



Ciencia Latina
Internacional

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), enero-febrero 2024,
Volumen 8, Número 1.

DOI de la Revista: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i1

DETERMINACIÓN DE BALANCE HÍDRICO EN LA CUENCA SULLOMA CARANGUILLA

**DETERMINATION OF WATER BALANCE IN THE
SULLOMA CARANGUILLA BASIN**

Juan Loayza Aguilar

Universidad Técnica de Oruro. Bolivia

Jaqueline Mendoza Mamani

Universidad Técnica de Oruro. Bolivia

Luis Quintin Gutierrez Ramírez

Universidad Técnica de Oruro. Bolivia

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i1.10114

Determinación de Balance Hídrico en la Cuenca Sulloma Caranguilla

Juan Loayza Aguilar¹

loaza.ag@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0009-7281-9879>

Universidad Técnica de Oruro

Bolivia

Jaqueline Mendoza Mamani

1996jaquelimendoza2018@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0004-8328-9205>

Universidad Técnica de Oruro

Bolivia

Luis Quintín Gutiérrez Ramírez

luis.gura300@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-0882-4672>

Universidad Técnica de Oruro

Bolivia

RESUMEN

El estudio se realizó en la cuenca Sulloma Caranguilla, departamento de Oruro Bolivia, el objetivo conocer el balance hídrico de la cuenca para tomar acciones de prevención respecto al manejo sostenible del agua y proporcionar información básica del potencial hídrico (disponibilidad y escases), el balance hídrico (disponibilidad vs. demanda) existente en época seca, estimar las lluvias máximas para períodos de retorno de 10, 25, 50 y 100 años. La metodología consideró productores a quienes se les entrevistó mediante una encuesta, y como protagonista central fueron las comunidades y ayllus que forman parte de la Cuenca Sulloma Caranguilla, para la identificación y posterior inventariación de fuentes de agua con presencia de recurso hídrico. El estudio logró identificar zonas potenciales de disponibilidad y escases de agua en cada Municipio y mediante el inventariado de fuentes de agua se encontró un balance positivo de 533516,44 m³ en el Municipio de Curahuara de Carangas y 556780,72 m³ en el Municipio de San Pedro de Totora y con un balance de 1090297,13 m³ en ambos Municipios de la Cuenca Sulloma Caranguilla. Mediante el análisis de periodo de retorno se estimó las lluvias máximas esperadas en 10, 25, 50 y 100 años, lo cual resulta útil para un análisis del riesgo cuando se trata de estimar la probabilidad de que el valor de una variable extrema sea superado. En conclusión es importante contar con información actualizada respecto al agua y adoptar nuevas técnicas de riego y almacenamiento para el uso eficiente de este bien.

Palabras claves: potencial hídrico, balance hídrico, periodo de retorno, disponibilidad, demanda

¹ Autor principal

Correspondencia: loaza.ag@gmail.com

Determination of Water Balance in the Sulloma Caranguilla Basin

ABSTRACT

The study was carried out in the Sulloma Caranguilla basin, department of Oruro Bolivia, the objective was to know the water balance of the basin to take preventive actions regarding sustainable water management and provide basic information on water potential (availability and shortages), the balance water (availability vs. demand) existing in the dry season, estimate the maximum rainfall for return periods of 10, 25, 50 and 100 years. The methodology considered producers who were interviewed through a survey, and as the central protagonist were the communities and ayllus that are part of the Sulloma Caranguilla Basin, for the identification and subsequent inventory of water sources with the presence of water resources. The study managed to identify potential areas of availability and scarcity of water in each Municipality and through the inventory of water sources a positive balance of 533516.44 m³ was found in the Municipality of Curahuara de Carangas and 556780.72 m³ in the Municipality of San Pedro de Totora and with a balance of 1090297.13 m³ in both Municipalities of the Sulloma Caranguilla Basin. Using the return period analysis, the maximum rainfall expected in 10, 25, 50 and 100 years was estimated, which is useful for a risk analysis when trying to estimate the probability that the value of an extreme variable will be exceeded. In conclusion, it is important to have updated information regarding water and adopt new irrigation and storage techniques for the efficient use of this asset.

Keywords: water potential, water balance, return period, availability, demand

Artículo recibido 05 enero 2024

Aceptado para publicación: 10 febrero 2024



INTRODUCCIÓN

En tiempos de cambio climático es importante cuidar el agua como fuente de vida y determinar la disponibilidad de agua en contextos rurales (Calizaya Terceros, Mendoza , & Copa, 2020). En un componente esencial y una parte imprescindible de todos los ecosistemas terrestres. Dado que los suelos y la vegetación están estrechamente vinculados al ciclo del agua (Dourojeanni & Jouravlev, 2001). Bolivia se realizó el Plan Nacional de Cuencas (PNC) con el objetivo de generar una política de impulso y orientación en el cuidado del agua, el programa es de acción para crear experiencias e instrumentos de gestión para proyectos de inversión desde iniciativas locales de Gestión Integrada del Recursos Hídricos (GIRH) y Manejo Integral de Cuencas (MIC). En la implementación está el dialogo de saberes entre el conocimiento local de los productores y el conocimiento científico de la academia con la finalidad de fortalecer la gestión social y cultural del territorio y los sistemas de vida, bajo el paradigma del “vivir bien”. (MMAyA, 2014). La importancia de las cuencas hidrográficas radica en que los recursos de agua continentales, la escasez de agua es una problemática general en el mundo, los países latinoamericanos no escapan de este problema, esto genera una tensión general en la población y problemas de carácter económico (Rocano, Patiño, Segarra, & Suárez, 2023). En el Altiplano Central de Bolivia, en nuestro caso la Cuenca Sulloma Caranguillas tiene ecosistemas con alturas superiores a los 3700 msnm y la precipitación promedio anual que no supera los 440 mm por año, en los últimos años está expuesta a riesgos climáticos acentuados por el Cambio Climático, riesgos que se traducen en sequías, por la escasa lluvia o precipitación temporal (Loayza Aguilar, Blanco Capia, Bernabé Uño, & Ayala Flores, 2020) que se agrupan en escasos meses del año, principalmente entre noviembre y abril esto representa un periodo corto para la producción agrícola (Goetter & Picht, 2010). En este contexto es prioritario la conservación el ecosistema de la cuenca para proteger su biodiversidad, preservando y restaurando estos escenarios que sostienen la vida de las comunidades inmersas en la región. (Chamorro , Salcedo, Flores, & Gonnet, 2021)

