar y enmarcar adecuadamente este tipo de situaciones. Por esta razón, el mantenimiento eficiente de la red debe establecerse como norma, y debe estar sujeta a un proceso continuo de optimización. Díaz & Lopez (2005)

La curva de gastos

Para una sección dada existe una relación entre el caudal y la altura de la lámina de agua, $Q = f(h)$, que se denomina curva de gastos y que se determina experimentalmente por medidas repetidas de caudales y alturas en diversas condiciones. A partir de ella, basta con medir la altura para determinar el caudal, o lo que es lo mismo, basta con determinar la variación de la altura del agua con el tiempo para obtener la variación de los caudales con el tiempo.

En la siguiente figura se muestra un ejemplo hipotético de una curva de gastos.



FUENTE: (Díaz; Esteller; Lopez , 2005)

Figura 1. Curva de Gastos en función a la altura de lámina de agua

Normalmente la curva de gastos se obtiene mediante el dibujo de una curva suave que se ajuste lo mejor posible a los puntos obtenidos por los pares de valores (h_i , Q_i), pero también se puede hacer un ajuste estadístico.

Para obtener la ecuación de la curva que normalmente es una parábola de segundo grado, del tipo:

$$Q = ah^2 + bh + c \dots \dots \dots \text{Ecuacion 10}$$

En la que los parámetros a , b y c se obtienen por ajuste de mínimos cuadrados.

Otros ajustes de la curva pueden ser a leyes exponenciales del tipo $h = h_0 \times Q^a$

o potenciales de la forma $Q = (h - h_0)^A$, que tienen la ventaja de que representadas en papel semilogarítmico la primera o doble logarítmico la segunda, la curva de gastos tiene la forma de una recta.

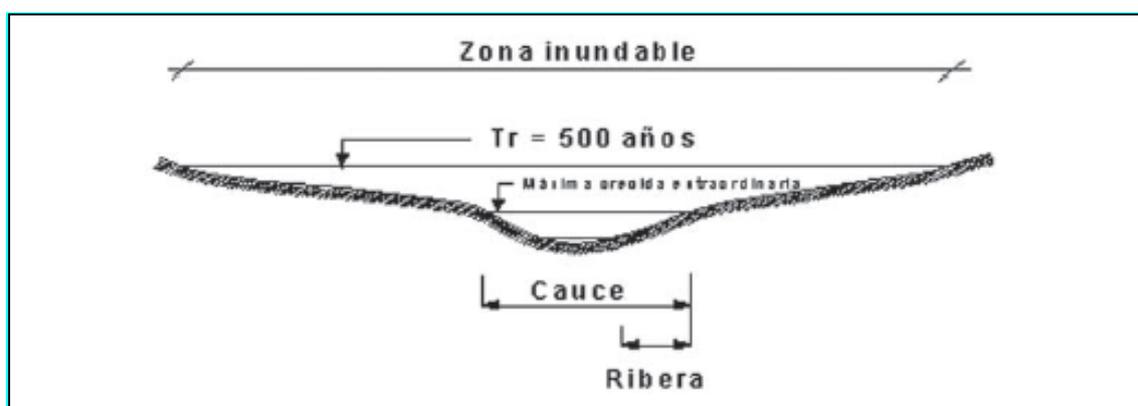
Tipos de medidas hidrométricas

Los principales métodos de aforo son los siguientes:

- Por medición de la lámina de agua
- Por medición de la velocidad de flujo
- Por creación de una sección de control
- Químicos
- Por medidas electromagnéticas por ultrasonidos de la velocidad (métodos acústicos)

2.9.1.8. Hidráulica fluvial

La ingeniería fluvial trata acerca de las intervenciones humanas en los ríos para su adecuación con fines de aprovechamiento de los recursos hidráulicos, o bien, para la reducción de los riesgos de inundaciones. La hidráulica fluvial es la parte de la ingeniería hidráulica que se encarga del estudio de las características de escurrimiento en canales naturales con énfasis en la resistencia al flujo con fondo móvil y la mecánica del transporte de sedimentos, y analiza todos los elementos que intervienen en él. En hidráulica fluvial se define como cauce, o curso natural, al espacio ocupado por un río, en sentido natural, o al espacio destinado al río tras una intervención del hombre (Diaz & Lopez, 2005).



FUENTE: (Diaz; Esteller; Lopez, 2005)

Figura 2. Hidráulica fluvial

CAPITULO III

DISEÑO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACION

3.1. INFORMACIÓN BÁSICA PARA LA EVALUACIÓN

3.1.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La cuenca del río San José tiene la siguiente ubicación geográfica: Coordenadas

Geográficas:

- Latitud Sur : 14°47'20.37"
- Longitud Oeste : 70°05'58.30"

Coordenadas UTM(WGS84)

- Norte : 8'364,696.22
- Este : 381,670.08
- Variación Altitudinal: 4,428.84m.s.n.m

3.1.2. UBICACIÓN HIDROGRÁFICA

Hidrográficamente la cuenca del río San José pertenece a la cuenca del río Ramis este

a la vez pertenece a la hoya del lago Titicaca y tiene los siguientes límites:

- Norte : con la cuenca del río Crucero
- Este : con la cuenca del río Suches y Huancané
- Sur: con parte de la cuenca del río Coata
- Oeste : con las cuencas de los ríos Crucero y Azángaro.

3.1.3. UBICACIÓN POLÍTICA

La superficie de la cuenca del río San José, políticamente se encuentra dentro de la región Puno, abarca las provincias de Azángaro y San Antonio de Putina. La descripción política presentada en el presente estudio corresponde a la delimitación existente en la carta nacional.

3.1.4. ACCESIBILIDAD – VÍAS DE COMUNICACIÓN

La principal arteria en la cuenca del río San José, desde la capital de la región de Puno es la que se accede por la carretera asfaltada Puno – Azángaro a través de la carretera asfaltada.

Tabla 4. Vías de accesibilidad a la cuenca del río San José

Descripción	Origen	Destino	Tipo de vía	Tipo de transporte	Distancia	Tiempo
Accesibilidad desde la Ciudad de Puno	Puno	Juliaca	Carretera Asfaltada	Vehículo motorizado	47.6	58 min.
	Juliaca	Azángaro	Carretera Asfaltada	Vehículo motorizado	74.3	1h y 03 min.
	Azángaro	San José	Trocha afirmada	Vehículo motorizado	25.2	35 min.

3.1.5. GEOMORFOLOGÍA

Tabla 5. Parámetros Geomorfológicos de la cuenca San José

PARÁMETRO		UNIDAD	CUENCA
			SAN JOSÉ
Superficie Total de Cuenca		Km ²	984.04
Perímetro de la Cuenca		Km	174.69
Coeficiente de Compacidad		*	1.56
Radio de Circularidad			0.41
Factor de forma	Longitud (Cauce Principal)	Km	19.87
	Ancho Medio	Km	22.60
	Factor de Forma	*	0.52
Grado de Ramificación (Longitud Total)	Orden 1	Km	247.56
	Orden 2	Km	132.52
	Orden 3	Km	80.63
	Orden 4	Km	37.93
	Orden 5	Km	19.87
	Orden 6	Km	0.00
	Orden 7	Km	0.00
Número de Ríos para los Diferentes Grados de Ramificación	Orden 1	*	303
	Orden 2	*	130
	Orden 3	*	112
	Orden 4	*	85
	Orden 5	*	17
	Orden 6	*	00
	Orden 7	*	00
Longitud total de los ríos de diferentes grados		Km	518.51
Numero de ríos para los diferentes grados		*	647
Longitud de ríos Principales		Km	138.43
Densidad de Drenaje		Km/Km ²	0.53
Cota máxima de la Cuenca		msnm.	5,139.00
Cota mínima de la Cuenca		msnm.	3,842.00
Altitud Media de Cuenca		msnm.	4,471.00
Pendiente de la Cuenca		%	16.21
Pendiente Media del cauce Principal		%	0.29
Tiempo de Concentración (Tc)		hr	23.08

3.1.6. HIDROGRAFÍA

La subcuenca posee una superficie total de 984.04 Km², la configuración general de la cuenca es la de una hoya hidrográfica de fondo plano y de reducida pendiente que se extiende, salvo en las pequeñas áreas correspondientes a sus nacientes, donde discurren por zonas caracterizadas por su topografía plana, las que por su altitud reciben el nombre de Altiplano. Esta característica ha dado origen a la formación de lagunas, algunas de las cuales son alimentadas por los deshielos de los nevados y otras son consecuencia del almacenamiento de las aguas de precipitación.

3.1.6.1. Sistema hidrográfico

La unidad hidrográfica del río San José, pertenece a una de las ocho (08) unidades hidrográficas básicas o subcuencas del río Ramis, para la selección de la subcuenca se ha utilizado los siguientes criterios: el orden de los ríos y el sistema hidráulico existente para el aprovechamiento de las fuentes de agua superficial.

Tabla 6. Sub Unidad Hidrográfica (Subcuencas) – Cuenca del río Ramis

Unidad Superficie						
Item	Hidrográfica	Denominación	Río Principal	(Km ²)	(%)	Número de Orden
1	Subcuenca	Ayaviri	Tramo río Ayaviri	2,668.36	18.14	6
2	Subcuenca	Azángaro	Tramo río Azángaro	676.41	4.60	6
3	Subcuenca	Crucero	Río Crucero	4,396.29	29.89	5
4	Subcuenca	Llallimayo	Río Llallimayo	1,970.77	13.40	5
5	Subcuenca	Nuñoa	Río Nuñoa	2,763.19	18.79	6
6	Subcuenca	Ramis	Tramo Río Ramis	347.58	2.36	7
7	Subcuenca	San José	Río Quilmayo	984.04	6.46	5
8	Subcuenca	Santa Rosa	Río Santa Rosa	933.45	6.35	5
	Cuenca	Ramis	Río Ramis	14,705.89	100.00	6

3.1.7. CUENCA SAN JOSÉ

Tiene un área de 984.04 Km² con un perímetro de 174.69 Km., su parte más elevada está en la cota 5,139 msnm y se ubica en el nevado Surapana y su parte más baja se ubica en la cota 3842 msnm donde confluye con el río Azángaro, la coordenada centroide de la cuenca es Este de 381670.08E y Norte de 8364696.22N.

La longitud total del río principal es de 19.87 Km. resultando una pendiente media de 0.29. Presenta una dirección Noreste a Suroeste y tiene un tipo de drenaje sub paralelo.

El número de orden de la cuenca es 5.

Los ríos principales son: el río San José, Condoriri, Tintiri, Santa Ana, Quilcamayo, Jacara, Pirhuani, Lagoni, Carpani y Pariani, y las lagunas de importancia son: Alta Gracia y Salinas, como nevados principales se tiene al nevado de Surpana.

3.1.7.1 Morfología de la cuenca del río San José

La morfología de una cuenca queda definida por su forma, relieve y drenaje, para lo cual se han establecido una serie de parámetros, que, a través de ecuaciones matemáticas, sirven de referencia para la clasificación y comparación de cuencas. Para un mejor estudio de las cuencas se han establecido los siguientes parámetros:

- Parámetros de forma
- Parámetros de relieve
- Parámetros de red hidrográfica.

Las características físicas desempeñan un papel esencial en la respuesta hidrológica de una cuenca hidrográfica. Recíprocamente, el carácter hidrológico de la misma contribuye considerablemente a formar sus características físicas. Entonces, esta interrelación debería suministrar la base para predecir cuantitativamente la respuesta hidrológica, a partir de aquellos parámetros físicos que son fáciles de medir.

3.1.7.1.1 Parámetros de forma

Por ello se hace necesario establecer algún parámetro, que permita evaluar la uniformidad o irregularidad de los contornos de la cuenca.

Se ha determinado valores de los parámetros de forma y relieves de mayor importancia e interpretación de la cuenca.

Parámetros de forma	Unidad	
Longitud(Cauce Principal)	Km	19.87
Ancho Medio	Km	22.60
Factor de Forma	*	0.52

a. Área de la cuenca(A)

El área (A) de la cuenca se estima a través de la sumatoria de las áreas comprendidas entre las curvas de nivel y los límites de la cuenca. Esta suma será igual al área de la cuenca en proyección horizontal, la cuenca del río San José tiene una superficie de 984.04 Km².

b. Coeficiente de Compacidad o de Gravelius(Kc)

Permite evaluar la uniformidad o irregularidad del contorno de la cuenca con respecto a un círculo, y se define como el cociente entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo de igual área.

$$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} \dots \dots \dots \text{Ecuacion 11}$$

Dónde: P = Perímetro de la cuenca (Km),

A = Área de la cuenca (Km²)

De la expresión se desprende que Kc siempre es mayor o igual a 1, y se incrementa con la irregularidad de la forma de la cuenca.

Los valores altos de este parámetro que relaciona el área y perímetro, obtenidos para la cuenca San José con un valor de 1.56 indican una mediana tendencia a las crecientes, indicando una respuesta hidrológica inmediata.

c. Factor de Forma (Ff)

Definido como el cociente entre la superficie de la cuenca y el cuadrado de su longitud máxima, medida desde la salida hasta el límite de la cuenca, cerca de la cabecera del cauce principal, a lo largo de una línea recta.

$$Ff = \frac{A}{Lm^2} \dots \dots \dots Ecuacion 12$$

Dónde: A = Área de la cuenca (Km²),

Lm = Longitud de cauce principal de la cuenca (Km)

El factor de forma hallado para la cuenca del río San José es de 0.52, lo cual explica o describe con un mayor ancho medio, respecto a su mayor longitud, es decir mayor capacidad receptora de precipitaciones pluviales.

d. Radio de Circularidad (Rc)

Relaciona el área de la cuenca y la del círculo que posee una circunferencia de longitud igual al perímetro de la cuenca. Su valor es 1 para una cuenca circular y 0.785 para una cuenca cuadrada.

$$Rc = \frac{4A}{P^2} \dots \dots \dots Ecuacion 13$$

Dónde: P = Perímetro de la cuenca (Km)

A = Área de la cuenca (Km²)

Los valores del Radio de Circularidad de la cuenca del río San José son alargadas, ya que todos los valores están por debajo de 0.41.

3.1.7.1.2 Parámetros de Relieve

El relieve posee una incidencia más fuerte sobre la escorrentía que la forma, dado que a una mayor pendiente corresponderá un menor tiempo de concentración de las aguas en la red de drenaje y afluentes al curso principal. Es así como a una mayor pendiente corresponderá una menor duración de concentración de las aguas de escorrentía en la red de drenaje y afluentes al curso principal.

Para describir el relieve de una cuenca existen numerosos parámetros que han sido desarrollados por varios autores; entre los más utilizados destacan:

a. Curva hipsométrica

Es utilizada para representar gráficamente cotas de terreno en función de las superficies que encierran. Para su trazado se debe tener en cuenta que sobre la sección de control (altitud mínima de la cuenca), se tiene el cien por ciento de su superficie. Si se ubica en el punto más alto de la cuenca y se calcula a partir de cada curva de nivel, las áreas acumuladas por encima de ellas, se puede construir la curva hipsométrica (Martínez et al, 1996). En general, tanto las alturas como las superficies son definidas en términos porcentuales.

La representación gráfica entre los porcentajes de área acumulada por encima y por debajo de las elevaciones altitudinales para la cuenca San José.

Las características de las curvas hipsométricas, es que las pendientes son crecientes, lo que es un indicador de que el mayor porcentaje de superficie se concentra en altitudes menores.

La distribución de superficie en la cuenca del río San José el mayor porcentaje es desde la parte media de la cuenca hacia la parte baja.

b. Polígono de Frecuencias

Se denomina así a la representación gráfica de la relación existente entre altitud y la relación porcentual del área a esa altitud con respecto al área total.

En el polígono de frecuencias existen valores representativos como: la altitud más frecuente, que es el polígono de mayor porcentaje o frecuencia.

La distribución gráfica del porcentaje de superficies ocupadas por diferentes rangos de altitud para la cuenca San José.

c. Altitud media de la cuenca

Corresponde a la ordenada media de la curva hipsométrica, y su cálculo obedece a un promedio ponderado: elevación – área de la cuenca, la altitud media de la cuenca es de 4,471.00 msnm.

Tabla 5. Altitudes características – cuenca río San José

CUADRO DE ÁREAS ENTRE CURVAS DE NIVEL							
Nº Orden	Cota Min.	Cota Max.	Área Parcial (km ²)	Área Acumulada (km ²)	Área que queda sobre la superficie (km ²)	Porcentaje de área entre C.N.	Porcentaje de área sobre C.N.
1	3842	4000	374.85	374.85	981.31	38.20%	100.00%
2	4000	4200	330.29	705.14	606.46	33.66%	61.80%
3	4200	4400	118.39	823.53	276.17	12.06%	28.14%
4	4400	4600	72.88	896.41	157.78	7.43%	16.08%
5	4600	4800	65.72	962.14	84.90	6.70%	8.65%
6	4800	5000	18.04	980.18	19.17	1.84%	1.95%
7	5000	5139	3.86	984.04	1.13	0.12%	0.12%
				984.04			100%

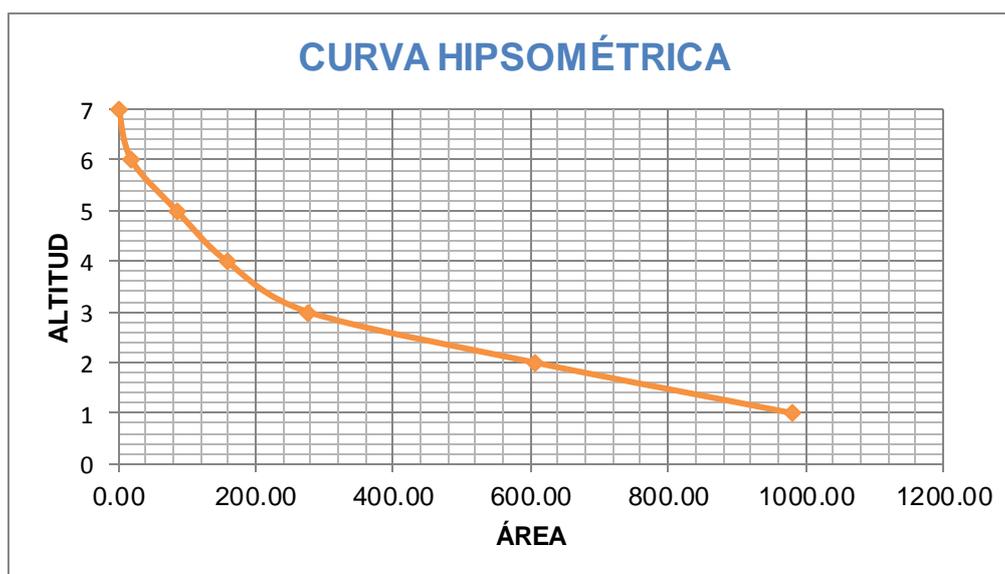


Figura 3. Curva hipsométrica y curva de frecuencias - cuenca del río San José

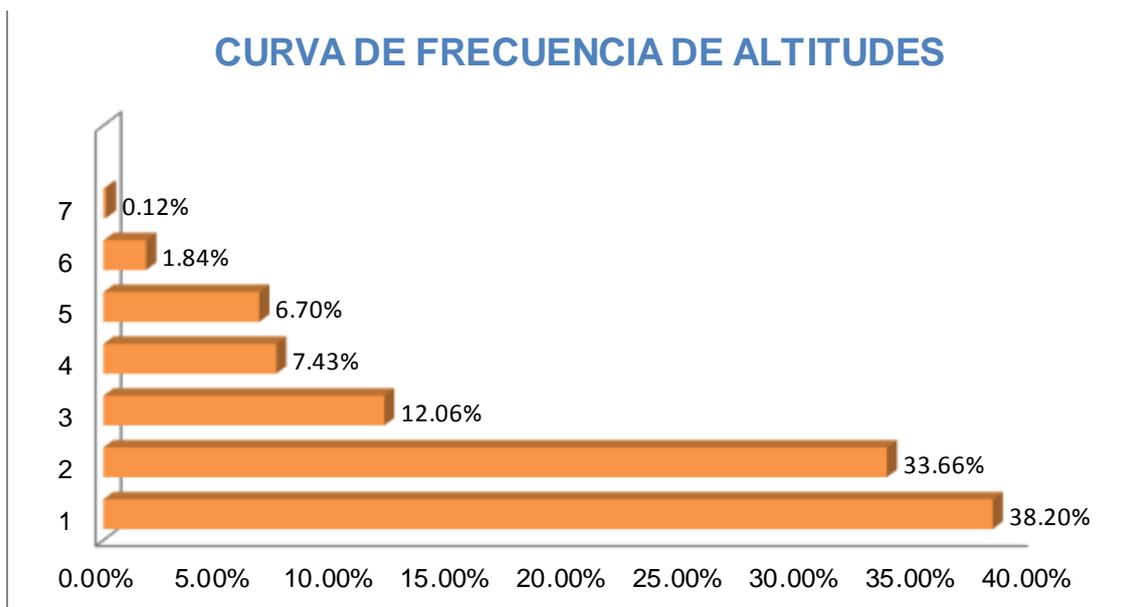


Figura 4. Curva de frecuencias - cuenca del río San José

Tabla 6. Clasificación de altitudes de la cuenca San José

Cuenca	Altitud		
	Media (msnm)	Frecuencia Media (msnm)	Más frecuente (msnm)
San José	4,471.00	4,141.45	3,942 – 4,000

d. Altitud de Frecuencia Media

Corresponden a las abscisas medias de las curvas hipsométricas de la Cuenca, esta tiene una altitud de frecuencia media de 4,141.45 msnm.

e. Altitud más Frecuente

Se observa que los límites de altitud son de 3,942.00 a 4,000.00 msnm

f. Pendiente Media de la Cuenca

Este parámetro de relieve es importante debido a su relación con el comportamiento hidráulico de drenaje de la cuenca. Para la estimación se ha empleado el sistema del “Rectángulo Equivalente”. La cuenca del río tiene una pendiente media de 16.21 %,

y una pendiente media del cauce principal de 0.29%.

3.1.7.1.2 Parámetros de red hidrográfica

La red hidrográfica corresponde al drenaje natural, permanente o temporal, por el que fluyen las aguas de los escurrimientos superficiales, hipodérmicos y subterráneos de la cuenca. La red de drenaje es, probablemente, uno de los factores más importantes a la hora de definir un territorio. De ella se puede obtener información en lo que concierne a la roca madre y a los materiales del suelo, a la morfología y a la cantidad de agua que circula, entre otros.

