

# UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



*Una Institución Adventista*

**Aplicación de Modflow 6 con Model Mouse 4 para el  
modelamiento del flujo subterráneo de la microcuenca Macari-  
Melgar**

Trabajo de Investigación para obtener el Grado Académico de  
Bachiller en Ingeniería Ambiental

**Autor:**

Jose Luis Ahuanlla Huaccha

**Asesor:**

Mg. Renny Daniel Díaz Aguilar

Juliaca, diciembre de 2020

## DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Mg. Renny Daniel Díaz Aguilar, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura,  
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente trabajo de investigación titulada: “**APLICACIÓN DE MODFLOW 6 CON MODEL MOUSE 4 PARA EL MODELAMIENTO DEL FLUJO SUBTERRÁNEO DE LA MICROCUENCA MACARI-MELGAR**” constituye la memoria que presenta el estudiante Jose Luis Ahuanlla Huaccha para obtener al Grado Académico de Bachiller en Ingeniería Ambiental, cuyo trabajo de investigación ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este trabajo de investigación son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en Juliaca, a los 22 días del mes de diciembre del año 2020.



---

Mg. Renny Daniel Díaz Aguilar  
Asesor

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiani, a 22 ..... día(s) del mes de dicembre ..... del año 20 20 siendo las 11:10 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Juliaca, bajo la dirección del (de la) presidente(a): Ing. Alex Danny Chambi Rodriguez, el (la) secretario(a): Ing. Verónica Haydee Pari Mamani ..... y los demás miembros: Dr. Efraim Sujano Laura ..... y el (la) asesor(a) Ing. Renny Daniel Diaz Aguilan ..... con el propósito de administrar el acto académico de sustentación del trabajo de investigación titulado: Aplicación de Modflow 6 con Model Mouse 4 para el modelamiento del flujo subterráneo de la microcuenca Macari-Melgar ..... de los (las) candidato (as):  
 a) Jose Luis Cahuamlla Huaccha ..... b) .....  
 ..... c) .....

conducente a la obtención del grado académico de Bachiller en:  
Ingeniería Ambiental  
(Denominación del Grado Académico de Bachiller)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado. Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato/a (a): Jose Luis Cahuamlla Huaccha

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>17</u>	<u>B+</u>	<u>Muy Bueno</u>	<u>Sobresaliente</u>

Candidato/a (b):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

Candidato/a (c):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(\*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

\_\_\_\_\_  
 Presidente/a

  
 \_\_\_\_\_  
 Secretario/a

\_\_\_\_\_  
 Asesor/a

\_\_\_\_\_  
 Miembro

\_\_\_\_\_  
 Miembro

\_\_\_\_\_  
 Candidato/a (a)

\_\_\_\_\_  
 Candidato/a (b)

\_\_\_\_\_  
 Candidato/a (c)

# Aplicación de Modflow 6 con Model Mouse 4 para el modelamiento del flujo subterráneo de la microcuenca Macari-Melgar

Jose Luis Ahuanlla Huaccha <sup>a\*</sup>, Renny Daniel Diaz Aguilar <sup>\*</sup>

<sup>a</sup>EP. Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión, carretera salida a Arequipa Km 6 Chullunquiani, Juliaca 2020, Perú

---

## Resumen

Los recursos hidrogeológicos en la microcuenca Macari son limitados e imprescindibles, debido a la variabilidad climática en la región. Sin embargo, el aumento de las actividades agrícolas, ganaderas y crecimiento poblacional, contribuyen a la intensificación del estrés en los recursos hídricos. La presente investigación tiene por objetivo obtener el balance hídrico, mediante el modelamiento del flujo subterráneo con el software Modflow 6 con Model Mouse 4 en la microcuenca Macari ubicada en la provincia de Melgar, departamento de Puno. La metodología del estudio se realizó en 3 fases: en la primera fase se determinó la ubicación. En la segunda fase se adquirió datos de diferentes instituciones como: la Autoridad Nacional del Agua, Instituto Nacional Geográfico, satelital ALOS PALSAR y datos meteorológicos de la estación de chuquibambilla para obtener la tasa de evapotranspiración potencial. En la tercera fase se realizó el procesamiento de datos en el software Modflow 6 con Model Mouse 4 donde se importó todas las variables obtenidas (DEM, pozos y ríos). Los resultados muestran una recarga de 1.4971 m<sup>3</sup>/s de infiltración en el subsuelo en sus diferentes capas. En la descarga tenemos el drenaje por los ríos que conforma la microcuenca con un total 0.9474 m<sup>3</sup>/s, y descarga por evapotranspiración que es la absorción de la planta del subsuelo 0.5498 m<sup>3</sup>/s. En conclusión, se observó mediante el balance hídrico la distribución de agua en el subsuelo y la gran mayoría se descarga por drenaje en los ríos que conforma la microcuenca.

*Palabras clave:* Balance hídrico, flujo subterráneo, modelo hidrogeológico, Modflow.