Es importante tener información sobre las distintas fuentes de agua disponibles que se tiene en la Cuenca Sulloma Caranguilla que está conformado por ocho ayllus del Municipio de Curahuara de Carangas y once comunidades de San Pedro de Totora.



El balance hídrico constituye una herramienta básica para estimar la disponibilidad del agua en la Cuenca Sulloma Caranguilla, es el resultado de comparar el volumen de líquidos recibidos como de las pérdidas, enmarcando esta comparación en un periodo de tiempo determinado, lo que permite actuar sobre las diferencias encontradas y posibilita mantener el equilibrio del medio interno. El Balance Hídrico puede ser afectado por los cambios antrópicos producidos en los ecosistemas. (Echeverría , Huber, & Taberlet, 2007).

El balance hídrico apoya como herramienta útil en la predicción de las consecuencias efecto de cambios artificiales en el régimen de ríos y lagos. Esta información se utiliza para explotación de embalses y para modelamientos hidrológicos. ((MMAyA), 2016). La aplicación de estos modelamientos hidrológicos permite cuantificar el almacenamiento de agua en una determinada zona. (Vargas, De la Fuente , & Arumí, 2012). En base en esta problemática de escases del recurso hídrico en época seca para el ganado y riego; se propone la captación de agua de lluvia en varios lugares, como fuente alterna de abastecimiento y cambiar el riego tradicional con el riego tecnificado con el único fin de economizar el agua para mantener el equilibrio hídrico.

El balance hídrico se realiza utilizando datos reales o simulados de precipitación e información climatológica, con el fin de calcular el requerimiento hídrico de una zona en particular. (Cleves L., Toro C., & Martínez B., 2016)

MATERIALES Y METODOS

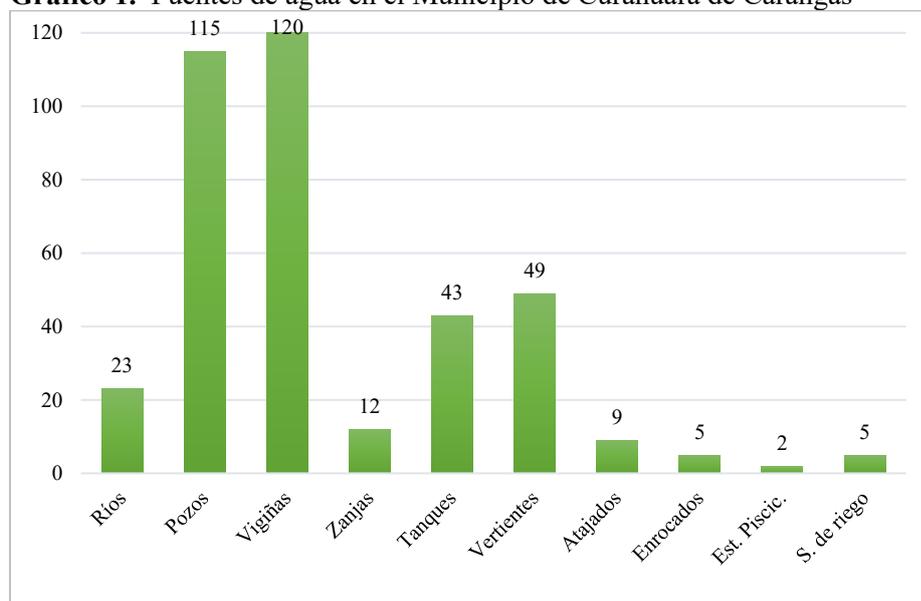
La Cuenca Sulloma Caranguillas se localiza en el territorio de los Municipios de San Pedro de Totora y Curahuara de Carangas, al nor oeste del departamento de Oruro Bolivia. La metodología utilizada para el levantamiento de la información se utilizaron instrumentos metodológicos como las encuestas que se hizo en los municipios y comunidades pertenecientes a la Cuenca Sulloma Caranguilla a autoridades y comunarios presentes en las diferentes comunidades, donde existió la participación haciéndonos conocer sus inquietudes, sus ideas para el mejor desarrollo y consolidación de la investigación. También se empleó fichas descriptivas que fueron registrados en campo por los lugares de presencia de recursos hídricos. Se hizo el recorrido por los lugares de presencia de recursos hídricos tanto en el Municipio de Curahuara de Carangas y San Pedro de Totora. Para lo cual se empleó fichas elaboradas previamente que contiene básicamente la información de ubicación de la zona, caudal de la

fuente y tipo de uso de los mismos. Para realizar la georreferenciación de los recursos hídricos fue necesario emplear un GPS. El trabajo de gabinete se realizó en forma paralela con el trabajo de campo *se empleó planillas de excel para el procesamiento de la información, seguidamente de empleo el ArcMap (10.5.) para presentar mapas geográficos de las distintas fuentes de agua y el SOFTWARE (HYDROGNOMON versión 4.1.0) para el análisis de las precipitaciones máximas para periodos de retorno 10, 25, 50 y 100.*