En virtud de lo anterior, se han propuesto una serie de indicadores de dicho grado de bifurcación, como la densidad de corrientes y la densidad de drenaje. Para analizar la red hidrográfica superficial de una cuenca, se han utilizado los siguientes parámetros:

a. Número de orden de los ríos

La clasificación (orden) de la cuenca hidrográfica es función del número de orden o medida de la ramificación del cauce principal.

Tabla 7. Clasificación ordinal de ríos – cuencas y subcuencas del río San José

Subcuenca	ORDENES DE RIOS									
	1°		2°		3°		4°		5°	
	N°	Long. (km.)	N°	Long. (km.)	N°	Long. (km.)	N°	Long. (km.)	N°	Long. (km.)
San José	303	247.56	130	132.52	112	80.63	85	37.93	17	19.87

b. Densidad de drenaje

Que corresponde al cociente entre la sumatoria del largo total de los cursos de agua, de una unidad hidrográfica, y la superficie de la misma. Representa la cantidad de

kilómetros de curso que existe por cada unidad de superficie.

El parámetro que relaciona la longitud total de ríos y el área de la cuenca, tiene como valor promedio 0.53 Km/Km^2 para la cuenca del río San José, lo que indica que la cuenca está bien drenada.

c. Pendiente media del río principal

El valor de la pendiente longitudinal se ha efectuado con el método de áreas compensadas para el cauce principal de cada subcuenca. El río Ramis presenta una pendiente media de 0.29 %.

d. Tiempo de Concentración (Tc)

Definido como el tiempo necesario para que una gota de lluvia caída se movilice desde el punto más alejado de la cuenca hasta su lugar de salida.

Para el cálculo del tiempo de concentración se ha utilizado la fórmula californiana, cuya ecuación es la siguiente:

$$T_c = (0.87L^3)^{0.385}/H \dots \dots \dots \text{Ecuacion 14}$$

Donde:

L = Longitud de cauce principal de la cuenca (Km.)

H = Desnivel entre la salida y el punto más alejado de la cuenca (Km.)

Los resultados indican que el tiempo de concentración es igual a 23.08 hr.

3.1.8. RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIALES

La identificación de las distintas fuentes hídricas superficiales en la cuenca del río San José se ha realizado mediante los trabajos desarrollados por el componente “Inventario y Evaluación de fuentes de agua superficial de las cuencas del río Ramis” del presente proyecto, trabajos ejecutados paralelamente al desarrollo del presente reporte, y en cuyo informe final se detalla la actividad.

En la cuenca se distingue básicamente seis tipos de fuentes de agua superficial: Ríos, Quebradas, Lagunas, Embalses, Manantiales y Bofedales.

En lo que respecta a la distribución espacial, según unidades hidrográficas, de la cantidad de fuentes inventariadas en la subcuenca San José, 207 fuentes. La mayor concentración de fuentes hídricas se da en la parte alta de la Cuenca.

a. Ríos y quebradas

El inventario de ríos en la cuenca del río San José se ha realizado considerando el concepto de que un río es un cauce natural con agua durante un año hidrológico, los otros cauces endorreicos tienen la denominación de “quebradas”, que son una parte importante del sistema de drenaje de la cuenca durante la época de precipitaciones pluviales.

Tabla 8. Resumen de inventario de fuentes de agua superficiales – cuenca del río San José

Cuenca	Numero de fuentes de agua						Total
	Manantiale	Bofedales	Ríos	Quebrada	Lagunas	Represas	
San José	31	17	23	131	5	0	207

b. Manantiales

Los manantiales revisten singular importancia en todo el ámbito de la cuenca, pues sus aguas que generalmente son de buena calidad, son utilizadas para el consumo

poblacional, pecuario y de riego. Estas fuentes se presentan con mayor frecuencia en la parte alta y media de la cuenca, en algunos sectores son las únicas fuentes vitales para la subsistencia del medio biológico, ya que suministran el recurso hídrico en forma permanente.

c. Bofedales

Los bofedales o humedales son fuentes de gran importancia. Se ubican mayormente en la parte alta de la cuenca. Son fuentes de agua que mayormente sirven para mantener la humedad de los terrenos aledaños a su ubicación y cumplen una fuente para la actividad pecuaria.

Del inventario efectuado se resume en porcentajes de 8%.

d. Lagunas

Geomorfologicamente presenta depresiones de terreno en las que se han formado almacenamientos de agua o lagunas, tiene un porcentaje de 3%.

3.2. MATERIALES

3.2.1. EQUIPOS Y MATERIALES PARA EL PROCEDIMIENTO

Los equipos y materiales utilizados en el procesamiento e impresión son:

- Hardware: computadora, impresora y accesorios.
- Software: Office 2013, AutoCAD 2015, Arc Gis v-10 2.1
- Equipos: Estación, Mira, Wincha, GPS y otros.

3.2.2. INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA

Los planos utilizados corresponden a la cuenca del río San José, el formato digital del plano base utilizado, está en el sistema de coordenadas UTM WGS84, proyectado para la zona 19, que es donde se ubica la zona de estudio. Los mapas de la carta nacional están en escala de 1/100,000 el IGM digitalizados bajo el entorno del GIS con equidistancia mínima de curvas de nivel de 50m.

3.2.3. INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA E HIDROMÉTRICA

La información meteorológica se obtuvo del Programa Regional de Riego y Drenaje (PRORRIDRE) y es de propiedad del Servicio Nacional de Meteorología SENAMHI, se utilizó 5 estaciones de precipitación de un periodo de registro de 44 años, temperatura y evaporación total mensual y anual de las estaciones de Azángaro, Muñani, Putina, Chuquibambilla, Progreso, mientras que para la información de Humedad Relativa y temperatura media mensual se utilizó registro de la estación Azángaro y Chuquibambilla. La estación hidrométrica de chuquibambilla caudales el río en forma diaria anotándose el caudal promedio y el caudal máximo, operado por el SENAMHI Puno.

3.3. METODOLOGÍA

La metodología empleada en el presente trabajo de investigación es la siguiente:

3.3.1. INVENTARIO LAS FUENTES DE AGUAS SUPERFICIALES EXISTENTES Y SUS CARACTERÍSTICAS

a. Reconocimiento de la cuenca

Según la programación de actividades se efectuó el reconocimiento de la cuenca pudiendo verificar y/o identificar las fuentes de agua superficial existentes (ríos, quebradas, bofedales, Manantiales y similares). Asimismo, se procedió con el llenado de las fichas de campo, en las cuales debe considerarse:

- Nombre
- Ubicación
- Tipo
- Método y Caudal Aforado
- Fecha de Aforo
- Observaciones

b. Medición (aforos) de las fuentes de agua

Para el aforo de las fuentes hídricas se utilizó fundamentalmente el método del flotador (aforo en ríos) y para el cálculo de caudales de manantiales se utilizó el método de volumetrico.

Se eligió un tramo del río recto, donde haya pocas turbulencias e irregularidades. Una vez medida la distancia donde se midió la velocidad, se echó el flotador al agua y se mide el tiempo que tarda en recorrer la distancia elegida, repitiéndose la operación en tres secciones del río, por lo menos. En el tramo central se calculó la sección del río, midiendo la profundidad en varios puntos y la distancia a los márgenes.

Luego de concluido el aforo se procedió inmediatamente a su cálculo de modo de evitar posibles errores que se pudieron presentar durante el proceso de aforo, cuando se tenía dudas del resultado se procedió a la repetición del aforo.

Todos los datos obtenidos fueron consignados en las fichas de aforo, cada punto de aforo cuenta con una ficha específica.

En el caso de ríos y quebradas el punto de aforo se ubicó preferentemente antes de su confluencia con otro río. En el caso de manantes en el afloramiento mismo, en el caso de lagunas el punto de aforo se ubicó inmediatamente después de su desfogue, y/o al ingreso de los mismos.

3.3.2. DISPONIBILIDAD DE RECURSOS HÍDRICOS DE LA SUB CUENCA

Para determinar la disponibilidad de recursos hídricos, se aplicó el método de Balance hídrico.

a. Calculo del balance hídrico

El cálculo del balance hídrico en cuencas fluviales es siempre el principal objetivo. El balance hídrico es diferencia entre la oferta y la demanda de una cuenca cuyo resultado permite conocer el déficit y/o exceso del recurso hídrico. En el presente trabajo se ha realizado el balance hídrico de la sub cuenca y de los diferentes ríos afluentes a la cuenca.

Ecuación del balance hídrico de la cuenca.

$$\text{Balance hídrico} = Q - D \dots \dots \dots \text{Ecuacion 15}$$

Dónde: Q = oferta hídrica (caudal del río)

D = demanda hídrica (usos de aguas)

3.3.3. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA PARA GENERACIÓN DE CAUDALES

Para el análisis de información hidrometeorológica se realizó el análisis de consistencia es una técnica que permite detectar, corregir y eliminar errores sistemáticos y aleatorios que se presentan en series hidrométricas; en consecuencia, la serie analizada debe ser homogénea, consistente y confiable.

Antes de realizar el modelamiento matemático de cualquier serie hidrológica es importante efectuar el análisis de consistencia respectivo con el fin de obtener una serie homogénea consistente y confiable.

El análisis de consistencia de la información hidrometeorológica se analizan desde tres puntos de vista o etapas siguientes:

- Análisis de consistencia de la información
- Homogeneidad de datos faltantes.
- Extensión de los registros.

La completación de valores ausentes continuos por más de un año completo, se ha realizado utilizando métodos de regresión múltiple del programa Hydraccess, como se verá posteriormente.

a. Cálculo de la precipitación

La precipitación es, normalmente, la única fuente de humedad que tiene el suelo y por eso conviene que su medida y cálculo se hagan con gran precisión, pues de ello depende, en gran manera, la exactitud de todos los cálculos del balance hídrico.

La cantidad media de precipitación en una cuenca, o en cualquier otra zona, se obtiene a partir de los datos de pluviómetros, pluviógrafos o totalizadores instalados en la zona en

estudio. En el caso de insuficientes aparatos, se pueden usar también los datos de precipitación de zonas próximas y de recubrimiento, a fin de obtener un valor más exacto de la precipitación. Cuanto más corto sea el período de cálculo del balance hídrico, más densa debe ser la red de medida de la precipitación. El equipo de medida debe cumplir las normas internacionales y especialmente las de la O.M.M.

Para calcular balances hídricos medios son necesarias series extensas de precipitación (alrededor de 25 - 50 años).

Para estimar los datos que faltan es aconsejable establecer relaciones gráficas de datos observados en estaciones vecinas o usar el método de correlación (Nordenson, 1.968; Rainbird, 1.967; Rodda, 1.972; Hershfield, 1.965; Hershfield, 1.968; Kagan, 1.972a; Green, 1.970a, 1.970b).

El cálculo de la precipitación media en una zona o superficie de agua presenta dos problemas: 1) la determinación de la precipitación en un punto; 2) la determinación de la precipitación media, en altura, sobre la zona en estudio, - usando puntos de observación.

b. Medida y corrección de la precipitación media

Sabido es que los aparatos para medir la precipitación, corrientemente usados en la red de estaciones meteorológicas, no miden toda la precipitación, debido, principalmente, a los efectos del viento. El error es más grande cuando la precipitación es en forma de nieve y puede llegar al 100% si los vientos son fuertes.

c. Cálculo de la precipitación media sobre una zona

Previo al cálculo de generación de caudales por el modelamiento estocástico de LUTZ SCHOLZ se hizo el cálculo de la precipitación media mensual, se calculan como media aritmética de los datos evaluables de todas las estaciones, es decir:

$$\bar{P} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i \dots \dots \dots \text{Ecuacion 16}$$

Donde \bar{P} es la precipitación media para una cuenca o región dadas, P_i es la precipitación media para el mismo período en la estación i y n es el número de estaciones usadas para calcular la media.

Cuando la red de estaciones no está uniformemente distribuida sobre la zona, la precipitación se calcula con los datos de estaciones meteorológicas a las que se asigna un peso medio, es decir:

$$\bar{P} = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^n P_i a_i \dots \dots \dots \text{Ecuacion 17}$$

Donde a_i es el área, de la cual la estación de precipitación i se espera sea la representativa, $A = \sum a_i$ es el área de la cuenca o región. El área a_i , asignada a cada estación, se determina, normalmente, por el **método de Thiessen** (Rainbird, 1.967; Mc Guinness, 1.963).

d. Mapas de isoyetas

El método de mapas de isoyetas se utilizó para determinar la precipitación sobre una zona, es el trazado de mapas de isoyetas a partir de los valores corregidos de la precipitación de cada estación se dibujan las isoyetas, teniendo en cuenta la orografía, la dirección de

vientos y orientación de vertientes y el gradiente pluviométrico en regiones montañosas. Los intervalos entre isoyetas no deben ser menores que el error medio de interpolación (Nordenson, 1968; O.M.M., 1970 y Hera, 1972).

Como la desviación típica o standard aumenta con la precipitación, en zonas de fuerte relieve la separación entre isoyetas aumenta con la altitud en razón geométrica.

La O.M.M. (1970) recomienda, en general, que los mapas de precipitación media anual, a escala de 1:5.000.000, tengan isoclinas a 100:200, ... 800; 1.000, ... 1.600; ... 2.000, ... 3.200; 4.000 mm, con intervalos de 100 mm hasta 1.000, de 200 mm hasta 2.000 y de 400 mm hasta 4.000.

e. Caudal o aportación del río

El caudal medio es una característica básica de los ríos. La determinación exacta del caudal o aportación del río depende de la exactitud de la medida y el cálculo del caudal de la variación del mismo, de la duración del período de observaciones y de la densidad de la red de estaciones de aforo (OMM, 1970), (Vander, 1972).

El caudal medio o aportación del río, calculado como media aritmética de las series de valores observados, es un concepto estadístico. Las variaciones del caudal con el tiempo pueden ajustarse a una ley de distribución estadística e investigada por medio de métodos basados en la teoría de probabilidades. El caudal medio (\bar{Q}), el coeficiente de variación (C_v) y el coeficiente de asimetría (C_s), son los parámetros de la ley de distribución anual de caudales.

Para el tratamiento estadístico es esencial tener series homogéneas en el tiempo, sin variaciones de los factores fisiográficos que afectan a la esorrentía y a su formación y

sin cambios de construcciones y explotación de obras de control sobre los ríos. El caudal medio anual se determinó para un largo período de observación, que incluya varios ciclos húmedos y secos. El caudal medio se puede calcular por:

$$\bar{Q} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i \dots \dots \dots \text{Ecuacion 18}$$

Donde:

- \bar{Q} : Es el caudal medio
- Q_i : Es el caudal anual en el año
- I : período extenso de
- n : años

De forma que un posterior aumento en extensión de las series produzca sólo una pequeña alteración del valor de \bar{Q} . Para su determinación a largo plazo es esencial tener un período de observaciones que abarque aproximadamente el mismo número de ciclos secos y húmedos. Cuanto más grande sea el número de ciclos completos, más pequeño será el error de estimación del caudal medio. Como la variación de los ciclos de escorrentía no son coincidentes entre cuencas lejanas, no es posible utilizar un período uniforme de observaciones para la determinación de los mapas de escorrentía. El período apropiado para ríos de una misma región hidrológica, donde las variaciones de escorrentía no están desfasadas, debería ser determinado por comparación preliminar del caudal normalizado:

$$\frac{1}{S} \sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q}) \dots \dots \dots \text{Ecuacion 19}$$

y Q_n para $n = 1, 2, 3, \dots$; donde \bar{Q} y S son la media y la desviación típica o standard de la escorrentía, Andrejanov (1957), Kuzin (1970) y Sokolovski (1968).

En el cálculo del caudal medio pueden ocurrir tres casos:

- Que haya suficientes datos de observación.
- Que sólo haya datos de observación de cortos períodos de tiempo.
- Que no haya datos de observación.

3.3.4. DEMANDA PARA USO AGRÍCOLA CON FINES DE RIEGO Y LA DEMANDA ECOLÓGICA NATURAL DENTRO DE LA SUB CUENCA

3.3.4.1. Identificación de las áreas de las cabeceras de riego

Según la programación de actividades realizada se efectuó el reconocimiento de la cuenca, pudiendo verificar y/o identificar las principales cabeceras de riego, el mismo que se corrobora con los padrones de la Junta de Regantes de la sub Cuenca San José y los que elaboro el Ministerio de Agricultura, en donde se obtuvo datos de las áreas bajo riego, así como de los cultivos predominantes en la zona de estudio. Estas áreas identificadas, fueron de gran utilidad para determinar la necesidad hídrica de las áreas bajo cultivo, considerando una cedula de cultivo típico (predominante o promedio).

3.3.4.2. Calculo de demanda hídrica con fines de riego

Para esto es fue necesario hacer algunos cálculos que apuntan específicamente a estimar la evapotranspiración del cultivo, a través de una estimación de la transpiración de las plantas y de la evaporación de agua que ocurre desde el suelo. Conociendo la evapotranspiración diaria, se determinó cuánta agua necesita para las actividades del hombre esto se traduce como la demanda hídrica con fines de riego. Para ello es necesario contar con datos de Evaporímetro de Bandeja Clase A.

La demanda de agua del cultivo o Evapotranspiración del Cultivo (ETc) depende del estado de desarrollo en que se encuentre el vegetal, en este caso, brotación, desarrollo de frutos, cosecha; de las condiciones climáticas como temperatura, humedad relativa y viento; de las características del suelo como profundidad, textura, infiltración, pedregosidad, estratos, y de la disponibilidad de agua que se tenga. De esta forma la evapotranspiración del cultivo (Etc) es igual a:

$$ETc = EB \times Kp \times Kc \dots \dots \dots \text{Ecuacion 20}$$

Donde:

ETc = Evapotranspiración del cultivo en mm/día.

EB = Evaporación desde la bandeja en mm/día.

Kp = Coeficiente de bandeja.

Kc = Coeficiente de cultivo.

Kp = Es un factor característico del evaporímetro (o Bandeja de clase A) y depende de las condiciones donde esté instalado. Varía normalmente entre 0,6 y 0,8.

Kc = Es un factor que varía según el tipo de cultivo y según las distintas etapas de desarrollo.

3.3.4.3. Determinación de la demanda ecológica natural

Consiste en determinar la demanda o necesidad hídrica, de las coberturas de pastos naturales y la evaporación sobre superficies áridas, para lo cual se determina la evaporación y la evapotranspiración.

a. Evaporación

La evaporación desde una superficie de agua (lagos y embalses) y desde el terreno (cuencas da los ríos) se calcula la por:

- a. Evaporímetros.
- b. El método del balance hídrico.
- c. El método del balance térmico,
- d. El método aerodinámico.
- e. Fórmulas empíricas

Calculo a partir de los datos del evaporímetro

La evaporación (E_L) procedente de lagos y embalses se estima a partir de los datos del evaporímetro, por:

$$E_L = K * E_p \dots \dots \dots \text{Ecuacion 21}$$

Donde:

E_L : Es la evaporación procedente de lagos

E_p : Es la evaporación desde el recipiente o tanque de evaporación

K: Es un coeficiente del evaporímetro.

Esta constante se puede determinar anualmente, pero en otros muchos ensayos se calcula mensualmente. Los evaporímetros usados para el cálculo de la evaporación en lagos se instalan completamente dentro o fuera del área afectada por la superficie evaporante del lago y los coeficientes utilizados se seleccionan de acuerdo con esa instalación.

Hay una gran variación en el valor del coeficiente empírico del evaporímetro, K , debido a factores climáticos, estacionales, instrumentales y de observación, pero el método puede proporcionar una primera aproximación, muy Útil, de la evaporación anual en un lago y es aplicable en la predicción de la evaporación en los embalses.

El valor medio anual de K para el evaporímetro URSS GGI, 3.000 es 0,80 y para el evaporímetro Clase A de EEUU es 0,70 (O.M.M., 1966), pero los errores de observación y otras deficiencias pueden proporcionar a estos valores un error de 20, 10 en su aplicación. El valor de K también varía con el clima de la región, siendo más bajo en las zonas áridas y más alto en las zonas húmedas. Debe tenerse cuidado al seleccionar el valor apropiado para la aplicación propuesta, y conviene utilizar datos locales o que puedan compararse. Para el evaporímetro URSS, con una superficie de evaporación de 20 m², el coeficiente medio ha sido expresado en la siguiente forma: $K = K_A * K_d * K_{sh}$ donde K_A depende del área de la superficie del lago, K_d de su profundidad y zona climática, y K_{sh} del grado de cobertura contra el viento; los valores para estos coeficientes de corrección están calculadas en tablas como las que figuran (Gidrometeoizdat, 1969).

Las variaciones estacionales del coeficiente K del evaporímetro son generalmente muy grandes y suficientes para permitir el uso de un valor constante de K . La variación de los coeficientes mensuales depende del clima y de la profundidad del lago y puede exceder un 0,7, en casos extremos (Concejo de Recursos Hídricos de Australia, 1970a). Por lo tanto, no es aconsejable usar la ecuación anterior para estimar la evaporación mensual cuando no se conoce la variación estacional de K , apropiada para la zona climática, y el tipo de evaporímetro usado. Una tabla conteniendo los coeficientes del evaporímetro Clase A, determinados para algunas zonas de EEUU mediante varias investigaciones (Gray, 1970).

Una fórmula más exacta, con un coeficiente aceptable para la estimación mensual o aún diaria de la evaporación en lagos, es la que tiene en cuenta la diferencia de temperaturas de la superficie del agua en el Lago y en el evaporímetro y su expresión es la siguiente:

$$E_L = K' \frac{e_L^* - e_z}{e_p^* - e_z} E_p \dots \dots \dots \text{Ecuacion 22}$$

donde K' es un coeficiente que depende principalmente del tipo de evaporímetro (y ligeramente de la superficie del agua),

e_L^* y e_p^* son las tensiones del vapor de saturación correspondientes a las máximas temperaturas, justo bajo la superficie del lago y en el evaporímetro, y e_z es la tensión media del el vapor, medida a una altura z .

Para el evaporímetro U.S. Clase A y a una altura de observación $z = 4$ m, el valor de K' es 1,50 (Webb, 1966). Los valores de E calculados diariamente se suman para obtener la evaporación mensual.