## Abstract

The hydrogeological resources in the Macari micro-basin are limited and essential, due to the climatic variability in the region. Likewise, the increase in agricultural and livestock activities and population growth contribute to the intensification of stress on water resources. The present research aims to observe the water balance, by modeling the underground flow with the Modflow 6 software with Model Mouse 4 in the Macari micro-basin located in the Melgar province, Puno Department. The study methodology was in 3 phases: First phase; understand the location. Second stage; acquisition of data from different institutions such as: National Water Authority, National Geographic Institute, satellite ALOS PALSAR and meteorological data from the chuquibambilla station to obtain the potential evapotranspiration rate. The third phase is the data processing in the Modflow 6 software with Model Mouse 4 where all the variables obtained are imported (DEM, wells and rivers). The results show a recharge of 1.4971 m<sup>3</sup> / s of infiltration in the subsoil in its different layers. In the discharge we have the drainage by the rivers that make up the micro-basin with a total 0.9474 m<sup>3</sup> / s, and discharge by evapotranspiration that is the absorption of the subsoil plant 0.5498 m<sup>3</sup> / s. In conclusion, the distribution of water in the subsoil was observed through the water balance and the vast majority is discharged by drainage into the rivers that make up the micro-basin.

Key words: Hydric balance, underground flow, hydrological model, Modflow.

---

## Introducción

El constante uso del agua para las diferentes actividades humanas nos hace ver cuan importante es este recurso para la vida, mas aún en nuestra microcuenca Macari por las diferentes actividades que se realiza como la ganadería, agricultura y abastecimiento de agua potable para consumo humano. Además tiene un valor económico, social y ambiental en todos los usos que se le destina (Millares Valenzuela, 2008).

Los recursos hidrogeológicos en la microcuenca Macari, son limitados e imprescindibles, debido a la variabilidad climática que existe en la región y por su ubicación, representan características semiáridas (Peña, 2018). La población de Macari cuenta con una población de 8.532 habitantes (INEI, 2017), de esta población el 74.70% utiliza pozos artesanales para sus diferentes actividades (ganadería, agricultura y abastecimiento

---

\* Autor de correspondencia: Jose Luis Ahuanlla Huaccha  
Km. 7 Carretera salida Arequipa, Chullunquiani, Juliaca  
Tel.: 925422443  
E-mail: jose.ahuanlla@upeu.edu.pe

de agua) y que estos afectan a la reducción del agua subterránea. Respecto a los servicios higiénicos el 74% de la población utiliza pozo ciego o letrina en un estado muy deteriorado, que generan impactos negativos al recurso hidrogeológico (Carrasco, 2016). Debido a estas actividades y el incremento de la población, contribuyen a la intensificación del estrés en los recursos hídricos.

Los procesos hidrogeológicos y ecosistémicos interactúan estrechamente por recarga o descarga en su medio litológico y por esa razón se ve la ausencia de corrientes superficiales permanentes, (Li, Liu, & Zhao, 2019). Por otra parte, las regiones de suelos áridos y semiáridos, ha llevado al deterioro de suelo y deterioro de la calidad de agua (Lachaal, Mlayah, & Bédir, 2012). Asimismo, el nivel freático puede ofrecer una oportunidad que proporciona gran parte del agua para la vegetación y así disminuir los efectos negativos de las sequías. Por el contrario también puede convertirse en una amenaza si aumenta el riesgo de anegamiento e inundaciones, ocasionando la salinización del suelo y con consecuencia de reducir la productividad de los cultivos (Aragón, Jobbágy, & Viglizzo, 2011). Por otro lado el software modflow permite modelar el agua subterránea con el fin de evaluar la dinámica del recurso en diferentes escenarios que comprende controles sobre; el bombeo de aguas subterráneas, mejoras en la infraestructura del canal y cambios en la precipitación (Khan, Yang, & Ringler, 2017)

La microcuenca Macari-Melgar presenta zonas semiáridas, disminución de cauces, lugares de empinamiento, poca vegetación y uso indiscriminado del recurso hídrico (Mamani, 2013), con consecuencias de disminución de fuentes de aguas a las comunidades aledañas en el Distrito de Macari, ocurriendo el desabastecimiento en meses de estiaje. No obstante se tiene agua subterránea que pueden ser consideradas como fuente alternativa de abastecimiento de agua a las comunidades alejadas y poblaciones concentradas (Peña, 2018), debido a que este recurso está disponible durante todo el año. Así pues se realizó el modelamiento de agua subterránea para ver el comportamiento de este recurso, mediante el programa Modflow 6 con Model Mouese 4. Este software es desarrollado por la USGS (U.S. Geological Service) que puede ser utilizado para simular los efectos del flujo de pozos, arroyos, ríos, drenaje, evapotranspiración y recarga en límites heterogéneos y complejos en un sistema de flujo, su enfoque de diferentes finitas provee la capacidad de calcular el régimen de flujo con excepcional control sobre la discrepancia del balance hídrico (Emamgholizadeh, Moslemi, & Karami, 2014)

El presente estudio tiene como principal objetivo de obtener el balance hídrico, mediante el modelamiento del flujo subterráneo con el programa Modflow 6 y Model Mouse 4, en la microcuenca de Macari-Melgar.