RESULTADOS

En el Municipio de Curahuara de Carangas se ha identificado 383 tipos de fuentes de agua dentro de los 8 ayllus pertenecientes a la Cuenca Caranguilla. Se identificó 23 ríos, 115 pozos a bomba manual, 120 vigiñas, 12 zanjas de infiltración, 43 tanques de almacenamiento de agua de lluvia mediante los techos de calamina de las viviendas, 49 vertientes, 9 atajados, 5 enrocados, 2 estanques piscícolas y 5 sistemas de riego. Aclarar que el río Caranguilla se registró en 3 ayllus por tal motivo el total es 23 ríos y un sistema de riego pertenece a 3 ayllus por tal motivo el total es 5 sistemas de riego. Los ayllus que tienen mayor presencia de fuentes de agua son los siguientes: Sullka Tunka con un total de 115 fuentes de agua destacan sus vigiñas y pozos, Taypi Collana con un total de 76 fuentes de agua destaca sus vigiñas y pozos, Sullka Uta Salla Collana con un total de 63 fuentes de agua destacan sus pozos, vertientes y vigiñas y Sullka Uta Manasaya 48 fuentes de agua destaca sus tanques de almacenamiento de agua de lluvia y pozos.

Gráfico 1. Fuentes de agua en el Municipio de Curahuara de Carangas



Para la descripción de los caudales se consideró las fuentes de agua más importantes y aquellos que tenían presencia de recurso hídrico como ser ríos, sistemas de riego, vertientes y atajados. El registro de los caudales se realizó a partir del 24 de agosto del 2022 hasta el 26 de octubre del 2022

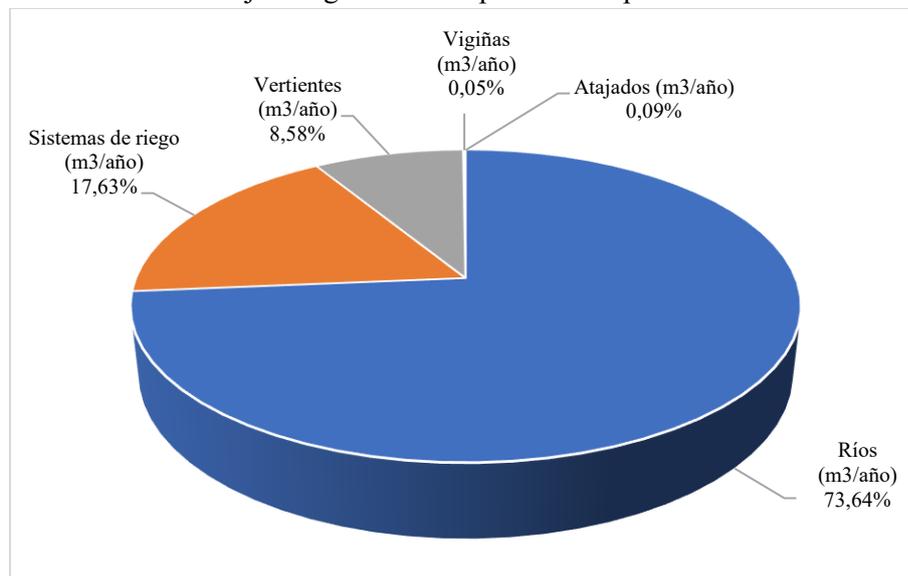
Balance hídrico (disponibilidad vs demanda) existente en época seca en la Cuenca Sulloma Caranguilla

Para determinar el balance hídrico de la Cuenca Sulloma Caranguilla se determinó la disponibilidad y la demanda de volumen de agua.

a). Disponibilidad de agua

En el gráfico 2 se observa el volumen de agua anual disponible en época seca en fuentes con presencia de recurso hídrico. La fuente que presentan mayor disponibilidad de agua son los ríos con un aporte de 2476085,76 m³/año que representa el 73,64% del total de volumen de agua disponible, y el total de agua disponible en la Cuenca es de 3362507,46 m³/año. Ríos 2476085,76 m³/año, Sistemas de riego 592876,80 m³/año, Vertientes 288642,24 m³/año, Vigiñas 1828,00 m³/año, Atajados 3074,66 m³/año),

Gráfico 2. Porcentaje de agua anual disponible en época seca



b). Demanda de agua

Para obtener información del total de ganado y número de habitantes se sacó información del Censo Agropecuario (INE 2013) y del Plan Territorial de Desarrollo Integral para Vivir Bien (PTDI 2016) y para los cultivos bajo riego se cuantificó mediante los inventarios. En la tabla 59, 61 y 63 se presenta la demanda de volumen de agua anual para el ganado, cultivos bajo riego y los habitantes.

Tabla 1. Demanda de agua anual para el ganado de la Cuenca Sulloma Caranguilla

Especie	Agua requerida Cabeza/día		Promedio	N° de cabezas	Consumo	Consumo
	(Litros)	(m ³)	(m ³)		por día (m ³)	por año (m ³)
Llamas	8	0,008	0,008	63228	505,82	184625,76
Alpacas	5,6	0,0056	0,0056	26790	150,02	54758,76
Ovino	3,5 - 6	0,0035 – 0,006	0,00475	26353	125,18	45689,51
Vacuno	40 - 100	0,04 – 0,10	0,07	1594	111,58	40726,70
Total						325800,73

Nota. Número de cabezas de ganado de la Cuenca Sulloma Caranguilla. Fuente: Censo Agropecuario (INE 2013)

Tabla 2. Demanda de agua por habitante para satisfacer la necesidad de consumo e higiene

Requerimiento al día/habitante	
(Litros)	(m ³)
100	0,10

Nota. Consumo y uso del agua potable por habitante en el altiplano.