Para el evaporímetro flotante ruso URSS-GGI 3.000 y a una altura de observación $z = 2$ m, el valor de K' , dado en Gidrometeoizdat (1969), es 0,88. Los valores medios mensuales de e_L^* , e_p^* y e_z se usan para calcular la evaporación mensual.

Una extensa referencia bibliográfica de técnicas sobre problemas de evaporación, con más de 400 referencias, figura en la publicación Concejo de Recursos Hídricos de Australia (1.970a).

b. Evapotranspiración

Se conoce como evapotranspiración (ET) la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por otra parte mediante transpiración del cultivo. (FAO, 2000),

Para ello se utilizó el método Hargreaves, la fórmula para evaluar la Evapotranspiración Potencial de Hargreaves necesita solamente datos de temperaturas y de Radiación Solar.

La expresión general es la siguiente:

$$ET_0 = 0.0135(t_{med} + 17.78)R_S \dots \dots Ecuacion 23$$

dónde: ET_0 = evapotranspiración potencial diaria, mm/día

$C^{\circ}t_{med}$ = temperatura media

R_S = radiación solar incidente, convertida en mm/día

La radiación solar incidente, R_S , se evalúa a partir de la radiación solar extraterrestre (la que llega a la parte exterior de la atmósfera, que sería la que llegaría al suelo si no existiera atmósfera); ésta última aparece según los autores como R_0 ó R_a , y la leemos en tablas en función de la latitud del lugar y del mes. En este documento nos referiremos a ella como R_0 . (Hargreaves & Allen, 2003),

Para la obtención de la Radiación Solar Incidente (R_S), (Leizhi, y otros, 2016), mencionan la siguiente fórmula propuesta por Samani (2000):

$$R_S = R_0 * KT * (t_{max} - t_{min})^{0.5} \dots \dots Ecuacion 24$$

Dónde: R_S = Radiación solar incidente

R_0 = Radiación solar extraterrestre

KT = coeficiente

t_{max} = temperatura diaria máxima

t_{min} = temperatura diaria mínima.

Fórmula simplificada

Sustituyendo del valor de R_s de (2) en la expresión inicial (1), y tomando para el coeficiente KT el valor medio de 0,17, resulta la expresión citada con más frecuencia en la bibliografía:

$$ET_0 = 0.0023(t_{med} + 17.78)R_0 * (t_{max} - t_{min})^{0.5} \dots \dots \dots Ecuacion 25$$

Dónde: ET_0 = evapotranspiración potencial diaria, mm/día

t_{med} = temperatura media diaria, °C

R_0 = Radiación solar extraterrestre, en mm/día (tabulada) t_{max} = temperatura diaria máxima

t_{min} = temperatura diaria mínima.

3.3.5. POTENCIALIDAD DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DISPONIBLES.

Partiendo en base a la disponibilidad hídrica determinada en el anterior punto, para la determinación de la potencialidad de los recursos hídricos, se tomó en cuenta lo siguiente:

- Disponibilidad neta de recurso hídrico
- Prioridades de uso
- Límites físicos (áreas de suelo cultivable, accidentes topográficos, derechos de concesión de canteras metálicas y no metálicas, etc.).
- Límites y rentabilidad económica.

Si bien la propuesta fue de carácter empírico o a priori, puesto que no se desarrollarán más que estimaciones, se considera como un análisis preliminar para mejorar la toma de decisiones en la gestión y/o planificación de recursos hídricos.

CAPITULO IV

EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1. INVENTARIO LAS FUENTES DE AGUAS SUPERFICIALES

EXISTENTES Y SUS CARACTERÍSTICAS EN LA SUB CUENCA DEL RÍO SAN JOSÉ

Para la elaboración de la base de datos de las diferentes fuentes de agua superficial, se desarrolló la identificación e inventariado de las principales fuentes aportantes, considerándose para ello: Manantiales, bofedales, ríos quebradas y lagunas.

Obteniéndose así la existencia de 31 manantiales, 17 bofedales, 23 ríos, 131 quebradas, 5 lagunas, lo que hace un total de 207 fuentes identificadas, tal como se muestra en el siguiente cuadro:

Tabla 9. Inventario de fuentes de aguas superficiales - cuencas del río San José

Cuenca	Numero de Fuentes de Agua					
	Manantiales	Bofedales	Ríos	Quebradas	Lagunas	Total
San José	31	17	23	131	5	207

FUENTE: Elaboración propia

Del total de fuentes identificadas, el mayor número fuentes corresponde a las quebradas que representa el 63% del total, seguido de los manantiales con un 15%, los ríos con un 11%, los bofedales un 8% y las lagunas un 3%, tal como se muestra en la siguiente figura:

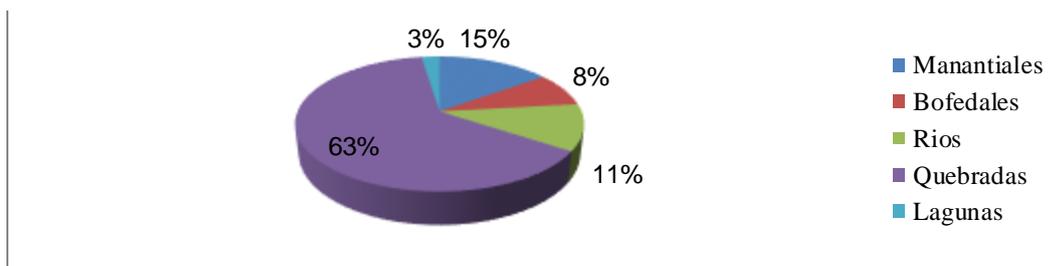


Figura 5. Número total de fuentes de agua superficial - Cuenca del río San José realizado con el inventario de fuentes de agua superficial

a. Manantiales

Se registraron 31 manantiales inventariados en la subcuenca San José, de los cuales 22 son de uso pecuario, 1 poblacional, 8 sin uso. En la tabla 10 se muestran la distribución de manantiales según su tipo de uso.

De acuerdo al aforo realizado de manantiales se obtuvo un caudal total de 30l/s., de los cuales 28.15 l/s. son de uso pecuario, 2.06l/s. no son usados y 0.1l/s son de uso poblacional, ya que los ojos de agua se ubican en zonas alejadas.

Tabla 10. Distribución de manantiales según tipo de uso y caudal aforado en la subcuenca San José

Distribución de Manantiales por Uso (l/seg.)		
Usos	N° Manantiales	Q. Aforado (l/s.)
Pecuario	22	28.15
Poblacional	1	0.1
Sin Uso	8	2.06
Total	31	30.31

b. Ríos

En la subcuenca San José, está ubicada a la margen izquierda del río Azángaro, en la que se registraron 23 ríos, no existe ni existió estación hidrométrica en la desembocadura del

río en mención, sin embargo, se realizó unos aforos parciales en el mes de mayo resultando un caudal de 0.068 m³/s, el punto de aforo fue ubicado en el puente San José.

Tabla 11. Distribución de río según tipo de uso en la subcuenca San José 2016

Numero de ríos por uso			
Subcuenca	Sin Uso	Pecuario	Totales
San José	5	18	23

Tabla 12. Ríos Aforados de la subcuenca San José

	Rios Aforados	Caudal (m ³ /s.)
1	Rio Parjoni	0.017
2	Rio Jacara	0.045
3	Rio Sorajana	0.002
4	Rio Ccauchicota	0.005
5	Rio Hatun mayo	0.016
6	Rio Catacora	0.001
7	Rio Jarapunca	0.000
8	Rio Santa Ana	0.003
9	Rio Huayrapata	0.000
10	Rio Tintiri	0.000
11	Rio Chilcamayo	0.068

c. Quebradas

En la subcuenca san José, se ha inventariado 131 quebradas de las cuales 51 son de uso pecuario y 80 no se tiene ningún uso.

d. Bofedales

Se registraron 17 bofedales de uso pecuario.

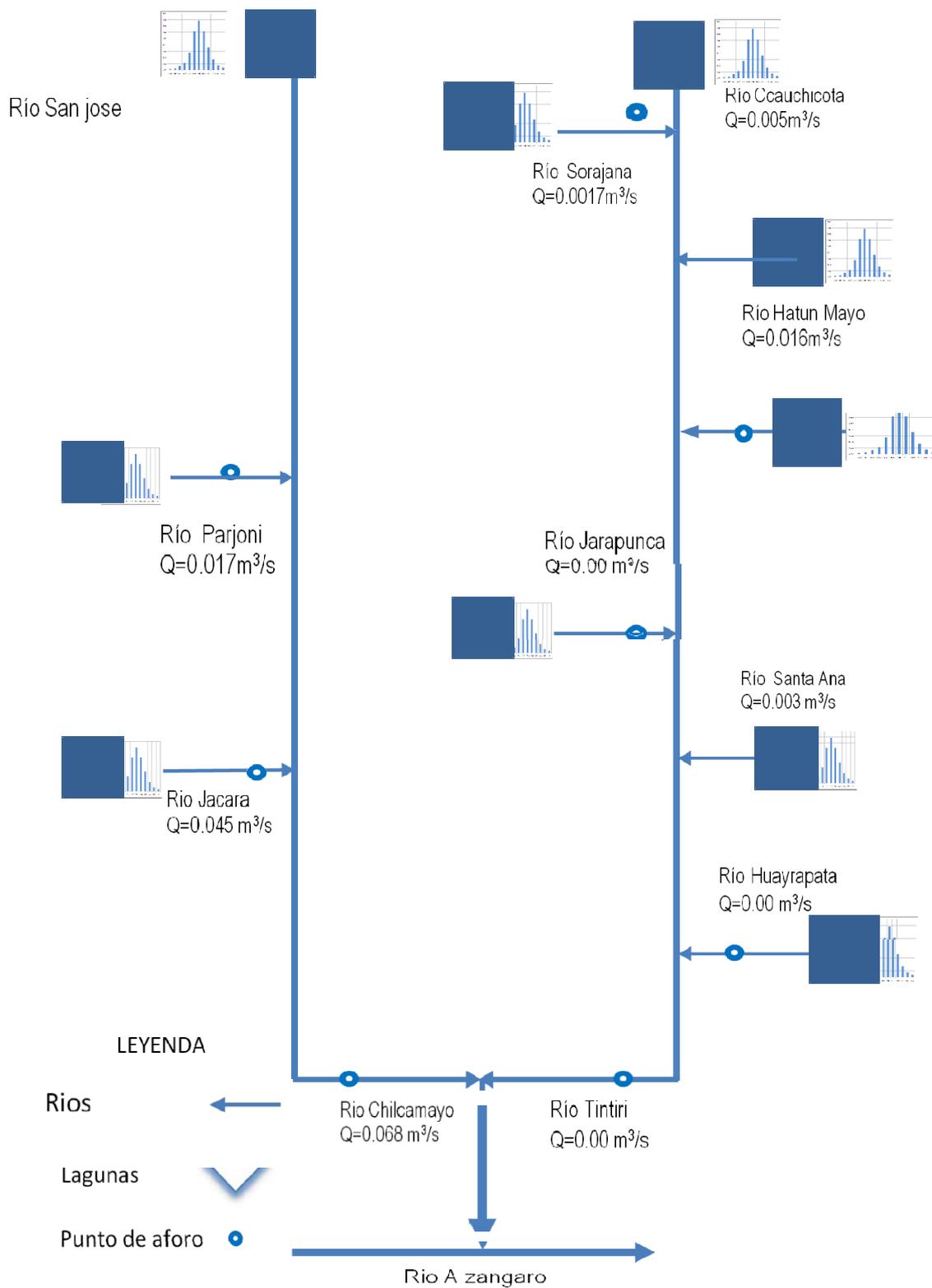


Figura 6. Diagrama Fluvial y Aforos Realizados Subcuenca San José

4.2. DISPONIBILIDAD DE RECURSOS HÍDRICOS DE LA SUB CUENCA DEL RÍO SAN JOSÉ

4.2.1. RESULTADOS DEL PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN

HIDROMETEOROLÓGICA

Antes de iniciar con la estimación de ofertas y demandas hídricas del sistema, se ha procesado toda la información cartográfica de los puntos de captación de agua superficial en el entorno de un Sistema de Información Geográfica, ubicándose en forma espacial los puntos de las demandas hídricas, asimismo se ha delimitado las áreas de drenaje que representa las ofertas hídricas del sistema en función a la localización geográfica de los puntos de las demandas hídricas.

Es necesario aclarar, que muchos de los puntos de captación se localizan en un solo cauce de escorrentía natural, formando grupos de captación de agua de un mismo cauce. En estos casos, se ha definido como área de oferta hídrica, el área de drenaje aguas arriba de la primera captación del cauce natural. Los principales parámetros climatológicos que definen o caracterizan el clima de la cuenca son: temperatura, humedad relativa y evaporación; son los de mayor importancia en cuanto a la tipificación o caracterización de la climatología de la cuenca San José.

4.2.1.1. ANÁLISIS DE CONSISTENCIA DE LA INFORMACIÓN

Mediante este análisis de los histogramas es posible detectar saltos y/o tendencias en la información histórica, son de las estaciones de Azángaro, Chuquibambilla, Progreso, Muñani y Putina.

- En la estación Azángaro se obtuvo el punto más alto de precipitación es de 238.80 mm., es el 16 de noviembre de 1984.

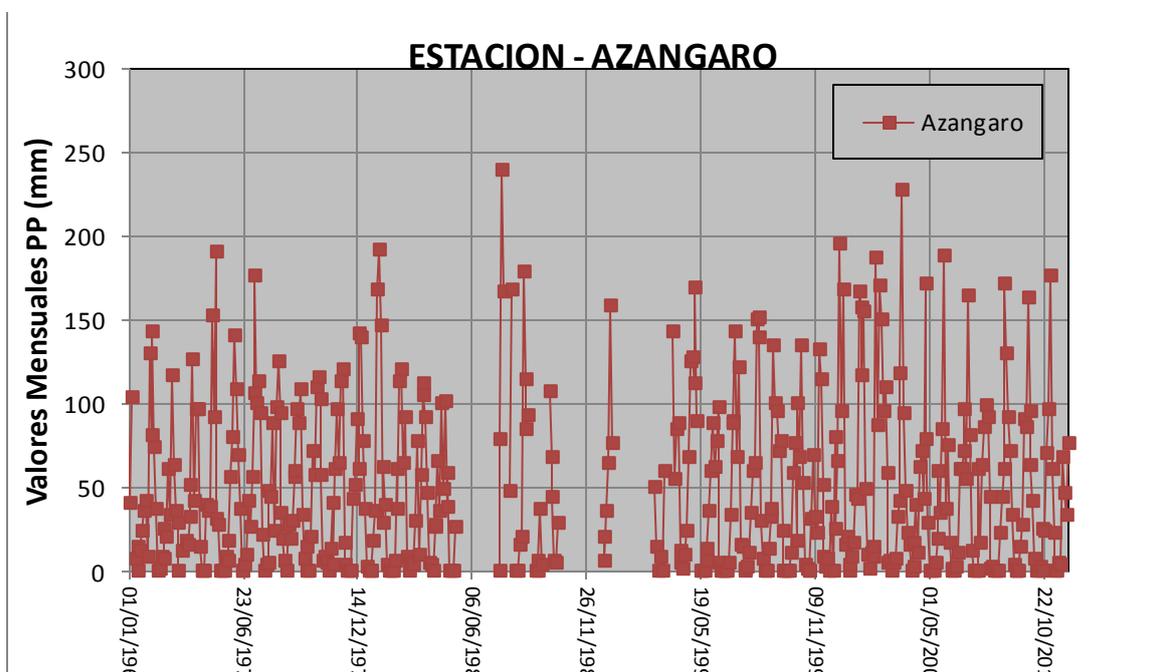


Figura 7. Histograma de Precipitación Total Mensual (mm.) – Estación Azángaro

- En la estación Progreso se obtuvo el punto más alto de precipitación es de 234.00 mm., es el 16 de enero de 2004.

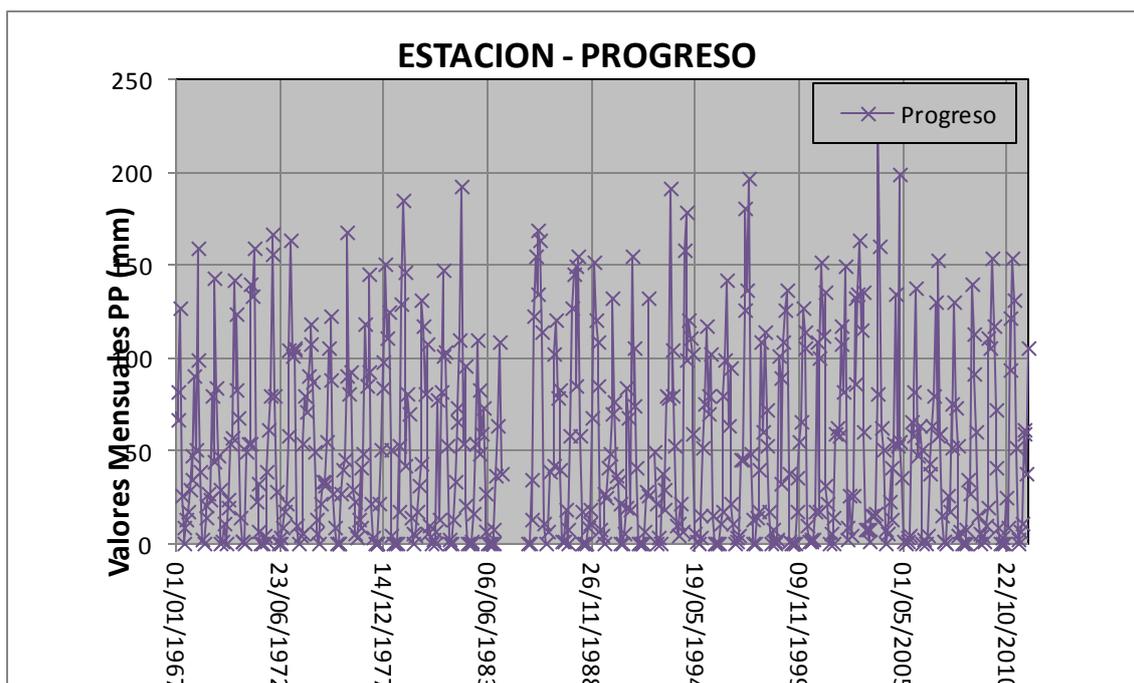


Figura 8. . Histograma de Precipitación Total Mensual (mm.) – Estación Progreso

- En la estación Putina se obtuvo el punto más alto de precipitación es 291.60 mm., es el 16 de enero de 1984.

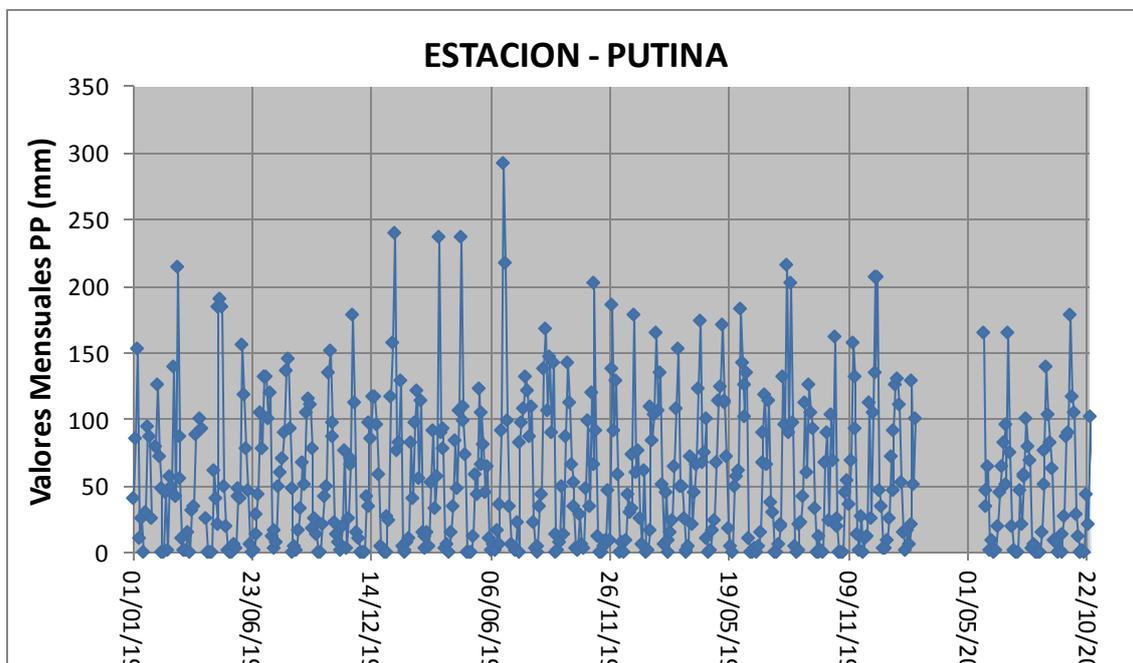


Figura 9. Histograma de Precipitación Total Mensual (mm.) – Estación Azángaro

- En la estación Chuquibambilla se obtuvo el punto más alto de precipitación es de 295.20 mm., es el 16 de enero de 1978.