# Materiales y Métodos

## Ubicación

El área delimitada es la microcuenca Macari desde la parte alta hasta su influencia con la población, comprende un área total de 14211.23 Has, ubicada en el distrito Macari de la provincia Melgar-Puno, con coordenadas UTM este 282,829 a 298,251 y Norte 8'379,384 a 8'388,262 a una altitud promedio de 4.029 msnm, la cual se muestra en la figura 1 (Canahua, 2017).

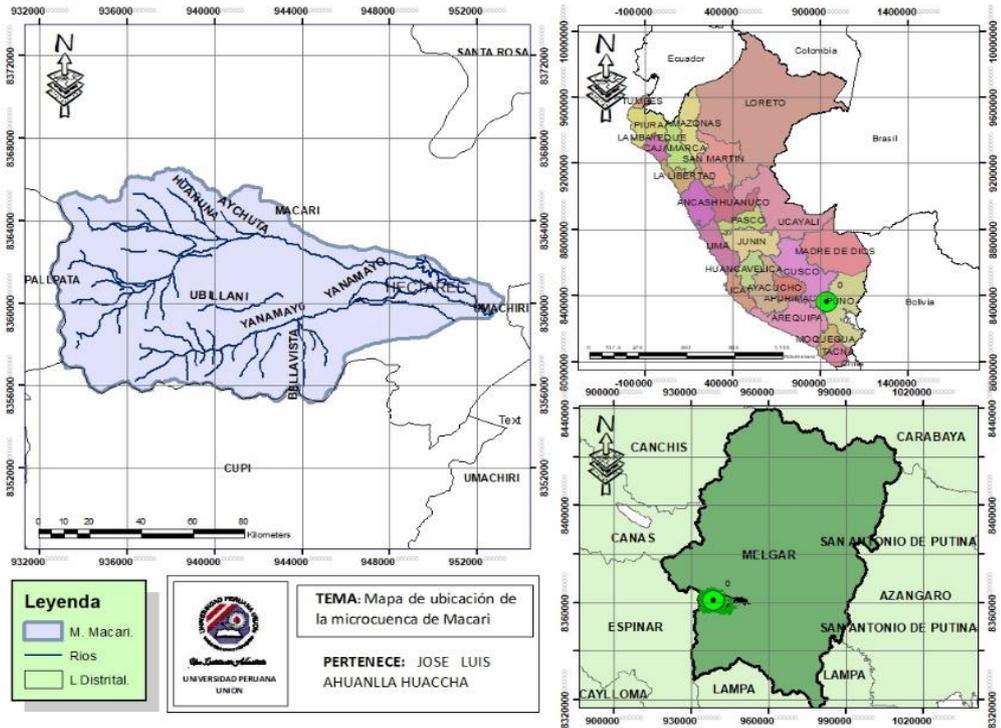


FIGURA 1. UBICACIÓN DE LA MICROCUENCA MACARI

## Adquisición de datos

Para el modelamiento correspondiente de la microcuenca Macari, es necesario tener suficientes datos meteorológicos, tasa de evapotranspiración, tasa de recarga y parámetros hidráulicos. También es imprescindible el uso de las variables como son el DEM (modelo digital de elevación), ríos y pozos.

Así mismo, para el modelamiento del flujo subterráneo, los datos de diversas fuentes fueron recopilados, procesados y organizados en un sistema de coordenadas espaciales y así posibilitando el desarrollo de una base de datos estadísticos con el Microsoft Excel y espaciales bajo el sistema de información geográfica ArcGIS (versión 10.5).

## Variables

Para la obtención de todas las variables se procedió a extraer de las diferentes instituciones, DEM se obtuvo del satelital ALOS PALSAR con una corrección de 12.5 metros. Ríos se descargó de la página web IGN (Instituto Geográfico Nacional) y finalmente la variable de pozos se descargó de la metadata ANA (Autoridad Nacional del Agua).

Tabla 1  
Variables a utilizar para el modelamiento de flujo subterráneo.

Variables	Formato	Web de instituciones
DEM	Raster	Satelital ALOS PALSAR
Pozos	Shapefile	ANA
Ríos	Shapefile	ING

### Datos meteorológicos y uso de capacidad de suelos

Se determina las condiciones de orden: drenaje, evapotranspiración y recarga.

- Drenaje: es una red de transporte superficial que suele llegar a permeabilizarse al subsuelo, la cual en nuestra de área de interés se consideró un valor  $K = 1E-4$  (Iscarra, 2015).
- Evapotranspiración: se utilizó los datos meteorológicos del año 2019 de la estación Chuquibambilla, que nos brinda datos de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima, para realizar su correspondiente análisis estadístico con Microsoft Excel ver (tabla 2). La evapotranspiración potencial se determinó mediante la fórmula de Thornthwaite (Schosinsky, 2007).

$$ETP_{anual} = \frac{N}{12} * \frac{d}{30} * 16 * \left(\frac{10*t}{I}\right)^a \quad \text{Ecua. (1)}$$

Donde:

- ✓ I = Índice de calor anual.
- ✓ N = Número máximo de horas de sol
- ✓ d = Número de días del mes
- ✓ t = Temperatura media mensual °C
- ✓ a = Función compleja de I.