Fuente: Autoridad de Fiscalización y Control Social de Agua Potable y Saneamiento Básico (AAPS)

Tabla 3. Demanda de agua por año para satisfacer la necesidad de consumo e higiene

Actividad	Número de habitante	Consumo habitante/día (m ³)	Total consumo Habitantes/día (m ³)	Total consumo habitantes/año (m ³)
Consumo e higiene	4292	0,10	429,20	156658,00

Nota. Número de habitantes en la Cuenca Sulloma Caranguilla. Fuente: PTDI San Pedro de Totora (2016)

Tabla 4. Demanda de agua por tipo de cultivo

Cultivos	Requerimiento (m ³ /ha)	Promedio (m ³ /ha)
Cebolla	2500 - 5500	4000
Haba	3490 - 4020	3755
Zanahoria	7000	7000
Ajo	3000	3000
Papa	4000 - 5000	4500
Cebada	4000 - 5000	4500
Alfalfa	8000 - 7000	7500
Bofedal	3000	3000

Nota. Requerimiento de agua por cultivo. Fuente (InfoRiego 2014)

Tabla 5. Demanda de agua para cultivos bajo riego en la Cuenca Sulloma Caranguilla

Cultivos	Requerimiento m³/ha	Cultivos bajo riego (Ha)	Requerimiento de agua (m³)
Cebolla	4000	24,32	97280,00
Haba	3755	24,32	91321,60
Zanahoria	7000	17,33	121310,00
Ajo	3000	2,00	6000,00
Papa	4500	46,26	208170,00
Alfalfa	7500	22,02	165150,00
Cebada	4500	47,62	214290,00
Bofedal	3000	295,41	886230,00
Total		479,28	1789751,60

c). Balance hídrico superficial

Una vez obtenido los valores de disponibilidad y demanda de agua en volumen anual en la Cuenca Sulloma Caranguilla se procedió a realiza el cálculo. Entonces en la tabla 6 se observa un balance de 1090297,13 m³/año siendo un valor positivo, lo que nos indica que en la Cuenca Sulloma Caranguilla no hay déficit hídrico.

Tabla 6. Balance hídrico en la Cuenca Sulloma Caranguilla

Disponibilidad (m³/año)	Demanda (m³/año)	Balance (m³/año)
3362507,46	2272210,33	1090297,13

Estimación de las lluvias máximas para períodos de retorno**Estimación de las lluvias máximas para períodos de retorno del Municipio Curahuara de Carangas**

Para cuantificar las aportaciones y pérdidas de agua, se realizaron análisis estadísticos de series temporales (Duque Sarango, Cajamarca Rivadeneira, Wemple, & Delgado Fernández, 2019)de la estimación de lluvias máximas para períodos de retorno de 10, 25, 50 y 100 años, utilizando la información de precipitaciones del (SENAMHI) estación Calacoto, ya que presenta información actual y se encuentra cerca de nuestra área de estudio.

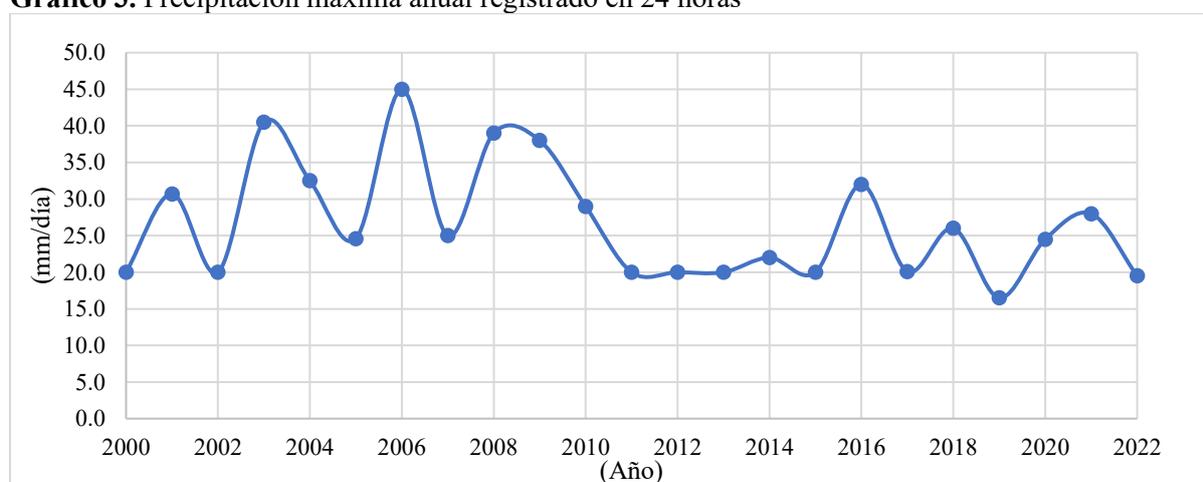
Tabla 7. Precipitación máxima anual registrado en 24 horas

Estación: Calacoto													Latitud sud: 17° 16' 50"
Provincia: Pacajes													Longitud oeste: 68° 38' 8"
Departamento: La Paz													Altura: 3826
AÑO	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	
mm/día	20,0	30,7	20,0	40,5	32,5	24,6	45,0	25,0	39,0	38,0	29,0	20,0	
AÑO	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022		
mm/día	20,0	20,0	22,0	20,0	32,0	20,1	26,0	16,5	24,5	28,0	19,5		