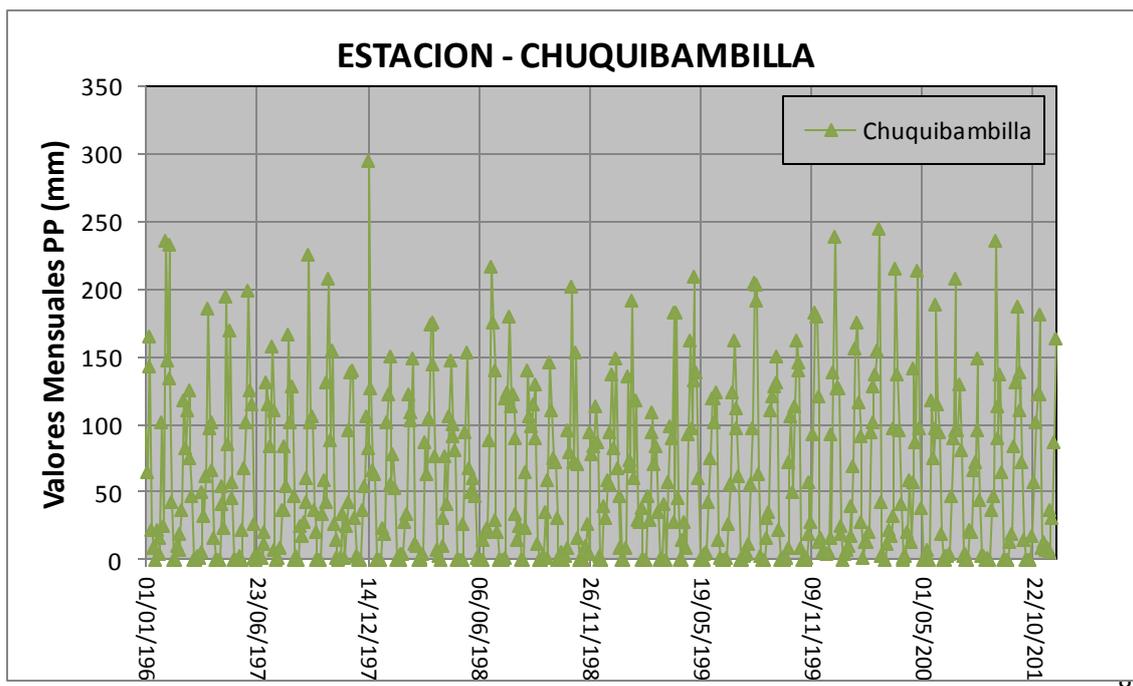


Figura 10. Histograma de Precipitación Total Mensual (mm.) – Chuquibambilla

- En la estación Progreso se obtuvo el punto más alto de precipitación es de 236.39 mm., es el 16 de febrero de 1972.

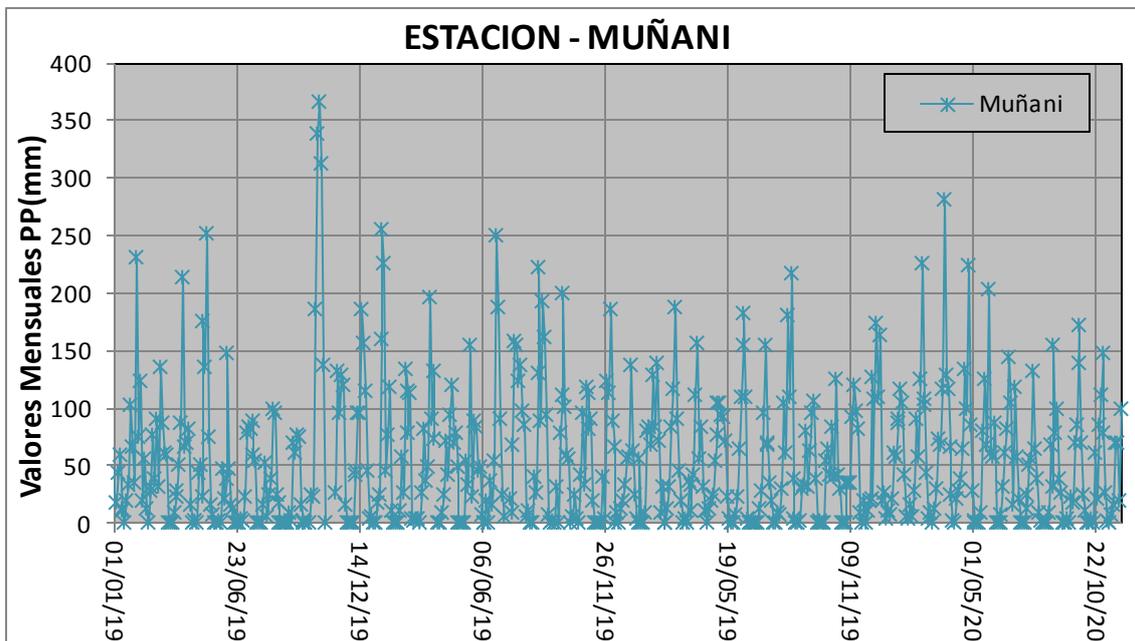
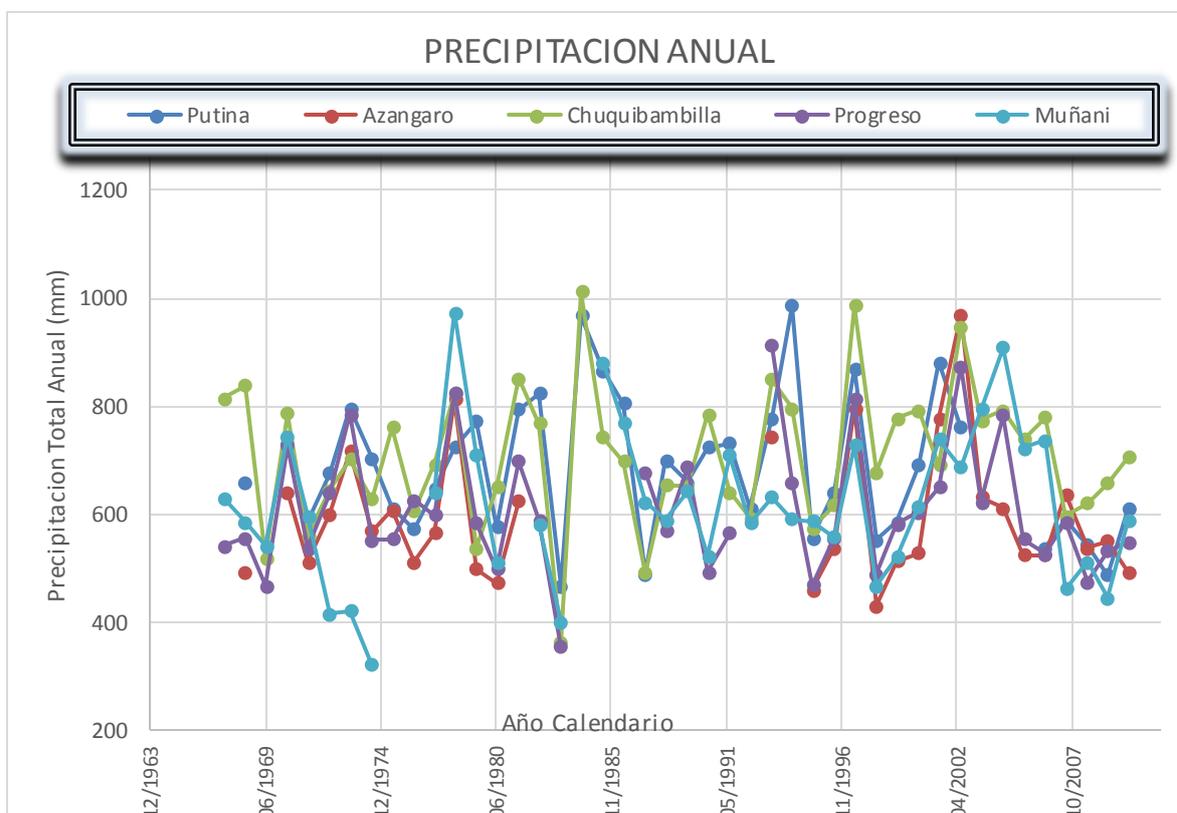


Figura 11. . Histograma de Precipitación Total Mensual (mm.) – Estación Muñani



Las estaciones utilizadas para el análisis de precipitaciones en la subcuenca San José, nos indican que en la estación de Chuquibambilla es la que presenta mayor consistencia y la estación de Azángaro presenta más inconsistencia en los registros históricos.

4.2.1.2. Análisis Estadístico de Saltos y Tendencias

El análisis estadístico de presencia de "Saltos y Tendencias" de la información pluviométrica a escala mensual, se realiza mediante los métodos estadísticos "T" de Student para la comprobación de variaciones en la media, y "F" de Fischer en la evaluación de variancias.

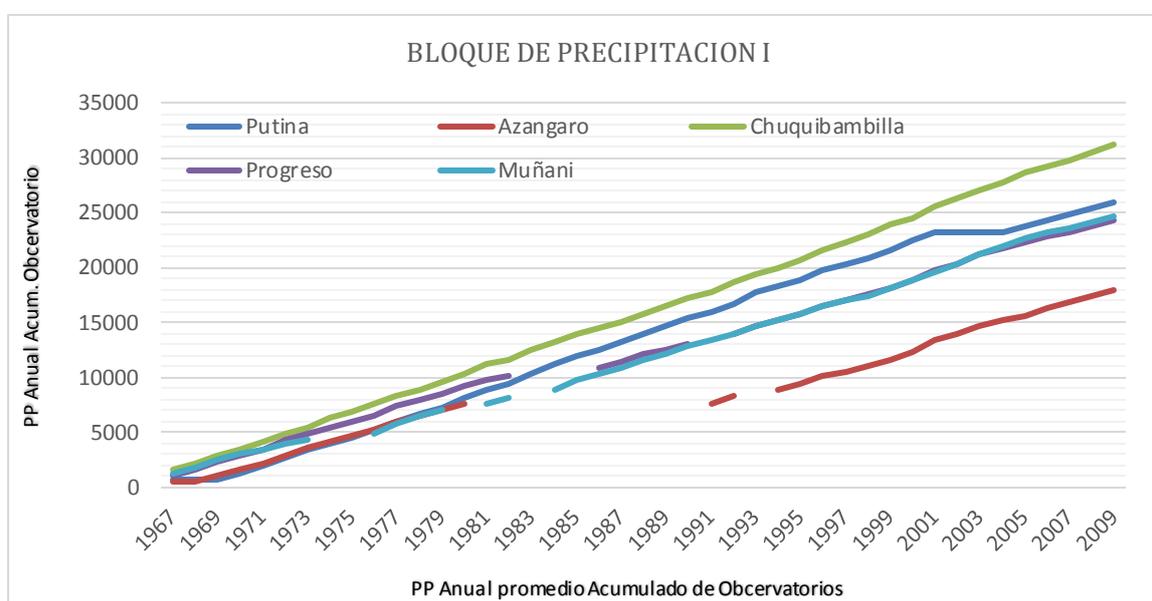


Figura 12. Curva de Doble Masa Histórico - Pluviométricos

En cada uno de las trazas correspondiente a las estaciones de aforo se verifica la traza respectiva, observándose que existen saltos aparentes. Una vez identificado los posibles periodos dudosos se evalúa la igualdad estadística entre dos periodos de la misma muestra mediante un análisis estadístico.

Luego de haber concluido con el análisis estadístico de saltos y tendencias en cada una de las series de descargas medias mensuales, se puede concluir lo siguiente con respecto a la consistencia y homogeneidad:

En las estaciones de Azángaro, Muñani y Progreso en el registro histórico se presentan aparentes saltos, los cuales estadísticamente presentan desigualdad, por consiguiente, cada una de estas series han sido corregidas en el primer periodo. Al final las series quedan consistentes y homogéneas.

Para alcanzar los objetivos de este análisis se ha utilizado rutinas de análisis estadístico, cuyos algoritmos previamente han sido codificados en Visual Basic e insertados en una hoja de cálculo electrónica denominado Hydraccess.

4.2.1.3. Completación y extensión de valores ausentes

En cada uno de los Bloques de precipitación, la mayor parte de la información histórica de precipitación registrada en los observatorios excepto el observatorio de referencia del Bloque, presentan períodos incompletos, por lo que se realizó el proceso de uniformización de longitud de información en escala mensual al período base (1967 – 2010).

Para realizar la completación y extensión de valores ausentes, se utilizó los modelos de regresión múltiple mediante una correlación espacial y, para ello se hizo uso del software: completación y extensión de datos para series hidrológicas estacionales basado en la regresión múltiple, Hydraccess.

En todos los bloques de precipitación la extensión y completación de los valores ausentes de las series incompletas se ha realizado en base a la serie completa del observatorio de referencia.

Precipitación

La precipitación se analiza a nivel de la cuenca productora de los recursos hídricos en los que se dispone de pluviómetros, como las estaciones de Putina, Azángaro, Chuquibambilla, Progreso y Muñani, en un rango de análisis de 44 años (1967 – 2011), su precipitación media ponderada multianual es de 643.36mm que es utilizado para el

cálculo de la oferta de agua.

Tabla 13. Precipitación total mensual – promedio multianual (1967 - 2010) – completada y consistente observatorios de la cuenca del río San José y cuencas vecinas

N°	ESTACION	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	TOTAL
1	PUTINA	10.2	26.5	49.5	67.8	94.6	150.7	94.2	94.2	46.0	8.6	11.2	4.9	658.5
2	AZANGARO	9.4	21.5	41.9	69.6	88.3	120.2	94.8	83.6	41.1	6.7	3.0	2.6	582.7
3	CHUQUIBAMBILLA	7.3	17.8	45.2	65.2	112.2	150.4	121.7	120.3	50.1	7.9	7.7	2.2	708.1
4	PROGRESO	6.5	20.8	45.4	64.8	92.8	133.3	97.2	96.9	43.4	6.7	2.5	3.2	613.4
5	MUÑANI	6.0	26.2	44.4	58.7	102.2	144.4	121.6	90.2	43.9	5.4	7.7	3.2	654.1

- **Régimen de la precipitación estacional**

El conjunto de estaciones de la región muestra gran estacionalidad en la precipitación, ya que, en promedio el 69 por ciento se produce de diciembre a marzo, y el 78 por ciento de noviembre a marzo. Los valores de las estaciones oscilan entre 94.6mm y 94.2mm para el primer periodo (Dic-Mar), y entre 67.8mm y 94.2mm para el segundo periodo (Nov-Mar).

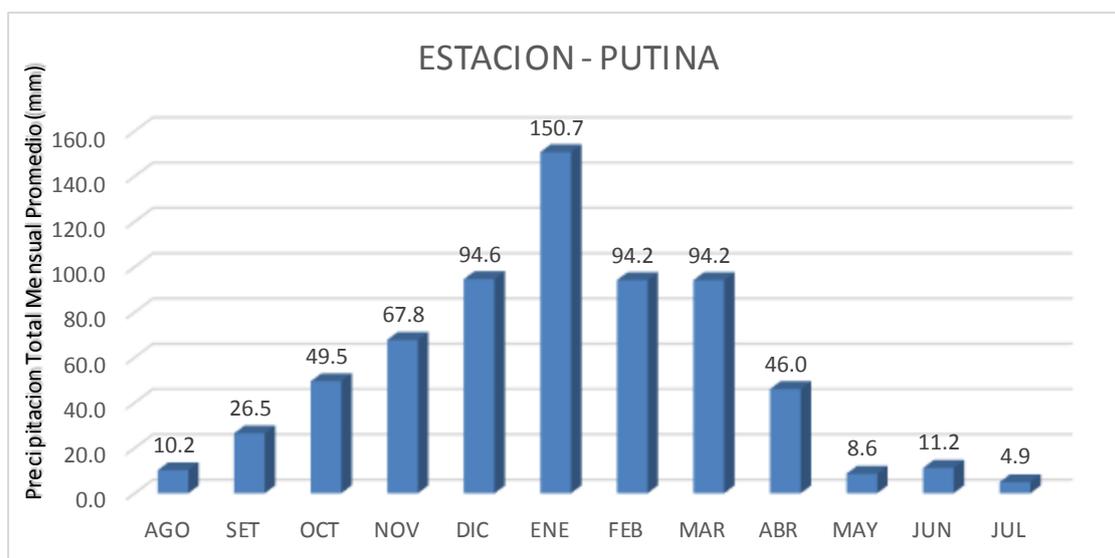


Figura 13. Precipitación mensual (mm.) – completada y extendida de las estaciones de la cuenca del río San José

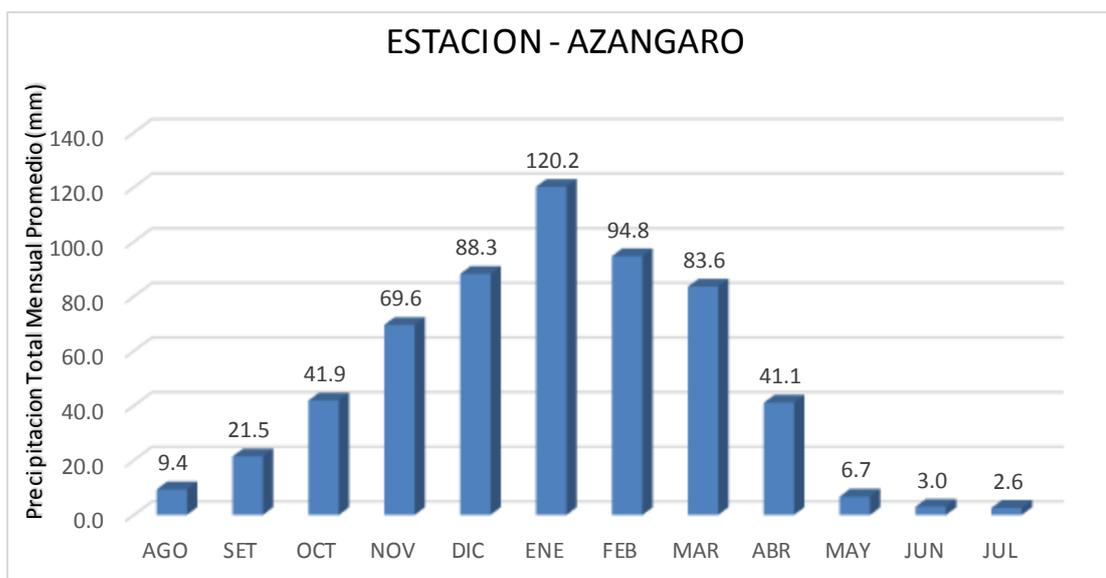


Figura 14. Precipitación mensual (mm.) – completada y extendida de las estaciones de la cuenca del río San José



Figura 15. Precipitación mensual (mm.) – completada y extendida de las estaciones de la cuenca del río San José

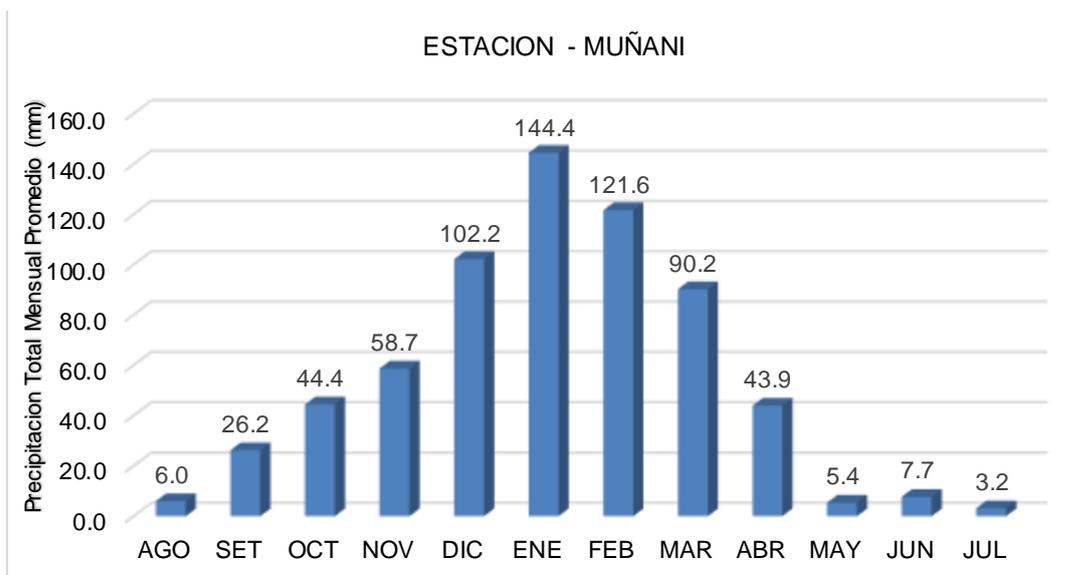


Figura 16. Precipitación mensual (mm.) – completada y extendida de las estaciones de la cuenca del río San José

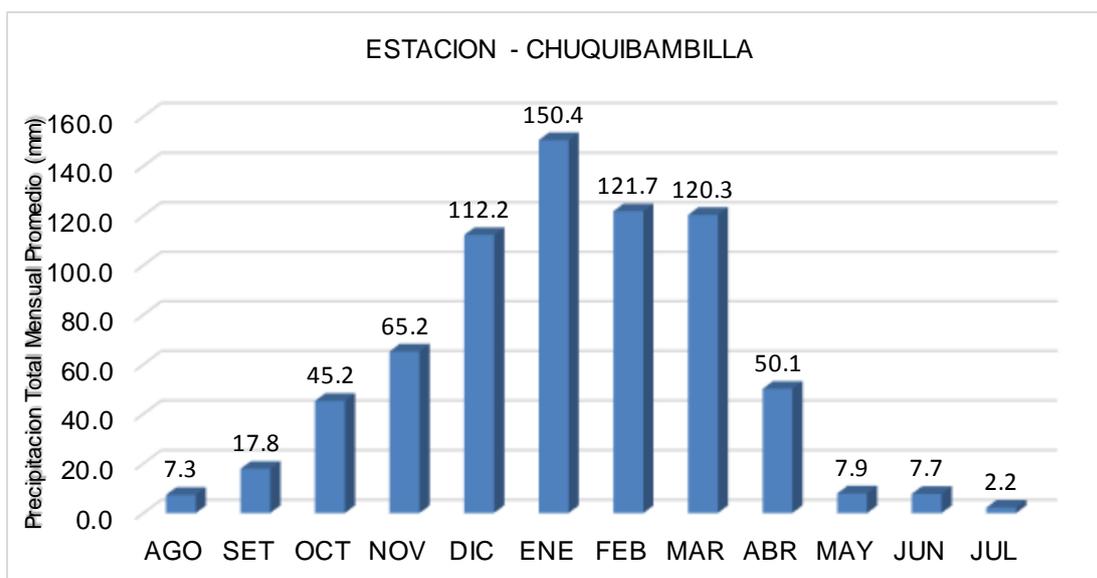


Figura 17. Precipitación mensual (mm.) – completada y extendida de las estaciones de la cuenca del río San José

En el análisis de la precipitación total anual se ha utilizado los promedios multianuales de las precipitaciones totales en el periodo 1967 – 2010.

El valor con mayor precipitación se encuentra en las estaciones de Putina y Chuquibambilla con una precipitación mensual promedio de 658.5mm y 708.1mm respectivamente para el primer periodo (Dic-Mar).