Tabla 2  
Cálculo de tasa de evapotranspiración anual según el método Thornthwaite.

T° Medias del año 2015	T° Media mensual	(i) índice térmico mensual	ETP Teórica	(N)	$f = \frac{N}{12}$	Nº de días por mes	(d/30)	ETP (mm/mes)
Enero	11.2	3.4	33.4	12.9	1.1	31.0	1.0	37.2
Febrero	11.4	3.5	33.6	12.5	1.0	28.0	0.9	32.7
Marzo	10.8	3.2	32.7	12.2	1.0	31.0	1.0	34.3
Abril	10.2	2.9	31.8	11.8	1.0	30.0	1.0	31.2
Mayo	7.7	1.9	27.7	11.5	1.0	31.0	1.0	27.4
Junio	3.8	0.7	19.5	11.3	0.9	30.0	1.0	18.3
Julio	2.1	0.3	14.6	11.4	0.9	31.0	1.0	14.3
Agosto	3.6	0.6	19.1	11.7	1.0	31.0	1.0	19.1
Setiembre	7.5	1.8	27.3	12.0	1.0	30.0	1.0	27.3
Octubre	6.8	1.6	26.1	12.4	1.0	31.0	1.0	28.0
Noviembre	9.6	2.7	30.9	12.8	1.1	30.0	1.0	33.1
Diciembre	9.5	2.6	30.7	13.0	1.1	31.0	1.0	34.5
<b>ETP: anual</b>								<b>337.3</b>

Nota: (N) = número máximo de horas de sol; f =factor de reducción; ETP = evapotranspiración potencial.

- c) Recarga: La tasa de recarga anual requiere dos aspectos indispensables: el coeficiente de infiltración y la profundidad efectiva del suelo. La obtención de estos datos se realizó mediante recopilaciones bibliográficas realizadas en el departamento de Puno en un estudio de fisiografía de acuerdo al tipo de suelo que conforma la región, y estos resultados obtuvieron con la ecuación adoptada de Guther Schosinsky donde ellos realizaron un método de cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos (GORE, 2014). Los resultados que obtuvieron fue de 331.2mm/año, con la siguiente ecuación (Schosinsky, 2007)

$$R = P + Hsi - ETR - Hsf. \quad \text{Ecu. (2)}$$

Donde:

- ✓ R = cálculo de la recarga potencial.
- ✓ P = Precipitación acumulativo.
- ✓ Hsi = Humedad Inicial.
- ✓ ETR = Evapotranspiración real.
- ✓ Hsf = Humedad final

### Procesamiento de datos.

Con la obtención de las variables y las condiciones de orden, se procesó en el software Modflow 6 con Model Mouse 4. a) Primero importamos las variables: DEM, ríos y pozos. b) activamos el solucionador UPW (Ponderación de aguas arriba) que nos ayuda a determinar las condiciones de orden: drenaje, evapotranspiración y recarga. c) determinación de la conductividad hidráulica que está relacionado al tipo de suelo ver ecuación 3 (Sardón & Mamani, 2014).

La microcuenca Macari presenta suelos de tipo franco arcilloso (Sardón & Mamani, 2014). El tipo de suelo permite determinar la permeabilidad ( $k = 0.0004$ ). La evapotranspiración tiene un valor de 337mm/año que está relacionado a la profundidad de la raíz de la planta que es 0.5m, en la recarga corresponde 331mm/año de acuerdo con la región de estudio.

$$Case(Layer, 1E - 4, 1E - 5, 1E - 7, 1E - 8, 1E - 9) \quad \text{Ecu. (3)}$$



### Modelo de flujo subterráneo de corte frontal.

En este corte se muestra la distribución de agua en las tres capas definidas que fueron capa aluvial, capa fracturado superior y capa fracturado inferior.