Nota. Estación Calacoto. Fuente: (SENAMHI, 2022)

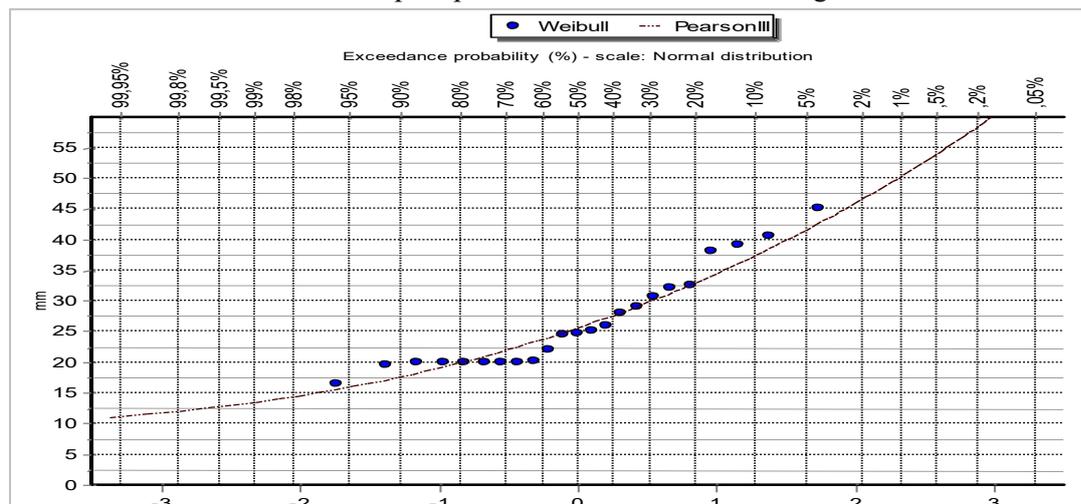
En la tabla 7 y gráfico 3 la precipitación mayor máxima anual registrada en 24 horas corresponde al año 2006 con un valor de 45,0 mm/día, y la precipitación menor máxima anual registrada en 24 horas corresponde al año 2019 con un valor de 16,5 mm/día.

Gráfico 3. Precipitación máxima anual registrado en 24 horas



Realizando la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov el cual se utiliza para las distribuciones máximas, nos indica que Pearson III es el que mejor se ajusta a la distribución de los datos de las precipitaciones máximas. En el gráfico 3 se observa la distribución de la precipitación menor máxima registrada en 24 horas hacia la mayor máxima registrada en 24 horas y de acuerdo a la probabilidad de excedencia nos indica que a una precipitación de 16,45 mm/día la probabilidad de que se vuelva a repetir es del 96%, y a una precipitación de 45,00 mm/día la probabilidad de que se vuelva a repetir es del 5%.

Gráfico 4. Distribuciones de las precipitaciones máximas anuales registrado en 24 horas



Como se mencionó anteriormente Pearson III es el que mejor se ajusta a las precipitaciones máximas, entonces una vez obtenido los valores de precipitaciones máximas para periodos de retorno de 10, 25, 50 y 100 años se hizo la corrección de intervalo fijo con el factor de 1,13 como se recomienda para una observación de 24 horas. Por lo tanto en la tabla 66 se observa que un periodo de retorno de 10 años la precipitación máxima esperada en de 42,1475 mm/día con una probabilidad de ocurrencia del 90%, y para un periodo de retorno de 25 años la precipitación máxima esperada en de 48,2453 mm/día con una probabilidad de ocurrencia del 96%, y para un periodo de retorno de 50 años la precipitación máxima esperada en de 52,5469 mm/día con una probabilidad de ocurrencia del 96% y por ultimo para un periodo de retorno de 100 años la precipitación máxima esperada en de 56,6645 mm/día con una probabilidad de ocurrencia del 99%.

Tabla 8. Precipitaciones máximas para periodos de retornos

Periodo de retorno	Precipitación máxima	Probabilidad de ocurrencia	Corrección intervalo fijo de la precipitación máxima
Años	(mm/día)	(%)	(mm/día)
10	37,2987	90	42,1475
25	42,6950	96	48,2453
50	46,5017	98	52,5469
100	50,1456	99	56,6645

Estimación de las lluvias máximas para períodos de retorno del Municipio San Pedro de Totora

Para la estimación de las lluvias máximas para períodos de retorno de 10, 25, 50 y 100 años, se utilizó información de precipitaciones del (SENAMHI) estación Huallamarca, ya que presenta información actual y se encuentra cerca de nuestra área de estudio..