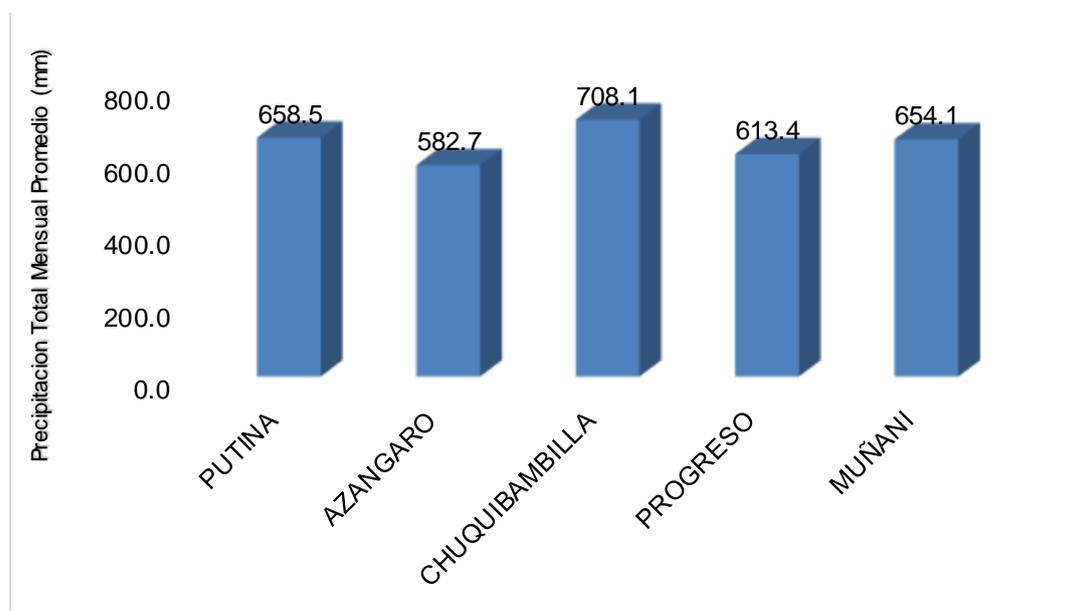


Figura 18. Precipitación total anual – promedio multianual (1967-2010) estaciones de la cuenca del río San José y cuencas vecinas

4.2.2. HUMEDAD RELATIVA MEDIA MENSUAL

De acuerdo a las cinco estaciones que se tomaron en cuenta, se aprecia la variación estacional de la humedad relativa, registrándose en la estación de Chuquibambilla el valor más alto 67.9% en el mes de enero.

Tabla 14. Humedad relativa promedio mensual (%) – promedio multianual observatorios de la cuenca del río San José y cuencas vecinas

N°	Observatorio	Altitud	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
1	Azángaro	3863	65.5	68.4	67	62.6	56.1	51	48.7	49.5	53.2	54.2	57.5	62.4	58.0
2	Chuquibambilla	3971	66.7	67.9	67.2	61.9	55.8	52.7	50.3	49.0	51.4	52.7	55.1	60.3	57.6
3	Muñani	3948	65.1	64	63.7	58.4	47.9	43.4	43.6	43.4	46.9	50.2	53.2	58.4	53.2
4	Progreso	3970	67.3	67.5	66.1	62.1	56.9	53.4	51.8	52.1	54.1	57.6	57.6	62.3	59.1
5	Putina	3878	65.3	66.2	65.6	60.3	52.8	48.6	47.5	48	50.3	51.6	53.9	59.3	55.8

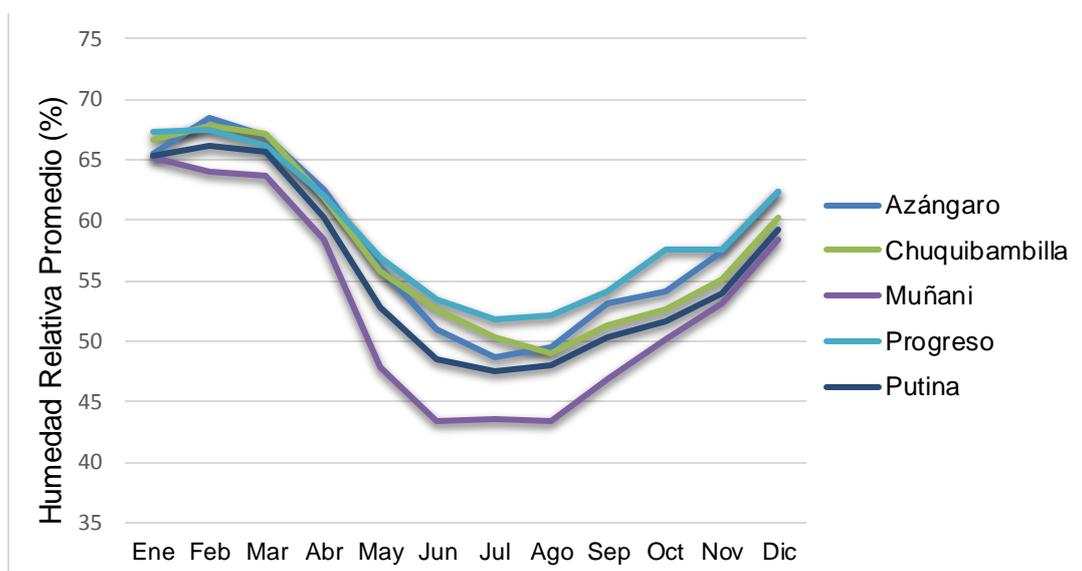


Figura 19. Humedad relativa promedio mensual (%) – promedio multianual observatorios de la cuenca del río San José y cuencas vecinas

4.2.3. TEMPERATURA PROMEDIO MENSUAL

Las características de temperatura de la Cuenca San José se encuentran; Azángaro (8.2°C) y Chiquibambilla (6.7°C), Muñani (7.9°C), Progreso (8.6°C) lugares que están en la parte intermedia y baja de la cuenca, lo que demuestra la gran capacidad de almacenamiento de energía.

La variación de la temperatura media tiene una dirección Nor-Este según como se observa la traza de isotermas de la cuenca.

Tabla 15. Temperatura Media Mensual (°C) – Promedio Multianual Observatorios de la Cuenca del río San Jose y Cuencas Vecinas

Nº	Observatorio	Altitud	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
1	Azángaro	3863	9.71	9.89	9.47	8.80	6.78	5.43	5.35	6.35	8.08	9.46	9.61	9.64	8.2
2	Chuquibambilla	3971	8.94	8.93	8.78	7.80	4.86	3.07	2.53	4.19	6.16	7.95	8.39	8.85	6.7
3	Muñani	3948	8.41	8.64	8.26	8.12	7.30	6.25	6.08	7.04	8.10	8.81	9.09	9.21	7.9
4	Progreso	3970	9.71	9.60	9.40	9.22	7.55	6.39	6.05	7.19	8.68	9.70	10.18	10.00	8.6

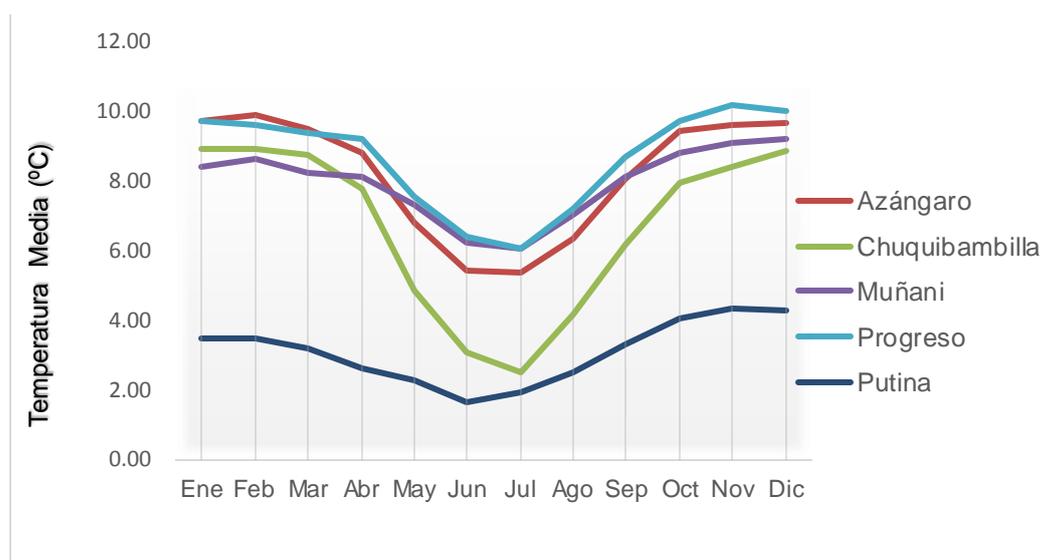


Figura 20. Distribución de la temperatura media mensual (°C) – promedio multianual observatorios de la cuenca del río San José y cuencas vecinas

• **Régimen de Temperaturas en la Región**

En todos los observatorios de la región (cuenca del río San José y observatorios de apoyo), el régimen de temperaturas medias, máximas y mínimas varía uniformemente durante todo el año. Por consiguiente, la variación térmica de la cuenca debido a la poca diferencia de altitud entre la cota más alta y las más baja tiene similares condiciones en cualquier punto localizado dentro de la cuenca. Se presenta la distribución de temperaturas media, máxima y mínima para todas las estaciones de la región.

Tabla 16. Temperaturas medias, máxima promedio y mínima promedio mensual (°C) – promedio multianual observatorios de la cuenca del río San José y cuencas vecinas

Observatorio	Z(msnm)		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
Azángaro	3,863	Tmed	9.71	9.89	9.47	8.80	6.78	5.43	5.35	6.35	8.08	9.46	9.61	9.64	8.2
		Tmax	15.6	15.4	15.5	15.9	15.7	15.4	15.6	16.1	16.6	17.4	17.1	16.4	16.1
		Tmin	5	5	4.2	2.4	-1.5	-4.4	-4.6	-2.9	0.4	2.6	3.2	4.5	1.2
Chuquibambilla	3,971	Tmed	8.94	8.93	8.78	7.80	4.86	3.07	2.53	4.19	6.16	7.95	8.39	8.85	6.7
		Tmax	16	16	16.1	16.3	16	15.4	15.5	16.5	17.1	17.9	18	17	16.5
		Tmin	2.4	2.5	2	-0.6	-5.5	-9	-9.9	-8	-4	-1.8	-0.4	1.2	-2.6
Muñani	3,948	Tmed	8.41	8.64	8.26	8.12	7.30	6.25	6.08	7.04	8.10	8.81	9.09	9.21	7.9
		Tmax	15.2	15.4	15.6	16.2	16.3	15.8	15.8	16.6	16.9	17.1	16.8	16.2	16.2
		Tmin	3.5	3.5	3	1.7	-1	-2.9	-3.2	-1.7	0.2	1.5	2.3	3.1	0.8
Progreso	3,970	Tmed	9.71	9.60	9.40	9.22	7.55	6.39	6.05	7.19	8.68	9.70	10.18	10.00	8.6
		Tmax	15	15.1	15.2	15.6	15.4	15	14.9	15.8	16.4	17	16.8	15.8	15.7
		Tmin	4.2	4.1	3.8	2.5	-0.2	-1.9	-2.5	-1	1.1	2.7	3.3	3.9	1.7

Fuente: Elaboración propia

4.2.4. EVAPORACIÓN TOTAL MENSUAL

Los registros disponibles de evaporación provienen de observaciones de Tanque evaporímetro Tipo A.

Se ha realizado el análisis de la evaporación total mensual registrada en cinco observatorios meteorológicos. Debido a la escasa información de este parámetro para otros observatorios, se ha estimado los valores mediante un análisis de regresión múltiple de los valores promedio mensuales en base a la información disponible.

Tabla 17. Evaporación total promedio mensual (mm.) – promedio multianual observatorios de la cuenca del río San José

Nº	Observatorio	Altitud	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
1	Chuquibambilla	3971	137	130	140	131	132.3	127.9	140	152.7	163	176	165.2	153	145.8
2	Progreso	3970	148	135	148	144	151.8	145.3	154	163.7	172	172	169.1	158	155.1
3	Azángaro	3863	143	130	140	130	130.6	122.6	136	150.3	165	176	173.5	158	146.3
4	Muñani	3948	141	128	137	129	129.9	122.5	135	149.0	162	174	170.7	156	144.4
5	Putina	3878	143	130	139	130	130.5	122.6	136	150.1	164	176	173	158	145.9

FUENTE: Elaboración propia, en base a datos de las estaciones de propiedad del PELT.

Los valores más altos de la evaporación mensual se producen en los meses de octubre y noviembre en las estaciones de Azángaro y Putina. Se observa que la evaporación promedio multianual más alta se ubica en la estación de Progreso ya que los datos son relativamente homogéneos durante todo el año, y la evaporación promedio más baja se encuentra en la estación Muñani.

4.2.5. HORAS Y DECIMAS DE SOL TOTAL MENSUAL

Para la cuenca del río San José, solamente se encontró la estación meteorológica de Chuquibambilla y Putina se registra este parámetro. Con fines de calcular las demandas hídricas y utilizar las ecuaciones para estimar la evapotranspiración adecuadamente se ha utilizado la información registrada en otros observatorios ubicados fuera del entorno de la cuenca del río San José.

En la Tabla 18 se presenta la variación estacional de este parámetro registrado en los observatorios de la región. Y en la Figura 23 se presenta en forma gráfica.

La distribución de las horas de sol varía de mes a mes, acentuándose los valores más altos durante los meses de mayo hasta noviembre, centrado en los meses de mayo hasta julio

que registra los valores más altos.

Tabla 18. Horas de Sol Promedio Mensual (hr) – Promedio Multianual Observatorios existentes en la Región

N°	Observatorio	Altitud	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
1	Chuquibambilla	3971	5.2	5.6	5.9	7	8.8	8.8	9	9.1	8.2	7.5	7	6	7.4
2	Azángaro	3863	5.7	6.5	6.3	7.3	9.3	9.3	9	9.0	8.6	8.1	8.3	7	7.9

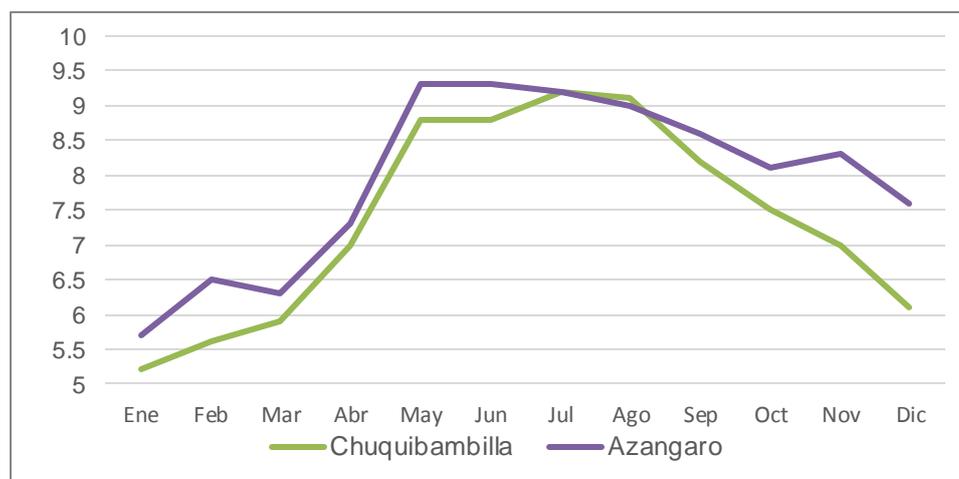


Figura 21. Horas de Sol Promedio Mensual (hr) – Promedio Multianual Observatorios existentes en la Región Velocidad del viento promedio mensual

4.2.6. VELOCIDAD DEL VIENTO PROMEDIO MENSUAL

En las estaciones meteorológicas de la cuenca, la información histórica de este parámetro es muy escasa. Solamente se registra en los observatorios de Azángaro y Chuquibambilla.

La información disponible corresponde al periodo (1964 – 2002), en forma dispersa.

En la Tabla 19 se presenta la variación estacional de este parámetro registrado en los dos observatorios mencionados. Y en la Figura 24 se presenta en forma gráfica.

La distribución de los vientos varía de mes a mes, acentuándose los valores más altos durante los meses de mayo hasta diciembre, centrado en el mes de septiembre que registra el valor más alto.

Tabla 19. Velocidad de Viento Promedio Mensual (m/s) – Promedio Multianual Observatorios existentes en la Cuenca del río San José

N.º	Observatorio	Altitud	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
1	Azángaro	3863	189	183.1	176.5	174.4	170.3	191	207	223.4	228.3	224	218.5	212	199.7
2	Chuquibambilla	3971	182	170.4	166.3	155.3	153.4	163	174	182.3	212.2	195	187.4	183	177.1

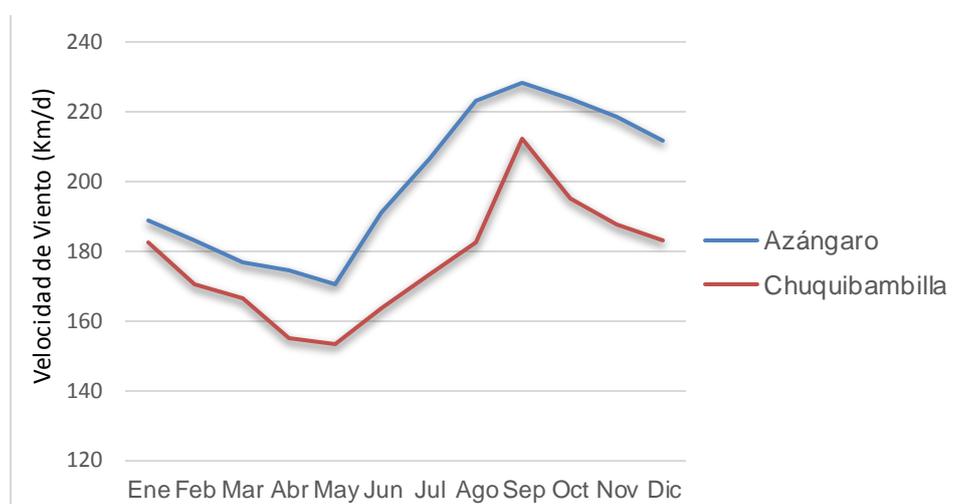


Figura 22. Velocidad de viento promedio mensual (m/s) – promedio multianual observatorios existentes en la cuenca del río San José

4.2.7. GENERACIÓN DE CAUDALES

4.2.7.1. Relación lluvia - escurrimiento

Las relaciones lluvia-escurrimiento usualmente se establecen en dos etapas: la determinación del volumen de escurrimiento que resulta de un volumen de lluvia producido durante un período de tiempo dado, y la distribución del volumen de escurrimiento en función del tiempo. La primera etapa es necesaria debido a la división de la lluvia en evapotranspiración, infiltración y escurrimiento. La segunda se requiere

para tomar en cuenta el tiempo de recorrido y la atenuación de la onda de escurrimiento que se genera por la lluvia.

4.2.7.2. Modelo determinístico – estocástico Lutz Scholz

Este modelo matemático es combinado porque tiene una parte determinística y otra estocástica. La parte determinística describe los procesos físicos que se producen en la cuenca y que pueden ser determinados, correspondiendo a esta parte la generación de caudales mensuales durante el año promedio. La parte estocástica considera una influencia aleatoria, que en el presente caso es en la generación de series hidrológicas para periodos extendidos.

El elemento constitutivo del modelo es el cálculo en base a la precipitación mensual teniendo en cuenta las características de la cuenca. En base a los datos disponibles se ha establecido y calibrado modelos parciales para las influencias de mayor importancia al escurrimiento y la retención de la cuenca. El modelo comprende dos etapas:

Primero se establece el balance hídrico, para determinar la influencia de los parámetros meteorológicos de la cuenca durante el año promedio.

Posteriormente se determina los caudales para el periodo extendido, mediante un proceso Markoviano (de regresión triple) teniendo en cuenta la precipitación efectiva como variable de impulso para determinar los parámetros estadísticos de la distribución empírica tales como el promedio, la desviación estándar y sesgo.

a. Información básica

Registro de precipitaciones mensuales sobre la cuenca (precipitación areal). Es la correspondiente a la determinada en cada uno de los polígonos de Thiessen enmarcados dentro del área de drenaje de la estación de aforo, siendo la precipitación media anual del área de drenaje $P = 623.64 \text{ mm/año}$.

Precipitación efectiva. Calculada mediante la utilización de las curvas PEI y PEII del método USBR. La precipitación efectiva total anual resultante es de $PE = 96 \text{ mm/año}$.

Registro de caudales medios mensuales. Se utiliza los caudales completados y extendidos de la estación de la cuenca San José, determinados para el año promedio, cuyo valor medio anual es de $13.3 \text{ m}^3/\text{s}$.

b. Generación de caudales mensuales durante el año hidrológico

Se lleva a cabo mediante el cálculo del balance hídrico de la cuenca:

$$Cm = P - D + G - A \dots \dots \dots \text{Ecuacion 26}$$

Donde:

Cm = Caudal medio mensual (mm/mes)

P = Precipitación total mensual

D = Déficit de escurrimiento

G = Gaste de la retención

A = Alimentación de la retención

El término (P-D) se reemplaza por la precipitación efectiva PE, que indica la parte de la precipitación que causa escurrimiento, entonces:

$$CM = PE + G - A \dots \dots \dots \text{Ecuacion 27}$$

Esta operación permite tener en cuenta una relación variable entre el escurrimiento y la precipitación que representa a la naturaleza de manera más adecuada que un coeficiente de escurrimiento fijo durante todo el año.

c. Precipitación Efectiva

Asumiendo que los caudales promedio observados pertenecen a un estado de equilibrio entre el gasto y abastecimiento de la retención de la cuenca, se calcula la precipitación

efectiva para el coeficiente de escurrimiento promedio de manera que la relación entre precipitación efectiva y total sea igual a dicho coeficiente.

Su cálculo está en base al método del USBR en su forma polinomial.

d. Gasto y Abastecimiento de la Retención

Durante la estación seca el gasto de la retención alimenta los ríos y mantiene la descarga básica, la cual se puede representar mediante un proceso de agotamiento según la fórmula:

$$DMt = e - at \times C \times Mo \dots \dots \dots \text{Ecuacion 28}$$

Donde:

CMt	= Caudal del mes t
CMo	= Caudal inicial
a	= Coeficiente de agotamiento
t	=Tiempo

Los caudales del periodo seco se calculan sumando la lámina de escurrimiento del proceso de agotamiento y la precipitación efectiva del mes respectivo.

$$CMt = PEt + Gt \dots \dots \dots \text{Ecuacion 29}$$

La retención de la cuenca que se agota al final de la estación seca es alimentada por las lluvias y descargas de la estación lluviosa que sigue.