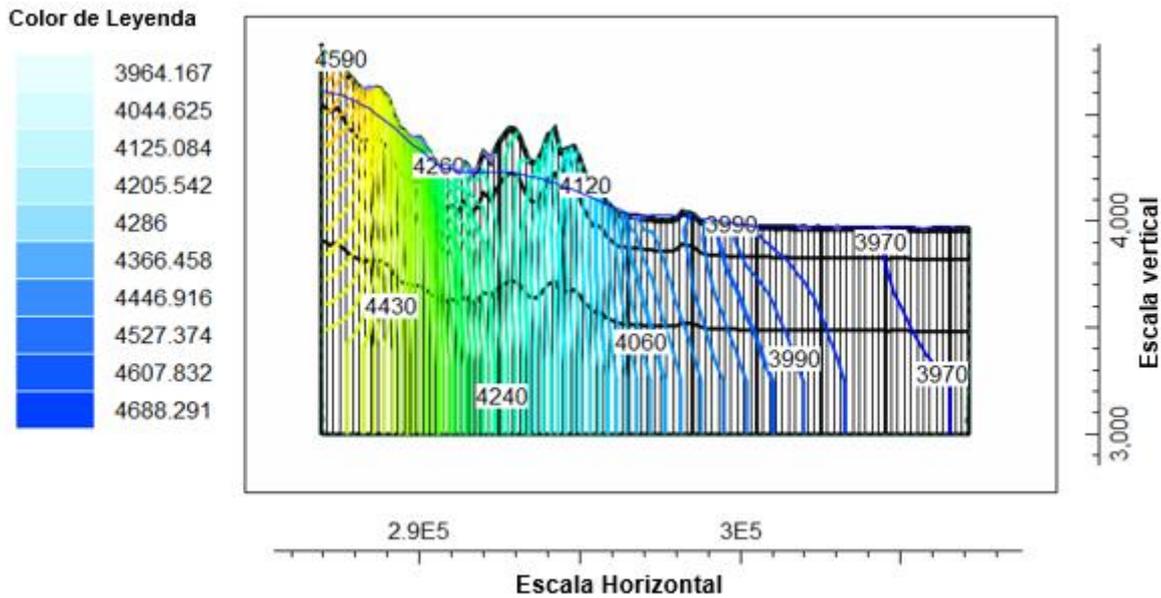


Figura 3. Modelamiento de corte frontal de la microcuenca macari.

En su corte frontal se observa la napa freática que está en el nivel máximo en las quebradas de la microcuenca y su distribución de agua en el subsuelo donde hay una cantidad considerable que se reparte a las profundidades de la capa. Además los funcionamientos hidrogeológicos en las laderas de las cuencas alto andinas se recarga por las aguas de precipitación que se infiltra al acuífero y esta pasa a circular a los cauces que constituye el principal elemento de drenaje y los ríos que se originan en su mayoría de las nevadas, por tal motivo presentan ríos ganadores que reciben agua del acuífero, con un importante componente subterráneo en el caudal de su base (IGME, 2015).

Así mismo, cuando comienza el deshielo en cuencas alto andinas, los suelos se empapan de agua y conforme el hielo se retira van drenando lentamente, debido a que en general su permeabilidad es moderada. Al principio solo funciona durante las horas más cálidas del día, pues durante la noche la salida del agua se interrumpe por congelamiento, para poco a poco incrementar el periodo diario de drenaje alimentando en los tramos altos de los cauces y arroyos. De esta forma aseguran, en la cabecera de la cuenca un caudal permanente en los ríos y arroyos durante todo el estiaje (Alvarado, 2011). Además, en un estudio de agua subterránea del acuífero Kabodarahang, ubicado en Irán, provincia de Hamadan donde ellos simulaban mediante tres modelos: Modflow, Extrem Learning (ELM), Wavelet-Extreme, con el fin de evaluar el nivel del agua subterránea sus resultados de ELM se compararon con el resultado de Modflow, los valores del nivel del agua subterránea con mayor precisión fue de ELM que muestra un valor de coeficiente mayor que la de software Modflow de 0.959 y ellos concluyen que el software ELM su precisión es más efectiva sin embargo es menos utilizada debido a que recientemente es publicado este software (Malekzadeh, Kardar, & Shabanlou, 2019).

En cuanto a nuestra área también es una cuenca alto andina, sus fuentes de agua nacen en la cabecera de la cuenca, sus precipitaciones mayormente forman cauces de agua y en tiempo de estiaje las temperaturas suelen bajar a  $-15^{\circ}\text{C}$ , esto evidencia el constante curso de agua en los ríos. Y así abastece a la población y

toda vegetación de la microcuenca. Y en cuanto al software Modflow es la mas utilizada y recomendada por la Autoridad Nacional del Agua en nuestro territorio peruano.

### Resultados de balance hídrico en la microcuenca Macari.

En la tabla 2 y 3 se muestra el balance hídrico de la microcuenca Macari, que se da por recarga y descarga de las condiciones de orden previamente definidas en el modelo.

Tabla 3.  
*Entrada del agua al acuífero.*

Condición de orden	Cantidad de agua aportada	Unidades
Dren.	0.0000	m3/s
Evapotranspiración.	0.0000	m3/s
Recarga.	1.4971	m3/s
Total	1.4971	m3/s

En la tabla 3 se observa que el único ingreso de agua al acuífero es por recarga mediante la infiltración con un total de 1.4971 m3/s, esto quiere decir que el acuífero de la microcuenca tiene un buen almacenamiento y el subsuelo tienen una buena permeabilidad ya que presentan suelos franco arcillosos. Por otro lado el aumento de la permeabilidad conduce al incremento del caudal infiltrado, también canaliza a un aumento del flujo hacia las profundidades inaccesibles de las raíces (Galarza, Carrera, & Alfageme, 2017). Así mismo cuando el suelo en general es limo-arenoso y presenta mayor pendiente, tiende a tener mayor permeabilidad (Muñoz, 2016). Por ende, nuestra microcuenca que tiene una extensión de 14211.2 ha, tiene una buena permeabilidad de acuerdo al tipo de suelo que presenta.