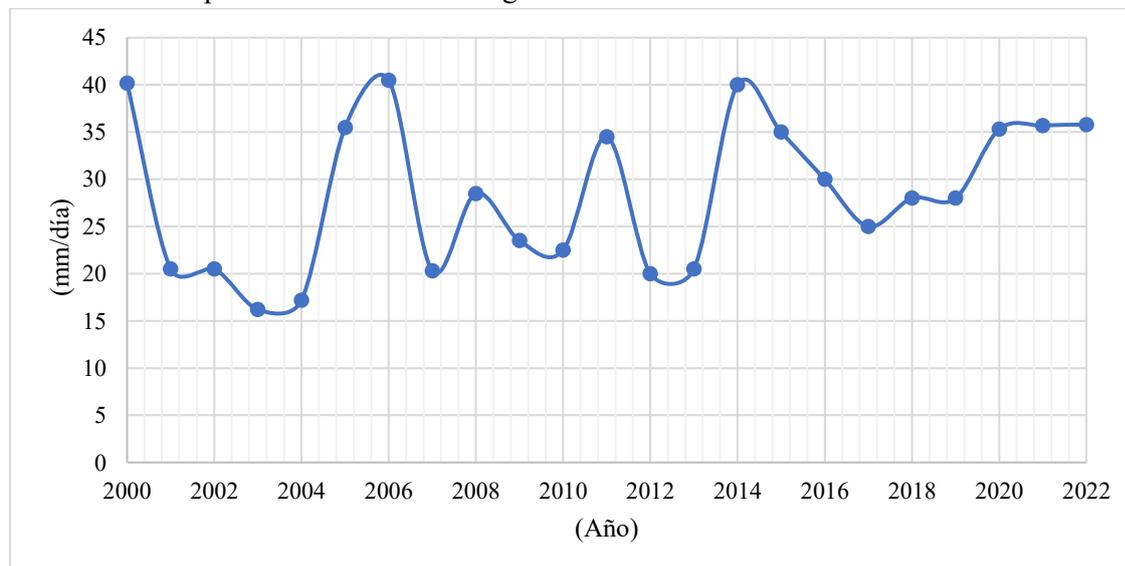
Tabla 9. Precipitación máxima anual registrado en 24 horas

Estación:												Latitud sud:
Huallamarca												17°83' 57"
Provincia: Nor												Longitud
Carangas												oeste: 67° 93'
												96"
Departamento:												Altura: 3826
Oruro												
AÑO	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
mm/día	40,2	20,5	20,5	16,2	17,2	35,5	40,5	20,3	28,5	23,5	22,5	34,5
AÑO	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
mm/día	20,0	20,5	40,0	35,0	30,0	25,0	28,0	28,0	35,3	35,7	35,8	

Nota. Estación Huallamarca. Fuente: (SENAMHI, 2022)

En la tabla 9 y gráfico 5 la precipitación mayor máxima anual registrada en 24 horas corresponde al año 2006 con un valor de 40,5 mm/día, y la precipitación menor máxima anual registrada en 24 horas corresponde al año 2003 con un valor de 16,2 mm/día.

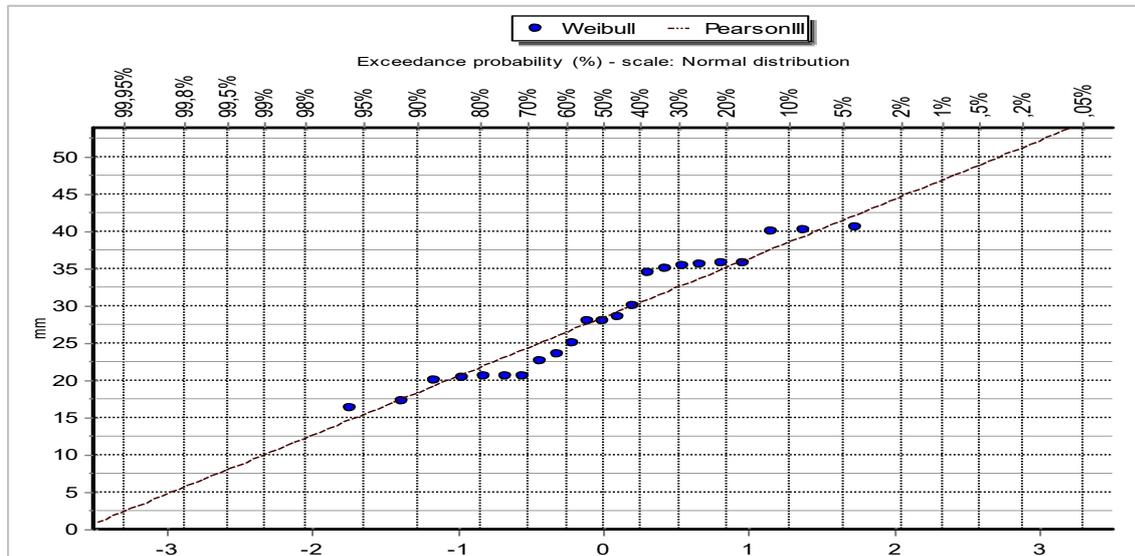
Gráfico 5. Precipitación máxima anual registrado en 24 horas



Realizando la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov el cual se utiliza para las distribuciones máximos, nos indica que Pearson III es el que mejor se ajustó a la distribución de los datos de las precipitaciones máximas. En el gráfico 5 se observa la distribución de la precipitación menor máxima registrada en 24 horas hacia la mayor máxima registrada en 24 horas y de acuerdo a la probabilidad de excedencia nos indica que a una precipitación de 16,20 mm/día la probabilidad de que

se vuelva a repetir es del 96%, y a una precipitación de 40,50 mm/día la probabilidad de que se vuelva a repetir es del 5%.

Gráfico 6. Distribuciones de las precipitaciones máximas anuales registrado en 24 horas



Como se mencionó anteriormente Pearson III es el que mejor se ajusta a las precipitaciones máximas, entonces una vez obtenido los valores de precipitaciones máximas para periodos de retorno de 10, 25, 50 y 100 años se hizo la corrección de intervalo fijo con el factor de 1,13 como se recomienda para una observación de 24 horas. Por lo tanto en la siguiente tabla 6 se observa que para un periodo de retorno de 10 años la precipitación máxima esperada es de 43,5531 mm/día con una probabilidad de ocurrencia del 90%, y para un periodo de retorno de 25 años la precipitación máxima esperada es de 44,7487 mm/día con una probabilidad de ocurrencia del 96%, y para un periodo de retorno de 50 años la precipitación máxima esperada es de 50,4590 mm/día con una probabilidad de ocurrencia del 98% y por último para un periodo de retorno de 100 años la precipitación máxima esperada es de 52,8969 mm/día con una probabilidad de ocurrencia del 99%.