Los caudales del periodo lluvioso son calculados restando de la precipitación efectiva una parte que entra en la retención de la cuenca:

$$CMt = PEt + At \dots \dots \dots \text{Ecuacion 30}$$

La retención depende de la extensión de los almacenes hídricos de la cuenca. Se puede distinguir como los de mayor importancia. Acuíferos, lagunas, pantanos y nevados. Cada uno tiene una lámina específica de retención, variando para esta región entre 200 y 500 mm/año.

e. Generación de Caudales Mensuales para Periodos Extendidos

El modelo consiste en una combinación de un proceso Markoviano de primer orden con una variable de impulso. El elemento constitutivo del modelo Markoviano es la autorregresión del evento en el tiempo con el mismo evento en el tiempo $t-1$.

La variable de impulso para descargas es la precipitación efectiva. Para aumentar el rango de los valores y obtener una aproximación adecuada a la realidad, se considera además una variable aleatoria. La ecuación integral:

$$CM_t = B_1 + B_2 \times CM_{t-1} + B_3 \times PE_t + zS(1 - r^2)^{1/2} \dots \dots \dots \text{Ecuacion 31}$$

Donde:

CM_t	=	Caudal del mes t
CM_{t-1}	=	Caudal del mes anterior
PE_t	=	Precipitación efectiva
B_1	=	Factor constante
B_2	=	Factor de influencia del valor CM_{t-1}
B_3	=	Factor de influencia del valor PE_t
r	=	Coefficiente de regresión
S	=	Desviación de residuos
z	=	Variable aleatoria con distribución normal, con media cero y desviación tipo unitaria.

Los valores B_1 , B_2 , y B_3 se obtiene por un proceso de regresión triple mediante los caudales y precipitaciones efectivas durante el año promedio. Para iniciar el proceso de simulación, la elección del valor inicial se puede hacer siguiendo los siguientes criterios:

- Empezar el cálculo en el mes para el cual se dispone de un aforo
- Con el caudal promedio de cualquier mes.

Tabla 20. Generación de Caudales para el Año Promedio (m³/s) Cuenca del río San José

MES	PRECIPITACION MENSUAL			CONTRIBUCION DE LA RETENCION			ESCORRENTIA		CAUDALES MENSUALES		ESCORRENTIA DE AFOROS mm/mes			
	TOTAL P mm/mes	EFECTIVA		GASTO	ABASTECIMIENTO		GENERADOS mm/mes	GENERADOS m ³ /seg	AFORADOS m ³ /seg					
		PE-I mm/mes	PE-II mm/mes		PE mm/mes	Gi mm/mes				Ai mm/mes		Ai mm/mes		
Días	Acum	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
AGO	31	185	7.8	0.0	0.9	3.2	0.002	0.3	0.00	-0.37	3.90	1.4	1.4	3.7
SET	30	215	22.5	0.0	2.3	8.8	0.001	0.1	0.05	5.03	3.88	1.5	1.5	3.9
OCT	31	246	44.7	0.8	5.0	20.5	0.000	0.0	0.13	14.77	5.78	2.1	2.1	5.7
NOV	30		65.5	2.4	9.5	37.9	0.000	0.0	0.22	24.10	13.78	5.2	5.2	13.7
DIC	31		94.7	7.3	21.3	66.5	0.000	0.0	0.30	33.28	33.20	12.2	12.1	33.1
ENE	31		134.8	22.9	49.8	117.6	0.000	0.0	0.23	24.67	92.89	34.1	34.1	92.7
FEB	28		102.2	9.3	25.6	76.6	0.000	0.0	-0.29	-31.22	107.81	43.9	43.9	107.8
MAR	31	31	93.0	6.9	20.5	63.2	0.338	71.6	0.37	40.76	94.09	34.6	34.7	94.4
ABR	30	61	43.6	0.8	4.8	19.4	0.118	25.1	0.00	0.49	44.01	16.7	16.7	44.1
MAY	31	92	6.8	0.0	0.8	2.9	0.040	8.5	0.00	-0.23	11.64	4.3	4.2	11.5
JUN	31	123	5.0	0.0	0.6	2.0	0.014	2.9	0.00	0.13	4.76	1.7	2.0	5.4
JUL	31	154	3.2	0.0	0.4	1.3	0.005	1.0	-0.02	-1.90	4.20	1.5	1.5	4.0
AÑO			623.6	50.5	141.5	419.9	0.516	109.5	1.00	109.5	419.9	13.3	13.3	420.1

FUENTE: Elaboración Propia

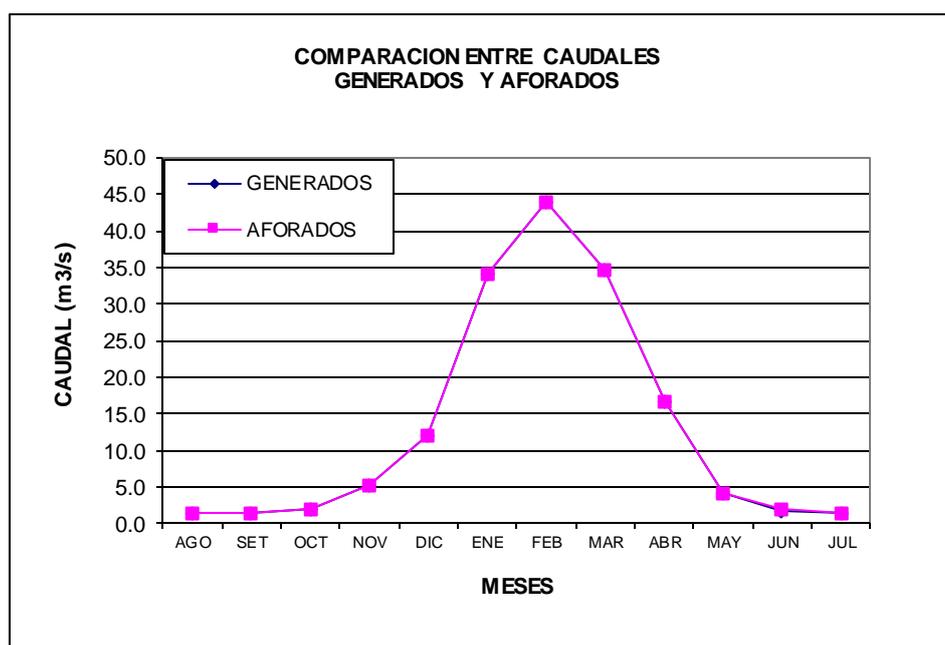


Figura 23. Calibración del Modelo Hidrológico – Cuenca del río Azángaro (m^3/s)

4.3. OFERTA HÍDRICA DE CABECERA DE RIEGO EN LA CUENCA DEL RIO SAN JOSÉ

En la cuenca del río San José, la oferta hídrica superficial está representada por numerosos cauces de escorrentía natural, ubicados en forma dispersa dentro de la cuenca. Actualmente no existen sistemas regulados dentro de la cuenca.

Mayormente en los cauces de los ríos de orden 5 se localizan las captaciones de agua superficial para el regadío de áreas de cultivo. Estas captaciones se ubican en forma sucesiva, uno tras otro.

En los cauces de menor orden, debido al poco caudal de escurrimiento normalmente se encuentra una sola captación de agua. Se ha identificado todos los cauces naturales de escorrentía donde existen captaciones de agua y en función a la ubicación de los puntos de captación se ha definido el área de drenaje del cauce natural, el cual representa la oferta

hídrica para el respectivo cauce natural.

Utilizando los algoritmos calibrados del modelo hidrológico correspondiente al río san José se ha generado caudales medios mensuales en la cabecera de riego de todos los puntos de demanda hídrica existente y de acuerdo a su ubicación geográfica con respecto a la cuenca del río san José.

La serie de caudales medios mensuales generados corresponde al periodo 1964 – 2010 y en base a esta información hidrométrica sintética se ha elaborado para cada uno de ellos los módulos de caudal correspondiente al caudal medio, caudal del 50%, 75% y 95% de persistencia. Asimismo, se ha elaborado los módulos de volumen, en las mismas magnitudes de los módulos de caudal. Debido a la gran cantidad de áreas de oferta hídrica existente, en el presente informe solamente se presenta los módulos de caudal en forma tabular y gráfica.

Utilizando el algoritmo del modelo hidrológico precipitación – escorrentía que ha sido calibrado en la estación de aforo del Puente san José, se ha generado caudales medios mensuales en los puntos identificados y definidos que están localizados dentro de la superficie de la cuenca del río san José. Dentro de esta cuenca existen 5 puntos como cabecera de riego que representa igual número de áreas de drenaje que representan áreas de oferta. A continuación, se presenta los módulos de caudal para cada una de las 5 áreas de oferta hídrica.

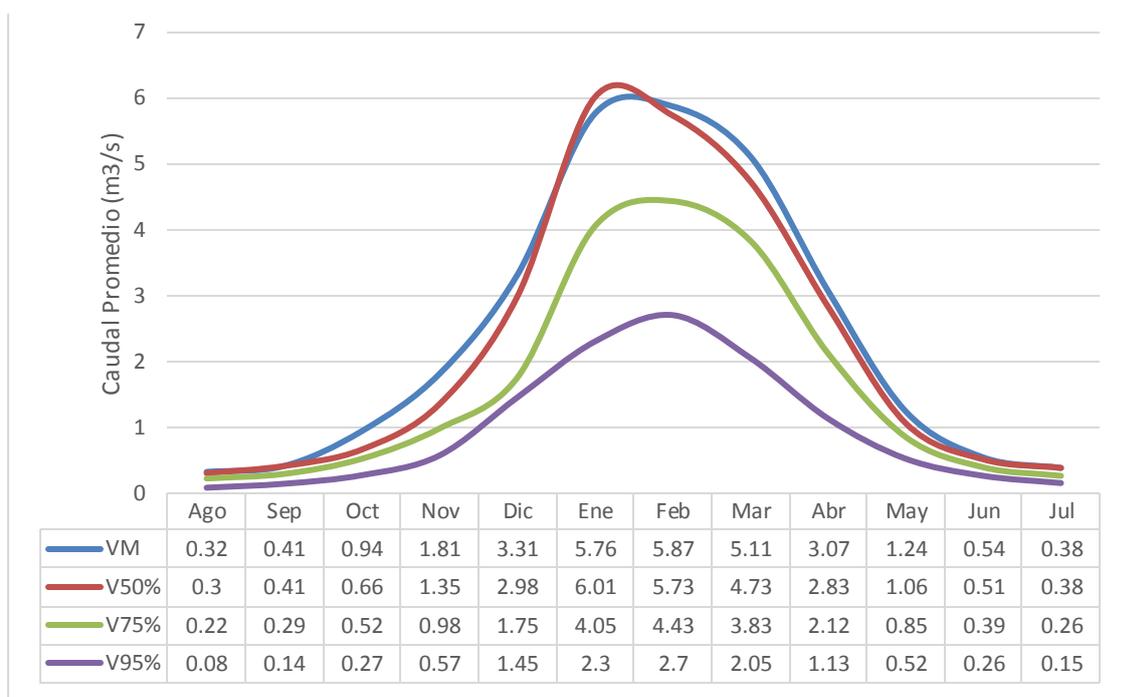
A cada una de las áreas de drenaje se le ha reconocido con el mismo nombre de la primera captación de la escorrentía correspondiente al cauce natural de la oferta hídrica.

a. Disponibilidad Hídrica en Atuyo Chupa

Tabla 21. Módulos de Volumen (MMC)
Disponibilidad de la oferta hídrica – Atuyo Chupa (A=115.51 Km²)

Modulo	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Total
VM	0.32	0.41	0.94	1.81	3.31	5.76	5.87	5.11	3.07	1.24	0.54	0.38	28.76
V50%	0.3	0.41	0.66	1.35	2.98	6.01	5.73	4.73	2.83	1.06	0.51	0.38	26.95
V75%	0.22	0.29	0.52	0.98	1.75	4.05	4.43	3.83	2.12	0.85	0.39	0.26	19.69
V95%	0.08	0.14	0.27	0.57	1.45	2.3	2.7	2.05	1.13	0.52	0.26	0.15	11.62

FUENTE: Elaboración propia



FUENTE: Elaboración propia

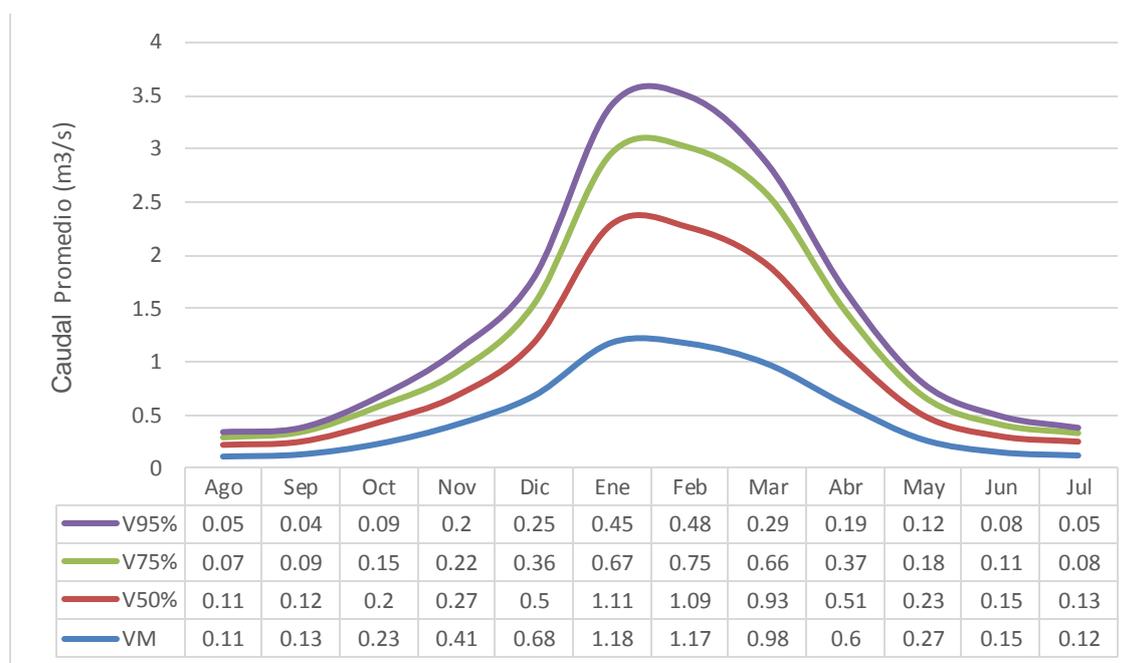
Figura 24. Módulos de Caudal (m³/s.)
Disponibilidad de la oferta hídrica – Atuyo Chupa (A=115.51 Km²)

b. Disponibilidad hídrica en Chictani Marcapata

Tabla 22. Módulos de volumen (MMC)
Disponibilidad de la oferta hídrica – Chictani Marcapata (A = 41.78 Km²)

Modulo	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Total
VM	0.11	0.13	0.23	0.41	0.68	1.18	1.17	0.98	0.6	0.27	0.15	0.12	6.04
V50%	0.11	0.12	0.2	0.27	0.5	1.11	1.09	0.93	0.51	0.23	0.15	0.13	5.35
V75%	0.07	0.09	0.15	0.22	0.36	0.67	0.75	0.66	0.37	0.18	0.11	0.08	3.71
V95%	0.05	0.04	0.09	0.2	0.25	0.45	0.48	0.29	0.19	0.12	0.08	0.05	2.28

FUENTE: Elaboración propia



FUENTE: Elaboración propia

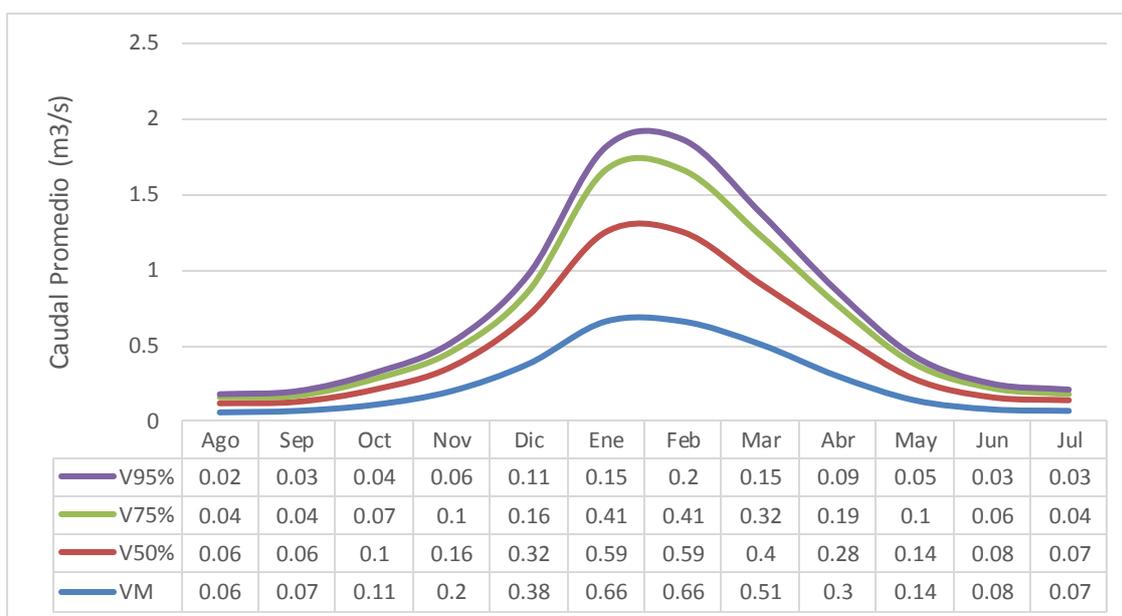
Figura 25 Módulos de caudal (m³/s.)
Disponibilidad de la oferta hídrica – Chictani Marcapata (A = 41.78 Km²)

c. Disponibilidad hídrica en irrigación Surpana

Tabla 23. Módulos de volumen (MMC)
Disponibilidad de la oferta hídrica – irrigación Surpana (A = 22.22 Km²)

Modulo	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Total
VM	0.06	0.07	0.11	0.2	0.38	0.66	0.66	0.51	0.3	0.14	0.08	0.07	3.23
V50%	0.06	0.06	0.1	0.16	0.32	0.59	0.59	0.4	0.28	0.14	0.08	0.07	2.87
V75%	0.04	0.04	0.07	0.1	0.16	0.41	0.41	0.32	0.19	0.1	0.06	0.04	1.93
V95%	0.02	0.03	0.04	0.06	0.11	0.15	0.2	0.15	0.09	0.05	0.03	0.03	0.95

FUENTE: Elaboración propia



FUENTE: Elaboración Propia

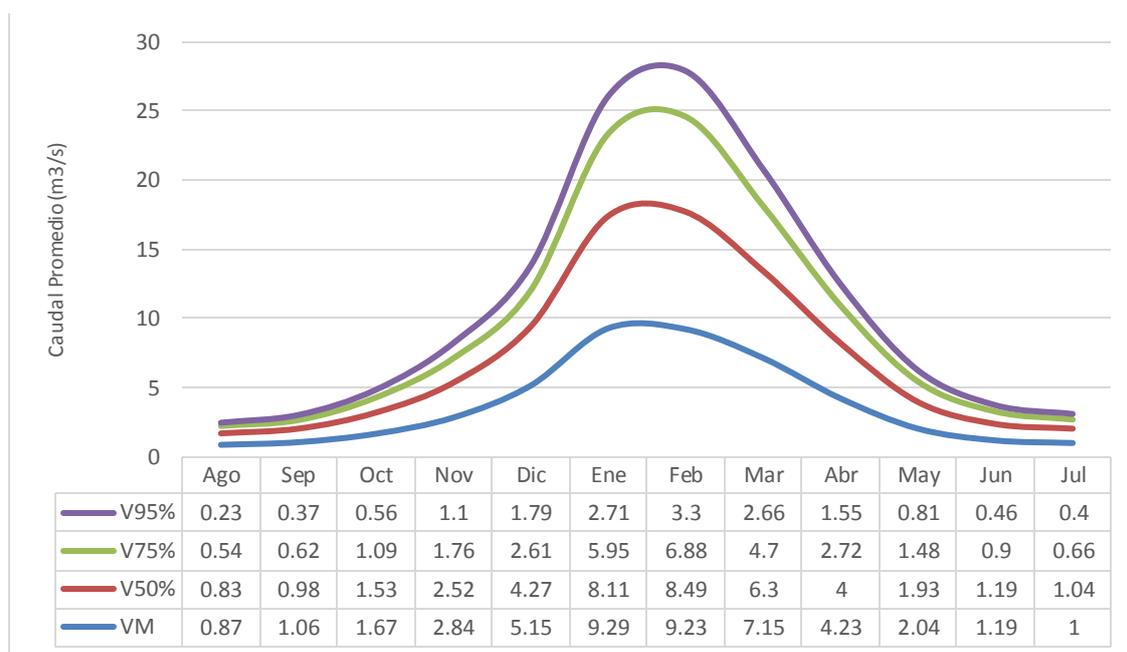
Figura 25. Módulos de caudal (m3/s.)
Disponibilidad de la oferta hídrica – irrigación Surpana (A = 22.22 Km²)

d. Disponibilidad Hídrica en Pucachupa Anajquia

Tabla 24. Módulos de volumen (MMC)
Disponibilidad de la oferta hídrica – Pucachupa Anajquia (A = 333.44 Km²)

Modulo	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Total
VM	0.87	1.06	1.67	2.84	5.15	9.29	9.23	7.15	4.23	2.04	1.19	1	45.72
V50%	0.83	0.98	1.53	2.52	4.27	8.11	8.49	6.3	4	1.93	1.19	1.04	41.19
V75%	0.54	0.62	1.09	1.76	2.61	5.95	6.88	4.7	2.72	1.48	0.9	0.66	29.9
V95%	0.23	0.37	0.56	1.1	1.79	2.71	3.3	2.66	1.55	0.81	0.46	0.4	15.93