Tabla 4  
*Salida de agua del subsuelo.*

Condición de orden	Cantidad de agua aportada	Unidades
Dren.	0.9474	m3/s
Evapotranspiración.	0.5498	m3/s
Recarga.	0.0000	m3/s
Total	1.4971	m3/s

En la tabla 4: nos muestra la salida del recurso hídrico, donde se distribuye por drenaje y evapotranspiración; la descarga que se da por drenaje (flujo base) que tiene un promedio 0.9474 m3/s, mientras que la descarga por evapotranspiración (consumo de agua por la vegetación), es de 0.5498 m3/s, eso quiere decir que en nuestra área de estudio, no existen en gran cantidad de bofedales ni plantas, solo pastizales en gran masa, porque el porcentaje mayor se va por drenaje y en menor cantidad es aprovechada por los pastizales en general que existe en la zona.

Según Enríquez & Mercedes (2004), menciona que las condiciones de drenaje subterráneo en la zona de las sierras, están vinculadas al relieve, al espesor de la capa meteorizada a las características diaclásicas y fisuras de las rocas, a la cobertura vegetal y a las condiciones climáticas. Además, Carroll & Pohl (2008) indican en su modelamiento en la cuenca del río Guadalupe, Venezuela, que las mayores extracciones se producen en otoño y sobre todo en verano, en donde el ritmo de extracción total alcanza los 78356m3/día. las descargas

en nuestra área de estudio, pueda estar llevándose por actividades humanas que son la agricultura, ganadería y para el consumo humano de pozos artesianos.

## Conclusiones

Se realizó satisfactoriamente el modelamiento de agua subterránea en la microcuenca Macari mediante el software Modflow 6 con Model Mouse 4, donde se observó el balance hídrico, así mismo muestra su nivel freático y su distribución de agua al subsuelo que está conformado por diferentes capas. Presenta una cota máxima 4680 msnm y una cota mínima de 3970 msnm.

Por las diferentes actividades que realizan en la microcuenca Macari como: la ganadería, agricultura y abastecimiento de agua potable para el consumo humano vienen afectando el recurso hídrico en la microcuenca y ello justifica el balance hidrico obtenido mediante el software Morflow 6 con Model Mouse 4 que la gran mayoría de agua se va por drenaje con un total 0.9474 m<sup>3</sup>/s, esto debido a que el área de estudio presentan 7 ríos como son: Yanamayo, Ubillani, Bellavista, Turmanamayoc, Huañuna, Aychuta y Huasaruna

Finalmente este balance hídrico nos muestra que las actividades humanas, generan un impacto negativo al recurso hidrogeológico. Con el pasar del tiempo este recurso puede llegar a disminuirse drásticamente, porque las autoridades locales y la población no toman en conciencia este aspecto que es indispensable para la sostenibilidad del recurso agua y todo el ecosistema de la microcuenca Macari-Melgar.

## Referencias

- Alvarado, J. B. (2011). Modelo de Gestion Integrada de Recursos Hidricos de las Cuencas de los Rios Moquegua y Tambo. *Repositorio Institucional PIRHUA*, 1-135. Recuperado el 06 de Julio de 2020, de [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1480/MAS\\_GAA\\_012.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1480/MAS_GAA_012.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Aragón, R., Jobbágy, E. G., & Viglizzo, E. F. (19 de Mayo de 2011). Surface and groundwater dynamics in the sedimentary plains of the Western Pampas (Argentina). *Wiley Online*. Recuperado el 21 de Octubre de 2020, de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/eco.149>
- Canahua, I. (2017). HISTORIA DE LOS LÍMITES DE LA REGIÓN DE PUNO EN EL PERIODO REPUBLICANO HASTA EL AÑO 2017. *Repositorio UNA - PUNO*, 1-119. Recuperado el 24 de Noviembre de 2020, de [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjv6sCRmpztAhW7HLkGHYY5Cg4QFjAFegQIDBAC&url=http%3A%2F%2F repositorio.unap.edu.pe%2Fbitstream%2Fhandle%2FUNAP%2F6911%2FCanahua\\_Castillo\\_Ismael.pdf%3Fsequence%3D1%26isAllowed%3Dy&usg=A](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjv6sCRmpztAhW7HLkGHYY5Cg4QFjAFegQIDBAC&url=http%3A%2F%2F repositorio.unap.edu.pe%2Fbitstream%2Fhandle%2FUNAP%2F6911%2FCanahua_Castillo_Ismael.pdf%3Fsequence%3D1%26isAllowed%3Dy&usg=A)
- Carrasco, E. Y. (Abril de 2016). "SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN LAS URBANIZACION NUEVO PROGRESO Y UNION MILLUNI DEL DISTRITO DE MACARI, PROVINCIA DE MELGAR-REGIÓN PUNO". *Universidad nacional del altiplano*, 26-27. Recuperado el 14 de Octubre de 2020, de [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/13291/Paucar\\_Carrasco\\_Elvis\\_Yury.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/13291/Paucar_Carrasco_Elvis_Yury.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Carroll, R., & Pohll, G. (2008). ELSEVIER. *Una comparacion de flujos de agua subterranea calculada con MODFLOW y un modelo de mezcla con deuterio: aplicacion al sitio de prueba del este de Nevada y Vecidad.*, 1-15. Recuperado el 06 de Julio de 2020, de [www.elsevier.com/locate/jhydrol](http://www.elsevier.com/locate/jhydrol)
- Emamgholizadeh, S., Moslemi, K., & Karami, G. (14 de Octubre de 2014). Prediction the Groundwater Level of Bastam Plain (Iran) by Artificial Neural Network (ANN) and Adaptive Neuro-Fuzzy Inference