Tabla 10. Precipitaciones máximas para periodos de retornos

Periodo de retorno Años	Precipitación máxima (mm/día)	Probabilidad de ocurrencia (%)	Corrección intervalo fijo de la precipitación máxima (mm/día)
10	38,5426	90	43,5531
25	42,2555	96	44,7487
50	44,6540	98	50,4590
100	46,8114	99	52,8969

DISCUSIONES

(Rocha, 2022) En el trabajo de investigación “Inventario sobre los recursos hídricos y demanda del recurso agua para uso sostenible y equitativo como fuente principal para la población de la Cuenca Guardaña”; llego a los siguientes resultados teniendo una oferta de 1882261,08 m³/año con una demanda de 1323925,83 m³/año y un balance de 558335,24 m³/año siendo un valor positivo lo que indica que en la cuenca no hay déficit hídrico, y considerando que el levantamiento de información se hizo mediante trabajos de campo con inventarios en los meses de julio y agosto del 2022. Haciendo la comparación con el trabajo que realizamos encontramos que nuestro balance fue mayor teniendo un valor de 1090297,13 m³/año, esto se debe a que el número de ríos en nuestra área de estudio fue mayor ya que ellos fueron quienes reportaron mayor caudal por ende mayor volumen de agua y también considerando que nuestra área de estudio fue mayor en comparación con la Cuenca Guardaña donde solo se realizó el estudio en ocho comunidades de la zona alta de la Cuenca y el levantamiento de información de nuestra área de estudio para el balance hídrico se realizó a partir del 24 de agosto hasta el 26 de octubre del 2022 mediante trabajos de campo con inventarios.

(Lopez, 2008) En su tesis de grado “Caracterización biofísica de la Cuenca de Todos Santos del departamento de Oruro en función del riego empleando teledetección y SIG”; encontró el siguiente balance hídrico de la Cuenca del Río Todos Santos, con un promedio del volumen de escorrentía superficial, producto de las precipitaciones medias mensuales y al 75% de probabilidad es de 1026,10 m³/mes, presentándose el máximo volumen en el mes de enero y el más bajo en el mes de julio⁷. El promedio de los caudales medios mensuales totales del afluente principal, producto de las precipitaciones medias mensuales y al 75% de probabilidad es de 2,02 m³/s, alcanzando su valor máximo en el mes de enero con 5 y 3.14 m³/s. El promedio del déficit hídrico de la cuenca, producto de las precipitaciones medias mensuales y al 75% de probabilidad es de 69,55 y 95,24 mm/mes respectivamente, alcanzando el máximo valor en el mes de noviembre, coincidiendo con el máximo valor de evapotranspiración. Haciendo la comparación con el trabajo que realizamos encontramos que nuestro balance fue de 1090297,13 m³/año siendo un valor positivo lo que indica que no hay déficit hídrico, esto se debe a que consideramos todas las fuentes de agua con presencia de recurso hídrico de

nuestra área de estudio, en cambio en este trabajo de investigación solo se consideró el agua superficial del río principal de la Cuenca empleando teledetección y SIG.

CONCLUSIONES

En el área de estudio del Municipio de Curahuara de Carangas y San Pedro de Totora se ha podido identificar zonas potenciales con fuentes de agua y que le dan un buen aprovechamiento a este bien mediante la construcción de sistemas de riego para hortalizas, forrajes y bofedales y como también se ha identificado zonas que tienen acceso limitante a este bien en donde las familias de estas comunidades emplean prácticas de cosecha de agua de lluvia principalmente en vigiñas (reservorios cónicos de agua) para el consumo de sus animales para sobrellevar este problema, pero la situación se complica cuando sus fuentes de agua empiezan a reducir hasta estar completamente secas y en donde las familias tienen que trasladar sus animales de un lugar a otro.

Mediante el inventariado de las fuentes con presencia de recurso hídrico se ha podido determinar la disponibilidad de agua anual en época seca, en donde la oferta de agua en el Municipio de Curahuara de Carangas fue de 2068956,30 m³ y en el Municipio de San Pedro de Totora fue de 1293551,2 m³ y en ambos Municipios que son parte de la Cuenca Sulloma Caranguilla la disponibilidad de agua fue de 3362507,46 m³. Para estimar la demanda de agua anual del ganado y los habitantes se ha usado información del censo agropecuario y del Plan Territorial de Desarrollo Integral para Vivir Bien, y para los cultivos bajo riego se usó información de los inventarios, donde la demanda estimada en el Municipio de Curahuara de Carangas fue de 1535439,86 m³ y en el Municipio de San Pedro de Totora fue de 736770,48 m³ y en ambos Municipios que son parte de la Cuenca Sulloma Caranguilla la demanda de agua fue de 2272210,33 m³. Con un balance hídrico de 533516,44 m³ en el Municipio de Curahuara de Carangas y con un balance de 556780,72 m³ en el Municipio de San Pedro de Totora y con un balance de 1090297,13 m³ y en ambos Municipios que son parte de la Cuenca Sulloma Caranguilla.

El análisis de período de retorno resulta útil para el análisis del riesgo cuando se trata de estimar la probabilidad de que el valor de una variable extrema se vea superada, posiblemente conduciendo a la falla de una estructura diseñada para un evento determinado. Mediante el análisis de período de retorno

se estimó las lluvias máximas esperadas en 10, 25, 50 y 100 años en los Municipios de Curahuara de Carangas y San Pedro de Totora como se observa en la tabla 59 y 61.