FUENTE: Elaboración Propia



FUENTE: Elaboración Propia

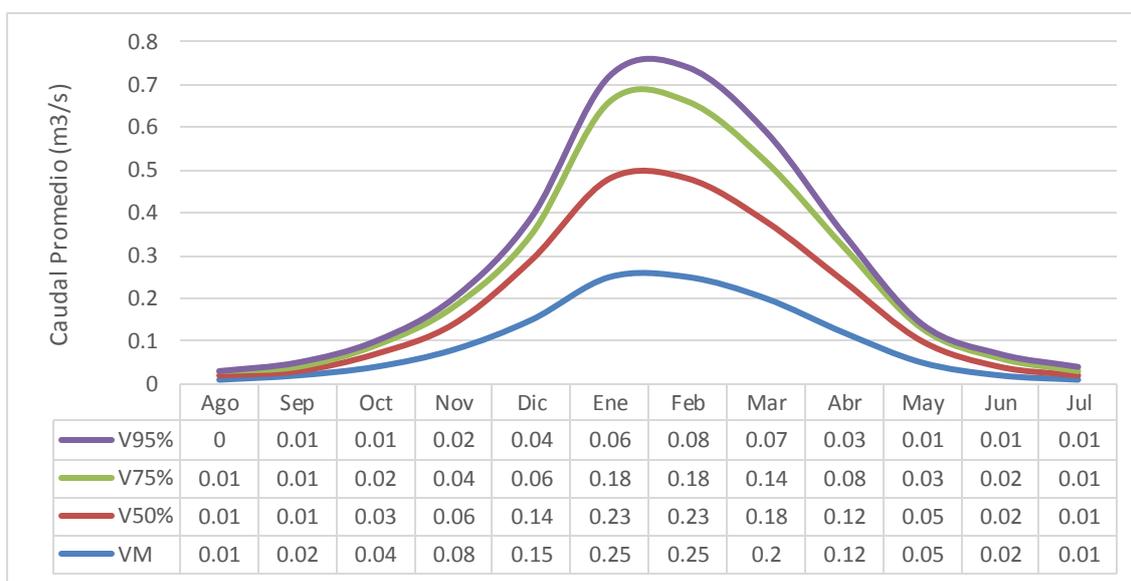
Figura 26. Módulos de caudal Disponibilidad de la Oferta Hídrica – Pucachupa Anajquia (A=333.44 Km²)

e. Disponibilidad Hídrica en San Francisco

Tabla 25. Módulos de Volumen (MMC)
Disponibilidad de la Oferta Hídrica – Pucachupa Anajquia (A=3.73 Km²)

Modulo	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Total
VM	0.01	0.02	0.04	0.08	0.15	0.25	0.25	0.2	0.12	0.05	0.02	0.01	1.2
V50%	0.01	0.01	0.03	0.06	0.14	0.23	0.23	0.18	0.12	0.05	0.02	0.01	1.1
V75%	0.01	0.01	0.02	0.04	0.06	0.18	0.18	0.14	0.08	0.03	0.02	0.01	0.76
V95%	0	0.01	0.01	0.02	0.04	0.06	0.08	0.07	0.03	0.01	0.01	0.01	0.34

FUENTE: Elaboración Propia



FUENTE: Elaboración Propia

Figura 27. Módulos de caudal Disponibilidad de la Oferta Hídrica – San Francisco

(A=3.73 Km²)

4.4. DEMANDA PARA USO AGRÍCOLA CON FINES DE RIEGO Y LA DEMANDA ECOLÓGICA NATURAL DENTRO DE LA SUB CUENCA

4.4.1. RESULTADO DE LA DEMANDA PARA USO AGRÍCOLA CON FINES DE RIEGO

a. Área de riego

Para ello primeramente se ha planteado una cedula de cultivos que se ajuste racionalmente a las características climáticas de las zonas de regadío. Luego, determinaron las necesidades mensuales y anuales de cada uno de dichos cultivos y finalmente se ha calculado la demanda total mensual y anual para cada una de las áreas de riego.

En la cuenca del río San José, según el padrón de uso de agua con fines agrarios 2007, documento proporcionado por la ATDR Ramis existe en total 11 áreas de riego.

El presente capítulo solamente se ocupa de la cuantificación de las demandas hídricas correspondiente a los bloques de riego que utilizan agua superficial.

Tabla 26. Áreas de riego (Ha.) – bloques de riego cuenca del río San José

Sector de riego	Comisión de regantes	Comité de regantes / Bloque de riego	Código	Área potencial total	N° de usuarios	N° de predios	Área bajo riego promedio actual PCR 2006-2007
SAN JOSÉ	Independientes	Irrigacion Surpana	162	80	46	46	29.38
		Villa Concepción Ccarccapunco	163	120	33	33	4.13
	Pucachupa Anajquia	Pucachupa Anajquia	164	200	63	63	11.28
	San José	Ajunuyo	165	20	18	18	1.63
		Atuyo Chupa	166	10	2	2	0.5
		Atuyo Grande	167	15	5	5	0.63
		Chictani Marcapata	168	100	16	16	0
		Occechupa	169	120	69	69	0
		Pachapujio Grupo Organizado Los Incas	170	5	7	7	1.88
		Rosario Huancarani	171	100	71	71	22.73
	San Francisco	172	70	22	22	10.13	
TOTAL				840	352	352	82.29

• **Demanda hídrica: Cabecera de riego San Francisco**

La demanda para uso agrícola con fines de riego en la sub cuenca San José, correspondiente a la cabecera de riego San Francisco, es de 0.664 Millones de metros cúbicos anuales (MMC), tal como se muestra en el siguiente cuadro:

Tabla 27. Demanda agrícola de irrigación San Francisco

Concepto	Unidad	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Total
Demanda para uso agrícola	MMC	0.001	0.007	0.106	0.132	0.122	0.067	0.076	0.071	0.079	0.001	0.001	0.001	0.664

FUENTE: Elaboración Propia

- **Demanda hídrica: Cabecera de riego irrigación Surpana**

La demanda para uso agrícola con fines de riego en la sub cuenca San José, correspondiente a la cabecera de riego Surpana, es de 1.94 millones de metros cúbicos anuales (MMC), tal como se muestra en el siguiente cuadro:

Tabla 28. Demanda agrícola de irrigación Surpana

Concepto	Unidad	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Total
Demanda de uso agrícola	MMC	0.04	0.04	0.07	0.1	0.16	0.41	0.41	0.32	0.19	0.1	0.06	0.04	1.94

FUENTE: Elaboración propia

- **Demanda Hídrica: Cabecera de riego Pucachupa Anajquia**

La demanda para uso agrícola con fines de riego en la sub cuenca San José, correspondiente a la cabecera de riego Pucachupa Anajquia, es de 3.32 Millones de Metros Cúbicos anuales (MMC), tal como se muestra en el siguiente cuadro:

Tabla 29. Demanda agrícola de irrigación Pucachupa Anajquia

Concepto	Und	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Total
Demanda de uso agrícola	MMC	0.007	0.033	0.531	0.658	0.61	0.335	0.379	0.354	0.396	0.006	0.005	0.006	3.32

FUENTE: Elaboración Propia

- **Demanda Hídrica: Cabecera de riego Atuyo Chupa**

La demanda para uso agrícola con fines de riego en la sub cuenca San José, correspondiente a la cabecera de riego Atuyo Chupa, es de 1.991 Millones de Metros Cúbicos anuales (MMC), tal como se muestra en el siguiente cuadro:

Tabla 30. Demanda agrícola de irrigación Atuyo Chupa

Concepto	Unidad	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Total
Demanda para uso agrícola	MMC	0.004	0.02	0.318	0.395	0.366	0.201	0.227	0.212	0.238	0.003	0.003	0.004	1.991

FUENTE: Elaboración Propia

- **Demanda Hídrica: Cabecera de riego Chictani Marcapata**

La demanda para uso agrícola con fines de riego en la sub cuenca San José, correspondiente a la cabecera de riego Atuyo Chupa, es de 1.659 Millones de Metros Cúbicos anuales (MMC), tal como se muestra en el siguiente cuadro:

Tabla 31. Demanda agrícola de irrigación Chictani Marcapata

Concepto	Unidad	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Total
Demanda Poblacional	MM	0.00	0.01	0.26	0.32	0.30	0.16	0.18	0.17	0.19	0.00	0.00	0.00	1.65

FUENTE: Elaboración Propia

b. Uso Actual de la tierra y Cedula de Cultivo

En la mayor parte de los bloques de riego de la cuenca del río San José, las tierras agrícolas son trabajadas en parcelas familiares muy fraccionadas y cuya producción agrícola generalmente es de usufructo familiar. Las tierras de pastos (en su mayor extensión), en los casos de las comunidades, son de usufructo común, empleándose para el pastoreo de ganado que es de propiedad familiar.

En la actualidad según el Plan de Cultivo de Riego (PCR) de los últimos años, la cédula de cultivo está compuesto en la mayor parte por pasturas las cuales llegan a cubrir entre el 75 a 90% de las áreas bajo riego. La cédula de cultivo de implementación de irrigaciones también mantiene la misma proporción de cultivos. Para el cálculo de las demandas hídricas del presente estudio se ha tomado las cédulas de cultivo planteadas en el “Estudio Integral de los Recursos Hídricos de la Cuenca del río Ramis” realizado por el INRENA en el año 2003. Las cédulas de cultivo expuestas están básicamente orientadas a las actividades pecuarias, que es la base de la economía de las comunidades existentes en la cuenca.

De acuerdo a estudios del T.D.P.S., las experiencias realizadas en las zonas del altiplano, los pastos cultivados propuestos a introducirse tienen buena resistencia ante los fenómenos climáticos adversos, pero, aun así, se prevé su complementación con pastos naturales mejorados para casos extremos de eventos climáticos, con el fin de disponer de alimentación para el ganado, aun en estos casos de emergencia.

Tabla 32. Cedula de Cultivo Subcuenca San José

CULTIVO	AREA (%)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Alfalfa	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8
Arveja Grano Seco	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1				0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Avena Grano	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4						5.4	5.4	5.4
Avena Forrajera	21.1	21.1	21.1	21.1	21.1						21.1	21.1	21.1
Cañihua	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1						6.1	6.1	6.1
Cebada Forrajera	4	4	4	4	4						4	4	4
Cebada Grano	16.9	16.9	16.9	16.9	16.9						16.9	16.9	16.9
Cebolla	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1						0.1	0.1	0.1
Haba Grano Seco	1	1	1	1	1					1	1	1	1
Mashua o Izaño	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7						0.7	0.7	0.7
Oca	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1					1.1	1.1	1.1	1.1
Olluco	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7						0.7	0.7	0.7
Otros Pastos	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2
Papa	19.3	19.3	19.3	19.3	19.3						19.3	19.3	19.3
Quinoa	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5					14.5	14.5	14.5	14.5
Trigo	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1						0.1	0.1	0.1
% Área Mensual	100	100	100	100	100	9.0	9.0	9.0	9.1	26	100	100	100

FUENTE: INRENA 2008

En los esquemas de cedula de cultivo, la actividad agrícola de cultivos de consumo humano se limita solo a explotar las áreas necesarias con los cultivos tradicionales sin sobrepasar en mucho la superficie porcentual histórica utilizada para satisfacer los requerimientos de autoconsumo de las comunidades en forma prioritaria y accediendo al mercado local con los excedentes.

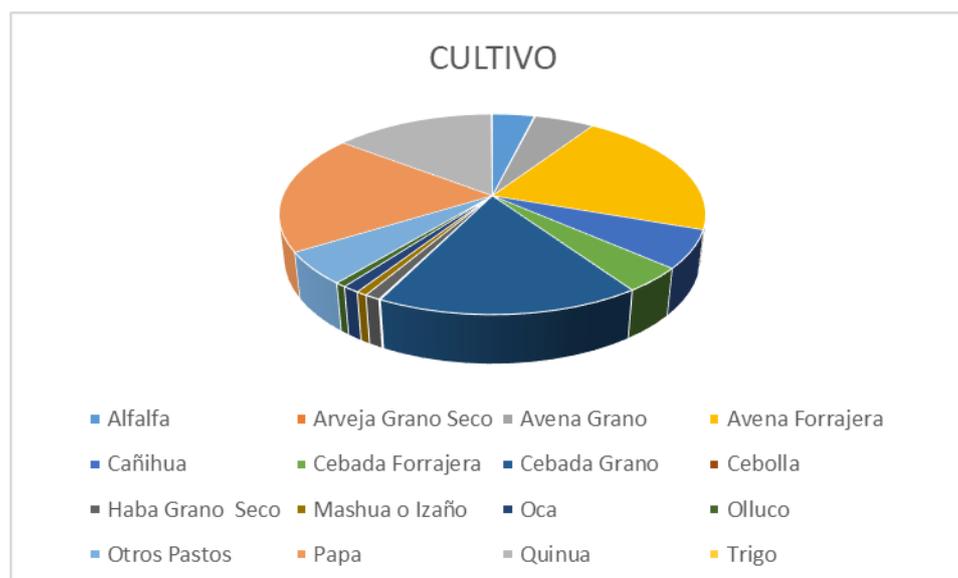


Figura 26. Cedula de Cultivo (% de area)

c. Requerimiento de Agua

Las demandas hídricas de la cuenca del río San José se refieren esencialmente a los requerimientos de agua de los cultivos, la demanda poblacional en proporción pequeña relativa al crecimiento demográfico y demandas para usos mineros. En el ámbito de la cuenca no existen industrias con uso intensivo de agua y la demanda poblacional actualmente emplea básicamente recursos de agua subterránea en volúmenes muy pequeños.

En el cálculo de los requerimientos de agua para riego se ha hecho un análisis detallado, en particular para la estimación de la evapotranspiración potencial. Se ha analizado este parámetro agronómico.

Para el área de cada cabecera se ha considerado la información climatológica registrada en el observatorio meteorológico más representativo, por motivos de que en la mayor parte de los observatorios meteorológicos existentes no se mide todos los parámetros climatológicos requeridos, se ha utilizado la información de otros observatorios cercanos.

- **Coefficientes de Cultivo**

Se ha utilizado los mismos valores de Kc considerados en el “*Estudio Integral de los Recursos Hídricos de la Cuenca del río Ramis*” realizado por el INRENA en el año 2003, los mismos que han sido verificados con los valores que se maneja por las instituciones agrarias de la cuenca del río san José

Se presenta los valores del Kc, para las cédulas de cultivo planteadas en la subcuenca san José.

Tabla 33. Coeficiente de Cultivo (Kc) Subcuenca San José

CULTIVO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Alfalfa	1.15	1.15	1.15	1.1	1	1	1	1	1	1	1	1.1
Arveja Grano Seco	0.94	0.88	0.75	0.47				0.6	0.68	0.82	0.9	1.01
Avena Grano	1.15	0.95	0.85	0.55						0.54	0.85	0.95
Avena Forrajera	1.15	0.98	0.61	0.4						0.54	0.85	1.15
Cañihua	1.09	1.02	0.96	0.76						0.57	0.77	0.89
Cebada Forrajera	1.15	0.95	0.86	0.56						0.57	0.86	0.96
Cebada Grano	1.05	1.05	1.04	0.88						0.6	0.98	1.05
Cebolla	1.05	1.05	1.04	0.88						0.6	0.98	1.05
Haba Grano Seco	0.86	0.96	0.92	0.69					0.54	0.8	0.91	0.86
Mashua o Izaño	1.09	1.15	1.04	0.92						0.54	0.62	0.87
Oca	1.15	1.15	1	0.77					0.54	0.69	1	1.15
Olluco	1.15	1.15	1.15	0.95						0.54	0.69	1
Otros Pastos	1	1	1	0.95	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.95
Papa	1.04	1.06	1.02	0.88						0.57	0.7	0.85
Quinua	0.89	0.86	0.67	0.36					0.54	0.8	0.91	0.93
Trigo	1.15	1.03	0.98	0.8						0.54	0.85	0.95
% Área Mensual	1.07	1.02	0.94	0.75	0.95	0.95	0.95	0.83	0.70	0.66	0.86	0.98

FUENTE: INRENA 2008

- **Evapotranspiración Real (Eto)**

Con los valores del coeficiente de cultivo (Kc) y la evapotranspiración potencial estimada, se efectuaron los cálculos de la evapotranspiración real para cada uno de los cultivos en las respectivas cedulas de cultivo correspondiente a cada bloque de riego.

- **Precipitación Efectiva**

Es la cantidad de agua del total de precipitación que aprovecha la planta para cubrir su necesidad parcial o total (se expresa en mm), y la otra parte se pierde por escorrentía, percolación profunda o evaporación. En este sentido al volumen de lluvia parcial utilizado por las plantas para satisfacer sus correspondientes necesidades hídricas para su normal desarrollo, se le ha definido como precipitación efectiva (Pe). Para el presente estudio se adoptó el método indirecto según la siguiente fórmula:

$$Pe = 0.8P - 25 \quad \text{Para } P > 75 \text{ mm}$$

$$Pe = 0.6P - 10 \quad \text{Para } P < 75 \text{ mm}$$

- **Eficiencia de Riego**

Según las referencias de estudios técnicos revisados se han utilizado diferentes valores de eficiencias de riego. El valor de 40% de eficiencia de riego para los sistemas de irrigación, es recomendado por el estudio del sistema T.D.P.S. realizado en el año 1993, estudio en el cual se ha realizado un amplio y minucioso análisis de suelos y geotecnia

En el presente estudio se ha utilizado una eficiencia de 40% para las áreas con infraestructura de sistema de riego, y un valor de 25% para las áreas de cultivo sin ningún tipo de infraestructura. Se presenta el valor de los factores de la eficiencia de riego total.

- **Frecuencia de Riego**

La frecuencia de riego esta dado por el periodo de aplicación del agua en el terreno entre uno y otro riego, variando de acuerdo al cultivo a regar y de la capacidad de absorción y estructura del suelo. Así mismo, existen otros factores determinantes y que se deben tomar en cuenta para proponer la frecuencia de riego, tales como el clima y la etapa de desarrollo

del cultivo. Por consiguiente, la finalidad primordial de la frecuencia de riego es dotar la humedad necesaria al suelo para que el cultivo desarrolle.

Puesto que la mayor parte de las irrigaciones de la cuenca del río San José son manejadas por gravedad la frecuencia de riego será mayor, ya que utilizan mayores cantidades de agua en relación con otro tipo de aplicación. Según referencias agronómicas de la ATDR Ramis, se indica que en las irrigaciones más desarrolladas dentro de la cuenca el tiempo de riego es de 24 hr/día por tratarse en su mayor parte de pastos, y los turnos en cada irrigación varía según el número de usuarios que tengan, por lo que la frecuencia puede ser corta o larga, lo que implica realizar mayores investigaciones al respecto, para el presente estudio se ha adoptado una frecuencia riego de 7 días.

- **Requerimiento de Agua Poblacional**

Los requerimientos de agua con fines de suministro poblacional en la cuenca del río San José no son muy significativos. La mayor parte de la población es de carácter rural, por consiguiente, el suministro de agua potable es de las fuentes subterráneas.

En el sector rural y las periferias de la ciudad la fuente abastecimiento de agua poblacional es el agua subterránea. Esta fuente es de preferencia por la población marginal por el fácil acceso y los costos de suministro son mínimos. El recurso hídrico captado es directamente consumido sin ningún tipo de tratamiento sanitario.

- **Requerimiento de Agua Industrial**

En la cuenca del río San José no existe industrias, solamente existe pequeñas empresas cuya actividad es la producción del queso. El requerimiento de agua para estos fines no es significativo. Asimismo, el agua utilizada para estas actividades es de fuentes subterráneas.

4.4.2. RESULTADO DE LA DEMANDA ECOLÓGICA

4.4.2.1. Evapotranspiración potencial

Para el cálculo general de la Evapotranspiración a nivel de la cuenca San José, se hizo uso del método de Hargreaves modificado.

$$ETP = 0.0023Ra \times (T + 17.8) \times (TD)^{0.5} \dots \dots \dots \text{Ecuacion 32}$$

Donde:

ETP = Evapotranspiración potencial.

Ra = Radiación extraterrestre, mm/ día. T = Temperatura promedio, °C.

TD = Temperatura máxima menos temperatura mínima, °C.

Esta ecuación sólo requiere datos de temperatura media, máxima y mínima, los cuales suelen estar generalmente disponibles. Además, esta fórmula ha probado ser precisa y confiable. Para la validación de resultados de las fórmulas anterior:

La bandeja o tanque de evaporación clase A es uno de los instrumentos que más se utilizan en todo el mundo. La relación entre la ETP y la evaporación de bandeja pueden ser expresadas como:

$$ETP = Kp \times PE \dots \dots \dots \text{Ecuacion 33}$$

Donde:

ETP = Evapotranspiración potencial, mm/día.

Kp = Coeficiente de bandeja.

PE = Evaporación de bandeja clase A.

La bandeja de evaporación integra los factores de clima y provee un buen estimado de la ETP si se le da buen servicio de mantenimiento y manejo. Los coeficientes de tanque de evaporación clase A dados por la FAO [1977], para diferentes condiciones alrededor del tanque, aparecen en la Tabla 34.

Tabla 34. Coeficiente para el Tanque de Evaporación clase A (Kp) bajo diferentes condiciones.

Bandeja Clase A		Condición A			Condición B*			
		Bandeja rodeada por grama			Bandeja rodeada por tierra seca y descubierta			
Promedio de HR, %		Baja	Media	Alta	Baj	Medí	Alta	
		40	40 -70	70	40	40-	70	
Viento**	Distancia de la grama verde, m.				Distancia del suelo seco, m.			
Km/día								
Suave 175	0	0.55	0.55	0.75	0	0.7	0.80	0.85
	10	0.65	0.75	0.85	10	0.6	0.70	0.80
	100	0.70	0.80	0.85	100	0.5	0.65	0.75
	1000	0.75	0.85	0.85	1000	0.5	0.60	0.70
Moderado 175- 425	0	0.50	0.60	0.65	0	0.6	0.75	0.80
	10	0.60	0.70	0.75	10	0.5	0.65*	0.70
	100	0.65	0.75	0.80	100	0.5	0.60	0.65
	1000	0.70	0.80	0.80	1000	0.4	0.55	0.60
Fuerte 425-700	0	0.45	0.50	0.60	0	0.6	0.65	0.70
	10	0.55	0.60	0.65	10	0.5	0.55	0.65
	100	0.60	0.65	0.70	100	0.4	0.45	0.60
	1000	0.65	0.70	0.75	1000	0.4	0.45	0.55
Muy fuerte 700	0	0.40	0.45	0.50	0	0.5	0.60	0.65
	10	0.45	0.55	0.60	10	0.4	0.50	0.55
	100	0.50	0.60	0.65	100	0.4	0.45	0.50
	1000	0.55	0.60	0.65	1000	0.3	0.40	0.45

* Para áreas extensivas de suelos descubiertos y no desarrollados en la fase agrícola, reduzca los valores de Kp en 20% bajo condiciones de viento caliente y en 5 a 10 % para condiciones moderadas de viento, temperatura y humedad.