- System (ANFIS). *Springer link*, 1-10. Recuperado el 21 de Octubre de 2020, de <https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-014-0810-0>
- Enriquez, G., & Mercedes, M. (2004). Modelamiento de acuíferos para el el aprovechamiento sostenible del agua subterránea. *redalyc*, 1-13. Recuperado el 06 de Julio de 2020, de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=231117826006>
- Galarza, G., Carrera, J., & Alfageme, H. (2017). Simulación de los procesos de infiltración en zonas áridas y semiáridas. Aplicación al diseño de la cobertura de la FUA. 1-13. Recuperado el 05 de Julio de 2020, de [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiQkru65bfqAhWaKLkGHU4\\_AcgQFjAAegQIBxAB&url=http%3A%2F%2Fwww.igme.es%2Fboletin%2F2001%2F112\\_esp\\_1-2001%2F2-SIMULACION.pdf&usg=AOvVaw1r44rDVxdc-tGjfoFB-BTK](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiQkru65bfqAhWaKLkGHU4_AcgQFjAAegQIBxAB&url=http%3A%2F%2Fwww.igme.es%2Fboletin%2F2001%2F112_esp_1-2001%2F2-SIMULACION.pdf&usg=AOvVaw1r44rDVxdc-tGjfoFB-BTK)
- GORE. (Septiembre de 2014). ESTUDIO DE SUELOS Y CAPACIDAD DE USO MAYOR (DEPARTAMENTO DE PUNO). *Gobierno regional de Puno*, 1-136. Recuperado el 29 de Octubre de 2020, de [http://geoservidorperu.minam.gob.pe/geoservidor/Archivos/Mapa/puno/Memoria\\_Descriptiva\\_Suelos\\_CUM.pdf](http://geoservidorperu.minam.gob.pe/geoservidor/Archivos/Mapa/puno/Memoria_Descriptiva_Suelos_CUM.pdf)
- Hijuma, C., & Geraldine, K. (2014). Modelamiento hidrogeológico para evaluar el recurso hídrico subterráneo con fines de abastecimiento industrial en zonas altoandinas - Santo Tomás, Cuzco. *Alicia (Concytec)*. Recuperado el 06 de Julio de 2020, de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/14776>
- IGME. (Diciembre de 2015). Investigación hidrológica de acuíferos de alta montaña sometidos a uso intensivo del agua subterránea, cabecera del río Herchules (Sierra Nevada, Granada). *MCE*. Recuperado el 06 de Julio de 2020, de [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwivvKfg4bjqAhWzILkGHQe5BFUQFjAAegQIARAB&url=http%3A%2F%2Finfo.igme.es%2FSidPDF%2F166000%2F952%2F166952\\_0000001.pdf&usg=AOvVaw3Eiw29B-wd590Wki1LW700](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwivvKfg4bjqAhWzILkGHQe5BFUQFjAAegQIARAB&url=http%3A%2F%2Finfo.igme.es%2FSidPDF%2F166000%2F952%2F166952_0000001.pdf&usg=AOvVaw3Eiw29B-wd590Wki1LW700)
- INEI. (2017). Resultados definitivos de censo nacional 2017. Recuperado el 14 de Octubre de 2020, de <http://censo2017.inei.gob.pe/resultados-definitivos-de-los-censos-nacionales-2017/>
- Iscarra, L. C. (2015). EVALUACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA A TRAVÉS DE POZOS CON FINES DE RIEGO EN LA COMUNIDAD DE QUENAPAJJA-ACORA. *Repositorio Institucional UNAPUNO*, 30-32. Recuperado el 29 de Octubre de 2020, de [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/4593/Chura\\_Iscarra\\_Luis.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/4593/Chura_Iscarra_Luis.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Khan, H., Yang, C., & Ringler, C. (Marzo de 2017). Guiding Groundwater Policy in the Indus Basin of Pakistan Using a Physically Based Groundwater Model. *ASCEI library*, 143. Recuperado el 23 de Octubre de 2020, de [https://ascelibrary.org/action/downloadSupplement?doi=10.1061%2F%28ASCE%29WR.1943-5452.0000733&file=supplemental\\_data\\_wr.1943-5452.0000733\\_khan.pdf](https://ascelibrary.org/action/downloadSupplement?doi=10.1061%2F%28ASCE%29WR.1943-5452.0000733&file=supplemental_data_wr.1943-5452.0000733_khan.pdf)
- Lachaal, F., Mlayah, A., & Bédir, M. (2012). Implementation of a 3-D groundwater flow model in a semi-arid region using MODFLOW and GIS tools: The Ze´ramdine–Be´ni Hassen Miocene aquifer system (east-central Tunisia). *ELSEVIER*, 1-12. Recuperado el 19 de Mayo de 2020, de [www.elsevier.com/locate/cageo](http://www.elsevier.com/locate/cageo)
- Leon, J. D., Gonzales, M. I., & Gallardo, J. F. (2010). Distribución del Agua Lluvia en Tres Bosques Altoandinos de la Cordillera Central de Antioquia, Colombia. *SciELO*, 1-18. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v63n1/a10v63n01.pdf>
- Li, F., Liu, Y., & Zhao, Y. (2019). Regulation of shallow groundwater based on MODFLOW. *ELSEVIER*, 1-12. Recuperado el 20 de Mayo de 2020, de <https://www.journals.elsevier.com/applied-geography>
- Malekzadeh, M., Kardar, S., & Shabanlou, S. (2019). Simulation of groundwater level using MODFLOW, extreme learning machine and Wavelet-Extreme Learning Machine models. *Groundwater for sustainable development*, 24. Recuperado el 22 de Diciembre de 2020, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352801X19302127?via%3Dihub>