Para mantener seguridad hídrica es importante realizar nuevas técnicas de riego y prácticas de siembra de agua de lluvia para las actividades agrícolas y pecuarias. Por lo que se ha planteado nuevas técnicas de riego y puedan ser adoptadas por las familias para que mejoren la producción de sus cultivos hortícolas y forrajeros y para garantizar la seguridad alimentaria de los ganados mediante nuevas técnicas de riego a sus bofedales tanto en el Municipio de Curahuara de Carangas y Municipio de San Pedro de Totora.

Mediante la investigación participativa se ha podido identificar zonas potenciales de agua y zonas que tienen acceso limitado a este bien y las necesidades que tienen las familias respecto al agua ya sea para el riego de sus cultivos o para el consumo de sus ganados y las propias familias.

Agradecimientos

El presente estudio fue realizado gracias al apoyo logístico y financiero del Proyecto “Desarrollo de capacidades locales y académicas en GIRH-MIC en la cuenca pedagógica Sulloma Caranguilla” en coordinación con la Universidad Técnica de Oruro. También va nuestro profundo agradecimiento a las autoridades originarias del Municipio de Curahuara de Carangas y San Pedro de Totora del departamento de Oruro, por su amplia colaboración en esta investigación.

Aspectos Éticos

La investigación ha sido aprobada por la Dirección de Investigación de la Universidad Técnica de Oruro y siguió las pautas establecidas para este proceso.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

(MMAyA), M. d. (2016). *Balance Hídrico Superficial de Bolivia*. La Paz - Bolivia: Programa de Desarrollo Agropecuario Sustentable (GIZ/PROAGRO).

Calizaya Terceros, A., Mendoza, J., & Copa, M. (2020). Bases hidrológicas para la conservación de los recursos naturales en la cuenca del lago Moa, Bolivia. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 7(2), 30. Recuperado el 02 de febrero de 2024, de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2409-16182020000200006&lng=es&tlng=es



- Chamorro , A., Salcedo, D., Flores, M., & Gonnet, J. (2021). *Manual de buenas prácticas en manejo y restauración de bofedales en Junín, Perú*. Huancayo-Perú: GRAPEX PERÚ SRL.
- Cleves L., J. A., Toro C., J., & Martínez B., L. F. (2016). Los balances hídricos agrícolas en modelos de simulación agroglimáticas. Una revisión analítica. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 10(1), 151. doi: <https://doi.org/10.17584/rcch.2016v10i1.4460>
- Dourojeanni, A., & Jouravlev, A. (2001). *Crisis de gobernabilidad en la gestión del agua*. Santiago de Chile-Chile: CEPAL.
- Duque Sarango, P., Cajamarca Rivadeneira, R., Wemple, B. C., & Delgado Fernández, M. (2019). Estimación del Balance Hídrico de una Cuenca Andina Tropical. La granja. *Revista de Cioencias de la Vida*, 29(1), 56-69. doi: <https://doi.org/10.17163/lgr.n29.2019.05>
- Echeverria , C., Huber, A., & Taberlet, F. (2007). Estudio comparativo de los componentes del balance hídrico en un bosque nativo y una pradera en el sur de Chile. *Bosque (Valdivia)*, 28(3), 271-280. doi: <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002007000300013>
- Goetter, J., & Picht, H. J. (2010). *Cosecha de agua de lluvia con "Atajados" en Bolivia*. Potosí-Bolivia: GTZ.PROAGRO;GTZ.Red Sectorial Gestión Ambiental y Desarrollo Rural América Latina y Caribe. Obtenido de <https://www.bivica.org/files/cosecha-agua-lluvia.pdf>
- Loayza Aguilar, J., Blanco Capia, L. E., Bernabé Uño, A., & Ayala Flores, G. (2020). Saberes locales sobre tecnologías y estrategias de producción agropecuaria para la resiliencia climática. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 8(1), 32-41. Recuperado el 02 de febrero de 2024, de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?scrit=sci_arttext&pid=S2308-38592020000100004&lng=es&tlng=es.
- Lopez, L. (2008). *Caracterización biofísica de la cuenca de Todos Santos del departamento de Oruro en función del riego empleado teledetección y SIG*. Oruro, Bolivia. Recuperado el 14 de Noviembre de 2022, de <http://docplayer.es/215258340-Universidad-mayor-de-san-andres-facultad-de-agronomia-carrera-de-ingenieria-agronomica.html>
- MMAyA. (2014). *Guía para la Elaboración de Proyectos de Gestión Integrada de Recursos Hídricos y Manejo Integrall de Cuencas (GIRH/MIC) Bolivia*. Recuperado el 02 de febrero de 2024, de <https://www.bivica.org/files/elaboracion-proyectos-girh-mic.pdf>

- Rocano, W., Patiño, L., Segarra, S., & Suárez, J. (2023). Análisis fisicoquímico del agua de riego en San Joaquín-Cuenca. *Alfa Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinaria*, 7(20), 299-308. Obtenido de <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v7i20.216>
- Rocha, F. (2022). *Inventario sobre los recursos hídricos y demanda del recurso agua para uso sostenible y equitativo como fuente principal para la población de Cuenca Guardaña*. Oruro, Bolivia.
- SENAMHI. (2022). *SENAMHI*. Recuperado el 15 de Agosto de 2022, de <https://senamhi.gob.bo/index.php/faq>
- Vargas, J., De la Fuente, L., & Arumí, J. (2012). Balance hídrico mensual de una cuenca Patagónica de Chile: Aplicación de un modelo parsimonioso. *Obras y Proyectos*, 12, 32-41. doi: <https://dx.doi.org/10.4067/0718-28132012000200003>