** Movimiento de viento total en km/día. Fuente: FAO

Para el ámbito de la cuenca se ha fijado un observatorio meteorológico y en base a la información climatológica registrada en dicho observatorio se ha utilizado la fórmula de Método de Hargreaves modificado para calcular la evapotranspiración potencial a nivel mensual.

Tabla 35. Datos Climatológicos para el cálculo de la Evapotranspiración Potencial / Observatorio Azángaro

Mes	Tmax	Tmin	HR	Vel. Viento	Horas de Sol
	(°C)	(°C)	(%)	(km/d)	(Hr.)
Enero	15.6	5	65.5	188.8	5.7
Febrero	15.4	5	68.4	183.1	6.5
Marzo	15.5	4.2	67	176.5	6.3
Abril	15.9	2.4	62.6	174.4	7.3
Mayo	15.7	-1.5	56.1	170.3	9.3
Junio	15.4	-4.4	51	190.9	9.3
Julio	15.6	-4.6	48.7	206.5	9.2
Agosto	16.1	-2.9	49.5	223.4	9
Septiembre	16.6	0.4	53.2	228.3	8.6
Octubre	17.4	2.6	54.2	223.8	8.1
Noviembre	17.1	3.2	57.5	218.5	8.3
Diciembre	16.4	4.5	62.4	211.9	7.6

FUENTE: Elaboración Propia, en base a datos de las estaciones de propiedad del PELT.

Tabla 36. Evapotranspiración Potencial (mm/mes) –Cuenca del río San José

Sub cuenca	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Prom
Muñani	103.33	115.97	121.16	124.82	112.55	103.62	104.00	91.07	84.11	71.51	75.77	89.16	99.76
Progreso	105.44	119.72	125.93	128.42	113.88	102.57	105.47	93.97	84.03	71.17	75.40	89.36	101.28
Chuquibambilla	94.41	110.18	114.41	118.42	111.85	98.11	101.52	89.02	74.81	61.49	64.84	79.00	93.17
Azangaro	102.95	118.51	124.24	127.64	116.53	102.72	104.87	92.46	81.52	68.48	73.22	86.29	99.95
Putina	105.64	117.48	125.57	123.59	122.10	105.27	112.69	97.76	79.15	64.22	69.79	84.20	100.62

FUENTE: Elaboración Propia, en base a datos de las estaciones de propiedad del PELT.

Tabla 37. Evapotranspiración Potencial (mm/día) – estación Cuenca del río San José

Sub cuenca	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Prom
Muñani	3.44	3.74	4.04	4.03	3.63	3.70	3.35	3.04	2.71	2.38	2.44	2.88	3.28
Progreso	3.51	3.86	4.20	4.14	3.67	3.66	3.40	3.13	2.71	2.37	2.43	2.88	3.33
Chuquibambilla	3.15	3.55	3.81	3.82	3.61	3.50	3.27	2.97	2.41	2.05	2.09	2.55	3.07
Azangaro	3.43	3.82	4.14	4.12	3.76	3.67	3.38	3.08	2.63	2.28	2.36	2.78	3.29
Putina	3.52	3.79	4.19	3.99	3.94	3.76	3.64	3.26	2.55	2.14	2.25	2.72	3.31

FUENTE: Elaboración Propia, en base a datos de las estaciones de propiedad del PELT.

a. Demanda Ecológica: Cabecera de Riego San Francisco

La demanda ecológica en la sub cuenca San José, correspondiente a la cabecera de riego san Francisco, es de 0.03 Millones de Metros Cúbicos anuales (MMC), tal como se muestra en el siguiente cuadro:

Concepto	Und	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Total
Demanda Ecológica	MMC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03

FUENTE: ATDR Ramis 2008

b. Demanda Ecológica: Cabecera de Riego Surpana

La demanda ecológica en la sub cuenca San José, correspondiente a la cabecera de riego Surpana, es de 0.68 Millones de Metros Cúbicos anuales (MMC), tal como se muestra en el siguiente cuadro:

Concepto	Und	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Total
Demanda Ecológica	MMC	0.01	0.01	0.02	0.03	0.06	0.15	0.16	0.12	0.06	0.03	0.02	0.01	0.68

FUENTE: ATDR Ramis

c. Demanda Ecológica: Cabecera de Riego Pucachupa Anajquia

La demanda ecológica en la sub cuenca San José, correspondiente a la cabecera de riego Pucachupa Anajquia, es de 1.99 Millones de Metros Cúbicos anuales (MMC), tal como se muestra en el siguiente cuadro:

Concepto	Und	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Total
Demanda Ecológica	MMC	0.04	0.04	0.05	0.09	0.15	0.42	0.48	0.33	0.18	0.11	0.06	0.04	1.99

FUENTE: ATDR Ramis

d. Demanda Ecológica: Cabecera de Riego Atuyo Chupa

La demanda ecológica en la sub cuenca San José, correspondiente a la cabecera de riego Atuyo Chupa, es de 1.00 Millones de Metros Cúbicos anuales (MMC), tal como se muestra en el siguiente cuadro:

Concepto	Und	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Total
Demanda Ecológica	MMC	0.01	0.01	0.03	0.05	0.09	0.21	0.23	0.19	0.11	0.04	0.02	0.01	1.00

FUENTE: ATDR Ramis

e. Demanda Ecológica: Cabecera de Riego Chictani Marcapata

La demanda ecológica en la sub cuenca San José, correspondiente a la cabecera de riego Chictani Marcapata, es de 1.00 Millones de Metros Cúbicos anuales (MMC), tal como se muestra en el siguiente cuadro:

Concepto	Und	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Total
Demanda Ecológica	MMC	0.01	0.02	0.01	0.03	0.08	0.22	0.24	0.20	0.10	0.05	0.02	0.02	1.00

FUENTE: ATDR Ramis

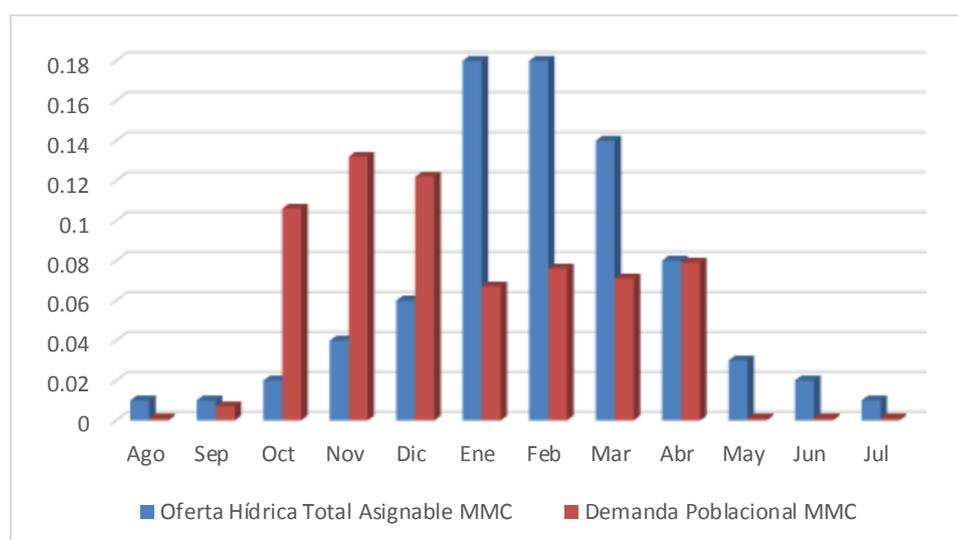
4.5. BALANCE HÍDRICO DE LA SUBCUENCA SAN JOSÉ

En la siguiente tabla se presenta la demanda y oferta hídrica de la Subcuenca del río San José y en las figuras siguientes se presenta el balance hídrico total a nivel de la cuenca del río San José, de los resultados obtenidos, se obtuvo sé que existe un déficit hídrico en los meses de octubre. Según el balance hídrico total de la cuenca la oferta hídrica anual es de 75.01 MMC y la demanda hídrica total es de 15.05 MMC correspondiente al área potencial de riego.

Balance Hídrico a nivel de la Cuenca del río San José (MMC)

VOLUMEN	UND	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	TOTAL
Oferta Total	MMC	1.09	1.33	2.34	4.03	6.61	15.20	16.95	13.34	7.49	3.47	1.86	1.30	75.01
Demanda Total	MMC	0.03	0.15	2.40	2.98	2.77	1.52	1.72	1.61	1.80	0.02	0.02	0.03	15.05
Superávit	MMC	1.06	1.18	0.06	1.05	3.84	13.68	15.23	11.74	5.69	3.45	1.84	1.27	60.09
	%	97.34	88.57	0.00	25.96	58.15	90.01	89.87	87.97	75.99	99.31	98.76	97.92	75.82
Déficit	MMC	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06
	%	0.00	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.50

FUENTE: Elaboración Propia



FUENTE: Elaboración Propia

Figura 27. Balance Hídrico

4.6. POTENCIALIDAD DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DISPONIBLES DE LA SUB CUENCA DEL RÍO SAN JOSÉ

De los resultados del balance hídrico desarrollado en el punto anterior, y considerando los resultados anuales, se tiene una disponibilidad del 60.09 MMC que representa un 75.82% de la oferta bruta anual.

En tal sentido, si es posible desarrollan un planteamiento de aprovechamiento las potencialidades del recurso hídrico excedente. Para ello se tomó en cuenta, lo vertido en la Ley 29338, Ley de Recursos Hídricos, establece que "los usos de las aguas son se encuentran condicionados a las disponibilidades del recurso y las necesidades reales del objeto al que se destinen y deberán ejercerse en función del interés social y el desarrollo del país" la misma Ley, establece las clases de usos de agua y el orden de prioridad, siendo este el siguiente:

- a. **Uso Primario:** De uso directo y efectivo para satisfacer necesidades humanas (preparación de alimentos, el consumo humano y aseo personal)
- b. **Uso poblacional:** Consiste en la captación de agua para satisfacer necesidades humanas a través de una red pública la cual debe ser previamente tratada en caso requiera (se ejerce mediante de derecho de uso otorgado por la Autoridad Nacional de Aguas - ANA).
- c. **Uso productivo:** Consiste en aquella que es de utilización en el proceso productivo o previo al mismo (se ejerce mediante de derecho de uso otorgado por la Autoridad Nacional de Aguas - ANA).
 - Agrario: pecuario y agrícola;
 - Acuícola y pesquero;
 - Energético;
 - Industrial;

- Medicinal;
- Minero;
- Recreativo;
- Turístico; y
- Transporte.

De acuerdo al balance hídrico obtenido en la sub cuenca del rio San José se planteó diferentes alternativas en proyectos que se pueda realizar un aprovechamiento adecuado de este recurso y generar mayor desarrollo económico y sociocultural.

Se ha planteado alternativas para el aprovechamiento del recurso hídrico, en la cual se han considerado el proyecto de Habilitación del Sistema de Irrigación de la Comunidad Pucachupa Anajquia, para el cual se seleccionó la cedula de cultivo considerando en la zona con un área de cultivo de 30 HAS, cubriéndose la demanda estimada de 30lt/seg esto considerando el caudal obtenido de 29.0 MMC que encontramos en el sector de Pucachupa Anajquia, para el cultivo de avena forrajera, alfalfa, quinua y cebada de grano., ya que en la zona de San José se dedican a la crianza de ganado vacuno y por ende a la producción de lácteos (queso, yogur).

Como otra alternativa para el aprovechamiento hídrico que encontramos en la subcuenca San José se planteo el proyecto de Implementación y construcción de acuicultura para las comunidades aledañas al rio Jacara, que cuenta con un caudal aforado de 0.49m³/seg., época de sequía, por lo que se tendría una gran alternativa para la crianza de truchas, por el caudal considerado y por la ubicación del rio se planteó instalar o construir 15 jaulas, ya que generaría una fuente de trabajo para el desarrollo de la población ubicada en la mencionada cuenca.

PROYECTOS DE APROVECHAMIENTO HIDRICO EN LA CUENCA SAN JOSE				
PROYECTOS	UBICACIÓN	AREA PROYECTADA	TIPO DE CULTIVO	
1. Habilitacion del Sistema de Irrigacion de la Comunidad Pucachupa Anajquia	Pucachupa Anajquia	30 HAS	avena forrajera	alfalafa quinua cebada de grano
2. Instalacion de riego tecnificado para pastos mejorados para la cabecera de riego de Atuyo Chupa	Atuyo Chupa	30 HAS.	alfafa	avena cebada de grano forrajera
3. Implementacion y contruccion de acuicultura para las comunidades aledañas al rio Jacara	Comunidad de Quishuaran, Comunidad Chictani Marcapata	15 Jaulas	Truchas	

CONCLUSIONES

Se realizó la evaluación de los recursos hídricos de la cuenca San José, mediante la aplicación del Balance Hídrico, se pudo verificar y demostrar que en la Subcuenca del río San José, existe recursos hídricos desaprovechados, debido a la carencia de infraestructura de almacenamiento, que regula su disponibilidad durante todo el año, lo cual conlleva a un bajo desarrollo económico, cultural y social de los habitantes que se encuentran dentro de la cuenca.

Primera: La cuenca del río San José, se compone básicamente un total de 207 fuentes de aguas superficiales, conformadas por 31 manantiales, 17 bofedales, 23 ríos, 5 lagunas en la sub cuenca del río San José.

Segunda: Se tiene una disponibilidad bruta total de 75.01 millones de metros cúbicos (MMC), presentándose una mayor concentración durante los meses de entre diciembre a abril, lo cual, además corrobora las teorías y postulados mencionados en el marco teórico del presente estudio respecto al comportamiento.

Tercero: De la oferta hídrica en nuestro País, y particularmente en la subcuenca San José, siendo esta una de las principales constituyentes de la cuenca Ramis y altamente representativa de nuestra región Puno, se tiene una necesidad de 15.047 Millones de metros cúbicos (MMC), el mismo que dentro de la distribución mensual se presenta con mayor incidencia entre octubre a diciembre, esto debido a que las temperaturas se incrementan producto de la estación de verano (ciclo anual propio del hemisferio sur de nuestro planeta tierra),

Cuarto: Del balance hídrico presenta un superávit anual total de 60,087 MMC, y un déficit de 0.06 MMC, este último durante el mes de octubre.

Quinto: En la subcuenca de río san José existe una gran cantidad de áreas para cultivo por lo que se platearía realizar una serie de actividades y proyecto para el mejoramiento de agropecuario, por lo tanto, mejorar la calidad de vida de los pobladores de las diferentes comunidades de la subcuenca. Es importante realizar programas de monitoreo de calidad de aguas en forma permanente con la finalidad de evaluar el grado de contaminación de las aguas, las cuales podrían afectar en forma directa la salubridad ambiental de la población existente

RECOMENDACIONES

En la subcuenca del río San José existe importantes áreas de irrigación los cuales han sido implementados por el estado, pero se observa que en ninguno de los sistemas de riego existe aforadores de caudal, lo que conlleva a conflictos sociales y a la mala distribución del escaso recurso hídrico.

Se recomienda la implementación de aforadores en los principales canales de conducción y distribución del sistema de riego. Asimismo, se debería encargar a las Comisiones de Regantes de cada sector de riego para que lleven el control y registro permanente de aforo de caudales del canal principal de captación del área de riego correspondiente. El registro histórico y continuo de caudales favorecerá a la optimización de uso del recurso hídrico y mejorar la planificación de cultivos en forma anual

Las fuentes de oferta hídrica son limitadas, por consiguiente, es necesario poner restricciones a la expansión de nuevas áreas para el riego, las mismas que no están consideradas en el plan de implementación de las áreas bajo riego. Es necesario que los criterios de optimización del recurso hídrico se orienten mayormente a la parte de las demandas y los usuarios.

El cambio paulatino de los sistemas de riego tradicional a los tecnificados favorecerá el ahorro de volúmenes de agua, los mismos que podrían ser aprovechados para el riego de mayor cantidad de terrenos de cultivo.

Es necesario elevar la eficiencia de riego en toda la cuenca, renovando y modernizando las prácticas y métodos de riego actuales. Para alcanzar dicho objetivo es de prioridad que la actitud y criterio del agricultor cambien, mentalizando que en los tiempos actuales el agua es un bien económico, y por lo tanto debemos cuidarlo y preservarlo en forma adecuada.

En la época húmeda, en la cuenca debido a las altas precipitaciones continuas hay una alta producción del recurso hídrico el cual fluye libremente por los cauces naturales hacia el Lago Titicaca. Es conveniente realizar obras hidráulicas de afianzamiento para almacenar las aguas en la parte alta de la cuenca y utilizar el recurso hídrico en la época de estiaje. La regulación del recurso hídrico permitiría anular el déficit hídrico demostrado en la época de estiaje en este estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- Anzil, F. (27 de Noviembre de 2010). Zona Economica. Recuperado el 22 de Febrero de 2017, de <http://m.zonaeconomica.com/definicion/recursos>
- Azpurúa, P. P. (1976). Recursos Hidraulicos y Desarrollo. Madrid: Tecnos.
- Azpuru, P. P., & Gabaldón, A. J. (1976). Recursos Hidraulicos y Desarrollo. Madrid: Tecnos.
- CEPAL. (1976). Requerimientos y Desarrollo de los Recursos Hidricos en Latinoamerica hacia el año 2000. Lima, Perú: CEPAN.
- Chereque Morán, W. (1985). Hidrologia para estudiantes de ingenieria Civil. Lima: PUCP.
- Custodio, E. (2000). Comentarios sobre la utilización conjunta de aguas superficiales y subterranas en las sequias. Revista Real Academia de Ciencias Exactas, Fisicas y Naturales, RRAFN.
- Diaz; Esteller; Lopez . (2005). Recursos Hídricos, Conceptos y estudios de caso en Iberoamerica. Uruguay: Piriguazú Ediciones.
- Dominguez, B. (1985). El Culto del Agua en la Historia. Santiago, Chile: Universidad de Chile.
- Dourojeanni, A., Jouraviev, A., & Chavez, G. (2002). Gestión del agua a nivel de cuencas: teoria y práctica. Santiago de Chile: Naciones Unidas.
- FAO, O. d. (2000). Evapotranspiración del Cultivo, Guia para la determinacion de los requerimiento de agua de los cultivos. Inglaterra: FAO.
- GARCIA, J., & MAZA, J. A. (1996). Morfologia de Rios. México: Instituto de Ingenieria.
- Guerrero Legarreta, M. (2009). El agua. Mexico: Fondo de Cultura Economica.
- Hargreaves, G., & Allen, R. (2003). History and Evaluation of Hargreaves Evapotranspiration Equation. Journal of Irrigation and Engineering, 53.
- Hypergeo. (01 de Enero de 2014). Enciclopedia electronica de epistemologia de la geografia. Recuperado el 20 de Junio de 2017, de Hypergeo: <http://www.hypergeo.eu/>
- Juares Villaseñor, J. (1972). Antecedentes sobre l apropiadad y el uso del agua en la legislacion Mexicana" . Mexico: Recursos Hidraulicos".
- Leizhi, W., Qingfang, H., Yintang, W., Yong, L., Lingjie, L., & Tingting, C. (2016). Regional Calibration of Hargreaves Equation in the Xiliaohe Basin. Journal of Geoscience and Environment Protection, 28 - 36.

- Leopold, L. B., & Davis, K. S. (1966). *Water*. New York: Time life books.
- Lindh, G. (1977). *Water Problems on a Global Scale*. Estocolmo, Suecia: Water Atlas Copco.
- Lindh, G. (1977). *Water Problems on a Global Scale*, Water Atlas Copco. Suecia: Estocolmo.
- Lopez Vera, F. (2005). *Recursos Hídricos, conceptos básico y estudios de caso en Iberoamerica*. Montevideo, Uruguay.: Piriguazú Ediciones.
- ONERN, O. N. (1980). *Inventario y Evaluación Nacional de Aguas Superficiales*. Lima: ONERN.
- ONERN, O. N. (1980). *Inventario y Evaluación Nacional de Aguas Superficiales*. Lima: ONERN.
- ONU, O. d. (1976). *Consenso de Limas sobre los Problemas del Agua en America Latina y el Caaribe*. Lima, Perú.: ONU.
- ONU, P. M. (2016). *Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo 2016: Agua y Empleo*. París: UNESCO.
- Partners, B. &. (1981). *Final study of the Transfer of Water from the Upper Catchment of the River Mantario to Lima*. Londres: Univers.
- Peixoto, J. P., & Kettani M., A. (1999). *The Control of the Water Cycle*. Luxemburgo: Ciencia total.
- RAE, R. A. (2004). *Diccionario de la Real Academia Española - 23a edición*. España: RAE.
- Rocha Felices, A. (1993). *Recursos Hidráulicos*. Lima: Colegio de Ingenieros del Perú.
- Rocha, Arturo. (1993). *Recursos Hidráulicos*. Lima, Perú: Colegio de Ingenieros del Perú.
- SAMPIERI, R. H., COLLADO, C., & LUCIO, P. B. (1998). *Metodología de la Investigación*. Mexico: Esfuerzo S.A.
- Sanchez Pulido, E. (1977). *Derecho y Administracion del Agua*. Venezuela: Universidad del los Andes.
- Shiklomanov, I. (1990). *Los Recursos Hídricos del Mundo*. España: Unesco.
- Shiklomanov, I. (1990). *Los Recursos Hídricos del Mundo - Vol 26, N°3*. Berlin: UNESCO.
- Sokolov, A., & Chapman, T. C. (1981). *Metodo de calculo del balance hidrico*. España: Instituto de Hidrología de España - UNESCO.

Wiener, A. (1972). *The Role of Water in Development*. Londres: Mc Graw-Hill.

Zegarra Méndez, E. (2014). *Economía del Agua*. Lima: Impresiones y Ediciones Arteta E.I.R.L.

ANEXOS

ANEXO 01. DATOS DE CALCULO

ANEXO 02. PANEL FOTOGRAFICO

ANEXO 03. MAPAS TEMATICO