- Mamani, A. R. (2013). Aplicacion de un modelo de redes de flujo en el balance hidricode la Sub cuenca san jose Azangaro-Puno". Recuperado el 05 de Julio de 2020
- Millares Valenzuela, A. (2008). INTEGRACION DEL CAUDAL BASE EN UN MODELO DISTRIBUIDO DE CUENCA ESTUDIO DE APORTACIONES SUBTERRANEAS. 220-250.
- Mosase, E., Ahiablame, L., & Park, S. (2019). Modelling potential groundwater recharge in the Limpopo River Basin with SWAT-MODFLOW. *Groundwater for sustainable development*, 1-2. Recuperado el 22 de Diciembre de 2020, de <https://www.journals.elsevier.com/groundwater-for-sustainable-development>
- Muñoz, O. Y. (2016). Modelamiento de flujo Subteraneo. Aplicacion en la cuenca del Milagro - Ecuador y analisis de pozo en subcuenca del Rio Suquia. *FCEfyN*. Recuperado el 06 de Julio de 2020, de <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiVtN3u9LfqAhUIH7kGHdCTC1gQFjAAegQIBRAB&url=https%3A%2F%2Fcore.ac.uk%2Fdownload%2Fpdf%2F72041521.pdf&usg=AOvVaw2ilHaX3oWadWLuQ--uieS7>
- Peña, D. V. (2018). Evaluacion de los recursos hidricos en la sub cuenca de rios de san jose - Azangaro. Recuperado el 05 de Julio de 2020, de [https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/7872&ved=2ahUKEwjUnsemo4nqAhWqGbkGHWavD6QQFjAAegQIBBAC&usg=AOvVaw2ESCSBEH\\_Q4VndjIAm31WA](https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/7872&ved=2ahUKEwjUnsemo4nqAhWqGbkGHWavD6QQFjAAegQIBBAC&usg=AOvVaw2ESCSBEH_Q4VndjIAm31WA)
- Sardón, S., & Mamani, H. (2014). Estudio fisiografico (departamento de puno). *Gobierno Regional Puno*, 1-38. Recuperado el 01 de Noviembre de 2020, de [http://geoservidorperu.minam.gob.pe/geoservidor/Archivos/Mapa/puno/Memoria\\_Descriptiva\\_Fisiografia.pdf](http://geoservidorperu.minam.gob.pe/geoservidor/Archivos/Mapa/puno/Memoria_Descriptiva_Fisiografia.pdf)
- Schosinsky, G. (2007). CÁLCULO DE LA RECARGA POTENCIAL DE ACUÍFEROS MEDIANTE UN BALANCE HIDRICO DE SUELOS. *Geological de America Central*, 1-18. Recuperado el 11 de Noviembre de 2020, de <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/geologica/article/download/4223/4047>
- Zavaleta, M. a. (2017). Modelamiento en la Gestion de aguas subterranas. *Alicia (Concytec)*, 1-4. Recuperado el 06 de Julio de 2020, de [https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/ANAI\\_52d48f83cef7f67f7e95a439ea5db050](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/ANAI_52d48f83cef7f67f7e95a439ea5db050)